А.С.Илюшин
А.П.Орешко

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ КАДРОВ НА КАФЕДРЕ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Москва
2020

УДК 539.2 : 94(47)
ББК 22.37 + 63.3(2)6
И49

Илюшин А.С., Орешко А.П. Система подготовки кадров на кафедре физики твердого тела Московского университета.
М.: физический факультет МГУ, 2020. – 854 с. – с ил. – библ. 67 назв.

ISBN 978-5-8279-0187-7

В книге дан очерк истории создания и развития системы подготовки студентов и аспирантов кафедры физики твердого тела физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова. Содержит большой справочный материал о системе подготовки квалифицированных специалистов и кадров высшей квалификации, об учебной деятельности, о подготовленных на кафедре специалистах, кандидатах и докторах наук.

Издание предназначено для широкого круга читателей, интересующихся историей отечественной науки и образования, историей университетского образования и историей Московского университета.

Печатается по решению Ученого совета
отделения физики твердого тела физического факультета
Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Рецензенты:

Васильев А.Н. – доктор физико-математических наук, профессор, лауреат премии имени М.В.Ломоносова за научные работы, заведующий кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

Прудников В.Н. – доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный профессор Московского университета, лауреат премии имени М.В.Ломоносова за педагогическую деятельность, профессор кафедры магнетизма физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

Русаков В.С. – доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный профессор Московского университета, лауреат премии имени М.В.Ломоносова за педагогическую деятельность, профессор кафедры общей физики физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

ISBN 978-5-8279-0187-7

© Илюшин А.С., Орешко А.П., 2020

СОДЕРЖАНИЕ

От авторов …….. ……. 5

Начало …….....……. 13

От специальности «радиорентгенология» до кафедры рентгенологии (1923-1930) ……..……...….. ……. 52

К кафедре рентгеноструктурного анализа (1931-1952) …… ……. 66

Кафедра физики твердого тела: специалитет (1953-2016) …… ……. 90

Кафедра физики твердого тела: бакалавриат и магистратура (2013-2020) …… ……. 123

Кафедра физики твердого тела. Возвращение к специалитету? ……...……. ……. 142

Заключение …….……. 154

Приложения

Выпускники физико-математического факультета, окончившие Московский университет по специальности «радиорентгенология» (1928-1931 гг.) ..……. 161

Выпускники кафедры рентгеноструктурного анализа (1932-1952 гг.) ….……..... ……. 164

Выпускники-специалисты кафедры физики твердого тела (1953-2016 гг.) ……..…….....……. 167

Выпускники-бакалавры кафедры физики твердого тела (2014-2020 гг.) …….....……. 182

Выпускники-магистры кафедры физики твердого тела (1999-2020 гг.) …….....……. 183

Докторские диссертации, защищенные сотрудниками кафедры ……...……. 184

Кандидатские диссертации, защищенные сотрудниками, аспирантами, стажерами и соискателями кафедры …….. ……. 187

Магистерская программа «Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред». 2011 год …….…….. ……. 213

Программы специальных курсов кафедры физики твердого тела для бакалавров. 2019/2020 учебный год . ……. 302

Магистерская программа «Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред». 2019/2020 учебный год ….…….…… ……. 448

Программы специальных курсов кафедры физики твердого тела для аспирантов. 2019/2020 учебный год . ……. 767

От авторов

Существование любого государства не возможно без собственной системы подготовки кадров, направленной в первую очередь на удовлетворение потребностей общества в квалифицированных специалистах, обладающих не только глубокими профессиональными навыками, но и высокой культурой и активной гражданской позицией.

Впервые необходимость введения системы фактически государственного образования в России возникла в конце X – первой половине XI веков. В связи с принятием христианства, на Руси возникла необходимость в подготовке грамотного и объединенного новой верой управленческого аппарата и священников.

Аналогичная проблема встала спустя почти 600 лет и перед Государем всея Руси Петром I. Проведение реформ требовало большого количества квалифицированных работников, начиная от плотников и строителей, заканчивая инженерами, артиллеристами и государственными служащими. На первых порах нехватку кадров удалось решить путем привлечения иностранных специалистов, но для успешной реализации реформ требовалось создание собственной кузницы кадров.

Именно поэтому созданная в Российской империи Академия наук должна была заниматься не только и не столько «абстрактной научной работой», сколько обеспечивать научно-техническое обслуживание государства и заниматься подготовкой кадров для государственных же нужд.

Задачу подготовки высокообразованных кадров для государственных нужд должен в первую очередь должен был осу-

ществлять и созданный в 1755 году Императорский Московский университет.

В первом параграфе первого Университетского устава 1804 года было ясно сказано: «Императорский Московский Университет есть вышнее ученое сословие, для преподавания наук учрежденное. В нем приуготовляется юношество для вступления в различные звания Государственной службы.».

Шло время, и эта важнейшая, на взгляд авторов, задача Университета стала забываться. Университет стал восприниматься исключительно как сообщество профессоров и студентов. Конец такому положению дел был положен Университетским Уставом 1884 года, последним Уставом Российской империи, и подтвержден «Положением о высших учебных заведениях РСФСР» от 02 сентября 1921 года, первым уставом советской высшей школы:

«1. Высшие учебные заведения имеют целью:

а) создавать кадры специалистов по различным отраслям РСФСР;

б) подготовлять научных работников для обслуживания научных, научно-технических и производственных учреждений Республики, в частности, для самих высших учебных заведений,

в) распространять научные знания среди широких пролетарских и крестьянских масс, интересы которых по всей деятельности высшего учебного заведения должны стоять на первом плане.».

По сути своей, эти задачи не утратили и вряд ли когда-нибудь утратят актуальность, что подтверждается параграфом 10

ныне действующего Устава Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» от 28 марта 2008 года (с многочисленными редакциями):

«Основными целями, задачами и предметом деятельности Московского университета являются: (В редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 31.01.2012 г. N 52)

а) удовлетворение потребностей личности в интеллектуальном, культурном и нравственном развитии посредством получения высшего образования и дополнительного профессионального образования на основе неразрывного единства учебного процесса и научных исследований; (В редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 17.09.2014 г. N 948)

б) удовлетворение потребностей общества в квалифицированных специалистах с высшим образованием, сочетающих глубокие профессиональные знания с высокой культурой и гражданской активностью, посредством реализации образовательных программ высшего образования и дополнительного профессионального образования в области естественных и гуманитарных наук; (В редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 17.09.2014 г. N 948)

в) проведение фундаментальных и прикладных научных исследований в области естественных и гуманитарных наук в тесной связи с образовательным процессом, участие в инновационной деятельности, распространение и пропаганда научных знаний;

г) профессиональная переподготовка и повышение квалифи-

кации работников с высшим образованием и научно-педагогических работников высшей квалификации; (В редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 17.09.2014 г. N 948)

д) формирование у обучающихся в Университете гражданской позиции, способности к труду, сохранение и приумножение нравственных, культурных и научных ценностей, распространение знаний среди населения, повышение его образовательного и культурного уровня;

е) создание условий для подготовки научными и педагогическими работниками диссертаций на соискание ученой степени доктора наук в докторантуре Московского университета и подготовки диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук лицами, прикрепленными к Московскому университету; (Дополнен - Постановление Правительства Российской Федерации от 17.09.2014 г. N 948)

ж) реализация мероприятий по борьбе с допингом в спорте, осуществляемая в соответствии с Международной конвенцией о борьбе с допингом в спорте от 19 октября 2005 г. и законодательством Российской Федерации. (Дополнен – Постановление Правительства Российской Федерации от 10.08.2017 г. N 959).».

Это задачи Университета в целом. А что же такое сейчас сам Университет?

В соответствии с параграфами 29, 32 и 42 того же ныне действующего Устава «Основными структурными подразделениями Университета являются факультеты …», в свою очередь «Факультет состоит из кафедр …» и, более того, «Кафедра … фа-

культета … – основные структурные единицы факультета …». Таким образом, в жизни университета важную роль играют факультеты и кафедры, и именно на них в первую очередь ложится задача подготовки высококвалифицированных кадров.

Физический факультет в своем современном виде был создан 01 мая 1933 года (Приказ по МГУ №76, 16.04.1933), тогда же были образованы и первые специальные кафедры. Среди них и кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ, прошедшая путь от кафедры металлофизики, через кафедру рентгеноструктурного анализа к своему современному виду.

Главной целью физического факультета МГУ в соответствии с «Положением о физическом факультете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова» от 29 декабря 2011 года является «подготовка высококвалифицированных кадров по образовательным программам высшего и послевузовского образования».

Казалось бы, «вот пусть факультет и готовит», причем тут кафедра? Но нет. В одном из ныне устаревших «Положений о физическом факультете Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова» было ясно сказано, что кафедра «является основным учебно-научным подразделением факультета, и ее учебная и научная деятельность подчинена главной задаче – подготовке специалистов широкого университетского профиля на принципе единства учебной, научной и воспитательной работы. В состав кафедры включаются профессора и преподаватели, научные сотрудники, учебно-научно-вспомогательный персонал и другие сотрудники, обеспечивающие деятельность кафедры».

Основной «продукцией» кафедры всегда были, есть и будут подготовленные для нужд страны высококвалифицированные специалисты, а также кадры высшей научной квалификации – кандидаты и доктора наук.

Этим целям и задачам в полной мере отвечала, отвечает и будет отвечать кафедра физики твердого тела. На протяжении всего своего существования кафедра готовит специалистов для нужд материаловедения в самом широком смысле этого понятия, а читаемые курсы находились на переднем плане структурной физики конденсированных сред.

Созданная в далеком 1933 году, в начале индустриализации СССР и развития металлургической промышленности как кафедра металлофизики, только что организованная кафедра сконцентрировала свое внимание на подготовке квалифицированных кадров для заводских лабораторий и лабораторий научно-исследовательских институтов – специалистов по рентгеновской металлографии, способных вести рентгеноструктурные исследования атомно-кристаллической структуры металлов и сплавов.

Спустя 20 лет, в 1953 году, профиль подготовки специалистов на кафедре был изменен: кафедре стала готовить специалистов-физиков широкого профиля с экспериментальным уклоном для научно-исследовательской работы в области структурной физики твердого тела не только в уже сформировавшихся научных направлениях, но и в новых, только что создающихся.

В начале 1960-х годов кафедра стала готовить специалистов по использованию ядерных методов исследования, в первую очередь мессбауэровской спектроскопии, в физике твердого тела.

В 1975 году на кафедре была начата подготовка специалис-

тов по рентгеновским исследованиям структуры белков и других биологических объектов.

В середине 1980-х годов в рабочем плане кафедры нашли место курсы по структурной физике высокотемпературной сверхпроводимости, использованию рентгеновского излучения и мессбауэровской спектроскопии для исследования дефектной структуры и приповерхностных слоев функциональных материалов микроэлектроники; а в начале 2000-х годов – курсы по использованию синхротронного излучения для исследования атомной и магнитной структуры функциональных материалов микро- и наноэлектроники.

К середине 2010-х годов кафедра физики стала готовить специалистов, обладающих профессиональными знаниями в области современных проблем физики конденсированных сред и владеющих передовыми методами исследования (рентгеновскими, ядерно-резонансными, рентгеновскими синхротронными) исследования новых перспективных материалов.

Творческая работа сотрудников кафедры воплощалась и продолжает воплощаться в разработке оригинальных учебных курсов и методик их преподавания, в создании учебников, учебных пособий и монографий, создании учебных практикумов и лабораторий и т.п.

Важное место в их деятельности занимает аттестация научных и педагогических кадров, экспертиза учебных и научных работ путем участия в работе Ученых, специализированных и диссертационных советов, экспертных советов ВАК, Научных и других советов и комиссий Академии наук, Министерства просвещения и Министерства науки и высшего образования, редакцион-

ных коллегий энциклопедий, журналов и других изданий. Очень жаль, что эта повседневная работа, весьма важная для отечественной науки и образования, внешне малозаметна и почти не упоминается в книгах по истории университета, а многочисленные свидетельства о ней с годами бесследно исчезают. Роль же ее для страны бесценна.

Исходя из этого авторы попытались раскрыть различные стороны учебной деятельности кафедры в ее динамичном развитии на протяжении многих десятилетий.

В качестве источников при составлении этого очерка использовались материалы Архива МГУ, где неоценимую помощь нам оказали начальник архива О.В.Золототрубова и специалист архива Н.П.Каргина, рабочие и учебные планы разных лет, программы читавшихся в разные годы специальных курсов.

НАЧАЛО

Создание государственной системы образования в России неразрывно связано с именем Императора Всероссийского Петра I Алексеевича, прозванного Великим.

Хотя история Российского образования и берет свое начало еще в 988 году: «И поставил (Владимир) церковь во имя святого Василия на холме, где стоял идол Перуна и другие и где творили им требы князь и люди. И по другим городам стали ставить церкви и определять в них попов, и приводить людей на крещение по всем городам и селам. Послал он собирать у лучших людей детей и отдавать их в обучение книжное. Матери же детей этих плакали о них; ибо не утвердились еще они в вере, и плакали о них, как о мертвых»[1]; именно Петр I глубоко осознал значение научной мысли, образования и культуры народа для процветания страны.

Реформа образования была для Петра I не менее важной чем военная, государственная или экономическая реформа в силу того, что страна нуждалась в квалифицированных кадрах. Из-за недостаточного уровня развития образования в стране для работы на важных государственных должностях приходилось приглашать иностранцев. России требовались опытные и квалифицированные строители, военные, артиллеристы, моряки, инженеры и представители других специальностей. Введением реформы образования Петр I пытался создать собственную кузницу кадров.

---

[1] Повесть временных лет / подготовка текста, перевод, статьи и комментарии Д.С.Лихачева; под ред. В.П.Адриановой-Перетц. СПб: Наука, 1996. С. 190.

Генрих фон Фик (1679–1750)

22 июня 1718 года иноземный сподвижник Петра I Генрих Фик представил Петру I записку «О нетрудном воспитании и обучении российских младых детей, чтобы оных в малое время в совершенство поставить». Этот доклад удостоился резолюции Петра: «Сделать академию, а ныне приискать из русских, кто учён и к тому склонность имеет, также начать переводить книги юриспруденции и прочия»[2].

Таким образом, именно эту дату можно считать началом работ по созданию Академии наук и художеств в Санкт-Петербурге – прародительницы Российской Академии наук.

2 февраля 1724 года лейб-медик императора Л.Л.Блюментрост на особом заседании Сената в присутствии Петра I представил проект положения об устроении академии. По этому положению академия должна быть не только научной организацией, но и высшим учебным заведением, т.е. университетом[3]. В положении отмечалось: «Универзитет есть собрание ученых людей, которые наукам высоким, яко феологии и юрис пруденции (прав искусству), медицины, философии, сиречь до какого состояния оные ныне дошли, младых людей обучают. Акаде-

---

[2] Пекарский П.П. История Императорской академии наук в Петербурге. Т. 2. СПб.: 1873.

[3] Академия наук Императорская // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). СПб., 1890-1907. т. 1 (1890): А - Алтай, С. 263-267.

мия же есть собрание ученых и искусных людей, которые не токмо сии науки в своем роде, в том градусе, в котором они ныне обретаются, знают, но и чрез новые инвенты (издания) оные совершить и умножить тщатся, а об учении протчих никакого попечения не имеют»[4].

Лаврентий Лаврентьевич Блюментрост (1692–1755)

В соответствии с проектом, «академия наук и курьезных художеств» должна была значительно отличаться от западноевропейских академий. Во-первых, она фактически образовывала неразрывное единство с создаваемыми при ней Академическим университетом и гимназией: хотя формально это были отдельные учреждения, но и в состав членов Академии, и в преподавательский штат университета входили одни и те же люди.

Во-вторых, она представляла собой государственное учреждение, финансировавшееся за счёт казны; а её члены, получая жалование, должны были обеспечивать научно-техническое обслуживание государства. При этом обязанности, возлагаемые на академиков (профессоров), были разнообразными: следить за научной литературой и составлять по своей специальности сводки научных результатов, участвовать в еженедельных заседаниях и годичных публичных собраниях Академии, давать научные справки и проверять предлагаемые Академии новые открытия,

[4] http://www.ras.ru/decree1724.aspx (дата обращения 23.07.2020).

составлять для студентов курсы по своей науке, читать публичные лекции.

8 февраля 1724 года увидел свет Указ Сенату «Об учреждении Академии Наук и Художеств». В соответствии с этим указом, каждый академик должен был составить учебное руководство в пользу учащегося юношества и каждый день по часу заниматься публичным преподаванием своего предмета. Академик должен был подготовить одного или двух воспитанников, которые бы со временем могли заступить на его место, причем Петр высказал желание, «чтобы такие были выбираемы из славянского народа, дабы могли удобнее русских учить» [4].

Обучение в Академическом университете началось в январе 1726 года по трём «классам»: математика, физика и «гуманиоры»[5]. Лекции читались на латинском и немецком языках. Занятия велись нерегулярно, прерывались в 1732-1738 и 1740 году. В 1726-1733 годах в университете обучались 38 человек. По Уставу Академии Наук 1747 года, Академический университет получил самостоятельный статус и штат профессоров, были налажены регулярные занятия; число студентов пополняли лучшие ученики Академической гимназии, Славяно-греко-латинской академии и других учебных заведений, главным образом, духовных.

В 1758-1765 годы ректором Академического университета был М.В.Ломоносов. Он не только занимался наукой, но и прилагал большие усилия для организации и упорядочения учебного процесса, видя необходимость привести его в соответствие европейским университетским традициям. Однако со смертью М.В.Ломоносова университет фактически прекратил свое су-

[5] http://www.encspb.ru/object/2804011690 (дата обращения 23.07.2020).

ществование

В 1770-х годах Академический университет и Академическая гимназия были объединены в «Училище Академии». Лучшие из старших гимназистов производились в студенты и слушали лекции профессоров. Подготовка студентов в училище (гимназии) продолжалась до 1805 года.

Михаил Васильевич Ломоносов (1692–1755)

Академический университет не стал национальным общероссийским центром просвещения и в системе Академии наук оказался второстепенным учреждением. Главная неудача в деятельности академического университета заключалась в невозможности поступления в него людей не дворянских сословий. Это обстоятельство привело М.В.Ломоносова к идее создания системы общедоступного образования, основанного на демократических принципах.

Он и стал инициатором учреждения университета в Москве. Заслуга же практического проведения этой идеи в жизнь и быстрое ее осуществление принадлежит Ивану Ивановичу Шувалову.

В июне 1754 года М.В.Ломоносов в письме к И.И.Шувалову сформулировал предложения по организации Московского университета, а уже в 19 июля 1754 года Сенат утвердил «Доношение об учреждении в Москве университета и двух гимназий», представленное И.И.Шуваловым. К доношению был приложен проект их организации, составленный М.В.Ломоносовым.

12 января 1755 года по указу Ее Императорского Вели-

чества Елизаветы Петровны был учрежден Московский университет: « … но как всякое добро происходит от просвещенного разума, а напротив того зло изкореняется, то следовательно нужна необходимая о том стараться, чтоб способом пристойных наук, возрастало в пространной нашей империи всякое полезное знание … как наука везде нужна и полезна, и как способом той просвещенные народы превознесены и прославлены над живущими во тьме неведения людьми … пространная наша империя установленною здесь дражайшим родителем нашим, государем Петром Великим, Санктпетербургскою Академиею … хотя оная со славою иностранною и с пользою здешнею плоды свои и производит, но одним оным ученым корпусом довольствоваться не может … для учения вышним наукам желающим дворянам, или тем, которые в вышеписанныея места для каких-либо причин не записаны, и для генерального обучения разночинцам, упомянутый наш действительный камергер и кавалер Шувалов, о учреждении вышеобъявленнаго в Москве университета для дворян и разночинцов, по примеру европейских университетов, где всякаго звания люди свободно наукою пользуются, и двух гимназий, одну для дворян, другую для разночинцов, кроме крепостных людей …»[6].

В составе Университета было образовано три факультета: юридический, медицинский и философский, объединявших 10 профессоров, в том числе профессора физики, который «обучать должен физике экспериментальной и теоретической».

Обучение в университете продолжалось три года. Все сту-

[6] Проект об учреждении Московского университета. http://letopis.msu.ru/documents/270

денты начинали учиться на философском факультете, где получали базовую подготовку по естественным и гуманитарным наукам. Образование можно было продолжить, специализируясь на юридическом, медицинском или на том же философском факультете.

Иван Иванович Шувалов (1727–1797)

В отличие от университетов Европы, в Московском университете не было богословского факультета, что объяснялось наличием в России специальной системы образования для подготовки служителей православной церкви. Профессора читали лекции не только на латыни, общепризнанном языке науки того времени, но и на русском языке. При этом материал лекций и порядок их чтения определялся профессорским собранием.

До 1804 года деятельность университета регулировалась «Высочайше утвержденным проектом о учреждении Московского университета». В 1804 году был принят университетский устав, в соответствии с которым «Императорский Московский Университет есть вышнее ученое сословие, для преподавания наук учрежденное. В нем приуготовляется юношество для вступления в различные звания Государственной службы»[7].

Московский университет включал в себя четыре отделения или факультета: нравственных и политических наук, физических и математических наук, врачебных или медицинских наук и сло-

[7] Университетский Устав 1804 года. http://letopis.msu.ru/documents/327

весных наук, объединявших 28 профессоров, 12 адъюнктов, 3 лектора или учителя французского, немецкого и английского языков, 3 учителя приятных искусств и гимнастических упражнений. На отделении физических и математических наук был и профессор «теоретической и опытной Физики».

По Уставу 1804 года Университету предоставлялась значительная автономия, ректор и деканы факультетов избирались из числа профессоров. Совет профессоров решал все вопросы университетской жизни, присуждал степень кандидата, магистерское и докторское достоинства (степени). Тем самым вводилась иерархия ученых степеней кандидат – магистр – доктор, каждая из которых соответствовала более глубокому усвоению наук и одновременно давала право на все более высокий чин: кандидат – 12-го класса, магистр – 9-го класса, доктор – 8-го класса (потомственное дворянство).

Желающие обучаться в университете юноши должны были представить документ об окончании гимназии либо сдать вступительные экзамены. Обучение продолжалось 3 года. После выпускных экзаменов лучшим из оканчивавших университет присваивалась степень кандидата, остальным – звание «действительный студент».

В тоже самое время, основной деятельностью профессора Университета являлось преподавание: «Главная должность Профессоров состоит в том, чтобы: 1) Преподавать курсы лучшим и понятнейшим образом, и соединять теорию с практикою во всех науках, в которых сие нужно; 2) Преподавая наставления, пополнять курсы свои новыми открытиями, учиненными в других странах Европы; 3) Присутствовать в заседаниях и при испытаниях;

4) Руководствуя Адъюнктов, подавать им способ достигать высшего степени совершенства». Хотя при этом и предполагалось, что «К особливому достоинству Университета отнесется составление в недре оного ученых обществ, как упражняющихся в словесности Российской и древней, так и занимающихся распространением наук опытных и точных, основанных на достоверных началах (exactes)».

В 1835 году был принят первый унифицированный «Общий устав Императорских российских университетов». Хотя и названный «общим», Устав был распространен только на четыре университета: Московский, С.-Петербургский, Харьковский и Казанский. Киевский университет Святого Владимира и Дерптский университет временно сохраняли свои уставы

Устав 1835 года менял взгляды на предназначение университетов: университет больше не рассматривался как «ученое сословие» профессоров и студентов, объединенное двумя целями: учебной и научной деятельностью, а превращался в учебное заведение, «состоявшее под особым покровительством Его Императорского Величества»[8], основанное на «русских началах», то есть способное дать «перевес отечественному воспитанию над иноземным».

Автономия университетов, которая и по уставу 1804 года ограничивалась Министерством народного просвещения и попечителем, стала еще более ограниченной.

Правление университета состояло из ректора и деканов, но вместо «непременного заседателя» в его состав был введен син-

[8] Университетский Устав 1835 года.
http://letopis.msu.ru/documents/2123

дик и новый обязательный член – инспектор, утверждаемый министром просвещения и осуществляющий «особенный и ближайший надзор за нравственностью всех учащихся Университета». Изменилось и взаимоотношение университетов и учебных округов: если ранее университеты сами были центрами учебных округов, то по Уставу 1835 года уже попечитель учебного округа управлял всеми сферами жизнедеятельности университета. Это привело к ослаблению просветительско-воспитательного влияния университетов на население российских губерний.

По Уставу 1835 года основная административная власть в университете принадлежала попечителю как «непосредственному начальнику» над университетом. Ему подчинялось Правление. Упразднялся университетский суд. Контроль за расходами изымался из ведения Совета и передавался попечителю. Фактически, деятельность Совета ограничивалась лишь учебными делами: выборами ректора и деканов (на 4 года, с последующим утверждением: деканы – министром, ректор – императором), почетных членов и корреспондентов, профессоров и адъюнктов, претендовавших на занятие вакантных кафедр; общим руководством учебным процессом.

Уставом 1835 года Советам давалось право возводить в ученые степени («Степени сии суть: кандидат, магистр и доктор») и впервые устанавливались и порядки их присвоения: «Студенты, окончившие с отличным успехом курс наук в университетах, могут быть прямо удостаиваемы степени кандидата; прочие их товарищи и студенты лицеев, получившие одобрительные аттестаты и право на классные чины, допускаются немедленно к испытанию в кандидаты, через год по получении сей

степени, в магистры, и через год по приобретении сего звания, в докторы. Если желающий получить учёную степень не слушал лекций в университете или лицее, то должен выдержать прежде студентское испытание».

Большие изменения претерпела и университетская организация. Университет снова был разделен на три факультета: юридический, философский и медицинский – во главе с деканами, объединявших 33 кафедры. Философский факультет состоял из двух руководимых деканами отделений: историко-филологического и физико-математического. На физико-математическом отделении философского факультета была и кафедра «физики и физической географии».

Для постижения догматического и нравоучительного богословия, церковной истории и церковного законоведения была учреждена внефакультетская кафедра, а изучение данных предметов стало обязательным для всех студентов греко-российского вероисповедания.

Согласно штатному расписанию, Московскому университету полагалось иметь 26 ординарных и 13 экстраординарных профессоров, 1 профессора богословия, 8 адъюнктов. Помимо этого, появилось по 4 лектора для изучения немецкого, французского, английского и итальянского. Кроме учителя рисования, было разрешено приглашать учителей искусств: фехтования, музыки и танцев.

Вводятся ограничения на занимаемые должности «Никто не может быть ординарным или экстраординарным профессором, не имея степени доктора того факультета, к которому принадлежит кафедра. Для получения звания адъюнкта, надлежит по крайней

мере иметь степень магистра».

Учебная нагрузка профессоров составлялась из расчета восемь часов в неделю. Для улучшения качества преподавания профессора имели возможность выписать из-за границы требуемые им в учебном процессе новейшие пособия. А профессора, совмещавшие преподавательский труд с научной деятельностью, имели права выписать периодические издания и монографии, опубликованные за рубежом, и беспошлинно их получить.

Новый устав не вводил новых ограничений для поступающих: любой юноша, окончивший полный гимназический курс, допускался к «предварительным испытаниям» по правилам, разработанным Министерством народного просвещения. Его успехи в гимназии учитывались при предоставлении льгот на вступительных экзаменах: «одобрительные свидетельства» об окончании гимназического курса могли избавить абитуриента от необходимости прохождения экзаменационных испытаний.

Полный курс обучения на медицинском факультете составлял пять лет, на всех остальных – четыре года.

Реформа Устава 1835 года началась уже в самом начале царствования Александра II. С 1856 года вновь стали практиковаться запрещенные в 1848 году командировки выпускников за границу для подготовки к профессорскому званию[9]. В университетах появилось большое количество молодых профессоров, бывших в основном приверженцами либеральных идей. В 1856 году началась разработка нового университетского устава, проект

---

[9] Волосникова Л.М. Университетский устав Российской империи 1863 года – режим академической свободы // История государства и права. 2006. № 5. С. 13-16.

которого был подготовлен к 1858 году. Обсуждение проекта велось медленно, между тем в университетах возникли студенческие беспорядки, принявшие столь серьезный характер, что, например, 12 октября 1861 года в Москве состоялось «Дрезденское сражение» между студентами Московского университета и полицией, а Петербургский университет вообще был закрыт с 20 декабря 1861 года на неопределенный срок «до пересмотра университетского Устава»[10].

При этом интересно отметить разницу в отношении к студентам и к студенческим волнениям в Московском и Петербургском университетах. В Петербургском университете сами профессора втягивали студентов в дела переустройства России и формировали у студентов высокомерно-пренебрежительное отношение к учебным обязанностям. В Московском же университете профессора раньше своих коллег из других университетов поняли опасность, исходившую от вседозволенности студентов, которые больше занимались политикой, чем учебой, и уже с самого начала студенческих беспорядков преподаватели Московского университета заняли непримиримую позицию бойкота взбунтовавшихся студентов: «Профессора вели себя безупречно. И старые, и молодые единодушно стояли за водворение порядка… Никто из нас не одобрял новых мер, но все мы – от первого до последнего – были убеждены, что для восстановления правильной университетской жизни необходимо прекращение смут»[11].

---

[10] Новиков М.В., Перфилова Т.Б. Студенческие волнения накануне «эпохи Великих реформ» // Ярославский педагогический вестник. 2013. № 2. Том 1 (Гуманитарные науки). С. 14-32.
[11] Чичерин Б.Н. Воспоминания. Московский университет. М.: Издание М. и С.Сабашниковых, 1929. С. 17.

В связи со студенческими беспорядками подготовка устава активизировалась.

Константин Дмитриевич Кавелин[12]
(1818–1885)

Новый проект, выработанный с участием профессоров, был отправлен крупным европейским ученым и специалистам в области высшего образования с просьбой прислать отзывы, а в 1862 году в длительную командировку отправился К.Д.Кавелин, которому было поручено ознакомиться с организацией высшей школы в Германии, Франции и других европейских государствах.

После длительных дискуссий был выработан компромиссный вариант устава, утвержденный Александром II 18 июня 1863 года.

Устав 1863 года стал самым либеральным из всех университетских уставов дореволюционной России и хотя и не удовлетворил всех требований сторонников академической свободы, исходил из понимания университетов как центров науки и необходимости отмены чрезмерной регламентации их деятельности. Его

[12] Константин Дмитриевич Кавелин (1818–1885) – русский историк, государствовед, психолог, социолог и публицист.
Адъюнкт Московского университета (1844-1848); учитель по русской истории и гражданскому праву наследника престола, старшего сына Александра II, цесаревича Николая Александровича (1857 – 1858); профессор С.Питербургского университета (1857-1858); профессор Военно-юридической академии (с 1878); президент Вольного экономического общества (1882-1884). Автор «Записки об освобождении крестьян» (1855).

действие распространялось на пять существовавших к тому времени российских университетов: Московский, Петербургский, Казанский, Харьковский и Киевский. Вновь были введены выборность ректора, деканов, профессоров (с утверждением министра) и всех административных должностей, восстановлены (и расширены) права Совета профессоров и университетский суд[13].

По Уставу 1863 года «науки, входящие в состав университетского преподавания, распределяются по факультетам и кафедрам», каждый университет должен был иметь четыре факультета – историко-филологический, физико-математический, юридический и медицинский, а на физико-математическом факультете – кафедру «физика». Согласно штату, в университете полагалось иметь 57 профессоров и 33 доцента на 53 кафедрах. Именно Устав 1863 года заложил существующую ныне структуру «Университет – факультет – кафедра», ведь, если быть до конца строгими, в предыдущих Уставах понятие «кафедра» не вводилось: были профессор «теоретической и опытной Физики» (Устав 1804 года) или преподается наука «Физика и физическая география» (Устав 1835 года).

Преподаватели подразделялись на ординарных и экстраординарных профессоров, доцентов (вместо адъюнктов) и лекторов. Впервые был введен институт приват-доцентов, с предоставлением университету права принимать приват-доцентов в неограниченном количестве, а приват-доцентам – самим выбирать курсы, которые они желают читать. Допускалось и увеличение числа профессоров и доцентов по сравнению с предусмотренным в

[13] Университетский Устав 1863 года. http://letopis.msu.ru/documents/2760

Уставе.

Должность профессора мог занимать человек, известный своими научными трудами и педагогической деятельностью. Ординарный профессор состоял в должности и не мог занимать других должностей. Кроме чтения лекций, на него возлагалось также руководство практическими занятиями, прием экзаменов, составление учебно-методических руководств, чтение публичных лекций, содействие в научной разработке вопросов, имеющих отношение к предмету. Штатные профессора читали столько часов лекций в неделю, сколько назначит им факультет на основании представленных ими соображений. Экстраординарный профессор приглашался только для чтения лекций по одному из учебных предметов.

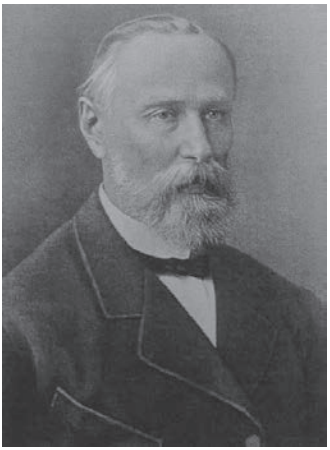
Совет был вправе с утверждения министра делить факультеты на отделения, заменять одни кафедры другими, соединять и разделять их, отправлять выпускников, выбранных факультетами, за рубеж в научные командировки. С утверждения попечителя Совет был вправе проводить допуск приват-доцентов к чтению лекций, устанавливать правила приема студентов и их поведения. Самостоятельно Совет мог распределять предметы по факультетам и утверждать факультетские постановления о порядке их преподавания; утверждать в звании «действительный студент» и присуждать степени кандидата, магистра, доктора (с 1837 года это право было ограничено утверждением попечителя для кандидата или министра для магистра и доктора), оставлять при университете выпускников для подготовки к профессорскому званию, объявлять конкурсы для занятия вакантных кафедр.

Однако вместе с большим числом либеральных поправок,

Устав 1863 года значительно ограничивал права поступающих. Под благовидным предлогом изменения к лучшему состава студентов, достаточно подготовленных для слушания университетского курса, от всех абитуриентов требовался гимназический аттестат.

Помимо этого, Устав 1863 года вызывал недовольство консервативных кругов как излишне либеральный и способствующий распространению среди молодежи революционных идей.

После убийства Александра II в 1881 году на престол вступает император Александр III. Одной из его реформ, направленных на наведение порядка в стране стала реформа университетов, в рамках которой 23 августа 1884 года был принят новый «Общий устав императорских российских университетов». Проект Устава был разработан на основе идей ведущего консервативного публициста М.Н.Каткова под руководством министра народного просвещения И.Д.Делянова.



Михаил Никифорович Катков (1818 —1887)

Иван Давыдович Делянов (1818—1897)

Свои основные идеи по реформе университетского образования М.Н.Катков сформулировал своих письмах к Александру II и Александру III:

«… Если гимназии дают университетам слушателей, то университеты дают гимназиям учителей, – а также деятелей на всех поприщах государственной службы. Но устройство наших университетов на основании устава 1863 года представляет аномалию, какой нет ничего подобного в других странах. Этим уставом государство неизвестно зачем и в чью пользу отреклось от неотъемлемых прав своих и священной обязанности в деле научного образования юношества, из которого должны выходить его деятели и просветители народа. Пока наши университеты не получат правильного устройства, нельзя считать дело образования в России обеспеченным…

Нынешнее устройство университетов наших называют «самоуправлением»; но самоуправлением может быть признано лишь такое устройство, при котором люди о собственных делах заботятся сами. Так было бы, если бы речь шла об автономии какого-либо ученого общества, которому предоставлено определять круг своих занятий, выбирать своих членов, предпринимать экспедицию и т.д. То ли видим в университетах? Профессорские коллегии, пользуясь правительственным авторитетом, бесконтрольно и безответственно распоряжаются не своими делами, а участью громадной массы учащихся, которые не только обязываются моделировать свой образ мыслей согласно тому, что этим коллегиям заблагорассудится преподать им под видом науки, но от них же получают и служебные права. Самая важная часть предполагаемой реформы заключается в положении об экзаме-

нах, которые по проекту должны производиться не преподавателями их лекций, ими читанных, а особыми комиссиями по установленным общим программам, так что экзамены будут служить не только проверкой познаний студентов, но и регулятором лекций их профессоров. Программы государственных экзаменов определят и содержание, и размеры университетских курсов. Профессора обязаны будут читать именно то, что потребуется от студентов на государственном экзамене, и студент для получения прав на государственную службу должен будет доказать свои познания в науках, а не в том, что вздумается прочесть профессору и что может вовсе не соответствовать требованиям ни науки, ни государства. Студенту, с другой стороны, предоставляется свобода распределять свои занятия и благодаря учреждению приват-доцентства выбирать преподавателей, которые могут лучше и вернее руководить в приобретении познаний, требуемых государственными испытаниями. Со своей стороны профессора освобождаются от тирании своих товарищей, более искусных в интриге, которые захватывают в коллегии власть, терроризуя непокорных то посредством «студенческих историй», то страхом забаллотировки при возобновлении срока службы и всякого рода неприятностями и притеснениями, так что в университетских советах нет свободы мнений голоса, и большинство безусловно покорствует кучке интриганов, немногочисленной, но крепко сплоченной. При новом устройстве все поводы к агитации и интриги в профессорских коллегиях прекратятся, в стенах университета водворится спокойствие и дух, освобожденный от посторонней и притом дурной примеси. Надзор за студентами и их ограждение от

вредных влияний может стать правдой только при новом уставе [14]

Таким образом, как следует из идей М.Н.Каткова, реформа университетского образования в Российской империи была направлена на то, чтобы сделать образование максимально приближенным к потребностям государства.

Главное отличие Устава 1884 года[15] от всех предшествующих Уставов состояло в том, что Устав 1884 года определял не только принципы управления университетами и организацию их академического порядка, он определял и сам характер учебной деятельности, содержание и направленность учебного процесса.

Административная структура университета, состоявшая из факультетов и кафедр, сохранялась, претерпевая значительные изменения. Университет состоял из факультетов: историко-филологического, физико-математического, юридического и медицинского. Историко-филологический факультет разделялся на три отделения: древнеклассической филологии, славянорусской филологии и исторических наук; физико-математический факультет – на 2 отделения: математических наук и естественных наук. Факультеты объединяли 52 кафедры, одна из них – кафедра «Физики и физической географии».

Штатный состав университета включал 48 ординарных и 23 экстраординарных профессора. Должности доцентов отменялись, в штат вводились должности приват-доцентов. В активной деятельности приват-доцентов на благо российского высшего об-

---

[14] Катков М.Н. Письма к Александру II и Александру III //Былое. 1917. Кн. № 4. С. 3-32.
http://dugward.ru/library/katkov/katkov_pisma_k_alexandru2.html
[15] Университетский Устав 1884 года.
http://музейреформ.рф/node/13676

разования видели наиболее действенный способ осуществления конкурсного отбора между лицами, добивавшимися профессуры. Устав закреплял положение профессоров и приват-доцентов в качестве чиновников государственной службы.

Была существенно стеснена университетская автономия, ограничено университетское самоуправление, расширена власть попечителей округов в отношении университетов. Ректор назначался министром народного просвещения из числа ординарных профессоров и утверждался на 4 года, при этом допускалось повторное назначение одного ректора. Деканы избирались попечителем учебного округа из профессоров соответственного факультета и также утверждались министром на четыре года. Должность проректора упразднялась, уничтожался университетский суд, ограничивались права и возможности университетских Советов – принцип выборности устранялся. Подтвердив право факультетов выдвигать кандидатов на вакантную должность профессора или приват-доцента, Устав оставил за министром просвещения последнее слово в утверждении на эту должность избранного кандидата. Решения университетских советов и правлений по сколько-нибудь важным вопросам (включая принятие семестрового расписания занятий) подлежали утверждению министра или попечителя учебного округа. Впервые в российском праве предусматривалась возможность «вредного направления» лекций университетских преподавателей.

Значительное внимание уделялось борьбе со студенческими беспорядками, а обязанность поддержания порядка стала для университетской администрации одной из основных задач. Тем не менее для этого же в университетах создавалась инспекция,

подчиненная не ректору, а непосредственно попечителю. Правила о порядке в университетах стали издаваться министром. Они предусматривали, в частности, призыв в армию студентов, отчисленных за участие в беспорядках.

Однако значительно более важные для настоящего изложения изменения содержали статьи Устава о студентах Императорских университетов.

Единственным условием поступления в университет устанавливался аттестат или свидетельство зрелости, полученное в гимназии или приравненном к гимназии учебном заведении. В число вольнослушателей допускались «посторонние лица, имеющие определенное общественное положение или занятие». Прием абитуриентов происходил один раз в год, «перед 20 августа». Абитуриент мог записаться только на один из существующих в университете факультетов, взяв на себя обязательство соблюдать в зданиях университета порядок, предусмотренный правилами Министерства народного просвещения.

В Уставе появился ряд норм, почерпнутых из европейского опыта:

- установление гонорарной системы оплаты труда преподавателей;
- разработка факультетами двух и более различавшихся учебных планов, предлагаемых студенту на выбор;
- студенты могли выбирать преподавателя, лекции и практические занятия которого они предпочитают посещать;
- разделение академического года на семестры и введение полугодовых (семестровых) экзаменов;
- введение государственных экзаменов, к которым допуска-

лись только те студенты, которым было зачтено 8 (на медицинском 10) семестров;

- был разрешен переход обучающихся из одного университета в другой.

На всех факультетах вводились учебные планы, в которых каждому студенту обозначались как науки, подлежавшие изучению на время обучения (4 года на историко-филологическом, физико-математическом и юридическом факультетах, и 5 лет на медицинском факультете), так и порядок их изучения. Студентам предоставлялось право, кроме предметов своего факультета, слушать лекции на других факультетах у избранных ими преподавателей.

Перед наступлением каждого семестра студент выбирал основные, дополнительные и необязательные факультативные предметы, которые он должен был и хотел бы изучать, и предъявлял этот список на утверждение декану своего факультета[16].

Важным видом академических занятий стала самостоятельная работа студентов на практических, семинарских, «научных» занятиях.

Степени кандидата и «действительного студента» были заменены дипломами 1-й и 2-й степени.

С уверенностью можно говорить о том, что в части, касающейся студентов, Устав 1884 года имел своей главной целью поставить учащихся в такое положение, в котором их внимание было бы сосредоточено исключительно на учебном процессе.

---

[16] Новиков М.В., Перфилова Т.Б. Университетский устав 1884 г.: иллюзия академической свободы (Часть I) // Ярославский педагогический вестник. 2014. № 1. Том 1 (Гуманитарные науки). С. 27-40.

Конечно же, Университетский устав 1884 года был крайне непопулярен и у либеральной профессуру, и среди студенчества. Беспорядки во время его действия продолжались и усиливались. Тем не менее, Устав формально действовал до 1917 года. Однако его важнейшие положения были пересмотрены указом о введении в действие временных правил об управлении высшими учебными заведениями ведомства министерства народного просвещения (1905 год) и законом о временном улучшении материального положения профессоров российских университетов и Демидовского юридического лицея (1916 год). Временные правила 1905 года ввели выборность (с утверждения министра) ректоров университетским советом, а деканов и факультетских секретарей – собраниями факультетов. Закон 1916 повысил содержание преподавателям и упразднил гонорарную систему.

С 1905 года велась работа по составлению нового университетского устава, однако из-за острых разногласий в правящих кругах и частой смены министров просвещения она не была завершена.

При этом, как мы видим, основной деятельностью профессоров продолжает оставаться преподавательская работа, а непосредственно научно-исследовательская работа является, фактически, побочным делом. В обрасти физических наук это проявилось особенно ярко: системы научно-исследовательских институтов в тогдашней России не существовало, а в весьма ограниченном числе научных лабораторий Академии наук чисто физическими исследованиями практически не занимались.

Русские ученые-физики до революции работали, как правило, в одиночку и не оставляли после себя не только научной шко-

лы, но даже определенного научного направления. Тематику своих исследований они привозили из-за границы в результате командировок (предусмотренных Уставами 1863 и 1884 годов) в одну из западноевропейских научных школ. Используя результаты выполненных там научных исследований, российские ученые оформляли их в виде магистерских диссертаций, и, развивая дальнейшими работами, доводили впоследствии до докторских диссертаций.

Значительная часть проводимых в университетских лабораториях исследований сводилась к повторению или уточнению тех или иных вариантов иностранных работ без какого-либо глубокого теоретического осмысления. Отдельные работы российских физиков вызывали заметный интерес за рубежом, однако, даже лучшие работы отечественных физиков не образовывали какого-либо глубокого научного направления, а представляли собой разрозненные, хотя порой и блестящие исследования. Самостоятельной российской физической научной школы не возникало, а в среде российских физиков преобладало тяготение к зарубежным идейным научным центрам.

Тем не менее, к началу XX века в Москве в Императорском Московском университете сформировалась первая самостоятельная физическая школа, в России, основанная выдающимся русским ученым Петром Николаевичем Лебедевым.

П.Н.Лебедев получил прекрасное образование в Страсбургском университете (1887-1890 гг.) в лаборатории Августа Кундта.

А.Кундт, выдающийся лектор и талантливый ученый, кавалер высшей награды Пруссии – ордена “За заслуги” (Pour le Mérite), значительное время уделял работе с молодежью. Его

учениками были будующие нобелевские лауреаты В.К.Рентген и К.Ф.Браун, Н.Тесла, И.П.Пулюй (в 1888-1889 гг. ректор Немецкой технической школы, ныне Чешский технический университеет), Д.А.Гольдгаммер (инициатор создания физического института, ректор (1916 г.), председатель ученого совета (1916-1918 гг.) Казанского университета) и многие другие.

Август Адольф Эдуард Эберхард Кундт (1839-1894)

Петр Николаевич Лебедев (1866-1912)

Интересным факт связан с именем И.П.Пулюя. В современной украинской прессе высказывается мнение, что именно Пулюй, а не Рентген был первооткрывателем рентгеновских лучей. Это мнение опровергается в посвященной Пулюю монографии[17], где подробно анализируются истоки и развитие этой легенды, и в других работах по истории физики[18].

В августе 1891 года, вернувшись из Германии, П.Н.Лебедев

[17] Гайда Р., Пляцко Р. Іван Пулюй. 1845-1918: Життєписно-бібліографічний нарис. Україна, Львів: Наукове товариство імені Шевченка у Львові, 1998. 284 с.
[18] Фіалков Л. Іван Пулюй ніколи не спростовував відкриття Рентгена (укр.) // Вісник НАНУ. 1996. Вип. 9-10. С. 93-95.

был принят в Физическую лабораторию Московского университета[19].

Физическая лаборатория была создана в Московском университете усилиями А.Г.Столетова в 1888 году. В этой лаборатории студенты старших курсов могли вести практические занятия, а преподаватели в освободившееся от занятий время могли заниматься научными исследованиями. Однако физическая лаборатория Московскогоуниверситета по своему оборудованию и по возможностям вести научные исследования существенно отставала от европейских университетов и А.Г.Столетов мечтал о создании в университете физического института, который мог бы стать центром экспериментальной физики в России.

В 1896 году А.Г.Столетов представил проект по созданию в Императорском Московском университете научно-исследовательского Физического института на базе Физической лаборатории физико-математического факультета. Однако преждевременная кончина не позволила А.Г.Столетову довести начатое дело до конца. Проектирование Физического института велось уже под руководством комиссии в составе Н.А.Умова, А.П.Соколова и П.Н.Лебедева.

Постройка института, начатая в 1897 году, была завершена лишь в 1903 году. Физический институт Московского университета стал вторым в России зданием, специально спроектированным и построенным для физиков, отдав пальму первенства Физическому институту Санкт-Петербургского университета, открытому в 1901 году.

---

[19] Березанская В.М., Лукичев М.А., Шаульская Н.М. П.Н.Лебедев. К 150-летию со дня рождения. М.: Издательство РМП, 2016. 192 с.

Основными научными направлениями в деятельности Физического института Московского университета стали те области тогдашней физики, которые находились в сфере интересов П.Н.Лебедева и в значительной мере были связаны с исследованиями электромагнитного излучения.

В контексте нашего дальнейшего повествования интересно отметить одну не часто вспоминаемую работу П.Н.Лебедева. Испытывая страсть к трудноразрешимым экспериментальным проблемам, имевшим принципиальное значение для науки, П.Н.Лебедев увлекся мыслью сделать что-нибудь для разъяснения природы *X*-лучей, только что открытых выдающимся немецким физиком Вильгельмом Конрадом Рентгеном.

Открытие *X*-лучей произошло 8 ноября 1895 года и уже в начале января 1896 года В.К.Рентген разослал оттиски статьи «О новом роде лучей» своим друзьям и коллегам – крупнейшим авторитетам в области физики, в том числе и П.Н.Лебедеву, которого он знал как талантливого ученика А.Кундта.

Получив от В.К.Рентгена статью «О новом роде лучей», П.Н.Лебедев сделал доклад о рентгеновых лучах на заседании Московского физического общества: «… Еще никогда ни одно открытие в области физики не встречало такого всеобщего интереса, и не было так обстоятельно обсуждено в периодической печати, как открытие Рентгеном нового, до той поры неизвестного рода лучей… Причину такого интереса надо искать как в применениях лучей Рентгена для медицинских целей и тех смелых надеждах, которые возлагали на новый диагностический метод, так и в возможности делать снимки с невидимых глазу предметов

весьма простым и легко доступным способом…»[20].

Публичная лекция П.Н.Лебедева «Об открытых Рентгеном *X*-лучах» была напечатана в журнале «Русская мысль» за 1896 год[21] и сопровождалась примечанием: «Из публичной лекции, читанной 29 января и 8 февраля 1896 г. в физической аудитории Московского университета». В этой статье П.Н.Лебедев, рассказывая подробно о свойствах Х-лучей и рассматривая возможные пути их применения, обращает особое внимание на необходимость дальнейшего всестороннего изучения этого физического явления.

Евграф Степанович Федоров (1853-1919)

В то самое время, когда первая российская физическая школа только создавалась, российская минералогическая и кристаллографическая школа уже имела мировую известность. Эта известность в первую очередь была вызвана работами Евграфа Степановича Федорова: основоположника современной кристаллографии, автора первого вывода 230 пространственных групп симметрии (федоровских групп).

Московская минералого-кристаллографическая наука стала

---

[20] см. [18], с. 91.

[21] Лебедев П.Н. Об открытых Рентгеном х-лучах // Русская мысль. 1896. Май. С. 150-158.
Лебедев П. Н. Собрание сочинений: I. Научные работы. II. Популярные статьи и речи. М.: Изд. Моск. физико-хим. о-ва им. П.Н.Лебедева, 1913. С.264-277. http://books.e-heritage.ru/book/10070526

развиваться с приходом 22 ноября 1890 года Владимира Ивановича Вернадского на должность приват-доцента кафедры минералогии и геологии физико-математического факультета Московского университета.

В 1907 году В.И.Вернадский пригласил на должность приват-доцента кафедры минералогии и геологии Московского университета профессора Императорского Варшавского университета Георгия Викторовича Вульфа.

Владимир Иванович Вернадский (1863-1945)

Георгий (Юрий) Викторович Вульф (1863-1925)

В 1889 году Г.В.Вульф, будучи ассистентом кафедры минералогии и геологии Императорского Варшавского университета, был направлен на стажировку в лабораторию лидера немецкой кристаллографической школы Пауля фон Грота в Мюнхене. Перед отъездом Г.В.Вульф посетил Петербург, где познакомился с Е.С.Федоровым и В.И.Вернадским. Впоследствии именно Г.В.Вульф реферировал работы Е.С.Федорова для журнала «Zeitschrift fur Krystallographie», издаваемого П.Гротом.

Таким образом, в 1907 году физики в Московском универ-

ситете жили с мыслью о том, что «*X*-лучи суть лучи ультрафиолетовые»[20](П.Н.Лебедев), а кристаллографы – с мыслью о том, что физические свойства кристаллов определяются упорядоченным расположением атомов в пространственных решетках (Г.В.Вульф).

Как мы сейчас знаем, аналогичные воззрения, сформировавшиеся в Мюнхенском университете, привели к эпохальному событию, оказавшему значительное влияние на развитие мировой науки. В январе 1912 года дссертационная работа Пауля Эвальда натолкнула Макса фон Лауэ на идею о том, что объединив тогда еще гипотетические представления о волновой природе рентгеновского излучения и внутреннем строении кристалла, в котором атомы занимают строго регулярные позиции в трехмерной пространствен, с помощью кристалла можо получить дифракционную, если длина волны рентгеновского излучения порядка периода кристалла. В апреле того же года Вальтер Фридрих и Пауль Книппинг подтвердили идеи Макса фон Лауэ и экспериментально обнаружили дифракцию рентгеновских лучей при прохождении через кристалл[22].

Но вернемся в Московский университет. В 1910 году по специальности физика математическое отделение физико-математического факультета окончил Николай Евгеньевич Успенский[23]. После окончания факультета, Н.Е.Успенский был

---

[22] Friedrich W., Knipping P., Laue M. Interferenz-Erscheinungen bei Rontgenstrahlen. // Sitzungsberichte der Kgl. Bayer. Akad. der Wiss. 1912. S. 303-322.
Friedrich W., Knipping P., Laue M. Interferenz-Erscheinungen bei Rontgenstrahlen. // Ann. Phys. 1913. Bd. 41. S. 971-988.

[23] Отчет о состоянии и действиях Императорского Московского Университета за 1910 год. М.: Типография Императорского Московского

оставлен при Московском университете для «приготовления к профессорскому званию»[24] на кафедре физики и физической географии.

Николай Евгеньевич Успенский (1885-1949)

По всей видимости, в 1911-1912 годах Н.Е.Успенский был командирован в Мюнхенский университет, так как именно он привез в Москву известие об опытах Лауэ-Фридриха-Книппинга и в ноябре 1912 года доложил об этих опытах на заседаниях Московского физического общества и Общества изучения и распространения физических наук [25].

И совсем не удивительна бурная реакция на это открытие Е.С.Федорова и Г.Ю.Вульфа.

Зимой 1912 года Г.В.Вульф посетил Мюнхен, где встретился с А.Зоммерфельдом и смог увидеть «исторические» рентгенограммы и аппаратуру.

Для Г.В.Вульфа чрезвычайно важным был вопрос о том, как связаны пятна на рентгенограммах с направлениями в кристаллах. Только ответив на него, можно было бы указать способ определения структуры кристаллов по данным дифракции рент-

---

университета, 1911. С. 79.
https://electro.nekrasovka.ru/books/750

[24] см. [22], С. 435.

[25] Сонин А.С. Георгий Викторович Вульф. М.: Наука, 2001.

геновских лучей. В своей статье [26] он рассмотрел случай интерференции рентгеновского излучения в кубических кристаллах ZnS (именно они использовались в опыте Лауэ-Фридриха-Книппинга). А в статье [27] не только дал основную формулу для расчета картин рентгеновской дифракции, но и показал эквивалентность своей формулы и уравнений Лауэ.

Этой работой ([26]) Г.В.Вульф заложил основы рентгеновского структурного анализа и навсегда связал свое имя с законом интерференции рентгеновских лучей, отраженных атомными плоскостями кристалла. «…проф. Вульф, к несчастью, рано умерший, был одним из первых, если не первый, кто нашел нить к разгадке рентгенограмм незадолго до своей смерти» – так написал о нем позже В.И.Вернадский.

Г.В.Вульф в полной мере оценил огромное значение дифракции рентгеновских лучей как нового и единственного в то время метода прямого экспериментального изучения атомного строения кристаллов. Он внимательно следил за развитием работ по рентгеноструктурному анализу и ясно видел перспективы его использования в науке и технике.

Важно отметить, что в феврале 1911 года около 130 профессоров и приват-доцентов Московского университета подали в отставку в знак протеста против реакционной политики правительства в отношении университета (более подробно см. [28]). Из

---

[26] Wulff G. Über die krystallographische Bedeutung der Richtungen der durch eine Krystallplatte gebeugten Röntgenstrahlen // Z. Krystal. 1913. Bd. 52. S. 65-67.

[27] Wulff G. Über die Krystallröntgenogramme // Phys. Z. 1913. Bd. 14. S. 217-220.

[28] Илюшин А.С., Орешко А.П. Кафедра физики твердого тела Московского университета в зеркале столетия. М.: ООО Белый ветер, 2018. С.

университета ушли В.И.Вернадский, Н.А.Умов, К.А.Тимирязев, П.Н.Лебедев, А.А.Эйхенвальд, Г.В.Вульф, П.П.Лазарев и др.

Г.В.Вульф перешел на работу в Московский городской народный университет им. А.Л.Шанявского, работу в котором он совмещал с работой в Московском университете с 1908 года. Н.Е.Успенский, в свою очередь, с 1910 года одновременно с работой в Московском университете, начал педагогическую работу в должности ассистента кафедры физики Московского коммерческого института (ныне Российский экономический университет им. Г.В.Плеханова).

В 1913 году Г.В.Вульфом и Н.Е.Успенским были выполнены и опубликованы две экспериментальные работы [29, 30] по дифракции рентгеновских лучей в кристаллах, ставшие первыми в России по данному вопросу.

Эти экспериментальные работы были выполнены в лаборатории Н.Е.Успенского в Коммерческом институте. Но уже в феврале 1913 года Г.В.Вульф получил установку для своей лаборатории в университете им. А.Л.Шанявского. Эта установка была сконструирована и изготовлена при непосредственном участии самого Г.В.Вульфа за его личные средства и была лишена недостатков установки, применявшейся Фридрихом и Книппингом.

В 1918 году Н.Е.Успенский был избран профессором Коммерческого института, а в 1921 году стал заведующим организованной в институте кафедры рентгенотехники, первой в России.

27-36.

[29] Wulff G., Uspensky N. Über die Beschaffenheit der Maxima bei der Interferenz der X-Strahlen. // Phys. Z. 1913. Bd. 14. H. 16. S. 783-785.

[30] Wulff G., Uspensky N. Über die Interferenz der Röntgenstrahlen. // Ibid. S. 785-787.

В том же самом 1918 году Г.В.Вульф смог возвратиться в Московский университет. В Университете он пользовался авторитетом, был избран председателем предметной комиссии физико-математического факультета и долгое время во многом определял направление преподавания естественных наук.

На естественном отделении физико-математического факультета Московского университета Г.В.Вульф стал читать лекционные курсы, которые сегодня можно было бы охарактеризовать как цикл лекций по структурной физике твердого тела [31, 32]:

«Общий курс кристаллографии для математиков и физиков»,

«Рентгенологические методы исследования кристаллов»,

«Теория внешней формы кристаллов»,

«Термический анализ в применении к минералогии»,

«Введение в кристаллографию»,

«Физика кристаллов».

Эти курсы явились прочной основой новой специализации для подготовки специалистов в области физики твердого тела и рентгеноструктурного анализа в МГУ[33].

Обстановка того времени в университете была очень слож-

---

[31] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 10.

[32] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 18.

[33] Здесь и далее для удобства будет использоваться аббревиатура МГУ, хотя в разные годы Московский университет носил различные названия:

Императорский Московский университет – до февральской революции 1917 года;

Московский университет – между февральской и октябрьской революциями 1917 года;

I Московский государственный университет – с октября 1917 года по сентябрь 1930 года;

Московский государственный университет – с сентября 1930 года по октябрь 1932 года;

Московский государственный университет имени М.Н.Покровского – с октября 1932 года по ноябрь 1937 года;

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова – с мая 1940 года.

ной. 31 мая 1918 года постановлением Народного Комиссариата (**НКП**) РСФСР во всех учебных заведениях введено совместное обучение учащихся обоего пола. Новая власть значительно упростила правила приема в ВУЗы. 2 августа 1918 года приняты Декрет Совета Народных Комиссаров (**СНК**) РСФСР «О правилах приёма в высшие учебные заведения РСФСР» и Постановление СНК РСФСР «О преимущественном приёме в высшие учебные заведения представителей пролетариата и беднейшего крестьянства». Отменялись предъявление свидетельств о среднем образовании при поступлении в ВУЗы и плата за обучение, имущие классы лишались всяких привилегий на получение высшего образования.

Поступить в высшее учебное заведение мог любой желающий, независимо от гражданства и пола, достигший 16 лет. Для этого необходимо было подать заявление и предоставить фотографию. Документов, подтверждающих наличие у абитуриента школьного образования, не только требовалось, но и запрещалось требовать их от поступающих. За нарушение Постановлений правительства все ответственные лица подлежали суду Революционного Трибунала.

Это привело к существенному увеличению численности студентов в университетах и ВУЗах, однако общая подготовка значительной части учащихся оставляла желать много лучшего. Это создало огромные трудности для их обучения тогдашними университетскими профессорами и преподавателями и послужило впоследствии основой масштабного конфликта между студенческой массой и профессорско-преподавательским коллективом.

В том же году были отменены экзамены в ВУЗах, т.е. фор-

мально исключался любой контроль за знаниями студентов. Для уравнения профессорско-преподавательского состава с 1 октября 1918 года отменили ученые степени доктора, магистра, адъюнкта. Устанавливалось единое звание профессора для всех ведущих самостоятельную преподавательскую работу в ВУЗах, для остальных – звание преподавателя. Для профессорско-преподавательского состава вводились периодические конкурсы[34]. Профессора и преподаватели, имевшие на 1 октября 1918 года 10-летний стаж работы в звании профессора или преподавателя, а также проработавшие на научно-учебном поприще 15 лет, выбывали из состава учебного заведения. С 1 января 1919 года они могли быть вновь избраны на кафедры лишь по всероссийскому конкурсу [35].

По воспоминаниям В.В.Стратонова, декана физико-математического факультета в 1920-1922 годах, «При новом правлении в студенты зачисляли лишь при благоприятном заключении декана» [36].

1 июня 1921 г. в МГУ приступила к работе Приёмная комиссия, впервые осуществившая массовый приём по новым правилам. В первую очередь в университет принимали:

- окончивших рабочие факультеты;
- делегированных наркоматами, Всесоюзным центральным советом профессиональных союзов и центральным комите-

[34] Лагно А.Р. Институт ректорства в Московском университете 1920-х – 1930-х гг. // Государственное управление. Электронный вестник. 2011. № 29.
http://e-journal.spa.msu.ru/vestnik/item/29_2011lagno.htm
[35] http://letopis.msu.ru/letopis/1918
[36] Стратонов В.В. Потеря Московским университетом свободы (воспоминания о забастовке 1922 г.). // На рубежах познания Вселенной (Историко-математические исследования, вып. 23, 1991). М.: Физматлит, 1992. С.410-455.
http://old.ihst.ru/projects/sohist/papers/iai/23/410-455.pdf

том профсоюзов;

- членов компартии и комсомола по рекомендациям своих организаций.

Лица, не подпадавшие под эти категории, принимались только в случае наличия свободных мест по личному заявлению. При этом предпочтение оказывалось тем абитуриентам, у которых были рекомендации партийных органов и губернских профсоюзных объединений. От абитуриентов, однако, уже требовалась общеобразовательная подготовка по программе рабфака.

Через год в 1922-1923 учебном году для поступающих, за исключением выпускников рабфака, были введены испытания в форме коллоквиумов и письменных работ. Ограничения же по социальному происхождению оставались.

2 сентября 1921 года Совнаркомом было принято «Положение о высших учебных заведениях» – первый советский устав ВУЗов, в соответствии с которым университеты окончательно включались в формировавшуюся административную систему.

Этим положением устанавливалось, что[37]:

- Студентами высшего учебного заведения могут быть граждане обоего пола, достигшие 16 лет и удовлетворяющие правилам приёма, установленным НКП. Студенты обязаны выполнять все требования учебной повинности. (Доступ в аудитории высшего учебного заведения открыт для всех граждан без различия пола, достигших 16 лет).
- Обучение в высших учебных заведениях бесплатное.

3 июля 1922 года было введено новое «Положение о высших учебных заведениях», согласно которому вводилось платное обучение. Оплата взималась в основном с представителей обеспе-

[37] http://letopis.msu.ru/documents/2762

ченных слоев населения «с твердой гарантией льготных условий платности, а также бесплатности для менее обеспеченных слоев трудящихся и инвалидов войны»[33].

Параллельно с масштабными изменениями всей высшей школы, проходили изменения и внутри Московского университета.

Владимир Александрович Карчагин (1887-1948)

С 1919 года преподаватель В.А.Карчагин, выпускник физико-математического факультета Московского университета 1913 года, начал читать курс «Физика рентгеновых лучей. В 2-х частях»[30]. В 1923 году он стал читать курс «Рентгенотехника»[38].

К середине 20-х годов на физико-математическом факультете МГУ сформировался круг сотрудников, научные интересы которых были связаны с проблемами радиорентгенологии[27], и Г.В.Вульф предложил организовать в университете новую специализацию, а впоследствии, возможно, и кафедру. Однако тяжелая болезнь и преждевременная смерть в 1925 году не позволили ему самому в полной мере осуществить задуманное.

[38] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 86.

ОТ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «РАДИОРЕНТГЕНОЛОГИЯ» ДО КАФЕДРЫ РЕНТГЕНОЛОГИИ (1923-1930)

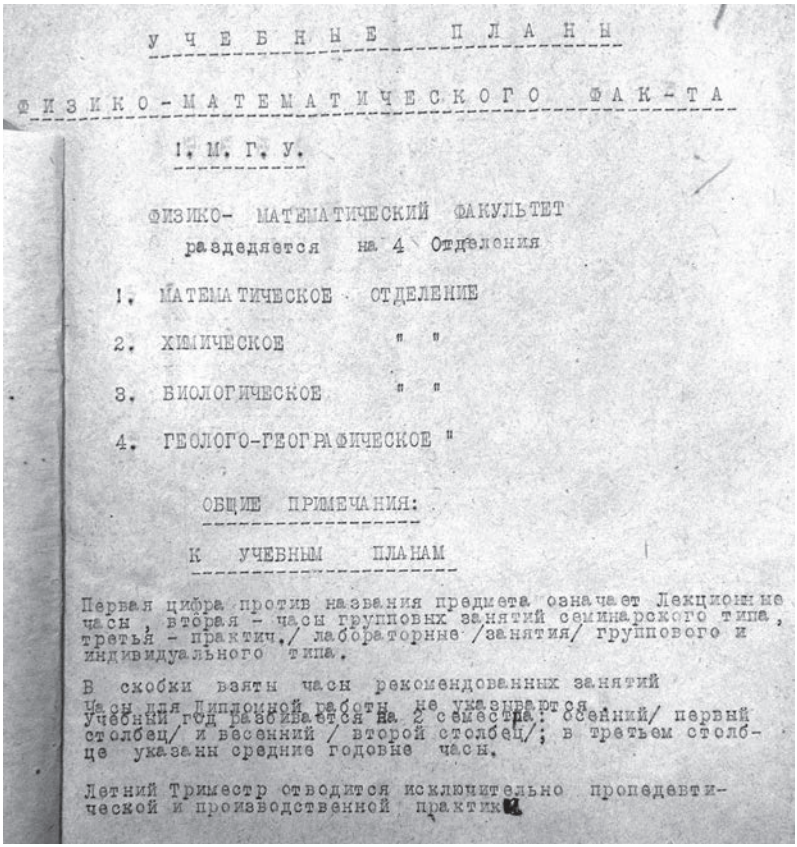
Уже в 1923/1924 учебном году на математическом отделении физико-математического факультета Московского университета в цикле «физика» было организовано обучение по специальности «радиорентгенология»[39]. У истоков ее создания стояли В.А.Карчагин и А.А.Глаголева-Аркадьева.

Александра Андреевна Глаголева-Аркадьева (1884-1945)

А.А.Глаголева-Аркадьева училась на физико-математическом факультете Московских высших женских курсов (1906–1910 года). По окончании факультета она была оставлена при Высших женских курсах ассистентом по кафедре физики и стала руководить занятиями в практикуме по физике. В начале первой мировой войны А.А.Глаголева-Аркадьева устроила и возглавила рентгеновский кабинет для военного госпиталя при Высших женских курсах и работала в нём безвозмездно с группой курсисток до конца войны[40]. В 1916 году она сконструировала прибор для измерения глубины залегания пуль и осколков снарядов у раненых – рентгеностереометр. В дальнейшем она реорганизовала «тот каби-

[39] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 81.
[40] Малов Н.Н. Александра Андреевна Глаголева-Аркадьева (1884–1945). // УФН. 1946. Т. 29. С. 213–217.

нет» для преподавания рентгенологии во Втором Московском Государственном университете (II МГУ), в который были преобразованы Высшие женские курсы. С 1918 года работала в Московском университете.



УЧЕБНЫЕ ПЛАНЫ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

I. М. Г. У.

ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
разделяется на 4 Отделения

1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
2. ХИМИЧЕСКОЕ " "
3. БИОЛОГИЧЕСКОЕ " "
4. ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ "

ОБЩИЕ ПРИМЕЧАНИЯ:

К УЧЕБНЫМ ПЛАНАМ

Первая цифра против названия предмета означает Лекционные часы, вторая - часы групповых занятий семинарского типа, третья - практич./ лабораторные /занятия/ группового и индивидуального типа.

В скобки взяты часы рекомендованных занятий

Часы для Дипломной работы не указываются.
Учебный год разбивается на 2 семестра: осенний/ первый столбец/ и весенний / второй столбец/; в третьем столбце указаны средние годовые часы.

Летний Триместр отводится исключительно пропедевтической и производственной практике.

Учебный план физико-математического факультета
1 М.Г.У. на 1923/1924 учебный год
(Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 81)

1 Я.С. Пржеборовский

2

I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Математическое Отделение разделяется на 5 Циклов :

1. МАТЕМАТИКА
2. ФИЗИКА
3. МЕХАНИКА
4. АСТРОНОМИЯ и ГЕОДЕЗИЯ
5. ГЕОФИЗИКА

I Курс

/ Общий для всего Отделения /

	Осенн. Сем.			Весен. Сем.			Сред. годов		
	Лк.	Сем.	Пр.	Лк.	Сем.	Пр.	Лк.	Сем.	Пр
I. Энциклопедия Высш. Мат.	4	4	-	4	4	-	4	4	-
2. Аналитическая Геометрия	4	4	-	3	4	-	3	I/2-4	-
3. Высшая Алгебра	2	2	-	2	0	-	2	I	-
4. Физика I ч.	4	4	-	4	4	-	4	4	-
5. Астрономия Общая	2	-	-	2	-	-	2	-	-
6. Химия Общая с.к.	2	-	-	2	-	-	2	-	-
7. Черчение	-	-	-	-	-	2	-	-	I
8. Новый Язык	-	2	-	-	2	-	-	2	-
9. Политпредметы	/2 /	2	-	/2/	2	-	-	2	-
	I8	I8	-	I7	I6	2.	I7	I/2.	I7.III
	36			35			35	I/2	

ЛЕТНИЙ ТРИМЕСТР :

Рекомендовать : Астрономические наблюдения 3 дней

Учебный план физико-математического факультета
1 М.Г.У. на 1923/1924 учебный год
(Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 81)

2. Цикл ФИЗИКА

Цикл ФИЗИКА имеет 4 Специальности

а/ РАДИОРЕНТГЕНОЛОГИИ
б/ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
в/ ЛУЧИ - РАДИОСТЕЗИИ
г/ ТЕХНИЧЕСКИЕ ФИЗИКИ

II курс

I.	Лк.	Сем.	Пр.	Лк.	Сем.	Пр.	Лк.	Сем.
1. Интегральн. Исчислен.	2	4	-	4	2	-	3	[illegible]
2. Дифференц. Геометрия	4	2	-	-	-	-	2	[illegible]
3. Интегрирование Диф. Уравнений	-	-	-	4	2	-	2	[illegible]
4. Физика 2 часть	4	4	-	4	4	-	4	[illegible]
5. Общ. Физич. Практикум	-	-	4	-	-	4	-	-
6. Механика ч. 1-я	3	2	-	3	2	-	3	[illegible]
7. Кристаллография	2	-	-	2	-	2	2	-
8. Практ. по Химии	-	-	2	-	-	-	-	-
9. Новый Язык	-	2	-	-	2	-	-	[illegible]
10. Политпредметы	/2/	2	-	/2/	2	-	-	[illegible]
	15	16.	6.	17	14:	6	16	[illegible]
		37			37			

ЛЕТНЯЯ ТРЕМЕСТР: 1/ Практ.зан. в Учебн. Мастерских
2/ Обл. Производственная Практика

III курс

1. Допол.курс Математики	3	1	-	3	1	-	3	1
2. Векторн. Анализ	2	1	-	-	-	-	1	1/[illegible]
3. Механика ч. 2-я	3	2	-	3	2	-	4	[illegible]
4. Теоретич. Физика	4	2	-	4	2	-	4	[illegible]
5. Кинетич. теория матер.	-	-	-	2	-	-	1	-
6. Политпредметы	/2/	2	-	/2/	2	-	-	[illegible]

7. Предметы по Специальн.:

а/ РАДИОРЕНТГЕНОЛОГИИ:

Учебный план физико-математического факультета
1 М.Г.У. на 1923/1924 учебный год
(Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 81)

7. Предметы по Специальн.:

а/ РАДИОРЕНТГЕНОЛОГИЯ

8. Перемен. токи Iч.	2	-	-	-	-	-	1	-
9. Физика рентген. лучей	3	-	-	3	-	-	3	-
10. Рентгено-Техника	3	-	-	-	-	-	1	1/2
11. Радиоактивность	2	-	-	2	-	-	2	-
12. Оборуд. и экспл. рентг. кабинетов	-	-	-	1	-	2		
13. Электрометрия	-	- 2	-	-	-	-	1	
14. Спец. Практикум	-	- 4	-	-	8	-	-	6
	22	8.6	20	7	10	20	1/2. 7	1/2. 7
	36		37			35		

Iу курс

	Лк.	сем.	Пр.	Лк.	Сем.	Пр.	Лк.
1. Теория Атома	2	-	-	2	-	-	2
2. Введ. в ист. философ. Естествознан.	2	/2/	-	2	/2/	-	2
3. Политпредметы	2	-	-	-	-	-	1
4. Предметы по специальн.							
а/ Спец. РАДИОРЕНТГЕНОЛОГИЯ							
5. Электромагн. поле	3	-	-	3	-	-	3
6. Рентгенотехн. геом. материи	2	-	-	1	-	2	1
7. Химия радиоэлемент.	2	-	4	2	-	4.	2
8. Минералог. радиоакт. веществ	-	-	-	2	-	-	1
9. Дипломная Работа							
	13	-	4	11	-	6.	12
	17			17			

Учебный план физико-математического факультета
1 М.Г.У. на 1923/1924 учебный год
(Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 81)

Как мы видим из представленных документов, для студентов, обучающихся по специальности «радиорентгенология» помимо основных читались специальные курсы:

- «физика рентгеновских лучей» (В.А.Карчагин),
- «рентгенотехника» (В.А.Карчагин),
- «радиоактивность» (А.П.Соколов),
- «оборудование и эксперимент рентгеновских кабинетов» (позже – «оборудование рентгеновских кабинетов») (А.А.Глаголева-Аркадьева),
- «специальный практикум» (А.А.Глаголева-Аркадьева),
- «рентгенотехника геом. материи»,
- «химия радиоэлементов»,
- «минералогия радиоактивных веществ».

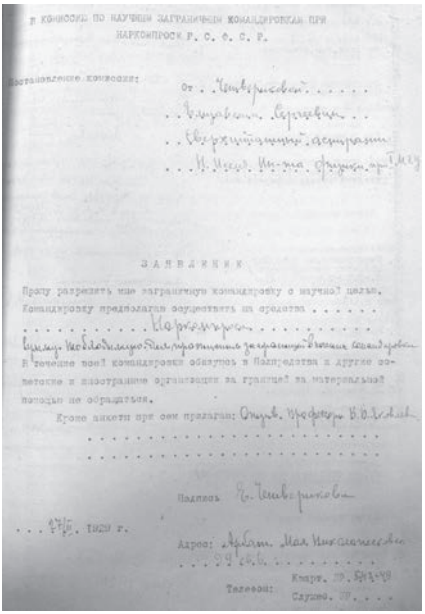
Распределение для обучения по специальности происходило на 3-ем курсе. А учебный план предусматривал обязательную летнюю производственную практику после 3-го курса и защиту дипломной работы (напомним, что обучение длилось 4 года).

Непосредственная подготовка к созданию в МГУ специальной кафедры началась в 1926 году при активном участии доцентов А.А.Глаголевой-Аркадьевой и В.А.Карчагина, ассистента Е.С.Четвериковой. Для чтения основного курса по рентгеноструктурному анализу («рентгенотехнические измерения кристаллов»[41]) был приглашен на должность приват-доцента С.Т.Конобеевский. В 1937 году он написал в автобиографии: «С 1926 года я веду курс в университете: «рентгеноанализ твердого тела», руковожу практическими занятиями и спец.работами по курсу.»

[41] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 210.

Елизавета Сергеевна Четверикова
(1892-)

Е.С.Четверикова обучалась в 1МГУ с 1921 по 1924 годы. С 01 октября 1925 по 01 октября 1929 года она была штатным аспирантом НИИ Физики при 1МГУ, и, параллельно, с 01 октября 1926 года стала работать младшим ассистентом при кафедре физики 1МГУ.



В КОМИССИЮ ПО НАУЧНЫМ ЗАГРАНИЧНЫМ КОМАНДИРОВКАМ ПРИ НАРКОМПРОСЕ Р. С. Ф. С. Р.

Постановление комиссии: От Четвериковой
Елизаветы Сергеевны
Сверхштатный аспирант
Н. Исслед. Ин-та физики при 1 МГУ

ЗАЯВЛЕНИЕ

Прошу разрешить мне заграничную командировку с научной целью. Командировку предполагаю осуществить на средства Наркомпроса
Сумму необходимую для прохождения заграницей в течение командировки
В течение всей командировки обязуюсь в Полпредства и другие советские и иностранные организации за границей за материальной помощью не обращаться.

Кроме анкеты при сем прилагаю: Отзыв. Профессора В. В. Лебедева

Подпись Е. Четверикова

27/II 1929 г.

Адрес: Арбат. Мал. Николаевская
29 кв. 6

Телефон: Кварт. ЗР. 543-49
Служеб. ЗР.

Заявление Е.С.Четвериковой для заграничной командировки

В архиве МГУ[42] сохранилось заявление Е.С.Четвериковой для разрешения заграничной командировки и рекомендательное письмо профессора К.П.Яковлева:

Е.С.Четверикова закончила трехгодичный аспирантский стаж и план аспирантской подготовки ею выполнен, так что ей предстоит в ближайшее время защита аспирантской диссертации.

За время своей аспирантуры Е.С.Четверикова зарекомендовала себя, как серьезный научный работник, который умело разбирается в поставленной перед ним работе. Ею были совместно с доц. В.А.Карчагиным закончены и опубликованы следующие работы:

I/ Зависимость наблюдаемой степени поляризации первичных лучей Рентгена от вещества анализатора --- (Zeit. für Phys. 1925. B.35 H.4.)

2/ К вопросу о магнитном вращении плоскости поляризации первичных лучей Рентгена --- (Zeit. für Phys. 1926. B.39 H.12)

/ Доложено на У С'езде Физиков./

3/ Выполнена и ~~находится~~ готовится к печати работа: Зависимость степени поляризации первичных лучей Рентгена от угла падения их на анализатор и от напряжения.

Работы эти вместе с другими работами В.А.Карчагина недавно были удостоены премии Наркомпроса.

В силу изложенного выше, я считаю весьма желательным, чтобы Е.С.Четвериковой была предоставлена возможность для завершения ее научного образования проработать еще некоторое время в заграничных учреждениях. Я считаю, что с этой целью ей следовало-бы продолжить свои занятия в Штутгарте у проф. Glocker'a или в Кембридже у проф. Kaye'a а также в Чикаго у проф. A. Compton'a где она могла-бы научно работать в следующих областях:

I/ Вопросы изменения структуры вещества в зависимости от методов его обработки.

2/ Вопросы качественного и количественного анализа при помощи лучей Рентгена.

3/ Исследование природы магнетизма при помощи лучей Рентгена.

Профессор: (К. Яковлев)

[42] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 156.

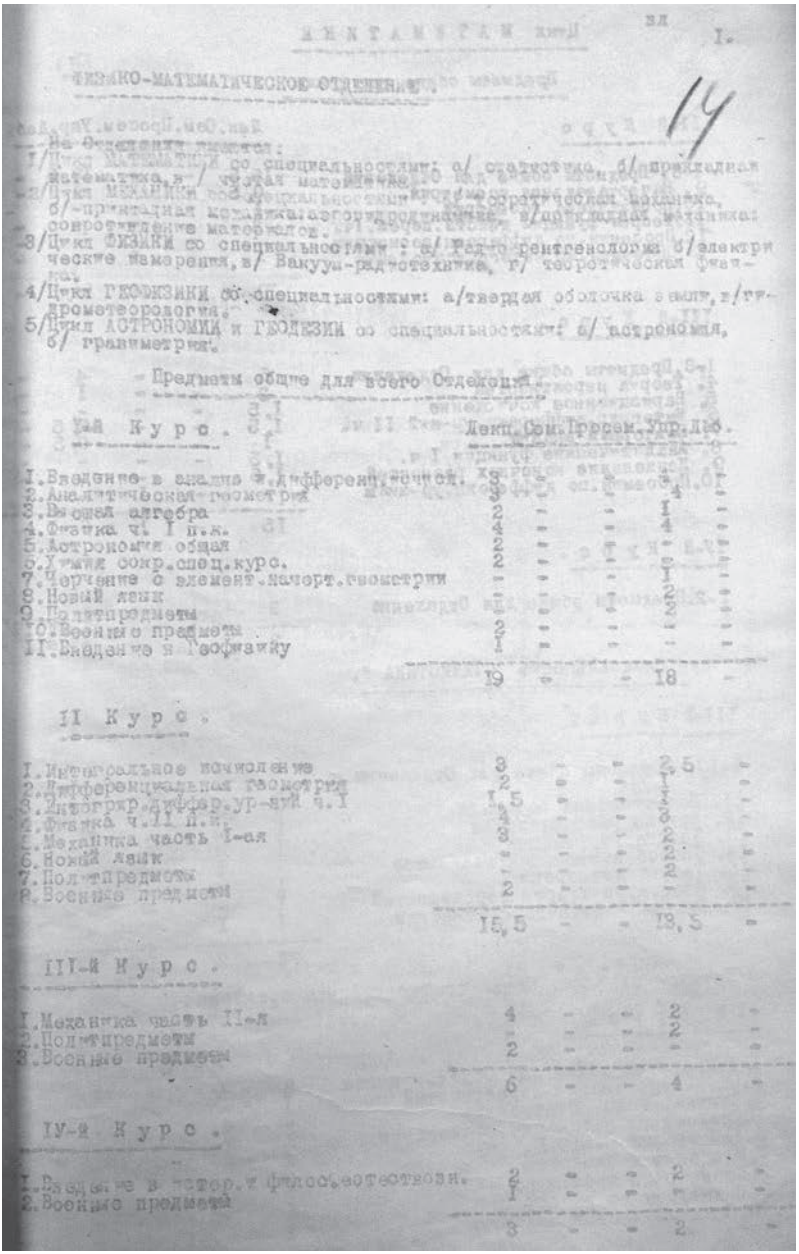
Сергей Тихонович Конобеевский (1890-1970)

Сергей Тихонович Конобеевский в 1913 году окончил естественное отделение физико-математического факультета МГУ по специальности «физиология животных». В 1914 году он поступил на службу в Государственную инспекцию Александровской железной дороги. С началом Первой мировой войны был направлен на германский фронт в качестве полевого контролера армейских инженерных подразделений. По возвращении год преподавал в средней школе (1918/1919 год). В 1919 году он перешел на преподавательскую деятельность в Институт им. К.Маркса (сейчас – РЭУ имени Г.В.Плеханова), где стал совмещать преподавательскую деятельность с научной работой в лаборатории Н.Е.Успенского. В 1920 году была опубликована совместная работа Н.Е.Успенского и С.Т.Конобеевского по теоретической интерпретации рентгенограмм текстурированных металлических образцов (текстура проката)[43], сформировавшая впоследствии целое направление в рентгеноструктурном анализе и металлофизике.

В 1927/1928 учебном году учебный план студентов, изменился незначительно[44].

---

[43] Успенский Н.Е., Конобеевский С.Т. Исследование микрокристаллических структур помощью лучей Рентгена. // Труды Московского Физического общества им. Лебедева, 1920.
[44] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 206.



ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ.

На Отделении имеется:

1/Цикл МАТЕМАТИКИ со специальностями: а/ статистика, б/прикладная математика, в/ чистая математика.

2/Цикл МЕХАНИКИ со специальностями: а/теоретическая механика, б/-прикладная механика:аэрогидродинамика, в/прикладная механика: сопротивление материалов.

3/Цикл ФИЗИКИ со специальностями: а/ Радио-рентгенология б/электрические измерения, в/ Вакуум-радиотехника, г/ теоретическая физика.

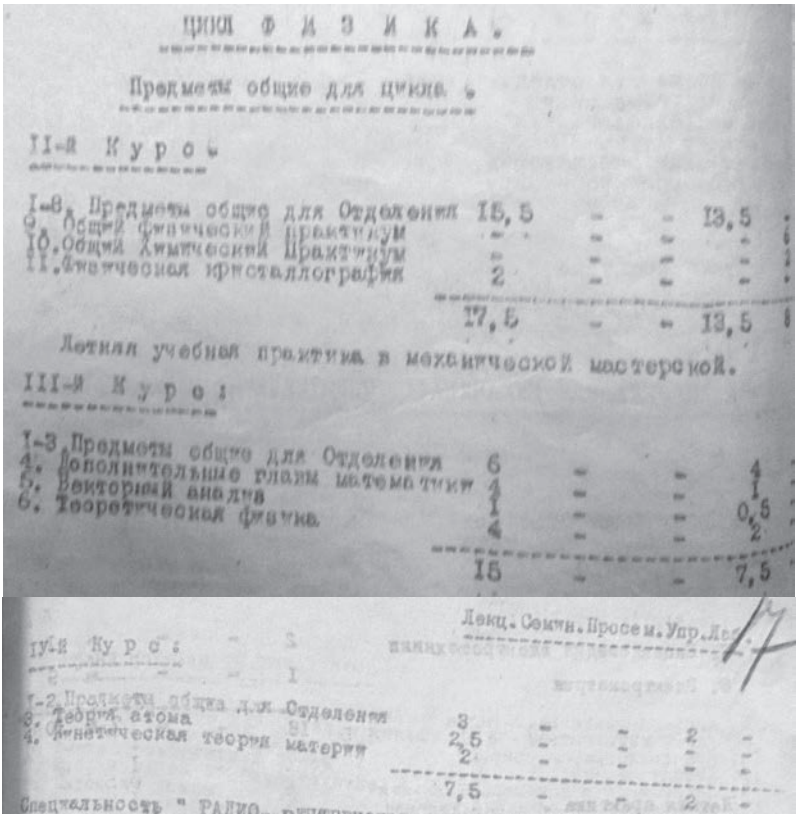
4/Цикл ГЕОФИЗИКИ со специальностями: а/твердая оболочка земли, в/гидрометеорология.

5/Цикл АСТРОНОМИИ и ГЕОДЕЗИИ со специальностями: а/ астрономия, б/ гравиметрия.

Предметы общие для всего Отделения.

	Лекц.	Сем.	Практ.	Упр.	Лаб.
I Курс.					
1. Введение в анализ и дифференц. исчисл.	3	-	-	3	-
2. Аналитическая геометрия	3	-	-	4	-
3. Высшая алгебра	2	-	-	1	-
4. Физика ч. I п.к.	4	-	-	4	-
5. Астрономия общая	2	-	-	-	-
6. Химия сокр. спец. курс.	2	-	-	1	-
7. Черчение с элемент. начерт. геометрии	-	-	-	3	-
8. Новый язык	-	-	-	2	-
9. Политпредметы	-	-	-	-	-
10. Военные предметы	2	-	-	-	-
11. Введение в Геофизику	1	-	-	-	-
	19	-	-	18	-
II Курс.					
1. Интегральное исчисление	3	-	-	2,5	-
2. Дифференциальная геометрия	2	-	-	1	-
3. Интегрир. дифф. ур-ний ч. I	1,5	-	-	1	-
4. Физика ч. II п.к.	4	-	-	3	-
5. Механика часть I-ая	3	-	-	2	-
6. Новый язык	-	-	-	2	-
7. Политпредметы	-	-	-	2	-
8. Военные предметы	2	-	-	-	-
	15,5	-	-	13,5	-
III-й Курс.					
1. Механика часть II-я	4	-	-	2	-
2. Политпредметы	-	-	-	2	-
3. Военные предметы	2	-	-	-	-
	6	-	-	4	-
IV-й Курс.					
1. Введение в истор. и филос. естествозн.	2	-	-	2	-
2. Военные предметы	1	-	-	-	-
	3	-	-	2	-

Учебный план физико-математического отделения 1МГУ в 1927/1928 учебном году (*Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 206*).



ЦИКЛ Ф И З И К А.

Предметы общие для цикла.

II-й Курс.

I-8. Предметы общие для Отделения	15,5	-	13,5	
9. Общий физический практикум	-	-	-	
10. Общий Химический Практикум	-	-	-	
11. Кристаллическая кристаллография	2	-	-	
	17,5	-	13,5	

Летняя учебная практика в механической мастерской.

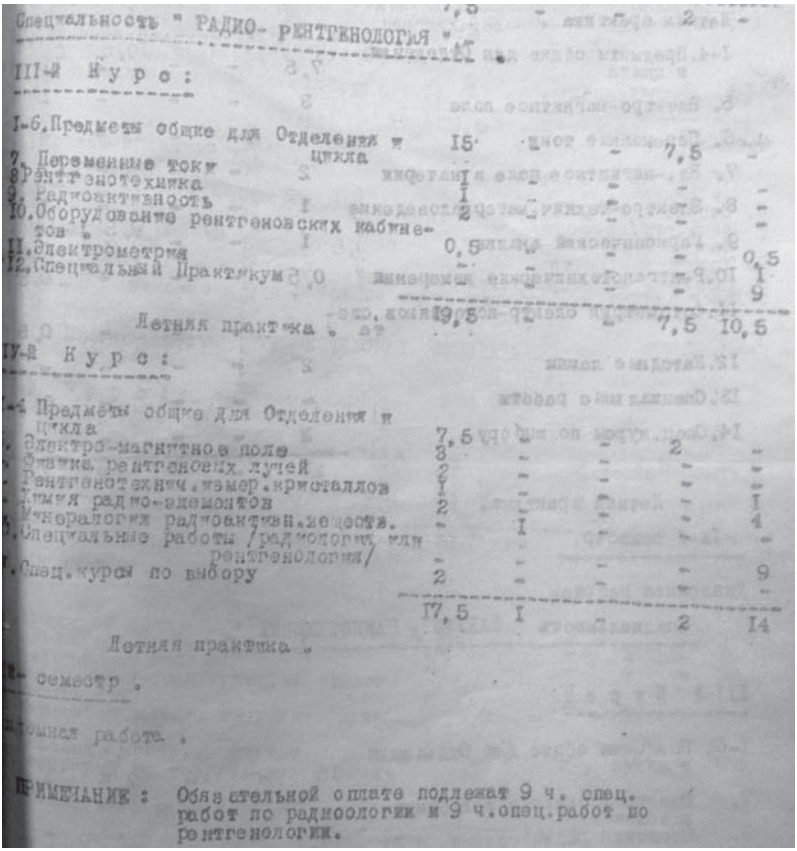
III-й Курс:

I-3. Предметы общие для Отделения	6	-	4	
4. Дополнительные главы математики	4	-	1	
5. Векторный анализ	1	-	0,5	
6. Теоретическая физика	4	-	2	
	15	-	7,5	

	Лекц.	Семин.	Просем.	Упр.	Лаб.
IV-й Курс:					
I-2. Предметы общие для Отделения					
3. Теория атома	3	-	-	2	-
4. Кинетическая теория материи	2,5	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	7,5	-	-	2	-

Специальность " РАДИО-

Учебный план цикла Физика физико-математического отделения 1МГУ в 1927/1928 учебном году
(*Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 206*).



Специальность " РАДИО- РЕНТГЕНОЛОГИЯ "

III-й Курс:

1-6. Предметы общие для Отделения и цикла	15			7,5	
7. Переменные токи					
8. Рентгенотехника	1				
9. Радиоактивность	1				
10. Оборудование рентгеновских кабинетов	2				
11. Электрометрия	0,5				0,5
12. Специальный Практикум					1
					9
Летняя практика	19,5			7,5	10,5

IV-й Курс:

1-4 Предметы общие для Отделения и цикла	7,5				
Электро-магнитное поле	3			2	
Физика рентгеновых лучей	2				
Рентгенотехнич. измер. кристаллов	1				
Химия радио-элементов	2				1
Минералогия радиоактивн. вещества.		1			4
Специальные работы /радиологии или рентгенологии/					
Спец. курсы по выбору	2				9
	17,5	1		2	14
Летняя практика					

II-й семестр.

Дипломная работа.

ПРИМЕЧАНИЕ: Обязательной оплате подлежат 9 ч. спец. работ по радиологии и 9 ч. спец. работ по рентгенологии.

Учебный план специальности Радиорентгенология цикла Физика физико-математического отделения 1МГУ в 1927/1928 учебном году (*Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 206*).

В числе первых слушателей курса С.Т.Конобеевского были М.А.Борисова, И.В.Виккер, Г.С.Жданов, А.И.Любимцев, И.И.Мирер. Среди слушателей второго и третьего наборов были В.И.Иверонова, М.М.Уманский, В.П.Тарасова, Я.П.Селисский и др.

Особенно следует выделить специальный рентгеновский практикум, созданный руками А.А.Глаголевой-Аркадьевой.

Г.С.Жданов, вспоминая о том времени, писал: «…в середине двадцатых годов профессор А.А.Глаголева-Аркадьева, будучи профессором МГУ, читала курс рентгенотехники и проводила практические занятия в своем рентгеновском кабинете во 2-ом Медицинском институте для студентов университета – физиков-рентгеноструктурщиков, среди которых был и автор этих строк, хранящий в своей памяти образ прекрасного педагога и обаятельного человека А.А.Глаголевой-Аркадьевой.»

Уже в 1930 году первые специалисты-радиорентгенографы с университетским образованием начали самостоятельную работу в лабораториях научно-исследовательских институтов страны. Впоследствии многие из них сыграли значительную роль в развитии рентгеноструктурного анализа в СССР, создав и возглавив первые специализированные рентгеновские лаборатории на заводах, в отраслевых и академических НИИ, а также кафедры и лаборатории в ВУЗах.

В августе 1930 г. в МГУ на основе физико-математического факультета создаются физико-механический и биологический факультеты. Физико-механический факультет имел отделения: физико-механическое, математическое и астрономо-геодезическое. На физико-механическом отделении созданы кафедры:

общей физики (зав. С.И.Вавилов);

радиотехники (зав. В.И.Романов);

рентгенологии (зав. В.А.Карчагин);

теоретической физики (зав. Л.И.Мандельштам);

теплофизики (зав. А.К.Тимирязев);

электроматериаловедения (зав. В.К.Аркадьев).

На кафедре рентгенологии читаются специальные курсы[45]:

- «рентгенотехника» (В.А.Карчагин),
- «введение в металловедение»,
- «физика рентгеновских лучей» (В.А.Карчагин),
- «кристаллографическое обоснование рентгеноструктурного анализа»,
- «рентгеноструктурный анализ» (С.Т.Конобеевский),
- «теория кристаллической решетки».

Как видно из названий курсов, читавшихся на кафедре рентгенологии, направленность кафедры уже соответствует подготовке специалистов-рентгеноструктурщиков.

В этом же году в НИИ Физики при МГУ создается группа рентгеноструктурного анализа под руководством С.Т.Конобеевского[46, 47, 48] и начинается обучение аспирантов по специальности «рентгеноструктурный анализ»[45].

[45] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 263.
[46] Архив МГУ, ф. 46, оп. 1/1л, ед. хр. 29.
[47] Архив МГУ, ф. 46, оп. 1/1л, ед. хр. 22.
[48] Архив МГУ, ф. 46, оп. 1/1л, ед. хр. 46.

К КАФЕДРЕ РЕНТГЕНОСТРУТУРНОГО АНАЛИЗА (1931-1953)

В 1931 году в МГУ ликвидирована факультетско-кафедральная структура.

Вместо физико-механического и биологического факультетов открыты отделения: механическое, физическое, астрономо-математическое, зоологическое, ботаническое, почвенное, географическое, историко-философское. На отделениях ликвидированы все специальные кафедры кроме общеуниверситетских, по социально-экономическим дисциплинам и педагогике. Вместо них созданы специальности по отраслям наук[49].

На физическом отделении было организовано обучение по специализации «металлофизика» (зав. С.Т.Конобеевский), которая должна была объединить работавших в МГУ теоретиков (И.Е.Тамм), магнитологов (Н.С.Акулов) и рентгенологов-металлофизиков (С.Т.Конобеевский).

В свою очередь, специализация «металлофизика» делилась на рентгеноструктурную (руководитель С.Т.Конобеевский) и магнитологическую (руководитель Н.С.Акулов) части.

Для обучавшихся на рентгеноструктурной части специализации читались специальные курсы[50]:

- «электротехника и рентгеновская аппаратура»,
- «физика рентгеновских лучей» (В.А.Карчагин),
- «структурный анализ. часть 1» (Г.С.Жданов),
- «рентгеноструктурный анализ. часть 2» (С.Т.Конобеевский).

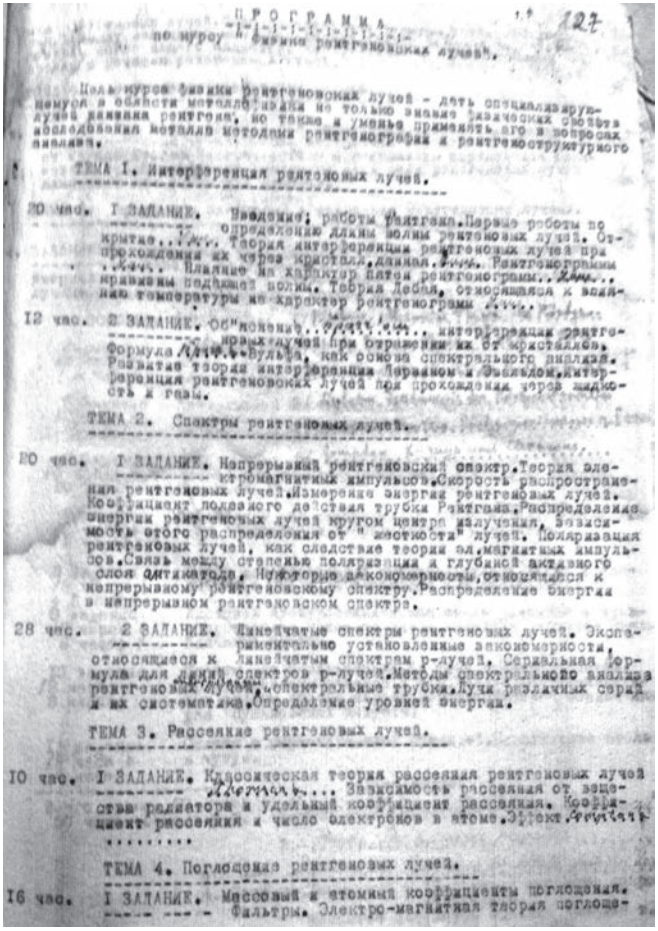
---

[49] http://letopis.msu.ru/letopis/1931

[50] Архив МГУ, ф. 24, оп. 1, ед. хр. 252.

К преподаванию был привлечен Г.С.Жданов, окончивший физическое отделение Московского университета по специальности «Радио-рентгенология» в январе 1930 года[51].

В Архиве МГУ сохранились несколько программ специальных курсов[49].



ПРОГРАММА 127

по курсу "Физика рентгеновских лучей".

Цель курса физики рентгеновских лучей - дать специализирующемуся в области металлофизики не только знание физических свойств лучей внешнего рентгена, но также и уменье применять его в вопросах исследования металла методами рентгенографии и рентгеноструктурного анализа.

ТЕМА I. Интерференция рентгеновых лучей.

20 час. I ЗАДАНИЕ. Введение; работы Рентгена. Первые работы по определению длины волны рентгеновых лучей. Открытие... Теория интерференции рентгеновых лучей при прохождении их через кристалл, данная... Рентгенограммы... Влияние на характер пятен рентгенограмм... кривизны падающей волны. Теория Дебая, относящаяся к влиянию температуры на характер рентгенограмм...

12 час. 2 ЗАДАНИЕ. Об"яснение... интерференции рентгеновых лучей при отражении их от кристаллов. Формула... Вульфа, как основа спектрального анализа. Развитие теории интерференции Лорвином и Эвальдом. Интерференция рентгеновских лучей при прохождении через жидкость и газы.

ТЕМА 2. Спектры рентгеновых лучей.

20 час. I ЗАДАНИЕ. Непрерывный рентгеновский спектр. Теория электромагнитных импульсов. Скорость распространения рентгеновых лучей. Измерение энергии рентгеновых лучей. Коэффициент полезного действия трубки Рентгена. Распределение энергии рентгеновых лучей кругом центра излучения, зависимость этого распределения от " жесткости" лучей. Поляризация рентгеновых лучей, как следствие теории эл.магнитных импульсов. Связь между степенью поляризации и глубиной активного слоя антикатода. Некоторые закономерности, относящиеся к непрерывному рентгеновскому спектру. Распределение энергии в непрерывном рентгеновском спектре.

28 час. 2 ЗАДАНИЕ. Линейчатые спектры рентгеновых лучей. Экспериментально установленные закономерности, относящиеся к линейчатым спектрам р-лучей. Сериальная формула для линий спектров р-лучей. Методы спектрального анализа рентгеновых лучей, спектральные трубки. Лучи различных серий и их систематика. Определение уровней энергии.

ТЕМА 3. Рассеяние рентгеновых лучей.

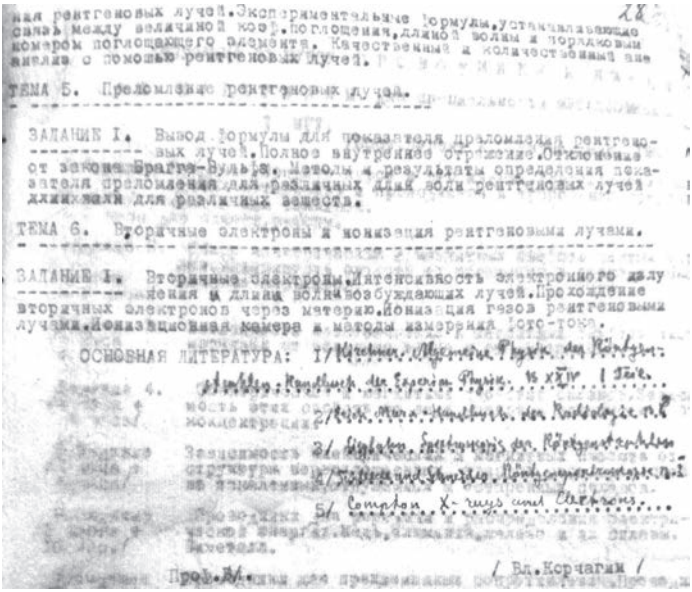
10 час. I ЗАДАНИЕ. Классическая теория рассеяния рентгеновых лучей... Зависимость рассеяния от вещества радиатора и удельный коэффициент рассеяния. Коэффициент рассеяния и число электронов в атоме. Эффект...

ТЕМА 4. Поглощение рентгеновых лучей.

16 час. I ЗАДАНИЕ. Массовый и атомный коэффициенты поглощения. Фильтры. Электро-магнитная теория поглоще-

Программа курса «Физика рентгеновских лучей». Автор В.А.Карчагин. Страница 1.

[51] Илюшин А.С., Кузьмин Р.Н. Герман Степанович Жданов. М.: физический факультет МГУ, 2020. С. 40.



ная рентгеновых лучей. Экспериментальные формулы, устанавливающие связь между величиной коэф. поглощения, длиной волны и порядковым номером поглощающего элемента. Качественный и количественный анализ с помощью рентгеновых лучей.

ТЕМА 5. Преломление рентгеновых лучей.

ЗАДАНИЕ I. Вывод формулы для показателя преломления рентгеновых лучей. Полное внутреннее отражение. Отклонения от закона Брагга-Вульфа. Методы и результаты определения показателя преломления для различных длин волн рентгеновых лучей для различных веществ.

ТЕМА 6. Вторичные электроны и ионизация рентгеновыми лучами.

ЗАДАНИЕ I. Вторичные электроны. Интенсивность электронного излучения и длина волны возбуждающих лучей. Прохождение вторичных электронов через материю. Ионизация газов рентгеновыми лучами. Ионизационная камера и методы измерения токо-тока.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА: I/ [illegible]

2/ [illegible]

3/ [illegible]

5/ Compton. X-rays and Electrons...

/ Вл. Корчагин /

Проф. [illegible]

Программа курса «Физика рентгеновских лучей». Автор В.А.Карчагин. Страница 2.

ПРОГРАММА КУРСА

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ч.I.

/ для металлофизиков-структурников III к.УI с-ра /

Г.С. ЖДАНОВ.

I. КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА.

Задан.	Ч Лекц.	А семин.	С кон-сульт.	Ш.	
					I. Кристалл, как анизотропный континуум.
I	4	2			Эмпирические законы кристаллографии. Учение о симметрии. 32 класса симметрии кристаллов. Литература: Болдырев: Кристаллография. Отдел I, ч. IУ, ч. II, ч. III.
2	3	2		I	Кристаллографические символы. Кристаллографические проекции: гномоническая и стереографическая проекции. Сетка Вульфа. Литература: Болдырев: Крист. Отдел I, ч. У. Падуров: Кристалло-химический анализ ч. I, гл. II.
					2. Кристалл, как однородный дисконтинуум.
3	4	4		I	Пространственная решетка. Трансляции. Элементарная ячейка. Линейная форма. Прямые и плоскости. Зона. Базис. Решетка Бравэ. Литература: Niggli, Krystallographische u. Strukturtheoretische Grundbegriffe 1928 г. гл. I стр. 2-21.
4	3	2			Понятие о пространственных группах. Симметрия дисконтинуума. Винтовые оси и плоскости симметрии со скольжением. 230 пространственных групп. Литература: Мичк: Die Verwendung der Röntgenstrahlen in Chemie und Technik. 1926 г. гл. ..... стр. .....
5	2	2		I	Обращенная пространственная решетка. Ее свойства. Межплоскостные расстояния. Квадратичная форма. Литература: Ott: Strukturbestimmung mit Röntgeninterferenzen. гл. I стр. 10-16. Ewald Kristalle u. Röntgenstrahlen. 1923. Добавление: стр. 246-251

Программа курса «Структурный анализ. Часть 1». Автор Г.С.Жданов. Страница 1.

Задан. ЧАСЫ:
Лекц. Семин. Консульт.

II. ВВЕДЕНИЕ В СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

I. Кристаллическая решетка, как компо

упаковка.

6 2 2 I Решетка металлов. Радиусы атомов и ио
Координационное число. Возникновение
по Гольдшмиду. Структурные аналогии и
турные переходы.

Литература: В.М.Гольдшмидт: Строение
лов и химический состав
Наук, т.IX, вып.6, стр.811-8

7 4 2 I 2. Волны и интерференция волн.

Плоская волна. Фаза. Амплитуда. Энергия
/интенсивность/ Сложение волн одинаков
стоты. Сферическая волна. Изображение во
комплексной форме. Интерференция волн,
скаемых двумя центрами.

Литература: Хвальсон, курс физики т.П
стр.....

A. Schleede u E. Schneider: Röntgenspek
u. Kristallstrukturanalyse т.П, гл.УI стр.158-172

8 2 4 Сложение волн, испускаемых одномерной
кой. Интерференционная функция. Ее анал
жение волн, испускаемых двухмерной реше

Литература:
Schleede u. Schneider: т.П, гл.УI, стр.168-171.

3. ТЕОРИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ
В КРИСТАЛЛАХ.

9 2 2 Рассеяние рентгеновских лучей отдельны
тром./ электроном и атомом/. Интерферен
рентгеновских лучей в трансляционной
мерной решетке / кинетическая теория и
ференции рентгеновских лучей в кристал
кой решетке по Лауэ /.

Литература: Ott: Strukturbestimmung
Röntgeninterferenzen гл.П стр.23-29.

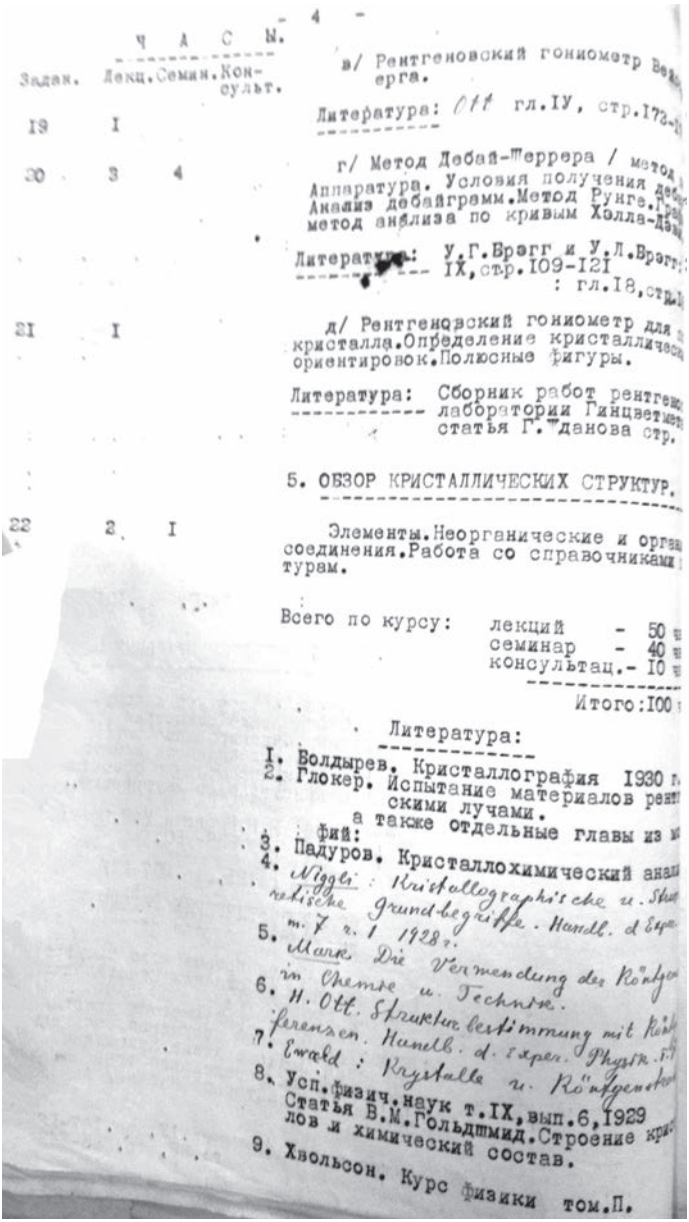
10 2 2 I Геометрическое толкование условий и
ференции с помощью обращенной решетки.
ние рентгеновских лучей от атомных пло
по Брэггу. Порядок спектра.

Литература: Ott гл.П, стр.29-35.

Программа курса «Структурный анализ. Часть 1». Автор Г.С.Жданов. Страница 2.

Задан.	Часы: Лекц.	семин.	Консульт.	
I	2	2		Интерференция рентгеновских лучей в составной решетке / решетке с базисом/. Структурный фактор. Погашения интерференций. / Определение базиса по погашениям. Литература: Ott: Глава П, стр.36-4I
I2	3	2	I	Фактор Лоренца. Фактор поляризации. Литература: Ott: Глава П, стр.43-53.
I3	I	2		Влияние поглощения рентгеновских лучей на интенсивность. Литература: Ott: Глава П, стр.53-55.
I4	2			Учет теплового и атомного факторов. Литература: У.Г.Брэгг и У.Л.Брэгг: Рентгеновские лучи и строение кристаллов стр.I84-I89; I97-202.
I5	I			Понятие о динамической теории интерференции рентгеновских лучей. Кинематическая теория, как предельный случай динамической. Мозаичная структура реального кристалла. Литература: Ott Гл.Ш, стр.I0I-I07.
I6	2	4	I	4. ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ Метод Лауэ. Аппаратура и получение Лауэграмм. Определение симметрии кристалла по лауэграмме. Индецирование пятен Лауэграмм. Метод зональных эллипсов и метод гномонической проекции. Определение ориентировки кубического кристалла по Лауэграмме. Сетки Закса Литература: У.Г.Брэгг и У.Л.Брэгг: гл.XIУ стр.236-250. Glocker: Materialprüf. mit Röntgenstrahlen гл.2I, стр.207-225 МОНОХРОМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ.
I7	2			а/ Метод брэгговского спектрографа. Определение простейших кристаллических структур по Брэггу. б/ Метод вращающегося кристалла. Аппаратура. Условия получения рентгенограмм вращения. Слоевые линии. Нахождение периода идентичности. Определение трансляционной группы/ элементарной ячейки/ Анализ интенсивностей. Литература: Ott гл.IУ, стр.I47-I8I. Glocker гл.22, стр.225-243

Программа курса «Структурный анализ. Часть 1». Автор Г.С.Жданов. Страница 3.



- 4 -

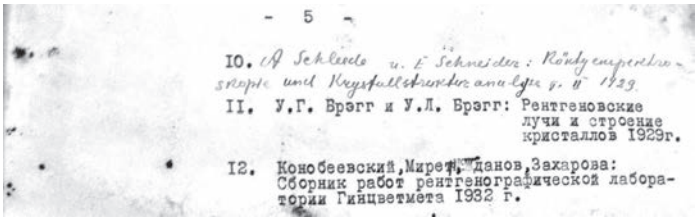
Задан.	Часы: Лекц.	Семин.	Консульт.	
				в/ Рентгеновский гониометр Ве[illegible] ерга.
				Литература: Ott гл.IУ, стр.173-[illegible]
19	I			
20	3	4		г/ Метод Дебай-Шеррера / метод [illegible] Аппаратура. Условия получения деб[illegible] Анализ дебайграмм.Метод Рунге.Р[illegible] метод анализа по кривым Холла-Дэв[illegible]
				Литература: У.Г.Брэгг и У.Л.Брэгг: IX,стр.109-121 : гл.18,стр.[illegible]
21	I			д/ Рентгеновский гониометр для [illegible] кристалла.Определение кристаллическ[illegible] ориентировок.Полюсные фигуры.
				Литература: Сборник работ рентген[illegible] лаборатории Гинцветм[illegible] статья Г. Данова стр.
				5. ОБЗОР КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР.
22	2	I		Элементы.Неорганические и орга[illegible] соединения.Работа со справочниками [illegible] турам.

Всего по курсу: лекций - 50 [illegible]
семинар - 40 [illegible]
консультац.- 10 [illegible]
Итого:100 [illegible]

Литература:

1. Волдырев. Кристаллография 1930 г.
2. Глокер. Испытание материалов рент[illegible] скими лучами.
а также отдельные главы из м[illegible] фий:
3. Падуров. Кристаллохимический анал[illegible]
4. Niggli: Kristallographische u. Strukturtheoretische Grundbegriffe. Handb. d. Exper. [illegible] m. 7 r. 1 1928 г.
5. Mark. Die Verwendung der Röntgen[illegible] in Chemie u. Technik.
6. H. Ott. Strukturbestimmung mit Röntgenstrahlen. Handb. d. exper. Physik. [illegible]
7. Ewald: Krystalle u. Röntgenstrahlen.
8. Усп.физич.наук т.IX,вып.6,1929 Статья В.М.Гольдшмид.Строение кристаллов и химический состав.
9. Хвольсон. Курс физики том.П.

Программа курса «Структурный анализ. Часть 1». Автор Г.С.Жданов. Страница 4.



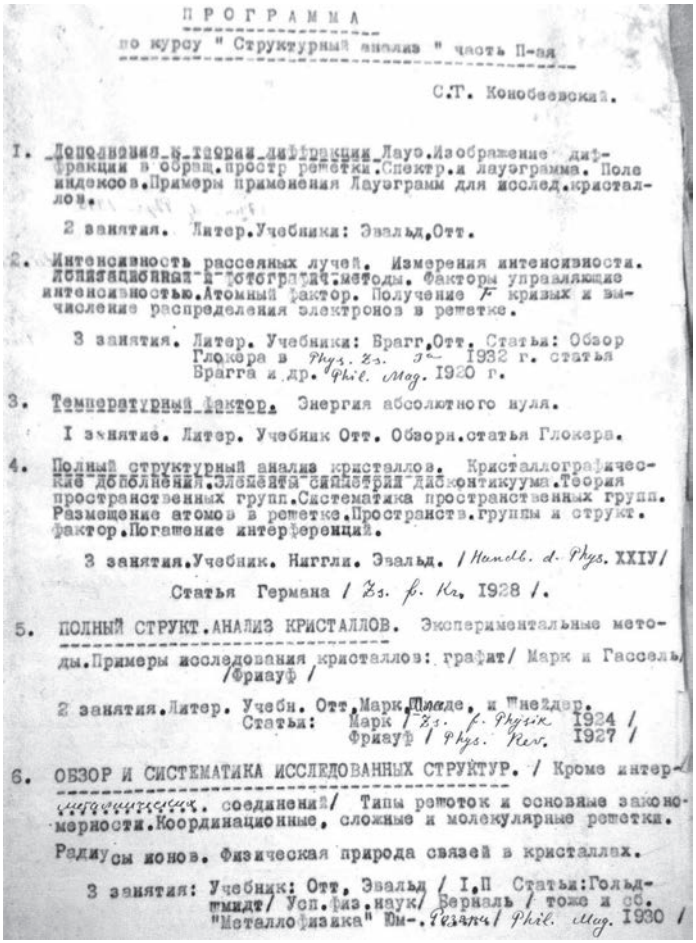
- 5 -

10. A. Schleede u. E. Schneider: Röntgenspektroskopie und Kristallstrukturanalyse g. 1929.

11. У.Г. Брэгг и У.Л. Брэгг: Рентгеновские лучи и строение кристаллов 1929г.

12. Конобеевский, Миретский, Жданов, Захарова: Сборник работ рентгенографической лаборатории Гинцветмета 1932 г.

Программа курса «Структурный анализ. Часть 1». Автор Г.С.Жданов. Страница 5.



ПРОГРАММА

по курсу " Структурный анализ " часть II-ая

С.Т. Конобеевский.

1. Дополнения к теории дифракции Лауэ. Изображение дифракции в обращ. простр решетки. Спектр. и лауэграмма. Поле индексов. Примеры применения Лауэграмм для исслед. кристаллов.

2 занятия. Литер. Учебники: Эвальд, Отт.

2. Интенсивность рассеяных лучей. Измерения интенсивности. Ионизационная и фотографич. методы. Факторы управляющие интенсивностью. Атомный фактор. Получение F кривых и вычисление распределения электронов в решетке.

3 занятия. Литер. Учебники: Брагг, Отт. Статья: Обзор Глокера в Phys. Zs. 33 1932 г. статья Брагга и др. Phil. Mag. 1920 г.

3. Температурный фактор. Энергия абсолютного нуля.

1 занятие. Литер. Учебник Отт. Обзора. статья Глокера.

4. Полный структурный анализ кристаллов. Кристаллографические дополнения. Элементы симметрии. Дисконтинуум. Теория пространственных групп. Систематика пространственных групп. Размещение атомов в решетке. Пространств. группы и структ. фактор. Погашение интерференций.

3 занятия. Учебник. Нигли. Эвальд. / Handb. d. Phys. XXIV /

Статья Германа / Zs. f. Kr. 1928 /.

5. ПОЛНЫЙ СТРУКТ. АНАЛИЗ КРИСТАЛЛОВ. Экспериментальные методы. Примеры исследования кристаллов: графит / Марк и Гассель / Фриауф /

2 занятия. Литер. Учебн. Отт, Марк, Пиаде, и Шнеидер.
Статьи: Марк / Zs. f. Physik 1924 /
Фриауф / Phys. Rev. 1927 /

6. ОБЗОР И СИСТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАННЫХ СТРУКТУР. / Кроме интерметаллических соединений / Типы решеток и основные закономерности. Координационные, сложные и молекулярные решетки.

Радиусы ионов. Физическая природа связей в кристаллах.

3 занятия: Учебник: Отт, Эвальд / I, II Статьи: Гольдшмидт / Усп. физ. наук / Верналь / тоже в сб. "Металлофизика" Им-. Pearch / Phil. Mag. 1930 /

Программа курса «Структурный анализ. Часть 2». Автор С.Т.Конобеевский. Страница 1.

7. МЕТОДЫ СТРУКТУРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛ

Экспериментальные методы, их сравнит. оценка. Исследование
растворов. Кривые Бегарда. Растворы I и II рода. Границы
в диаграммах бинарных, тройных и т.д. сплавов. Упорядочен
дые растворы. Сверхструктурные решетки. Дифференция
лучей в сверхструктурной решетке с не вполне равномерным
делением / Лауэ /.

2 занятия. Учебник: Глоккер. Статья: Деллингер. /
наук / Лауэ / Ann. d. Phys. 1918 /

8. СТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ.

Интерметаллические соединения их строение / Си Zus
связь с сверхструктурными решетками. Анализ интерметаллических
диаграмм равновесия. Возможность количественного структурного
лиза сплавов. Примеры: медные сплавы.

2 занятия. Учебник: Глоккер. Статья: Бродлев / Proc. R
Деллингер / У.Ф.Н. /

9. ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ. Превращения
вентальной линии. Структурные аналогии в сплавах. Влия
ного радиуса и концентрации электронов на превращения
Число свободных электронов металла в сплаве. Превращения
ных и более сложных системах. Превращения по вертикали
Неравновесное состояния. Закалка. Закалка стали. Строение
зита. Влияние разных элементов на закаливаемость сплав
ные стали явления. отпуска...

3 занятия. Учебник Глоккер. Статья: Деллингер. /
Статья: Семенова и Кур
/ Журн. прикл. физи

10. ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ. Структурные
отношения между превращающимися фазами. Аустенит-мартен
/ Курдюмов и Закс / Превращения в сплаве Си-Ли Ман
Граф. / Мистатические Теоретические представления.

2 занятия. Статья: Закса и Курдюмова / Zs. f. Ph
Деллингера и Графа / Zs. f. Phys

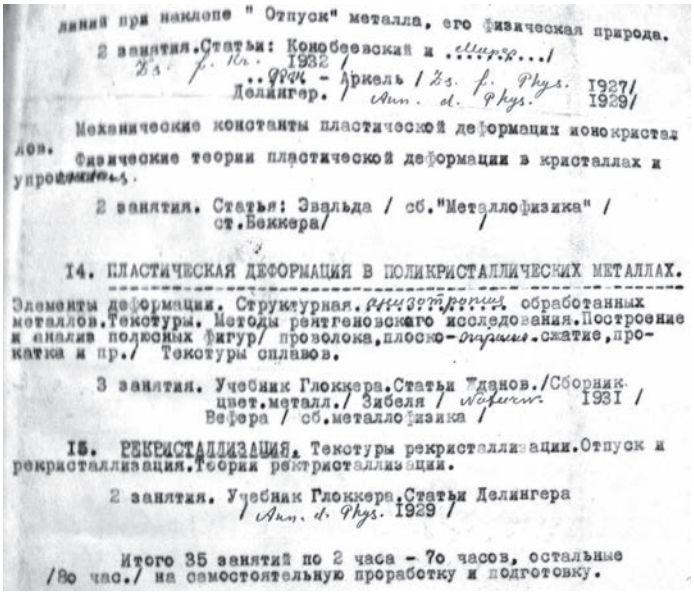
11. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.

Деформация монокристаллов при растяжении. Влияние
Определение ориентировки монокристаллов и двойников. Р
дора и сотр. по растяжению кубич. кристаллов. Пл. деформ
сталлов при высок. температуре.

3 занятия. Статьи: Полянки / У.Ф.Н. / 1928 /
Карпинтера / У.Ф.Н. 1930 /.
Заэльзы / сб. "Металлофизика" / Тейлор и
Proc. Roy. Soc. 1928 и др. /

12. ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ в кристаллах после пл
деформации. Изгиб кристаллов. Астеризм. Растирание Добе

Программа курса «Структурный анализ. Часть 2».
Автор С.Т.Конобеевский. Страница 2.



линий при наклепе " Отпуск" металла, его физическая природа.

2 занятия. Статьи: Конобеевский и ...Мирер.../
Zs. f. Kr. 1932 /
..ФРК - Аркель / Zs. f. Phys. 1927/
Делингер. / Ann. d. Phys. 1929/

Механические константы пластической деформации ионокристаллов.

Физические теории пластической деформации в кристаллах и упрощенных.

2 занятия. Статья: Эвальда / сб."Металлофизика" /
ст.Беккера/ /

14. ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕТАЛЛАХ.

Элементы деформации. Структурная. анизотропия обработанных металлов. Текстуры. Методы рентгеновского исследования. Построение и анализ полюсных фигур/ проволока, плоско-параллельное сжатие, прокатка и пр./ Текстуры сплавов.

3 занятия. Учебник Глоккера. Статьи Жданов./Сборник цвет.металл./ Зибеля / Naturw. 1931 /
Вефера / сб.металлофизика /

15. РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ. Текстуры рекристаллизации. Отпуск и рекристаллизация. Теории рекристаллизации.

2 занятия. Учебник Глоккера. Статьи Делингера
/ Ann. d. Phys. 1929 /

Итого 35 занятий по 2 часа - 70 часов, остальные /80 час./ на самостоятельную проработку и подготовку.

Программа курса «Структурный анализ. Часть 2».
Автор С.Т.Конобеевский. Страница 3.

17 июля 1932 года коллегия НКП РСФСР приняла постановление «Об итогах реорганизации университетов», посвящённое в основном вопросам подготовки кадров научно-исследовательских и научно-педагогических работников в области естественнонаучных и математических специальностей[52]. Университеты под лозунгом «Догнать и перегнать в технико-экономическом отношении передовые капиталистические страны» были выдвинуты в первые ряды бойцов за перестройку науки, за техническую революцию, готовя в массовом масштабе научно-исследовательские кадры. Основное отличие реорганизованных университетов от нереорганизованных состоит в подготовке научно-исследовательских работников высшей квалификации и преподавате-

[52] http://letopis.msu.ru/letopis/1932

лей высшей школы при соблюдении правильно поставленной специализации и связи с запросами производства, а основное отличие от втузов заключено в особом типе специализации:

- во втузе – основанной на техническом разделении труда; в университете – на разделении труда по основным научным проблемам, связанным с коренными техническими проблемами,
- в специализации по рабочему месту: во втузе – в цехах и заводских испытательных лабораториях, в университете – в научно-исследовательских лабораториях,
- втузы готовят технических руководителей и организаторов производства, а университеты – исследователей высокой квалификации.

Самым важным и коренным препятствием на пути реорганизации университетов и тормозом их развития является недостаточная подготовка поступающих. Назревшей необходимостью является введение вступительных испытаний.

Постановление ЦИК СССР «Об учебных программах и режиме в высшей школе и техникумах» от 19 сентября 1932 года определило коренной поворот в развитии всех ВУЗов СССР. Этим постановлением была поставлена задача пересмотреть учебные программы и планы, теснейшим образом увязать теоретические курсы, экспериментальные работы и непрерывную производственную практику. Объём производственной практики устанавливался в пределах 30–40% учебного времени. Запрещались любые коллективные зачёты студентов, вводились зачётные сессии дважды в год – в конце осеннего и весеннего семестров. Вводились вступительные испытания для всех поступающих по ма-

тематике, химии, физике, родному языку и обществоведению. Подготовка аспирантов сосредоточивалась в наиболее мощных ВУЗах путём прикрепления каждого аспиранта к кафедре, установлением для него конкретного плана работы.

25 октября 1932 года МГУ вернулся к кафедральной системе, и специализация «металлофизика» превратилась в кафедру металлофизики (зав. С.Т.Конобеевский), предназначенную для подготовки рентгенологов-металлофизиков, а так как при ее упоминании фигурировали оба направления, то и кафедра в обиходе именовалась кафедрой «металлофизики и рентгеноструктурного анализа».

Постановление НКП «Об учебных программах в педагогических вузах и университетах» от 10 ноября 1932 года устанавливало начало занятий для всех курсов с 1 сентября, зимние каникулы с 1 января по 15 января, окончание занятий 1 июля. На все общенаучные и специальные предметы отводилось 80–85% учебного времени, на другие дисциплины (социально-экономический цикл, военная подготовка, физкультура, иностранный язык) – 15%. С 3-го курса вводилась непрерывная производственная практика в объёме 20–40% времени данного курса. Вводилась дифференцированная норма оценки успеваемости студентов: «весьма хорошо», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Приказом по МГУ №76 от 16 апреля 1933 года с 01 мая 1933 года в МГУ полностью восстанавливается факультетская система и формируется полностью самостоятельный физический факультет. Кафедра металлофизики была введена в его состав.

ПРИКАЗ № 76.

По Московскому Государственному Университету

от "16" апреля 1933 года.

176 ~~52~~ 49

§ 3.

На основании постановления коллегии НКП от 4/IУ-3-года МГУ с I/У должен перейти на факультетскую систему. В составе МГУ должны быть факультеты:

I) Механико-математический (отделения из Механического и Астрономо-математического и НИИМ).
2) Химический.
3) Физический (физическое отделение и НИИФ).
4) Зоологический (отделения Зоологическое, ботаническое, и НИИБ и НИИЗ) (2 Зоомузей)
5) Почвенно-географическое (отделения почвенное и географическое и НКИП и НИИГ).

Впредь до утверждения Наркомпросом И.О. деканов назначаются:
По Механико-математическому факультету-проф. В.В. Голубев
По Физическому факультету-профессор Б.М. Гессен (с оставлением директора НИИФ).
По Химическому научный сотрудник-Кушнарев, (с оставлением в должности директора НИИБ.
По Биологическому факультету -научный сотрудник А.М. Быховская (с оставлением директором НИИЗ) и
По Почвенно-Географическому -профессор Н.Н. Баранский (с оставлением директором НИИГ).

Деканам до 25/IУ принять по актам дела и имущество от Зав. Тех. отделений, которые вливаются в состав факультета, а также ознакомиться с состоянием дел в НИИ, входящих в состав факультета.

Деканам обезпечить бесперебойное проведение занятий и весенней зачетной сессии без ломки уже намеченных отделениями и НИИ графиков.

Весь штат сливающихся в данном факультете отделений и НИИ остается в распоряжении факультета впредь до утверждения РКИ новых штатов. Деканам к 20/IУ представить мне проэкт новых штатов (в сопоставлении с ныне действующими) и кандидатов в помощники.

Функции факультета и деканов определяются проэктом устава гос. университетов, утвержд. 4/IУ-Коллегией НКП.

Кредиты, открытые на 2-й квартал по отделениям Мех-и Астр-математ. целиком переходят с I/У в распоряжение декана Механико-математического факультета, по Зоологическому и Ботаническому-переходят в распоряжение декана Биофака и по Почвенному и Географическому в распоряжение декана Почвенно-Географического факультета.

ДИРЕКТОР УНИВЕРСИТЕТА:- /КАСАТКИН/

Приказ по МГУ №76 от 16 апреля 1933 года
в части перехода на факультетскую систему.
(Архив МГУ, ф. 1, оп. МГУ, ед. хр. 13)

Сотрудниками кафедры стали недавние выпускники университета В.И.Иверонова, Г.С.Жданов, И.И.Мирер, В.П.Тарасова, М.М.Уманский, А.И.Ельников. На кафедру была приглашена М.И.Захарова, выпускница металлургического факультета Московской горной академии.

Это были годы первого пятилетнего плана – плана индустриализации страны, развития тяжелой промышленности, в первую очередь, металлургической. Стране нужен был металл и специалисты в области металловедения и металлофизики.

Только что организованная кафедра сконцентрировала свое внимание на подготовке квалифицированных кадров для заводских лабораторий и лабораторий научно-исследовательских институтов – специалистов по рентгеновской металлографии, способных вести рентгеноструктурные исследования атомно-кристаллической структуры металлов и сплавов.

В 1934 году постановлениями СНК СССР «О подготовке научных и научно-педагогических работников» и «Об учёных степенях и званиях» были установлены учёные степени кандидата и доктора наук и учёные звания ассистента (в вузах), младшего научного сотрудника (в научно-исследовательских учреждениях), доцента (в вузах), старшего научного сотрудника (в научно-исследовательских учреждениях), профессора (в вузах), действительного члена (в научно-исследовательских учреждениях) [53].

Первыми кандидатами и докторами наук в Московском университете стали сотрудники физического факультета. Решением Высшей аттестационной комиссии учёное звание профес-

[53] http://letopis.msu.ru/letopis/1934

сора и степень доктора физико-математических наук без защиты диссертации были присуждены А.А.Глаголевой-Аркадьевой и С.Т.Конобеевскому; а степень кандидата физико-математических наук без защиты диссертации были присуждены Г.С.Жданову, М.И.Захаровой, И.Б.Боровскому.

В 1935 году приказом директора МГУ А.С.Бутягина введена новая форма проверки знаний студента – экзамен[54]: «Установить, что основной формой проверки знаний студента является испытание его по всей дисциплине или какому-нибудь законченному самостоятельному её разделу, проводимое профессором, единолично ответственным за качество подготовки студента и его успеваемости по дисциплине. Отметки о пройденных студентом испытаниях с оценкой успеваемости по этим дисциплинам проставляются профессором в зачётной книжке студента».

В 1936 году целый ряд нововведений был установлен Постановлением ЦК ВКП(б) и СНК СССР «О работе высших учебных заведений и руководстве высшей школой»:

- право на поступление и бесплатное обучение в вузе предоставляется всем гражданам СССР в возрасте от 17 до 35 лет, имеющим аттестат об окончании средней школы;
- поступающие сдают экзамены по русскому языку (сочинение), грамматике, литературе, политграмоте, математике, физике, химии и с 1937 г. по иностранному языку;
- приём заявлений производится с 20 июня по 1 августа, экзамены – с 1 по 20 августа. Занятия длятся с 1 сентября по 30 июня (зимние каникулы с 24 января по 6 февраля, летние с 1 июля по 31 августа);
- продолжительность академического часа равна 45–50 мин., перерыва – 10–15 мин.;

[54] http://letopis.msu.ru/letopis/1935

- учебная работа студентов с преподавателем проводится в формах лекций, семинарских занятий, производственной практики;
- вместо защиты дипломных работ вводятся государственные экзамены, для чего организовываются государственные экзаменационные комиссии; окончившим выдаются дипломы I (отличникам) и II степени;
- вводится единый студенческий билет и зачётная книжка;
- устанавливается 3-годичный срок отработки окончивших вузы по нарядам наркоматов (ведомств).

Сотрудники кафедры рентгеноструктурного анализа. 1936 год.
стоят: В.П.Тарасова, А.И.Любимцев, ..., ..., ...
сидят: ..., Г.С.Жданов, М.М.Уманский, ...

В 1939 году был принят Устав Московского государственного университета[55] – первый советский Устав:

- основной задачей является подготовка специалистов-педагогов высшей школы и старших классов средней школы и

[55] Устав Московского государственного университета. 1939 год. http://letopis.msu.ru/documents/2763

научных работников, «способных полностью освоить новейшие достижения науки, использовать технику до дна и по-большевистски связать теорию с практикой, сочетать производственный опыт с наукой»;

- правом на поступление и на бесплатное обучение пользуются все граждане СССР в возрасте от 17 до 35 лет, имеющие аттестат об окончании полного курса средней школы, независимо от социального происхождения, пола, расовой и национальной принадлежности;
- поступающие подвергаются вступительным испытаниям по определенным предметам;
- срок обучения в МГУ 5 лет;
- учебный год делится на два семестра: осенний семестр – с 1 сентября по 24 января и весенний семестр – с 7 февраля по 30 июня. Для студентов и аспирантов устанавливаются два раза в году каникулы: зимние – с 25 января по 6 февраля и летние – с 1 июля по 31 августа;
- основной учебной и научной организацией университета, непосредственно осуществляющей учебно-методическую и научно-исследовательскую работу по одной или нескольким тесно связанным между собой дисциплинам, является кафедра, понимаемая как объединение преподавателей, научных сотрудников лабораторий, а также аспиранты и студенты, слушающие курсы по дисциплинам кафедры. Во главе кафедры стоит профессор-заведующий.

Новым Уставом кафедра металлофизики была преобразована в кафедру рентгеноструктурного анализа (заведующий – С.Т.Конобеевский).

Отметим еще ряд важнейших, но малоизвестных событий,

произошедших в предвоенные и военные годы.

6 апреля 1939 года физическим факультетом МГУ была организована первая олимпиада по физике на территории современной России. В состав жюри олимпиады входил и профессор С.Т.Конобеевский.

6 апреля 1939 г. при 1-м Московском государственном университете началась физическая олимпиада для школьников. Олимпиада имела целью поднять интерес к физике среди учащихся средней школы, дать возможность самостоятельно подумать над некоторыми физическими вопросами. Руководство олимпиадой осуществляло жюри, куда входили преподаватели физического факультета МГУ и работники Научно-исследовательского института физики при МГУ. В состав жюри входили: проф. Хайкин (председатель), проф. Канзов, проф. Конобеевский, доц. Калашников, доц. Фурсов, доц. Ельников.

Участниками олимпиады могли быть все учащиеся девятых и десятых классов, а также лица, окончившие десятилетку, но не поступившие в вуз.

Физическая олимпиада для школьников.
(Физика в школе. 1939. №3 (май-июнь), с. 70-71.)

В августе 1940 года на основании Указа Верховного Совета СССР от 26 июня 1940 г. «О переходе на 8-часовой рабочий день, на 7-дневную рабочую неделю, о запрещении самовольного ухода рабочих и служащих с предприятий и учреждений» в МГУ введены журналы для учёта работы преподавателей и посещаемости занятий студентами. Приняты правила внутреннего распорядка, учебной дисциплины студентов и положение о старостате МГУ. Старосты учебных групп назначаются приказом ректора, ведут журнал посещаемости и несут ответственность за порядок в аудиториях[56].

В октябре 1940 года на основании Постановления СНК

[56] http://letopis.msu.ru/letopis/1940

СССР №1860 от 2 окт. 1940 г. «Об установлении платности обучения в старших классах средних школ и в высших учебных заведениях СССР и об изменении порядка назначения стипендий студентам».

637 **Об установлении платности обучения в старших классах средних школ и в высших учебных заведениях СССР и об изменении порядка назначения стипендий.**

Учитывая возросший уровень материального благосостояния трудящихся и значительные расходы Советского государства на строительство, оборудование и содержание непрерывно возрастающей сети средних и высших учебных заведений, Совет Народных Комиссаров СССР признает необходимым возложить часть расходов по обучению в средних школах и высших учебных заведениях СССР на самих трудящихся и в связи с этим постановляет:

1. Ввести с 1 сентября 1940 года в 8, 9 и 10 классах средних школ и в высших учебных заведениях плату за обучение.

2. Установить для учащихся 8—10 классов средних школ следующие размеры платы за обучение:

а) в школах Москвы и Ленинграда, а также столичных городов союзных республик — 200 рублей в год;

б) во всех остальных городах, а также в селах — 150 рублей в год.

Примечание. Указанную плату за обучение в 8—10 классах средних школ распространить на учащихся техникумов, педагогических училищ, сельскохозяйственных и медицинских школ и других специальных средних учебных заведений.

3. Установить следующие размеры платы за обучение в высших учебных заведениях СССР:

а) в высших учебных заведениях, находящихся в городах Москве, Ленинграде и столицах союзных республик, — 400 рублей в год;

б) в высших учебных заведениях, находящихся в других городах, — 300 рублей в год;

в) в высших учебных заведениях художественных, театральных и музыкальных — 500 рублей в год.

4. Плата за обучение вносится в соответствующие учебные заведения равными долями два раза в год: к 1 сентября и к 1 февраля.

Примечание. За первое полугодие 1940/41 учебного года плата за обучение вносится не позже 1 ноября с. г.

5. Плата за заочное обучение в средних и высших учебных заведениях взимается в половинном размере.

6. Установить, что с 1 ноября 1940 г. стипендии назначаются лишь тем студентам и учащимся в техникумах, которые проявляют отличные успехи.

Председатель Совета Народных
Комиссаров Союза ССР **В. Молотов.**

Управляющий Делами Совета
Народных Комиссаров СССР **М. Хломов.**

Москва, Кремль, 2 октября 1940 г. № 1860.

Постановления СНК СССР №1860 от 2 окт. 1940 г.
(Собрание постановлений и распоряжений правительства СССР. 1940. №27. С.910-911)

В соответствии с этим постановлением в вузах Москвы введена плата за обучение в размере 400 рублей в год. Плата должна вносится двумя равными долями к 1 сентября и 1 февраля. Много это или мало?

Среднемесячная денежная заработная плата рабочих и служащих по отраслям народного хозяйства СССР в 1940 составляла (в рублях)[57]: в целом по народному хозяйству – 339; промышленность (промышленно-производст-венный персонал) – 358, в том числе рабочие – 340; строительство (персонал, занятый на строительно-монтажных работах) – 337, в том числе рабочие – 307; сельское хозяйство – 229, совхозы и подсобные сельскохозяйственные предприятия – 219, МТС – 264; транспорт и связь – 338, железнодорожный транспорт – 340, водный транспорт – 409, автомобильный, городской электрический и прочий транспорт и погрузочно-разгрузочные работы – 345; связь – 279; торговля, заготовки и материально-техническое снабжение – 261; общественное питание – 221; просвещение (школы, учебные заведения, научно-исследовательские и культурно-просветительные учреждения) – 337; здравоохранение – 255; кредитные и страховые учреждения – 333; аппарат органов государственного и хозяйственного управления и общественных организаций – 387.

Таким образом, для минимальной ежемесячной заработной платы в 219 рублей, в месяц на оплату обучения в вузе Москвы тратилась примерно 2/13 заработной платы.

Вслед за этим, 12 октября 1940 г. СНК СССР был утвержден Приказ Всесоюзного комитета по делам высшей школы при Совнаркоме Союза ССР «О мероприятиях по выполнению По-

[57] РГАЭ. Ф. 1562. Оп. 41. Д. 113. Л. 1-291

становления Совнаркома СССР об установлении платности обучения в высших учебных заведениях и об изменении порядка назначения стипендий студентам»[58], в соответствии с которым:

- на стипендию зачислялись студенты, получившие на экзаменах не менее двух третей оценок «отлично», а остальные не ниже «хорошо»;
- с 1 ноября 1940 г. зачислялись на стипендии:

  а) студенты первого курса, принятые в вуз без испытания как отличники средней школы, а также получившие на приемных экзаменах не менее двух третей оценок «отлично», а остальные – не ниже «хорошо»;

  б) студенты, начиная со второго курса, получившие на весенней экзаменационной сессии не менее двух третей оценок «отлично», а остальные – не ниже «хорошо».
- студентам-стипендиатам, защищающим дипломный проект или сдающим государственные экзамены до 1 января 1941 г., сохранялись существующие стипендии.
- зачисленные на государственную стипендию студенты из числа нуждающихся освобождались от платы за обучение.
- допускалось свободное посещение студентами вузов учебных занятий по некоторым дисциплинам (не более одной трети от дисциплин, предусмотренных учебным планом) с обязательным выполнением практических работ и сдачей всех экзаменов в установленные учебным планом сроки.

Плата за обучение в старших классах средних школ и в

[58] Собрание постановлений и распоряжений правительства СССР. 1940. № 28. С. 946-948 http://музейреформ.рф/node/13838#ref-1

высших учебных заведениях СССР была отменена Постановлением Совета Министров СССР №768 от 06 июня 1956 года.

ПЛАТА ЗА ОБУЧЕНИЕ

I. Об отмене платы за обучение в старших классах средних школ, в средних специальных и высших учебных заведениях СССР.

Постановление Совета Министров СССР
от 6 июня 1956 г. № 768
(См. газеты «Правда» и «Известия»
за 10 июня 1956 г.)

Совет Министров Союза ССР постановляет:
В целях создания наиболее благоприятных условий для осуществления в стране всеобщего среднего образования и получения молодежью высшего образования отменить с 1 сентября 1956 г. плату за обучение в старших классах средних школ, средних специальных и высших учебных заведениях СССР.

Об отмене платы за обучение

С началом Великой Отечественной Войны обучение в Московском университете изменилось.

1 июля 1941 года были установлены новые сроки и порядок выпуска специалистов в условиях войны[59]:

- для студентов, выполнивших учебный план четырех курсов, – в течение июля и первой половины августа.
- для студентов других курсов – организовать занятия с таким расчётом, чтобы обеспечить их выпуск в следующие сроки: студентам приёма 1938 г. – 1 мая 1942 г., студентам приёма 1939 г. – 1 февраля 1943 г., студентам приёма 1940 г. – 1 июля 1943 г.
- в университете устанавливается трехлетний курс обучения.
- при организации учебной работы студентов с 1941/42 уч. г. исходить: а) продолжительность учебных занятий около 42 ч. в неделю (7 ч. в день); б) каникулы летом 1–31 августа,

[59] http://letopis.msu.ru/letopis/1941

зимой 11–17 февраля; в) учебная экзаменационная сессия не более 6–7 недель.

- учебные занятия начать с 1 августа (для студентов, не занятых на производственной практике), с 1 сентября для остальных.

15 октября 1941 года принято решение СНК СССР №14322сэ об эвакуации МГУ в столицу Туркменской ССР г. Ашхабад. Эвакуация сотрудников, студентов, научного и учебного оборудования проводилась в течение октября-декабря на железнодорожных эшелонах и пешком. Ряд сотрудников (среди них М.И.Захарова и Е.В.Колонцова) остались в Москве. М.И.Захарова исполняла обязанности заведующего кафедрой рентгеноструктурного анализа в Москве в течение всей эвакуации МГУ.

1 декабря возобновились занятия в Ашхабадской части МГУ. 31 декабря кафедра рентгеноструктурного анализа развернула работу в Ашхабаде.

16 июня 1942 года начался перевод университета в г. Екатеринбург (Свердловск). 13 октября Свердловская часть МГУ начала работу.

31 декабря 1942 года введено обязательно посещение занятий студентами вузов.

23 февраля 1943 года начата работа по реэвакуации МГУ в Москву. 15 июня реэвакуация закончена и 30 августа восстановлена работа кафедры рентгеноструктурного анализа.

Постановлением СНК СССР №76 от 8 апр. 1944 г. на физическом факультетее МГУ установлен срок обучения 5 лет.

В заключение нашего рассказа о педагогической деятельно-

сти кафедры подчеркнем, что о времени создания кафедры рентгеноструктурного анализа, на физико-математическом факультете МГУ уже начала складываться система специальных курсов, свыше 5 лет читавшихся студентам, специализировавшимся в области рентгеновской металлографии. С самого начала лекционные курсы сопровождались работой студентов в специальном физическом практикуме. Она прививала им экспериментальные навыки и умение обращаться со сложной и тонкой физической аппаратурой. На протяжении почти 30 лет эти курсы развиваясь и совершенствуясь, стали представлять собой фундаментальную основу подготовки университетских рентгеноструктурщиков. В разработке и чтении этих курсов в разное время принимали участие С.Т.Конобеевский, Г.С.Жданов, М.И.Захарова, В.И.Иверонова, М.М.Уманский, И.Б.Боровский.

В специальном физическом практикуме кафедры. 1951 год.

КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА. СПЕЦИАЛИТЕТ (1953-2016)

В 1953 году, в связи с расширением круга задач по подготовке специалистов для научных учреждений, кафедра рентгеноструктурного анализа была преобразована в кафедру физики твердого тела и ее возглавил профессор Г.С.Жданов.

В ту пору на кафедре было всего 16 сотрудников. Как вспоминала позже М.И.Захарова: «Кафедра в то время имела маленький профессорско-преподавательский штат: профессора Г.С.Жданов, М.И.Захарова, на полставки профессор И.Б.Боровский, доцент М.М.Уманский, ассистент Е.В.Колонцова».

Герман Степанович Жданов (1906-1991)

Мария Ивановна Захарова (1904-1994)

По-видимому, в ту пору кафедра с таким названием была единственной в университетах СССР и ей предстояло самой определиться, чем заниматься и каких специалистов готовить. Физик, специализирующийся в области физики твердого тела, дол-

жен был обладать широким научным кругозором. Только при этом условии он мог бы успешно работать не только в уже сформировавшихся научных направлениях, но и в новых, только что создающихся.

Профессор Г.С.Жданов выстроил четкую взаимосвязь хорошо известных частей, предложив цепочку: от состава вещества к его атомно-кристаллической структуре и к их общей функции – физико-химическим свойствам, т.е. «состав – структура – свойства». В свете этого он предложил готовить на кафедре специалистов-физиков широкого профиля с экспериментальным уклоном для научно-исследовательской работы в области структурной физики твердого тела и рентгеноскопии. Основным стержнем учебного плана кафедры стало последовательное использование атомно-электронных представлений, без которых невозможно изучение элементарных процессов, совершающихся в твердых телах, и создание полной микроскопической (атомно-молекулярной и электронной) теории твердого тела.

Такая постановка вопроса о подготовке специалистов по физике твердого тела заставила пересмотреть систему читавшихся на кафедре специальных курсов. В основу новой программы были положены следующие лекционные курсы:

- «Физика твердого тела»,
- «Квантовая теория твердого тела»,
- «Рентгеновский структурный анализ»,
- «Аппаратура и методы рентгеноструктурного анализа»,
- «Рентгеноскопия твердого тела»,
- «Атомная структура и свойства кристаллов»,
- «Строение кристаллов с особыми свойствами

(пьезоэлектрики, сегнетоэлектрики, сверхпроводники)»,

- «Структурные нарушения в кристаллах».

По этой программе и стало осуществляться обучение студентов кафедры.

В 1963 году на физическом факультете было создано отделение физики твердого тела (ОФТТ), что вызвало усиление «твердотельной» тематики в читаемых курсах. Для студентов восьми кафедр, входящих в состав ОФТТ, стали читать два общеотделенческих курса:

- «Введение в физику твердого тела»
  (Г.С.Жданов, курс сопровождался семинаром),
- «Квантовая теория твердых тел» (И.М.Лифшиц).

Для студентов кафедры физики твердого тела читались следующие специальные курсы:

- «Рентгеновский структурный анализ» (М.М.Уманский),
- «Дифракционные методы исследования кристаллических веществ» (М.М.Уманский),
- «Теория рассеяния рентгеновских лучей» (В.И.Иверонова),
- «Атомная структура твердых тел» (М.И.Захарова),
- «Физика рентгеновских лучей и рентгеновская спектроскопия» (И.Б.Боровский),
- «Динамика кристаллической решетки» (В.И.Иверонова),
- «Дефекты структуры кристаллов» (Е.В.Колонцова).

Курсы «Рентгеновский структурный анализ» и «Теория рассеяния рентгеновских лучей» сопровождались объединенным семинаром, который вели В.И.Иверонова и М.М.Уманский.

Создание на кафедре проблемной лаборатории «Атомно-кристаллическая структура веществ с особыми физическими

свойствами» в 1964 году и открытие специализации «Ядерная физика твердого тела» внесло значительные коррективы в систему читаемых специальных курсов. Кафедра стала осуществлять подготовку специалистов в области структурной физики твердого тела по двум подспециализациям, условно названным «структурной» и «ядерной». Все читаемые курсы были объединены в три блока: курсы из первого блока были обязательны для студентов обеих подспециализаций, а курсы из второго и третьего блока читались раздельно по подспециализациям.

Обязательными курсами были:

- «Техника безопасности при работах в лабораториях кафедры физики твердого тела» (В.В.Зубенко),
- «Дифракционные методы исследования кристаллических веществ» (М.М.Уманский),
- «Основы программирования» (А.А.Новакова),
- «Теория интенсивности и структурный анализ» (семинар) (М.М.Уманский),
- «Структурная кристаллография» (семинар) (С.В.Никитина),
- «Методы измерения ионизирующих излучений» (В.В.Зубенко),
- «Динамика решетки» (В.И.Иверонова).

Для студентов «*структурной*» подспециализации читались:

- «Кинематическая теория рассеяния рентгеновских лучей на дефектных структурах» (А.А.Кацнельсон),
- «Математические методы решения задач рентгеноструктурного анализа» (В.И.Симонов, ИКАН),
- «Динамическая теория рассеяния» (В.И.Иверонова),
- «Дефекты структуры кристаллов» (Е.В.Колонцова),

- «Атомная структура и свойства материалов» (М.И.Захарова).

Для студентов «*ядерной*» подспециализации читались:

- «Ядерный гамма резонанс» (Р.Н.Кузьмин),
- «Методы математической обработки результатов измерений по ЯГР» (А.А.Новакова).

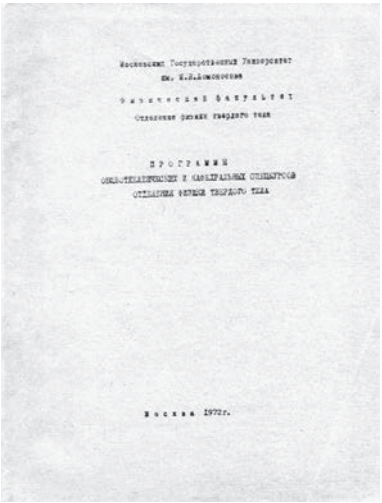
В начале 1970-х годов учебные планы кафедры претерпели некоторые изменения.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.М.В.ЛОМОНОСОВА

ПРОГРАММЫ

СПЕЦКУРСОВ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА на 1969/70 учебный год

Москва, 1969 г.


Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова

Физический факультет

Отделение физики твердого тела

ПРОГРАММЫ

ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ И ФАКУЛЬТАТИВНЫХ СПЕЦКУРСОВ

ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Москва 1972г.

Программы специальных курсов кафедры физики твердого тела (1969 год) и отделения физики твердого тела (1972 год).

Для студентов восьми кафедр (физики твердого тела, физики кристаллов, магнетизма, физики полупроводников, физики низких температур, общей физики для физического факультета, общей физики для биолого-почвенного и других факультетов МГУ, квантовой теории) и 6 проблемных лабораторий (атомно-кристаллической структуры вещества с особыми физическими свойствами, полупроводников, магнитных и физических свойств

металлов и сплавов, роста кристаллов для квантовой радиоэлектроники, дислокаций, микрорадиоэлектроники), входящих в состав ОФТТ, стали читать два общеотделенческих курса:

- «Атомная структура твердого тела» (Г.С.Жданов),
- «Теория твердого тела» (М.И.Каганов).

Для студентов кафедры читались обязательные курсы:

- «Дифракционные методы исследования кристаллических веществ» (М.М.Уманский),
- «Рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов дефектными кристаллами» (А.А.Кацнельсон, Г.С.Жданов),
- «Методы измерения ионизирующих излучений» (В.В.Зубенко),
- «Атомная структура твердых тел» (семинар к общеотделенческому курсу) (С.В.Никитина),
- «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей» (В.И.Иверонова).

Для студентов «*структурной*» подспециализации читались:

- «Дифракционная электронная микроскопия» (М.И.Захарова),
- «Теория интенсивности и структурный анализ» (М.М.Уманский),
- «Теория интенсивности и структурный анализ» (семинар) (М.М.Уманский),
- «Дефекты структуры кристаллов» (Е.В.Колонцова).

Для студентов «*ядерной*» подспециализации читались:

- «Ядерный гамма резонанс» (Р.Н.Кузьмин),
- «Основы радиоспектроскопии» (В.Н.Лазукин),
- «Когерентная оптика излучений рентгеновского диапазона»

(А.В.Колпаков).

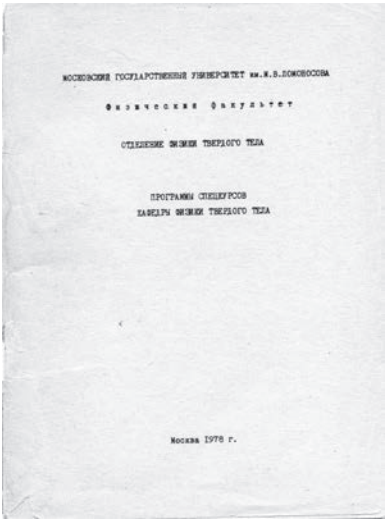
В 1974 году для студентов кафедры читались обязательные курсы:

- «Кинематическое рассеяние излучений в кристаллах» (А.А.Кацнельсон),
- «Рентгеноструктурный анализ» (М.М.Уманский),
- «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей» (В.И.Иверонова),
- «Ядерная физика твердого тела» (Р.Н.Кузьмин),
- «Методы измерения ионизирующего излучения» (В.В.Зубенко),
- «Теоретическая рентгеновская и гамма-оптика» (А.В.Колпаков),
- «Атомная структура и свойства материалов» (М.И.Захарова);

и курсы по выбору:

- «Ядерная физика твердого тела» (Р.Н.Кузьмин),
- «Физика мощного излучения в рентгеновском диапазоне» (Р.Н.Кузьмин),
- «Математические методы теории дифракции» (А.В.Колпаков),
- «Дефекты структуры кристаллов» (Е.В.Колонцова),
- «Рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов дефектными кристаллами» (А.А.Кацнельсон, Г.С.Жданов),
- «Твердотельно-ядерные резонансы» (Р.Н.Кузьмин),
- «Ядерный гамма резонанс» (Р.Н.Кузьмин),
- «Дифракционная электронная микроскопия» (М.И.Захарова).

В 1975 году в связи с решением Ученого совета физического факультета на кафедре была начата подготовка специалистов по рентгеновским исследованиям структуры белков и других биологических объектов. В программу были внесены соответствующие коррективы.

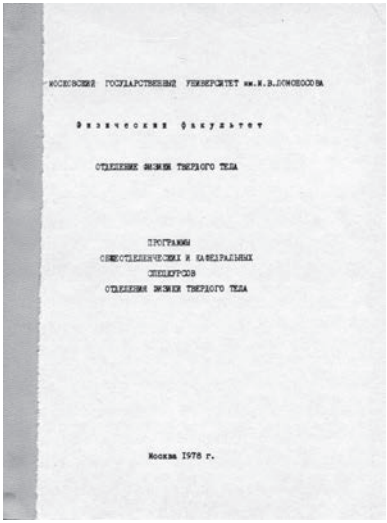

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.М.В.ЛОМОНОСОВА

Физический факультет

ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

ПРОГРАММЫ СПЕЦКУРСОВ
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Москва 1978 г.


МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.М.В.ЛОМОНОСОВА

Физический факультет

ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

ПРОГРАММЫ
ОБЩЕОТДЕЛЕНЧЕСКИХ И КАФЕДРАЛЬНЫХ
СПЕЦКУРСОВ
ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Москва 1978 г.

Программы специальных курсов кафедры физики твердого тела и отделения физики твердого тела (1978 год).

Для студентов ОФТТ стали читать общеотделенческие курсы:

- «Введение в физику твердого тела» (Г.С.Жданов),
- «Квантовая теория твердого тела» (в 3 частях) (М.И.Каганов),
- «Дифракционный и резонансный структурный анализ» (факультативно) (Г.С.Жданов, А.С.Илюшин, С.В.Никитина),
- «Физические применения теории групп – принципы, методы, примеры» (факультативно) (В.А.Копцик).

Часть курсов кафедры осталась без изменений:

- «Строение и свойства твердого тела» (семинар к общеотделенческому курсу) (С.С.Квитка),
- «Техника безопасности» (В.В.Зубенко),
- «Ядерная физика твердого тела» (Р.Н.Кузьмин, М.А.Андреева),
- «Рентгеноструктурный анализ» (М.М.Уманский),
- «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей» (по выбору) (В.И.Иверонова),
- «Методы измерения ионизирующих излучений» (В.В.Зубенко),
- «Когерентная оптика рентгеновского и гамма-диапазонов» (по выбору) (А.В.Колпаков).

В ряде курсов кафедры появилась биофизическая составляющая:

- «Введение в физику твердого тела и молекулярную биологию» (Г.С.Жданов, А.А.Новакова),
- «Рассеяние излучений кристаллами и биологическими объектами» (А.А.Кацнельсон),
- «Электронная микроскопия твердых тел и биологических объектов» (по выбору) (М.И.Захарова, Н.А.Хатанова).

Были поставлены новые курсы:

- «Дифракционные методы исследования белков и нуклеиновых кислот» (по выбору) (Н.С.Андреева),
- «Ядерная биология» (Р.Н.Кузьмин, А.А.Новакова).

Кроме того, появились и новые спецкурсы по традиционным направлениям:

- «Рентгенография кристаллов с дефектами» (по выбору) (В.И.Иверонова, Г.П.Ревкевич)

- «Теория сплавов» (по выбору) (А.А.Кацнельсон, В.М.Силонов),
- «Применение теории групп в физике твердого тела» (по выбору) (А.В.Колпаков, Е.Н.Овчинникова).

Защиты дипломных работ на кафедре.

В 1980-х годах чтение отделенческих курсов было прекращено и соответствующие дисциплины стали читаться по кафедрам. В программе кафедры физики твердого тела место отделенческих заняли кафедральные специальные курсы:

- «Введение в физику твердого тела» (Г.С.Жданов, А.А.Кацнельсон, А.Г.Хунджуа)
- «Квантовая теория твердого тела» (В.В.Ржевский).

Тогда же были поставлены и прочитаны новые курсы:

- «Псевдопотенциалы в физике твердого тела» (А.А.Кацнельсон),
- «Нелинейная рентгеновская оптика» (Р.Н.Кузьмин, В.А.Бушуев),
- «Мессбауэровская конверсионная спектроскопия и ее применение» (А.А.Новакова),
- «Введение в структурную физику редкоземельных интерметаллидов» (А.С.Илюшин),

- «Введение в структурную физику высокотемпературных сверхпроводников» (А.С.Илюшин),
- «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы» (А.Г.Хунджуа).

Александр Сергеевич Илюшин (род. 1943)

В апреле 1987 года профессор Г.С.Жданов по личному заявлению был освобожден от обязанностей заведующего кафедрой и распоряжением декана физического факультета профессора В.С.Фурсова (Распоряжение по физическому факультету МГУ №28 от 7 апреля 1987 г.) «исполнение этих обязанностей было возложено на заместителя заведующего кафедрой по НИЧ старшего научного сотрудника Илюшина Александра Сергеевича».

При его непосредственном участии, к началу 1990-х годов на кафедре сложилась новая усовершенствованная система учебных курсов. В качестве обязательных читались два блока основных курсов: «Физика конденсированных систем» и «Дифракционный структурный анализ», и блок специальных курсов по выбору. В 1991-2001 гг. обучение студентов кафедры проходило по следующей программе.

Блок «Физика конденсированных систем»:

- «Введение в физику конденсированных систем» (А.А.Кацнельсон),

- «Квантовая теория твердого тела (для экспериментаторов)» (А.А.Кацнельсон),
- «Физика реальных кристаллов» (А.Г.Хунджуа),
- «Микроскопическая теория металлов и сплавов» (В.М.Силонов),
- «Синергетические аспекты в физике твердого тела» (А.А.Кацнельсон),
- «Ядерная физика твердого тела» (Р.Н.Кузьмин).

Блок «Дифракционный структурный анализ»:

- «Дифракционный структурный анализ» (А.С.Илюшин),
- «Экспериментальные методы структурного анализа» (В.В.Зубенко),
- «Рентгенография конденсированных сред» (Г.П.Ревкевич),
- «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей» (В.А.Бушуев).

Блок спецкурсов по выбору:

- «Электронная микроскопия твердых тел и биологических объектов» (Н.А.Хатанова),
- «Вторичные процессы в рентгеновской оптике» (В.А.Бушуев),
- «Фазовые превращения в металлических сплавах» (А.Г.Хунджуа),
- «Структурная физика высокотемпературных сверхпроводников» (А.С.Илюшин),
- «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы» (А.Г.Хунджуа),
- «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов» (А.С.Илюшин),

- «Структурная физика нанокристаллических материалов» (А.А.Новакова),
- «Физика структурированных сред» (Р.Н.Кузьмин),
- «Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия» (В.А.Бушуев),
- «Вторичные процессы в рентгеновской оптике» (В.А.Бушуев),
- «Синхротронные исследования в физике твердого тела» (М.А.Андреева, Е.Н.Овчинникова),
- «Методы стоячей рентгеновской волны и двумерной поверхностной дифракции» (Ф.Г.Чуховский, М.В.Ковальчук, ИКАН).

Лекционные занятия дополняли семинары:

- «Введение в кристаллографию и технику структурного эксперимента» (В.В.Зубенко, И.В.Телегина),
- «Компьютеры в физике твердого тела и информационные технологии» (В.М.Авдюхина),
- «Рентгеновский структурный анализ» (В.М.Авдюхина);

и работа в специальных практикумах кафедры (рентгеноструктурном и мессбауэровском) и практикуме Института физики твердого тела РАН (г. Черноголовка), а также в научных лабораториях при прохождении производственной практики и выполнении дипломных работ.

А.С.Илюшин, В.А.Бушуев

А.И.Звягин, Р.Н.Кузьмин, А.Г.Хунджуа, А.А.Корнилова, В.В.Зубенко, Г.П.Ревкевич и А.А.Новакова

М.А.Андреева

А.А.Кацнельсон, Н.Д.Гаврилова, Г.П.Ревкевич, В.М.Авдюхина

Защиты дипломных работ. 2001 год.

В начале XXI-го века рабочий план кафедры был немного видоизменена, сохранив при этом свою структуру. Эти изменения были вызваны ростом интереса к использованию синхротронного излучения для исследования атомной и магнитной структуры функциональных материалов микро- и наноэлектроники в конце XX. В таком виде учебная программа существовала вплоть до 2015 года, пока осуществлялась подготовка специалистов-физиков по специальности 010600 «Физика конденсированного состояния вещества».

Блок «Физика конденсированных систем»:

- Часть I. «Введение в физику конденсированных систем» (А.А.Кацнельсон, В.М.Авдюхина),
- Часть II. «Квантовая теория твердого тела (для экспериментаторов)» (А.А.Кацнельсон, Д.И.Бажанов),
- Часть III. «Физика реальных кристаллов» (А.Г.Хунджуа),
- Часть IV. «Микроскопическая теория металлов и сплавов» (В.М.Силонов),
- Часть V. «Ядерная физика твердого тела» (Р.Н.Кузьмин),
- Часть VI. «Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества» (А.С.Илюшин, И.Р.Прудников, Д.И.Бажанов, Е.В.Якута).

Блок «Дифракционный структурный анализ»:

- Часть I. «Дифракционный структурный анализ» (А.С.Илюшин, А.П.Орешко),
- Часть II. «Экспериментальные методы структурного анализа» (В.В.Зубенко),
- Часть III. «Рентгенография конденсированных сред» (Г.П.Ревкевич, А.П.Орешко),

- Часть IV. «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей» (В.А.Бушуев),
- Часть V. «Дополнительные разделы рентгеноструктурного анализа» (В.М.Авдюхина).

Основные курсы дополнялись спецкурсами по выбору и факультативами:

- «Вторичные процессы в рентгеновской оптике» (В.А.Бушуев),
- «Фазовые превращения в металлических сплавах» (А.Г.Хунджуа),
- «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы» (А.Г.Хунджуа),
- «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов» (А.С.Илюшин),
- «Структурная физика наноматериалов» (А.А.Новакова, М.А.Андреева, Е.Н.Овчинникова, В.А.Бушуев),
- «Физика структурированных сред» (Р.Н.Кузьмин),
- «Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия» (В.А.Бушуев),
- «Синхротронные исследования в физике твердого тела» (М.А.Андреева, Е.Н.Овчинникова).

Наряду с лекционными занятиями студенты проходили обучение в спецпрактикуме кафедры, которые дополняются семинаром:

- «Техника эксперимента дифракционного структурного анализа» (В.В.Зубенко, И.В.Телегина).

При этом важно напомнить, что обучение студентов длилось 5,5 лет, распределение и начало обучения на кафедре происходило в 6-ом семестре, а в последнем, 11-ом, семестре студенты

выполняли только преддипломную практику.

АИС "Учебного комплекса МГУ" 06.09.2010

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2010/2011 учебный год для студентов **1-го курса** физического факультета (основное отделение,очная форма обучения), обучающихся по специальностям: 010400 "Физика", 010600 "Физика конденсированного состояния вещества", 010700 "Физика атомного ядра и частиц", 014000 "Медицинская физика",014200 "Биохимическая физика", 013900 "Фундаментальная радиофизика и физическая электроника".

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 1 (теор.об.- 18 нед.)									Семестр № 2 (теор.об.- 16 нед.)								
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных					Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных					Отчет-ность	
				всего	в неделю								всего	в неделю					
					Всего	Лек	Сем	Лаб	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	Зач.	Экз.
Отечественная история	136	72	36	36	2	2	0	0	зач.		64	32	32	2	2	0	0		экз.
Иностранный язык	238	126	54	72	4	0	4	0	зач.		112	48	64	4	0	4	0	зач.	
Физическая культура	204	108	36	72	4	0	0	4	зач.		96	32	64	4	0	0	4	зач.	
Механика	162	162	72	90	5	3	2	0	зач.	экз.									
Молекулярная физика	144										144	64	80	5	3	2	0	зач.	экз.
Общий физический практикум	206	126	0	126	7	0	0	7	зач.		80	0	80	5	0	0	5	зач.	
Математический анализ	390	198	90	108	6	3	3	0	зач.	экз.	192	96	96	6	3	3	0	зач.	экз.
Аналитическая геометрия	90	90	36	54	3	2	1	0	зач.	экз.									
Линейная алгебра	80										80	32	48	3	2	1	0	зач.	экз.
Программирование и информатика	188	108	36	72	4	1	1	2	зач.		80	48	32	2	0	1	1	зач.	
Безопасность жизнедеятельности	102	54	36	18	1	0	1	0			48	32	16	1	0	1	0	зач.	
Русская словесность (факультативно)	64										64	32	32	2	2	0	0	зач.	
Всего	***1940***	***1044***	***396***	***648***	***36***	***11***	***12***	***13***	***8***	***3***	***896***	***384***	***512***	***32***	***10***	***12***	***10***	***8***	***4***

Декан физического факультета
профессор — В.И.Трухин

Зам. декана физического факультета
доцент — В.Н.Аксенов

Рабочий план на 2010/2011 год для студентов 1-го курса.

АИС "Учебного комплекса МГУ"

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

07.09.2011

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2011/2012 учебный год для студентов **2-го курса** физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по специальностям: 010400 "Физика", 010600 "Физика конденсированного состояния вещества", 010700 "Физика атомного ядра и частиц", 014000 "Медицинская физика",014200 "Биохимическая физика", 013900 "Фундаментальная радиофизика и физическая электроника".

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 3 (теор.об.- 18 нед.)									Семестр № 4 (теор.об.- 16 нед.)								
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных					Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных					Отчет-ность	
				всего	в неделю								всего	в неделю					
					Всего	Лек	Сем	Лаб	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	Зач.	Экз.
Мировая история и культура	118	54	18	36	2	2	0	0	зач.		64	32	32	2	2	0	0	зач.	
Иностранный язык	85	45	9	36	2	0	2	0	зач.		40	8	32	2	0	2	0	зач.	
Физическая культура	204	108	36	72	4	0	0	4	зач.		96	32	64	4	0	0	4	зач.	
Электромагнетизм	180	180	90	90	5	3	2	0	зач.	экз.									
Оптика	192										192	96	96	6	3	3	0	зач.	экз.
Общий физический практикум	170	90	0	90	5	0	0	5	зач.		80	0	80	5	0	0	5	зач.	
Математический анализ	180	180	90	90	5	3	2	0	зач.	экз.									
Теория функций комплексной переменной	126	126	54	72	4	2	2	0	зач.	экз.									
Дифференциальные уравнения	112										112	48	64	4	2	2	0	зач.	экз.
Интегральные уравнения и вариационное исчисление	80										80	32	48	3	2	1	0		экз.
Программирование и информатика	122	90	36	54	3	0	1	2	зач.		32	16	16	1	0	0	1	зач.	
Основы геофизики и экологии	54	54	18	36	2	2	0	0		экз.									
Радиофизика	80										80	32	48	3	2	1	0		экз.
Химия	204	108	36	72	4	2	2	0	зач.		96	32	64	4	2	2	0		экз.
Введение в квантовую физику	108	108	36	72	4	2	2	0		экз.									
Практикум по радиоэлектронике	16										16	0	16	1	0	0	1	зач.	
Естественнонаучные дисциплины по выбору	48										48	16	32	2	2	0	0	зач.	
Теоретическая механика	128										128	64	64	4	2	2	0	зач.	
Выполнение курсовой работы	68	36	18	18	1	0	1	0			32	16	16	1	0	1	0	зач.	
Библиотечно-библиографическое ориентирование (факультативно)	16										16	0	16	1	1			зач.	
Всего	*2275*	*1179*	*441*	*738*	*41*	*16*	*14*	*11*	*9*	*5*	*1096*	*424*	*672*	*42*	*17*	*14*	*11*	*11*	*5*

Декан физического факультета
профессор — В.И.Трухин

Зам. декана физического факультета
доцент — В.Н.Аксенов

Рабочий план на 2011/2012 год для студентов 2-го курса.

АИС "Учебный план" учебного комплекса МГУ 19.06.2012

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. МОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2012/2013 учебный год для 3-го курса физического факультета (основное отделение,Очная форма обучения),

обучающихся по программе "ФИЗИКА" (специальность 010400 "Физика",специальность 010600 "Физика конденсированного состояния вещества",специальность 010700 "Физика атомного ядра и частиц",специальность 013900 "Фундаментальная радиофизика и физическая электроника")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 5 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 6 (теор.об.- 16 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам.раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Психология	60	60	24	36	2	2					экз.										
Педагогика	60											60	28	32	2	2					экз.
Иностранный язык	85	45	9	36	2		2			зач.		40	8	32	2		2				экз.
Атомная физика	126	126	54	72	4	2	2			зач.	экз.										
Физика атомного ядра и частиц	126	126	54	72	4	2	2			зач.	экз.										
Общий физический практикум	108	108		108	6			6		зач.											
Теория вероятностей и математическая статистика	128											128	64	64	4	2	2			зач.	экз.
Астрофизика	48											48	16	32	2	2				зач.	
Практикум по радиоэлектронике	36	36		36	2			2		зач.											
Теоретическая механика	144	144	72	72	4	2	2				экз.										
Электродинамика	272	144	72	72	4	2	2			зач.		128	64	64	4	2	2				экз.
Квантовая теория	160											160	80	80	5	3	2			зач.	
Методы математической физики	216	216	108	108	6	3	3			зач.	экз.										
Основы математического моделирования	64											64	16	48	3	2	1				экз.
Специальный физический практикум	32											32		32	2			2		зач.	
Всего (общая часть плана)	*1665,0*	*1005,0*	*393,0*	*612,0*	*34,0*	*13,0*	*13,0*	*8,0*	*0,0*	*7,0*	*5,0*	*660,0*	*276,0*	*384,0*	*24,0*	*13,0*	*9,0*	*2,0*	*0,0*	*4,0*	*5,0*
Летняя учебная практика (полевая геофизическая)	*Предусмотрена для студентов, обучающихся на кафедрах: Физики Земли, Физики моря и вод суши, Физики атмосферы.*																				
	Проводится в летнее время по окончании 6 семестра. Отчетность — зачет в 7 семестре, прод. 4 недели.																				
Дисциплины специализации	Название дисциплин специализации и спецкурсов кафедр, количество часов и форма отчетности																				
Спецкурсы кафедры	определяются рабочими планами кафедр в соответствии со специальностью (приложения 1 — 7)																				

Декан физического факультета
профессор Н.Н. Сысоев

Заместитель декана физического факультета
профессор В.Н. Прудников

1/1

Рабочий план на 2012/2013 год для студентов 3-го курса.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2013/2014 учебный год для 4-го курса физического факультета (основное отделение,Очная форма обучения),

обучающихся по программе "ФИЗИКА" (специальность 010400 "Физика",специальность 010600 "Физика конденсированного состояния вещества",специальность 010700 "Физика атомного ядра и частиц",специальность 013900 "Фундаментальная радиофизика и физическая электроника")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 7 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 8 (теор.об.- 16 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Философия	128											128	64	64	4	2	2			зач.	
Гуманитарные курсы по выбору	54	54	18	36	2	2					экз.										
Межфакультетские курсы	64	32	8	24	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	зач.		32	8	24	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	зач.	
Численные методы в физике	48											48	16	32	2	2					экз.
Квантовая теория	180	180	90	90	5	3	2				экз.										
Термодинамика и статистическая физика	308	180	90	90	5	3	2				экз.	128	64	64	4	2	2				экз.
Специальный физический практикум	204	108		108	6			6		зач.		96		96	6			6		зач.	
Лаборатория специализации	170	90		90	5			5		зач.		80		80	5			5		зач.	
Выполнение курсовой работы	выполняется в весеннем семестре, продолжительность 14 нед., защита до 20.05.14, отчетность — зачет с оценкой																				
Факультативные курсы																					
Всего (общая часть плана)	***1156,0***	***644,0***	***206,0***	***438,0***	***24,5***	***9,5***	***4,0***	***11,0***	***0,0***	***3,0***	***3,0***	***512,0***	***152,0***	***360,0***	***22,5***	***7,5***	***4,0***	***11,0***	***0,0***	***4,0***	***2,0***
Дисциплины специализации	Название дисциплин специализации и спецкурсов кафедр, количество часов и форма отчетности																				
Спецкурсы кафедры	определяются рабочими планами кафедр в соответствии со специальностью (приложения 1 — 7)																				
Механика сплошных сред *	96											96	32	64	4	2	2			зач.	
	** Предусмотрена только для студентов, обучающихся на кафедре акустики*																				
Летняя учебная практика (полевая геофизическая)	*Предусмотрена для студентов, обучающихся на кафедрах: Физики Земли, Физики моря и вод суши.*																				
	Проводится в летнее время по окончании 6 семестра. Отчетность — зачет в 7 семестре, прод. 4 недели.																				
	Предусмотрена для студентов, обучающихся на кафедре Физики атмосферы.																				
	Проводится в летнее время по окончании 6 и 8 семестров . Отчетность — зачет в 7 и 9 семестрах, прод.по 4 недели																				

Декан физического факультета
профессор Н.Н. Сысоев

Заместитель декана физического факультета
профессор В.Н. Прудников

Рабочий план на 2013/2014 год для студентов 4-го курса.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2014/2015 учебный год для 5-го курса физического факультета (основное отделение,Очная форма обучения),

Обучающихся по программе "ФИЗИКА" (специальность 010400 "Физика",специальность 010600 "Физика конденсированного состояния вещества",специальность 010700 "Физик атомного ядра и частиц",специальность 014000 "Медицинская физика",специальность 014200 "Биохимическая физика",специальность 013900 "Фундаментальная радиофизика Физическая электроника")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 9 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 10 (теор.об.- 16 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных всего	Аудиторных в неделю Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Отчетность Зач.	Экз.	Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных всего	Аудиторных в неделю Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Отчетность Зач.	
Философия	144	144	72	72	4	2	2				экз.										
Экономика	80											80	48	32	2	2				зач.	
История и методология физики	80											80	48	32	2	2					эк
Механика сплошных сред*	204	108	36	72	4	2	2			зач.		96	32	64	4	2	2			зач.	
Научно-исследовательская практика		до 15.12, прод. 2 нед.								зач.											
Преддипломная практика												до 01.06, прод. 16 нед.								зач. оцен.	
Государственный экзамен																					эк
Факультативные курсы																					
всего (общая часть плана)	***508,0***	***252,0***	***108,0***	***144,0***	***8,0***	***4,0***	***4,0***	***0,0***	***0,0***	***2,0***	***1,0***	***256,0***	***128,0***	***128,0***	***8,0***	***6,0***	***2,0***	***5,0***	***0,0***	***3,0***	
Дисциплины специализации	Название дисциплин специализации и спецкурсов кафедр, количество часов и форма отчетности																				
Спецкурсы кафедры	определяются рабочими планами кафедр в соответствии со специальностью (приложения 1 — 7)																				
	** Для студентов, обучающихся на кафедре акустики, преподавание данной дисциплины осуществляется в 8 и 9 семестрах.*																				
летняя учебная практика (полевая геофизическая)	*Предусмотрена для студентов, обучающихся на кафедре Физики атмосферы.*																				
	Проводится в летнее время по окончании 8 семестра. Отчетность — зачет в 9 семестре, прод. 4 недели.																				

Декан физического факультета
Профессор Н.Н. Сысоев

Рабочий план на 2014/2015 год для студентов 5-го курса.

АИС "Учебный план" учебного комплекса МГУ 24.07.2014

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Р А Б О Ч И Й П Л А Н

на 2014/2015 учебный год для 6-го курса физического факультета (основное отделение,Очная форма обучения),

обучающихся по программе "ФИЗИКА" (специальность 010400 "Физика",специальность 010600 "Физика конденсированного состояния вещества",специальность 010700 "Физи атомного ядра и частиц",специальность 014000 "Медицинская физика",специальность 014200 "Биохимическая физика",специальность 013900 "Фундаментальная радиофизика физическая электроника")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 11 (теор.об.- 0 нед.)										Семестр № 12 (теор.об.- 0 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчетность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Эк
Выпускная квалификационная работа (дипломная работа)	Продолжительность 18 нед. Срок защиты — до 10.01.2015										экз.										
Всего (общая часть плана)	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***1,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,***

Декан физического факультета
профессор Н.Н. Сысоев

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого Совета
физического факультета МГУ
27 декабря 2012г.
Декан физического факультета
профессор Н.Н. Сысоев

_____

Рабочий план по преподаванию специальных дисциплин для студентов 3 курса физического факультета на 6 семестр по специальности "Физика конденсированного состояния вещества" и по направлению "Физика"

№	№ гр.	№ сем.	Название кафедры	Обяз. или по выбору	Дисциплина	ауд. нагр.	Название курса	Отчетность	ФИО преподавателя	Должность, звание
1	315	6	Физики твердого тела	обязательн	дисциплина специализации	32ч	Введение в физику конденсированных сред	зачет	Авдюхина В.М.	доцент
				обязательн	спецсеминар	32ч	Техника эксперимента дифракционного структурного анализа.	зачет	Зубенко В.В. Телегина И.В.	доцент ст. преподаватель
2	316	6	Физики полупроводников	обязательн	дисциплина специализации	32ч	Введение в физику конденсированных сред	зачет	Манцевич В.Н.	доцент
				обязательн	спецсеминар	32ч	Физика конденсированных сред	зачет	Ормонт М.А.	доцент
3	317	6	Физики полимеров и кристаллов	обязательн	спецкурс	32ч	Введение в науку о полимерах.ч.1.	зачет	Филиппова О.Е. Тамм М.В.	профессор с.н.с.
				обязательн	спецсеминар	32ч	Актуальные направления физики полимеров и кристаллов	зачет	Филиппова О.Е.	профессор
4	320	6	Физики низких температур и сверхпроводимости	обязательн	спецкурс	32ч	Применение персональных ЭВМ в физическом эксперименте.	зачет	Пономарев Я.Г.	профессор
				обязательн	спецсеминар	32ч	Введение в специальность.	зачет	Васильев А.Н.	профессор

Рабочий план по преподаванию специальных курсов для студентов кафедры физики твердого тела в 6 семестре.

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого Совета
физического факультета МГУ
30 мая 2013 г.
Декан физического факультета
профессор Н.Н. Сысоев

Рабочий план по преподаванию специальных дисциплин для студентов 4 курса физического факультета на 7 семестр по специальности "Физика конденсированного состояния вещества"

№ гр.	№ сем	Название кафедры	Обяз. или по выбору	Дисциплина	аудит. нагр.	Название курса	Отчетность	ФИО преподавателя	Должность, звание
415	7	Физики твердого тела	обязательн	спецкурс	36ч	Дифракционный структурный анализ.	экзамен	Илюшин А.С. Орешко А.П.	профессор доцент
			обязательн	спецкурс	36ч	Физика реального кристалла.	экзамен	Хунджуа А.Г.	профессор
			обязательн	спецкурс	36ч	Экспериментальные методы структурного анализа.	зачет	Зубенко В.В.	доцент
			обязательн	спецкурс	36ч	Дополнительные разделы рентгеноструктурного анализа.	зачет	Авдюхина В.М.	доцент
416	7	Физики полупроводников	обязательн	спецкурс	36ч	Введение в физику полупроводников.	зачет	Звягин И.П.	профессор
			обязательн	спецкурс	36ч	Физика полупроводников, ч.1	экзамен	Звягин И.П.	профессор
			обязательн	спецкурс	36ч	Квазичастицы в конденсированных средах.	экзамен	Ормонт М.А.	доцент
			обязательн	спецкурс	36ч	Применение вычислительной техники для исследования полупроводников.	зачет	Лебедев А.И.	профессор

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого Совета
физического факультета МГУ
26 декабря 2013г.
Декан физического факультета
профессор И.Н. Сысоев

Рабочий план по преподаванию специальных дисциплин для студентов 4 курса физического факультета на 8 семестр по специальности "Физика конденсированного состояния вещества"

№	№ гр.	№ сем	Название кафедры	Обяз. или по выбору	Дисциплина	аудит. нагр.	Название курса	Отчетность	ФИО преподавателя	Должность, звание
1	415	8	Физики твердого тела	обязательн	дисциплина специализации	32ч	Квантовая теория твердых тел	экзамен	Бажанов Д.И.	ст. преп.
				обязательн	спецкурс	32ч	Дифракционный структурный анализ реальных кристаллов и наносистем	экзамен	Орешко А.П.	доцент
				обязательн	спецкурс	32ч	Микроскопическая теория металлов и сплавов	экзамен	Силонов В.М.	г.н.с.
				обязательн	спецкурс	32ч	Компьютеры в физике твердого тела и информационные технологии	зачет	Авдюхина В.М.	доцент
2	416	8	Физики полупроводников	обязательн	дисциплина специализации	32ч	Физика реального кристалла	экзамен	Случинская И.А.	доцент
				обязательн	спецкурс	64ч	Физика полупроводниковых приборов	экзамен и зачет	Лебедев А.И.	профессор
				обязательн	спецкурс	32ч	Физика полупроводников,ч.2	экзамен	Звягин И.П.	профессор

Рабочий план по преподаванию специальных курсов для студентов кафедры физики твердого тела в 8 семестре.

172осн Приложен
к приказу №____ от «07» октября

УТВЕРЖДАЮ
Декан
физического факультета
профессор Н.Н. Сысоев

МГУ имени М.В.Ломоносова
Рег. номер: 172-1-03-ОСН
Рег. дата: 07.10.2014
Распечатал(а): Мухортова П.А.
Дата печати: 10.10.2014

Рабочий план по преподаванию специальных дисциплин для студентов 5 курса физического факультета на 9 семестр по специальности "Физика конденсированного состояния вещества"

№	№ гр.	№ сем.	Название кафедры	Обяз. или по выбору	Дисциплина	Аудит. нагр.	Название курса	Отчетность	ФИО преподавателя	Должность, звание
1	515	9	Физики твердого тела	обязательн	дисциплина специализации	36ч.	Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества	экзамен	Илюшин А.С.	профессор
									Прудников И.Р.	с.н.с.
									Якута Е.В.	с.н.с.
									Бажанов Д.И.	ст.преп.
				обязательн	спецкурс	36ч	Ядерная физика твердого тела, ч.I	экзамен	Кузьмин Р.Н.	профессор
				обязательн	спецкурс	36ч	Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей	экзамен	Бушуев В.А.	профессор
				обязательн	спецкурс	36ч	Фазовые превращения в металлических сплавах	экзамен	Хунджуа А.Г.	профессор
				обязательн	спецкурс	36ч	Вторичные процессы в рентгеновской оптике	зачет	Бушуев В.А.	профессор

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого Совета МГУ
25 декабря 2014г.
Декан физического факультета
профессор Н.Н. Сысоев

Приложение № 5 к приказу

№ 44-ас от "02" 02 2015 г.

Рабочий план по преподаванию специальных дисциплин для студентов 5 курса физического факультета на 10 семестр по специальности "Физика конденсированного состояния вещества"

№	№ гр.	№ сем.	Название кафедры	Обяз. или по выбору	Дисциплина	аудит. нагр.	Название курса	Отчетность	ФИО преподавателя	Должность, звание
1	515	10	Физики твердого тела	по выбору 2 из 4	спецкурс 1	32 ч	Структурная физика редкоземельных интерметаллидов	2 экзамена	Илюшин А.С.	профессор
					спецкурс 2	32 ч	Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы		Хунджуа А.Г.	профессор
					спецкурс 3	32 ч	Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия		Бушуев В.А.	профессор
					спецкурс 4	32 ч	Структурная физика наноматериалов		Андреева М.А.	в.н.с.
									Бушуев В.А.	профессор
									Новакова А.А.	г.н.с.
									Овчинникова Е.Н.	профессор
				обязательн	спецсеминар	32 ч	Синхротронные исследования в физике твердого тела	зачет	Андреева М.А.	в.н.с.
									Овчинникова Е.Н.	профессор
2	516	10	Физики полупроводников	обязательн	спецкурс	32 ч	Двумерные структуры и сверхрешетки в полупроводниках	экзамен	Юнович А.Э.	профессор
				обязательн	спецкурс	32 ч	Нелинейная оптика полупроводников и полупроводниковых наноструктур	экзамен	Днепровский В.С.	профессор
				обязательн	спецсеминар	32 ч	Физика неупорядоченных полупроводников: а)Теоретические представления	зачет	Миронов А.Г.	с.н.с.
							б)Физика аморфных гидрированных полупроводников		Казанский А.Г.	профессор

МГУ имени М.В.Ломоносова
Рег.номер: 44-15/103-АС
Рег.дата: 02.02.2015
Распечатал(а): Мухортова П.А.
Дата печати: 04.02.2015

Рабочий план по преподаванию специальных курсов для студентов кафедры физики твердого тела в 10 семестре.

Р.Н.Кузьмин, А.А.Опаленко, С.Н.Замышляева
А.А.Кацнельсон, Н.А.Хатанова, В.В.Карчажкин, В.М.Силонов
А.И.Звягин, Д.И.Бажанов, Г.П.Ревкевич, В.М.Авдюхина
А.С.Илюшин

М.А.Андреева, Г.П.Ревкевич,
А.П.Орешко, А.А.Корнилова,
И.В.Телегина, А.Г.Хунджуа

Р.Н.Кузьмин, В.А.Бушуев,
А.А.Новакова, Е.Н.Овчинникова

Р.Н.Кузьмин, В.В.Зубенко

А.Г.Хунджуа

В 2001-2006 годах на кафедре была усилена работа по более широкому и активному вовлечению молодых сотрудников в педагогических процесс, привлекая их в качестве лекторов-дублеров к чтению отдельных разделов учебных курсов.

В соответствии с этим к чтению лекций были привлечены доц. В.М.Авдюхина («Введение в физику конденсированных систем») и н.с. Д.И.Бажанов («Квантовая теория твердого тела (для экспериментаторов)». Они подготовили и прочитали под руководством проф. А.А.Кацнельсона ряд разделов соответствующих курсов в 2003-2005 годах, а с 2006 г. полностью стали читать соответствующие курсы.

Практика подготовки лекторов-дублеров на кафедре является традиционной. Так, например, к чтению своих курсов проф. А.С.Илюшиным в 2003-2006 годах также были привлечены молодые сотрудники: отдельные разделы курса «Дифракционный структурный анализ» читал н.с. А.П.Орешко, а отдельные разделы курса «Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества» были прочитаны с.н.с. И.Р.Прудниковым, н.с. Д.И.Бажановым и н.с. Е.В.Якутой.

К работе над курсом «Электронная микроскопия твердых тел и биологических объектов» ст.преп. Н.А.Хатанова привлекла ассистента Е.А.Бровкину.

Кроме студентов кафедры физики твердого тела, лекции по ряду специальных курсов по просьбе научных руководителей посещали студенты других кафедр факультета: кафедры общей физики, кафедры нейтронографии, кафедры физики конденсированного состояния вещества.

В специальном практикуме кафедры физики твердого тела выполняли практические работы студенты кафедр ОФТТ, а также других кафедр физического факультета.

Особо следует отметить важную роль специального практикума кафедры, с самого зарождения и на протяжении всей ее истории сопровождавшего лекционные и семинарские занятия. За это время были отработаны методические приемы, созданы необходимая аппаратурная база и оригинальные описания лабораторных задач. Эти описания постоянно перерабатывались и новые «версии» становились содержанием учебников:

- Специальный физический практикум. Том второй. Рентгенофизика и рентгеноструктурный анализ. М.-Л.: ОГИЗ ГИТТЛ, 1945.
- Физика твердого тела: Структура твердого тела и магнитные явления. Спецпрактикум. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982.
- Авдюхина В.М., Батсурь Д., Зубенко В.В., Кацнельсон А.А., Квитка С.С., Колесова Н.С., Новакова А.А., Ревкевич Г.П., Сангаа Д., Телегина И.В., Уманский М.М. Рентгенография. Спецпрактикум. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986.

Созданию и модернизации специального практикума, в котором приобретали экспериментальные навыки в области рентгеноструктурного анализа студенты не только кафедры, но и всего физического факультета, на разных этапах много сил и энергии отдавали: С.Т.Конобеевский, А.И.Ельников, М.М.Уманский, М. И.Захарова, В.П.Тарасова, В.И.Иверонова, И.Б.Боровский, А.И. Любимцев, М.А.Блохин, А.А.Степанова, С.С.Квитка, Е.В.Колонцова, З.К.Золина. В 1970-2010 годах высокий педагогический и научный уровень занятий в практикуме обеспечивали В.В.Зубенко, И.В.Телегина, Н.А.Хатанова, Г.П.Ревкевич, неустанной работе и высочайшему мастерству которых практикум кафедры обязан своей репутацией на физическом факультете.

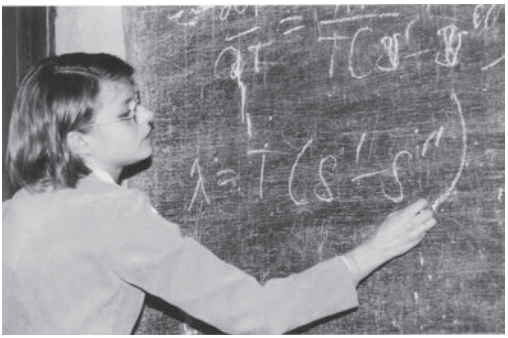
В конце XIX – начале XX века к работе в практикуме были привлечены С.В.Свешников, В.М.Авдюхина и Е.А.Бровкина.

Преподаватели спецпрактикума кафедры.

Н.А.Хатанова в спецпрактикуме кафедры.

Работа над практическим сопровождением теоретических лекционных курсов привела к созданию на кафедре еще двух разделов специального практикума – «мессбауэровского» (А.А.Новакова, Т.Ю.Киселева) и «компьютерного» (В.М.Авдюхина, Я.А. Сорников). В 2005 году к ним добавился третий раздел – практикум по рентгеновской оптике (М.А.Андреева, В.А.Бушуев, Е.Н. Овчинникова, А.П.Орешко, И.Р.Прудников, А.Г.Смехова).

Параллельно с обучением студентов, на кафедре происходит и обучение аспирантов. Кроме курсов философии и английского языка, обязательных для всех аспирантов факультета, и педагогической практики, начиная с 2003-2004 учебного года в программу обучения аспирантов кафедры были включены 4 новых лекционных курса.



Е.А.Горон. Вступительный экзамен в аспирантуру. 2001 г.

В период с 2003 по 2006 годы читались следующие курсы:

- «Актуальные проблемы структурной физики конденсированных сред». Лектор: проф. А.С.Илюшин.
- «Рентгеновская фазоконтрастная томография». Лектор: проф. В.А.Бушуев.
- «Физика неравновесных конденсированных систем». Лектор: проф. А.А.Кацнельсон.
- «Резонансное и магнитное рассеяние излучений рентгеновского диапазона длин волн для исследований структуры и свойств материалов». Лекторы: в.н.с. М.А.Андреева и в.н.с. Е.Н.Овчинникова.

С 2005/2006 учебного года для аспирантов читались курсы:

- «Рентгеновское излучение в исследовании магнетизма». Лектор: в.н.с. М.А.Андреева.
- «Резонансная дифракция синхротронного излучения – но-

вый метод исследования твердых тел и наноструктур». Лектор: доц. Е.Н.Овчинникова.

- «Актуальные проблемы структурной физики конденсированных сред». Лектор: проф. А.С.Илюшин.
- «Рентгеновская фазоконтрастная томография». Лектор: проф. В.А.Бушуев.

И.В.Телегина, В.А.Бушуев, И.А.Никанорова, Г.П.Ревкевич, В.М.Авдюхина, А.А.Кацнельсон, Е.Н.Овчинникова

Лекции по вышеперечисленным курсам, кроме аспирантов кафедры физики твердого тела, слушали и аспиранты ряда других кафедр факультета: общей физики, общей физики и молекулярной электроники, молекулярной физики.

Для активизации учебно-методического процесса и во исполнение приказа по физическому факультету №86-осн от 14 сентября 2009 года, на кафедре была создана учебно-методическая комиссия в составе:

профессор В.А.Бушуев – председатель,

профессор А.Г.Хунджуа – зам. председателя,

доцент В.В.Зубенко – член комиссии,

доцент Е.Н.Овчинникова – член комиссии,

доцент А.П.Орешко – член комиссии,

а доцент А.П.Орешко, помимо этого, был назначен заместителем заведующего кафедры по учебной работе.

КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА. БАКАЛАВРИАТ И МАГИСТРАТУРА (2013-2020)

В 2010 году началась работа по разработке образовательных стандартов, самостоятельно устанавливаемых МГУ имени М.В.Ломоносова. Новый разрабатываемый образовательный стандарт по физике предполагал переход от одноступенчатой системы обучения (специалитет) к двухступенчатой (бакалавр-магистр). В 2011 году состоялся набор студентов для обучения по новому образовательному стандарту.

Приложение № 1
к Правилам приема
в МГУ имени М.В.Ломоносова
в 2011 году

ПЕРЕЧЕНЬ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ) И ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В МГУ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА В 2011 ГОДУ

ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ НА 1 КУРС НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ БАКАЛАВРИАТА И ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТА (для граждан Российской Федерации)*

			вступительное испытание (ЕГЭ)**	профильное вступительное испытание (ЕГЭ)**	вступительное испытание (ЕГЭ)**	вступительное испытание (ЕГЭ)**	дополнительное вступительное испытание
специалист	010701	Фундаментальная математика и механика	русский язык	математика	физика		математика (письменно)
бакалавр	010300	Фундаментальные информатика и информационные технологии	русский язык	математика	физика	ИКТ	математика (письменно)
бакалавр	010400	Прикладная математика и информатика	русский язык	математика	физика	ИКТ	математика (письменно)
бакалавр	011200	Физика	русский язык	физика	математика		физика (письменно)
специалист	011501	Астрономия	русский язык	физика	математика		физика (письменно)

Выписка из Приложения №1 к Правилам приема в МГУ имени М.В.Ломоносова в 2011 году с отметкой о приеме на обучение по программе бакалавриата Физика

В соответствии с приказом ректора МГУ №1136 «О реализации основных образовательных программ в Московском университете» от 21 ноября 2012 года и приказом декана физического факультета МГУ №19-осн от 21 февраля 2013 года в кратчайшие сроки на кафедре были разработаны учебные планы, рабочие

программы дисциплин, научно-производственной практики и научно-исследовательской работы, относящиеся к обучению бакалавров и создана магистерская программа «Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред». Уже в сентябре 2011 года магистерская программа была утверждена на Ученом совете физического факультета.

А.С.Илюшин

Д.И.Бажанов

И.Р.Прудников

И.С.Терешина, Ю.В.Корнеева

Е.А.Бровкина, А.П.Орешко

В.В.Ржевский, В.М.Авдюхина

Т.Ю.Киселева

Е.В.Якута

В 2013 году первые бакалавры-физики распределились по кафедрам и сотрудники кафедр, в том числе и кафедры физики твердого тела, приступили к их обучению. В рамках бакалаврской программы были подготовлены курсы:

дисциплины профиля, блок «Физика конденсированного состояния вещества»:

- «Кристаллография» (проф. Е.Н.Овчинникова),
- «Свойства конденсированных веществ» (доц. В.М.Авдюхина),
- «Физика реальных кристаллов» (проф. А.Г.Хунджуа),
- «Фазовые превращения в металлических сплавах» (проф. А.Г.Хунджуа);

блок «Дифракционный структурный анализ»:

- «Основы дифракционного структурного анализа» (проф. А.С.Илюшин, доц. А.П.Орешко),
- «Дифракционный структурный анализ конденсированных сред» (доц. А.П.Орешко);

специальные курсы (по выбору):

- «Структурные дифракционные методы: основы эксперимента» (проф. А.С.Илюшин, доц. Е.А.Бровкина),
- «Мессбауэровская спектроскопия: физические основы метода, экспериментальная техника и применение» (доц. Т.Ю.Киселева),
- «Методы обработки рентгендифракционных данных» (доц. В.М.Авдюхина),
- «Основы физики функциональных магнитных материалов» (проф. А.С.Илюшин, в.н.с. И.С.Терешина),
- «Применение рентгеновского излучения для исследования

ближнего порядка» (г.н.с. В.М.Силонов),

- «Современные функциональные материалы» (г.н.с. А.А.Новакова),
- «Физика систем металл-водород» (доц. В.М.Авдюхина);

и факультативные курсы:

- «Введение в специальность» (доц. А.П.Орешко),
- «Научная визуализация в физике конденсированного состояния» (н.с. К.А.Козловская),
- «Основные разделы физики конденсированного состояния вещества» (проф. А.Г.Хунджуа, доц. А.П.Орешко).

Разработанный рабочий план бакалаврской программы на протяжении всего своего существования обладал огромным недостатком. Формально, в соответствии с планом, для студентов устанавливались часы для выполнения научно-исследовательской практики и работы, но эти часы были не аудиторными, а только для самостоятельной работы. На практике это означало, что студентам приходилось фактически выкраивать время для экспериментальной работы в лабораториях в обеденный перерыв, в промежутках между лекциями и семинарами, по вечерам, после окончания занятий. Безусловно, такое состояние дел крайне негативно сказывалось на качестве дипломных работ бакалавров.

АИС "Учебный план" учебного комплекса МГУ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2014/2015 учебный год для 1-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "ИБ_ФИЗИКА" (направление 03.03.02 "Физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 1 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 2 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Естественнонаучные дисциплины по выбору**	108											108	74	34	2	2					экз.
Модуль "Иностранный язык"																					
Иностранный язык	252	108	36	72	4		4			зач.		144	76	68	4		4				экз.
Русский язык и культура речи	144											144	93	51	3	1	2				экз.
Безопасность жизнедеятельности	72	72	36	36	2		2			зач.											
Физическая культура	164	90	18	72	4				4	зач.		74	6	68	4				4	зач.	
Модуль "Математика"																					
Математический анализ	396	216	108	108	6	3	3			зач.	экз.	180	78	102	6	3	3			зач.	экз.
Аналитическая геометрия	108	108	54	54	3	2	1			зач.	экз.										
Линейная алгебра	108											108	57	51	3	2	1			зач.	экз.
Модуль "Информатика"																					
Программирование и информатика	216	144	72	72	4	1	1	2		зач.*		72	21	51	3		1	2		зач.*	
Модуль "Общая физика"																					
Механика	252	252	126	126	7	3	4			зач.	экз.										
Молекулярная физика	216											216	97	119	7	3	4			зач.	экз.
Общий физический практикум***	252	144	36	108	6	1		5		зач.*		108	40	68	4			4		зач.*	
Всего (общая часть плана)	***2288,0***	***1134,0***	***486,0***	***648,0***	***36,0***	***10,0***	***15,0***	***7,0***	***4,0***	***8,0***	***3,0***	***1154,0***	***542,0***	***612,0***	***36,0***	***11,0***	***15,0***	***6,0***	***4,0***	***6,0***	***6,0***

Декан физического факультета
профессор

Сысоев Н. Н.

* Зачет с оценкой
** "Астрофизика", "Общая биология", "Общая химия"
*** "Общий физический практикум" включает лекционные часы по теме: "Обработка результатов физического эксперимента"

Рабочий план на 2014/15 год для студентов 1-го курса бакалавриата.

АИС "Учебный план" учебного комплекса МГУ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2014/2015 учебный год для 2-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "ИБ_ФИЗИКА" (направление 011200 "Физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 3 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 4 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Дисциплины компьютерной физики по выбору**	144	72	36	36	2			2		зач.		72	38	34	2			2		зач.*	
Модуль "Иностранный язык"																					
Иностранный язык для профессиональной коммуникации	144	72	36	36	2		2				экз.	72	38	34	2		2			зач.	
Физическая культура	128	90	18	72	4				4	зач.		38	4	34	2				2	зач.	
Модуль "Современное естествознание"																					
Основы геофизики и экологии	108											108	74	34	2	2					экз.
Модуль "Математика"																					
Математический анализ	180	180	90	90	5	3	2			зач.	экз.										
Теория функций комплексной переменной	144	144	72	72	4	2	2			зач.	экз.										
Дифференциальные уравнения	144											144	76	68	4	2	2			зач.	экз.
Интегральные уравнения и вариационное исчисление	108											108	57	51	3	2	1				экз.
Модуль "Общая физика"																					
Электромагнетизм	252	252	126	126	7	3	4			зач.	экз.										
Оптика	216											216	97	119	7	3	4			зач.	экз.
Введение в квантовую физику	144											144	76	68	4	2	2				экз.
Физика атомного ядра и частиц	144	144	72	72	4	2	2			зач.	экз.										
Общий физический практикум	180	180	36	144	8			8		зач.*			к 18.05, прод. 17 нед.(курсовая работа)								экз
Общий физический практикум	108											108	40	68	4			4		зач.*	
Модуль "Теоретическая физика"																					
Теоретическая механика	108											108	40	68	4	2	2			зач.	
Всего (общая часть плана)	***2252,0***	***1134,0***	***486,0***	***648,0***	***36,0***	***10,0***	***12,0***	***10,0***	***4,0***	***7,0***	***5,0***	***1118,0***	***540,0***	***578,0***	***34,0***	***13,0***	***13,0***	***6,0***	***2,0***	***7,0***	***6,0***

Декан физического факультета
профессор Сысоев Н. Н.

* Зачет с оценкой

** "Компьютерная физика"; "Параллельное программирование для решения задач физики"; "Программирование микроконтроллеров"; "Программирование в операционной системе Линукс"; "Использование среды графического программирования LabView для создания систем автоматизации физического эксперимента"; "Проектирование на программируемых логических интегральных схемах, архитектура, средства и методы работы", "Основы WEB-технологий"

Рабочий план на 2014/15 год для студентов 2-го курса бакалавриата.

АИС "Учебный план" учебного комплекса МГУ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2014/2015 учебный год для 3-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "ИБ_ФИЗИКА" (направление 011200 "Физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 5 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 6 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных в неделю						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных в неделю						Отчет-ность	
				всего	Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.			всего	Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Межфакультетские учебные курсы по выбору	72	36	12	24	1,3	1,3	0,0	0,0	0,0	зач.		36	12	24	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	зач.	
Радиофизика	216	216	90	126	7	2	1	4		зач.	экз.										
Специальные дисциплины по выбору**	72	72	36	36	2	2				зач.											
Дисциплины профиля	72											72	38	34	2	2					экз.
Дисциплины профиля	72											72	38	34	2	2				зач.	
Научно-исследовательская практика	108											108	108							зач.*	
Научно-исследовательская работа	54	36	36									18	18								
Модуль "Иностранный язык"																					
Иностранный язык для профессиональной коммуникации	144	72	36	36	2		2			зач.		72	38	34	2		2				экз.
Физическая культура	36	36		36	2	2				зач.											
Модуль "Современное естествознание"																					
Физическая химия	144											144	76	68	4	2	2				экз.
Модуль "Математика"																					
Теория вероятностей	144											144	76	68	4	2	2			зач.	экз.
Модуль "Информатика"																					
Основы математического моделирования	108											108	57	51	3	2	1				экз.
Модуль "Общая физика"																					
Атомная физика	216	216	90	126	7	2	2	3		зач.	экз.										
Модуль "Теоретическая физика"																					
Теоретическая механика	144	144	72	72	4	2	2				экз.										
Электродинамика	252	108	36	72	4	2	2			зач.		144	76	68	4	2	2				экз.
Квантовая теория	144											144	59	85	5	3	2			зач.	
Методы математической физики	216	216	108	108	6	3	3			зач.	экз.										
Специальный физический практикум	72											72	38	34	2			2		зач.	
Всего (общая часть плана)	***2286,0***	***1152,0***	***516,0***	***636,0***	***35,3***	***16,3***	***12,0***	***7,0***	***0,0***	***8,0***	***4,0***	***1134,0***	***634,0***	***500,0***	***29,4***	***16,4***	***11,0***	***2,0***	***0,0***	***6,0***	***6,0***

Декан физического факультета
профессор Сысоев Н. Н.

* Зачет с оценкой
** "Основы физики конденсированного состояния вещества";"Механика сплошных сред","Основы биофизики и экологии".

Рабочий план на 2014/15 год для студентов 3-го курса бакалавриата.

АИС "Учебный план" учебного комплекса МГУ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН
на 2014/2015 учебный год для 4-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "ИБ_ФИЗИКА" (направление 011200 "Физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 7 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 8 (теор.об.- 15 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Математические дисциплины по выбору**	72	72	18	54	3	1	2			зач.											
Дисциплины профиля	144	72	36	36	2	2					экз.	72	42	30	2	2					экз.
Дисциплины профиля	72	72	36	36	2	2					экз.										
Дисциплины профиля	72	72	36	36	2	2					экз.										
Спецкурс кафедры (по выбору)	144	72	36	36	2	2				зач.		72	42	30	2	2				зач.	
Спецкурс кафедры (по выбору)	72											72	42	30	2	2					экз.
Научно-исследовательская практика	108	108	108							зач.*											
Научно-исследовательская работа	90	36	36									54	54							зач.*	
Научно-исследовательский семинар	108	36		36	2		2					72	12	60	4		4			зач.	
междисциплинарный экзамен по направлению "Физика"																					экз.
Подготовка и защита выпускной квалификационной работы по направлению "Физика"																					экз.
Модуль "История"																					
История	72	72	36	36	2	2				зач.											
Модуль "Философия"																					
Философия	72											72	42	30	2	2				зач.	
Экономика	72											72	42	30	2	2				зач.	
Модуль "Информатика"																					
Численные методы в физике	72											72	27	45	3	3				зач.*	
Модуль "Теоретическая физика"																					
Квантовая теория	180	180	90	90	5	3	2				экз.										
Термодинамика и статистическая физика	324	180	90	90	5	3	2				экз.	144	84	60	4	2	2				экз.
Специальный физический практикум	252	144	36	108	6			6		зач.		108	18	90	6			6		зач.*	
Всего (общая часть плана)	***1926,0***	***1116,0***	***558,0***	***558,0***	***31,0***	***17,0***	***8,0***	***6,0***	***0,0***	***5,0***	***5,0***	***810,0***	***405,0***	***405,0***	***27,0***	***15,0***	***6,0***	***6,0***	***0,0***	***7,0***	***5,0***

Декан физического факультета
профессор Сысоев Н. Н.

* Зачет с оценкой
** "Математическая статистика"; "Теория случайных процессов"; "Математические модели флуктуационных явлений"

1/1

На протяжении 2010-2013 годов требования к формирующимся на факультете магистерским программам постоянно менялось и порой сотрудникам приходилось буквально за неделю полностью перерабатывать созданные программы учебных курсов. Часто новые требования диаметрально отличались от старых и у сотрудников возникало непонимание: «а зачем мы это делаем?».

Практически с самого начала, процесс организации перехода на новую форму обучения на кафедре лег на плечи А.П.Орешко. Это было официально закреплено приказом по физическому факультету №145осн от 28 ноября 2013 года, которым доцент А.П.Орешко назначался ответственным за подготовку материалов основных образовательных программ кафедры.

В 2015 году кафедра приступила к подготовке магистров по профилю подготовки «Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред» (руководитель: проф. А.С.Илюшин, ответственный: доц. А.П.Орешко). В рамках этой программы были существенно переработаны существующие и подготовлены совершенно новые авторские курсы:

дисциплины магистерской программы, блок «Физика конденсированного состояния вещества»:

- «Структура металлических фаз и соединений» (проф. А.Г.Хунджуа),
- «Квантовая теория твердых тел» (ст. преп. В.В.Ржевский),
- «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы» (проф. А.Г.Хунджуа);

блок «Дифракционный и резонасный структурный анализ»:

- «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей» (проф. В.А.Бушуев),

- «Вторичные процессы в рентгеновской оптике» (проф. В.А.Бушуев),
- «Синхротронные исследования в физике конденсированных сред» (проф. Е.Н.Овчинникова),
- «Рентгеновское излучение в исследовании магнетизма» (в.н.с. М.А.Андреева),
- «Ядерно-резонансная спектроскопия конденсированных сред» (доц. Т.Ю.Киселева, в.н.с. М.А.Андреева);

блок «Инновационные технологии»:

- «Основы инновационного развития и коммерциализация научных разработок и технологий» (с.н.с. Ю.В.Корнеева);

специальные курсы (по выбору), блок «Дифракционный и резонасный структурный анализ»:

- «Рентгеновская дифракционная оптика сверхрешеток и периодических многослойных структур» (с.н.с. И.Р.Прудников),
- «Мессбауэровская спектроскопия наносистем» (доц. Т.Ю.Киселева),
- «Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом» (доц. А.П.Орешко),
- «Техника эксперимента дифракционного структурного анализа» (доц. Е.А.Бровкина),
- «Рентгеновская дифрактометрия» (доц. В.М.Авдюхина),
- «Экспериментальные методы исследования структуры и свойств функциональных материалов» (доц. Т.Ю.Киселева),
- «Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия» (проф. В.А.Бушуев),
- «Рентгеновская спектроскопия» (доц. А.П.Орешко),

- «Рентгеновская оптика» (проф. В.А.Бушуев),
- «Резонансная дифракция синхротронного излучения в конденсированных средах» (проф. Е.Н.Овчинникова),
- «Диффузное рассеяние рентгеновского излучения» (г.н.с. В.М.Силонов),
- «Дифракционные методы исследования белков и полимеров» (с.н.с. Е.В.Якута),
- «Электронная микроскопия» (доц. Е.А.Бровкина);

блок «Физика конденсированного состояния вещества»:

- «Основы кристаллофизики» (проф. Е.Н.Овчинникова),
- «Термодинамика бинарных систем» (проф. А.Г.Хунджуа),
- «Физика магнитных явлений» (в.н.с. И.С.Терешина),
- «Упругие и тепловые свойства твердых тел» (ст. преп. В.В.Ржевский),
- «Физика магнитных материалов» (в.н.с. И.С.Терешина),
- «Микроскопическая теория металлов и сплавов» (г.н.с. В.М.Силонов),
- «Физика сверхпроводимости» (ст. преп. В.В.Ржевский);

факультативные курсы:

- «Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества» (проф. А.С.Илюшин, с.н.с. И.Р. Прудников, с.н.с. Е.В.Якута),
- «Квантово-механическое моделирование конденсированных сред» (ст.преп. Д.И.Бажанов),
- «Дополнительные разделы физики конденсированного состояния вещества» (проф. А.Г.Хунджуа, доц. А.П. Орешко).

АИС "Учебный план" учебного комплекса МГУ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2015/2016 учебный год для 1-го курса физического факультета (магистратура, очная форма обучения),
обучающихся по программе "ИМ_ФИЗИКА" (направление 03.04.02 "Физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 1 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 2 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Дисциплины профиля	144	72	36	36	2	1	1				экз.	72	38	34	2	1	1				экз.
Дисциплины профиля	144	72	36	36	2	1	1				экз.	72	38	34	2	1	1				экз.
Дисциплины профиля	72											72	38	34	2	1	1			зач.	
Дисциплины профиля	72											72	38	34	2	1	1			зач.	
Дисциплины профиля	72											72	38	34	2	1	1			зач.	
Спецкурс кафедры (по выбору)	144	72	36	36	2	1	1				экз.	72	38	34	2	1	1				экз.
Спецкурс кафедры (по выбору)	144	72	36	36	2	1	1				экз.	72	38	34	2	1	1				экз.
Межфакультетские учебные курсы по выбору	72	36	12	24	1,3	1,3				зач.		36	12	24	1,4	1,4				зач.	
Научно-исследовательская практика	504	324	до 29.12, прод. 18 нед.							зач.		180	до 25.05, прод. 17 нед.							зач.	
Научно-исследовательская работа	288	180	до 29.12, прод. 18 нед.									108	до 25.05, прод. 17 нед.							зач.	
История и методология физики	72											72	38	34	2	2					экз.
Иностранный язык для профессиональной коммуникации	180	72	36	36	2		2			зач.		108	74	34	2		2				экз.
Экономика	72	72	36	36	2	2				зач.											
Правоведение	72											72	38	34	2	2				зач.	
Специальный физический практикум	108	108	36	72	4			4		зач.											
Всего (общая часть плана)	***2160***	***1080***	***264***	***312***	***17,3***	***7,3***	***6***	***4***		***5***	***4***	***1080***	***428***	***364***	***21,4***	***12,4***	***9***			***7***	***6***

Декан физического факультета
профессор

Н.Н. Сысоев

Рабочий план на 2015/16 год
для студентов 1-го курса магистратуры.

АИС "Учебный план" учебного комплекса МГУ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2015/2016 учебный год для 2-го курса физического факультета (магистратура,очная форма обучения),
обучающихся по программе "ММ_ФИЗИКА" (направление 03.04.02 "Физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 3 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 4 (теор.об.- 12 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Дисциплины магистерских программ* по выбору	144	72	36	36	2	1	1				экз.	72	36	36	3	1	2			зач.	
Дисциплины магистерских программ* по выбору	144	72	36	36	2	1	1			зач.		72	36	36	3	1	2			зач.	
Дисциплины магистерских программ*	180	72	36	36	2	1	1				экз.	108	72	36	3	1	2				экз.
Дисциплины магистерских программ*	180	72	36	36	2	1	1				экз.	108	72	36	3	1	2				экз.
Дисциплины магистерских программ*	72	72	36	36	2	1	1			зач.											
Научно-исследовательская практика	252	252	до 29.12, прод. 18 нед.							зач.											
Педагогическая	108	108	до 29.12, прод. 18 нед.							зач.											
Преддипломная практика	396											396	до 04.05, прод. 12 нед.							зач.	
Научно-исследовательская работа	108	108	108							зач.											
Научно-исследовательский семинар	72	72		72	4		4			зач.											
Междисциплинарный экзамен по направлению "Физика"	108																				экз.
Подготовка и защита выпускной квалификационной работы по направлению "Физика"	216																				экз.
Философские вопросы естествознания	72	72	36	36	2	2				зач.											
Иностранный язык для профессиональной коммуникации	108	108	72	36	2		2				экз.										
Всего	*2160*	*1080*	*396*	*324*	*18*	*7*	*11*	*0*	*0*	*7*	*4*	*756*	*216*	*144*	*12*	*4*	*8*	*0*	*0*	*3*	*4*

* Магистерские программы: "Теоретическая физика", "Космическая физика и астрофизика космических лучей", "Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред", "Волны в структурированных средах", "Физика моря и вод суши", "Фундаментальная астрономия и астрофизика", "Нейтронная физика и физика наносистем, "Физика функциональных материалов".

Декан физического факультета
профессор Н.Н. Сысоев

Рабочий план на 2015/16 год
для студентов 2-го курса магистратуры.

Но и после 2015 года программы подготовки бакалавров и магистров не стабилизировались. Практически каждый год приходилось переносить курсы из одного семестра в другой, изменять форму их отчетности, количество часов.

Ситуация усугублялась еще и тем, что в Университете параллельно разрабатывались программы магистратуры и интегрированной магистратуры. Разница между этими программами состояла в том, что по программе обучения интегрированной магистратуры обучались так называемые внутренние магистры, то есть студенты, предварительно окончившие бакалавриат физического факультета, а по программе магистратуры – студенты, закончившие бакалавриат других ВУЗов.

Так как в магистратуру может поступать выпускник бакалавриата по любой специальности, то поступивший в магистратуру кафедры студент может и не иметь обязательных для выпускника бакалавриата знаний. При составлении магистерской программы кафедры пришлось учитывать этот факт и значительно расширять список лекционных курсов по выбору, направленных на устранение возможного пробела в знаниях студентов.

Такая предусмотрительность проявила себя совершенно неожиданно. Многие внутренние магистры выбирали «повторные» курсы и на них выяснялось, что хотя во время обучения в бакалавриате подобный курс они уже слушали, но знания по нему «в одно ухо влетели, а в другое вылетели». Причину этого можно объяснить тем, что будучи бакалаврами многие студенты до последнего момента не настраиваются на обучение в магистратуре, а заинтересованность появляется уже в последний момент, при выполнении дипломной работы. На которую, как мы уже го-

ворили выше, времени практически нет.

Зав. кафедрой
физики твердого тела

профессору Илюшину А.С.

24/03/15

Глубокоуважаемый Александр Сергеевич!

Согласно нормативным документам, регламентирующим обучение в аспирантуре, аспиранты физического факультета должны прослушать и сдать дисциплины научной специальности в объеме 21 зачетной единицы в течение двух лет. Чтение указанных курсов планируется осуществлять по семестрам: осенний (с 1 сентября, 18 недель обучения) и весенний (с 7 февраля, 17 недель обучения), начиная с 1 сентября 2015 года. После освоения данных дисциплин обучающиеся сдают кандидатский экзамен по научной специальности.

Прошу Вас в срок не позднее **17 апреля** подготовить информацию о курсах кафедры, которые могут быть прослушаны обучающимися по форме, приведенной в приложении № 1 и №2.

Обращаю Ваше внимание, что обучение в аспирантуре является третьей ступенью высшего образования, в связи с чем, курсы, читаемые для бакалавров, магистров и специалистов не могут быть включены в запрашиваемый список.

По вопросам составления программ спецкурсов обращайтесь к зам. декана по УМР А.С. Воронцову (тел. , e-mail: as.vorontsov@physics.msu.ru).

Перечень и программы дисциплин для аспирантов необходимо выслать на электронный адрес: aspirant@phys.msu.ru, aspirant@physics.msu.ru для зав. аспирантурой Сергеевой И.А.

Зам. декана физического факультета МГУ
профессор А.А. Федянин

Письмо заместителя декана физического факультета профессора А.А.Федянина заведующему кафедрой физики твердого тела профессору А.С.Илюшину.

С 2015 года изменились и курсы для аспирантов:

- «Электронный транспорт в конденсированных средах»

(проф. А.С.Илюшин, ст.преп. В.В.Ржевский),

- «Рентгеновская фазоконтрастная томография» (проф. В.А.Бушуев),
- «Теоретико-групповые методы в исследованиях структуры и свойств конденсированных сред» (проф. Е.Н.Овчинникова),
- «Физика конденсированного состояния и физическое материаловедение. Исторический аспект: от бронзового века до нанотехнологий» (проф. А.Г.Хунджуа),
- «Рентгенооптические методы исследования многослойных наноструктур» (в.н.с. М.А.Андреева),
- «Введение в статистическую рентгеновскую оптику» (проф. В.А.Бушуев),
- «Радиационная физика конденсированных сред» (доц. А.П.Орешко),
- «Мессбауэровская спектроскопия конденсированных сред» (доц. Т.Ю.Киселева).

С 2012/2013 учебного года неотъемлемой частью образования в Московском университете стали межфакультетские курсы – лекции, читаемые ведущими преподавателями, направленные на демонстрацию связей между различными областями знаний. Выбор того или иного курса осуществляет сам студент из всего множества курсов, предлагаемых на всех факультетах, кроме того, где учится сам студент. Сотрудниками кафедры были подготовлены курсы:

- «Мировоззренческие вопросы естествознания» (проф. А.Г.Хунджуа),
- «Физические основы материаловедения» (проф.

А.Г.Хунджуа),

- «Физика XX-XXI века в истории человечества» (проф. А.Г.Хунджуа),
- «Современные компьютеры и интернет: могут ли они работать со "скоростью" света?» (с.н.с. И.Р.Прудников).

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА
ПРИКАЗ

«13» февраля 2013 г. Москва № 43

Об организации межфакультетских учебных курсов в Московском университете

В целях повышения качества реализации основных образовательных программ, углубления межфакультетской интеграции и создания благоприятных условий для освоения студентами Московского университета учебных курсов и дисциплин на различных факультетах МГУ

п р и к а з ы в а ю :

1. Организовать в Московском университете на факультетах чтение семестровых учебных курсов для студентов других факультетов МГУ – Межфакультетских учебных курсов МГУ (МФК МГУ).
2. Выделить для Межфакультетских учебных курсов МГУ в расписании учебных занятий временной интервал, эквивалентный двум учебным парам, по средам с 15-10 до 18-50 (с учетом двух двадцатиминутных перерывов).
3. На период проведения Межфакультетских учебных курсов МГУ по средам с 15-10 до 18-50 весь учебный аудиторный фонд МГУ передать в распоряжение Управления академической политики и организации учебного процесса.
4. Руководителям факультетов:
   - привлекать к чтению Межфакультетских учебных курсов МГУ профессоров и преподавателей, являющихся специалистами в своей области и способных показать связи между различными областями науки, общественными и социальными процессами;
   - осуществлять организационное сопровождение Межфакультетских учебных курсов МГУ, проводимых факультетом (предоставление аудиторий, оповещение студентов и лекторов, учет посещаемости, организация аттестации по итогам курса, направление итоговых результатов на факультеты для студентов всех курсов, посетивших данный курс);
   - при составлении расписания учебных занятий для студентов всех курсов, обучающихся по очной форме, зарезервировать временной интервал,

Приказ ректора МГУ академика РАН В.А.Садовничего об организации МФК. Страница 1.

указанный в п. 2 настоящего приказа, для Межфакультетских учебных курсов МГУ; не включать в указанное время в расписание иные занятия;

- информировать студентов своих факультетов о необходимости освоения Межфакультетских учебных курсов МГУ в соответствии с п. 5 настоящего приказа, а также о возможности дополнительного освоения МФК МГУ в другие семестры;
- обеспечить внесение информации об освоенных Межфакультетских учебных курсах МГУ в приложение к диплому МГУ.

5. Освоение межфакультетских курсов является обязательным для всех студентов Московского университета, обучающихся по очной форме в следующих семестрах:
   - для студентов, обучающихся по программам подготовки специалиста, – в 5, 6, 7, 8 семестрах;
   - для студентов, обучающихся по программам бакалавриата, – в 5, 6 семестрах;
   - для студентов, обучающихся по программам магистратуры, – в 1, 2 семестрах.
6. Управлению академической политики и организации учебного процесса:
   - внести в установленном порядке изменения в учебные планы, необходимые для обеспечения реализации и освоения Межфакультетских учебных курсов МГУ;
   - обеспечивать Межфакультетские учебные курсы МГУ аудиторным фондом по заявкам факультетов.
7. Координацию и обеспечение контроля исполнения приказа возложить на проректора МГУ П.В. Вржеща.

Ректор
Московского университета
академик **В.А. САДОВНИЧИЙ**

СЕКРЕТАРИАТ РЕКТОРА

Приказ вносит:
Проректор МГУ
_____ П.В. Вржещ
«_» _____ 2013 г.

Согласовано:
Начальник Юридического управления МГУ
_____ А.С. Ивлев
«__» _____ 2013 г.

Приказ ректора МГУ академика РАН В.А.Садовничего об организации МФК. Страница 2.

Уже через несколько лет после введения на физическом факультете системы обучения бакалавр-магистр, началась борьба за возвращение студентов-специалистов.

В первую очередь эта борьба была вызвана тем, что подготовить физика-исследователя за 4 года нельзя. По сравнению с первой половиной XIX века существенно возрос необходимый объем базовых знаний, значительно расширились и усложнились

направления исследований. Выпускник бакалавриата получается «недоученым», обладающим хорошими базовыми знаниями, но не умеющим ни работать с оборудованием, ни, тем более, проводить самостоятельные исследования.

Во-вторых, ряд выпускников бакалавриата физического факультета подает документы для поступления в магистратуру сразу нескольких ВУЗов, как российских, так и иностранных. Причем во внешние ВУЗы на нефизические специальности. А так как поступление в магистратуру Московского университета происходит раньше, внутренние магистры, уже поступив, выжидают поступления или открытия вакансий в другие университеты. Это приводит к оттоку студентов, а приток студентов со стороны очень невысок – многих отталкивают как высокие требования, предъявляемые к поступлению на физический факультет, так и сложность обучения.

С другой стороны, создание магистерской программы потребовало значительного расширения читаемых курсов. В настоящее время специальные курсы кафедры охватывают все направления современной рентгеновской оптики и синхротронных рентгеновских и ядерно-резонансных методов исследований перспективных функциональных материалов. Это позволяет готовить специалистов для работы на современных источниках синхротронного излучения и рентгеновских лазерах. А подготовленные уникальные специалисты окажутся востребованы в рамках Федеральной научно-технической программы развития синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019-2027 годы, принятой постановлением Правительства Российской Федерации №287 от 16 марта 2020 года.

КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА. ВОЗВРАЩЕНИЕ К СПЕЦИАЛИТЕТУ?

В 2019 году дело о переходе физического факультета от системы бакалавр-магистр к системе обучения специалистов внезапно сдвинулось с мертвой точки и в 2020 году физический факультет будет осуществлять набор студентов для обучения по специальности «Фундаментальная и прикладная физика».

Такое давно ожидаемое событие действительно оказалось внезапным: требования к составлению образовательного стандарта специалистов многократно менялись, подготовительная работа велась, но, как часто бывает, до конца она доведена так и не была.

Такая ситуация требовала разрешения в кратчайшие сроки. В ноябре 2019 года на физическом факультете была создана комиссия под руководством доцента М.Г.Гапочки «для внедрения образовательного стандарта и учебного плана основной образовательной программы по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика». От кафедры физики твердого тела в эту комиссию вошел профессор А.П.Орешко.

Первое, с чем столкнулась работа комиссии, был достаточно «оригинальный» проект рабочего плана.

Значительная претензия была к блоку «теоретическая физика». Авторы проекта предложили начать изучение «Теоретической механики» с 3-го семестра, пока студенты еще в достаточной мере не овладели необходимым математическим аппаратом. А остальные курсы «Электродинамика», «Квантовая теория», «Термодинамика и статистическая физика» читать параллельно, превратив третий курс в практически непреодолимую преграду….

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Р А Б О Ч И Й П Л А Н

на 2018/2019 учебный год для 1-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "МС_ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА_Ф" (специальность "Фундаментальная и прикладная физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 1 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 2 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Модуль "Современное естествознание"																					
Биофизика	144											144	76	68	4	2	2			зач.	
Элективные дисциплины по физической культуре и спорту	92											92	24	68	4				4	зач.	
Модуль "Иностранный язык"																					
Иностранный язык	216	108	72	36	2		2			зач.		108	40	68	4		4			зач.	
Русский язык и культура речи	144											144	93	51	3	1	2				экз.
Безопасность жизнедеятельности	72	72	36	36	2		2			зач.											
Физическая культура	72	72	18	54	3				3	зач.											
Модуль "Фундаментальная и прикладная математика"																					
Математический анализ	360	216	108	108	6	3	3			зач.	экз.	144	42	102	6	3	3			зач.	экз.
Аналитическая геометрия	108	108	54	54	3	2	1				экз.										
Линейная алгебра	108											108	40	68	4	2	2			зач.	экз.
Модуль "Общая физика"																					
Механика	216	216	54	162	9	3	6			зач.	экз.										
Молекулярная физика	216											216	97	119	7	3	4			зач.	экз.
Геофизика и экология	72	72	18	54	3	2		1		зач.											
Общий физический практикум	216	108	36	72	4			4		зач.		108	40	68	4			4		зач.	
Модуль "Информатика и вычислительная физика"																					
Введение в компьютерные технологии	216	108	36	72	4		2	2		зач.		108	40	68	4		2	2		зач.	
Всего (общая часть плана)	***2252,0***	***1080,0***	***432,0***	***648,0***	***36,0***	***10,0***	***16,0***	***7,0***	***3,0***	***8,0***	***3,0***	***1172,0***	***492,0***	***680,0***	***40,0***	***11,0***	***19,0***	***6,0***	***4,0***	***8,0***	***4,0***

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Р А Б О Ч И Й П Л А Н

на 2019/2020 учебный год для 2-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "МС_ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА_Ф" (специальность "Фундаментальная и прикладная физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 3 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 4 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Волновая физика	108											108	40	68	4	2	2			зач.	
Элективные дисциплины по физической культуре и спорту	236	120	48	72	4				4	зач.		116	48	68	4				4	зач.	
Модуль "Иностранный язык"																					
Иностранный язык	144	72	36	36	2		2			зач.		72	38	34	2		2			зач.	
Модуль "Философия"																					
Философия	72											72	38	34	2	2				зач.	
Модуль "Фундаментальная и прикладная математика"																					
Математический анализ	180	180	90	90	5	3	2			зач.	экз.										
Теория функций комплексной переменной	108	108	36	72	4	2	2			зач.	экз.										
Дифференциальные уравнения	108											108	40	68	4	2	2			зач.	экз.
Интегральные уравнения и вариационное исч	108											108	40	68	4	2	2			зач.	экз.
Модуль "Общая физика"																					
Электромагнетизм	216	216	90	126	7	3	4			зач.	экз.										
Оптика	180											180	61	119	7	3	4			зач.	экз.
Физика атомного ядра и частиц	216	216	72	144	8	2	2		4	зач.	экз.										
Общий физический практикум	216	108	36	72	4			4		зач.		108	40	68	4			4		зач.	
Модуль "Теоретическая физика"																					
Теоретическая механика	216	108	36	72	4	2	2			зач.		108	40	68	4	2	2				экз.
Модуль "Современное естествознание"																					
Численные методы в современной физике	144											144	42	102	6	2	2		2		
Модуль "Информатика и вычислительная физика"																					
Практикум по компьютерным технологиям	144	72	36	36	2			2		зач.		72	38	34	2			2		зач.	
Всего (общая часть плана)	***2396,0***	***1200,0***	***480,0***	***720,0***	***40,0***	***12,0***	***14,0***	***6,0***	***8,0***	***9,0***	***4,0***	***1196,0***	***465,0***	***731,0***	***43,0***	***15,0***	***16,0***	***6,0***	***6,0***	***9,0***	***4,0***

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2020/2021 учебный год для 3-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "МС_ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА_Ф" (специальность "Фундаментальная и прикладная физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 5 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 6 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Межфакультетские учебные курсы	72	36	18	18	1	1				зач.		36	19	17	1	1				зач.	
Астрофизика	108	108	36	72	4	2	2			зач.											
Дисциплины инженерной физики по выбору	108											108	40	68	4		2	2		зач.	
Модуль "Иностранный язык"																					
Иностранный язык	144	72	36	36	2		2			зач.		72	38	34	2		2			зач.	
Модуль "Фундаментальная и прикладная математика"																					
Теория вероятностей	108	108	36	72	4	2	2			зач.	экз.										
Математическая статистика	108											108	40	68	4	2	2			зач.	экз.
Методы математической физики	180	180	72	108	6	3	3			зач.	экз.										
Модуль "Общая физика"																					
Радиофизика	108	108	36	72	4	2	2			зач.	экз.										
Основы квантовых технологий	144											144	42	102	6	2	2		2	зач.	экз.
Практикум по радиоэлектронике	72	72	18	54	3			3		зач.											
Модуль "Теоретическая физика"																					
Электродинамика	252	108	36	72	4	2	2			зач.		144	76	68	4	2	2			зач.	экз.
Квантовая теория	288	144	54	90	5	3	2			зач.		144	59	85	5	3	2			зач.	
Термодинамика и статистическая физика	288	144	36	108	6	3	3			зач.		144	42	102	6	3	3			зач.	экз.
Модуль "Современное естествознание"																					
Химическая физика	72											72	38	34	2	2				зач.	
Модуль "Информатика и вычислительная физика"																					
Основы математического моделирования	108											108	57	51	3	2	1			зач.	экз.
Всего (общая часть плана)	***2160,0***	***1080,0***	***378,0***	***702,0***	***41***	***16,0***	***18,0***	***3***	***0,0***	***10,0***	***3,0***	***1080,0***	***451,0***	***629,0***	***37,0***	***17,0***	***16,0***	***2,0***	***2,0***	***10,0***	***5,0***

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2021/2022 учебный год для 4-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "МС_ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА_Ф" (специальность "Фундаментальная и прикладная физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 7 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 8 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Межфакультетские учебные курсы	72	36	18	18	1	1				зач.		36	19	17	1	1				зач.	
Дисциплины специализации	216	108	54	54	3	1	2				экз.	108	57	51	3	1	2				экз.
Дисциплины специализации	216	108	54	54	3	1	2				экз.	108	57	51	3	1	2				экз.
Дисциплины специализации	216	108	54	54	3	1	2				экз.	108	57	51	3	1	2				экз.
Спецкурс кафедры (по выбору)	180	72	36	36	2		2			зач.		108	40	68	4		4			зач.	
Спецкурс кафедры (по выбору)	144	72	36	36	2		2			зач.		72	38	34	2		2			зач.	
Спецкурс кафедры (по выбору)	180	108	36	72	4		4			зач.		72	38	34	2		2			зач.	
Научно-исследовательская практика	432	216	до 09.02, прод. 18 нед.							зач.		216	до 25.05, прод. 17 нед.							зач.	
Модуль "Иностранный язык"																					
Иностранный язык	216	108	72	36	2		2			зач.		108	74	34	2		2				экз.
Правоведение	144											144	76	68	4	2	2			зач.	
Экономика	144	144	72	72	4	2	2			зач.											
Всего (общая часть плана)	***2160,0***	***1080,0***	***432,0***	***432,0***	***24,0***	***6,0***	***18,0***	***0,0***	***0,0***	***7,0***	***3,0***	***1080,0***	***456,0***	***408,0***	***24,0***	***6,0***	***18,0***	***0,0***	***0,0***	***6,0***	***4,0***

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2022/2023 учебный год для 5-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "МС_ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА_Ф" (специальность "Фундаментальная и прикладная физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 9 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 10 (теор.об.- 17 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Дисциплины специализации	216	108	54	54	3	1	2				экз.	108	57	51	3	1	2				экз.
Дисциплины специализации	216	108	54	54	3	1	2				экз.	108	57	51	3	1	2				экз.
Дисциплины специализации	216	108	54	54	3	1	2				экз.	108	57	51	3	1	2				экз.
Спецкурс кафедры (по выбору)	144	72	36	36	2		2			зач.		72	38	34	2		2			зач.	
Спецкурс кафедры (по выбору)	144	72	36	36	2		2			зач.		72	38	34	2		2			зач.	
Педагогическая практика	108											108	до 25.05, прод. 17 нед.							зач.	
Научно-исследовательская работа	504	144	144							зач.		360	360							зач.	
Модуль "История"																					
История	144	144	72	72	4	2	2			зач.											
Модуль "Философия"																					
Философские вопросы естествознания	108	108	36	72	4	2	2				экз.										
Модуль "Современное естествознание"																					
Научно-исследовательский семинар по современным проблемам естествознания	72											72	38	34	2		2			зач.	
Модуль "Педагогика"																					
Педагогика	72	72	36	36	2	2				зач.											
Психология	72	72	36	36	2	2				зач.											
Общие вопросы преподавания физико-математических дисциплин	72	72	36	36	2		2			зач.											
История и методология физики	72											72	38	34	2	2				зач.	
Всего (общая часть плана)	***2160,0***	***1080,0***	***594,0***	***486,0***	***27,0***	***11,0***	***16,0***	***0,0***	***0,0***	***7,0***	***4,0***	***1080,0***	***683,0***	***289,0***	***17,0***	***5,0***	***12,0***	***0,0***	***0,0***	***6,0***	***3,0***

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РАБОЧИЙ ПЛАН

на 2023/2024 учебный год для 6-го курса физического факультета (основное отделение,очная форма обучения),
обучающихся по программе "МС_ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА_Ф" (специальность "Фундаментальная и прикладная физика")

ДИСЦИПЛИНЫ	Объем за год	Семестр № 11 (теор.об.- 18 нед.)										Семестр № 12 (теор.об.- 12 нед.)									
		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность		Нагруз. за сем.	Сам. раб.	Аудиторных						Отчет-ность	
				всего	в неделю									всего	в неделю						
					Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.				Всего	Лек	Сем	Лаб	ПЗ	Зач.	Экз.
Спецкурс кафедры (по выбору)	72	72	36	36	2		2			зач.											
Спецкурс кафедры (по выбору)	72	72	36	36	2		2			зач.											
Спецкурс кафедры (по выбору)	72	72	36	36	2		2			зач.											
Преддипломная практика	756											756	756	до 27.04, прод. 12 нед.						зач.	
Научно-исследовательская работа	792	792	792							зач.											
Государственный экзамен по программе специалитета, включая подготовку к сдаче и сдачу государственного экзамена	108											108	108								экз.
Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, завершающаяся присвоением квалификации "Физик. Преподаватель"	216											216	216								экз.
Модуль "Современное естествознание"																					
Научно-исследовательский семинар по современным проблемам естествознания	72	72	36	36	2		2			зач.											
Всего (общая часть плана)	***2160,0***	***1080,0***	***936,0***	***144,0***	***8,0***	***0,0***	***8,0***	***0,0***	***0,0***	***5,0***	***0,0***	***1080,0***	***1080,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***1,0***	***2,0***

Из блока «общая физика» окончательно исчез курс «Атомная физика». У этого учебного курса была нелегкая судьба. В 2013 году курс сменил название на «Введение в квантовую физику» с изменением программы, а в 2020 и вовсе была предпринята попытка от него избавиться, заменив странными курсами «Волновая физика» и «Основы квантовых технологий».

Курс «Физика атомного ядра и частиц» окончательно закрепился в нелогичном для него 3-м семестре, переехав из логичного 6-го семестра. Хотя по мнению представителей отделения ядерной физики физического факультета, именно в этом семестре курсу и было самое место. Отсутствуют и практические занятия по курсам «Атомная физика» и «Физика атомного ядра и частиц».

Возникла чехарда с другими базовыми курсами, да и сам момент распределения студентов вызывает вопросы. С одной стороны, чем раньше студент распределится на кафедру, тем лучше. С другой стороны, как только студент распределился на кафедру ему нужно читать специальные кафедральные курсы, а если еще нет достаточной базовой подготовки, то кафедральные курсы подвисают в воздухе…. Говорить же о создании какой-то системы подготовки студентов на кафедре в рамках предложенного проекта рабочего плана и вовсе преждевременно.

В марте 2020 года работа на внедрением рабочего плана активизировалась, был принят ряд определяющих решений, позволяющих вывести ситуацию из тупика. Казалось, процесс налаживается и еще возможно сделать все необходимые шаги без спешки, но вмешался неожиданный фактор: пандемия коронавируса *COVID*-19 (2019-*nCoV*).

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

ПРИКАЗ

«16» марта 2020 г. **Москва** № 326.

Об организации образовательной деятельности в Московском университете в условиях предупреждения распространения новой коронавирусной инфекции на территории Российской Федерации

В соответствии с приказом Минобрнауки РФ от 14 марта 2020 года №397

п р и к а з ы в а ю:

1. Руководителям структурных подразделений:

   1.1. Усилить меры по обеспечению безопасных условий обучения в Московском университете;

   1.2. При реализации образовательных программ МГУ предусмотреть:

   - возможность перевода обучающихся на обучение по индивидуальным планам;

   - организацию контактной работы обучающихся, педагогических, научных и административных работников исключительно в электронной информационно-образовательной среде;

   - использование различных технологий, позволяющих обеспечивать взаимодействие обучающихся, педагогических, научных и административных работников опосредованно, в том числе с использованием дистанционного обучения и электронных образовательных технологий;

   1.3. Обеспечить реализацию образовательных программ в полном объеме.

   1.4. Осуществлять учебный процесс в Московском университете с использованием дистанционных образовательных технологий с 17 марта 2020 года до особого распоряжения.

2. Возложить персональную ответственность за исполнение настоящего Приказа на руководителей структурных подразделений.

3. Контроль исполнения настоящего приказа оставляю за собой.

Ректор
Московского университета
академик **В.А. САДОВНИЧИЙ**

Приказ ректора МГУ №326 от 16 марта 2020 года.

Приказом ректора МГУ №326 от 16 марта 2020 года учебный процесс в Московском университете был переведен на дистанционную форму с 17 марта 2020 года до особых распоряжений. Менее чем через неделю, 23 марта 2020 года, последовало распоряжение ректора МГУ №73, а 25 марта 2020 года и распоряжение декана физического факультета №57 о переводе сотрудников на удаленный режим работы и ограничении прохода в здание физического факультета.

В тот же день, 25 марта 2020 года, приказом ректора МГУ №362 был изменен календарный учебный график и с 28 марта по 05 апреля студентами были предоставлены каникулы.

В связи с пандемией были отменены все олимпиады школьников по физике и математике, проводившиеся на физическом факультете. Все официальные мероприятия Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2020» были перенесены на осень. Под вопросом оказалось проведение Универсиады «Ломоносов» по теоретической и прикладной физике….

Приказ ректора МГУ №380 от 03 апреля 2020 года установил, что с 06 апреля 2020 года и до особого распоряжения не только непосредственно учебный процесс в Московском университете осуществляется с применением средств электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, но и взаимодействие с обучающимися в рамках мероприятий по подготовке и проведению промежуточной и государственной итоговой аттестации осуществляется с использованием дистанционных образовательных технологий. Распоряжением ректора МГУ №81 от 06 апреля 2020 года и приказом декана физического факультета №442-ос от 17 мая 2020 года был определен порядок проведения

государственной итоговой аттестации студентов с применением дистанционных образовательных технологий. В мае-июне 2020 года впервые в истории кафедры физики твердого тела государственный экзамен, как и защиты выпускных квалификационных работ бакалавров и магистерских диссертаций прошли с применением дистанционных технологий.

Защиты дипломных работ магистров (вверху) и бакалавров (внизу) кафедры физики твердого тела в 2020 году.

Для внедрения нового рабочего плана все это означало серьезное замедление работы…

В момент написания настоящей книги, авторы с уверенностью ожидают окончания работы по актуализации рабочих планов специалистов и начала работ по перестройке программы подготовки студентов на кафедре физики твердого тела.

В силу принятия уже упоминавшейся выше Федеральной научно-технической программы развития синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019-2027 годы, реструктуризация учебных курсов на кафедре будет проводится в направлении наиболее эффективной подготовки специалистов для работы в рамках этой Программы.

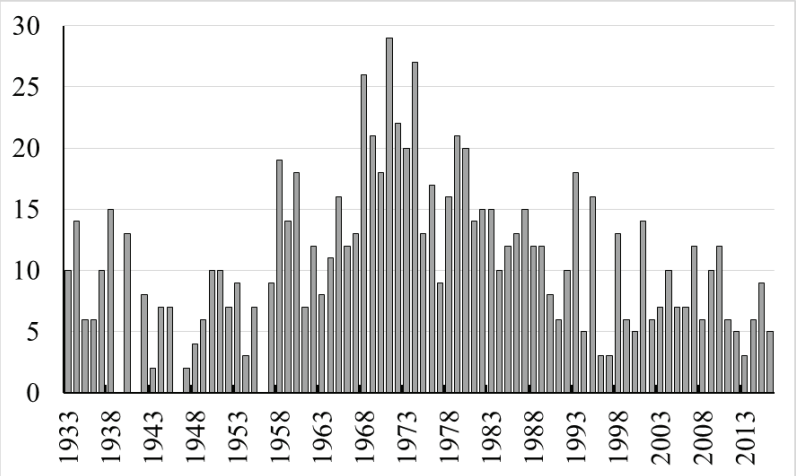
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ретроспективная картина формирования последовательной системы подготовки кадров исследователей структуры конденсированных сред, созданной за почти сто летний период деятельности кафедры физики твердого тела Московского университета, наглядно демонстрирует динамичное развитие учебных планов и программ с одновременным вовлечением в процесс обучения новых генераций преподавателей.

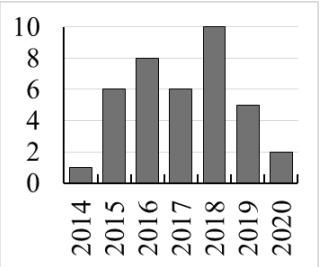
Курсы, традиционно составлявшие основу учебного плана, непрерывно совершенствовались и дополнялись и к их чтению привлекались новые лекторы. В дополнение к ним на протяжении последних лет в программу включались новые оригинальные специальные курсы, как правило, подготовленные сотрудниками кафедры и отражающие новейшие достижения, и современные тенденции развития физики конденсированных сред и их научного инструментария. По большинству читавшихся курсов лекторами были написаны и опубликованы учебники и учебные пособия.

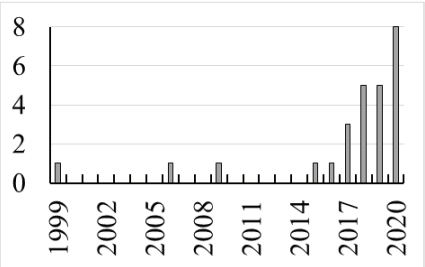
Из приведенного выше перечня спецкурсов видно, что кафедра своевременно откликалась на запросы отечественной науки и техники и всегда увязывала непосредственный процесс обучения студентов с привлечением их к активному участию в научно-исследовательской работе по актуальнейшим направлениям физики твердого тела. Количество студентов, подготовленных на кафедре, в разные годы было различным и сильно колебалось год от года. Это наглядно демонстрируют приведенные ниже гистограммы. Но независимо от численности набора в том или ином году профессорско-преподавательский состав кафедры всегда ра-

ботал самоотверженно и с полной отдачей, обеспечивая высокий уровень подготовки.



Динамика численности специалистов, подготовленных на кафедре с 1933 по 2016 год.





Динамика численности бакалавров (слева) и магистров (справа), подготовленных на кафедре.

В настоящее время перед коллективом кафедры стоит задача подготовки специалистов, способных вести научные исследования высокого уровня в области дифракционных, ядерно-резонансных и спектроскопических исследований структурированных конденсированных сред (моно- и поликристаллов любой степени дефектности, аморфных и жидких тел, покрытий и функци-

ональных материалов, биологических объектов).

В распоряжении современных научных работников наряду с традиционными сравнительно небольшими экспериментальными установками появились мегаустановки типа источников синхротронного излучения и нейтронов, рентгеновского лазера на свободных электронах, высокопроизводящих суперкомпьютеров и т.п. Эта экспериментальная и вычислительная техника позволяет ставить и решать принципиально новые задачи, связанные с исследованием быстро протекающих процессов в живых организмах, на различных стадиях неравновесности фазовых превращений, под воздействием высоких температур и давлений. Эффективное использование такой мощной и дорогой техники предъявляет высочайшие требования к кадрам не только непосредственно при решении новейших научных задач, но и на этапе постановки и формирования научно-технических программ.

Подготовка такого рода специалистов должна вестись комплексно с использованием ресурсов не только кафедры физики твердого тела, но и других родственных кафедр Московского университета, которые имеют для этого учебные, методические и научные возможности, а также Российских и международных научных центров. До начала 1990-х годов студенты кафедры проходили производственную кафедру и выполняли дипломные работы не только в научных лабораториях кафедры, но и научных учреждениях РАН и отраслевых институтах. В девяностые годы прошлого века и первое десятилетие нашего века это явление скорее было исключением, нежели правилом. В последние годы положение стало выправляться, и кафедра вновь стала направлять студентов в НИЦ «Курчатовский институт», Институт физики твердого тела РАН, Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН, НИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН и др. Это важно как для расширения научного опыта студентов, так и для перспектив их дальнейшего трудоустройства.

С вопросом трудоустройства выпускников кафедры связана одна из важнейших, на наш взгляд проблем, значительно понижающая эффективность работы кафедры как части всего высшего образования Российской Федерации. Во-первых, не смотря на предпринимаемые в последние годы руководством нашей страны попытки изменить ситуацию, средняя заработная плата молодых специалистов в научных институтах остается ниже средней заработной платы в различных коммерческих структурах. Поэтому значительная часть выпускников не остается работать по специальности, а в науке остаются лишь действительно «энтузиасты».

Во-вторых, в последние годы значительно возрос отток за рубеж молодых специалистов, только окончивших факультет. Как правило, еще за несколько месяцев до защиты диплома студенты находят себе позицию научного работника или аспиранта в зарубежных институтах и после окончания университета уезжают туда. Иногда это происходит и уже во время обучения в аспирантуре. Тогда аспирант бросает аспирантуру в нашей стране и продолжает свою научную работу за рубежом. С одной стороны, это было бы хорошо для усиления международных связей между Российскими организациями и иностранными. Однако, зачастую молодые специалисты начинают активно работать лишь во благо себе и организации-работодателю, сводя к минимуму, а порой и полностью прекращая научные связи с кафедрой. В том случае, если студент обучался на бюджетной основе, а таких большинство, это приводит, образно говоря, к «обогреву мирового пространства» за государственный счет.

В последние год-два наметилась и третья проблема, теперь уже с магистрантами. Абитуриент одновременно подает документы для поступления в магистратуру физического факультета и несколько непрофильных магистратур других ВУЗов, направленных на подготовку в коммерческих организациях. В итоге, студент либо сразу же бросает магистратуру факультета, либо начи-

нает первое время параллельно обучаться в нескольких магистратурах, от чего начинает страдать его научно-исследовательская работа и он все равно бросает магистратуру именно физического факультета. При этом случаи поступления студентов сразу в несколько «физических» магистратур чрезвычайно редки.

Разумеется, решить возникающие проблемы в рамках кафедры или отдельно взятого Московского университета, нельзя. Решение может быть только стратегическим и комплексным в рамках всей Российской Федерации.

В заключении подведем итоги работы кафедры. За период своего существования, с 1928 года, кафедра выпустила 910 специалистов, 36 бакалавров и 26 магистров, подготовила 220 кандидатов и 21 доктора наук.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ВЫПУСКНИКИ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА, ОКОНЧИВШИЕ МОСКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «РАДИОРЕНТГЕНОЛОГИЯ» (1928 – 1931 гг.)

1. Борисова-Владимирова М.А.
2. Виккер И.В.
3. Егоров Б.
4. Жданов Г.С.
5. Иверонова В.И.
6. Кислякова Е.Н
7. Кожина Н.К.
8. Колесникова Н.
9. Корицкий В.Г.
10. Красюк Б.А.
11. Любимцев А.И.
12. Максимов А.П.
13. Мирер И.И.
14. Нечаева Н.Н.
15. Родзевич Н
16. Романцев
17. Селисский Я.П.
18. Тарасова В.П.
19. Уманский М.М.
20. Шапиро И.П.

ВЫПУСКНИКИ
КАФЕДРЫ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА
(1932 – 1952 гг.)

1932-1933 гг.

1. Андреева М.
2. Варнашов
3. Горьянов Ф.
4. Ельников А.И.
5. Розенблюм
6. Сидоренко
7. Титов А.Ф.
8. Харитонов
9. Черток М.М.
10. Чикин В.К.

1934 г.

1. Беккер В.Л.
2. Бовин В.В.
3. Бутузов В.П.
4. Виноградов В.И.
5. Гольдер Г.А.
6. Крылов В.А.
7. Левицкий Б.М.
8. Могилевский И.В.
9. Нарбут К.И.
10. Сергеев Г.Я.
11. Слудская Н.Н.
12. Соймонова О.Д.
13. Сорокин
14. Толмачев В.В.

1935 г.

1. Альтшулер Л.В.
2. Ермолова-Кузнецова Е.Б.
3. Исаев Б.М.
4. Китайгородский А.И.
5. Кузнецов И.В.
6. Семенов

1936 г.

1. Акимов
2. Михайлов Н.М.
3. Прохоров
4. Степанова А.А.
5. Тихомиров А.М.
6. Шадрина

1937 г.

1. Батракова А.И.
2. Виноградова
3. Зверев Н.П.
4. Зубов В.Г.
5. Костецкая Т.П.
6. Костецкий В.А.
7. Кузнецов В.Г.
8. Поликарпова
9. Фанфорони А.Н.
10. Хидикель С.С.

1938 г.

1. Антонюк Д.К.
2. Бебчук Н.М.
9. Левин Г.Э.
10. Марголина Р.Д.

3. Белов В.А.
4. Бродин М.Ф.
5. Зеленцов И.А.
6. Кожушко В.М.
7. Кононков А.Ф.
8. Королев П.С.
11. Могила М.
12. Мочалова Н.К.
13. Рамазанов К.А.
14. Хамидов З.Х.
15. Япин И.

1939-1940 гг.

1. Бунин
2. Ионов
3. Климов
4. Кузьмин
5. Курочкин
6. Ларионова В.
7. Ларченко К.
8. Мимков
9. Озеряк Л.
10. Сагалович
11. Струминский В.В.
12. Шаскольская М.П.
13. Ямзин И.И.

1942 г.

1. Багаряцкий Ю.А.
2. Еварович М.А.
3. Золотых Б.Н.
4. Иванов Н.
5. Минервина З.В.
6. Русаков А.А.
7. Слоним
8. Токарь

1943 г.

1. Вайнштейн Л.А.
2. Марченко Л.П.

1944 г.

1. Балдина
2. Болдырев
3. Бологова
4. Зарахович Н.
5. Лукомская Н.
6. Чистякова Н.Н.
7. Юганова С.А.

1945 г.

1. Блох
2. Вайнштейн Б.К.
3. Вердеревская Н.Н.
4. Глаголева (Попова) В.П.
5. Романова
6. Сохацкая
7. Томашук

1946-1947 гг.

1. Баринский Р.Л.
2. Майкова В.И.

1948 г.

1. Безносикова А.В.
2. Боднева Е.И.
3. Розманова З.П.
4. Руманова И.М.

1949 г.

1. Бабенко Б.
2. Кехчер (Спектор) Э.Н.
3. Мельникова (Травина) Н.Т.
4. Разумова Л.Л.
5. Ройтбурд Ц.М.
6. Сокурский Ю.Н.

1950 г.

1. Андреева Н.С.
2. Захарова (Чернышева) Н.В.
3. Кузьмина З.И.
4. Ляховский А.В.
5. Мурашкина М.Д.
6. Попов Н.А.
7. Рожанский В.Н.
8. Тронева Н.В.
9. Футергендлер С.И.
10. Щукин Е.Д.

1951 г.

1. Быков В.П.
2. Власова Е.Н.
3. Золина З.К.
4. Лебедев Л.А.
5. Мархасин Г.В.
6. Могарычева И.Б.
7. Рудниченко В.Е.
8. Рыдник В.
9. Сотникова Л.И.
10. Шуцкевер Н.Е.

1952 г.

1. Головнер Т.
2. Звягина А.П.
3. Кацнельсон А.А.
4. Концевой Ю.А.
5. Органова Н.И.
6. Полонская С.В.
7. Суходрева И.М.

ВЫПУСКНИКИ-СПЕЦИАЛИСТЫ
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА
(1953 – 2016 гг.)

1953 г.

1. Баглаева (Ермолова) М.И.
2. Дицман С.А.
3. Егоршина Т.В.
4. Койфман И.С.
5. Лямпе Ю. (Польша)
6. Оконников Е.Г.
7. Пак Цой Хва (Корея)
8. Телегина И.В.

Вечернее отделение

1. Квитка С.С.

1954 г.

1. Божко Ю.А.
2. Соколова Э.Н.
3. Хатанова Н.А.

1955 г.

1. Варфоломеева (Четкина) Л.А.
2. Дударев В.Я.
3. Ежкова З.И
4. Игнатова И.А
5. Миллионова М.И
6. Плавник Г.М.
7. Шальникова Н.А.

1956/57 г. (переход на 5,5 лет)

1. Ерина Н.М.
2. Ершова А.Д.
3. Есипова Н.Г.
4. Зубенко В.В.
5. Козленков А.И.
6. Марчукова И.Д.
7. Попехина(Тихомирова) Л.М.
8. Ревкевич Г.П.
9. Савина Е.В.

1958 г.

1. Арцруни А.А.
2. Борин В.В.
3. Герасимова Э.А.
4. Гусев В.Н.
5. Зюзин Н.И.
6. Иванов А.Т.
7. Игнатьева Л.А.
8. Касымбекова К.К.
9. Левкина Т.В.
10. Ман Л.И.
11. Пак-Гван-О (Китай)
12. Рогова Р. Н.
13. Самарокова(Кулькина) Л.П.
14. Семенова Л.А.
15. Соклаков А.И.
16. Сорокина Ю.Г.
17. Цзя-Шу-Юань (Китай)
18. Шугар И.В.

Вечернее отделение

1. Титаренко И.И.

1959 г.

1. Гильманов К.Г.
2. Жестовская(Захарова) М.И.
3. Захаров О.П.
4. Иванова А.Б.
5. Исаков И.В.
6. Киселев Д.Ф.
7. Лосиевская С.А.
8. Макарова Н.А.
9. Мартынова С.К.
10. Рязин В.П.
11. Смирнов В.А.
12. Соколов А.Н.
13. Фыкин Л.Е.
14. Чиргадзе Ю.Н.

1960 г.

1. Ахмарова(Козловская) Н.М.
2. Барамия М.М.
3. Гаврилова (Парфентьева) А.В.
4. Гао-Шу-Бин (Китай)
5. Елисеева И.И.
6. Коровин Г.А.
7. Кузнецов Г.Н.
8. Лобкова(Короленкова)Л.П.
9. Ляшевич (Маресова) И.А.
10. Мелик-Адамян В.Р.
11. Миркин А.Е.
12. Павлов Л.П.
13. Панченко Ю.М.
14. Пелипас В.П.
15. Пономарев В.В.
16. Цзинь-Чжи-Цин (Китай)
17. Шахова(Колодиева) С.В.
18. Шуваева Р.А.

1961 г.

1. Кулявик Альфред (Польша)
2. Кравченко В.А.
3. Муравьев О.И.
4. Трофимов О.А.
5. Чудинов М.Г.

Вечернее отделение

1. Богуславский
2. Наумкин А.П.

1962 г.

1. Аайнбиндер Б.Ю.
2. Аммосов Е.М.
3. Беляцкая Н.С.
4. Дашевский В.П.
5. Живаев В.Я.
6. Збежнева С.Г.
8. Матвеева Т.Г.
9. Михайлова Л.К.
10. Мягченкова Л.Г.
11. Разоренов В.М.
12. Ремнева А.С.
13. Соловьев В.А.

7. Куприянова Т.А.
14. Шевченко Г.Д.

Вечернее отделение

1. Богословский И.Д.

1963 г.

1. Бойко А.А.
2. Дорман И.В.
3. Дружинина Р.И.
4. Сновидов В.М.
5. Угастэ Ю.Э.
6. Шебатинов М.П.

Вечернее отделение

1. Захарова А.П.
2. Рогуленкова В.Н.

1964 г.

1. Анфалова Е.С.
2. Зорина Н.Г.
3. Казаков Ю.Н.
4. Ковалева С.К.
5. Никитина С.В.
6. Папулова З.Г.
7. Пучкова (Милай) А.К.
8. Фиров А.И.

Вечернее отделение

1. Бондаренко В.В.
2. Буймова И.П.

1965 г.

1. Банщикова Л.П.
2. Датт И.Д.
3. Дерипаско В.Т.
4. Дубинчук В.Т.
5. Железная Л.А.
6. Колпаков А.В.
7. Музылев С.В.
8. Нгуен-Хоай-Чау (Вьетнам)
9. Николаева И.Н.
10. Руднев Г.П.
11. Свиридонов М.Н.
12. Терещук А.Ф.
13. Хандаров П.А.

Вечернее отделение

1. Булгаровская И.В.
2. Барулина В.И.
3. Новиков А.Г.

1966 г.

1. Гендлер Т.С.
2. Гаворова Я.Я.
3. Гончарова И.Ф.
4. Даревский А.С.
5. Единцов И.М.
6. Кирьянова Л.Н.
7. Линник В.М.
8. Михалина Н.А.
9. Моталыго А.Г.
10. Нгуен-Ту-Уен (Вьетнам)
11. Новакова А.А.

Вечернее отделение

1. Козловский В.Ф.

1967 г.

1. Алексанян О.Т.
2. Годовиков С.К.
3. Григорьева И.Б.
4. Гукалова (Хаимова) А.Г.
5. Илюшин А.С.
6. Кружилина А.П.
7. Овчинников А.С.
8. Савенко В.И.
9. Спасский М.Р.
10. Чубурков В.Т.
11. Чудинов В.А.
12. Шевчук Л.М.
13. Яковлев И.И.

1968 г.

1. Бабанин В.Ф.
2. Вержбицкая Т.М.
3. Егорова И.М.
4. Зезин С.Б.
5. Карасева (Дурнева) Л.А.
6. Котельников В.А.
7. Кулаго (Пасекунова) Э.Е.
8. Лыу-Тан-Фат (Вьетнам)
9. Марченко О.В.
10. Новокшонов В.И.
11. Панаэтова А.А.
12. Седых В.Д.
13. Смирнов Ю.А.
14. Стрельченко Л.С.
15. Тутова Л.И.
16. Фунг-Ван-Тхом (Вьетнам)
17. Чертенко (Кулагина) А.И.
18. Щербатова Т.Д.

Вечернее отделение

1. Белова И.М.
2. Варламов В.П.
3. Гудков О.М.
4. Лазарев С.Д.
5. Ларионова Л.В.
6. Панкратов В.И.
7. Прокофьев И.П.
8. Степанищев С.В.

1969 г.

1. Авенариус И.А.
2. Агишев В.М.
3. Андреева М.А.
4. Белоусова(Никанорова) И.А.
5. Болгавы Павел (Чехословакия)
6. Васильева Н.А.
7. Гордиенко В.А.
8. Маалул Абдель Кадер (Тунис)
9. Миронова Г.М.
10. Михеев Н.Н.
11. Полякова Н.А.
12. Сигаев В.Н.
13. Степанов В.Ф.
14. Стефанович С.Ю.

8. Григорьев В.Б.
9. Косицын В.М.
10. Логинов В.Г.
18. Файзулаев Я.З.
19. Херкнер Ольга (Венгрия)
20. Черепанов В.М.
21. Шагдаров В.Б.

1970 г.

1. Бончковская Т.Ф.
2. Бородина Т.И.
3. Бухмис Ахмед (Египет)
4. Валиев Х.Х.
5. Григорян А.Г.
6. Ермилов В.В.
7. Карпова И.Г.
8. Кононенко А.С.
9. Корнилова А.А.
10. Мочалова Л.Ю.
11. Мошков В.В.
12. Музалева В.В.
13. Рябой В.М.
14. Слободчиков С.С.
15. Смирнов К.В.
16. Солдаткина Ж.Г.
17. Татаркин М.А.
18. Чибирова Ф.Х.

1971 г.

1. Арабский А.К.
2. Артемов Л.М.
3. Артемова (Курдюмова) Т.Г.
4. Белова Н.Е.
5. Букин А.С.
6. Булатова И.В.
7. Грешнякова(Колесова) Н.С.
8. Дайняк(Белостоцкая) Л.Г.
9. Дайняк Б.А.
10. Ерназ Мохамед Монсеф (Тунис)
11. Зефирова В.Л.
12. Зюбенко Е.А.
13. Кожевников А.С.
14. Корниенко В.Н.
15. Курбатов Б.А.
16. Кухаркин В.И.
17. Лопатин Ю.В.
18. Малиенко Е.И.
19. Политова Е.Д.
20. Рахмилевич Е.А.
21. Русаков В.С.
22. Слисская М.П.
23. Смирнов Г.В.
24. Стативкина О.В.
25. Халаберда Л.П.
26. Чиркин В.М.

Вечернее отделение

1. Ахматов В.Н.
2. Зенечева Н.И.
3. Силонов А.М.

1972 г.

1. Богданов П.В.
11. Кожевникова Н.Н.

2. Буш А.А.
3. Важнова Н.А.
4. Вальчук Т.Е.
5. Васильева Э.И.
6. Галямов Б.Ш.
7. Григорьев М.С.
8. Дудко Г.Д.
9. Дьяконова Н.Б.
10. Игдиров Чарыберды
12. Козин М.Г.
13. Манагадзе А.К.
14. Сапкова И.Г.
15. Семочкин П.Н.
16. Сорокина И.А.
17. Тимушев А.Г.
18. Томилин Н.А.
19. Хапачев Ю.П.
20. Чуб Е.В.

Вечернее отделение

1. Белоусова (Шашкова) Н.А.
2. Ткаченко В.И.

1973 г.

1. Асланян Т.А.
2. Бальжинов С.А.
3. Белый А.В.
4. Васильев В.Р.
5. Евтихов М.Г.
6. Зуров С.А.
7. Ковалева З.И.
8. Кондратьева М.В.
9. Кулатов Э.Т.
10. Молдосанов К.А.
11. Мостовой В.В.
12. Мясников А.С.
13. Рыбка Л.А.
14. Соловьев В.А.
15. Стыценко В.Ф.
16. Суханов В.И.
17. Уразаева Т.К.
18. Фролов А.Б.
19. Шмикин А.М.

Вечернее отделение

1. Мещанинов И.В.

1974 г.

1. Авдюхина В.М.
2. Введенский С.Э.
3. Вольнов В.О.
4. Дементьев Н.П.
5. Дечева Ж.Е. (Болгария)
6. Дудченко Г.Н.
7. Корнеев А.Е.
8. Коршак (Романенко) Е.А.
9. Кувшинов А.М.
15. Лукьянов Е.П.
16. Мелик-Пашаев О.Н.
17. Метелица О.С.
18. Овсянкин А.И.
19. Овчинникова Е.Н.
20. Павлов А.И.
21. Пирумова С.И.
22. Рунова Т.К.
23. Сатин В.С.

10. Кузнецов С.Е.
11. Ланг Иштван (Венгрия)
12. Лисица Л.Т.
13. Лобанов Н.Н.
14. Лобзов М.А.
24. Смольникова (Ершова) Л.И.
25. Хрущов М.М.
26. Шинкао С.Ю.
27. Шкарняков С.М.

1975 г.

1. Бурова Е.М.
2. Дудин В.В.
3. Зданьски А.К.
4. Клыков Н.М.
5. Ковальчук А.А.
6. Красюков Ю.Н.
7. Лебедев А.М.
8. Львов Ю.М.
9. Опарина С.Ф.
10. Спицин А.А.
11. Умрихин В.В.
12. Хажеева З.И.
13. Шевляков В.П.

1976 г.

1. Анферов С.А.
2. Венцель Христиан (ГДР)
3. Данилюк И.А.
4. Детинич В.А.
5. Дунаев В.А.
6. Душкевич А.Д.
7. Крылов Ю.Н.
8. Литвинова Е.А.
9. Малышевский В.А.
10. Медведева Н.Н.
11. Миронов Г.А.
12. Михайлова И.А.
13. Орлов А.И.
14. Рюдигер Юрген (ГДР)
15. Скоробогатова Т.В.
16. Смирнов М.А.
17. Хомич Н. П.

1977 г.

1. Захария Залам Мухамед Хусни (Сирия)
2. Кирюшкин А.А.
3. Лапик А.М.
4. Лобанов С.В.
5. Марченко Г.Д.
6. Педанов М.В.
7. Савичев А.С.
8. Тебеньков Ю.В.
9. Федоров О.В.

1978 г.

1. Быстревский Е.И.
2. Друженков В.В.
3. Жгутова(Кузьмина) О.С.
4. Жданов А.С.
9. Неизвестная (Лаврентьева) М.А.
10. Самбуева С.Р.
11. Сулин В.В.

5. Караулов А.И.
6. Ковалев В.Д.
7. Лобсанов Ю.Д.
8. Мачкин М.И.
12. Тарасенко А.П.
13. Тихонычев В.В.
14. Ус С.А.
15. Харыбин Е.В.
16. Яковлева Т.А.

1979 г.

1. Ахманова Е.П.
2. Балденкова С.И.
3. Балибалова Е.Н.
4. Ведерников А.А.
5. Гребенкин В.Т.
6. Гусева Е.В.
7. Кахадзе С.О.
8. Каширин П.А.
9. Каширина Н.П.
10. Кашутин С.П.
11. Кулий В.В.
12. Латышев А.Е.
13. Лихушина Е.В.
14. Лукьянов Е.А.
15. Неделько В.А.
16. Николаев Н.Е.
17. Новоселов А.А.
18. Остроумов В.Г.
19. Редько С.В.
20. Степанюк В.С.
21. Яксанова О.Ф.

1980 г.

1. Астафьев А.В.
2. Бараш А.Б.
3. Башкеев Л.В.
4. Беднов В.В.
5. Говорова(Степанюк) Т.М.
6. Гореликова Н.Л.
7. Касрадзе М.Д.
8. Коропий А.Н.
9. Крисько О.В.
10. Максимов Ю.Н.
11. Малашкевич В.Н.
12. Малинчик С.Б.
13. Манцызов Б.И.
14. Медведева Т.Ю.
15. Романовский А.Е.
16. Свергун Д.И.
17. Сидорова Г.В.
18. Сосфенов А.Н.
19. Тепляков А.В.
20. Хопмуродов Ф.

1981 г.

1. Березовская Н.В.
2. Болохова Т.А.
3. Бондарькова Г.В.
4. Королева Л.А.
5. Куюмчян В.А.
8. Никифорова Л.А.
9. Пролейко Е.В.
10. Ситарский К.Ю.
11. Слепчонок О.Ф.
12. Студеникин М.И.

6. Лихачева Т.Ю.
7. Морозова В.В.
13. Цапкина Е.Н.
14. Шелагуров М.А.

1982 г.

1. Васильев Д.Г.
2. Ветшева А.С.
3. Домичева О.В.
4. Изотова Т.Д.
5. Малиновский Г.Я.
6. Назлуханян А.А.
7. Никишова Н.В.
8. Половкова Н.И.
9. Семенова В.Н.
10. Стешиц А.Ю.
11. Строкопытов Б.В.
12. Татарченко А.Ф.
13. Толстикова О.В.
14. Федотова (Перепечко) И.Г.
15. Шульгин А.И.

1983 г.

1. Абдулин Р.Х.
2. Андрецуляк Л.В.
3. Атамуратов А.Э.
4. Жукова Н.А.
5. Камзеева Е.Е.
6. Кульянов С.М.
7. Левин Ю.М.
8. Лопухов Д.
9. Немцов В.А.
10. Новик О.И.
11. Потехин Е.Г.
12. Сливко В.Л.
13. Туманов Н.Н.
14. Тычко А.П.
15. Фаткуллина О.О.

1984 г.

1. Винтайкин Б.Е.
2. Зарькова Л.М.
3. Ильин И.В.
4. Михнев О.В.
5. Пальниченко А.В.
6. Свирин А.В.
7. Сорокин А.В.
8. Степанова М.Г.
9. Тарусин С.Г.
10. Тяпкина О.Ю.

1985 г.

1. Айт А.О.
2. Квачев А.А.
3. Кирюшатова Н.В.
4. Королев С.В.
5. Куприн А.П.
6. Леоненко В.С.
7. Ломидзе Г.Н.
8. Мельников А.В.
9. Пальчун И.П.
10. Садунишвили Л.Г.
11. Филиппов Е.В.
12. Царева О.А.

1986 г.

1. Барлиев
2. Гамзаев Д.
3. Горелова М.М.
4. Журихина И.Ф.
5. Икрамов А.
6. Кобцева М.Б.
7. Кокоев Г.Н.
8. Колпаков С.А.
9. Крюкова Т.В.
10. Намазов И.Э.
11. Оруджалиев М.Н.
12. Сиротинина Г.А.
13. Шайхулов А.Г.

1987 г.

1. Алтынбаева А.Р.
2. Алюков И.М.
3. Биюшкина А.В.
4. Журавлева Е.В.
5. Келехсаев Р.Р.
6. Кийкова И.С.
7. Малышев К.В.
8. Мойса В.С.
9. Мохов А.С.
10. Печик И.В.
11. Романова Н.А.
12. Русских Б.В.
13. Серебрякова М.В.
14. Харитонов И.Ю.
15. Шуваева В.А.

1988 г.

1. Беатрис Арагон (Куба)
2. Волощенко О.
3. Григоренко А.А.
4. Мария Молерио Кастильо (Куба)
5. Рудичева Н.И.
6. Саврасов Д.Ю.
7. Сон Л.Д.
8. Спиридонова Ю.Н.
9. Хандаров А.П.
10. Харатьян С.И.
11. Чен Тэсик
12. Шкрабо Д.

1989 г.

1. Григоренко Б.Л.
2. Дементьев А.А.
3. Левдиков В.М.
4. Макалкин И.А.
5. Махамбетов Д.Д.
6. Михайлов Н.В.
7. Мороз А.Э.
8. Орлянский А.А.
9. Поддубный П.В.
10. Родригес Хиль Хосе Альберто (Куба)
11. Фернандес Сото Жизель (Куба)
12. Шипов И.А.

1990 г.

1. Кесада Давид (Куба)
2. Лошаков Р.В.
3. Маслова (Власова) Л.П.
4. Ноас Хорхе Луис Ноас (Куба)
5. Понандова И.Х.
6. Чиж А.
7. Шусиннова Н.В.
8. Юкина Н.

1991 г.

1. Бородина М.А.
2. Васильев Е.Р.
3. Доля (Сухорукова) И.В.
4. Курсова Л.В.
5. Панина З.В.
6. Шибанов С.Н.

1992 г.

1. Долгушин Ф.М.
2. Евлюхина Е.В.
3. Каверина А.Н.
4. Киселева Т.Ю.
5. Мосунов А.В.
6. Полищук О.Б.
7. Рудницкая Т.Ю.
8. Филимонов А.В.
9. Чернов Е.В.
10. Юлдашева Е.У.

1993 г.

1. Амосов Е.А.
2. Боровский П.О.
3. Быкова Н.А.
4. Векилов Т.Э.
5. Виноградова А.С.
6. Вольф (Лысенко) О.В.
7. Громов С.А.
8. Истомин С.А.
9. Кальченко А.А.
10. Крамаренко В.В.
11. Манюрова Н.Д.
12. Морозов В.Н.
13. Родин С.Ю.
14. Рыкова Е.А.
15. Устименко И.Н.
16. Устиновская И.П.
17. Филькин А.Г.
18. Шушарина Н.П.

1994 г.

1. Авдеева (Персикова) И.А.
2. Буланова И.А.
3. Козак В.В.
4. Сырцева М.П.
5. Шахтахтинский А.М.

1995 г.

1. Абдуразаков А.А.
2. Агладзе О.В.
3. Бажанов Д.И.
9. Лавринецкий А.В.
10. Мечетин А.В.
11. Паргамотникас С.А.

4. Гляненко И.А.
5. Грицан А.А.
6. Денисова В.Г.
7. Животов С.М.
8. Корчажкин И.В.
12. Пятайкин И.И.
13. Салазкин Ю.В.
14. Халиулина Е.А.
15. Чесновский В.В.
16. Чиргадзе Д.Ю.

1996 г.

1. Старкова М. В.
2. Сухачев А. В.
3. Хлескова О. В

1997 г.

1. Соломко М.А.
2. Стяжкин В.В.
3. Хмелевский А.В.

1998 г.

1. Абызов В.О.
2. Антипенко С.В.
3. Баранов А.Н.
4. Коне Абу (Кот де Вуар – Берег Слоновой Кости)
5. Куулар Тараа Орус оолович
6. Пагнуев А.Ю.
7. Прокофьев Н.А.
8. Сбитнев С.Е.
9. Хан Ха Сок (Корея)
10. Харкунов А.И.
11. Хвальковская Е.А.
12. Цэцгээгийн Отгонтуул (Монголия)
13. Ширмин О.Г.

1999 г.

1. Баранов А.Б.
2. Бернст С.В.
3. Бэг Сан Чжон (Южная Корея)
4. Зайцев В.Ю.
5. Олемской Д.А.
6. Сергеев А.А.

2000 г.

1. Княгиничев А.В.
2. Мацнев М.Е.
3. Сутырин А.Г.
4. Уманский В.А.
5. Чернокозов О.Б.

2001 г.

1. Бродский В.В.
2. Гилаев А.В.
3. Горон Е.А.
4. Дутышев Д.И.
8. Силонова Е.В.
9. Смирнов С.А.
10. Соболева М.А.
11. Спажакин И.В.

5. Зеленкова Г.В.
6. Орешко А.П.
7. Седлецкий А.В.
12. Фомичева М.В.
13. Харламова И.В.
14. Цивлин Д.В.

2002 г.

1. Гениев А.Ю.
2. Ковалева И.В.
3. Кочурков В.А.
4. Никульшин Г.А.
5. Сидорчук А.А.
6. Шалдыбин С.Г.

2003 г.

1. Бурнина М.А.
2. Анищенко А.А.
3. Балакирев И.А.
4. Ланчинская В.Ю.
5. Олейников В.В.
6. Лахтиков А.В.
7. Ульянов В.В.

2004 г.

1. Дутышев В.И.
2. Голубок Д.С.
3. Баранов Д.А.
4. Ляшенко Д.А.
5. Сунцов А.М.
6. Кварталов Е.А.
7. Панин М.В.
8. Мадалиев Н.Ш.
9. Стеньгач М.А.
10. Фомин Р.В.

2005 г.

1. Корнеева (Ильина) Ю.В.
2. Бугрова тУ.М.
3. Каленков Г.С.
4. Колчинская А.М.
5. Лачашвили А.Р.
6. Монина Н.Г.
7. Хасанов Ф.А.

2006 г.

1. Галат В.А.
2. Цырулин Н.Л.
3. Змиенко Д.С.
4. Минибаев Р.Ф.
5. Мутигуллин И.В.
6. Степанов Е.И.
7. Иванькова М.В.

2007 г.

1. Архарова Н.А.
2. Орехов А.С.
3. Векилова О.Ю.
4. Габдуллин А.А.
5. Киреев Д.А.
7. Мельников М.М.
8. Михайлов Д.Н.
9. Назмутдинов А.З.
10. Обухов А.В.
11. Птицын А.Г.

6. Ларин В.Н.
12. Сотников Н.В.

2008 г.

1. Гостев Д.В.
2. Алексеев Д.В.
3. Рощупкина О.Д.
4. Одинцова Е.Е.
5. Федоров И.А.
6. Серов П.А.

2009 г.

1. Аликберов И.С.
2. Грибова А.Д.
3. Джатдоев А.А.
4. Потапкин В.Б.
5. Покровский И.А.
6. Стариков Е.В.
7. Трошков Е.В.
8. Фалкова А.Н.
9. Широков С.А.
10. Хусаенов А.А.

2010 г.

1. Антонов А.Н.
2. Вознесенский Ю.Д.
3. Исаева Л.Э.
4. Поляков А.О.
5. Рудаш Д.В.
6. Савилов А.Р.
7. Ситник М.И.
8. Степенко С.О.
9. Уманская Н.А.
10. Хенкин Л.В.
11. Чистякова М.И.
12. Шабалин А.Г.

2011 г.

1. Левин И.С.
2. Корнеева Н.А.
3. Петров И.Д.
4. Супрядкина И.А.
5. Фатеева Ю.Г.
6. Хвастунов С.М.

2012 г.

1. Гринин Д.С.
2. Орехов А.С.
3. Пряникова О.В.
4. Улицкий Д.И.
5. Шишаков А.И.

2013 г.

1. Макарова А.П.
2. Павленко Е.С.
3. Максимов Д.С.

2014 г.

1. Балуян Т.Г.
2. Жбанов В.А.
3. Кривенков М.С.
4. Мойса О.В.
5. Моторин С.В.
6. Ткаченко В.Б.

2015 г.

1. Баулин Р.А.
2. Жолудев С.И.
3. Ивашко В.С.
4. Комяк А.И.
5. Ломов А.А.
6. Макарова Е.С.
7. Панкратов Ф.С.
8. Пеганов А.А.
9. Тарелкин Ю.А.

2016 г.

1. Калашников А.А.
2. Печенкин К.В.
3. Постникова А.А
4. Ситенков Н.В.
5. Шергунов В.А.

ВЫПУСКНИКИ-БАКАЛАВРЫ
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА
(2014 – 2020 гг.)

2014 г.

1. Шальнов С.А.

2015 г.

1. Белов Ю.К.
2. Белоусова А.А.
3. Должикова А.В.
4. Рожков Д.А.
5. Смирнова В.Д.
6. Татарский Р.Ю.

2016 г.

1. Дудкин Д.С.
2. Кабанов В.М.
3. Казарян К.М.
4. Майоров М.И.
5. Манджиева Ю.Б.
6. Петров И.А.
7. Пруткин А.И.
8. Четырбоцкий В.А.

2017 г.

1. Иванов Л.А.
2. Колесников В.В.
3. Кошелев Я.С.
4. Рейляну М.Д.
5. Сладков А.Д.
6. Титов А.П.

2018 г.

1. Баконин Р.Д.
2. Володин В.С.
3. Голдин В.Д.
4. Денисов В.О.
5. Добровольская А.С.
6. Егоров Д.К.
7. Еникеев А.И.
8. Кобзев А.А.
9. Рымарь М.А.
10. Слинько О.В.

2019 г.

1. Демьяненко А.В.
2. Кашуркин Е.В.
3. Ким Н.В.
4. Лазарева Е.В.
5. Новиков Д.С.

2020 г.

1. Германович О.И.
2. Устюгов А.М.

ВЫПУСКНИКИ-МАГИСТРЫ
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА
(1999 – 2020 гг.)

1999 г.

1. Бэг Сан Джон (КНДР)

2006 г.

1. Нгуен Ван Нгиеп (Вьетнам)

2009 г.

1. Бан Сынбум (КНДР)

2015 г.

1. Ли Чжон Ву (КНДР)

2016 г.

1. Шальнов С.А.

2017 г.

1. Белов Ю.К.
2. Белоусова А.А.
3. Должикова А.В.

2018 г.

1. Кабанов В.М.
2. Казарян К.М.
3. Петров И.А.
4. Рагульская А.С.
5. Четырбоцкий В.А.

2019 г.

1. Иванов Л.А.
2. Кошелев Я.С.
3. Рейляну М.Д.
4. Сладков А.Д.
5. Титов А.П.

2020 г.

1. Баконин Р.Д.
2. Володин В.С.
3. Еникеев А.И.
4. Колесников В.В.
5. Рымарь М.А.
6. Слинько О.В.
7. Суляндзига Д.А.
8. Трушева (Добровольская) А.С.

ДОКТОРСКИЕ ДИССЕРТАЦИИ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СОТРУДНИКАМИ КАФЕДРЫ

1935 год

Конобеевский С.Т.

Присуждена ученая степень доктора наук по совокупности работ.

1941 год

Жданов Г.С.

Рентгенографические исследования структур кристаллов (карбид бора, комплексные соединения, абиетиновая кислота)

1943 год

Боровский И.Б.

Исследования по рентгеновской спектроскопии

1947 год

Иверонова В.И.

Отдых и рекристаллизация твердых растворов металлов

1948 год

Захарова М.И.

Процессы распада твердых растворов металлов

1952 год

Багаряцкий Ю.А.

Рентгенографическое исследование старения дуралюмина

1957 год

Уманский М.М.

Аппаратура и методика рентгеноструктурных исследований

1968 год

Кацнельсон А.А.

Исследование ближнего упорядочения в бинарных твердых растворах

1969 год

Кузьмин Р.Н.

Применение ядерного гамма-резонанса для решения некоторых задач структурной физики твердого тела

1983 год

Колонцова Е.В.

Радиационно индуцированные структурные состояния в неметаллических кристаллах

1989 год

Илюшин А.С.

Структурные фазовые переходы и спиновые переориентации в редкоземельных фазах Лавеса

1990 год

Бушуев В.А.

Когерентные и дифракционные явления при неупругом рассеянии рентгеновских лучей в кристаллах

Силонов В.М.

Межатомные корреляции в твердых растворах металлов

1991 год

Андреева М.А.

Ковариантная теория поляризационных явлений в мессбауэровской и рентгеновской оптике

1993 год

Колпаков А.В.

Дифракция рентгеновских лучей в одномерно искаженных кристаллах

1994 год

Батырев И.Г. (докторант)

Ближний порядок, электронные, магнитные и поверхностные свойства кристаллических систем

1996 год

Новакова А.А.

Структурная эволюция аморфных металлических систем

1998 год

Хунджуа А.Г.

Структурные превращения мартенситного типа в распадающихся твердых растворах замещения

2001 год

Овчинникова Е.Н.

Резонансная дифракция рентгеновского и мессбауэровского излучения в регулярных, модулированных и дефектных кристаллах

2014 год

Орешко А.П.

Анизотропные и интерференционные эффекты в резонансной дифракции синхротронного излучения

2017 год

Киселева Т.Ю.

Мессбауэровская спектроскопия функциональных железосодержащих нанокомпозитов

КАНДИДАТСКИЕ ДИССЕРТАЦИИ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СОТРУДНИКАМИ, АСПИРАНТАМИ, СТАЖЕРАМИ И СОИСКАТЕЛЯМИ КАФЕДРЫ

1935

Жданов Г.С.

Присуждена ученая степень кандидата наук по совокупности работ

Захарова М.И.

Присуждена ученая степень кандидата наук по совокупности работ

1936

Боровский И.Б.

Присуждена ученая степень кандидата наук по совокупности работ

Иверонова В.И.

Рентгенографическон исследование явления рекристаллизации некоторых металлов и их сплавов

1938

Блохин М.А.

Влияние химической связи на K_β -группу хрома

Ельников А.И.

Структура пластически деформированных кристаллов по данным исследования картин астеризма

1940

Уманский М.М.

Электронографические и рентгеновские исследования металлов и сплавов

1941

Струминский В.В.

К электронной теории твердых тел. Квантово-механический расчет упорядоченной бета-латуни CuZn

1942

Шаскольская М.П.

Рост и растворение пластическуи деформированных кристаллов калийной соли

1947

Тарасова В.П.

Исследование температурного хода границ растворимости α-фаз медных сплавов

Сорокин И.В.

Исследование рентгеновских спектров Mn и Al в сплавах Mn-Al

1950

Колонцова Е.В.

Диффузное рассеяние рентгеновских лучей пластически деформированными монокристаллами алюминия

Мамедов К.П.

Анизотропия атомного фактора в кубических кристаллах

1951

Багаряцкий Ю.А.

Рентгенографическое исследование старения дуралюмина

1953

Балли Д. (Румыния)

Влияние термической обработки на структуру высококоэрцитивных сплавов

Андреева Н.С.

Рентгенографическое исследование некоторых фибриллярных белков

1954

Тронева Н.В.

Исследование рентгеновских спектров испускания М-серии европия, гадолиния, тербия, диспрозия, галлия, эрбия

Безирганян П.А.

Некоторые вопросы теории интерференции рентгеновских лучей на изогнутых и плоских кристаллах

1958

Батсурь Дамбароагийн (Монголия)

Рентгенографическое исследование искажений кристаллической решетки в пластически деформированных металлах

1959

Ван Хуа Фоу (Китай)

Исследование распада γ-твердого раствора в марганцовистой стали

Ронами Г.Н.

Влияние температуры и малых примесей на «таяние» тонкой структуры L_{III} спектров свинца

1960

Ежкова З.И.

Рентгенографическое определение тензора термического расширения некоторых сегнетоэлектрических кристаллов

Кацнельсон А.А.

Рентгенографическое исследование параметров ближнего порядка и характеристической температуры сплавов NiPt

1962

Кузьмин Р.Н.

Исследование атомно-кристаллической структуры соединений и фазового состава сплавов Bi с R и сурьмы с Rh, Ir, Ru и Os

Дударев В.Я.

Рентгенографическое и микроскопическое исследование продуктов ионной бомбардировки некоторых металлов и графита

1964

Сукенник П.Я. (Польша)

Исследование окончательной стадии движения твердых тел на упругом основании.

1966

Ибраимов Н.С.

Исследование мессбауровских спектров на сплавах олова с *d*-металлами

Четкина (Варфоломеева) Л.А.

Рентгеноструктурное исследование галогенопроизводных и фторстильбенов

1967

Ревкевич Г.П.

Исследование процесса установления ближнего порядка в деформированных сплавах α-Cu-Al

Могарычева И.Б.

Исследование структурного механизма эвтектоидного превращения в сплавах медь-олово

1968

Колпаков А.В.

Решение фазовой проблемы на основе когерентного рассеяния гамма-квантов

Алимов Ш.

Исследование влияния ближнего порядка на электрическое сопротивление твердых растворов Pd с Pt, Co, Cu и W

Хатанова Н.А.

Рентгенографическое и электронно-микроскопическое исследование распада пересыщенных растворов в сплавах Al-Cu-Ag, Al-Cu-Zn и Al-Zn-Cu

Телегина И.В.

Рассеяние рентгеновских лучей монокристаллами LiF после облучения нейтронами

Зубенко В.В.

Аппаратура и методика высокотемпературной рентгенографии

1969

Абидов М.А.

Исследование мессбауровских спектров сплавов Гейслера

Никитина С.В.

Исследование эффекта Мессбауэра в некоторых бинарных и квазибинарных сплавах олова

Опаленко А.А.

Эффект Мессбауэра в монокристаллах и поликристаллах теллура

Бойко А.А.

Аппаратура и методика низкотемпературной рентгеновской дилатометрии (100°÷300°K)

1970

Квитка С.С.

Рентгеновская гониометрия

Чачхиани Л.Г.

Исследование магнитных свойств и эффекта Мессбауэра в сплавах урана с железом, оловом, теллуром и сурьмой

Иркаев С.М.

Исследование эффекта Мессбауэра в магнитоупорядоченных соединениях сурьмы

Головнин В.А.

Температурные исследования фаз и фазовых переходов методом эффекта Мессбауэра

Попова И.И.

Исследование ближнего порядка в сплавах палладия с платиной, золотом и никелем методом диффузного ассеяния при повышенных температурах

Дажаев П.Ш.

Локальное распределение атомов в некоторых твердых растворах металлов

Корчажкин В.В.

Рентгенографическое и электронно-микроскопическое исследование распада пересыщенных твердых растворов в сплавах Co-Ta, Co-Ti-Ta, Co-Be и Co-Ta-Be

1971

Илюшин А.С.

Метастабильные состояния в сплавах Fe-Mn-Al, Fe-Co-Ti и тиконал

Као Минь Тьи (Вьетнам)

Рентгенографическое и электронно-микроскопическое исследование структурных состояний при распаде твердого раствора в сплавах Cu-Be-Ag и Cu-Be-Ti

Фалеев Д.С.

Ядерный гамма-резонанс в сплавах олова с магнием, кальцием, стронцием и барием

Кисин В.И.

Интерференционное прохождение рентгеновского излучения через совершенные и упруго деформированные кристаллы германия

Агарвал В.К. (Индия)

Исследование эффекта Мессбауэра на ядрах ^{57}Fe в некоторых соединениях редкоземельных элементов

Кузнецова С.М.

Исследование условий образования и некоторых свойств сверхпроводящих интерметаллидов V_3Ga и $(VCu)_3Ga$

1972

Годовиков С.К.

Исследование некоторых сплавов кобальта-источников для мессбауэроской спектроскопии

Тяу Куанг Леу (Вьетнам)

Исследование методами мессбауровской спектроскопии и рентгеновского фазового анализа некоторых NiAs фаз переменного состава

1973

Гендлер Т.С.

Структурно-магнитные фазовые превращения в некоторых железосодержащих минералах

Андреева М.А.

Сверхтонкая структура брэгговских максимумов в мессбауэрографии

Засимов В.С.

Исследование дифракции мессбауэровского гамма-излучения Te-125m в монокристалле теллура

Силонов В.М.

Исследование атомного упорядочения в системах Ni-W, Ni-Mo, Ni-(Fe-W) и Ni-(Fe-Mo)

Бородина Т.И.

Многоволновые эффекты в интерференционном прохождении рентгеновских лучей

Кулаго Э.Е.

Рассеяние рентгеновских лучей нагретыми и облученными монокристаллами α-SiO_2, K_2SO_4, $NaNO_3$, $LiNbO_3$

Суворов Э.В.

Усовершенствование методики рентгеноструктурных исследований и использование ее при уточнении строения *nn′*-диметил $\alpha\alpha'$-дифторстильбена

1974

Тамаев С.Т.

Исследование сверхтонких взаимодействий в сплавах типа Гейслера

Иванов А.С.

Некоторые вопросы теории сверхтонкой структуры мессбауэровских спектров в электромагнитных полях

Бушуев В.А.

Динамическая теория неупругого рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах

Авенариус И.В.

Анизотропия эффекта Мессбауэра в монокристаллах сурьмы и теллура

Фишер Вернер (ГДР)

Исследование сверхтонких взаимодействий в соединениях тяжелых редкоземельных металлов с железом типа RFe_3

Вардапетян Р.П.

Эффект Мессбауэра в моно- и поликристаллах двуокиси теллура

Атеф М.А. (Египет)

Исследование магнитных свойств сплавов системы хром-теллур

Ройг Хосе (Куба)

Теория мессбауэровских спектров бинарных сплавов в трехмерной модели решетки Изинга

Ковалева С.К.

Исследование электронной структуры и кристаллохимических особенностей сплавов сурьмы с применением эффекта Мессбауэра

1975

Новакова А.А.

Исследование сверхтонких взаимодействий в некоторых ферримагитных шпинелях методом эффекта Мессбауэра

Мохаммед Али Халед Абдель Саттар (Египет)

Исследование сверхтонких взаимодействий и структурных особенностей в некоторых никель-арсенидных фазах

Шериф Ахмед Хайри (Египет)

Исследование эффекта Мессбауэра при высоких давлениях в теллуре и его соединениях

Биннатов К.Г.о.

Исследование атомного упорядочения в сплавах систем никель-хром и никель-железо-хром

Кондратьева М.Д.

Исследование процессов ближнего упорядочения в сплавах Cu-Pt

Фуэнтес Бетанкур Хуан Эмилио (Куба)

Исследование фазовых превращений в сплавах на основе Ti и Pr

Зефирова В.Л.

Комплексное исследование влияния облучения электронами на щелочногалоидные монокристаллы

1976

Зезин С.Б.

Исследование эффективных магнитных полей в интерметаллических соединениях типа CuAl методом эффекта Мессбауэра

Лосиевская С.А.

Исследование атомного упорядочения сплавов Fe-Al с помощью эффекта Мессбауэра

Уразаева Т.К.

Изучение фазовых превращений и магнитных свойств гидроокислов железа *d*-ряда

Фарид Ахтар Хаваджа (Пакистан)

Исследование атомного ближнего порядка в сплавах V-Nb, V-Ta и Nb-Ta методами теории псевдопотенциала и диффузного рассеяния рентгеновских лучей

Веремчук С.А.

Исследование атомного ближнего порядка в сплавах Co-Ir, Co-Re, Pd-Al

1977

Хапачев Ю.П.

Теория рентгеновской дифракции в монокристаллических пленках переменного состава с квазипериодической структурой

Дерипаско В.Т.

Рентгенографическое изучение радиационных изменений кристаллической структуры некоторых неделящихся металлов и сплавов

Сафронова Л.А.

Структурные и энергетические характеристики атомного ближнего порядка в сплавах Mg-Cd и Mg-In

1978

Овчинникова Е.Н.

Теоретико-групповые методы в мессбауэрографии

Багдасарян Р.И.

Исследование атомного ближнего порядка в сплавах с значительным размерным эффектом методами теории псевдопотенциала и диффузного рассеяния рентгеновских лучей

Львов Ю.М.

Исследование структуры гистидиндекаобоксилазы в растворе методом малоуглового рентгеновского рассеяния

Сафронов П.П.

Исследование ближнего порядка в твердых растворах систем Cu-Au и Ag-Au

Корнеев А.Е.

Изучение изменения кристаллической структуры по высокотемпературному типу в облученных неметаллических кристаллах

1979

Тихомиров О. Ю.

Математические модели генерации излучения ядерного гамма-лазера

Лобанов Н.Н.

Упругое и неупругое рассеяние мессбауэровского гамма-излучения в кристалле пиролитического графита

Закария Залам (Сирия)

Мессбауэровское исследование фазового превращения в теллуре под давлением

Силонов А.М.

Ближний порядок в сплавах Ni-Al, Ni-Re, Ni-Re-Mo и его влияние на физический свойства

Генчева Д.С. (Болгария)

Исследование атомного упорядочения в сплавах Pb-In, Mg-Er и Mg-Gd

Хрущов М.М.

Исследование межатомных взаимодействий в сплавах титан-цирконий, титан-гафний и цирконий-гафний

Аминов А.А.

Исследование структурных состояний при распаде ОЦК β-твердого раствора в сплавах на основе циркония

Советникова В.Г.

Концентрационные и температурные зависимости параметров ячеек разбавленных твердых растворов W и Mo в рении

Рунова Т.К.

Многоволновая дифракция рентгеновских лучей в кристаллах со структурой алмаза

1980

Дудченко Г.Н.

Исследование распада γ-твердого раствора в сплавах на основе меди

Шагдаров В.Б.

Исследование диэлектриков кислородно-октаэдрического типа методом мессбауэровской спектроскопии

Борисова С.Ф.

Особенности распространения преломления и отражения мессбауэровского излучения в гиротропных поглощающих кристаллах

Батырев И.Г.

Ближний порядок в сплавах переходных металлов в приближении когерентного потенциала

Хунджуа А.Г.

Исследование структуры превращений в ОЦК сплавах на основе циркония и никелида титана

Козловская (Важнова) Н.А.

Исследование метастабильных состояний при фазовых превращениях в сплавах Ti-Nb-V-Zr, Ti-Nb-Al и Co-Al

1981

Тахир Аббас (Пакистан)

Исследование фазовых превращений в сплавах Ni-Ir, Mg-Co и Mg-Tb

Лаушкин А. В.

Дифракционные процессы при неупругом рассеянии рентгеновских лучей в кристаллах

Прозоров А.Н.

Исследование атомного упорядочения в сплавах Ni-Rh и Pd-Pt методом диффузного рассеяния рентгеновских лучей и псевдопотенциала

Гончаренко Ю.Д.

Исследование радиационных дефектов в облученных нейтронами молибдене, железе, меди и никеле методом рентгенографии

Матутес Хосе Акино (Куба)

Исследование тонкой структуры сплавов железа с Rh, Rn и Ni

Бурова Е.М.

Система алгоритмов и программ для рентгеновского качественного фазового анализа

1982

Кручинкина В.И.

Исследование атомного упорядочения в кристаллических и аморфных сплавах Se-Te

Кирилличева Л.А.

Температурное исследование структурных изменений в соединениях редкоземельных и переходных металлов

Попова Н.В.

Учет особенностей экранирования в переходных металлах в псевдопотенциальной теории ближнего порядка

Степанюк В.С.

Разработка метода фазовых сдвигов и его применение к расчету некоторых физических свойств сплавов *d*-металлов

Козловский В.Ф.

Локальное упорядочение в некоторых полупроводниках и соединениях со структурой шпинели

Беляев Ю.Н.

Теория дифракции рентгеновских лучей в слоистых кристаллах

Тебеньков Ю.В.

Структурные фазовые переходы в редкоземельных интерметаллидах типа C15 $Tb_{1-x}Dy_xAl_2$ и $Tb_{1-x}Ho_xCo_2$

1983

Карнюхин А.В.

Полуклассическая теория коллективного спонтанного злучения в сплошных и кристаллических средах

1984

Манцызов Б.И.

Кинетика когерентного взаимодействия резонансного излучения с дискретной периодической или сплошной средой

Росете Альварес Хосе Карлос (Мексика)

Теория зеркального отражения мессбауэровского излучения от поверхности при наличии сверхтонких взаимодействий

Ибрагим Ахмед Махмуд (Египет)

Дисторсионные фазовые переходы и спиновая магнитострикция в редкоземельных фазах Лавеса

Кастро Моралис Давид Антонио (Венесуэла)

Исследование локальных распределений атомов в редкоземельных фазах Лавеса

Ястребов Л.И.

Теория эффективной среды и развитие метода псевдопотенциалов для переходных металлов

Сорокина Н.К.

Исследование структурных изменений монокристаллов кремния при импульсном воздействии оптических квантовых генераторов

Погосова И.С.

Радиационная и термическая стойкость структуры некоторых кислородсодержащих кристаллов

Николаев А.А.

Особенности теплового расширения в квазибинарных системах редкоземельных интерметаллидов

1985

Тонеян А.Г.

Шестиволновая дифракция рентгеновских лучей в монокристаллах

Киселев А.А.

Новые аспекты применения детекторов конверсионных электронов в мессбауэровских исследованиях

Винтайкин Б.Е.

Влияние магнитного упорядочения на особенности процессов расслоения на магнитную и парамагнитную фазы в сплавах Fe-Cr-Co и Fe-Ni-Cr

Татаринская О.М.

Теоретическое изучение стабильности кристаллических структур переходных металлов

Никанорова И.А.

Локальное распределение атомов и фазовые переходы в твердых растворах железа и алюминия в α- и β-модификациях марганца

Никифорова Л.А.

Теоретическое исследование электронных свойств аморфных сплавов переходных металлов в приближении когерентного локатора

Лихушина Е.В.

Неустойчивость решетки и структура поверхностного мартенсита в упорядоченных сплавах β-CuZnAl

Татарченко А.Ф.

Исследование концентрационной зависимости и влияния статических и динамических дефектов на энергетическую структуру переходных металлов и сплавов

Васильева В.Б.

Структурные превращения в сплавах на основе титана и циркония при комбинированной термообработке

Пунегов В.И.

Теория дифракции рентгеновских лучей в непрерывно-слоистых кристаллах с постоянным градиентом деформации

1986

Любимов А.Г.

Экспериментальное исследование дифракционных эффектов при диффузном и комптоновском рассеянии рентгеновских лучей в совершенных и мозаичных кристаллах

Бобров Н.А.

Влияние поверхности на состояние железа, адсорбированного в алюмосиликатах

Хамами Мохаммед Салех (Сирия)

Исследование ближнего порядка в твердых растворах Ni-Ta и Ni-Nb

Тихонычев В.В.

Рентгеновское малоугловое исследование строения ДНК в головках бактериофагов Т7 и Сд

Скоробогатова Т.В.

Исследование ближнего порядка в сплавах с близкими атомными номерами компонент Cu-Zn, Cu-Ni, Pd-Au-Rh

Камзеева Е.Е.

Микрогетерогенность атомной структуры и кристаллизация аморфных сплавов $Cu_{50}Ti_{50}$ и $Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$

1987

Свешников С.В.

Рентгенографическое исследование $\alpha \leftrightarrow \beta$ фазовых превращений в поликристаллах системы палладий-водород

Христов Ваню Митев (Болгария)

Механизм образования и устойчивости областей β-фазы в сплавах Pd-H, Pd-Cu-H и Pd-Pt-H

Редько С.В.

Влияние примесей, условий роста и облучения на радиационную стойкость структуры некоторых кислородсодержащих кристаллов

Сидорова Г.В.

Исследование структурных превращений в аморфном сплаве $Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$ методом эффекта Мессбауэра

1988

Куприн А.П.

Неразрушающий анализ поверхности железосодержащих твердых тел с применением селективной по глубине мессбауэровской спектроскопии

Кахадзе С.О.

Структура и спиновые переориентации в редкоземельных фазах Лавеса RFe_2, синтезированных при высоких давлениях

Махер Ахмед Хенийш (Египет)

Исследование структурных и магнитных фазовых переходов в квазитернарной системе редкоземельных фаз Лавеса $(Tb_{0,75}Ho_{0,25})_{1-x}Dy_xCo_2$

Эдгдуги Ахмед (Марокко)

Структура, спиновые переориентации, тепловое расширение и магнитострикция в фазах Лавеса квазитернарной системы $(Tb_{0,45}Dy_{0,55})_{1-x}Ho_xFe_2$

1989

Зубов И.В.

Температурное рентгеновское и мессбауэровское исследование соединений $YBa_2(Cu_{1-x}Fe_x)_3O_{7-y}$

Семенов Я.С.

Физическая природа вязко-хрупкого перехода бинарных сплавов железа

Отырба Е.А.

Устойчивость кристаллических структур и атомное упорядочение в концентрированных и разбавленных сплавах Cu-Pt

Новик О.И.

Формирование квантово-механических методов физики твердого тела

Кокоев Г.Н.

Влияние легирования и старения на характеристики и последовательности мартенситных превращений в сплавах на основе никелида титана

Бондарькова Г.В.

Структурные фазовые переходы и спиновые переориентации в редкоземельных фазах Лавеса RAl_2

1990

Князева М.А.

Кинетика $\alpha \leftrightarrow \beta$ превращений и дефектность фаз в системе Pd-H

Крисько О.В.

Метод резонансного модельного потенциала в теории электронных и атомных свойств металлов

Козлов А.В.

Разработка методики и расчет электронной структуры дефектов в металлах

1991

Залуцкий А.А.

Мессбауэровская спектроскопия обменных форм железа в слоистых алюмосиликатах

Григоренко А.А.

Электронная структура и оптические свойства соединений АВ

Миткова М.К. (Болгария)

Влияние водорода на характер структурных изменений и напряжений в палладии и его сплавах с *d* и *f* металлами

Шайхулов А.Г.

Исследование стабильности Al, Ti, V в условиях всесторонней и одноосной деформации кристаллической решетки

Трушин О.С.

Молекулярно-динамическое моделирование структуры и ее изменений в жидких и аморфных металлах и сплавах «переходный металл-металлоид»

1992

Чен Тэсик

Динамическая фокусировка рентгеновских лучей изогнутыми кристаллами

Оруджалиев М.Н. о.

Теория изогнутых капилляров и лентообразных рентгеновских волноводов

Мойса В.С.

Атомно-кристаллическая структура и эффект Мессбауэра в соединениях $YBa_2(Cu, Fe)_3O_y$

Башелханов И.В.

Исследование многослойных структур методом рентгеновских стоячих волн в условиях дифракции и полного внешнего отражения рентгеновских лучей

Прудников И.Р.

Теория дифракции рентгеновских лучей в твердотельных сверхрешетках

Машаев С.-М.Ш.

Магнитные фазовые переходы и локальные распределения атомов в сплавах квазибинарных систем β-$Mn_{19,5-x}Sn_xFe_{0,5}$ и β-$Mn_{20-x}(SiFe)_x$

1993

Петраков А.П.

Рентгенодифракционные исследования приповерхностных слоев совершенных и имплантированных бором монокристаллов кремния, подвергнутых миллисекундному лазерному облучению

Калибаева Г.М.

Микроструктура сплавов металл-металлоид по данным молекулярно-динамического эксперимента

Аль Дарвиш Мариам Маджид (Сирия)

Структура, магнитные свойства и фазовые переходы в квазибинарных системах $Er_{1-x}Tb_xMn_2$ и $Ho_{1-x}Tb_xMn_2$, синтезированных при высоких давлениях

Мустафа Бассам Махмуд (Ирак)

Температурное рентгеновское исследование висмут-содержащих монокристаллов ВТСП

1994

Абу Аль Шамлат Салама (Сирия)

Порядок в сплавах Fe-W, Fe-W-H и Ni-Si

Сухорукова И.В.

Флуктуационно-осциллирующие изменения дифракционной картины и дефектной структуры сплавов Pd-W при релаксации после насыщения водородом

Муслим Махди Мухамед (Ирак)

Мартенситные превращения в неоднородных твердых растворах на основе никелида титана

1995

Мороз А.Э.

Молекулярно-динамическое моделирование структуры и роста ультратонких металлических пленок

Киселева Т.Ю.

Изменение термической стабильности и кристаллизации в аморфных сплавах системы $Fe_{84-x}W_xB_{16}$

Евлюхина Е.В.

Исследование ближнего порядка в ГПУ сплавах Mg-Er, Mg-Dy, Mg-Tb

1996

Лысенко О.В.

Компьютерное моделирование структуры ультратонких пленок и наноструктур при гомо- и гетероэпитаксии

Лхамсуэргийн Энхтор (Монголия)

Ближний порядок в сплавах Fe-Re, Fe-Rh и Ni-W

1997

Кудрявцев Я.В.

Взаимодиффузия и полимераналогичная реакция в смесях полимеров

Манюрова Н.Д.

Влияние биогеохимических процессов на трансформацию железа и его соединений на примере археологических образцов

Родин С.Ю.

Ближний порядок в ГЦК сплавах Mn-Ga, Mn-Ga-C и Mn-Ga-N

1998

Козак В.В.

Теория формирования межслойных шероховатостей и их корреляция в многослойных структурах

Агладзе О.В.

Структурные и фазовые превращения при механическом синтезе Fe-H, Fe-Ti и Fe-TiH

Леванов Н.А.

Наноструктуры переходных металлов по данным компьютерного моделирования с многочастичными потенциалами

Гудаев М.-А.А.

Структура, магнитные свойства и сверхтонкие взаимодействия в фазах высокого давления в сплавах систем $Ho(Fe_{1-x}Mn_x)_2$ и $Tb(Fe_{1-x}Mn_x)_2$

Виноградова А.С.

Атомные распределения, сверхтонкие взаимодействия и магнитные свойства сплавов системы β-Mn-Sn-Fe

1999

Корнилова А.А.

Исследование эффекта Мессбауэра в монокристаллах при внешних физических воздействиях

Бажанов Д.И.

Исследование электронных и магнитных свойств низкоразмерных металлических систем в методе сильной связи

Авдюхина В.М.

Эволюция структуры в водородосодержащих палладиевых системах прибольших временах релаксации

Персикова И.А.

Структура и сверхтонкие взаимодействия в фазах высокого давления системы $Dy(Fe_{1-x}Mn_x)_2$ с водородом и дейтерием

Рыкова Е.А.

Структурные состояния в сплавах системы Pr-Fe

2000

Старкова М.В.

Дефектно-структурные состояния в пленках Pd и Pd-Fe и их

трансформация под воздействием водорода

Звягин А.И.

Применение непертурбативной теории отражения рентгеновских лучей для расчета угловых спектров диффузного рассеяния

2001

Хан Ха Сок (Южная Корея)

Структурные изменения в термодинамически открытых системах Pd-Mo-H и Pd-Ta-H

2002

Баранов А.Н.

Физические свойства адатомов и малых кластеров на поверхности металлов

Валиев Х.Х.

Исследование электронно-ядерных взаимодействий в твердых растворах на основе сплавов Гейслера

Прямиков А.Д.

Теоретическое исследование нелинейных взаимодействий оптического излучения с одномерными фотонными кристаллами

Сергеев А.А.

Прямые и обратные задачи метода рентгеновского фазового контраста

2003

Лавренов А.Ю.

Немонотонная релаксация в водородосодержащих сплавах типа Pd-Er

Орешко А.П.

Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях скользящей дифракции

Сутырин А.Г.

Прямые и обратные задачи в рентгеновской рефлектометрии многослойных и пористых структур

Цивлин Д.В.

Наноструктуры кобальта на поверхности меди по данным молекулярно-динамического моделирования

2004

Баранов А.Б.

Локальная неоднородность и сверхтонкие взаимодействия ядер ^{57}Fe в редкоземельных фазах Лавеса RFe_2, $(Tb,Dy,Ho)Fe_2$, $Yb(Fe,Mn)_2$

Спажакин И.В.

Структура и сверхтонкие взаимодействия в фазах высокого давления сплавов квазибинарных систем $Nd(Fe_1\text{-}xNi_x)_2$, $Nd(Fe_1\text{-}xCo_x)_2$, $Nd(Fe_{1\text{-}x}Mn_x)_2$, $Yb(Fe_1\text{-}xMn_x)_2$ и в их дейтеридах

2005

Анищенко А.А.

Немонотонная структурная эволюция в неравновесных сплавах на основе палладия, индуцированная водородом

Хаджи Мортеза Задех

Динамические состояния в конденсированных системах с аномалиями кинетических коэффициентов

2006

Смехова А.Г.

Развитие метода резонансного рентгеновского отражения вблизи $L_{2,3}$ краев поглощения для исследования магнитных мультислоев

2007

Голубок Д.С.

Структурные превращения в аморфном металлическом сплаве под воздействием потоков высокоэнергетических ионов и нейтронов

2008

Колчинская А.М.

Резонансная дифракция рентгеновского излучения в монокристаллах железо-иттриевого граната и оксида цинка

Корнеева Ю.В.

Структурные превращения в металлических частицах катализаторов в различных процессах синтеза углеродных нанотрубок

Монина Н.Г.

Развитие метода ядерно-резонансного отражения для исследования магнитных мультислоев

2009

Антоненко А.А.

Интерференционные явления в резонансной дифракции рентгеновского излучения в кристаллах

Козловская К.А.

Эффекты гиротропии и киральности в резонансном поглощении и дифракции рентгеновского излучения

2010

Мутигуллин И.В.

Особенности взаимодействия атомов углерода на поверхности и в объеме монокристаллов железа, никеля и сплавов на их основе

Тагаченков А.М.

Исследование электрофизических и морфологических свойств и поверхностных явлений в гетерогенных твердотельных наноразмерных системах

2011

Одинцова Е.Е.

Резонансные эффекты вблизи краев поглощения рентгеновского излучения при отражении от многослойных структур

Чжэн Шаотао

Анализ двойникования кристаллов мартенситной фазы в

сплавах с эффектами памяти формы

2013

Акимова О.В.

Индуцированная водородом немонотонная структурная эволюция в фольгах сплава Pd-In-Ru

Антонов А.Н.

Влияние поверхностно-активных веществ на синтез наночастиц гидроксида железа

Хенкин Л.В.

Динамические характеристики и валентные состояния ионов железа в функциональных металлоорганических соединениях

Шабельникова Я.Л.

Анализ ключевых характеристик методов локальной диагностики полупроводников – метода наведенного ренгеновским пучком тока и рентгеновского флуоресцентного метода

2014

Фалкова А.Н.

Структурные превращения при механосинтезе и химическом синтезе нанокомпозитов Fe-Al(Ga)-O

2015

Репченко Ю.Л.

Моделирование резонансных явлений вблизи краев поглощения в условиях отражения рентгеновского синхротронного излучения от многослойных структур

2017

Акимова (Кедало) К.А.

Резонансная дифракция синхротронного излучения в кристаллах семейства KDP

Левин И.С.

Исследование структурно-фазовых состояний и физических

свойств алмазоподобных покрытий, легированных металлами VI группы

2019

Жолудев С.И.

Структура и функциональные свойства металло-полимерных композитов с механосинтезированными частицами сплава Галфенол

Баулин Р.А.

Поляризационные эффекты в мёссбауэровской и рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии магнитных многослойных структур

Балуян Т.Г.

Исследование низкотемпературного магнитного фазового перехода в сверхструктурах селенида железа Fe_7Se_8

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА "ДИФРАКЦИОННЫЕ И ЯДЕРНО-РЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД"

Квалификация (степень) "магистр"
Направление подготовки 011200 "Физика"
Профиль (специализация) подготовки "Физика конденсированного состояния вещества"

Руководитель программы:
доктор физико-математических наук,
профессор
Илюшин Александр Сергеевич

Москва
2011

211

ББЛ
УДК

Научный редактор:
заведующий кафедой физики твердого тела профессор Илюшин А.С.

Редакторы и составители:
руководитель магистерской программы профессор Илюшин А.С.,
зам. декана физического факультета по учебно-методической работе доцент Брандт Н.Н.,
декан физического факультета МГУ профессор Трухин В.И.

Авторский коллектив:
Авдюхина Валентина Михайловна, Андреева Марина Алексеевна, Бажанов Дмитрий Игоревич, Бушуев Владимир Алексеевич, Зубенко Василий Васильевич, Илюшин Александр Сергеевич, Киселева Татьяна Юрьевна, Кузьмин Рунар Николаевич, Новакова Алла Андреевна, Овчинникова Елена Николаевна, Орешко Алексей Павлович, Прудников Илья Рудольфович, Рыкова Елена Анатольевна, Силонов Валентин Михайлович, Смехова Алевтина Геннадьевна, Телегина Инна Васильевна, Хунджуа Андрей Георгиевич

Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред: магистерская программа по направлению 011200 "Физика" // Авдюхина В.М. и др.; ред. и сост. Илюшин А.С., Брандт Н.Н., Трухин В.И. – М.: Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, 2011. с.

В рамках формирования образовательных стандартов, самостоятельно устанавливаемых МГУ имени М.В.Ломоносова, физический факультет разработал ряд магистерских программ по физике.

Базовая часть основной образовательной программы подготовки магистра по направлению 011200 "Физика" включает 5 дисциплин: иностранный язык, философия, специальный физический практикум, современные проблемы физики, история и методология физики.

В настоящем сборнике приводятся учебно-методические и нормативные материалы, отражающие содержание и организацию учебного процесса в магистратуре физического факультета МГУ в рамках магистерской программы "Физика конденсированного состояния вещества". Последняя включает в себя 28 дисциплин, 14 из которых обязательные, а из остальных 14-ти необходимо выбрать 6.

ISBN
© Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, 2011

Общая концепция программы

Российское высшее образование в области математики и естественных наук (физики, химии, биологии) является одним из лучших в мире. В настоящее время на рынке труда имеется острая потребность в высококвалифицированных специалистах физических специальностей для решения ряда высокотехнологических и наукоемких задач. Настоящая магистерская программа разработана для подготовки специалистов, обладающих профессиональными знаниями в области современных проблем физики конденсированных сред и владеющих методами исследования новых перспективных материалов. Программа является частью современной системы естественнонаучного образования, использующей:

- прогрессивные мировые информационные ресурсы, технологии и знания;
- образовательные программы с международной аккредитацией, позволяющие обеспечить конкурентоспособность на мировом рынке;
- предпринимательские идеи в содержании курсов;
- проблемно ориентированный междисциплинарный подход к изучению естественных и технических наук;
- активные методы обучения и «обучения на основе опыта»;

Магистерская программа по профилю «Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред»

- использует и разрабатывает современные методы и аппаратуру для исследования материалов с заданным комплексом физико-химических свойств;
- имеет полный набор учебных курсов, разработанных профессорско-преподавательским составом кафедры для целевой подготовки магистров по профилю «Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред» и обеспеченных взаимосогласованными учебниками и учебными пособиями.
- предполагает непосредственное участие студентов в научных исследованиях по планам НИР, а также по грантам, проектам и хоздоговорам на физическом факультете;
- имеет возможность подтверждения квалификации студентов сдачей международных экзаменов на сертификаты ведущих мировых производителей.

Описанный комплексный подход позволяет проводить обучение специалистов в сфере инновационной экономики, способных комплексно сочетать научно-исследовательскую, проектную и предпринимательскую деятельность.

Компетенции, приобретаемые в результате освоения программы

Шифр компетенции	Содержание компетенции
М-ПК-1	способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач
М-ПК-2	способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности
М-ПК-3	способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области инженерной физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий
М-ПК-4	способность и готовность применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчётов, обзоров, докладов и статей
М-ПК-5	способность использовать профессиональные знания в области информационных технологий, современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки
М-ПК-6	способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации
М-ПК-7	способность проводить свою профессиональную деятельности с учётом социальных, этических и природоохранных аспектов

Виды деятельности, которые может выполнять выпускник программы

Научно-исследовательская (экспериментальная, теоретическая и расчетная) деятельность:

- научные исследования поставленных проблем;
- формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований;
- разработка новых методов исследований;
- выбор необходимых методов исследования;
- освоение новых методов научных исследований;
- освоение новых теорий и моделей;
- обработка полученных результатов научных исследований на современном уровне и их анализ;
- работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой;
- написание и оформление научных статей;
- составление отчетов и докладов о научно-исследовательской работе, участие в научных конференциях.

Педагогическая деятельность:

- подготовка и чтение курсов лекций;
- подготовка и ведение семинарских занятий;
- ведение занятий в учебных лабораториях;
- руководство научной работой студентов;
- руководство дипломными работами студентов.

Дисциплины (модули) основной образовательной программы подготовки магистров по программе "Физика конденсированного состояния вещества"

№	Наименование дисциплины
	Фундаментальные дисциплины направления
1.	Иностранный язык
2.	Философия
3.	Специальный физический практикум
4.	Современные проблемы физики
5.	История и методология физики
6.	Физика конденсированного состояния вещества. Часть 1. Кристаллография
7.	Физика конденсированного состояния вещества. Часть II. Свойства конденсированных веществ
8.	Физика конденсированного состояния вещества. Часть III. Физика реального кристалла
9.	Физика конденсированного состояния вещества. Часть IV. Фазовые превращения
10.	Физика конденсированного состояния вещества. Часть V. Квантовая теория твердых тел
11.	Физика конденсированного состояния вещества. Часть VI. Современные проблемы
	Фундаментальные дисциплины профиля (специализации)
1.	Дифракционный структурный анализ, часть I. Основы ДСА
2.	Дифракционный структурный анализ, часть II. Экспериментальные методы
3.	Дифракционный структурный анализ, часть III. Реальные кристаллы и наносистемы
4.	Дифракционный структурный анализ, часть IV. Дополнительные разделы рентгеноструктурного анализа
5.	Дифракционный структурный анализ, часть V. Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей
6.	Ядерно-резонансная спектроскопия конденсированных сред
	Дисциплины магистерской программы
1.	Структурная физика редкоземельных интерметаллидов
2.	Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы
3.	Рентгеновская оптика, часть I. Синхротронные исследования в физике конденсированных сред
4.	Рентгеновская оптика, часть II. Вторичные процессы в рентгеновской оптике

5.	Рентгеновская оптика, часть III. Рентгенооптические методы исследования многослойных структур
6.	Рентгеновская оптика, часть IV. Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия
7.	Рентгеновская фазоконтрастная томография
8.	Микроскопическая теория металлов и сплавов
9.	Рентгеновская спектроскопия в исследованиях конденсированных сред
10.	Рентгеновское излучение в исследовании магнитных материалов
11.	Резонансная дифракция синхротронного излучения в конденсированных средах
12.	Взаимодействие водорода с металлами
13.	Физика структурированных сред
14.	Структурная физика наноматериалов
15.	Новые функциональные материалы и экспериментальные методы их исследования
16.	Актуальные проблемы структурной физики наночастиц

Учебный план магистерской программы

		Трудоёмкость: общая (з.е.) / аудиторная (часы). Отчётность					
№	Название дисциплины (модуля)	1 семестр, 18 недель	2 семестр, 16 недель	3 семестр, 18 недель	4 семестр, 16 недель	Аудитория	Статус
	Блок общекультурной подготовки						
1	Иностранный язык	2/36, диффер. Зачёт	2/32, экзамен			общий	обязательная
2	Философия				2/32, экзамен	общий	обязательная
	Блок профессиональной подготовки						
1	Специальный физический практикум	6/108, диффер. Зачёт	4/64, диффер. Зачёт			общий	обязательная
2	Современные проблемы физики	4/72, экзамен				общий	обязательная
3	История и методология физики	2/36, экзамен				общий	обязательная
	Вариативная часть (блок подготовки по направлению)						
1	Физика конденсированного состояния вещества, часть I. Кристаллография	2/36, экзамен				специальный	обязательная
2	Физика конденсированного состояния вещества, часть II. Свойства конденсированных веществ	2/36, экзамен				специальный	обязательная
3	Физика конденсированного состояния вещества, часть III. Физика реального кристалла	2/36, экзамен				специальный	обязательная
4	Физика конденсированного состояния вещества, часть IV. Фазовые превращения		2/32, экзамен			специальный	обязательная
5	Физика конденсированного состояния вещества, часть V. Квантовая теория твердых тел		2/32, экзамен			специальный	обязательная
6	Физика конденсированного состояния вещества, часть VI. Современные проблемы			2/36, экзамен		специальный	обязательная
7	Дифракционный структурный анализ, часть I. Основы ДСА	2/36, экзамен				профильный	обязательная

8	Дифракционный структурный анализ, часть II. Экспериментальные методы	2/36, экзамен				профильный	обязательная
9	Дифракционный структурный анализ, часть III. Реальные кристаллы и наносистемы		2/32, экзамен			профильный	обязательная
	По выбору:						
10	Дифракционный структурный анализ, часть IV. Дополнительные разделы РСА		2/32, зачет			профильный	по выбору
11	Дифракционный структурный анализ, часть V. Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей		2/32, зачет			профильный	по выбору
12	Ядерно-резонансная спектроскопия конденсированных сред		2/32, экзамен			профильный	обязательная
	Вариативная часть (блок подготовки по профилю)						
1	Структурная физика редкоземельных интерметаллидов			2/36, экзамен		профильный	обязательная
2	Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы			2/36, экзамен		профильный	обязательная
3	Рентгеновская оптика, часть I. Синхротронные исследования в физике конденсированных сред	2/36, зачет				профильный	обязательная
4	Рентгеновская оптика, часть II. Вторичные процессы в рентгеновской оптике			2/36, экзамен		профильный	обязательная
	По выбору:						
5	Рентгеновская оптика, часть III. Рентгенооптические методы исследования многослойных наноструктур				2/32, зачет	профильный	по выбору
6	Рентгеновская оптика, часть IV. Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия				2/32, зачет	профильный	по выбору
	По выбору:						
7	Рентгеновская фазоконтрастная томография			2/36, зачет		профильный	по выбору
8	Микроскопическая теория металлов и сплавов			2/36, зачет		профильный	по выбору
9	Рентгеновская спектроскопия в исследованиях конденсированных сред			2/36 зачет		профильный	по выбору

10 11	По выбору: Рентгеновское излучение в исследовании магнитных материалов Резонансная дифракция синхротронного излучения в конденсированных средах	2/36, зачет 2/36, зачет				профильный профильный	по выбору по выбору
12 13	По выбору: Взаимодействие водорода с металлами Физика структурированных сред				2/32, экзамен 2/32, экзамен	профильный профильный	по выбору по выбору
14 15 16	По выбору: Структурная физика наноматериалов Новые функциональные материалы и экспериментальные методы их исследования Актуальные проблемы структурной физики наночастиц	2/36, зачет 2/36, зачет 2/36, зачет				профильный профильный профильный	по выбору по выбору по выбору
	Практики и НИР						
1	Научно-исследовательская практика		5/80, зачёт	5/90, экзамен		общий	обязательная
2	Научно-исследовательская работа		5/80, зачёт	5/90, экзамен	10/160, зачёт	общий	обязательная
	Итоговая аттестация						
1	Подготовка и защита магистерской диссертации		5/80	10/180	15/240	общий	обязательная
	ИТОГО ЗА СЕМЕСТР:	**30**	**31**	**30**	**31**		

Курсы вариативной части магистерской программы "Физика конденсированного состояния вещества"

1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ НАПРАВЛЕНИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТИ) "ФИЗИКА"

Описание всех соответствующих дисциплин магистерской программы в соответствии с примером рабочей программы дисциплины ООП (приложение 4).

Рабочая программа дисциплины ООП

Физика конденсированного состояния вещества. Часть 1. Кристаллография

Лектор: д.ф.-м.н., доцент Овчинникова Елена Николаевна (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	обязательный
Аудитория:	специальный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	18 часов
Семинаров:	18 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Физические свойства вещества находятся в непосредственной связи с его внутренним строением. В связи с изучение особенностей строения конденсированных сред занимает одно из основных мест в данном разделе современной физики. В лекционном курсе содержатся базовые знания о видах конденсированных сред, типах их упорядочения, симметрии. В рамках курса студенты познакомятся с классическим описанием симметрии кристаллов на основе точечных и пространственных групп, а также с современным состоянием теории симметрии и ее приложением к изучению апериодических систем.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы описания симметрии кристаллов, уметь оперировать с символикой точечных и пространственных групп, иметь представление о методах описания более сложных объектов (магнитных, модулированных структур, квазикристаллов).
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются частично с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим базисом к дисциплинам: "Физика конденсированных сред», части II-V.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины "Физика конденсированных сред», части II-V.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Киттель Ч.. Введение в физику твердого тела. 4 издание, М. Наука. 1978. 2. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П.. Основы кристаллофизики. Изд-во «Наука», 1975 г. 3. Васильев Д.М.. Физическая кристаллография. Изд-во «Металлургия», М., 1972. 4. Желудев И.С.. Симметрия и ее приложения. Атомиздат, Москва, 1976.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Илюшин А.С., Орешко А.П.. Введение в дифракционный структурный анализ. Из-во Моск. Ун-та, 2008. 2. Илюшин А.С., Овчинникова Е.Н.. Теоретико-групповые методы в дифракционных исследованиях структуры и свойств твердых тел. Изд-во Моск. Ун-та, 1996. 3. Зоркий П.М.. Симметрия молекул и кристаллических структур. Изд-во Моск. Ун-та. 1986.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Steurer W., Deloudi S.. Fascinating quasicrystals.// Acta Cryst., Section A. 2008. V.A64. P.1–11. 2. Petříček V., Fuksa J., Duš M.. Magnetic space and superspace groups, representation analysis: competing or friendly concepts? // Acta Cryst. Section A. 2010. V. A66. P.649-655. 3. Burzlaff H., Zimmermann H. On symmetry classes of crystal structures. // Acta Cryst. Section A. 2009. V.A65. P.456-465. 4. Nespolo M. Does mathematical crystallography still have a role in the XXI century?// Acta Cryst. Section A. 2008. V. A64. P.96-111.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://kftt.phys.msu.ru/personalii/Ovchinnikova
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и колло-

квиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты, темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Симметрия в природе. Конденсированные среды, различные виды упорядочения. Симметрия кристаллов, периодичность. Эмпирические законы кристаллографии. Пространственная решетка. Ячейка Вигнера-Зейтца.	1
Сингонии. Фундаментальный метрический тензор. Элементы точечной симметрии, их обозначение, матричное представление и графическое изображение.	2
Взаимодействие элементов симметрии, теорема Эйлера. Построение точечных групп симметрии. Понятие группы, матричные представления групп. Приводимые и неприводимые представления, элементы теории характеров.	3-4
Трансляционные группы, решетки Бравэ. Элементы симметрии с трансляциями. Взаимодействие точечных элементов симметрии с трансляциями.	5
Построение пространственных групп симметрии. Симморфные и несимморфные группы. Генераторы групп. Правильные системы точек.	6-7
Взаимный векторный базис и обратная решетка. Соответствие между узлами обратной решетки и узловыми плоскостями прямой решетки. Связь симметрии прямого и обратного пространств.	8
Индицирование узлов, направлений и плоскостей кристаллов. Преобразование индексов при замене системы координат. Симметричные эквивалентные комплексы плоскостей и направлений. Простые формы в кристаллах.	9
Пространство Фурье. Обратное пространство – пространство волновых векторов. Зоны Бриллюэна. Фурье-трансформанта элементарной ячейки, структурный фактор. Фурье-трансфор-манта конечного кристалла. Интерференционная функция пространственной решетки.	10
Плотная упаковка одинаковых сфер в пространстве. Типы плотнейших упаковок. Координационные числа , коэффициент упаковки. Координационный многогранник. Полиэдрический метод изображения структур.	11
Структурные типы. Рассмотрение наиболее распространенных структурных типов кристаллов: поваренной соли, алмаза, графита и др.	12
Тензоры в кристаллах. Симметрия скаляров, векторов и тензоров. Связь симметрии кристаллов с симметрией тензоров, описывающих физические свойства. Принципы Неймана и Кюри.	13
Непериодические конденсированные среды. Аморфные твердые тела, модель Бернала. Жидкие кристаллы, позиционное и ориентационное упорядочение.	14
Симметрия относительно обращения времени. Шубниковские группы магнитной симметрии. Расширенная ортогональная группа. Магнитная симметрия скаляров, векторов и тензоров. Группы цветной симметрии и их магнитная интерпретация.	15
Современное состояние теории симметрии конденсированных сред. Симметрия модулированных структур и группы суперсимметрии. Строение фуллеренов и графена. Симметрия квазикристаллов и мозаики Пенроуза.	16

Физика конденсированного состояния вещества. Часть II. Свойства конденсированных веществ

Лектор: к.ф.-м.н., доцент Авдюхина Валентина Михайловна (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	обязательный
Аудитория:	специальный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	18 часов
Семинаров:	18 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

В рамках курса общей физики рассмотрены основы физики конденсированного состояния вещества. Рассмотрены свойства свободного электронного газа и поведение электронов в периодическом потенциале кристаллической решетки, зонная теория металлов, диэлектриков и полупроводников, тепловые, кинетические, термоэлектрические и контактные явления в твердых телах.

Приобретаемые знания и умения	Полученные в рамках данного курса знания, умения и навыки используются при изучении курсов: «Физика конденсированного состояния вещества, часть IV. Фазовые превращения», «Физика конденсированного состояния вещества, часть V. Квантовая теория твердых тел», «Физика конденсированного состояния вещества, часть VI. Современные проблемы», «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов», «Взаимодействие водорода с металлами», «Микроскопическая теория металлов и сплавов».
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим базисом к дисциплинам: «Физика конденсированного состояния вещества, часть IV. Фазовые превращения», «Физика конденсированного состояния вещества, часть V. Квантовая теория твердых тел», «Физика конденсированного состояния вещества, часть VI. Современные проблемы», «Структурная физика редкоземельных

	интерметаллидов», «Взаимодействие водорода с металлами», «Микроскопическая теория металлов и сплавов».
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовые работы, дипломная работа; дисциплины: «Физика конденсированного состояния вещества, часть IV. Фазовые превращения», «Физика конденсированного состояния вещества, часть V. Квантовая теория твердых тел», «Физика конденсированного состояния вещества, часть VI. Современные проблемы», «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов», «Взаимодействие водорода с металлами», «Микроскопическая теория металлов и сплавов».
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Кацнельсон А.А.. Введение в физику твердого тела МГУ, 1984u. 2. Павлов П.В., Хохлов А.Ф., Физика твердого тела, “Высшая школа”, 2000 г. 3. Ашкрофт Н., Мермин Н.. Физика твердого тела. т. 1, 2. М., Мир, 1979 г. 4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М.: Наука, 1978 г.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. В.М. Авдюхина «Введение в физику конденсированных сред», препринт физ.факультета МГУ, 2011 г.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. И. В. Золотухин, И. М. Голев, А. В. Нефедов, А. В. Усков// Графены: методы получения и применение, Перспективные материалы, 2010, №5, 5. 2. Еремеев С.В., Чулков Е.В.// Влияние точечных дефектов на температурную зависимость ширины линии поверхностного электронного состояния на поверхности Au(111), ФТТ, 2009, т. 51, №4, 808.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.sols.phys.msu.ru
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме тестирования с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях.
Фонды оценочных средств	Вопросы к зачёту; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Основные вехи развития физики конденсированного состояния. Наибо-	1-2

лее яркие открытия последних лет: открытие высокотемпературных сверхпроводников, квазикристаллов, фуллеренов и углеродных нанотрубок, твердотельных открытых систем и их немонотонной структурной эволюции, графенов.	
Классификация конденсированных сред. Монокристаллы. Квазикристаллы и несоизмеримые фазы. Монокристаллы с дефектами. Поликристаллы и текстуры. Нанокристаллы. Аморфные твердые тела. Понятие о дальнем и ближнем порядке. Двумерные системы- поверхности и пленки. Жидкости. Жидкие кристаллы. Понятие о полимерах.	3
Геометрические элементы кристалла. Вектор обратной решетки. Прямая и обратная решетка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Зоны Бриллюэна.	4
Термодинамическая устойчивость конденсированной системы. Роль свободной энергии. Внутренняя энергия и энтропия. Основное состояние. Межатомные взаимодействия и энергия связи. Трансформация электронной подсистемы атомов при образовании конденсированной среды (кристалла). Потенциалы притяжения, отталкивания и межатомного взаимодействия. Основные типы межатомной связи: Ван-дер Ваальсова, кулоновская (ионная), металлическая, ковалентная и водородная.	5
Диполь-дипольное взаимодействие и Ван-дер-Ваальсова связь. Энергия притяжения двух дипольных моментов. Потенциал отталкивания. Потенциал Леннарда-Джонса «6-12». Обобщенный потенциал Леннарда–Джонса. Суммирование по решетке (расчет безразмерных сумм). Полная энергия системы. Расчет равновесного межатомного расстояния, удельной энергии и модуля всестороннего сжатия с учетом параметров ε и σ для идеальных газов. Сравнение с экспериментом.	6
Ион-ионные кулоновские взаимодействия, электростатическая энергия и ионная связь. Константа Маделунга и ее вычисление для ряда типов кристаллических решеток. Сравнение рассчитанных и экспериментальных значений удельной полной энергии для ряда ионных кристаллов. Энергия связи и энергия сцепления.	7
Металлы в приближении свободных электронов. Простейшие модели металла. Энергия связи – подходы Эвьена и Эвальда для ее расчета. Константы Маделунга для плотно упакованных систем ГЦК, ОЦК, ГПУ. Электропроводность металлов в модели Друде. Эффект Холла. Электронная теплоемкость. Недостатки теории свободных электронов.	8
Свободный электронный газ Ферми (СЭГФ) в металле. Одномерный и трехмерный случаи. Фермиевские электроны. Энергия, импульс, скорость и температура фермиевских электронов. Функция Ферми-Дирака. Теплоемкость электронного газа. Электропроводность в представлении СЭГФ. Энергия связи в модели СЭГФ.	9
Взаимодействие электронного газа с периодическим полем (основы зонной теории). Теорема Блоха, ее доказательство. Свойства квазиимпульса и квазиволнового вектора электрона. Представление о квазичастицах. Зоны Бриллюэна и их построение. Схема представления данных в k-пространстве. Закон дисперсии и волновые функции электронов. Разрешенные и запрещенные состояния. Классификация твердых тел по энергетическому спектру. Зонная структура металлов, диэлектриков и полупроводников.	10-11
Природа носителей тока в полупроводниках. Плотность состояний. Функция Ферми. Собственные полупроводники. Примесные полупро-	12

водники. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в полупроводниках. Электропроводность полупроводников.	
Магнитные свойства твердых тел. Классификация твердых тел по их магнитным свойствам. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Закон Кюри-Вейсса. Спиново-обменное взаимодействие.	13
Динамика кристаллической решетки. Гармоническое приближение. Колебания атомов в одномерной моно- и двухатомной цепочке. Граничные условия. Дисперсионные кривые. Акустические и оптические колебания. Спектр колебаний атомов.	14-15
Теплоемкость кристаллов. Закон Дюлонга и Пти. Поведение теплоемкости при низких температурах. Принципы квантовой теории теплоемкости. Приближения Эйнштейна и Дебая. Ангармонизм и тепловое расширение.	16
Дефекты кристаллической решетки. Точечные дефекты- вакансии и межузельные атомы. Дислокации. Вектор Бюргерса. Краевые и винтовые дислокации. Дефекты упаковки. Границы зерен и поверхности.	17
Упругие свойства кристаллов. Тензоры напряжений и деформации. Обобщенный закон Гука. Уравнение движения и энергия деформированного тела. Упругие волны в кристаллах. Детерминант Кристоффеля. Соотношения Коши. Устойчивость кристаллической решетки.	18

Физика конденсированного состояния вещества. Часть III. Физика реального кристалла

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Хунджуа Андрей Георгиевич
(кафедра физики твёрдого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Специальный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетен-	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

В лекционном курсе содержатся базовые знания о принципах строения реальных конденсированных систем. В рамках курса студенты познакомятся с принципами строения основных объектов исследования физики конденсированного состояния (жидкости, стекла, аморфы, жидкие кристаллы, кристаллы), взаимосвязи кристаллической и дефектной структуры и физических свойств конденсированных систем, термодинамики и статистики многокомпонентных систем, основными типами диаграмм равновесных состояний, методами их построения, классификацией фазовых переходов.

ции:

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы взаимосвязи структуры и свойств конденсированного состояния вещества; разбираться в диаграммах состояний двухкомпонентных систем.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является частью IV дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества», читается одновременно с частью II «Свойства конденсированных веществ» и необходим для освоения части IV «Фазовые превращения»
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины «Взаимодействие водорода с металлами», «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов» «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы».
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Жданов Г.С., Хунджуа А.Г. Лекции по физике твердого тела. М.: Изд. Моск. ун-та. 1989. 2. Уманский Я.С., Скаков Ю.Д. Физика металлов М.: Атомиздат 1978. (имеется в библиотеке в должном количестве). Шульце Г. Металлофизика М. Мир. 1971. 1. Вест А. Химия твердого тела. 2т. М.: Мир. 1988.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: в 3 т. Под общ. ред. Н.П. Лякишева.- М.: Машиностроение. 1999-2000.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов;

вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Принципы строения конденсированных систем: жидкости, стекла, аморфы, жидкие кристаллы, кристаллы, наносистемы.	1-2
Особенности дефектной структуры кристаллов (точечные дефекты, дислокации, дефекты упаковки, двойники, границы блоков, зерен и внешняя поверхность кристалла.	3-4
Структура твёрдых растворов замещения и внедрения.	5
Термодинамика структурных фазовых превращений в конденсированном состоянии: метод термодинамических потенциалов, классификация фазовых переходов, симметрия и фазовые переходы.	5-7
Диаграммы состояний бинарных систем: непрерывный ряд твердых растворов, эвтектика, перитектика, купол распада.	8-9
Тройные диаграммы состояний.	10
Физико-химический анализ – основа построения диаграмм состояний. Метастабильные фазы.	11
Статистический расчет бинарных систем: энергия связи, энтропия смешения, концентрационная зависимость потенциала Гиббса.	12-13
Вывод основных типов диаграмм состояний бинарных систем методами геометрической термодинамики. Правило общих касательных. Температурная зависимость растворимости.	14-15
Упорядочение атомно-кристаллической структуры.	16

Физика конденсированного состояния вещества. Часть IV. Фазовые превращения

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Хунджуа Андрей Георгиевич (кафедра физики твёрдого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Специальный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	2
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	14 часов
Семинаров:	14 часов
Практ. занятий:	8 часов

Аннотация курса

Целью курса «Фазовые превращения» является изучение физических основ современного металловедения и физики металлов, взаимосвязи структуры и свойств металлических сплавов, возможностей создания материалов с прогнозируемыми свойствами и изменения свойств сплавов в результате фазовых превращений в твердом состоянии. В курсе в качестве примеров рассмотрены фазовые превращения в таких широко применяемых в современной технике материалах, как углеродистая сталь, латунь, бронза, сплавы на основе титана и циркония, сплавы с эффектами памяти формы.

Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции	М-ПК-2, М-ПК-4

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать классификацию и основные типы фазовых превращений в твёрдом состоянии.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является частью IV дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества» и необходим для освоения спецкурсов «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов» «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы».
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины «Взаимодействие водорода с металлами», «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов», «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы».
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Уманский Я.С., Скаков Ю.Д. Физика металлов М.: Атомиздат 1978. 2. Жданов Г.С., Хунджуа А.Г. Лекции по физике твердого тела. М.: Изд. Моск. ун-та. 1989. 3. Изюмов Ю.А., Сыромятников В.Н. Фазовые переходы и симметрия кристаллов. М.: Наука. 1984. 246 с.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.

Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Межатомные взаимодействие. Типы химической связи. Насыщенные и ненасыщенные связи. Ионная связь. Ковалентная связь в молекулах и кристаллах. Координационная связь. Металлическая связь. Водородная связь.	1
Металлы в периодической системе элементов. Кристаллическая структура металлов. Полиморфизм и аллотропия. Интерметаллические соединения.	2
Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Равновесные и метастабильные твердые растворы. Распад твердых растворов как закономерный термодинамический процесс.	3-4
Диффузия в металлах. Законы Фика. Решения уравнений диффузии для простых моделей. Эффект Киркендала. Реактивная и восходящая диффузия.	5
Основные закономерности распада твердых растворов. Гетерогенное и гомогенное зарождение. Зоны Гинье – Престона. Дисперсионное твердение. Непрерывный и прерывистый механизмы распада. Рост и коалесценция частиц. Вторичная квазипериодическая структура. Спинодальный распад.	6-8
Упругие свойства кристаллов. Два типа неустойчивости *ОЦК* решеток. Упругие аномалии Анизотропное отношение. Предмартенситные эффекты. Диффузное рассеяние. Промежуточные структуры сдвига. Мартенситное превращение.	9
Основные закономерности мартенситных превращений. Термодинамика мартенситных превращений. Механизм мартенситных превращений. Деформация с инвариантной плоскостью. Сдвиг. Массивные превращения.	10
Аллотропное $\beta \rightarrow \alpha$ превращение в кобальте. Дефекты упаковки. Упорядочение дефектов упаковки. Формирование длиннопериодических структур в твердых растворах *d*-переходных металлов в кобальте. Влияние углерода на упорядочение дефектов упаковки.	11
Электронные фазы Юм-Розери. Кристаллическая структура. Теория Джонс. Структурные превращения в сплавах на основе золота, серебра и меди. Диаграммы состояний систем *Cu - Al* , *Cu - Sn* и *Cu - Zn*. Бронза и латунь.	12
Твердые растворы на основе титана и циркония. α - и β - стабилизаторы. Метастабильные α'-, α''-, ω - фазы и закономерности их формирования. Неустойчивость ОЦК решетки и механизм формирования атермической ω - фазы. Упорядоченная ω - фаза.	13
Аллотропные превращения в железе. $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение в железе и сплаве *Fe-Ni*. Диаграммы состояний систем *Fe-Ti, Fe-V, Fe-Cr, Fe-Mn,*	14

Fe-Ni, Fe-Co. σ - фаза. Углеродистая сталь как пример твердого раствора внедрения. Диаграмма состояний системы *Fe - C*. Феррит и цементит. Перлитное превращение. Видманштеттова структура. Мартенситное превращения в стали. Отпуск стали (распад мартенсита).	

Физика конденсированного состояния вещества. Часть V. Квантовая теория твердых тел

Лекторы: к.ф.-м.н., ст. преп. Бажанов Дмитрий Игоревич
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Специальный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	2
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

В рамках данного курса даются основные идеи и современные представления квантовой теории твердого тела, как одной из важнейших составляющих современной квантовой теории. Целью изучения данной дисциплины является ознакомление обучающихся с содержанием основных квантовых представлений и современного математического аппарата квантовой механики, используемых для описания электронных и магнитных явлений различного класса твердых тел (металлы, полупроводники и др.) и твердотельных наноструктур (кластеры, пленки и др.), а также изложение элементарных представлений об использовании этих явлений в современных областях науки и техники.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основы электронного строения твердых тел с точки зрения квантовой механики и, опираясь на основные физические законы, уметь поставить теоретическую задачу и определить параметры необходимые для её решения. На конкретных примерах из практики обучающийся должен приобрести навыки проведения квантовомеханических расчетов электронных и магнитных свойств твердых тел на основе современных методов теоретического описания, закладывая основу более углубленного изучения в рамках дальнейшей специализации.
Образовательные технологии	Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Курс имеет ряд презентаций в электронном виде.
Логическая и содержательно-	Курс является составной частью блока “Физика конденсированного состояния вещества” и направлен для разви-

методическая взаимосвязь с другими частями ООП	тия навыков и умений, приобретенных обучающимся в процессе изучения фундаментальных дисциплин в рамках своей специализации.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая и дипломная работа.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. А.А. Кацнельсон. Электронная теория конденсированных сред. 2. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Москва, 1979. т.1,2. 3. Д. Зейман. Принципы теории твердого тела. 1987. 4. А.А. Абрикосов. Основы теории металлов. 1989. 5. Лифшиц, Азбель, Каганов. Электронная теория металлов. 1971. 6. М.И. Каганов, В.В. Ржевский. Введение в квантовую теорию твердого тела. М.: МГУ, 1987. 7. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. М.: Наука, 1989. 8. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория упругости. М.: Наука, 1987. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1992.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. L. Kantorovich. Quantum Theory of the Solid State: An Introduction. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 2004. 2. J. Kohanoff. Electronic structure calculations for solids and molecules: theory and computational methods. Cambridge. 2006. H. Ibach, H. Lüth. Solid-state physics: an introduction to principles of materials science. Springer, Germany. 2003.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Мутигулин И.В., Бажанов Д.И., “Исследование ab inito кластеризации углеродных адатомов на поверхностях (001) и (111).” // ЖЭТФ, т.137, с.87 (2010). 2. Цысарь К.М., Бажанов Д.И., Салецкий А.М. и др., “Влияние примесных атомов и молекул водорода на атомную структуру палладиевых наноконтактов.” // Физика твердого тела, т.52, с.593 (2010). 3. K.M. Smelova, D.I. Bazhanov, V. S. Stepanyuk, W. Hergert, A.M. Saletsky, P. Bruno, “Interplay between magnetism and structure in Pd atomic-size contacts: *ab initio* studies”// Phys. Rev. B **77**, 033408 (2008). 4. D.I. Bazhanov, A.A. Knizhnik, A.A. Safonov, A.A. Bagatur'yants, M.W. Stoker, A.A. Korkin, “Structure and electronic properties of zirconium and hafnium nitrides and oxynitrides” // Journal of Appl. Physics 97, 044108 (2005).
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	

Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 и 16 неделях в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для самостоятельной проработки; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросы к экзамену; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Типы твердых тел. Квантовая теория твердого тела применение нерелятивистской квантовой механики. Феноменология и микроскопика.	1
Модель ДЛЗ (Друде-Лоренца-Зоммерфельда). Закон Ома, частотная дисперсия проводимости.	2
Обратное пространство. Первая зона Бриллюэна. Квазиимпульс. Условие Блоха. Свободная частица и квазичастица.	3
Зонная структура электронов энергетического спектра. Изоэнергетические поверхности, их структура. Эффективная масса электронов (различные определения).	4
Плотность электронных состояний (зависимость от размерности). Особенности Ван-Хова.	5
Поверхности Ферми. Их классификация. Функция Ферми-Дирака и ее свойства (химпотенциал, энергия Ферми).	6
Критерий металла и диэлектрика. Полуметаллы и полупроводники.	7
Химпотенциал полупроводников при низких температурах.	8
Зоммерфельдовские интегралы. Разложение по степеням температуры. Критерий вырождения.	9-10
Парамагнитизм Паули.	11
Оператор координаты в p-представлении (p-квазиимпульс). Движение электрона в постоянном и однородном электрическом и магнитном поле.	12
Квантование движения электрона в постоянном и однородном магнитном поле (условие Лившица-Онсагера). Плотность состояний в магнитном поле.	13-14
Гальваномагнитные явления в сильных полях (замкнутые поверхности Ферми). Закон Ома.	15
Уравнение Больцмана в магнитном поле.	16
Теплоемкость электронного газа. «Неэффективность» электронов.	17
Колебания кристаллической решетки (фононы). Закон Гука. Температура Дебая. Фононная теплоемкость твердого тела. Коротковолновые колебания сложных решеток. Акустические и оптические колебания.	18

Физика конденсированного состояния вещества. Часть VI. Современные проблемы

Лекторы: д.ф.-м.н., профессор Илюшин Александр Сергеевич,
к.ф.-м.н., ст. преп. Бажанов Дмитрий Игоревич,
к.ф.-м.н., с.н.с. Прудников Илья Рудольфович,
к.ф.-м.н., с.н.с. Якута Екатерина Валерьевна
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Специальный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	3
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	18 часов
Семинаров:	18 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”. Целью изучения данной дисциплины является ознакомление обучающихся с современными проблемами физики конденсированного состояния вещества на примерах получения и применения новых веществ с особыми физическими свойствами. В курсе рассматриваются вопрос истории формирования науки о конденсированных средах, об основных современных направлениях исследовательских работ в этой области и о достижениях в ряде конкретных направлений физики конденсированных сред.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные проблемы, стоящие перед исследователями, работающими в области создания и изучения новых классов веществ с особыми физическими свойствами. На конкретных примерах обучающийся должен ознакомиться с разнообразными превращениями, происходящими в этих материалах и с современными методами их изучения.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим и экспериментальным базисом для развития навыков и умений, приобретенных обучающимся в процессе изучения фундаментальных дисциплин “Физика конденсированного состояния вещества” и “Дифракционный структурный анализ”.
Дисциплины и практики, для которых освоение	Специальный физический практикум, научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая и дипломная работа, дисциплины бло-

данного курса необходимо как предшествующего	ков “Дифракционный структурный анализ” и “Физика конденсированного состояния вещества”.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Илюшин А.С., Прудников И.Р. Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества. Введение в рентгеновскую дифракционную оптику сверхрешеток. Учебное пособие. Издание третье.– М.: Физический факультет МГУ, 2010. – 40 с. 2. Илюшин А.С., Прудников И.Р. Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества. Фотонные кристаллы. Успехи и достижения современных нанотехнологий. Учебное пособие. Издание второе. – М.: Физический факультет МГУ, 2009. – 47 с. 3. А.С. Илюшин, Е.В. Якута. Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества. Основы физики полимеров. Учебное пособие. Издание четвертое. – М.: Физический факультет МГУ, 2010. – 58 стр. 4. А.С. Илюшин. Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества. Избранные главы. М.: Физический факультет МГУ, 2011. – 52 с.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. L.M. Falikov. March 1986: Open Problems in Condenced Matter Physics. // Physics Scripta. Vol. 13., 17-21, 1986. 2. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований. Пер. с англ. М.: Мир. 2002. 3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит., 2005. 4. Рит М. Наноконструирование в науке и технике. Пер. с англ. Москва, Ижевск. 2005. 5. Золотухин И.В., Калинин Ю.Е., Стогней О.В. Новые направления физического материаловедения. Воронеж. 2000. 6. Лифшиц И.М. Избранные труды. Электронная теория металлов. Полимеры и биополимеры. – М.: Наука, 1994. – 442 с.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Абрамчук С.С., Гришин Д.А., Крамаренко Е.Ю., Степанов Г.В., Хохлов А.Р. Влияние однородного магнитного поля на механическое поведение мягких магнитных эластомеров при сжатии. // Высокомолекулярные соединения, Серия А, 2006, Т. 48, №1, с.1-9. 2. Гусейнов М.М., Илюшин А.С., Якута Е.В. Фазовое расслоение в многокомпонентных системах (динамический подход). // Сб. трудов международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», 22-23 ноября 2010 г., Махачкала. 3. Мутигулин И.В., Бажанов Д.И. Исследование ab inito кластеризации углеродных адатомов на поверхностях (001) и (111). ЖЭТФ, т.137, с.87 (2010). 4. Цысарь К.М., Бажанов Д.И., Салецкий А.М. и др. Влияние примесных атомов и молекул водорода на атомную структуру палладиевых наноконтактов. // Физика твердого тела, т.52, с.593 (2010).

Программное обеспечение и ресурсы в интернете	
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для самостоятельной проработки; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросы к экзамену; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Введение. Формирование науки о конденсированных средах. Роль отечественных ученых.	1
Основные направления исследований в современной физике конеднсированного состояния вещества.	2
Основы современных теоретических методов изучения особенностей образования и роста и формирования магнитных свойств в низкоразмерных структурах (кластерах и пленках) на металлических и молекулярных подложках.	3-4
Квантовые электронные свойства металлических наноконтактов и нанопроводов.	5
Металлы и их гидриды как способ фильтрации и хранения водорода с целью создания топливных элементов.	6
Рентгеновская дифракционная оптика сверхрешеток. Полупроводниковая сверхрешетка. Ультразвуковая сверхрешетка. Дифракция рентгеновских лучей в сверхрешетках и методы ее описания.	7-8
Фотонные кристаллы и модели их строения. Структура электромагнитного поля внутри фотонного кристалла.	9-10
Нелинейная оптика фотонных кристаллов.	11
Технологии изготовления и использование фотонных кристаллов. Использование технологий нанофотоники для создания многоядерных портативных суперкомпьютеров.	12
Основы физики полимеров. Агрегатные состояния полимерных веществ и основные модели полимерных цепей.	13
Физика высокоэластичности.	14
Цепь с исключенным объемом. Полимерная цепь в хорошем и плохом растворителе. Переход клубок-глобула. Коллапс полимерных сеток.	15-16
Полиэлектролиты. Конденсация противоионов. Полиэлектролиты в плохом растворителе. Самоорганизация в ион-содержащих полимерных системах.	17
Фазовое расслоение в полимерных системах. Спинодальный распад в бинарный и тернарных полимерных смесях.	18

2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПРОФИЛЯ (СПЕЦИАЛИЗАЦИИ)

Описание всех соответствующих дисциплин магистерской программы в соответствии с примером рабочей программы дисциплины ООП (приложение 4).

Дифракционный структурный анализ. Часть I. Основы ДСА

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Илюшин Александр Сергеевич
к.ф.-м.н., доцент Орешко Алексей Павлович
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	18 часов
Семинаров:	18 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”. Без данных, полученных на основании наблюдения дифракционных картин, создаваемых рентгеновскими лучами, не существовало бы стройного знания о строении кристаллов, молекул и полимеров из атомов. В курсе дано последовательное изложении основ теории дифракционного структурного анализа с помощью математического аппарата фурье-преобразований, что позволяет в наиболее компактной и изящной форме охватить все направления дифракционного структурного анализа. Необходимость дифракционного структурного анализа особенно возросла в последнее время с появлением новых высокоинтенсивных источников излучения (синхротронов) и приходом нанотехнологий и биотехнологий, которые реально позволяют конструировать и создавать материалы с заданными уникальными физическими и химическими свойствами.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основы теории и основные методы дифракционного структурного анализа; уметь проводить и интерпретировать результаты эксперимента.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим базисом к специальному физическому практикуму и дисциплинам блока “Дифракционный структурный анализ”.
Дисциплины и	Специальный физический практикум, научно-

практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины блоков “Дифракционный структурный анализ” и “Рентгеновская оптика”.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Илюшин А.С., Орешко А.П. Введение в дифракционный структурный анализ. М., 2008.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Жданов Г.С, Илюшин А.С., Никитина С.В. Дифракционный и резонансный структурный анализ. М.: Наука, 1980. 2. Порай-Кошиц М.Л. Основы структурного анализа химических соединений. М.: Высшая школа, 1989.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.sols.phys.msu.ru
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий в специальном физическом практикуме; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросы к экзамену; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Введение. Проблема “Состав-структура-свойства твердых тел”. Дифракционный анализ – единственный метод определения атомной структуры вещества. Создание дифракционного структурного анализа (ДСА). Роль отечественных ученых в становлении и развитии ДСА.	1
Природа рентгеновских лучей. Тормозное и характеристическое излучение. Поглощение, дисперсия, преломление и эффект полного внешнего отражения рентгеновских лучей.	2
Макроскопические характеристики кристаллов. Пространственная и обратная решетки.	3
Приближение кинематической теории дифракции. Геометрия дифракционной картины рассеяния кристаллом. Условия Лауэ, сфера Эвальда (отражения), закон Вульфа-Брэгга и отклонения от закона Вульфа-Брэгга. Способы получения дифракционной картины.	4
Основная задача дифракционного структурного анализа. ДСА как пре-	5, 6

образование Фурье. Атомная и структурная амплитуда. Лауэвская сумма. Протяженность и форма узлов обратной решетки конечного кристалла. Фурье-трансформанты сложных решеток Бравэ. Интенсивность спектра дифракционной решетки. Двойная лауэвская сумма. Интерференционная функция и ее отображение в обратном пространстве. Главные максимумы и диффузный фон. Индексы интерференции. Наложение обратного и волнового пространств.	
Характеристика излучений, используемых в ДСА. Рентгеновское излучение, медленные и быстрые нейтроны и электроны. Атомная амплитуда рассеяния, длина и поперечное сечение рассеяния.	7, 8
Интенсивность рассеяния регулярными и искаженными совокупностями атомов. Основная формула дифракционного структурного анализа. Множитель Лорентца. Множитель поглощения. Эффективный объем. Интенсивность рассеяния поликристаллом. Множитель повторяемости. Первичная и вторичная экстинкции. Поправки для учета экстинкции. Фактор Дебая-Валлера.	9-11
Методы дифракционного структурного анализа. Классификация экспериментальных методов.	12, 13
Синхротронное излучение и его применение для структурных исследований конденсированных сред.	14
Аппаратура для дифракционных структурных исследований.	15, 16
Применения дифракционного структурного анализа.	17, 18

Дифракционный структурный анализ. Часть II. Экспериментальные методы структурного анализа

Лектор: к.ф.-м.н., доцент Зубенко Василий Васильевич
к.ф.-м.н., старший преподаватель Телегина Инна Васильевна
к.ф.-м.н., с.н.с. Киселева Татьяна Юрьевна
к.ф.-м.н., с.н.с. Смехова Алевтина Геннадиевна
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	Экзамен
Начальные	

Аннотация курса

Данный курс посвящен изучению постановки экспериментов для исследования особенностей структуры вещества, определяющих конкретную специфику влияния структуры на свойства твердых тел. Рассмотрены возможности экспериментальных методов рентгеноструктурного анализа и рентгеновской оптики при использовании тормозного и характеристического, расходящегося, сфокусированного, монохроматического, специфически коллимированного пучков для выявления особенностей как локального, так и малообъемного упорядоченного структурного формирования. Так же рассматриваются современные методы компьютерной обработки сложных дифракционных данных.

компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы и методы экспериментальных рентгеноструктурных исследований реальных кристаллов и уметь применять эти методы на практике.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Часть лекций читается с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является базисом для специального физического практикума и знакомит студентов с современными методиками получения и обработки рентгендифракционных данных.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Специальный физический практикум, научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Зубенко В.В.Экспериментальные методы рентгеноструктурного анализа. М.: МГУ, 1992 2. Зубенко В.В. Телегина И.В. Введение в структурную физику конденсированных сред. Часть 1. М.:физический факультет МГУ, 2004 3. Зубенко В.В. Телегина И.В. Введение в структурную физику конденсированных сред. Часть 2. М.:физический факультет МГУ, 2007
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Описания 24 специальных лабораторных работ **,** издво МГУ, физический факультет 2. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н Рентгенографический и электроннооптический анализ**.** М.: МИСИС, 2002 3. Рентгенография. Спецпрактикум //Под редакцией А.А.Кацнельсона. М.: МГУ, 1986
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.automationlabs.ru
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования

оценки – уровень знаний пройденной части курса.
Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.

Фонды оценочных средств — Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Типовые задачи исследования структуры моно-, поли-, мелкокристаллического и аморфного вещества. Особенности формирования многофазных состояний. Текстурированные, одно и двумерные кристаллы.	1-2
Рассеяние рентгеновского излучения электроном, атомом (учет эффектов связи и радиационных потерь), совокупностью атомов элементарной ячейки (погасания), некогерентное рассеяние, выход Оже-электронов. Поглощение рентгеновского излучения и фильтры.	3-4
Интенсивность дифракционных максимумов в кинематическом приближении**:** факторы Лауэ, Лоренца, поляризационный, геометрический, структурный, температурный, повторяемости. Учет поглощения.	5-6
Параметры дифрактограммы, отражающие особенности структуры исследуемого вещества: дублетное расщепление линий, фон анизотропное распределение интенсивности рефлекса. Малоугловое рассеяние. Эффект полного внешнего отражения.	7 – 8
Особенности экспериметальных рентгеноструктурных методов**:** фазовый анализ, определение симметрии и параметров решетки, типа атомной структуры и ее степени упорядочения поли- и монокристаллов. Особенности определений структуры мелко-, квазикристаллических и аморфизованных структур и эпитаксиальных слоев. Компьютерное построение модельных форм структуры.	9 – 11
Определение особенностей кристаллической структуры методами полнопрофильного анализа. Современные программы для полнопрофильного анализа дифракционной картины и характер извлекаемой структурной информации.	12 – 13
Синхротронное излучение: способы получения, основные характеристики и принципиальное отличие его параметров от излучения рентгеновской трубки. Новые возможности и особенности структурных исследований**:** элементная селективность, магнитные отражения и исследование экстремально малых объемов вещества.	14 – 15
Изучение нарушений кристаллической структуры (дислокации, скопление дислокаций, микротрещины, граничные области между фрагментами, локальные напряжения и деформации) методами рентгеновской топографии.	16

Дифракционный структурный анализ. Часть III. Реальные кристаллы и наносистемы

Лектор: к.ф.-м.н., доцент Орешко Алексей Павлович
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	2
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часова
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”. Основная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными наперед заданными уникальными свойствами, получила значительное развитие с приходом нанотехнологий и биотехнологий, которые реально позволяют конструировать и создавать такие материалы. Однако эта задача не может быть решена без развития методов изучения реальной структуры кристаллов, так как физические свойства кристаллов зависят не только от состава и структуры, но и от наличия дефектов. Определение числа, типа и характера распределения дефектов может быть достигнуто дифракционными методами.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основы теории дифракционного структурного анализа реальных кристаллов; уметь проводить расчет дифракционной картины на различных моделях дефектного кристалла и твердого тела в аморфном состоянии.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим базисом к задачам специального физического практикума и дисциплинам блока “Дифракционный структурный анализ”.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Специальный физический практикум, научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины блоков “Дифракционный структурный анализ” и “Рентгеновская оптика”.
Основные учеб-	1. Илюшин А.С., Орешко А.П. Введение в дифракцион-

ные пособия, обеспечивающие курс	ный структурный анализ. М., 2008. 2. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ, 1978.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Жданов Г.С, Илюшин А.С., Никитина С.В. Дифракционный и резонансный структурный анализ. М.: Наука, 1980. 2. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.sols.phys.msu.ru
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий в специальном физическом практикуме; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросы к экзамену; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Введение. Условия применимости кинематической теории рассеяния рентгеновских лучей. Разделение полного рассеяния на структурные максимумы и диффузный фон. Усреднение по положению дефектов в образце.	1
Экспериментальные особенности измерения диффузного рассеяния.	2
Картина рассеяния на твердых растворах с дальним порядком.	3
Картина рассеяния на сплавах с ближним порядком и ближним расслоением.	4
Влияние тепловых колебаний на картину рассеяния рентгеновских лучей. Фактор Дебая-Валлера.	5, 6
Тепловой диффузный фон.	7
Картина рассеяния на кристалле с выделениями.	8
Картина рассеяния для деформированного поликристаллического образца. Определение областей когерентного рассеяния.	9
Дифрактометрия порошков и анализ полученных данных.	10
Классификация дефектов по Кривоглазу. Дефекты I и II класса.	11, 12
Малоугловое рассеяние. Определение среднего размера рассеивающих	13,

частиц.	14
Рассеяние рентгеновских лучей аморфной средой.	15
Проблемы структурной физики наносистем, решаемые с помощью дифракционных методов.	16

Дифракционный структурный анализ. Часть IV. Дополнительные разделы рентгеноструктурного анализа

Лектор: к.ф.-м.н., доцент Авдхина Валентина Михайловна
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	2
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	10 часов
Семинаров:	
Практ. занятий:	22 часа
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Целью курса является ознакомление студентов с расчетами картины рассеяния рентгеновских лучей кристаллами и сплавами при различной геометрии съемки. Будут представлены данные о получении достоверной информации из рентгеновских дифракционных спектров о типе кристаллической ячейки, пространственной группе, параметрах элементарной ячейки, координатах атомов в кристаллической решетке, рентгеновской дебаевской температуре и т.д. Будут рассмотрены методы компьтерной обработки рентгеновских дифракционных спектров (отделение фона, разделение перекрывающихся максимумов, определение интегральной интенсивности и т.д.).

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы сбора рентгендифракционных данных и уметь использовать основные современные методы для их компьютерной обработки.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции и практические занятия ведутся с использованием компьютеров.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Данный курс дает студентам навыки практической работы с экспериментальными рентгендифракционными данными и знакомит их с основными характеристиками исследуемых веществ, которые могут быть получены из рентгеновского эксперимента.
Дисциплины и практики, для ко-	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины:

торых освоение данного курса необходимо как предшествующего	«Структурная физика редкоземельных интерметаллидов», «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы», «Взаимодействие водорода с металлами».
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Рентгенография. Спецпрактикум //Под редакцией А.А.Кацнельсона, из-во МГУ, 1986г. 2. А.С. Илюшин, А.П. Орешко // Ввведение в дифракционный структурный анализ, МГУ физфак, 2008г. 3. Г.С.Жднов, А.С. Илюшин, С.В. Никитина //Дифракционный и резонасный структурный анализ, М., Наука, 1980г. 4. Князев Б.А., Черкасский В.С. //Начала обработки экспериментальных данных, Новосибирск, 1996г. 5. Обработка экспериментальных данных с использованием компьютера //Под ред. С. Минами. Пер. с японского Ю.Н. Чернышова, М.: Радио и связь, 1999 г.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. В.И. Иверонова, Г.П. Ревкевич //Теория рассеяния рентгеновских лучей, М.МГУ, 1978г. 2. М.А. Кривоглаз //Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов, М. Наука, 1967г.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Фофанов А.Д., Лобов Д.В., Логинов Д.В. //Диагностика порошковых материалов методами рентгенографии. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Естественные и технические науки. Петрозаводск, 2010, № 4, с.109 2. Алешина Л.А., Фофанов А.Д., Осауленко Р.Н., Луговская Л.А.. //Анализ диффузного фона на рентгенограмме фуллерита C_{60}. Кристаллография, 2005, т.50, №3, с. 436.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://www.originlab.ru http://fityk.nieto.pl
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме тестирования с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях и практических занятиях.
Фонды оценочных средств	Вопросы к зачёту; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Атомная амплитуда рассеяния атома как функция угла дифракции; учет дисперсионных поправок. Структурная амплитуда рассеяния рентгеновских лучей элементарной ячейкой. Структурный фактор кристалла.	1
Расчет структурного фактора для ОЦК, ГЦК, ГПУ – решеток. Возникновение закономерных погасаний. Расчет структурного фактора для сложных решеток (NaCl, KCl, решетка типа алмаза, сфалерита, Fe_3Al и т.д.). Весовая функция структурной амплитуды («F^2» –тело); построение	2-3

«F^2» –тела в обратном пространстве для ряда кристаллических структур.	
Определение типа и основных элементов симметрии кристаллической решетки по погасаниям. Расчет структурного фактора кристалла при наличии винтовой и поворотной осей n-порядка. Расчет структурного фактора кристалла при наличии плоскостей скольжения, идущих: по диагонали, со сдвигом ½ и ¼.	4
Пространственные группы кристаллов. Нахождение пространственных групп ряда кристаллов по базису. Определение координат атомов элементарной ячейки по рентгеновским данным. Символы развертывания позиции.	5-6
Фактор поглощения. Расчет фактора поглощения для различных условий съемки дифракционной картины (случай Лауэ, случай Бормана, случай фокусировки по Бреггу-Брентано – съемка на рентгеновском дифрактометре). Расчет коэффициента поглощения смеси порошков компонент сплава при указанной плотности трамбовки образца и при сплавлении.	7
Тепловой фактор. Функция Дебая. Расчет характеристической рентгеновской температуры, амплитуды тепловых колебаний атомов, скорости распространения упругих волн по рентгеновским данным.	8
Понятие фильтра рентгеновского излучения. Подбор фильтра рентгеновского излучения по соотношения интенсивности α и β- линий. Подбор толщин фильтров. Интегральная интенсивность и ее анализ. Анализ точности рентгеновских данных.	9
Основы метода апроксимации интегральных ширин дифракционных максимумов. Сглаживание по Савицкому-Галаю. Выбор количества точек сглаживания. Разложение рентгеновских спектров на составляющие. Расчет ошибок. Понятие о невязке. Критерий разложения спектра на составляющие.	10
Использование программы «Origin» для обработки рентгеновских дифракционных спектров.	11-12
Основы вейвлет - анализа. Использование метода вейвлет-сглаживания рентгенографических данных для уменьшения неоднозначность решения обратной задачи о разложении профилей дифракционных максимумов на составляющие простой формы.	13
Метод полнопрофильного анализа рентгенограмм поликристаллов для уточнения структурных характеристик исследуемых объектов. Проблема описания формы пика, ее зависимость от геометрических условий съёмки и физических особенностей материала.	14
Использование программы «Fityk» для обработки рентгеновских дифракционных спектров. Визуализация данных, разделение перекрывающихся пиков. Анализ точности.	15-16

Дифракционный структурный анализ. Часть V. Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Бушуев Владимир Алексеевич (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	2
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

В курсе проведено последовательное изложение динамической теории рассеяния рентгеновских лучей с длиной волны порядка 0.1 нм, которая лежит в основе целого ряда дифракционных и рефлектометрических методов исследования структуры тончайших приповерхностных слоев материалов современной твердотельной микро- и наноэлектроники. В настоящее время любая микроэлектронная схема представляет собой специальным образом созданную полупроводниковую структуру в приповерхностном слое совершенного кристалла кремния. В связи с необходимостью диагностики с нанометровым разрешением рентгеновские методы занимают одно из основных мест в современной нанофизике и наноэлектроники. В лекционном курсе содержатся базовые знания о принципах построения теории дифракции в совершенных и реальных кристаллах. В рамках курса студенты познакомятся с современными методами рентгеновской диагностики структурного совершенства материалов твердотельной микро- и наноэлектроники.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы построения динамической теории взаимодействия рентгеновского излучения с идеальными и реальными кристаллами, уметь использовать полученные знания для расчета характеристик различных рентгенооптических элементов на лабораторных источниках и источниках синхротронного излучения.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции частично читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим базисом к дисциплинам: "Вторичные процессы в рентгеновской оптике", "Синхротронные исследования в физике твердого тела", "Дифракционный структурный анализ" и "Рентгенооптические методы исследования мультислоев и наносистем".
Дисциплины и практики, для ко-	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины:

торых освоение данного курса необходимо как предшествующего	"Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия", "Рентгеновская фазоконтрастная томография", "Рентгенооптические методы исследования мультислоев и наносистем".
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ. 1978. 2. Пинскер З.Г. Рентгеновская кристаллооптика. М.: Наука. 1982. 3. Колпаков А.В. Динамическая дифракция рентгеновских лучей. М.: МГУ. 1989.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. Учебное пособие. М.: МГУ. 1990. 2. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях скользящей дифракции. Учебное пособие. М.: МГУ. 2002. 3. Бушуев В.А., Кютт Р.Н., Хапачев Ю.П. Физические принципы рентгенодифрактометрического определения параметров реальной структуры многослойных эпитаксиальных пленок. Монография, КБГУ, Нальчик, 1996. 4. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Препринт физфака МГУ, Москва, 2005.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Bushuev V.A., Diffraction of X-ray free-electron laser femtosecond pulses on single crystals in the Bragg and Laue geometry. // J. Synchrotron Rad. 2008. V. 15. N 5. P. 495-505. 2. Бушуев В.А., Изменение функции пространственной когерентности при брэгговском отражении рентгеновского пучка. // Известия РАН. Сер. физическая. 2009. Т. 73. № 1. С. 56-60..
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://www.esrf.fr/computing/computing/xop http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/TBS/SciSoft http://sergey.gmca.aps.anl.gov/
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Критерии применимости кинематического и динамического приближений. Основные положения и понятия теории взаимодействия рентгеновских лучей с кристаллами. Классификация процессов взаимодействия по признакам когерентности и упругости.	1
Микроскопические уравнения Максвелла. Материальное уравнение. Рентгеновская поляризуемость кристалла. Основное уравнение динамической теории дифракции.	2-3
Теория Эвальда-Лауэ и современная динамическая теория. Понятие дисперсионной поверхности. Динамическая теория Дарвина и метод рекуррентных соотношений.	4-5
Двухволновая динамическая дифракция в геометрии Брэгга. Условия непрерывности полей и волновых векторов на поверхности кристалла. Брэгговская аккомодация. Комплексный коэффициент отражения от конечного и полубесконечного поглощающего кристалла. Первичная экстинкция, глубина экстинкции.	6
Кривая дифракционного отражения (КДО). Зависимость КДО от толщины кристалла. Интегральная интенсивность отражения. Структура поля внутри кристалла. Метод стоячих рентгеновских волн. Поток энергии в кристалле. Явление аномально глубокого проникновения рентгеновских лучей в схеме Брэгга. Отражение от бикристалла. Рекуррентные соотношения нового типа.	7
Дифракция в кристалле с произвольным профилем деформации. Уравнения Такаги для медленно меняющихся амплитуд в деформированных кристаллах с дефектами структуры. Особенности рассеяния от наноразмерных структур. Влияние на дифракцию квантовых ям, нитей и точек.	8
Зеркальное отражение рентгеновских лучей. Явление полного внешнего отражения. Рентгеновская оптика на основе многослойных периодических структур. Зеркальное отражение в условиях скользящей дифракции.	9
Двухволновая дифракция в схеме Лауэ. Комплексные коэффициенты отражения и прохождения. Маятниковое решение. Длина экстинкции. Структура поля и потоков энергии в кристалле.	10
Влияние поглощения и толщины кристалла на отражение и прохождение. Явление аномального прохождения (эффект Бормана). Интегральные интенсивности в случае Лауэ. Рентгеновская топография и интерферометрия.	11-12
Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в кристаллах с дефектами структуры. Дифракция в кристаллах с нарушенным поверхностным слоем. Зависимость КДО от профилей деформации. Типы дефектов в кристаллах и их влияние на дифракцию (точечные дефекты, кластеры, дислокации, дислокационные петли).	13
Элементы теории Кривоглаза. Статистическое усреднение уравнений Такаги. Когерентная и некогерентная (диффузная) компоненты. Корреляционная функция и корреляционная длина в кристаллах с дефектами, статический фактор Дебая-Валлера, коэффициент диффузного поглощения.	14
Динамические эффекты в диффузном рассеянии. Особенности проявления дефектной структуры кристаллов при двух- и трехкристальной схе-	15

мах регистрации.	
Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия в исследовании кристаллов с нарушенным приповерхностным слоем. Методы сканирования обратного пространства. Асимптотическая брэгговская дифракция.	16

Ядерно-резонансная спектроскопия конденсированных сред

Лекторы: д.ф.м.н., проф. Кузьмин Рунар Николаевич
д.ф.-м.н., гл.н.с. Новакова Алла Андреевна
д.ф.-м.н., в.н.с. Андреева Марина Алексеевна
к.ф.-м.н., с.н.с. Киселева Татьяна Юрьевна
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	2
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	20 часов
Семинаров:	12 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	Зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Мессбауэровская спектроскопия является важнейшим методом исследования для решения различных задач в физике, химии, биологии, нанофизике, геологии и т.д. Метод позволяет оценить магнитные и валентные состояния мессбауэровских изотопов в различных соединениях по соответствующим мессбауэровским параметрам, что дает возможность проводить количественный фазовый анализ для очень сложных объектов, таких как наноструктуры, нанокомпозиты и т.д. Кроме того характеристики локального окружения резонансных ядер позволяют оценить степень упорядоченности их структур. Лекционный курс знакомит с основами метода, его экспериментальными методиками (источники мессбауэровского излучения, геометрия эксперимента, регистрация мессбауэровских спектров с помощью конверсионных электронов и рентгена). В курсе дается дает представление о современных методах обработки мессбауэровских спектров и рассматриваются конкретные примеры исследований различных структур. Рассматривается также новая модификация метода мессбауэровской спектроскопии, реализуемая на синхротронном излучении. Объясняются особенности регистрации ядерно-резонансного рассеяния на синхротронах по времени распада возбужденных состояний и приводятся задачи, для решения которых использование синхротронного излучения является эффективным.

Приобретаемые знания и умения В результате освоения дисциплины обучающийся должен освоить основы метода мессбауэровской спектроскопии, научиться получать значения сверхтонких полей, изомерных сдвигов и квадрупольного расщепления из экспериментальных спектров в простейших случаях, а также понять смысл измеряемых параметров.

Образовательные Лекции читаются с использованием современных мульти-

технологии	медийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим базисом к дисциплинам: «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов», «Структурная физика наноматериалов», «Новые функциональные материалы и методы их экспериментального исследования», «Рентгенооптические методы исследования многослойных наноструктур
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины "Структурная физика наноматериалов", «Новые функциональные материалы и методы их экспериментального исследования», "Рентгенооптические методы исследования многослойных наноструктур".
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. В.С.Шпинель, Резонанс гамма-лучей в кристаллах. Изд-во «Наука»,1969 2. Химические применения мёссбауэровской спектроскопии. Пер. с англ. под ред. В.И. Гольданского. Изд-во «Мир», 1970. 3. С.М.Иркаев, Р.Н.Кузьмин, А.А.Опаленко. Ядерный гамма-резонанс, М.: Изд-во Московского университета, 1970. 4. А.А.Новакова, Р.Н.Кузьмин Мессбауэровская конверсионная спектроскопия и ее применения. М. Наука, 1989. 5. М.А. Андреева, Р.Н. Кузьмин, Мессбауэровская гамма-оптика, М.: Изд-во Московского университета, 1982.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. А.А. Новакова, Т.Ю. Киселева, Мёссбауэровский практикум. Методы мёссбауэровской спектроскопии в физике твердого тела, Изд-во Физ.факультета МГУ, 2003. 2. Т.Ю.Киселева, А.А.Новакова Методика высокотемпературной мессбауэровской спектроскопии для исследования неравновесных металлических систем, 1998, Препринт физич. №18\1998 ф-та МГУ. 3. А.А.Новакова, Т.Ю.Киселева Определение форм гемоглобина в эритроцитах крови методом мессбауэровской спектроскопии» Задача спецпрактикума М. Изд-во физич. ф-та МГУ, 2010. 4. М.А.Андреева, Е.Н. Овчинникова, Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 3. Ядерно-резонансные (мессбауэровские) эксперименты на синхротронах. Препринт физфака МГУ, 2010. 5. М.А. Андреева, В.А. Бушуев, Е.Н. Овчинникова, А.П. Орешко, И.П. Прудников, А.Г. Смехова, Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Препринт физфака МГУ, Москва, 2005.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Novakova A.A. et.al. Formation of encapsulated iron nanoparticles during mechanical activation and annealing analyzed by Mossbauer spectroscopy // Hyperfine Interactions, V.189, P.105-110, 2009 2. Novakova A.A. et al Magnetic anisotropy in Fe3O4-PVA nanocomposites as result of Fe3O4-nanoparticles chains formation. (Fe57 CEMS study) //J. Magn.Magn.Mater. V.300,

Issue 1, P.354-358, 2006
3. Kiseleva T.Yu. et al. Iron-based amorphous magnetic phase formation in the course of Fe and Fe2O3 mechanical activation . Mossbauer study //Solid State Phenomena, V.152-153, P. 25-28 , (2009)
4. Andreeva M.A., et al., Nuclear resonant reflectivity with standing waves for the investigation of a thin ^{57}Fe layer buried inside a superconducting Si/[Mo/Si]$_{45}$/^{57}Fe/Nb multilayer, Nuclear Instruments and Methods in Phys. Res. B 266, P.187–196, 2008.
5. Андреева М.А., и др., Магнитное упорядочение в ОЦК [Fe/Co]$_{35}$ пленке, исследованное методом ядерно-резонансной рефлектометрии // ЖЭТФ, 131 (4), с.652-661, 2007.

Программное обеспечение и ресурсы в интернете

http://www.esrf.fr/computing/scientific/REFTIM /MAIN.htm

Контроль успеваемости

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.

Фонды оценочных средств

Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Эффект Мессбауэра. Наиболее распространенные мессбауэровские изотопы и характеристики резонансных переходов в них, энергии мессбауэровских переходов, схемы распада изотопов, времена жизни, естественные ширины линий, спины состояний, мультипольность перехода. Методика проведения мессбауэровского эксперимента. Мессбауэровский спектрометр и способы регистрации спектра. Величина эффекта и эффективная толщина образца. Качество спектра и оптимизация эксперимента. Форма резонансной линии.	1
Динамические свойства мессбауэровских ядер. Вероятность эффекта и колебательный спектр ядра. Температурный сдвиг мессбауэровской линии и колебательный спектр ядра. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии.	2
Сверхтонкие взаимодействия и параметры мессбауэровского спектра. Изомерный (химический) сдвиг и электронная конфигурация. Электрическое квадрупольное взаимодействие. Градиент электрического поля. Механизмы формирования неоднородного электрического поля в обла-	3

сти расположения ядра. Эффекты экранирования. Характерные значения величин изомерного сдвига и квадрупольного расщепления для соединений железа.	
Магнитное сверхтонкое взаимодействие. Магнитные моменты ядра и эффективное магнитное поле. G-факторы основного и возбужденного состояний ядра. Механизмы формирования эффективного магнитного поля в области расположения ядра. Температурная зависимость сверхтонкого поля. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие. Интенсивности гамма-переходов между основными и возбужденными состояниями ядра. Примеры характерных значений в различных соединениях железа.	4-5
Особенности мессбауэровских спектров аморфного состояния и наноструктурного состояния. Влияние степени упорядочения на параметры мессбауэровского спектра. Мессбауэровские спектры высокодисперсных веществ. Влияние размера частиц на сверхтонкие параметры спектра. Суперпарамагнитная релаксация.	6
Количественный фазовый анализ методом мессбауэровской спектроскопии. Исследование многокомпонентных систем. Высокотемпературная мессбауэровская спектроскопия “in situ” для анализа структурных и магнитных превращений.	7
Регистрация ядерно-резонансного поглощения по выходу рентгеновского излучения и конверсионных электронов. Конверсионно-электронная мессбауэровская спектроскопия как метод неразрушающего послойного анализа вещества. Примеры исследований, селективных по глубине.	8
Практическое занятие: Методы аналитической обработки и моделирования мессбауэровских спектров	9
Станции ядерно-резонансного рассеяния на синхротронах. Временная шкала исследования ядерного резонансного рассеяния. Квантовые биения как способ изучения сверхтонких взаимодействий. Сравнение мессбауэровской спектроскопии (энергетические спектры) и ядерно-резонансного рассеяния (временные спектры).	10
Угловые зависимости ядерно-резонансного рассеяния и поляризационные характеристики сверхтонких переходов.	11
Ядерно-резонансное рассеяние вперед. Динамические биения на временных спектрах когерентного рассеяния. Примеры исследований объектов в экстремальных условиях: при сверхвысоких давлениях, сверхнизких и сверхвысоких температурах, вблизи температур фазовых переходов, в сверхсильных полях.	12
Ядерно-резонансая рефлектометрия. Интегральные по времени задержки угловые спектры. «Интерференционный пик» вблизи критического угла полного внешнего отражения. «Магнитные» брэгговские максимумы. Ядерно-резонансная магнитометрия. Исследование профилей сверхтонких взаимодействий на ядрах по глубине пленки.	13-14
Исследования некогерентного ядерно-резонансного рассеяния и фононных спектров с помощью ядерно-резонансной методики.	15
Практическое занятие: Моделирование спектров ядерно-резонансного отражения с помощью программы REFTIM.	16

3. ДИСЦИПЛИНЫ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ

Описание всех соответствующих дисциплин магистерской программы в соответствии с примером рабочей программы дисциплины ООП (приложение 4).

Структурная физика редкоземельных интерметаллидов

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Илюшин Александр Сергеевич (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	3
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”. Среди современных магнитных материалов важное место занимают редкоземельные магнетики: редкоземельные металлы, сплавы и интерметаллиды. Широкий спектр разнообразных магнитных явлений, проявляющийся в этом классе магнетиков, демонстрирует фундаментальные явления, позволяющие понять характер возникающих магнитных структур, магнитных фазовых переходов, природу разнообразных магнитных взаимодействий и т.п. Вместе с тем, данные об этих явлениях представляют значительный прикладной интерес с точки зрения создания новых магнитных материалов с заданным комплексом физико-химических свойств. Целью изучения данной дисциплины является ознакомление обучающихся с базовыми физическими принципами формирования магнитны- свойств в новом классе магнитных веществ, а на их примере – и с разнообразными структурными и магнитными фазовыми превращениями.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные физические принципы формирования специальных физических свойств в новом классе магнитных веществ – в редкоземельных интерметаллидах и сплавах на их основе. На конкретных примерах обучающийся должен ознакомиться с разнообразными структурными и магнитными превращениями, происходящими в этих материалах и с современными методами их изучения.
Образовательные технологии	Лекции частично читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-	Курс является теоретическим и экспериментальным базисом для развития навыков и умений, приобретенных обу-

методическая взаимосвязь с другими частями ООП	чающимся в процессе изучения фундаментальных дисциплин “Физика конденсированного состояния вещества” и “Дифракционный структурный анализ”.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Специальный физический практикум, научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая и дипломная работа, дисциплины блоков “Дифракционный структурный анализ” и “Физика конденсированного состояния вещества”.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Илюшин А.С. Структурная физика редкоземельных интерметаллических соединений. М.: МГУ, физический факультет, 2011.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Жданов Г.С., Илюшин А.С., Никитина С.В. Дифракционный и резонансный структурный анализ. М.: Наука, 1980. 2. Белов К.П. Редкоземельные магнетики и их применения. М.: Наука, 1980. 3. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. М.: Наука, 1987. 4. Белов К.П. Магнитотепловые явления в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1990. 5. Партэ Э. Некоторые главы структурной неорганической химии. М.:Мир. 1993.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. А.С. Илюшин, З.С. Умхаева, А.И. Фиров, А.В. Цвященко, И.А. Никанорова. Структурные превращения в сплавах квазибинарной системы $Yb(Fe_{1-x}Al_x)_2$, синтезированных при высоких давлениях. // Перспективные материалы. Специальный выпуск (6), часть 1, декабрь 2008. Стр. 170-172. 2. А.С. Илюшин, В.С. Русаков, И.А. Никанорова и др. Структура и и сверхтонкие взаимодействия ядер ^{57}Fe в редкоземельных интерметаллидах $Yb_{1-x}Y_xFe_2$, синтезированных при высоких давлениях. // Перспективные материалы. Специальный выпуск (6), часть 1, декабрь 2008. Стр. 408-413. 3. A.S. Ilyushin. Structure and physical properties of high pressure phases in rare earth intermetallic systems R $(Fe_{1-x}M_x)_2$ and $R'_{1-x}R''_xFe_2$. // Journal of Guangdong non-ferrous metals, v.15, № 2,3, 2005, p.74-81.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.sols.phys.msu.ru
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям.

Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для самостоятельной проработки; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросы к экзамену; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Введение. Роль интерметаллидов в науке и технике и формирование физико-химических представлений об интерметаллидах. Физико-химический анализ Курнакова.	1
Редкоземельные интерметаллиды – отдельный класс интерметаллических соединений. Типичные диаграммы фазового равновесия бинарных систем. Классификация структурных типов интерметаллидов и их взаимосвязь.	2
Основы теории структурных и магнитных фазовых переходов в редкоземельных фазах Лавеса и методы расчета наиболее важных их магнитных характеристик.	3, 4
Дифракционные методы изучения структурных переходах в редкоземельных интерметаллидах.	5
Структурные фазовые переходы в редкоземельных фазах Лавеса C14, C15 и в многокомпонентных сплавах на их основе.	6-8
Спиновые переориентации в бинарных системах на основе редкоземельных фаз Лавеса C15.	9
Принципы формирования веществ с оптимальными магнитострикционными свойствами.	10, 11
Фазы высокого давления в редкоземельных фазах Лавеса и методы их получения.	12-14
Структурные фазовые превращения в редкоземельных интерметаллидах стехиометрий типа RM_5, R_2M_{17}, R_3M.	15
Аппаратура для дифракционных структурных и мёссбауэровских исследований редкоземельных интерметаллидов в обычных и особых условиях.	16

Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Хунджуа Андрей Георгиевич
(кафедра физики твёрдого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	3
Трудоёмкость:	2 з.е.

Аннотация курса

Целью курса «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы» является изучение механизмов неупругой деформации и физических основ современного металловедения в применении к материалам с особыми свойствами сверхупругости и эффектов памяти формы. В качестве примеров рассмотрены термоупругие мартенситные превращения в таких широко применяемых в современной технике материалах, как никелид титана, латунь, бронза, сплавы на основе марганца и

Лекций:	14 часов	другие сплавы с эффектами памяти формы.
Семинаров:	14 часов	
Практ. занятий:	8 часов	
Отчётность:	экзамен	
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6Т	
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-3, М-ПК-4	

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать механизмы неупругой деформации металлов, закономерности мартенситных превращений и условия реализации сверхупругости и эффектов памяти формы.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является продолжением дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества и необходим для освоения проблем современного материалаведения.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины «Взаимодействие водорода с металлами», «Структурная физика редкоземельных интерметаллидов», «Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы».
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	4. Хунджуа А.Г. Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы. М.: Изд. Моск. ун-та. 1991. 5. Хунджуа А.Г. Матричный метод описания кристаллических структур и его применение к анализу и моделированию картин дифракции электронов и рентгеновских лучей // М.: физический факультет МГУ. 2010.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Лободюк В.А., Эстрин Э.И. Мартенситные превращения.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 2. Shape memory materials. Ed. K. Otsuka, C.M. Wayman. Cambridge, Cambridge University Press, 1999. 3. Кокорин В.В. Мартенситные превращения в неоднородных твердых растворах. Киев: Наук. Думка, 1987. 4. Сплавы никелида титана с памятью формы / Под ред. В.Г. Пушина. Ч. 1. структура, фазовые превращения и свойства. Екатеринбург: УрО РАН, 2006.
Основные науч-	

ные статьи, обеспечивающие курс	
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.sols.phys.msu.ru
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 7 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Неупругая деформация металлических сплавов. Сверхупругость. Эффекты памяти формы. Мартенситное превращение как механизм деформации в сплавах с памятью.	1
Мартенситные превращения. Основные закономерности. Термодинамика мартенситных превращений. Термоупругие и нетермоупругие превращения. Термоупругий эффект. Характеристические точки. Гистерезис превращений. Обратное превращение. Упругие модули.	2-3
Механизм мартенситных превращений. Деформация с инвариантной плоскостью. Сдвиг. Микроскопическое и макроскопическое формоизменение. Двойникование.	4
Кристаллография мартенситных превращений. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Преобразование базиса. Фундаментальный метрический тензор. Обратный базис. Задание прямых и плоскостей. Период идентичности и межплоскостное расстояние.	2
Ориентационное соотношение. Матрица соответствия. Кристаллографическая эквивалентность и операторы симметрии. Построение точечных дифракционных картин двухфазных объектов.	3-4
Механизм двойникования. Двойникование как зеркальное отражение и как поворот. Матрица двойникования. Собственные векторы и собственные значения матрицы двойникования и операторов симметрии. Исследование двойникования дифракционными методами. Двойникование кристаллов мартенсита.	5-6
Мартенситные превращения в *B2*-соединениях на основе титана.	7
Два типа мартенситных превращений в никелиде титана. Легирование никелида титана. Распад твердых растворов на основе никелида титана. Изменения характеристик мартенситных превращений при выделении Ti_3Ni_4 и при расслоении твердого раствора.	8-9
Мартенситные превращения в β - фазах Юм-Розери в сплавах на основе	10-11

золота, серебра и меди. Диаграммы состояний систем *Cu - Al* и *Cu - Zn*. Многоступенчатая сверхупругость. Мартенсит -мартенситные превращения.	
Антиферромагнитное превращение в сплавах на основе γ *-Mn*. Влияние упорядочения на мартенситные превращение в сплавах *Mn – Ga*, *Mn –Fe*.	12
Мартенситные превращения и эффект памяти формы в неоднородных твердых растворах.	13-14

Рентгеновская оптика. Часть I. Синхротронные исследования в физике конденсированных сред

Лектор: д.ф.-м.н., доцент Овчинникова Елена Николаевна
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	18 часов
Семинаров:	14 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Синхротронное излучения является мощным инструментом исследования структуры и свойств конденсированных сред. Спецкурс знакомит студентов с новейшими методами исследования, развивающимися в последние годы в центрах синхротронного излучения. В лекционном курсе содержатся базовые знания об устройстве синхротронов, свойствах синхротронного излучения, а также особенностях взаимодействия синхротронного излучения с веществом. Студенты должны освоить, какие физические данные о структуре и свойствах твердых тел и наносистем можно изучать на синхротронах и какие свойства синхротронного излучения обеспечивают реализацию исследований в требуемых спектральных и угловых диапазонах.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы получения синхротронного излучения, иметь представление о его свойствах и новейших методах использования для исследования структуры и свойств конденсированных сред.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-	Курс является частью 2 блока «Рентгеновская оптика»

методическая взаимосвязь с другими частями ООП	
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины «Рентгеновская оптика», части 3-4.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Е.Н.Овчинникова, М.А.Андреева. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 1. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2007. 2. Е.Н.Овчинникова, В.Е.Дмитриенко, М.А.Андреева. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 2. Изучение запрещенных отражений – новый метод исследования структуры и свойств кристаллов. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2009. 3. М.А.Андреева, Е.Н.Овчинникова. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 3. Ядерно-резонансные («мёссбауэровские») эксперименты на синхротронах. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2010.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. И.М.Тернов, В.В.Михайлин, В.Р.Халилов. Синхротронное излучение и его применения. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1985. 2. Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М., Физматлит, 2007. 3.Р.В.Ведринский, И.И.Гегузин. Рентгеновские спектры поглощения твердых тел. М.: Энергоатомиздат, 1991.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.sols.phys.msu.ru
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты, темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Современные синхротроны как источники мощного рентгеновского излучения. Принципы устройства синхротрона.	1
Основные свойства синхротронного излучения: высокая яркость, направленность, поляризация, импульсный характер. Параметры, характеризующие синхротроны третьего поколения. Лазеры на свободных электронах.	2
Особенности взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Гамильтониан взаимодействия рентгеновского излучения с веществом с учетом спина. Уравнение Паули. Амплитуда рассеяния рентгеновского излучения. Магнитный нерезонансный вклад в рассеяние рентгеновского излучения.	3-4
Амплитуда резонансного рассеяния рентгеновского излучения. Края поглощения. Коэффициент поглощения, его зависимость от энергии. Дисперсионные поправки к атомному фактору.	5
Дальняя тонкая структура спектров поглощения рентгеновского излучения (EXAFS)– метод исследования ближнего порядка. Метод DAFS (дифракционная аномальная тонкая структура).	6
Метод MAD (многоволновая аномальная дифракция) и решение фазовой проблемы рентгеноструктурного анализа. Ближняя тонкая структура и ее физическая интерпретация.	7
Явления линейного и кругового дихроизма в спектрах поглощения рентгеновского излучения. Круговой дихроизм в магнитных системах. Правила сумм.	8
Естественный кругового дихроизм спектров поглощения и его экспериментальное подтверждение. Физические причины естественного кругового дихроизма в рентгеновской области частот.	9
Магнитокиральный дихроизм в системах, обладающих магнитоэлектрическим эффектом. Эксперименты, подтверждающие наличие магнитокирального дихроизма в Cr_2O_3 . Физические причины, приводящие в появлению магнитокирального дихроизма.	10
Анизотропные добавки к атомному фактору. Определение числа независимых компонент тензоров атомного и структурного факторов в дипольдипольном приближении. Учет вкладов высших порядков.	11
«Запрещенные» рефлексы в резонансной дифракции рентгеновского излучения. Экспериментальные результаты исследований «запрещенных» рефлексов в различных кристаллах.	12
Расчет тензорных структурных факторов для кристаллов для «запрещенных» отражений в кристаллах пирита и рутила.	13
Влияние атомных смещений на тензорный рассеивающий фактор. Термоиндуцированные «запрещенные» рефлексы и их аномальная температурная зависимость.	14
Резонансная дифракции СИ в электрически упорядоченных системах. Возможности метода для исследования орбитального упорядочения. «Запрещенные» рефлексы, обусловленные киральностью локального окружения атомов.	15
Резонансное рассеяние рентгеновского излучения в магнитных кристаллах. Магнитные “запрещенные” рефлексы. Примеры исследования магнитных структур с помощью резонансного рассеяния СИ: гольмий, ге-	16

матит, V_2O_3 и др.	
Использование методов EXAFS и XANES для исследования структуры наносистем. Экспериментальные методы, использующие геометрию скользящего отражения: GISAXS и GIXAFS. Результаты исследований для квантовых точек германия в кремнии.	17
Неупругие каналы рассеяния рентгеновского излучения. Электронный микроскоп в пучке синхротронного излучения. Временные измерения. Дифракционное «кино».	18

Рентгеновская оптика. Часть II. Вторичные процессы в рентгеновской оптике

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Бушуев Владимир Алексеевич (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	Обязательный
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	3
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	18 часов
Семинаров:	18 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

В связи с переходом к субмикронным и нанометровым толщинам приповерхностных слоев в современной твердотельной электронике необходимо развитие новых методов диагностики кристаллической структуры таких слоев. Рентгеновская дифрактометрия с регистрацией отраженного сигнала не обладает такими возможностями, так как несет информацию о структуре кристалла в слоях с толщиной порядка глубины экстинкции (1-3 мкм). В то же время глубина выхода фотоэлектронов, возбуждаемых рентгеновскими лучами, составляет 10-100 нм, что является основой нового метода стоячих рентгеновских волн. В курсе проведено изложение современного состояния метода стоячих рентгеновских волн, который основан на регистрации угловой зависимости выхода вторичных процессов (фотоэлектроны, флуоресценция) в условиях динамической дифракции рентгеновского излучения и является наиболее информативным для диагностики субмикронных и нанометровых приповерхностных слоев материалов современной нано- и микроэлектроники.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы рентгеновской диагностики субмикронных слоев полупроводниковых материалов методом стоячих рентгеновских волн по данным регистрации различных вторичных процессов в условиях динаической дифракции.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции частично читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного обору-

	дования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим базисом к дисциплинам: “Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей”, "Рентгенооптические методы исследования мультислоев и наносистем", "Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия", "Синхротронные исследования в физике твердого тела".
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины "Рентгенооптические методы исследования мультислоев и наносистем", "Синхротронные исследования в физике твердого тела", "Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия".
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. М.: МГУ. 1990. 2. Афанасьев А.М., Александров П.А., Имамов Р.М. Рентгеновская диагностика субмикронных слоев. М.: Наука. 1989. 3. Бушуев В.А., Кютт Р.Н., Хапачев Ю.П. Физические принципы рентгенодифрактометрического определения параметров реальной структуры многослойных эпитаксиальных пленок. Монография, КБГУ, Нальчик, 1996.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ. 1978. 2. Суворов Э.В. Физические основы современных методов исследования реальной структуры кристаллов. Черноголовка, филиал МГУ. 1999.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Bushuev V.A., Diffraction of X-ray free-electron laser femtosecond pulses on single crystals in the Bragg and Laue geometry. // J. Synchrotron Rad. 2008. V. 15. N 5. P. 495-505.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://www.esrf.fr/computing/computing/xop http://sergey.gmca.aps.anl.gov/
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Основные представления о вторичных процессах. Фотоэлектронная эмиссия, рентгеновская флуоресценция, комптоновское, плазмонное, комбинационное и тепловое диффузное рассеяние, электронная конверсия. Физические особенности возбуждения и регистрации вторичных процессов. Получаемая с их помощью информация о строении и структуре вещества.	1
Краткие сведения об основных результатах динамическое теории дифракции. Поляризуемость кристалла. Динамическая дифракция. Случаи Брэгга и Лауэ. Амплитуда и фаза отражения. Первичная экстинкция. Распределение поля в кристалле. Стоячая рентгеновская волна. Дифракция в кристаллах с нарушенным поверхностным слоем.	2-3
Классификация вторичных процессов по признакам упругости и когерентности. Уравнения Максвелла с распределенными источниками. Особенности вторичных процессов в совершенных монокристаллах и в кристаллах с тонким нарушенным приповерхностным слоем.	4-5
Угловая зависимость выхода вторичных процессов. Функция выхода. Проблема экстинкции и пути ее решения. Когерентная фракция и когерентная позиция.	6
Внешний рентгеновский фотоэффект как метод исследования структуры субмикронных приповерхностных слоев полупроводниковых материалов. Основные требования к экспериментальной технике. Фотоэффект в аморфизованных, ионно-имплантированных и эпитаксиальных структурах.	7
Фотоэлектронная эмиссия в условиях скользящей Лауэ-дифракции. Функция вероятности выхода фотоэлектронов и селективный по глубине анализ приповерхностных слоев. Метод двухканальной регистрации.	8
Вторичные процессы в условиях полного внешнего отражения рентгеновских лучей.	9
Вторичные процессы с большой глубиной выхода (флуоресценция, неупругое рассеяние).	10
Исследования структуры отдельных монослоев и локализация примесей. Внутренний фотоэффект.	11-12
Когерентный комптон-эффект как метод анализа электронной структуры кристаллов. Электронная матрица плотности.	13
Особенности вторичных процессов в условиях резко асимметричной брэгговской и лауэвской дифракции. Влияние непрямых процессов возбуждения на угловые зависимости вторичных процессов.	14
Особенности метода стоячих рентгеновских волн в многослойных структурах. Послойный неразрушающий анализ. Приложения для исследования магнитных слоев и пленок с резонансными мессбауэровскими ядрами.	15
Вторичные процессы в мозаичных кристаллах. Модель Дарвина. Вторичная экстинкция. Однородные уравнения Захариазена и неоднородные уравнения переноса интенсивностей с распределенными источниками.	16

Рентгеновская оптика. Часть III. Рентгенооптические методы исследования многослойных наноструктур

Лектор: д.ф.-м.н., в.н.с. Андреева Марина Алексеевна
(кафедра физики твердого тела тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	4
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Многослойные наноструктуры играют важную роль в современной физике и нанотехнологии. Рентгеновская рефлектометрия является обязательным методом их аттестации, а в сочетании с измерениями вторичных излучений (фотоэлектронов, флуоресценции), спектров отражения вблизи краев поглощения, некомпланарной дифракции, карт диффузного рассеяния метод позволяет проводить детальный анализ структуры и свойств многослойных пленок. В лекционном курсе содержится обзор основных эффектов, наблюдаемых для рентгеновского излучения в геометрии отражения, и приводятся примеры их использовании для исследования пленок и многослойных структур. Курс дает базовые знания по теории рентгеновской рефлектометрии. В рамках курса студенты получают начальные навыки обработки рефлектометрических кривых.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить общее представление о возможностях метода рентгеновской рефлектометрии, понять основные законы отражения и преломления рентгеновского излучения, освоить алгоритмы обработки и интерпретации данных рентгеновской рефлектометрии для характеристики структуры и свойств многослойных структур.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации отдельных разделов. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является составной частью блока «Рентгеновская оптика».
Дисциплины и практики, для ко-	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины

торых освоение данного курса необходимо как предшествующего	"Структурная физика наноматериалов", "Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия".
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. «Мессбауэровская и рентгеновская оптика поверхности» М., Издание Общенациональной академии знаний, 1996. 2. Бушуев В.А., Орешко А.П. «Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях скользящей дифракции», Физфак МГУ, 2002.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Борн М., Вольф Э. «Основы оптики», Изд-во «Наука», 1973. 2. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Препринт физфака МГУ, Москва, 2005. 3. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. «Теория рассеяния рентгеновских лучей», Изд-во Моск. ун-та, 1978.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Андреева М.А., и др., Магнитное упорядочение в ОЦК $[Fe/Co]_{35}$ пленке, исследованное методом ядерно-резонансной рефлектометрии // ЖЭТФ, 131 (4), с.652-661, 2007. 2. Андреева М.А., Смехова А.Г. Рентгеновская магнитооптика на синхротронном излучении, Изв. РАН, сер. физическая, 72, No.5, с. 693–696, 2008. 3. Andreeva, M.A., et al., Nuclear resonant reflectivity with standing waves for the investigation of a thin ^{57}Fe layer buried inside a superconducting $Si/[Mo/Si]_{45}/^{57}Fe/Nb$ multilayer, Nuclear Instruments and Methods in Phys. Res. B 266, P.187–196, 2008. 4. Андреева М.А., и др., Флуоресцентный анализ мультислойной структуры Zr(10 нм)/[Fe(1.6 нм)/Cr(1.7 нм)]$_{26}$/Cr(50 нм)/стекло в скользящей геометрии, Поверхность, рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования, т. 7, с. 60–65, 2008. 5. М.А. Андреева, и др. Локализация ультратонкого слоя Fe внутри многослойной структуры Nb/Fe/[Mo/Si]*40/стекло методом стоячих рентгеновских волн, Вестник МУ, сер.3, физика, астрономия, № 4, с.76-79, 2009.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://kftt.phys.msu.ru/personalii/Andreeva/XRMR.zip http://kftt.phys.msu.ru/index.php?page=_Odintsova
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.

Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Применения ультратонких многослойных пленок в микроэлектронике и спинтронике, магнитооптике, рентгеновской оптике, микросенсорике и других устройствах нанотехнологии. Нобелевская премия Альберта Ферта и Питера Грюнберга 2007 года за эффект гиганского магнитосопротивления в Fe/Cr мультислоях. Общий обзор методов исследования нанослоев.	1-2
Эффект зеркального отражения рентгеновского излучения. Диэлектрическая проницаемость в рентгеновском диапазоне длин волн. Формулы Френеля и Паррата. Развитие метода рентгеновской рефлектометрии для исследования многослойных структур. Определение толщин слоев, шероховатостей и профилей распределения электронной плотности в структуре.	3-4
Периодические многослойные структуры. Кинематический предел в теории отражения. Отражение от ультратонкого слоя и от полубесконечной периодической среды. 1/4-волновые пленки и рентгеновские волноводы. Стоячие рентгеновские волны. Использование флуоресцентного излучения для получения профиля распределения атомов по глубине структуры.	5-6
Практическая работа по расшифровке модельных спектров зеркального отражения. Знакомство с пакетами программ XOP и FLUO.	7-8
Эффекты вблизи краев поглощения. Спектры поглощения (EXAFS, XANES) и отражения. Зависимость отражения от магнитных свойств многослойных структур. Исследования наведенных магнитных моментов немагнитных атомов в магнитных слоях.	9
Учет магнитных добавок в тензоре диэлектрической поницаемости для рентгеновского излучения вблизи краев поглощения. Общая теория отражения от слоисто-анизотропных сред. Метод собственных волн и метод матриц распространения. Примеры решения задачи об отражении для простейших структур.	10-11
Диффузное рассеяние в скользящей геометрии. Пик Ионеды. ω-сканирование. Двумерные карты рассеяния. Длины корреляции латеральных неоднородностей. Метод возмущенных блоховских волн для описания рассеяния в условиях зеркального отражения. Метод PSD-функции.	12-13
Дифракция в скользящей геометрии. Исследования перестройки сверхчистых поверхностей и изменений кристаллической структуры вблизи поверхности.	14-15
Начала динамической и кинематической теории дифракции в скользящей геометрии. Связь угла выхода излучения с углом дифракции в динамическом случае. Динамическое двупреломление. Сужение дифракционных максимумов в кинематическом случае.	16-17

Рефлектометрия поляризованных нейтронов. Отражение с переворотом спинов. Теория отражения нейтронов по аналогии с теорией отражения рентгеновского излучения. Примеры исследования магнитных многослойных структур.	18

Рентгеновская оптика. Часть IV. Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Бушуев Владимир Алексеевич (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	4
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

Метод трехкристальной рентгеновской дифрактометрии является самым современным рентгеновским методом изучения кристаллической структуры тончайших приповерхностных слоев полупроводниковых материалов вследствии возможности разделения вкладов когерентного (дифракционного) и некогерентного (диффузного) рассеяния. В курсе проводится изложение современного состояния высокоразрешающей трехкристальной рентгеновской дифрактометрии, на основе динамической теории дифракции рентгеновских лучей излагается теория метода, его преимущества перед другими рентгеновскими дифракционными и рефлектометрическими методами, рассмотрен большой объем конкретных экспериментальных данных, в том числе полученных с использованием высококогерентного рентгеновского синхротронного излучения в ведущих мировых научных центрах.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы метода трехкристальной рентгеновской дифрактометрии, уметь анализировать распределение интенсивности в окрестности узла обратной решетки для извлечения информации о типе и размерах дефектов в приповерхностных слоях полупроводниковых материалов.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции частично читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-	Курс является теоретическим базисом к дисциплинам: "Дифракционный структурный анализ", "Синхротронные

методическая взаимосвязь с другими частями ООП	исследования в физике твердого тела", "Рентгенооптические методы исследования мультислоев и наносистем".
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины "Синхротронные исследования в физике твердого тела", "Рентгенооптические методы исследования мультислоев и наносистем".
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Афанасьев А.М., Александров П.А., Имамов Р.М. Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев. - М.: Наука, 1989 2. Даценко Л.И., Молодкин В.Б., Осиновский М.Е. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами. - Киев: Наукова думка, 1988.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Бушуев В.А., Кютт Р.Н., Хапачев Ю.П. Физические принципы рентгенодифрактометрического определения параметров реальной структуры многослойных эпитаксиальных пленок. - Нальчик, КБГУ. 1996. 2. Бушуев В.А., Петраков А.П. Особенности формирования спектров трехкристальной рентгеновской дифрактометрии. Учебное пособие. Сыктывкар, СыктГУ. 1997. 3. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях скользящей дифракции. Учебное пособие. М.: МГУ. 2002.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Ломов А.А., Бушуев В.А., Карцев А.А., Караванский В.А., Васильев А.Л. Применение рентгеновских дифракционных методов для исследования микронных пористых слоев кремния. // Кристаллография. 2009. Т. 54. № 3. С. 410-417.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://sergey.gmca.aps.anl.gov/
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Идеальные и реальные кристаллы. Материалы современной твердотельной микроэлектроники. Основные сведения о кинематической теории рассеяния Кривоглаза-Дедерихса в кристаллах с дефектами структуры. Типы дефектов, их влияние на дифракцию (точечные дефекты, кластеры, дефекты упаковки, частицы новой фазы, дислокации, дислокационные петли). Наноразмерные материалы микроэлектроники.	1
Методы экспериментального исследования монокристаллов с малой концентрацией дефектов и слабой деформацией в тонких приповерхностных слоях. Двухкристальная дифрактометрия. Необходимость и преимущества высокоразрешающей трехкристальной рентгеновской дифрактометрии (ТРД) для разделения вкладов когерентной (динамической) и некогерентной (диффузной) компонент рассеяния.	2-3
Кривые дифракционного отражения (КДО) от идеальных и слабоискаженных кристаллов. Щелевые монохроматор и кристалл-анализатор. Типичная схема трехкристального эксперимента, требования к точности юстировки и стабильности.	4-5
Спектры трехкристальной рентгеновской дифрактометрии: главный пик, псевдопики монохроматора и анализатора, диффузный пик, их угловые положения, интенсивности, формы пиков. Основные методы сканирования: 1) тета-сканирование, 2) омега-сканирование, 3) тета/2тета-сканирование, 4) тета/2тета-сканирование с фиксированной отстройкой. Вид схем сканирования в прямом и обратном пространствах.	6
Синхротронные исследования методом ТРД. Влияние деформации тонких приповерхностных слоев на интенсивность главного пика. Влияние крупно- и мелкомасштабных шероховатостей кристалла на угловое распределение главного пика и псевдопика. Зависимость диффузного пика от типа, концентрации и размера дефектов.	7
Сравнительный анализ информативности и чувствительности дифференциального (ТРД) и интегрального (КДО) методов исследования дефектной структуры кристаллов.	8
Метод асимптотической брэгговской дифракции для исследования сверхтонких нарушенных слоев и границ раздела. Проблема однозначности и единственности решения обратной задачи.	9
Влияние упругих деформаций кристаллов на динамическое рассеяние рентгеновских лучей. Дифракция рентгеновских лучей в упруго деформированных почти совершенных монокристаллах. Брэгг- и Лауэ-дифракция рентгеновских лучей в кристаллах с нарушенным поверхностным слоем.	10
Приближения толстого и тонкого кристаллов. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах, возбужденных ультразвуковой волной. Рентгено-акустический резонанс.	11-12
Основные сведения о статистической динамической теории дифракции. Уравнения Такаги. Статистическое усреднение.	13
Когерентная и диффузная компоненты интенсивности рассеяния. Корреляционная функция, длина корреляции, статический фактор Дебая-Валлера, коэффициент диффузного поглощения.	14
Динамические эффекты в диффузном рассеянии. Эффект аномального прохождения диффузного рассеяния.	15

Связь между типом дефектов и картами изодиффузных линий в обратном пространстве. Определение типа, концентрации и радиуса кластеров и дислокационных петель по экспериментальным ТРД-данным.	16

Рентгеновская фазоконтрастная томография

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Бушуев Владимир Алексеевич (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред л
Семестр:	3
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	18 часов
Семинаров:	18 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Аннотация курса

В традиционных методах абсорбционной рентгеновской радиографии (интроскопии, томографии) используется явление поглощения рентгеновских лучей. Этот метод, однако, обладает чрезвычайно малой чувствительностью при исследовании небольших и(или) слабопоглощающих образцов, в том числе мягких тканей медико-биологических объектов. Помимо поглощения существует явление преломления на границах областей с различной плотностью, т.е. изменение фазы волны. Углы преломления составляют доли угловой секунды, однако они могут быть зарегистрированы с помощью кристалла-анализатора, помещенного после объекта, т.е. могут быть переведены в значительные изменения интенсивности изображения. Чувствительность метода фазового контраста превышает стандартные методики в десятки раз, поэтому в десятки раз снижается доза поглощенной радиации. В курсе лекций проведено последовательное изложение различных методов получения томографических фазоконтрастных, в том числе рентгеновских голографических изображений с целью восстановления трехмерного строения объектов, что особенно актуально для слабопоглощающих медико-биологических объектов.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные физические принципы формирования рентгеновских фазоконтрастных изображений, схемы томографии с кристаллом-анализатором и схему в режиме *in-line* голографии, теоретическое описание метода и требования к эксперименту.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции частично читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая вза-	Курс является теоретическим базисом к дисциплинам: "Синхротронные исследования в физике твердого тела".

имосвязь с другими частями ООП	
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины "Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей", "Синхротронные исследования в физике твердого тела", "Рентгенооптические методы исследования мультислоев и наносистем".
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. // Москва, Наука. 1990. с. 239-262. 2. Каули Дж. Физика дифракции. // Москва. Мир: 1979. 431 с.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Бушуев В.А. Динамическая дифракция ограниченных пучков рентгеновского излучения. // Препринт физического факультета МГУ (учебное пособие), 1998. N 14/1998, 12. с. 2. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. М.: МГУ. 1990. с. 3-32, 56-61.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Бушуев В.А., Гуськова М.А. Реконструкция изображения в методе рентгеновского фазового контраста с кристаллом-анализатором в геометрии Лауэ. // Известия Академии наук. Серия физическая. 2005. Т. 69. № 2. С. 228-232.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://sergey.gmca.aps.anl.gov/
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Основные сведения об особенностях взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Источники рентгеновского излучения (трубки, синхротроны, накопительные кольца, рентгеновский лазер на свободных электронах). Явления поглощения и преломления. Зависимость коэффициентов поглощения и преломления от длины волны.	1
Методы визуализации внутреннего строения объектов. Рентгеновская просвечивающая радиография и томография. Особенности поглощения	2-3

в медико-биологических объектах. Доза поглощенного ионизирующего излучения. Единицы измерения доз.	
Основные сведения из динамической теории дифракции рентгеновских лучей. Схемы дифракции по Брэггу и по Лауэ. Кривые отражения и прохождения. Фаза рентгеновской волны и ее изменение при прохождении через объект.	4-5
Схемы регистрации изображений в методе рентгеновского фазового контраста. Понятие рабочей точки на кривой отражения. Роль кристалла-монохроматора и кристалла-анализатора. Увеличение изображения при асимметричной дифракции.	6
Дифракция ограниченного рентгеновского пучка с неоднородным распределением интенсивности и фазы. Метод фурье-разложения. Функция Грина. Приближение геометрической оптики (рефракционный контраст). Фазоконтрастные изображения простых модельных объектов (нить, капилляр, призма, пластинка).	7
Анализ пределов применимости приближения. Приближение фазового объекта. Темнопольные и светлопольные изображения. Примеры изображений реальных, модельных и медико-биологических объектов.	8
Сравнение величин контраста изображения объекта, пространственного разрешения и дозовой нагрузки в методе абсорбционной рентгеновской интроскопии и в методе фазового контраста. Осевая (*in-line*) рентгеновская голография.	9
Понятия временной и пространственной когерентности. Метод Кирхгофа. Угловой спектр плоских волн. Зоны Френеля. Области дифракции Френеля и дифракции Фраунгофера.	10
Параболическое уравнение в теории дифракции. Приближение квазиоптики. Ограничения на размеры объектов. Влияние угловой расходимости и пространственного разрешения координатного детектора.	11-12
Влияние временной и пространственной когерентности падающего излучения на контраст получаемых томографических изображений.	13
Восстановление трехмерного строения объекта в методе абсорбционной рентгеновской интроскопии. Теория фурье-преобразований. Решение обратной задачи в методе рентгеновской фазоконтрастной томографии.	14
Фазовая проблема и пути ее решения в методе рентгеновского фазового контраста. Дифференциальные уравнения переноса интенсивности ограниченных пучков.	15
Влияние статистических ошибок и аппаратурных факторов на качество и однозначность реконструкции изображения. Примеры реконструкции изображений простейших модельных объектов. Современное состояние мировых исследований медико-биологических объектов на рентгеновских источниках синхротронного излучения третьего поколения.	16

Микроскопическая теория металлов и сплавов

Лектор: д.ф.-м.н., гл.н.с. Силонов Валентин Михайлович
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	3
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Курс посвящен изложению основ теории структуры и физических свойств металлических твердых растворов. Вводится представление о статических концентрационных волнах, позволяющее эффективно учесть дальнодействующий характер межатомных взаимодействий. В рамках метода псевдопотенциала рассмотрен расчет энергий упорядочения, фононных спектров, упругих постоянных, элементов диаграмм состояний, температурных зависимостей электросопротивления, температур плавления. Обсуждается роль статических смещений. Актуальность курса обусловлена возможностью освоить основы современных методов прогноза структуры и свойств металлических сплавов.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основы теории сплавов и методы расчета характеристик, необходимых для обработки экспериментальных данных.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является развитием дисциплин “Физика конденсированного состояния вещества. Квантовая теория твердых тел.”, “Дифракционный структурный анализ. Реальные кристаллы и наносистемы.”
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа.
Основные учебные пособия,	1. Силонов В.М., Введение в микроскопическую теорию твердых растворов, Издательство МГУ, Москва, 2005.

обеспечивающие курс	2. Хачатурян А.Г., Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука. 1974. 3. Харрисон У., Электронная структура и свойства твердых тел. М. Мир. 1983.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Голдсмит Г.Дж., Задачи по физике твердого тела. М. Наука. 1976. 2. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П., Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ.1978.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. О.В. Крисько, В.М.Силонов, Т.В.Скоробогатова Модельные псевдопотенциалы изолированных ионов. // Динамика сложных систем. №3, с.3-21, 2010.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Термодинамика сплавов. Феноменологическая теория фазовых переходов второго рода.	1
Статистические теории твердых растворов.	2-3
Метод статических концентрационных волн в уравнениях самосогласованного поля.	4
Ближний и дальний порядок в твердых растворах и их влияние на физические свойства.	5-6
Основы теории рассеяния рентгеновских лучей твердыми растворами	7
Экспериментальные методы определения параметров ближнего порядка с помощью рассеяния рентгеновских лучей твердыми растворами с сильным размерным эффектом. Применение методов математической статистики при обработке экспериментальных данных.	8
Электронная теория металлических твердых растворов. Теория возмущений. Энергия зонной структуры. Электростатическая энергия. Полная внутренняя энергия.	9-10
Теория энергий межатомных взаимодействий и энергии упорядочения сплавов.	11
Теория модельных псевдопотенциалов. и их экранирования. Локальные	12-13

и нелокальные псевдопотенциадлы.Диэлектрическое экранирование. Формфакторы, Характеристические функции зонной структуры.	
Расчет характеристик твердых растворов необходимых при обработке экспериментальных данных, получаемых из интенсивности диффузного рассеяния рентгеновских лучей. Тепловое диффузное рассеяние. Дебаевские температуры. Параметры искажений.	14
Методы прогноза структуры и свойств металлов и сплавов. Расчет электросопротивления, термоэдс, фононных спектров, упругих постоянных. Расчет температур фазовых переходов порядок-беспорядок. Нахождение параметров ближнего порядка по известным значениям энергий упорядочения.	15
Дефекты в кристаллах – учет в псевдопотенциальной теории.	16

Рентгеновская спектроскопия в исследованиях конденсированных сред

Лектор: к.ф.-м.н., с.н.с. Смехова Алевтина Геннадьевна
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	3
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

В курсе освещаются наиболее широко используемые спектроскопические методы исследования твердых тел и наносистем с использованием рентгеновского (синхротронного) излучения: XANES и EXAFS (абсорбционная спектроскопия), XMCD и XMLD (магниточувствительная спектроскопия поглощения), XNCD, спектроскопия испускания вторичных электронов (Оже-спектроскопия, XPEEM), RIXS (резонансное неупругое рассеяние). Учащиеся знакомятся с основными характеристиками синхротронного излучения, основами взаимодействия синхротронного излучения с веществом вблизи краев поглощения, примерами экспериментальных станций на источниках синхротронного излучения третьего поколения и их отличиями при работе в жестком и мягком рентгеновском диапазонах, с методами обработки экспериментальных спектров.

Приобретаемые знания и умения В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы и законы взаимодействия синхротронного излучения с веществом (как вдали, так и вблизи краев поглощения); уметь объяснять характерные особенности различных спектров; иметь представление о методах первичной обработки спектров.

Образовательные Курс имеет электронную версию для презентации. Лек-

технологии	ции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Вся рекомендуемая литература может быть предоставлена учащимся в электронном виде.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является составной частью блока «Современные проблемы физики конденсированного состояния» с рамках специализации (профиля) “Экспериментальные методы исследования структуры и свойств твердых тел”.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, стажировка в одном из центров синхротронного излучения.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Г.В. Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М.: Физмат. лит. 2007. 2. Е.Н.Овчинникова, М.А. Андреева. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 1. (Под ред. проф. А.С.Илюшина), Препринт физического факультета МГУ. 2007.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Препринт физфака МГУ, Москва, 2005.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. J.B. Kortright, D.D. Awschalom, J. Stöhr, S.D. Bader, Y.U. Idzerda, S.S.P. Parkin, I.K. Schuller *et al.* // J. Magn. Magn. Mater. 207 (1999) 7. 2. A. Rogalev, F. Wilhelm, N. Jaouen, J. Goulon, and J. P. Kappler, ser. Magnetism: A Synchrotron Radiation Approach, Lect. Notes Phys., E. Beaurepaire, H. Bulou, F. Scheurer, and J. P. Kappler, Eds. Berlin, Germany: Springer Verlag, 2006, vol. 697, pp. 71–93. 3. H. Wende, C. Antoniak in: Springer Proceedings in Physics 133, 145-167 (2010), eds. E. Beaurepaire, H. Bulou, F. Scheurer and J.-P. Kappler “Magnetism and Synchrotron Radiation”, ISBN 978-3-642-04497-7. 4. C. Antoniak, M. Spasova, A. Trunova, K. Fauth, M. Farle, and H. Wende // J. Phys.: Conf. Ser. 190, 012118 (2009)
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/TBS/SciSoft/ http://www.cells.es/Beamlines/CLAESS/software/index.html
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 и 16 неделях в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, уровень подготовки к семинарам, успешность в выполнении практических занятий.

Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических занятий; вопросы для контрольных работ и семинаров; вопросы к зачётам.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Синхротрон и синхротронное излучение. Особенности и новые возможности. Сравнение с рентгеновской трубкой.	1
Законы взаимодействия синхротронного излучения с веществом. Края поглощения. Спектры поглощения и их характерные особенности. Связь спектров поглощения с электронной структурой атомов. Возможности XANES и EXAFS.	2-3
XANES и EXAFS в исследованиях твердых тел и наносистем. Примеры обработки спектров. (Практическое занятие по материалам лекции).	4-5
Анизотропия поглощения. Угловые зависимости XANES.	6
Магниточувствительная спектроскопия поглощения вблизи K-, L- и M-краев поглощения (XMCD, XMLD). Анизотропия поглощения (продолжение). XNCD. Определение магнитного момента атомов по спектрам XMCD. Примеры обработки спектров. (Практическое занятие по материалам лекции).	7-8
Отличия спектроскопии поглощения в области жесткого и мягкого рентгена. Преимущества и недостатки.	9
Основные элементы экспериментальных станций в центрах синхротронного излучения для измерения спектров XANES, EXAFS, XMCD, XMLD, XNCD. Требования к стабильности излучения и основных элементов.	10
Спектроскопия испускания вторичных электронов (Оже-спектроскопия, XPEEM), RIXS (резонансное неупругое рассеяние). (Предусмотрено практическое занятие).	11
Актуальные задачи и наиболее важные результаты физики конденсированного состояния, полученные с помощью рентгеновской спектроскопии.	12

Рентгеновское излучение в исследовании магнитных материалов

Лекторы: д.ф.-м.н., в.н.с. Андреева Марина Алексеевна, к.ф.-м.н., с.н.с. Смехова Алевтина Геннадьевна
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1

Аннотация курса.

Лекционный курс знакомит с новым методом исследования магнетизма и магнитных структур – методом резонансного магнитного рассеяния рентгеновского излучения. Синхротронные источники, благодаря возможностям работать с излучением вблизи краев поглощения, превратили рентгенооптические методы в эффективные методы исследования магнетизма. В лекционном курсе изучаются магнитооптические эффекты, наблюдаемые для рентгеновского излучения:

Трудоёмкость:	2 з.е.	круговой и линейный дихроизм, эффект Фарадея, экваториальный, меридиональный и полярный эффекты Керра, особенности дифракция на магнитоупорядоченных структурах, асимметрия спектров зеркального и брэггвского отражения по поляризации. Даются основы анализа спектров кругового дихроизма для определения орбитального и спинового момента атомов с использованием правила сумм. Приводятся примеры использовании рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии для исследования магнитного упорядочения в многослойных структурах.
Лекций:	14 часов	
Семинаров:	14 часов	
Практ. занятий:	8 часов	
Отчётность:	зачет	
Начальные компетенции:	М-ПК-1,	
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4	

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен изучить основы рентгеновской спектроскопии вблизи краев поглощения на поляризованном излучении, освоить понятие тензоров диэлектрической проницаемости и их характеристик для разных геометрий эксперимента и получить начальные навыки обработки спектров кругового дихроизма и асимметрии отражения по поляризации рентгеновского излучения.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является составной частью блока «Современные проблемы физики конденсированного состояния» по профилю специализации “Экспериментальные методы исследования структуры и свойств твердых тел”.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины "Структурная физика наноматериалов", "Рентгенооптические методы исследования многослойных наноструктур".
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Е.Н. Овчинникова, М.А. Андреева, Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 1. (Под ред. проф. А.С. Илюшина), физфак МГУ, 2007. 2. Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. «Мессбауэровская и рентгеновская оптика поверхности», М.: Издание Общенациональной академии знаний, 1996. 3. Смехова А.Г. «Развитие метода резонансного рентгеновского отражения вблизи краев поглощения для исследования магнитных мультислоев», канд. дисс., физфак МГУ, 2006.
Основные учебно-методические ра-	1. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Препринт

боты, обеспечивающие курс	физфака МГУ, Москва, 2005. 2. Blume M., Magnetic effects in Anomalous Dispersion, in: «Resonant Anomalous X Scattering», (ed. By G. Materlik, C.J. Spark and K. Fisher), p. 495, 1994. 3. M. Sacchi, C. F. Hague, E. M. Gullikson, J. H. Underwood, Resonant magnetic scattering of polarized soft x rays:Specular reflectivity and Bragg diffraction from multilayers // Phys. Rev., B 557 , p.108, 1998. 4. M.A. Andreeva, B. Lindgren, Nuclear resonant spectroscopy at Bragg reflections from periodic multilayers: basic effects and applications // Phys. Rev. B 72, 125422-1-22 (2005).
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Андреева М.А., Смехова А.Г. Рентгеновская магнитооптика на синхротронном излучении // Изв. РАН, сер. физическая, 72, No.5, с. 693–696, 2008. 2. Andreeva M.A., Smekhova A.G., Theoretical analysis of the spectra of X-ray resonant magnetic reflectivity // Applied Surface Science, v. **252**, p. 5619-5621, 2006. 3. Смехова А.Г., Андреева М.А., и др. Определение магнитного вклада в восприимчивость YFe2 слоя методом рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии // Кристаллография, т.55, № 5, с.906–915, 2010. 4. Андреева М.А., Одинцова Е.Е., Влияние малых магнитных добавок к восприимчивости на угловые зависимости отражения рентгеновского поляризованного излучения от многослойных структур.// Письма в ЖЭТФ, т.93, с.78-82, 2011. 5. Андреева М.А., и др., Магнитное упорядочение в ОЦК $[Fe/Co]_{35}$ пленке, исследованное методом ядерно-резонансной рефлектометрии // ЖЭТФ, 131 (4), с.652-661, 2007.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://kftt.phys.msu.ru/personalii/Andreeva/XRMR.zip http://kftt.phys.msu.ru/index.php?page=_Odintsova
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Теоретические оценки возможной чувствительности рентгеновского	1

излучения к спину электронов и первые попытки использования рентгеновского излучения для исследования магнетизма. Магнитные эффекты в комптоновском рассеянии. Нерезонансное магнитное рассеяние рентгеновского излучения. Первые наблюдения: «магнитные» дифракционные максимумы на антиферромагнитных кристаллах NiO.	
Усиление магнитного рассеяния рентгеновского излучения вблизи $L_{2,3}$ - и $M_{4,5}$- краев поглощения. Квантовомеханическое описание резонансного рассеяние поляризованного излучения магнитными атомами.	2-3
Эффекты кругового и линейного дихроизма для рентгеновского излучения. Разделение орбитального и спинового магнитного момента атома по асимметрии L_2 и L_3 резонансных линий в спектрах поглощения. Правило сумм.	4-5
Примеры различного магнитного упорядочения магнитных моментов отдельных элементов в сложных соединениях в функции внешнего поля и температуры.	6
Практическое работа по обработке спектров дихроизма, измеренных для магнитных кластеров RhCo. Определение спинового и орбитального наведенного магнитного момента у атомов Rh.	7-8
Микроскопия в условиях резонансного магнитного поглощения. Наблюдения магнитной доменной структуры селективно по элементам и по отдельным слоям в многослойных образцах. Визуализация трансформации доменов с изменением внешних воздействий (внешнего поля, температуры, давления и т.д.).	9
Рентгеновская магнитооптика. Эффекты Керра в продольной, поперечной и полярной геометриях. Основные наблюдаемые эффекты. Магнитометрия в условиях отражения.	10
Рентгеновская рефлектометрия для многослойных магнитных образцов. Теория отражения, обобщенная на анизотропный случай. Эффекты интерференционного подавления и усиления вкладов отдельных слоев. Роль намагниченности интерфейсов в брэгговских отражениях разных порядков.	11-12
Примеры исследования распределения по периоду наведенных магнитных моментов атомов немагнитных элементов в периодических структурах [N/M]n.	13
Мессбауэровская спектроскопия в исследованиях нанослоев. Метод пробного ^{57}Fe слоя. Селективные по глубине исследованиям пленок методом мессбауэровской рефлектометрии. Ядерно-резонансные исследования магнитного упорядочения в многослойных пленках. Исследование сверхтонких взаимодействий селективно по глубине пленки.	14

Резонансная дифракция синхротронного излучения в конденсированных средах

Лектор: д.ф.-м.н., доцент Овчинникова Елена Николаевна (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Резонансная дифракция синхротронного излучения является новым и перспективным методом исследования структуры и свойств материалов. В лекционном курсе содержатся базовые знания о свойствах синхротронного излучения, а также особенностях резонансного взаимодействия синхротронного излучения с кристаллами при энергии падающего излучения, близкой к краям поглощения. Студенты должны ознакомиться с целым рядом физических явлений, возникающих вблизи краев поглощения, освоить основы математического аппарата для описания азимутальных и поляризационных свойств рассеянного излучения, а также получат знания о методах численного моделирования энергетических спектров «запрещенных» отражений с использованием квантовомеханического подхода.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы получения синхротронного излучения, иметь представление о его свойствах и новейших методах использования для исследования структуры и свойств конденсированных сред.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является частью II блока «Рентгеновская оптика», включающего в себя: часть I. «Вторичные процессы в рентгеновской оптике», часть III. «Рентгенооптические методы исследования мультислоев и наносистем», часть IV: «Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия».
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины «Рентгеновская оптика», части III-IV.

необходимо как предшествующего	
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. И.М. Тернов, В.В. Михайлин, В.Р. Халилов. Синхротронное излучение и его применения. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1985. 2. Г.В. Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М., Физматлит, 2007. 3.Р.В. Ведринский, И.И. Гегузин. Рентгеновские спектры поглощения твердых тел. М.: Энергоатомиздат, 1991, 183 с.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Е.Н.Овчинникова, М.А.Андреева. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 1. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2007. 2. Е.Н. Овчинникова, В.Е. Дмитриенко, М.А. Андреева. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 2. Изучение запрещенных отражений – новый метод исследования структуры и свойств кристаллов. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2009. 3. М.А. Андреева, Е.Н. Овчинникова. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 3. Ядерно-резонансные («мёссбауэровские») эксперименты на синхротронах. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2010.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. А.М. Колчинская, В.Е. Дмитриенко, С. Коллинз, Е.Н. Овчинникова, А.П. Орешко. Условия возникновения и температурная зависимость чисто резонансных рефлексов при дифракции рентгеновского излучения в монокристалле оксида цинка. //Кристаллография, т.52, №4, с. 679-685, 2007. 2. А.А. Антоненко, Е.Н. Овчинникова, В.Е. Дмитриенко, С.П. Коллинз. Резонансное рассеяние рентгеновского излучения в магнитных кристаллах с некубической локальной анизотропией. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. №7, с.56-60, 2008. 3. G. Beutier, E. Ovchinnikova, S.P. Collins, V.E. Dmitrienko, J.E. Lorenzo, J.-L. Hodeau, A. Kirfel, Y. Joly, A.A. Antonenko, V.A. Sarkisyan and A. Bombardi. Interplay of inequivalent atomic positions in resonant x-ray diffraction of Fe_3BO_6. // J. Phys.: Condensed Matter, Vol. 21 265402 (12pp), 2009. 4. Э.Х. Мухамеджанов, М.В. Ковальчук, М.М. Борисов, Е.Н. Овчинникова, А.П. Орешко, В.Е. Дмитриенко. «Запрещенные» отражения при резонансной дифракции синхротронного излучения в иттрий-алюминиевом гранате $Y_3Al_5O_{12}$. // ЖЭТФ. т.139, в.1(12). С.110-119. 2011.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://kftt.phys.msu.ru/personalii/Ovchinnikova
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.

Фонды оценочных средств Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты, темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Теоретические основы описания резонансного рассеяния рентгеновских лучей. Края поглощения. Амплитуда резонансного рассеяния рентгеновского излучения и тензорный атомный фактор.	1-2
Мультипольные вклады в резонансный атомный фактор. Представления тензорного атомного фактора в декартовом и сферическом базисах.	3
Запрещенные отражения в резонансном диполь-дипольном рассеянии рентгеновского излучения. Связь с симметрией кристаллов.	4
Экспериментальные исследования «запрещенных» отражений. «Запрещенные» отражения в немагнитных кристаллах. Отражения I и II типов.	5
Поляризационные свойства «запрещенных» отражений. Азимутальная зависимость интегральной их интенсивности.	6
Магнитные «запрещенные» отражения, их поляризационные свойства.	7
«Запрещенные» резонансные отражения, обусловленные вкладами высших порядков в атомный фактор.	8
«Термоиндуцированные» запрещенные» отражения. Термоиндуцированные «запрещенные» отражения в кристалле германия и вюртцитах.	9
Резонансное рассеяние рентгеновского излучения при наличии нескольких анизотропных факторов.	10
Проявления «хиральности» среды в резонансном рассеянии рентгеновского излучения. «Запрещенные» отражения, обусловленные киральностью положений резонансный атомов	11
Интерференция резонансного и нерезонансного рассеяние СИ. Интерференция резонсансного и многоволонового рассеяния рентгеновского излучения.	12
Методы математического моделирования энергетических спектров «запрещенных» отражений. Модель многократного рассеяния и метод конечных разностей.	13
Резонансное рассеяние рентгеновского излучения в кристалле германия. Экспериментальные результаты и численное моделирование исследования отражений 222 и 006.	14
Расчет энергетической структуры «запрещенных» отражений в кристаллах пирита и рутила. «Запрещенные» отражения, обусловленные точечными дефектами	15
«Запрещенные» отражения в несоразмерно модулированных структурах. Резонансное рассеяние рентгеновского излучения в кобальтовом акермaните.	16

Взаимодействие водорода с металлами

Лектор: к.ф.-м.н., доцент Авдюхина Валентина Михайловна (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	4
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Целью курса является ознакомление студентов с одной из актуальных проблем современной физики твердого тела - взаимодействию водорода с металлами. Будут рассмотрены основные свойства металл-водородных систем и методы их исследования. Также будут рассмотрены вопросы поведения систем металл- водород- дефекты в процессе длительной эволюции. Результаты решения этой проблемы имеют определяющее значение для прогнозирования поведения открытых твердотельных систем, создания экологически чистой водородной энергетики, оптимизации методов водородной обработки материалов.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины у слушателей должно сформироваться представление о физических основах взаимодействия водорода с металлами и сплавами; о влиянии водорода на структурные, механические, магнитные, электронные и другие свойства материалов и их изменении в процессе релаксации.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является практическим базисом к дисциплинам: «Структурная физика интерметаллидов», «Микроскопическая теория металлов и сплавов», «Современные проблемы физики конденсированного состояния».
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины: «Структурная физика интерметаллидов», «Микроскопическая теория металлов и сплавов», «Современные проблемы физики конденсированного состояния».

предшествующего	
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Водород в металлах //Под ред. Алефельда Г.И. и Фелкля М.: Мир, 1981, т.2. 2. Гельд П.В., Рябов Р.А., Мохрачева Л.Л.// Водород и физические свойства металлов и сплавов, М.: Наука, 1985. 3. Олемской А.И., Кацнельсон А.А.// Синергетика конденсированной среды, М, УРСС, 2003.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Авдюхина В.М., Кацнельсон А.А., Ревкевич Г.П.// Синергетические аспекты эволюции структуры Pd и Pd-M после гидрогенизации и в процессе последующей релаксации, препринт физ. факультет МГУ, 2005.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. I.M. Neklyudov, A.N. Morozov // Journal of Nuclear Materials, 2009, v. 386–388, p. 658.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	http://books.art-buro.com/links
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на лекциях; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросы к зачёту; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Структура гидридов и фазовые переходы в металл-водородных системах. Синтез гидридов. Основные термодинамические и кинетические вопросы теории фазовых переходов в металл-водородных системах. Деформация решетки металла, обусловленная водородными атомами. Примеры структур металлических гидридов. Гидриды, синтезированные под сверхвысоким давлением.	1-2
Влияние водорода на физические свойства металлов. Изменение электронных свойств металл-водородных систем при наличии гидридных соединений. Влияние водорода на магнитные свойства металлов. Оптические свойства гидридов. Проблема сверхпроводимости в металл-водородных системах.	3-4
Диффузия водорода в металлах. Виды диффузии водорода в металле. Определение параметров диффузии. Способы регулирования диффузии водорода в металлах: легирование, текстурирование, наноструктурирование и др.	5-6
Физические методы исследования гидридов металлов. Рентгеноструктурный анализ. Дифракция нейтронов. Ядерный магнитный резонанс. Термосербционная спектроскопия.	7-8

Экспериментальные данные об эволюции термодинамически открытых систем и некоторые их модели. Явление Бенара. Явление Белоусова – Жаботинского. Поведение популяций в экологии и др.	9
Системы палладий-водород - как пример термодинамической открытой системы. Структура Pd-H. Структурные характеристики и физический смысл α и β фаз в системе Pd-H. Дифракционные эффекты при $\alpha \leftrightarrow \beta$ фазовых переходах в системе Pd-H.	10-11
Временные зависимости колебательных процессов $(\ln I_{400}/I_{200})(t)$ на дифрактограммах сплавов типа Pd-W-H. Временные зависимости поведения периода решетки, величины упругих напряжений и количества сосуществующих фаз в деформированных сплавов типа Pd-Er-H.	12
Особенности структурной эволюции в деформированных сплавах типа Pd-Ta-H и Pd-Mo-H. Роль водорода и вакансий на структурную эволюцию сплавов на основе палладия после электролитического гидрирования.	13
Особенности формирования дефектной структуры и выхода водорода из фольг сплавов на основе палладия в процессе релаксации.	14-15
Гидриды, как перспективные материалы для водородной энергетики. Практическое применение гидридов: замедлители в ядерных реакторах, отрицательные электроды в адапторах, материалы для хранения водорода, мембраны для очистки водорода из смеси промышленных газов и др.	16

Физика структурированных сред

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Кузьмин Рунар Николаевич
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонан-сные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	4
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	0
Отчётность:	Экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетен-	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Структура среды играет определяющую роль в ее динамическом поведении и физических свойствах. В лекционном курсе дается представление о разнообразных структурированных средах в микро- и макромире, проводятся аналогии в описании сред различной природы. В рамках курса студенты знакомятся с математическими моделями и уравнениями, описывающими процессы в структурированных средах.

ции:

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные принципы построения теории взаимодействия частиц и излучений с веществом, уметь использовать полученные знания для расчета характеристик различных физических эффектов.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются частично с использованием современных мультимедийных картин и слайдов. Возможно проведение экспериментов, экскурсий в НИИ и лаборатории РАН.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является последовательным дополнением к дисциплине «Физика конденсированных сред», а также общим курсам, читаемым на других отделениях факультета.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, курсовые, рефераты, умение работать самостоятельно, дисциплины по подготовке бакалавра или магистра.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. В.И.Высоцкий, Р.Н.Кузьмин «Гамма-лазеры», Изд-во. Московского университета, 1989. 176 С. 2. А.Т.Фоменко «Наглядная геометрия и топология. Математические образы в реальном мире», 2-е изд. ИЗД.МУ.1998.-416 с. 3. А.А.Власов «Теория многих частиц» М-Л. ГИТТЛ,1950. 349 с. 4. Сборники научных трудов: "Математика. Компьютер. Образование", вып.1-9,1994-2001 гг. Дубна-Пущино. 5."Пределы предсказуемости", коллективная монография, составит. и редактор Ю.А.Кравцов, ЦентрКом, Москва, 1997,-247 с. 6. Б.Б.Кадомцев, "Динамика и информация",1999,-400 с. 7 .Г.Г.Малинецкий, А.Б.Потапов, Современные проблемы нелинейной динамики. М.: "УРСС".2000. 336 с. 8. В.В. Козодеров, В.А. Садовничий и др. Космическое землеведение. М.:Изд-во Московского университета, 2000. 400 с. 9. Дж.Бэтчелор, Введение в динамику жидкости. М.: Изд-во "МИР", 1973. 276 с.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. Учебное пособие. М.: МГУ. 1990. с. 3-32, 56-61. 2. В.И.Высоцкий. «Квантовая механика», Изд-во. Киевского университета, 2010, 375 С. 3. Ч.Сликтер. Основы теории магнитного резонанса. Изд-во. "МИР", пер. с англ., Москва 1967. 324 С.

	4. А.И.Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич «Основы экспериментальных методов ядерной физики»,Энергоатомиздат» 1985, 488 С. 5. А.А.Новакова, Т.Ю.Киселева. Мессбауэровский практикум. Методы мессбауэровской спектроскопии в физике твердого тела. под ред А.С.Илюшина, (учебное пособие, лабораторный практикум КФТТ), ООП, Физический факультет МГУ.2003. 41 С.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	
Программное обеспечение и ресурсы в Интернете	
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 5 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Текущей контроль на семинарах; задания для практических занятий; вопросы и задачи контрольных работ и коллоквиумов; вопросы к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Физическое представление о структурированных средах. Математические модели для описания процессов переноса и взаимодействия вещества в структурированных средах. Аналогии описания процессов в различных средах.	1-3
Роль кооперативных и коллективных механизмов в описании процессов, происходящих в структурированных средах.	4-7
Линейные и нелинейные математические модели. Аттракторы систем, бифуркации и поля в структурированных средах.	8-11
Примеры процессов, происходящих в микро- и макроскопических структурированных средах.	12-14
Гидро-, газодинамические модели переноса массы вещества в структурированных средах. Определение точек экстремального поведения.	15
Иллюстрации лабораторных моделей структурированных сред. Расчетные модели на основе реальных адиабатических систем.	16

Структурная физика наноматериалов

Лекторы: д.ф.-м.н., в.н.с. Андреева Марина Алексеевна
д.ф.-м.н., профессор Бушуев Владимир Алексеевич
д.ф.-м.н., гл.н.с. Новакова Алла Андреевна
д.ф.-м.н., доцент Овчинникова Елена Николаевна
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	14 часов
Семинаров:	14 часов
Практ. занятий:	8 часа
Отчётность:	экзамен
Начальные компетенции:	М-ПК-1, М-ПК-6
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4

Аннотация курса

Спецкурс знакомит студентов с новейшими достижениями в физике наноматериалов и перспективами их применения в науке и технике. В лекционном курсе содержатся базовые знания о методах получения наноструктур, а также об основах методов исследования нанообъектов: рентгендифракционном анализе, мессбауэровской спектроскопии, рентгеновской спектроскопии поглощения и рассеяния, электронной просвечивающей, сканирующей, туннельной и атомно-силовой микроскопии, инфракрасной и рамановской спектроскопии. Студенты должны освоить, какие физические данные о структуре и свойствах наносистем можно изучать с помощью перечисленных методов. Приводятся примеры исследования и применения: углеродных, магнитных многослойных, полупроводниковых наноструктур.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать, что такое наноматериалы, методы их получения, иметь представление о физическихсвойствах наноструктур и новейших методах их исследования, а также перспективах применения в различных областях науки и техники.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является частью блока «Современные проблемы физики конденсированного состояния»
Дисциплины и	Научно-исследовательская практика, научно-

практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины «Современные проблемы физики конденсированного состояния».
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1 Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. Мессабуэровская и рентгеновская оптикповерхности. М., Издание Общенациональной акад. Знаний, 1996. 2. Андреева М.А., Овчинникова Е.Н. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 3. Ядерно-резонансные («мёссбауэровские») эксперименты на синхротронах. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2010.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. Изд. Техносфера, М., Перевод с английского. Изд.2. 2005. 2. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI. 2003. 3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. 2005. 4. Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Киселева Т.Ю., Новакова А.А. и др Механокомпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами. ред. Ломовский О.И., Изд-во СО РАН, 2010.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Андреева М.А., и др., Динамические эффекты в ядерно-резонансном брэгговском отражении, влияющие на точность опре-деления коэффициента самодиффузии в периодических 56Fe/57Fe мультислоях // Вестник МУ, сер.3, № 2, с.49-53, 2008. 2. Андреева М.А., и др., Магнитное упорядочение в ОЦК [Fe/Co]35 пленке, исследованное мето дом ядерно-резонансной рефлектометрии // ЖЭТФ, 131 (4), с.652-661, 2007. 3. Novakova A.A., Smirnov E.V., Gendler T.S., Magnetic anisotropy in Fe3O4-PVA nanocomposites as a result of Fe304-nanoparticles chains formation // J. Magn. Magn. Mater., V. 300, Issue 1, Pages e354-e358, 2006. 4. Novakova A.A., Il'ina Yu.V., Stepanov E.I., Uferov N.N., Rakov E.G. Study of Fe-MgO catalyst structural transformations in the process of pyrolytic synthesis of carbon nanomaterials. // "NATO Security through Science Series A: Chemistry and Biology", Kiev 2006, p. 487-492.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.sols.phys.msu.ru
Контроль успева-	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в

емости	форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.
Фонды оценочных средств	Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты, темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Понятие о наномасштабе: от микро- к нано-. Особенности физических явлений в наномире.	1
Свойства наночастиц. Геометрические и физические свойства нанокластеров. Электронные свойства нанокластеров. Металлические и полупроводниковые нанокластеры. Магнитные нанокластеры. Оптические и химические свойства наночастиц.	2
Наноматериалы, способы их получения и свойства. Методы синтеза наночастиц: Механический размол, конденсация в инертном газе, химические методы, термолиз, лазерные методы и др. Механическое сплавление и механосинтез. Основные физические и химические процессы при механическом размоле: дефектообразование, измельчение, сплавление, аморфизация, формирование наноструктур. Механосинтез новых соединений. Формирование наноразмерных металлических соединений в процессе восстановления в токе горячего водорода окисных фаз металлов.	3-4
Углеродные наноструктуры. Углеродные кластеры: фуллерены. Углеродные нанотрубки. Методы их получения, структура. Формирование фуллереноподобных наноматериалов и углеродных нанотрубок в процессе электродугового распыления графитовых стержней, содержащих металлические катализаторы. Механизмы формирования одностенных и многостенных нанотрубок. Механические, электронные и колебательные свойства нанотрубок. Перспективы использования нанотрубок для создания прочных материалов, сенсоров, топливных элементов, компьютеров.	5-6
Размерные эффекты в наноструктурах, роль развитой поверхности в изменении термодинамических, структурных и электронных свойств. Изменения магнитных характеристик по мере уменьшения размера частиц, переход наночастиц в супермагнитное состояние.	7
Методы исследования и аттестации микро- и нанокристаллических соединений: рентгендифракционный анализ, сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия. Инфракрасная и рамановская спектроскопия. Месбауэровская спектроскопия.	8
Рентгеновская спектроскопия нанообъектов.Возможности EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) и XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) спектроскопии для изучения структуры и свойств наночастиц.	9

Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия. Метод стоячих рентгеновских волн. Явление полного внешнего отражения. Прямые и обратные задачи.	10
Многослойные наноструктуры. Магнитное упорядочение в нанослоях. Явления гигантского магнитосопротивления для структур с антиферромагнитным упорядочением между слоями. Неколлинеарные структуры. Сдвиг обменного взаимодействия (exchange bias). Роль интерфейсов.	11
Методы исследования магнитных мультислоев: резонансное магнитное рассеяние, ядерно-резонансное рассеяние и рефлектометрия поляризованных нейтронов. «Магнитные» максимумы на кривых отражения. Спектроскопия в отражении. Магнитометрия и микроскопия с использованием резонансного рассеяния синхротронного излучения.	12
Объемные наноструктурированные материалы. Природные нанокристаллы, решетки из нанокластеров, упорядоченные структуры наночастиц в цеолитах и коллоидных суспензиях, другие материалы.	13
Нанопористые материалы. Методы исследования наноструктурированных материалов. Рентгеновские исследования объемных наноструктур.	14
Квантовые ямы, проволоки и точки. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанообъектов. Особенности электронных состояний нанообъектов.	15
Различные применения наноструктур в технике. Топливные элементы, сенсоры, лазеры на квантовых точках, инфракрасные детекторы и др.	16

Новые функциональные материалы и экспериментальные методы их исследования

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Новакова Алла Андреевна, к.ф.-м.н. Киселева Татьяна Юрьевна (кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	16 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	зачет
Начальные компетенции:	М-ПК-1

Аннотация курса

Спецкурс знакомит студентов с новыми функциональными материалами: композиционными, аморфными, нанокристаллическими, супрамолекулярными и с их свойствами. Описываются процессы, происходящие во время их получения (разупорядочение, аморфизация, кристаллизация, химические реакции, образование новых соединений). В лекционном курсе рассматриваются возможности и ограничения традиционных методов исследования структуры и фазового состава при анализе этих новых материалов. В частности, рассматриваются возможности методов электронной и атомной микроскопии, рентгендифракционного и рентгеноспектрального анализа, термоаналитических методов и термомагнитного анализа, мессбауэровской спектроскопии при изучении структур разной размерности и сложности. Приводятся конкретные примеры экспериментальных комплексных исследований сложных композитов. Показывается

Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-4	их влияние на изменение технологии получения новых функциональных материалов.

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные классы функциональных материалов и области их применения, методы получения, иметь представления об их физических свойствах. Иметь представление о комплексной проблеме их экспериментальных исследований и о пределах применимости в них традиционных физических методов.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является частью блока «Современные проблемы физики конденсированного состояния».
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, дисциплины "Современные проблемы физики конденсированного состояния».
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Механокомпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами под ред. Ломовского О.И., Изд-во СО РАН, 2010, 424 с. 2. А.А.Елисеев, А.В.Лукашин Функциональные наноматериалы М. Физматлит, 2010, 456 с. 3. Д.И.Рыжонков, В.В.Левина Наноматериалы. М. Бином, 2008, 365 с. 4 Т.Ю.Киселева, А.А.Новакова Термоаналитические методы в физике твердого тела. Учебное пособие. Изд. Физич.ф-та. МГУ, 2009, 64 с. 5. Перспективные материалы. www.j-pm.ru/
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. А.А. Новакова, Т.Ю. Киселева Мёссбауэровский практикум. Методы мёссбауэровской спектроскопии в физике твердого тела, ИзФизфак МГУ, 2003. 36 с. 2. А.А. Новакова, Т.Ю. Киселева Высокотемпературная мессбауэровская спектроскопия для исследования неравновесных металлических систем. М. Изд-во Физического ф-та, 1998, 27 с. 3. Новакова А.А, Киселева Т.Ю. Изучение процесса формирования нанокристаллической фазы в аморфном сплаве. Задача спецпрактикума по нанотехнологиям в металлургии. М. Изд-во физического ф-та, 2010, 23 с.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. Novakova A.A., et al., Magnetic anisotropy in Fe3O4-PVA nanocomposites as a result of Fe304-nanoparticles chains formation // J. Magn. Magn. Mater., V. 300, Issue 1, P. e354-

e358 (2006).
2. Novakova A.A et al Fe(In) Solid Solution Formation During Mechanical Attriction //J. of Alloys and compounds, v.434-435, p.455-458 (2007).
3. Киселева Т.Ю., и др. Механосинтез нанокомпозитов корундовая керамика\интерметаллид //Перспективные материалы №6, С.1-10, (2008).
4. Gendler T.S., Novakova A.A., et al. Comparative Analysis of γ-Fe2O3 Nanoparticles Magnetic Interactions in Different Polymeric Nanocomposites //Solid State Phenomena Vol. 152-153, p. 269-272 (2009).
5. Kiseleva T., Novakova A et al Mechanochemically induced formation of amorphous phase at oxide nanocomposite interface //J. Phys.: Conference Series 217, 012106 doi:10.1088/1742-6596/217/1/012106 (2010).

Программное обеспечение и ресурсы в интернете

Univem MS,

Контроль успеваемости

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.
Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.

Фонды оценочных средств

Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для практических (лабораторных) занятий; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросов к зачётам и экзаменам; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	Неделя
Типы функциональных материалов. Методы их получения. Обоснование комплексного подхода к исследованию структурного и фазового состояния композитных материалов и пределы применимости физических методов. Применение электронной и атомно-силовой микроскопии, Рентгендифракционного и рентгеноспектрального анализа, Дифференциального термоанализа, Термомагнитного анализа и Мессбауэровской спектроскопии для исследования этого класса веществ.	1-3
Аморфные сплавы или металлические стекла. Структура, свойства аморфных сплавов.с Применение аморфных материалов Управляемая кристаллизация для получения наноматериалов из аморфного состояния	4
Практическая работа. Задача спецпрактикума: Изучение процесса формирования нанокристаллической фазы в аморфном сплаве.	5
Перспективные керамические материалы и способы их получения. Керамика как альтернативный материал. Классификация керамических материалов. Важнейшие группы керамических материалов: фукциональ-	6

ная, конструкционная керамика.	
Механосинтез. Условия его проведения. Кинетика и механизм прохождения механохимических реакций.	7
Новые композиционные наноматериалы на основе металлов, их окислов и полимеров. Структура и свойства. Основные способы получения нанокомпозитов химическими методами.	8
Семинар: Влияние размера частиц на изменение температур прохождения химических реакций и фазовых превращений.	9
Перспективные материалы на основе углерода. Фуллерены. Строение, химические и физические свойства, способы получения. Перспективы практического использования фуллеренов и материалов на их основе.	10
Углеродные нанотрубки и нановолокна. Структура. Классификация. Методы получения. Перспективные области применения, основанные на свойствах углеродных нанотрубок.	11
Получение нанокомпозитов со встроенными углеродными наноструктурами и их применение.	12
Материалы для магнитных носителей информации. Металл-полимерные композиты. Явление самоорганизации наночастиц в полимерах.	13
Материалы для бионанотехнологий. Получение металл-оксид-полимерных носителей как магнитных носителей лекарств.	14
Примеры комплексных исследований при разработке новых технологий для получения функциональных материалов. Механокомпозиты. Метало-органические комплексные материалы. Нанокоомпозиты с углеродными нанотрубками.	15
Семинар: Перспективные применения функциональных материалов.	16

Актуальные проблемы структурной физики наночастиц

Лекторы: д.ф.-м.н., профессор Илюшин Александр Сергеевич
д.х.н., профессор Губин Сергей Павлович
(кафедра физики твердого тела физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Профильный
Специализация:	Дифракционные и ядерно-резонансные методы исследования конденсированных сред
Семестр:	1
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	16 часов
Семинаров:	18 часов
Практ. занятий:	4 часа
Отчётность:	зачет
Начальные компетен-	М-ПК-1

Аннотация курса

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Среди современных материалов важное место занимают материалы, созданные с использованием наночастиц. Таких материалы обладают широким комплексом физико-химических свойств, позволяющих использовать их в современных технологиях.

Целью изучения данной дисциплины является ознакомление обучающихся с базовыми принципами создания наночастиц и материалов на их основе с физическими и химическими методами получения наночастиц, с методами их стабилизации и методами их исследования.

ции:	
Приобретаемые компетенции:	М-ПК-2, М-ПК-6

Приобретаемые знания и умения	В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные физические принципы формирования наночастиц и методы их исследования. На конкретных примерах обучающийся должен ознакомиться с разнообразными применениями современных материалов, созданных с применением наночастиц.
Образовательные технологии	Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.
Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП	Курс является теоретическим и экспериментальным базисом для развития навыков и умений, приобретенных обучающимся в процессе изучения фундаментальных дисциплин “Физика конденсированного состояния вещества” и “Дифракционный структурный анализ”.
Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего	Специальный физический практикум, научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая и дипломная работа, дисциплины блоков “Дифракционный структурный анализ” и “Физика конденсированного состояния вещества”.
Основные учебные пособия, обеспечивающие курс	1. Суздалев И.П. Нанотехнологии: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006, - 592 с.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры и нанотехнологии. М: Физматлит. 2005. – 416 с. 2. Харрис П. Мир Материалов и технологий. М: 2003 .
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. *Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov A.A.* Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films // Science. 2004. V. 306. № 5696. P. 666-669. 2. *Geim A.K., Novoselov K.S.* The Rise of Graphene // Nature Materials. 2007. V. 6. № 3. P. 183–191.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	
Контроль успеваемости	**Промежуточная аттестация** проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. **Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, актив-

ность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям.

Фонды оценочных средств Контрольные вопросы для текущей аттестации на семинарах; задания для самостоятельной проработки; вопросы и задачи для контрольных работ и коллоквиумов; вопросы к экзамену; темы докладов и рефератов.

Структура и содержание дисциплины

Раздел	**Неделя**
Введение. Роль наночастиц в современной науке и технике.	1
Наночастицы и материалы на их основе. Классификация наночастиц и материалов с их использованием.	2
Методы получения наночастиц. Физические методы синтеза и химические методы синтеза. Специфические методы синтеза отдельных типов наночастиц.	3, 4
Методы стабилизации наночастиц.	5
Координационная химия наночастиц.	6-8
Типы материалов, содержащих наночастицы.	9
Исследование структуры материалов, содержащих наночастицы.	10, 11
Магнитные материалы, созданные с использованием наночастиц.	12-14
Исследование свойств наночастиц и прикладные аспекты физико-химии наночастиц.	15-16

ПРОГРАММЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ КУРСОВ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ДЛЯ БАКАЛАВРОВ. 2019/2020 УЧЕБНЫЙ ГОД

№ гр.	315			
№ сем.	5			
Обязательн. или по выбору	обязательный			
Дисциплина	Дисципли-на профиля	научно-исследоват. семинар		
Нагрузка за семестр	72 ч.	72 ч.		
аудиторная нагрузка	36 ч.	36 ч		
самостоятельная работа	36 ч.	36 ч.		
Название курса	Основы дифракци-онного структур-ного анализа			
Отчетность	зачет	зачет		
ФИО преподавателя	Илюшин А.С. Орешко А.П.	Илюшин А.С. Бровкина Е.А.		
Должность	проф. проф.	проф. доц.		

315				
6				
обязательный	факультатив*			
дисциплина профиля	Факультативная дисциплина			
72 ч	54 ч.			
34 ч	36 ч.			
38 ч	18 ч.			
Кристаллография	Введение в специ-альность			
экзамен	зачет			
Овчинникова Е.Н.	Орешко А.П.			
проф.	проф.			

		обязательный		спецкурс	108 ч	68 ч	40 ч	Структурные дифракционные методы: основы эксперимента	зачет с оценкой	Илюшин А.С. Бровкина Е.А.	проф. доц.
		факультатив*		факультативная дисциплина	54 ч	34 ч	20 ч	Научная визуализация в физике конденсированного состояния. Часть 1	зачет	Козловская К.А.	н.с.
415		обязательный	дисциплина профиля		72 ч.	36 ч.	36 ч	Свойства конденсированных веществ	экзамен	Авдюхина В.М.	доц.
	7				72 ч.	36 ч.	36 ч	Физика реальных кристаллов		Хунджуа А.Г.	проф.
					72 ч.	36 ч.	36 ч	Дифракционный структурный анализ конденсированных сред		Орешко А.П.	проф.
			Спец. физпрактикум		108 ч.	72	36		зачет с оценкой	Акимова О.В. Бровкина Е.А. Киселева Т.Ю. Новакова А.А.	н.с. доц. доц. г.н.с.
		по выбору (2 из 4)	спецкурс кафедры		72 ч.	36 ч.	36 ч	Мессбауэровская спектроскопия: физические основы метода, экспериментальная техника и применение	зачет	Киселева Т.Ю.	доц.
					72 ч.	36 ч.	36 ч	Методы обработки рентгендифракционных данных		Авдюхина В.М.	доц.
					72 ч.	36 ч.	36 ч	Основы физики функциональных магнитных материалов		Илюшин А.С. Терешина И.С.	проф. в.н.с.

		факультатив*	факультативная дисциплина	72 ч.	36 ч.	36 ч	Современные функциональные материалы		Новакова А.А.	г.н.с.
				54 ч.	34 ч.	20 ч.	Научная визуализация в физике конденсированного состояния. Часть 2	зачет	Козловская К.А.	н.с.
415		обязательный	дисциплина профиля	72 ч.	36 ч.	36 ч	Фазовые превращения в металлических сплавах	зачет с оценкой	Хунджуа А.Г.	проф.
8		по выбору (1 из 2)	спецкурс кафедры по выбору	72 ч.	36 ч.	36 ч	Применение рентгеновского излучения для исследования ближнего порядка	зачет	Силонов В.М.	г.н.с.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Физика систем металл-водород		Авдюхина В.М.	доц.
		факультатив*	факультативная дисциплина	54 ч	36 ч.	18 ч	Основные разделы физики конденсированного состояния вещества	зачет	Хунджуа А.Г. Орешко А.П.	проф. проф.

* – факультативный курс, по выбору при желании студента.

Рабочая программа дисциплины
ОСНОВЫ ДИФРАКЦИОННОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА
Авторы д.ф.-м.н., профессор А.С.Илюшин;
д.ф.-м.н., доцент А.П.Орешко

1. Название дисциплины: **Основы дифракционного структурного анализа**

2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Основная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными наперед заданными уникальными свойствами – не может быть решена без развития методов изучения структуры кристаллов. В предлагаемом курсе проводится изложение основ кинематической теории дифракции рентгеновского излучения в совершенных кристаллах, лежащей в основе всего множества методов дифракционного структурного анализа, методов, являющихся единственным надежным путем определения атомно-кристаллической структуры совершенных кристаллов. В рамках курса студенты познакомятся также и с идеологией современного рентгеноструктурного эксперимента в совершенных кристаллах.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2

часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине		В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
	Всего, часы	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	**Всего**	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	**Всего**

Введение Проблема “Состав-структура-свойства твердых тел”. Дифракционный анализ – единственный метод определения атомной структуры вещества.	4	2					2	2		2
Физика рентгеновских лучей Природа рентгеновских лучей. Тормозное и характеристическое излучение. Поглощение, дисперсия, преломление и эффект полного внешнего отражения рентгеновских лучей.	8	2	2				4	4		4
Кинематическая теория дифракции Приближение кинематической теории дифракции. Геометрия дифракционной картины рассеяния кристаллом. Условия Лауэ, сфера Эвальда (отражения). Закон Вульфа-Брэгга и отклонения от закона Вульфа-Брэгга. Способы получения дифракционной картины.	8	2	2				4	2	2	4
Применение рядов Фурье в структурном анализе конденсированных сред Основная задача дифракционного структурного анализа. Дифракционный структурный анализ как преобразование Фурье. Атомная и структурная амплитуда.	12	3	3				6	4	2	6

Лауэвская сумма. Интенсивность спектра дифракционной решетки. Двойная лауэвская сумма. Протяженность и форма узлов обратной решетки конечного кристалла. Интерференционная функция и ее отображение в обратном пространстве. Главные максимумы и диффузный фон. Индексы интерференции. Наложение обратного и волнового пространств.										
Рассеяние излучений атомом Характеристика излучений, используемых в дифракционном структурном анализе. Рентгеновское излучение, медленные и быстрые нейтроны и электроны. Атомная амплитуда рассеяния, длина и поперечное сечение рассеяния.	4	1	1				2	2		2
Интенсивность рассеяния регулярными и искаженными совокупностями атомов Дифракция в геометриях Брэгга и Лауэ. Фактор асимметрии отражения. Интенсивность брэгговского отражения для кристаллической пластинки. Множитель Лорентца. Множитель поглощения. Эффективный объем. Формулы интенсивности для симметричных геометрий Брэгга и Лауэ.	14	2	4				6	8		8

Интенсивность рассеяния поликристаллом. Множитель повторяемости. Первичная и вторичная экстинкции. Поправки для учета экстинкции. Влияние случайных неправильностей решетки на рассеяние рентгеновских лучей. Интенсивность рассеяния искаженными кристаллами: главные максимумы и диффузный фон. Фактор Дебая-Валлера. Основная формула дифракционного структурного анализа.										
Методы дифракционного структурного анализа Методы дифракционного структурного анализа. Классификация экспериментальных методов.	4	1	1				2		2	2
Синхротронное излучение и его применения Синхротронное излучение и его применение для структурных исследований конденсированных сред.	4	1	1				2	2		2
Применения дифракционного структурного анализа Коллимация рентгеновского излучения. Мониторы пучков рентгеновского излучения. Монохроматизация рентгеновского излучения. Элементы рентгеновской оптики. Фокусирующие	8	2	2				4	4		4

геометрии съемки. Применения дифракционного структурного анализа.										
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Роль отечественных ученых в становлении и развитии дифракционного структурного анализа.
2. Обратная решетка.
3. Кинематическое приближение дифракции рентгеновских лучей.
4. Связь атомных рассеивающих факторов электронов и рентгеновских лучей.

5. Основная формула дифракционного структурного анализа.
6. Метод Лауэ.
7. Метод поликристалла.
8. Метод вращения кристалла.
9. Рентгеногониометрические методы.
10. Рентгеновская дифрактометрия.
11. Электронография и нейтронография.

Примеры типов домашних задач:

1. Вывод формулы Френеля.
2. Вывод закона Вульфа-Брэгга для среды с показателем преломления, отличным от единицы.
3. Определение межплоскостных расстояний и углов Брэгга для отражения общего вида (h, k, l) в кристаллах различных сингоний.
4. Вычисление фурье-трансформанты функции плотности ядра и атома.
5. Определение зависимости ширины главного максимума интерференционной функции от толщины кристалла.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Приближения кинематической теории дифракции.
2. Вывод закона Вульфа-Брэгга.
3. Эквивалентность уравнений Лауэ и закона Вульфа-Брэгга.
4. Протяженность и форма узлов обратной решетки конечного кристалла.
5. Сфера Эвальда для конечного кристалла.
6. Основная задача дифракционного структурного анализа.
7. Рассеяние электромагнитных волн многоэлектронным атомом.

Перечень вопросов к зачету:

1. Проблема “Состав-структура-свойства твердых тел”.
2. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение.
3. Поглощение и преломление рентгеновских лучей веществом.
4. Обратная решетка.
5. Приближения кинематической теории дифракции рентгеновского излучения.
6. Геометрия дифракционной картины кристалла: сфера Эвальда, уравнение Лауэ и формула Вульфа-Брэгга.
7. Отклонения от закона Вульфа-Брэгга.
8. Дифракционный структурный анализ как преобразование Фурье.
9. Фазовая проблема дифракционного структурного анализа.
10. Фурье-трансформанта и симметрия функций.
11. Фурье-трансформанта конфигурации объектов.
12. Лауэвская сумма.
13. Протяженность и форма узлов обратной решетки конечного кристалла.
14. Погасания.
15. Изменения фазы при рассеянии и их влияние на структурный множитель.
16. Интерференционная функция и ее отображение в обратном пространстве.
17. Рассеяние электромагнитных волн свободным электроном.
18. Рассеяние электромагнитных волн одноэлектронным атомом.
19. Рассеяние электромагнитных волн многоэлектронным атомом и аномальное рассеяние.
20. Рассеяние электронов атомом.
21. Рассеяние нейтронов атомом.
22. Интенсивность брэгговского отражения для кристаллической пластинки.
23. Множитель поглощения в симметричных геометриях Брэгга и Лауэ.
24. Первичная и вторичная экстинкции. Поправки для учета экс-

тинкции.

25. Интегральная интенсивность рассеяния поликристаллом.
26. Фактор Дебая-Валлера.
27. Основная формула дифракционного структурного анализа.
28. Фильтры и монохроматоры рентгеновского излучения.
29. Сравнение возможностей рентгено-электроно-нейтронографии-СИ для нужд структурного анализа.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. Часть 1. М.: Юрайт, 2017.
2. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. Часть 2. М.: Юрайт, 2017.

Дополнительная литература

1. *Илюшин А.С., Ковальчук М.В.* Столетие открытия дифракции рентгеновских лучей. // Кристаллография. 2012. Т. 57. С. 693.
2. *Фульц Б., Хау Дж.М.* Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов. М.: Техносфера, 2011.
3. *Фетисов Г.В.* Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М.: Физматлит, 2007.
4. *Жданов Г.С, Илюшин А.С., Никитина С.В.* Дифракционный и резонансный структурный анализ. М.: Наука, 1980.
5. *Порай-Кошиц М.А.* Основы структурного анализа химических соединений. М.: Высшая школа, 1982.

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *http://www.ysbl.york.ac.uk/~cowtan/sfapplet/sfintro.html*
- *http://www.ysbl.york.ac.uk/~cowtan/fourier/fourier.html*
- *http://www.crystallography.net/cod/*

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы кинематического приближения теории дифракции

рентгеновского излучения в совершенных кристаллах;

уметь использовать полученные знания для решения прямой задачи рентгеноструктурного анализа совершенных кристаллов;

владеть основными методами расчета картины рассеяния рентгеновского излучения в совершенных кристаллах;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
КРИСТАЛЛОГРАФИЯ
Автор д.ф.-м.н., профессор Е.Н.Овчинникова

1. Название дисциплины: **Кристаллография**

2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация:

Физические свойства вещества находятся в непосредственной связи с его внутренним строением. В связи с изучение особенностей строения конденсированных сред занимает одно из основных мест в данном разделе современной физики. В лекционном курсе содержатся базовые знания о видах конденсированных сред, типах их упорядочения, симметрии. В рамках курса студенты познакомятся с классическим описанием симметрии кристаллов на основе точечных и пространственных групп, а также с современным состоянием теории симметрии и ее приложением к изучению апериодических систем.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (11 часов занятия семинарского типа, 4 часа групповых консультаций, 4 часов индивидуальных консультаций, 2 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часов мероприятия промежуточной аттестации), 38 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

базовые знания по общей физике, геометрии и линейной алгебре

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	**Всего**	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	**Всего**
Операции и элементы симметрии Симметрия в природе. Развитие кристаллографии как науки. Конденсированные среды, различные виды упорядочения. Симметрия кристаллов, периодичность. Эмпирические законы кристаллографии. Элементы точечной симметрии, их обозначение, матричное представление и графическое изображение. Стереографические проекции. Взаимодействие элементов симметрии, теорема Эйлера.	9	2	2	-	-		4	3	2	5
Точечные группы симметрии	7	1	1	-	-		2	3	2	5

Понятие группы, матричные представления групп. Приводимые и неприводимые представления, элементы теории характеров. Построение точечных групп симметрии. Предельные группы симметрии.										
Трансляцинные группы Пространственная решетка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Сингонии. Трансляционные группы, решетки Бравэ. Элементы симметрии с трансляциями. Взаимодействие точечных элементов симметрии с трансляциями	7	1	1	-	-		2	3	2	5
Пространственные группы симметрии Открытые элементы симметрии. Построение пространственных групп симметрии. Симморфные и несимморфные группы. Генераторы групп. Обозначение групп по Герману-Могену. Правильные системы точек.	9	2	2	1	1	1	7	3	2	5
Практические задачи кристаллографии Индицирование узлов, направлений и плоскостей кристаллов. Преобразование индексов при замене системы координат. Симметричные эквивалентные комплексы плоскостей и направлений. Простые формы в кристал-	13	2	2	1	1	1	7	4	2	6

лах. Взаимный векторный базис и обратная решетка. Фундаментальный метрический тезор. Соответствие между узлами обратной решетки и узловыми плоскостями прямой решетки. Связь симметрии прямого и обратного пространств. Пространство Фурье. Обратное пространство – пространство волновых векторов. Зоны Бриллюэна.										
Плотная упаковка одинаковых сфер в пространстве. Типы плотнейших упаковок. Координационные числа , коэффициент упаковки. Координационный многогранник. Полиэдрический метод изображения структур Структурные типы. Рассмотрение наиболее распространенных структурных типов кристаллов: поваренной соли, алмаза, графита и др.	10	1	1	1	1	-	4	4	2	6
Симметрия некристаллических конденсированных сред Непериодические конденсированные среды. Аморфные твердые тела, модель Бернала. Жидкие кристаллы, позиционное и ориентационное упорядочение. Симметрия относительно обращения времени. Шубниковские группы магнитной симметрии. Расширенная ортогональная группа. Магнитная сим-	10	2	2	1	1	-	6	4	2	6

метрия скаляров, векторов и тензоров. Группы цветной симметрии и их магнитная интерпретация. Современное состояние теории симметрии конденсированных сред. Симметрия модулированных структур и группы суперсимметрии. Строение фуллеренов и графена. Симметрия квазикристаллов и мозаики Пенроуза.										
Промежуточная аттестация экзамен	2					2	2			
Итого	**72**	11	11	4	4	2	34			38

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Учебно-методические пособия и учебники:

1. А.С.Илюшин, Е.Н.Овчинникова «Введение в структурную физику конденсированных сред», Изд. Физ. Ф-та МГУ, 2017.
2. Илюшин А.С., Овчинникова Е.Н.. Теоретико-групповые методы в дифракционных исследованиях структуры и свойств твердых тел. М: Изд-во Моск.Ун-та, 1996.
3. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. Часть 1. М.: Юрайт, 2017.
4. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. Часть 2. М.: Юрайт, 2017.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Примеры тем предлагаемых докладов и рефератов:

1. Пространственная симметрия кристаллов.

2. Модулированные структуры, группы суперсимметрии.
3. Симметрия в науке и искусстве.
4. Черно-белая и цветная симметрия.
5. Симметрия в наномире. Фуллерены и графены.
6. Симметрия квазикристаллов.

Примеры типов домашних задач:

1.Найти индекс ребра, по которому пересекаются две грани.

2. Найти грань, которой принадлежат два ребра.

3. Вычисление углов между кристаллографическими направлениями и плоскостями.

4. Вычисление длин векторов прямой и обратной решетки.

5. Расчет межплоскостных расстояний.

6. Построить ковариантные и контравариантные компоненты метрического тензора для гексагональной группы.

7. Найти число независимых компонент тензора диэлектрической проницаемости для моноклинного кристалла.

8.Составить матрицу преобразований миллеровских индексов при замене ромбоэдрической системы координат на гексагональную.

Список контрольных вопросов:

1. Элементы точечных групп симметрии, кристаллические классы.
2. Пространственные группы симметрии, система генераторов и международные обозначения.
3. Прямая и обратная решетка, взаимные базисы.
4. Индицирование узлов, ребер и граней.
5. Основные понятия теории групп.
6. Типы плотнейших упаковок.
7. Симметрия физических свойств кристаллов. Принцип Кюри-Неймана.
8. Расширенная ортогональная группа. Шубниковские группы магнитной симметрии.
9. Современное состояние теории симметрия. Примеры описания симметрии апериодических структур.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Симметрия в природе. Конденсированные среды, различные виды упорядочения.
2. Симметрия кристаллов, периодичность. Эмпирические законы кристаллографии.
3. Пространственная решетка. Ячейка Вигнера-Зейтца.
4. Сингонии. Фундаментальный метрический тензор.
5. Элементы точечной симметрии, их обозначение, матричное представление и графическое изображение.
6. Взаимодействие элементов симметрии, теорема Эйлера.
7. Построение точечных групп симметрии.
8. Понятие группы, матричные представления групп.
9. Трансляционные группы, решетки Бравэ.
10. Элементы симметрии с трансляциями. Взаимодействие точечных элементов симметрии с трансляциями.
11. Построение пространственных групп симметрии.
12. Симморфные и несимморфные группы.
13. Генераторы групп. Правильные системы точек.
14. Взаимный векторный базис и обратная решетка.
15. Соответствие между узлами обратной решетки и узловыми плоскостями прямой решетки. Связь симметрии прямого и обратного пространств.
16. Индицирование узлов, направлений и плоскостей кристаллов. Преобразование индексов при замене системы координат.
17. Симметричные эквивалентные комплексы плоскостей и направлений. Простые формы в кристаллах.
18. Плотная упаковка одинаковых сфер в пространстве. Типы плотнейших упаковок. , коэффициент упаковки.
19.Координационные числа. Координационный многогранник. Полиэдрический метод изображения структур
20.Принципы Неймана и Кюри. Изменение физических свойств при наложении внешних воздействий.
21. Расширенная ортогональная группа. Шубниковские группы магнитной симметрии.
22. Современное состояние теории симметрии конденсированных

сред. Симметрия модулированных структур и группы суперсимметрии.

23.Современное состояние теории симметрии конденсированных сред. Строение фуллеренов и графена.

24. Современное состояние теории симметрии конденсированных сред. Симметрия квазикристаллов и мозаики Пенроуза.

Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П.. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1975 г.

3. Васильев Д.М.. Физическая кристаллография. М.: Металлургия, 1972.

4. Зоркий П. М. Симметрия молекул и кристаллических структур. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986.

4. Егоров-Тисменко Ю.К.. Кристаллография и кристаллохимия. М: КДУ, 2005.

Дополнительная литература

1. Лорд Э.Э., Маккей А.Л., Ранганатан С. М.. Новая геометрия для новых материалов М: Физматлит, 2010 г.

2. Илюшин А.С., Овчинникова Е.Н.. Теоретико-групповые методы в дифракционных исследованиях структуры и свойств твердых тел. М: Изд-во Моск.Ун-та, 1996.

3. Желудев И.С.. Симметрия и ее приложения. М: Атомиздат, 1976.

4. Изюмов Ю.А., Найш В.Е., Озеров Р.П.. Нейтронография магнетиков. М.: Атомиздат, 1981.

5. Шубников А.В., Копцик В.А.. Симметрия в науке и искусстве. М.: Наука, 1972.

Периодическая литература —

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- http://kftt.phys.msu.ru/

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основы основные принципы описания симметрии кристаллов, уметь оперировать с символикой точечных и пространственных групп, решать практически важные задачи кристаллографии, иметь представление о методах описания более сложных объектов (магнитных, модулированных структур, квазикристаллов).

13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
СТРУКТУРНЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ МЕТОДЫ: ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА
Авторы д.ф.-м.н., профессор А.С.Илюшин; к.ф.-м.н. Е.А.Бровкина

1. Название дисциплины: **Структурные дифракционные методы: основы эксперимента**

2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация:

В курсе освещаются основные экспериментальные методы дифракционного структурного анализа. Рассматриваются возможные схемы эксперимента для определения структурных состояний моно- и поликристаллов. Изучаются типы и характеристики источников излучения, монохроматоров, коллиматоров, детекторов. Обсуждаются основные закономерности, связывающие структурные параметры исследуемого объекта, условия эксперимента и параметрыдифракционной картины. Особое внимание уделяется рентгеноструктурному эксперименту.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 108 часов, из которых 85 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (из них 36 часов - занятия семинарского типа), 23 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины: “Аналитическая геометрия”, “Линейная алгебра”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Атомная физика”.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с

указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Введение Связь физических свойств вещества с его структурой. Современные методы исследования структуры вещества. Особое положение дифракционных методов. Основные исторические этапы развития экспериментальных методов структурного анализа.	6	3	2				5		1	1
2. Геометрическое представление кристаллической решетки. Кристалл как упорядоченная	7	3	2				5	2		2

атомная система. Исторический аспект развития представлений о кристаллической структуре. Пространственная решетка - геометрическая модель реальной кристаллической структуры. Элементарная ячейка, типы сингоний, базис ячейки, решетки Браве. Тип структуры. Индицирование узлов, направлений и плоскостей кристаллов, универсальность их записи для различных сингоний. Определение индексов Миллера по заданным координатам узлов, индексам направлений Особенности индицирования гексагональных кристаллов. Кристаллографическая зона, ось зоны, уравнение зональности, вычисление индексов оси зоны.										
3. Природа, источники и спектр рентгеновского излучения. Открытие рентгеновского излучения. Общая схема получения рентгеновских лучей. Природа рентгеновского излучения. Тормозной и характеристический спектры. Закон Мозли. Устройство рентгеновской трубки для структурного анализа, Параметры работы рентгеновской трубки (напряжение, ток накала, ток трубки, мощность) и их влияние	7	3	2				5		2	2

на характеристики рентгеновского спектра Различные формы катода, реальный и эффективный фокус трубки, оптимизация размеров фокуса (тепловой и электронный барьеры). Рентгеновские трубки с вращающимся анодом. Синхротронное излучение рентгеновского диапазона: его характеристики, особенности получения и применения в структурном анализе.										
4. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Виды взаимодействия. Когерентное и некогерентное рассеяние. Рентгеновская флюоресценция, фотоэффект. Линейный, массовый, атомный коэффициенты поглощения. Зависимость массового коэффициента поглощения от порядкового номера элемента и длины волны. Расчет коэффициентов поглощения. Селективные бета-фильтры. Балансный фильтр Росса. Выбор излучения и материала фильтров для рентгеновского эксперимента.	6	3	2				5	1		1
5. Монохроматизация рентгеновского излучения. Принцип работы и недостатки плоских кристалл-монохроматоров. Концентрирующий плос-	7	3	2				5		2	2

кий кристалл-монохроматор. Характеристики кристаллов. Многослойные монохроматоры, рентгеновские зеркала. Область применения многокристальных монохроматоров. Изогнутые кристалл-монохроматоры: Коши Иоганна, Иогансона. Назначение и устройство коллиматоров РИ. Особенности схем монохромотизации при использовании синхротронного излучения.										
6. Регистрация рентгеновского излучения Детекторы РИ. Характеристики детекторов: эффективность, энергетическое разрешение, мертвое время, коэффициент внутреннего усиления. Режимы работы газоразрядного детектора. Пропорциональный счетчик. Твердотельные детекторы: сцинтилляционный и полупроводниковый. Точечные и двумерные детекторы. Фотопленка в качестве двумерного детектора. Требования к детекторам РИ и сравнение их характеристик. Выбор оптимального способа регистрации для выполнения различных структурных задач.	7	3	2				5		2	2

7. Дифракция рентгеновских лучей. Схема Эвальда. Кристалл как дифракционная решетка для РИ: Семейство плоскостей, межплоскостные расстояния, дифракционные индексы отражения, их отличие от индексов Миллера, порядок отражения. Геометрическая интерпретация условия Вульфа-Брэгга, его физический смысл. Обратное пространство и сфера Эвальда как способ определения геометрии дифракционной картины. Построение и свойства обратной решетки. Влияние размера и формы кристалла на форму узла обратной решетки. Обратное пространство поликристалла. Общие принципы построения схем дифракционного эксперимента для моно и поликристаллических объектов.	6	3	2				5	1		1
8. Дифракция на поликристалле.Текстура поликристаллического образца. Метод Дебая, камера Дебая. Интерпретация дифракционной картины с помощью схемы Эвальда. Алгоритм определения типа и размеров кубической элементарной ячейки по дебаеграмме, пример расчета для структуры типа алмаза. Законы погасания для	6	3	2				5	1		1

ГЦК, ОЦК структур. Дополнительные погасания. Пространственные группы. Особенности определения параметров элементарной ячейки для кристаллов некубических сингоний. Текстура поликристаллического образца и причины ее возникновения. Аксиальная текстура: ось и рассеяние текстуры. Обратное пространство образца с текстурой. Изменение дифракционной картины, схема Эвальда для дифракции на поликристалле с текстурой.										
9. Техника рентгеновской дифрактометрии. Дифрактометрия как автоматизация метода Дебая. Устройство дифрактометра: гониометр, первичные и вторичные монохроматоры, щели Соллера, ограничивающие щели, держатель образца, детекторы. Особенности получения дифракционной картины в схемах Брэгга-Брентано и Зеемана-Болина. Реализация Θ-2θ и Θ-Θ геометрии съемки. Оовные характеристики современных дифрактометров, типы используемых приставок к ним. Особенности регистрации интенсивности дифракционных линий, статистические погрешности.	6	3	2				5	1		1

10. Параметры дифракционного спектра. Параметры дифракционного максимума: абсолютная и интегральная интенсивности, полуширина и интегральная ширина, положение максимума, фон. Искажение дифракционного профиля. Инструментальный фактор (понятие об инструментальных функциях) и фактор образца. Метод внешнего стандарта. Понятие об аппроксимирующих функциях и профильном анализе.	6	3	2				5	1		1
11. Определнние размера ОКР и микронапряжений. Понятие ОКР. Уширение дифракционных линий за счет малого размера ОКР (формула Селякова-Шеррера) и микронапряжений (формула Стокса-Уилсона). Разделение вкладов размера ОКР и микронапряжений. Метод Вильямсона-Холла.	6	3	2				5	1		1
12. Задачи рентгеновской дифрактометрии. Определение структуры однофазного образца. Прецизионные методы определения периодов решетки. Определение концентрации компонент в твердом растворе (правило Вегарда). Влияние текстуры образца на дифракционный спектр. Качественный	6	3	2				5	1		1

фазовый анализ. Работа с базой данных ICDD. Чувствительность метода. Понятие о количественном фазовом анализе.										
13. Метод Лауэ. Схема метода Лауэ. Устройство камеры РКСО. Особенности получения и расшифровки эпиграмм и лауэграмм. Гномостереографическая проекция. Сетка Болдырева. Сетка Вульфа. Стандартные проекции (сетки Закса). Решение задачи гониометрии кристаллов методом Лауэ. Построение и анализ гномостереографической проекции кубического кристалла по лауэграмме	6	3	2				5	1		1
14. Метод вращения монокристалла. Устройство камеры РКВ. Особенности установки кристалла. Интерпретация дифракционной картины с помощью схемы Эвальда. Рентгенограммы вращения. Возникновение слоевых линий. Сетка Бернала. Индицирование рефлексов и определение закона погасаний по рентгенограммам вращения. Получение неискаженного изображения плоской обратной решетки. Камера КФОР. Алгоритм расшифровки кфорограмм, определение пространственной груп-	6	3	2				5	1		1

пы.										
15. Просвечивающая электронная микроскопия. Длина волны электронного пучка. Основные узлы просвечивающего электронного микроскопа. Магнитные линзы, аберрации линз. Разрешающая способность электронного микроскопа. Преимущество и ограничения метода. Постоянная прибора, способ ее определения. Дифракционные картины от различных кристаллических объектов, их интерпретация с помощью схемы Эвальда. Алгоритм расшифровки экспериментально полученной точечной электронограммы, Расчет и построение электронограммы от известного кристалла с заданной осью зоны.	8	3	2				5	1	2	3
16. Структурная нейтронография. Принципы и возможности метода. Конструкция нейтронографической установки Анализ дифракционных спектров.	6	3	2				5		1	1

17. Техника безопасности Техника безопасности при работе в области рентгеноструктурного эксперимента. Источники опасности. Способы защиты.	6	3	2				5	1		1
Итого	108	51	34				85	13	10	23

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен презентациями, выдаются учебные пособия из перечня основной литературы.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к занятиям, подготовка докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Становление рентгеноструктурных экспериментальных методв – исторический аспект. Вклад российских ученых.
2. От рентгеновских трубок к синхротронам. Сравнение двух источников рентгеновского излучения и схем структурного эксперимента.
3. Монохроматоры рентгеновского излучения.
4. Детекторы рентгеновского излучения.
5. Устройство рентгеновских порошковых дифрактометров.
6. Метод Лауэ.
7. Метод Дебая.
8. Качественный рентгенофазовый анализ.
9. Основные этапы развития электронной микроскопии.
10. Нейтронография в структурных исследованиях.

Примеры типов домашних задач:

1. Определение индексов плоскости, проходящей через заданные узлы, направления. Вычисление индексов оси зоны.
2. Вычисление массового коэффициента поглощения для химического соединения.
3. Расчет межплоскостных расстояний и углов дифракции для кристалла высшей и средней сингонии.
4. Определение типа и размера элементарной ячейки поликристалла по углам дифракции РИ от однофазного образца.
5. Анализ стереографической проекции кубического кристалла с помощью сетки Вульфа.
6. Оценка вклада размеров ОКР и микронапряжений в уширение дифракционных максимумов по заданным углам и интегральной ширине двух дифракционных максимумов.
7. Расчет структурного фактора и вывод законов погасаний для ОЦК, ГЦК, структуры типа алмаза.
8. Индицирование кольцевой электронограммы.
9. Расчет и построение точечной микроэлектронограммы от известного кристалла с заданной осью зоны.

Список контрольных вопросов:

1. Спектр рентгеновского излучения.
2. Устройство и принцип работы рентгеновской трубки.
3. Зависимость массовый коэффициенты поглощения от длины волны падающего излучения и атомного номера поглотителя.
4. Вывод закона Вульфа-Брэгга.
5. Интерпретация дифракционных картин с помощью обратной решетки и сферы Эвальда для методов Лауэ, вращения, Дебая (в том числе и для образцов с аксиальной текстурой).
6. Схема эксперимета в методе Лауэ. Прямой и обратный метод Лауэ.
7. Влияние формы узла обратной решетки на дифракционную картину.
8. Метод Дебая.
9. Схема Брэгга-Брентано в рентгеновской дифрактометрии.
10. Основные узлы рентгеновского дифрактометра.

11. Параметры дифракционного максимума.
12. Основные причины искажения профиля дифракционного максимума на дифрактограмме.
13. Понятие ОКР. Вывод формулы Селякова-Шеррера.

Перечень вопросов к зачету:

1. Кристаллографическая зона. Условие зональности.
2. Полярный комплекс кристалла. Гномостереографическая проекция. Сетка Вульфа.
3. Стандартные проекции (сетки Закса).
4. Спектр рентгеновского излучения.
5. Устройство и принцип работы рентгеновской трубки.
6. Коэффициент поглощения, его зависимость от длины волны падающего излучения и атомного номера поглотителя.
7. Селективные β-фильтры.
8. Плоские и изогнутые кристалл-монохроматоры.
9. Детекторы рентгеновского излучения.
10. Характеристики детекторов: эффективность, энергетическое разрешение, мертвое время.
11. Классификация методов рентгеноструктурного анализа для моно- и поликристаллов.
12. Метод Лауэ.
13. Метод вращения монокристалла.
14. Метод Дебая.
15. Обратное пространство монокристалла, поликристалла, образца с текстурой.
16. Интерпретация дифракционных картин с помощью схемы Эвальда.
17. Устройство дифрактометра.
18. Особенности схемы Брэгга-Брентано.
19. Причины искажения дифракционного профиля.
20. Задачи, решаемые методами порошковой дифрактометрии.
21. Прецизионные методы определения периодов решетки.
22. Основы качественного рентгенофазового анализа. Чувствительность метода.

23. Уширение дифракционных линий за счет малого размера ОКР. Формула Селякова-Шеррера.
24. Уширение дифракционных линий за счет микронапряжений (формула Стокса-Уилсона.
25. Разделение вкладов размера ОКР и микронапряжений. Метод Вильямсона-Холла.
26. Текстура поликристаллического образца. Дифракционная картина от образца с текстурой.
27. Дифракция электронов. Основные узлы просвечивающего электронного микроскопа.
28. Индицирование кольцевых микроэлектронограмм.
29. Микроэлектронограммы от монокристалла и их расшифровка.
30. Структурная нейтронография.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

3. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. М.: Юрайт. 2017.

4. Физическое материаловедение : учебник для вузов : в 6-х т. / под ред. Б.А. Калина. - М. : МИФИ, 2008.

5. *Фульц Б., Хау Дж. М.* Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов. М.: Техносфера, 2011.

Дополнительная литература

1. *Асланов Л.А.* Инструментальные методы рентгеноструктурного анализа. М. МГУ. 1983.

2. *Хатанова Н.А., Бровкина Е.А* Просвечивающая электронная микроскопия твердых тел и биологических объектов физический факультет МГУ. 2005

3. *Зубенко В.В.* Экспериментальные методы рентгеноструктурного анализа М.:МГУ. 1992.

4. *Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н.* Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия. 1982.

5. *Фетисов Г.В.* Синхротронное излучение. Методы иссле-

дования структуры веществ. М.: Физматлит. 2007

6. *Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф.* Задачи по кристаллографии М.: Физматлит. 2003.

7. *Уманский М.М., Золина З.К.* Сборник задач по рентгеноструктурному анализу. М.: МГУ. 1975.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *http://www.crystallography.net/cod/....*

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основные схемы дифракционного структурного эксперимента для различных кристаллических объектов,

уметь использовать полученные знания для оптимизации физического эксперимента;

владеть основными методами интерпретации и расчета дифракционных картин от моно- и поликристаллов;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Используется программное обеспечение по моделированию картин дифракции, разработанное на кафедре физики твердого тела.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
СВОЙСТВА КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ
Автор к.ф.-м.н. В.М.Авдюхина

1. Название дисциплины: **Свойства конденсированных веществ**

2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация:

В рамках курса общей физики представлены основы физики конденсированного состояния вещества. Рассмотрены основные типы межатомной связи в конденсированных средах, свойства свободного электронного газа, поведение электронов в периодическом потенциале кристаллической решетки, зонная теория металлов, диэлектриков и полупроводников, тепловые и кинетические явления в твердых телах, динамика кристаллической решетки.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Данная дисциплина реализуется в рамках базовой части Блока 1 «Дисциплины (модули)» программы бакалавриата.

Дисциплина «Свойства конденсированных веществ» имеет тесную связь практически со всеми дисциплинами физического цикла и является основополагающей для большого числа профильных дисциплин. Полученные при изучении данного курса знания будут востребованы при изучении многих специальных разделов фундаментальной и прикладной физики, таких как Физика наносистем, Физика новых материалов, Введение в нанотехнологии.

При освоении данной дисциплины необходимо владеть основными понятиями и навыками дисциплин: Математика, Методы математической физики, Квантовая теория, Статистическая физика, Атомная физика, Введение в физику твердого тела, Кристаллография.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Основные вехи развития физики конденсированного состояния. Наиболее яркие открытия последних лет: открытие высокотемпературных сверхпроводников, квазикристаллов, фуллеренов, графена и углеродных нанотрубок, твердотельных открытых систем и	6	2					2	2	2	4

их немонотонной структурной эволюции.										
2. Классификация конденсированных сред. Монокристаллы. Квазикристаллы и несоизмеримые фазы. Монокристаллы с дефектами. Поликристаллы и текстуры. Нанокристаллы. Аморфные твердые тела. Понятие о дальнем и ближнем порядке. Двумерные системы- поверхности и пленки. Жидкости. Жидкие кристаллы. Понятие о полимерах.	4	2					2		2	2
3. Геометрические элементы кристалла. Вектор обратной решетки. Прямая и обратная решетка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Зоны Бриллюэна.	4	2					2	2		2
4. Термодинамическая устойчивость конденсированной системы. Роль свободной энергии. Внутренняя энергия и энтропия. Основное состояние. Межатомные взаимодействия и энергия связи. Трансформация электронной подсистемы атомов при образовании конденсированной среды (кристалла). Потенциалы притяжения, отталкивания и межатомного взаимодействия. Основные типы межатомной связи: Ван-дер Ваальсова, кулоновская (ионная), металлическая, ковалентная и водородная.	4	2					2		2	2

5. Диполь-дипольное взаимодействие и Ван-дер-Ваальсова связь. Энергия притяжения двух дипольных моментов. Потенциал отталкивания. Потенциал Леннарда-Джонса «6-12». Обобщенный потенциал Леннарда–Джонса. Суммирование по решетке (расчет безразмерных сумм). Полная энергия системы. Расчет равновесного межатомного расстояния, удельной энергии и модуля всестороннего сжатия с учетом параметров ε и σ для идеальных газов. Сравнение с экспериментом.	4	2					2		2	2
6. Ион-ионные кулоновские взаимодействия, электростатическая энергия и ионная связь. Константа Маделунга и ее вычисление для ряда типов кристаллических решеток. Сравнение рассчитанных и экспериментальных значений удельной полной энергии для ряда ионных кристаллов. Энергия связи и энергия сцепления.	4	2					2	2		2
7. Металлы в приближении свободных электронов. Простейшие модели металла. Энергия связи – подходы Эвьена и Эвальда для ее расчета. Константы Маделунга для плотно упакованных систем ГЦК, ОЦК, ГПУ. Электропроводность металлов в модели Друде. Эффект	6	2					2	2	2	4

Холла. Электронная теплоемкость. Недостатки теории свободных электронов. Квантовый эффект Холла.										
8. Свободный электронный газ Ферми (СЭГФ) в металле. Одномерный и трехмерный случаи. Фермиевские электроны. Энергия, импульс, скорость и температура фермиевских электронов. Функция Ферми-Дирака. Теплоемкость электронного газа. Электропроводность в представлении СЭГФ. Энергия связи в модели СЭГФ.	4	2					2	2		2
9. Взаимодействие электронного газа с периодическим полем (основы зонной теории). Теорема Блоха, ее доказательство. Свойства квазиимпульса и квазиволнового вектора электрона. Представление о квазичастицах. Зоны Бриллюэна и их построение. Схема представления данных в k-пространстве.	4	2					2	2		2
10. Закон дисперсии и волновые функции электронов. Разрешенные и запрещенные состояния. Классификация твердых тел по энергетическому спектру. Зонная структура металлов, диэлектриков и полупроводников.	3	1					1		2	2

11. Природа носителей тока в полупроводниках. Плотность состояний. Функция Ферми. Собственные полупроводники. Примесные полупроводники. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в полупроводниках. Электропроводность полупроводников.	3	1					1	2		2
12. Магнитные свойства твердых тел. Классификация твердых тел по их магнитным свойствам. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Закон Кюри-Вейсса. Спино-во-обменное взаимодействие.	4	2					2	2		2
13. Динамика кристаллической решетки. Гармоническое приближение. Колебания атомов в одномерной моно- и двухатомной цепочке. Граничные условия. Дисперсионные кривые. Акустические и оптические колебания. Спектр колебаний атомов.	4	2					2		2	2
14. Теплоемкость кристаллов. Закон Дюлонга и Пти. Поведение теплоемкости при низких температурах. Принципы квантовой теории теплоемкости. Приближения Эйнштейна и Дебая. Ангармонизм и тепловое расширение.	4	2					2	2		2

15. Дефекты кристаллической решетки. Точечные дефекты- вакансии и межузельные атомы. Дислокации. Вектор Бюргерса. Краевые и винтовые дислокации. Дефекты упаковки. Границы зерен и поверхности.	4	2					2	2		2
16. Упругие свойства кристаллов. Тензоры напряжений и деформации. Обобщенный закон Гука. Уравнение движения и энергия деформированного тела. Упругие волны в кристаллах. Детерминант Кристоффеля. Соотношения Коши. Устойчивость кристаллической решетки.	6	2					2	2	2	4
Промежуточная аттестация экзамен			2				2			2
Итого	**72**	34	2				36	22	14	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. **Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**.

1. В.М.Авдюхина.// Введение в физику конденсированных сред, препринт физ.факультета МГУ, 1-2 часть, 2014 г.

2. И.В. Золотухин, И. М. Голев, А. В. Нефедов, А. В. Усков // Графены: методы получения и применение, Перспективные материалы, 2010, №5, 5-11.

3. Суворов Э.В., Смирнова И.А.// Межветвевое рассеяние рентгеновского волнового поля в сильно искаженной области упругого поля дислокации, ФТТ, 2010, 52, №2, 241-247.

4. В.Я.Демиховский, Г.А.Вугальтер // Физика квантовых низкоразмерных структур, 2000.

5. Klaus von Klitzing // The Quantized hall effect, Nobel Prise Lecture, (1985).
6. Klaus von Klitzing // Developments in the quantum Hall effect, Phylosophical Transaction of the Royal Society A,363, 2203 (2005).
7. Klaus von Klitzing // 25 Years of Quantum Hall Effect (QHE): A Personal View on the Discovery, Physics and Applications of this Quantum Effect, Seminaire Poincare, 2, 1(2004)
8. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977.
9. Р.М. Уайт. Квантовая теория магнетизма. - М.: Мир, 1972.
10. А.Д, Помогайло, А.С.Розенберг, И.Е.Уфлянд. Наночастицы металлов в полимерах.М.: Химия. 2000. 672 с
11. H.Gleiter // Nanocrystalline Materials //Progress Mater. Sci.-1989.-V.33.-P.223-330.
12. А.И. Гусев // Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2005. 416 с.
13. М.Х. Шоршоров // Ультрадисперсное структурное состояние металлических сплавов.М.: Наука, 2001. –155 с
14. Д.Гратиа// Квазикристаллы. Успехи физ.наук.- 1988. Т.156. - Вып. №2. – С.347.
15. К.С.Новосёлов // Графен: материалы Флатландии // УФН. — 2011. — Т. 181. — С. 1299.
16. А.К.Гейм // Случайные блуждания: непредсказуемый путь к графену // УФН. — 2011. — Т. 181. — С. 1284.

8. **Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.**

Имеются вопросы к экзамену и аттестации; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Вопросы по курсу:

1. Основные условия образования кристаллов. Энергия химической связи. Классификация конденсированных сред.
2. Пространственная решетка кристалла. Кристаллографические

обозначения: узлы, направления, плоскости, индексы Миллера.

3. Системы и сингонии кристаллов, решетки и ячейки Бравэ.
4. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия. Точечные, трансляционные и пространственные группы.
5. Основные типы дефектов кристаллической решетки.
6. Плотнейшие шаровые упаковки. Плотность укаковки.
7. Обратная решетка. Связь прямой и обратной решеток. Ячейка Вигнера-Зейтца.
8. Основные типы межатомной связи: Ван-дер Ваальсова, кулоновская (ионная), металлическая, ковалентная и водородная.
9. Диполь-дипольное взаимодействие и Ван-дер-Ваальсова связь. Потенциал Леннарда-Джонса «6-12».
10. Ион-ионные кулоновские взаимодействия, электростатическая энергия и ионная связь. Константа Маделунга.
11. Кристаллы с ковалентной связью. Основные свойства ковалентной связи. Энергия связи ковалентного кристалла.
12. Металлы в приближении свободных электронов. Простейшие модели металла. Электропроводность металлов в модели Друде. Электронная теплоемкость. Недостатки теории свободных электронов.
13. Свободный электронный газ Ферми в металле.
14. Уравнение Шредингера для твердого тела. Одноэлектронное приближение. Теорема Блоха.
15. Модель Кронига-Пенни.
16. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна.
17. Закон дисперсии и волновые функции электронов. Разрешенные и запрещенные состояния. Электропроводность. Классификация твердых тел по энергетическому спектру.
18. Движение электрона в периодическом поле кристалла под действием внешнего поля. Эффективная масса электрона.
19. Динамика кристаллической решетки. Гармоническое приближение. Колебания атомов в одномерной моно цепочке.
20. Колебания двухатомной линейной цепочки. Дисперсионные со-

отношения. Акустическая и оптическая ветви колебаний.

21. Учет ангармонизма в динамике кристаллической решетки.
22. Квантовый характер колебаний кристаллической решетки. Понятие о фононах.
23. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга и Пти. Трудности классической теории. Функция распределения Планка для фононов.
24. Функция распределения для фононов. Квантовая теория теплоемкости Эйнштейна.
25. Теория теплоемкости Дебая. Температура Дебая.
26. Основные типы полупроводников. Статистика носителей тока в полупроводниках. Распределение основных носителей в собственных и примесных полупроводниках.
27. Собственные полупроводники. Дырки. Примесные полупроводники. Типы примесных полупроводников.
28. Упругие свойства твердых тел. Тензор напряжений и тензор деформаций.
29. Закон Гука. Энергия упругодеформированного тела.
30. Основные типы магнетиков и их характеристики.
31. Влияние магнитного поля на орбитальное движение электронов. Понятие диамагнетизма и парамагнетизма. Влияние магнитной восприимчивости от температуры.
32. Магнитное упорядочение. Доменная структура ферромагнетиков. Магнитная восприимчивость ферромагнетиков.
33. Эффект Холла и квантовый эффект Холла.
34. Дробный эффект Холла.

Вопросы к аттестации:

1. За счет каких взаимодействий стабилизируется кристаллическая структура ионных кристаллов.
2. Может ли быть стабильным кристалл, атомы которого взаимодействуют только со своими ближайшими соседями?
3. В чем состоит природа ковалентной связи.
4. Каков механизм водородной связи.
5. Описать природу взаимодействия Ван-дер-Ваальса.

6. Записать основное уравнение динамики решетки в гармоническом приближении.
7. Перечислить основные свойства решений уравнений динамики решетки.
8. В чем состоит отличие акустических колебаний от оптических.
9. Какой тип решеточных колебаний приводит к поляризации кристалла и почему.
10. Указать свойства волновой функции электронов в кристалле.
11. Сформулировать теорему Блоха.
12. Какие типы квазичастиц могут существовать в кристаллах.
13. В чем состоит механизм образования энергетических зон в кристаллах.
14. Как зонная теория объясняет основное различие металлов и диэлектриков.
15. Изобразить качественно схему энергетических зон полуметалла.
16. Записать соотношение, связывающее вектор скорости электрона и его волновой вектор.
17. Дать определение тензора эффективной массы. Какой вид имеет тензор в кубических кристаллах.
18. В чем состоит механизм рассеяния электронов на колебаниях кристаллической решетки.
19. Перечислить факторы, приводящие к рассеянию электронов в кристалле.
20. Чем отличаются волновая функция поверхностных состояний и волновая функция для идеального кристалла.

Темы рефератов и выступлений:

1. Сверхпроводники, их открытие и применение.
2. Фуллерены.
3. Нанокристаллы.
4. Графен, открытие и применение.
5. Использование нанотехнологий в науке и технике.
6. Квантовый эффект Холла.
7. Модель свободных электронов. Функция распределения электронов. Химический потенциал. Уровень Ферми.

8. Закон Видемана-Франца.Числа Лоренца.
9. Теплопроводность металлов в теории Зоммерфельда.
10. Зонная теория твердых тел. Электрические свойства твердых тел
11. Фононы. Функция распределения фононов. Законы дисперсии для фононов.
12. Функция распределения нормальных колебаний фононов по частотам.
13. Квазикристаллы, их структура и основное ипользование.
14. Свойства обратной решетки. Ячейки Вигнера-Зейтца и их свойства.
15. Силы связи, действующие между атомами или молекулами, составляющими твердое тело. Упругие свойства твердых тел.
16. Тепловые свойства твердых тел.
17. Физическая картина характера изменения температурной зависимости энергии и теплоемкости твердого тела.
18. Дефекты кристаллической решетки. Диффузия в твердых телах.

10. **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

Основная литература

1. А.А. Кацнельсон. // Введение в физику твердого тела МГУ, 1984 г..
2. Займан Дж. // Принципы теории твердого тела. - М.: Мир, 1974 г.
3. Н. Ашкрофт, Н. Мермин.// Физика твердого тела. т. 1, 2. М., Мир, 1979 г.
4. Ч. Киттель // Введение в физику твердого тела. - М.: Наука, 1978 г.
5. Г.С Жданов //Физика твердого тела. - МГУ, 1961 г.
6. В.М. Авдюхина // Введение в физику конденсированного состояния, препринт физ.факультета МГУ в двух частях, 2014 г.

Дополнительная литература

1. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов // Физика твердого тела, “Высшая школа”, 2000 г.
2. У. Харрисон // Теория твердого тела. - М.: Мир. 1972.
3. Ю.И.Сиротин, М.П. Шаскольская // Основы кристаллографии. - М.: Наука, 1975.

11. **Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины**:

- http: fmg.inorg.chem.msu.ru
- http://lectoriy.mipt.ru/course/Physics-Solidstate-13L
- www.sci-lib.org
- www.fizmatlit.narod.ru/webrary/zinenko/zinenko.htm
- http://arxiv.org

12. **Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

В результате освоения дисциплины студент должен знать основные свойства конденсированных веществ; уметь использовать полученные знания при проведении научно-исследовательской работы в рамках подготовки к квалификационной работе; иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

13. **Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости).**

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

Имеется авторское методическое пособие по данному курсу лекций.

14. **Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА РЕАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ
Автор д.ф.-м.н., профессор А.Г.Хунджуа

1. Название дисциплины: **Физика реальных кристаллов**
2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Основная прикладная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными свойствами, получила значительное развитие с приходом нанотехнологий и биотехнологий, которые реально позволяют конструировать и создавать такие материалы, опираясь, в том числе, и на влияние реальной дефектной структуры кристаллов. Поэтому задача не может быть решена без развития методов изучения реальной структуры кристаллов, так как физические свойства кристаллов зависят от состава, атомно-кристаллической и дефектной структуры материалов.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, вы-

полнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Основы дифракционного структурного анализа”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского ти-	Групповые консультации	Индивидуальные кон-	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних	Подготовка рефератов и	Всего
Типы конденсированных сред. Кристаллы. Стекла. Аморфы. Жидкие крсталлы.	6	1	1				2	2	2	4
Кристаллизация. Стеклование. Аморфизация. Термодинамика процесса кристаллицации. Идеаль-	14	3	3				6	6	2	8

ный и реальный кристалл. Динамические и статические дефекты. Ограниченный кристалл. Равновесная форма кристалла. Поверхностная диффузия. Опыт Лукирского.										
Точечные дефекты в металлах. Механизмы образования точечных дефектов. Самодиффузия и диффузия. Восходящая диффузия. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Размерный и валентный факторы. Правило Вегарда.	8	2	2				4	2	2	4
Краевые и винтовые дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Взаимодействие дислокаций. Криволинейные дислокации. Дислокационные петли. Атмосфера примесей. Зуб текучести. Источник Франка - Рида. Наблюдение дислокаций. Ямки травления. Декорирование. Спирали роста. Прямые методы визуализации дислокаций.	12	3	3				6	4	2	6
Двумерные дефекты. Стенки дислокаций. Полигонизация. Плоскости двойникования. Ошибки упаковки. Упорядочение дефектов упаковки. Трехмерные дефекты.	6	2	2				4	2		2
Диаграммы состояний бинарных систем. Непрерывный ряд твердых растворов. Эвтектика. Перитектика. Купол распада. Ретроградное плавление.	16	4	4				8	8		8

Тройные диаграммы состояний. Каноды.	4	1	1				2		2	2
Контроль текущей успеваемости проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов. на 10 неделе проводится контрольная работа с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.	4					2	2	2		2
Промежуточная аттестация экзамен	2			1	1		2			
Итого	72	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.
2. Краевые и винтовые дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Ближний и дальний порядок в твердых растворах.

3. Самодиффузия и диффузия. Восходящая диффузия.
4. Упорядочение дефектов упаковки.
5. Стеклование. Аморфизация. Термодинамика процесса кристаллицации.

Примеры типов домашних задач:

6. Расчёт равновесной концентрации вакансий и внедрённых атомов.
7. Определение типа твёрдого раствора по экспериментальным данным.
8. Расчёт теоретического предела прочности и скалывающего напряжения (начала пластичности).
9. Применение правила фаз Гиббса к двух- и трёхкомпонентным системам

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Кристаллизация. Стеклование. Аморфизация.
2. Статические дефекты.
3. Механизмы образования точечных дефектов.
4. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.
5. Восходящая диффузия.
6. Размерный и валентный факторы.
7. Краевые и винтовые дислокации. Контур и вектор Бюргерса.
8. Атмосфера примесей. Зуб текучести.
9. Наблюдение дислокаций.
10. Ошибки упаковки. Упорядочение дефектов упаковки.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Кристаллизация. Стеклование.
2. Аморфизация.
3. Динамические и статические дефекты.
4. Механизмы образования точечных дефектов.

5. Твердые растворы замещения.
6. Твердые растворы внедрения и вычитания.
7. Восходящая диффузия.
8. Размерный и валентный факторы.
9. Краевые и винтовые дислокации. Контур и вектор Бюргерса..
10. Атмосфера примесей. Зуб текучести.
11. Наблюдение дислокаций.
12. Ошибки упаковки. Упорядочение дефектов упаковки.
13. Поверхностная диффузия. Опыт Лукирского.
14. Стенки дислокаций. Полигонизация.
15. Термодинамические потенциалы. Химический потенциал.
16. Правило фаз Гиббса.
17. Диаграммы состояний. Непрерывный ряд твердых растворов.
18. Диаграммы состояний. Эвтектика.
19. Диаграммы состояний. Перитектика.
20. Диаграммы состояний. Купол распада.
21. Тройные диаграммы состояний.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Жданов Г.С., Хунджуа А.Г. Лекции по физике твердого тела. М. Изд. Моск. ун-та. 1988. 231 с.
2. Уманский Я.С., Скаков Ю.Д. Физика металлов М. Атомиздат. 1978.

Дополнительная литература

1. Кубо Т. Термодинамика. М.: Мир. 1970. 304 с.
2. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ, 1978.
3. Илюшин А.С., Орешко А.П. Дифракционный структурный анализ в 2х частях. М.: Юрайт, 2017.
4. Скрышевский А.*Ф.* Структурный анализ жидкостей и аморфных тел. М.: Высшая школа, 1980.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

http://kftt.phys.msu.ru/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы кинематического приближения теории дифракции рентгеновского излучения в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

уметь использовать полученные знания для решения прямой задачи рентгеноструктурного анализа в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

владеть основными методами расчета картины рассеяния рентгеновского излучения в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
ДИФРАКЦИОННЫЙ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД
Автор д.ф.-м.н., доцент А.П.Орешко

1. Название дисциплины: **Дифракционный структурный анализ конденсированных сред**
2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Основная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными наперед заданными уникальными свойствами, получила значительное развитие с приходом нанотехнологий и биотехнологий, которые реально позволяют конструировать и создавать такие материалы. Однако эта задача не может быть решена без развития методов изучения реальной структуры различных конденсированных сред. В рамках курса проводится изложение особенностей рассеяния рентгеновского излучения в газах, жидкостях, аморфных твердых телах, кристаллах с дефектами и напряжениями, поликристаллах и квазикристаллах, биологических и полимерных объектах.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет

самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Основы дифракционного структурного анализа”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего

Введение Условия применимости кинематической теории рассеяния рентгеновских лучей. Разделение полного рассеяния на структурные максимумы и диффузный фон.	6	1	1				2	2	2	4
Структурный анализ газов, жидкостей и аморфных тел Радиальные функции распределения атомной и электронной плотности. Рассеяние рентгеновского излучения одно- и многоатомным газом. Межмолекулярная и внутримолекулярная дифракция. Рассеяние рентгеновского излучения простыми жидкостями и аморфными телами. Параметры, определяемые по кривым интенсивности. Рассеяние рентгеновского в жидкостях и аморфных телах сложного состава. Радиальные функции распределения межмолекулярной электронной плотности. Фурье-анализ кривых интенсивности. Модельная интерпретация кривых радиального распределения.	14	3	3				6	6	2	8
Малоугловая дифракция рентгеновского излучения Геометрические и весовые инварианты. Определение среднего размера рассеивающих частиц. Информативность малоугловых данных. Рассеяние неоднородной	8	2	2				4	2	2	4

частицей. Малоугловые исследования биологических объектов и полимеров.										
Влияние температуры на картину рассеяния рентгеновского излучения Влияние тепловых колебаний атомов на интенсивность дифракционных максимумов. Фактор Дебая-Валлера. Тепловое диффузное рассеяние моно- и поликристаллами.	12	3	3				6	4	2	6
Рассеяние рентгеновского излучения поликристаллами Определение размеров блоков, областей когерентного рассеяния и величины микродеформаций.	6	2	2				4	2		2
Рассеяние рентгеновского излучения кристаллами с дефектами и напряжениями Влияние точечных и протяженных дефектов на дифракционную картину. Рассеяние на модулированных структурах. Рассеяние кристаллами с дислокациями и дислокационными петлями. Классификация дефектов по Кривоглазу, дефекты I и II типа.	16	4	4				8	8		8
Рассеяние наносистемами Проблемы структурной физики наносистем, решаемые с помощью дифракционных методов.	4	1	1				2		2	2
Контроль текущей успеваемости проводится еженедельно. Крите-	4					2	2	2		2

рии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов. на 10 неделе проводится контрольная работа с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.										
Промежуточная аттестация экзамен	2			1	1		2			
Итого	72	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

6. Кинематическая теория дифракции рентгеновских лучей.
7. Особенности твердого, жидкого и газообразного состояний вещества.
8. Особенности диффузного рассеяния.
9. Основные принципы малоугловой дифракции.
10. Модулированные структуры.
11. Фононные спектры кристаллов.

12. Наноматериалы, способы их получения и свойства.

Примеры типов домашних задач:

10. Рассеяние плоской волны веществом.
11. Рассеяние простыми телами: прямоугольный параллелепипед, пластина, стержень, сферически-симметричное тело.
12. Определение размеров и типа элементарной ячейки кристаллической решетки на поликристаллическом образце.
13. Определение характеристической температуры.
14. Определение пространственной группы симметрии кубического кристалла по рентгенограмме поликристалла.
15. Определение дифракционного уширения линии.
16. Определение степени ближнего порядка в твердых растворах металлов.
17. Расчет рассеяния рентгеновских лучей на одномерно разупорядоченном кристалле.
18. Расчет картины рассеяния рентгеновских лучей на порошке.
19. Расчет картины рассеяния металлами, находящимися в паракристаллическом состоянии.
20. Вычисление фактора Дебая-Валлера в модели Эйнштейна.
21. Вычисление фактора Дебая-Валлера в модели Дебая.
22. Возникновение сверхструктурных максимумов на примере сплава Cu-Au.
23. Вычислить фактор Дебая-Валлера в теории Дебая для кристаллов кубической симметрии.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

11. Приближения кинематической теории дифракции.
12. Вывод закона Вульфа-Брэгга.
13. Зависимость ширины узлов обратной решетки от числа элементарных ячеек вдоль координатных осей.

14. Интенсивность рассеяния беспорядочным скоплением атомов.
15. Интенсивность рассеяния многоатомным газом.
16. Межмолекулярная дифракция.
17. Функция радиального распределения в газе, жидкости и кристалле.
18. Вид дифракционной картины при рассеянии рентгеновских лучей аморфным веществом.
19. Информация, получаемая при рассмотрении рассеяния под малыми углами.
20. Влияние смещений атомов на картину рассеяния под малыми углами.
21. Формула Дебая.
22. Инвариант Порода.
23. Полная длина рассеяния.
24. Радиус инерции.

Перечень вопросов к экзамену:

30. Приближения кинематической теории дифракции рентгеновского излучения.
31. Геометрия дифракционной картины кристалла: сфера Эвальда, уравнение Лауэ и формула Вульфа-Брэгга.
32. Основная формула дифракционного структурного анализа.
33. Функция Лауэ. Зависимость формы узлов обратной решетки от числа элементарных ячеек вдоль координатных осей.
34. Вид дифракционной картины при рассеянии рентгеновских лучей газом.
35. Вид дифракционной картины при рассеянии рентгеновских лучей жидкостью.
36. Вид дифракционной картины при рассеянии рентгеновских лучей аморфным веществом.
37. Внутримолекулярная и межмолекулярная дифракция.
38. Функция радиального распределения в газе, жидкости и кристалле.
39. Основные принципы малоугловой дифракции.

40. Рассеяние растворами частиц.
41. Геометрические и весовые инварианты.
42. Методы расчета инвариантов.
43. Влияние тепловых колебаний на картину рассеяния рентгеновских лучей.
44. Тепловой диффузный фон.
45. Фактор Дебая-Валлера и его вычисление.
46. Интенсивность структурных максимумов и диффузного фона для кристалла конечного размера.
47. Изменение узлов обратной решетки при рассеянии рентгеновских лучей кристаллом малых размеров.
48. Изменение узлов обратной решетки при наличии в кристалле микродеформаций.
49. Области когерентного рассеяния.
50. Метод аппроксимаций.
51. Метод гармонического анализа.
52. Метод полнопрофильного анализа и его модификации.
53. Условия образования полного дальнего порядка.
54. Структурные и сверхструктурные максимумы при наличии дальнего порядка.
55. Вид дифракционной картины при наличии ближнего порядка.
56. Линейный и квадратичный размерный эффекты.
57. Вид дифракционной картины при наличии вакансий.
58. Вид дифракционной картины при рассеянии рентгеновских лучей стареющими сплавами.
59. Дифракционные эффекты при наличии в образце деформационных дефектов упаковки.
60. Структурные максимумы и сателлиты при наличии в сплаве модулированной структуры.
61. Дефекты первого и второго класса.
62. Дифракционные эффекты при наличии дефектов первого класса.
63. Дифракционные эффекты при наличии дефектов второго

класса.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

6. *Иверонова В.И., Ревкевич Г.П.* Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ, 1978.
7. *Свергун Д.И., Фейгин Л.А.* Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние. М.: Наука, 1986.
8. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. Часть 1. М.: Юрайт, 2017.
9. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. Часть 2. М.: Юрайт, 2017.

Дополнительная литература

6. *Скрышевский А.Ф.* Структурный анализ жидкостей и аморфных тел. М.: Высшая школа, 1980.
7. *Китайгородский А.И.* Рентгеноструктурный анализ. М.: ГИТТЛ, 1950.
8. *Китайгородский А.И.* Рентгеноструктурный анализ мелококристаллических и аморфных тел. М.: ГИТТЛ, 1952.
9. *Кривоглаз М.А.* Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами. М.: Физматгиз, 1967.
10. *Кривоглаз М.А.* Диффузное рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов на флуктуационных неоднородностях в неидеальных кристаллах. Киев: Наук. Думка, 1984.
11. *Trewhella J., Duff A.P., Durand D. et. al.,* 2017 publication guidelines for structural modelling of small-angle scattering data from biomolecules in solution: an update. // *Acta Cryst.* (2017). D73, 710-728.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *https://www.embl-hamburg.de/biosaxs/software.html*

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы кинематического приближения теории дифракции рентгеновского излучения в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

уметь использовать полученные знания для решения прямой задачи рентгеноструктурного анализа в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

владеть основными методами расчета картины рассеяния рентгеновского излучения в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ
Автор д.ф.-м.н., профессор А.Г.Хунджуа

1. Название дисциплины: **Фазовые превращения в металлических сплавах**
2. Уровень высшего образования – ***бакалавриат***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Основная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными наперед заданными уникальными свойствами, получила значительное развитие с приходом нанотехнологий и биотехнологий, которые реально позволяют конструировать и создавать такие материалы. Однако эта задача не может быть решена без развития методов изучения реальной структуры различных конденсированных сред. В рамках курса проводится изложение особенностей рассеяния рентгеновского излучения в газах, жидкостях, аморфных твердых телах, кристаллах с дефектами и напряжениями, поликристаллах и квазикристаллах, биологических и полимерных объектах.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Основы дифракционного структурного анализа”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Термодинамические потенциалы.	6	1	1				2	2	2	4

Правило фаз Гиббса. Классификация фазовых переходов. Симметрия и фазовые переходы.										
Статистический расчет бинарных систем. Энергия связи. Энтропия смешения. Концентрационная зависимость потенциала Гиббса. Правило общих касательных. Вывод основных типов диаграмм состояний бинарных систем. Температурная зависимость растворимости.	14	3	3				6	6	2	8
Упорядочение атомно-кристаллической структуры. Дальний порядок. Теория Брэгга - Уильямса. Представление о ближнем порядке. Степень ближнего порядка.	8	2	2				4	2	2	4
Взаимная растворимость металлов. Валентный и размерный факторы. Эмпирические правила Юм-Розери. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Равновесные и метастабильные твердые растворы. Диффузия в металлах. Законы Фика. Поверхностная и зернограничная диффузия. Эффект Киркендала. Реактивная диффузия. Диффузия в поле упругих напряжений. Атомная теория диффузии.	12	3	3				6	4	2	6
Основные закономерности распада твердых растворов. Зоны Гинье -	6	2	2				4	2		2

Престона. Дисперсионное твердение. Непрерывный и прерывистый механизмы распада. Рост и коалесценция частиц. Теория Лившица - Слезова.										
Мартенситное превращение как основной механизм реализации полиморфизма. Основные закономерности мартенситных превращений. Термодинамика мартенситных превращений. Упругие свойства кристаллов. Аномалии упругих модулей. Анизотропное отношение. Механизм мартенситных превращений. Деформация с инвариантной плоскостью. Сдвиг. Двойникование. Предмартенситные эффекты. Два типа неустойчивости *ОЦК* решеток.	16	4	4				8	8		8
Теория спинодального распада.	4	1	1				2		2	2
Контроль текущей успеваемости проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов. на 10 неделе проводится контрольная работа с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.	4					2	2	2		2
Промежуточная аттестация	2			1	1		2			

Зачет с оценкой										
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

13. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.
14. Правило фаз Гиббса.
15. Ближний и дальний порядок в твердых растворах.
16. Упорядочение атомно-кристаллической структуры.
17. Упорядочение дефектов упаковки.
18. Классификация фазовых переходов
19. Симметрия и фазовые переходы.

Примеры типов домашних задач:

1. Применение правила фаз Гиббса к двух- и трёхкомпонентным системам
2. Построение купола распада в простейшей бинартой системе.
3. Расчет поправки к энтропии смешения за счет наличия структурных вакансий.
4. Расчет поправки к энтропии смешения за счет наличия изотопов.
5. Изменения дифрактограмм как результат упорядочения атомной структуры в сплавах AuCu и $AuCu_3$.
6. Построение химической спинодали в бинартой системе.

7. Изменения дифрактограмм в процессе спинодального распада.
8. Расчет диффузионных потоков на границе медь – латунь (эффект Киркендала).

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Термодинамические потенциалы. Химический потенциал.
2. Правило фаз Гиббса.
3. Классификация фазовых переходов.
4. Симметрия и фазовые переходы.
5. Статистический расчет бинарных систем. Энергия связи.
6. Статистический расчет бинарных систем. Энтропия смешения.
7. Правило общих касательных.
8. Вывод основных типов диаграмм состояний бинарных систем.
9. Температурная зависимость растворимости.
10. Упорядочение атомно-кристаллической структуры. Дальний порядок.
11. Упорядочение атомно-кристаллической структуры. Теория Брэгга - Уильямса.
12. Представление о ближнем порядке. Степень ближнего порядка.
13. Фазовые превращения в твердом состоянии. Гомогенные и гетерогенные превращения.
14. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.
15. Восходящая диффузия.
16. Размерный и валентный факторы.
17. Диффузия в металлах. Законы Фика.
18. Поверхностная и зернограничная диффузия. Эффект Кир-

кендала. Реактивная диффузия.

19. Диффузия в поле упругих напряжений.
20. Атомная теория диффузии.
21. Мартенситное превращение как основной механизм реализации полиморфизма.
22. Основные закономерности мартенситных превращений.
23. Термодинамика мартенситных превращений.
24. Механизм мартенситных превращений. Деформация с инвариантной плоскостью. Сдвиг.
25. Двойникование мартенситных кристаллов.
26. Упругие свойства кристаллов.
27. Аномалии упругих модулей. Анизотропное отношение.
28. Предмартенситные эффекты. Два типа неустойчивости *ОЦК* решеток.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

3. Жданов Г.С., Хунджуа А.Г. Лекции по физике твердого тела. М. Изд. Моск. ун-та. 1988. 231 с.
4. Уманский Я.С., Скаков Ю.Д. Физика металлов М. Атомиздат. 1978.
5. Кубо Т. Термодинамика. М.: Мир. 1970. 304 с.
6. Миронова Г.А. Конденсированное состояние вещества. т. 1. М.: Физический факультет МГУ, 2004. 532 с.
7. Урусов В.С., Еремин Н.Н. Кристаллохимия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010, 256 с.
8. Лободюк В.А., Эстрин Э.И. Мартенситные превращения - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 352 с.

Дополнительная литература

1. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ, 1978.
2. Илюшин А.С., Орешко А.П. Дифракционный структурный анализ в 2х частях. М.: Юрайт, 2017.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

1. http://kftt.phys.msu.ru/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы кинематического приближения теории дифракции рентгеновского излучения в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

уметь использовать полученные знания для решения прямой задачи рентгеноструктурного анализа в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

владеть основными методами расчета картины рассеяния рентгеновского излучения в газах, жидкостях, аморфных телах, поликристаллах, реальных кристаллах с дефектами;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ: ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ПРИМЕНЕНИЕ
Автор д.ф.-м.н. Т.Ю.Киселева

1. Название дисциплины: ***Мессбауэровская спектроскопия: физические основы метода, экспериментальная техника и применение***
2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***
4. Аннотация:

   Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ «Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения» и «Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы»

   Мессбауэровская спектроскопия, основанная на эффекте резонансного поглощения гамма-излучения в веществе, является важнейшим методом исследования для решения различных задач в физике, химии, технологии новых материалов, биологии и геологии. В основе методических возможностей метода лежит возможность наблюдать сверхтонкую структуру, вызванную взаимодействием ядра ядра с внеядерными электрическими и магнитными полями. В предлагаемом курсе проводится изложение физических основ метода, с помощью которого можно изучать динамические свойства, структурное, валентное и зарядовое состояние мессбауэровского атома, фазовый состав, особенности атомной, кристаллической, магнитной и электронной структур исследуемого вещества. Лекционный курс знакомит с практическими аспектами современного мессбауэровского эксперимента и его развитием с появлением синхротронных источников. Курс включает обсуждение подходов к аналитической обработке мессбауэровских спектров и интерпретации, рассматриваются конкретные примеры мессбауэровских исследований.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается соглас-

но рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 часов индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерий формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов, рефератов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия: ля освоения дисциплины предварительно необходимо освоение следующих дисциплин и практики:

“Математический анализ”, Электромагнетизм”, “Оптика”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Квантовая теория”, “Атомная физика”, «Кристаллография», «Свойства конденсированных веществ”

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Физические основы метода. Физические основы эффекта Мессбауэра. Характеристики атомного ядра и ядерный энергетический переход. Испускание и поглощение гамма квантов ядрами и форма линий. Резонансное поглощение и флюоресценция гамма излучения. Энергия отдачи. Эффект Допплера. Сравнение электронных и ядерных переходов Сечение резонансного поглощения. Эффект Мессбауэра. Вероятность эффекта. Фактор Лэмба-Мессбауэра. Мессбауэровские изотопы. Схемы распада. Основные характеристики наиболее часто используемых мессбауэровских изотопов.	4	2					2	2		2
Техника мессбауэровского эксперимента. Схема стандартного (традиционного) мессбауэровского эксперимента. Геометрии эксперимента. Мессбауэровские источники. Характеристики источников.	8	2	2				4	4	4	

Принцип работы мессбауэровского спектрометра. Современные мессбауэровские спектрометры. Способы задания скоростного режима и регистрации спектров. Мессбауэровский спектр. Калибровка спектрометра. Эффективная толщина поглотителя. Эффекты насыщения. Форма линии излучения, поглощения и резонансной линии. Геометрические эффекты в мессбауэровских спектрах. Качество спектра и оптимизация эксперимента. Мессбауэровская спектроскопия.										
Сверхтонкие взаимодействия и мессбауэровские параметры. Электрическое монопольное взаимодействие. Изомерный (химический) сдвиг. Волновые функции и плотность электронов на ядре. Характерные изомерные сдвиги в железосодержащих соединениях. Эффект Допплера второго порядка. Температурная зависимость изомерного сдвига Электрическое квадрупольное взаимодействие. Градиент электрического поля. Квадрупольные моменты ядер и их взаимодействие с градиентом электрического поля (ГЭП) в кристаллах. ГЭП, обусловленный окружающими ионами. ГЭП, создаваемый ва-	4	1	1				2	2		2

лентными электронами. Влияние температуры. Эффекты экранирования.										
Сверхтонкие взаимодействия и мессбауэровские параметры. Магнитное дипольное взаимодействие. Магнитные моменты ядра и эффективное магнитное поле. G-факторы основного и возбужденного состояний ядра. Формирования эффективного магнитного поля в области расположения ядра. Спектр 57Fe. Происхождение магнитного сверхтонкого поля на ядрах железа. Знак сверхтонкого поля. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие. Температурная зависимость сверхтонкого поля. Особенности спектров ферро-, ферри- и антиферромагнетиков. Интенсивности гамма-переходов между расщепленными СТВ основным и возбужденным состояниями ядра. Поляризационные и угловые характеристики отдельных сверхтонких переходов в магнитоупорядоченном состоянии образца. Соотношение интенсивностей линий в мессбауэровском спектре как характеристика магнитной текстуры.	8	2	2				4	2	2	4

Экспериментальная техника температурных мессбауэровских измерений. Низкотемпературный мессбауэровский криостат. Температурные зависимости сверхтонких параметров мессбауэровских спектров. Изучение размерных характеристик образцов, фазовых переходов. Высокотемпературные мессбауэровские измерения. Печь для мессбауэровских измерений.	8	2	2				4	2	2	4
Конверсионно-электронная мессбауэровская спектроскопия Регистрация ядерно-резонансного поглощения по выходу рентгеновского излучения и конверсионных электронов. Детектор конверсионных электронов и конверсионного рентгеновского излучения. Функции выхода. Взаимодействие электронов с веществом. Неразрушающий послойный анализ вещества. Мобильная мессбауэровская спектроскопия. Миниатюрный мессбауэровский спектрометр.	4	1	1				2	2		2
Методы обработки и анализа мессбауэровских спектров. Методы извлечения информации из мессбауэровских спектров. Комплексный подход к обработке спектров и роль априорной информации. Аналитическая обработка мессбауэровских спектров.	4	1						2	2	2

Модельная расшифровка. Восстановление функций распределения параметров спектра. Комплексный подход. Современные программные комплексы для обработки мессбауэровских спектров										
Применение мессбауэровской спектроскопии. Мессбауэровская спектроскопия сплавов. Спектры твердых растворов железа и их интерпретация. Концентрационные зависимости магнитного сверхтонкого поля и изомерного сдвига. Определение концентрации твердого раствора. Спектры железо-углеродных фаз. Принципы количественного фазового анализа. Особенности мессбауэровских спектров аморфного и наноструктурного состояния. Влияние степени упорядочения на параметры мессбауэровского спектра. Исследование многокомпонентных систем. Изучение процессов релаксации и кристаллизации. Высокотемпературная мессбауэровская спектроскопия “in situ” для анализа структурных и магнитных превращений в аморфных сплавах. Определение состояния атомов железа в силикатных стеклах.	4	2						2	2	2
Применение мессбауэровской спектроскопии. Мессбауэровская	4	2					2	2		2

спектроскопия в нанотехнологиях. Высокодисперсные вещества и влияние размера частиц на сверхтонкие параметры спектра. Суперпарамагнитная релаксация. Модельные подходы к интерпретации спектров. Мессбауэровская спектроскопия оксидов железа. Мессбауэровская спектроскопия как метод мониторинга технологических процессов синтеза материалов. Применение Мессбауэровской спектроскопии в механосинтезе нанокомпозитов. Мессбауэровская спектроскопия катализаторов и продуктов катализа. Изучение железосодержащих катализаторов синтеза углеродных наноматериалов										
Применение мессбауэровской спектроскопии в химии координационных соединений и для изучения биологических молекул. Мессбауэровская спектроскопия координационных соединений. Изучение температурных, оптически индуцированных спиновых переходов. Мессбауэровская спектроскопия гибридных систем. Взаимодействие гамма-излучения с биологическими средами. Особенности проведения эксперимента. Мессбауэровская спектроскопия гемовых протеинов.	4	1	1				2	2		2

Применение мессбауэровской спектроскопии для решения геологических, археологических и минералогических задач. Мессбауэровские спектры некоторых минералов. Эффекты замещения и разупорядочения. Мессбауэровская спектроскопия на ядрах примесных атомов. Зондовая мессбауэровская спектроскопия.	4	2					4	2	2	4
Развитие мессбауэровской спектроскопии с появлением синхротронных источников. Мессбауэровские эксперименты на синхротронных источниках. Схема эксперимента. Синхротронный мессбауэровский источник, системы монохроматизации и фокусировки. Сравнение особенностей и возможностей эксперимента на синхротронном и лабораторном источниках. Мессбауэровские спектры на временной шкале. Извлекаемая информация.	4	1	1				2		2	2
Промежуточная аттестация Проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерий формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями лекций.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов, написание рефератов по периодическим источникам.

Примеры темы рефератов и докладов.

1. Мессбауэровская спектроскопия в технологиях создания новых материалов и исследовании их функциональных свойств.
2. Мессбауэровская спектроскопия в магнитных полях и при высоких давлениях.
3. Миниатюрный мессбауэровский спектрометр и использование мессбауэровской спектроскопии в исследовании Марса.
4. Возможности мессбауэровской спектроскопии в исследованиях археологических объектов и предметов искусства
5. Мессбауэровский микроскоп
6. Зондовая мессбауэровская спектроскопия.

Примеры типов домашних задач:

1. Провести расчет калибровки спектрометра для разных амплитуд движения источника относительно поглотителя.
2. Оценить погрешность в определении основных параметров спектра.
3. Рассчитать эффективную толщину поглотителя по заданным параметрам.
4. Оценить качество предложенного спектра. Сделать предложения по его улучшению.
5. Оценить величину температурного сдвига мессбауэровской линии для ядер железа.
6. Провести количественный фазовый анализ в предложенном спектре, используя программу обработки.

7. Определить валентность железа в исследуемом образце по мессбауэровскому спектру.
8. Выявить типы магнитного состояния фаз в мессбауэровском спектре композитного материала.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. Для экзамена – уровень знаний всего курса.

Список контрольных вопросов:

1. Мессбауэровская спектроскопия. Физические принципы эффекта резонансного поглощения гамма излучения веществом.
2. Мессбауэровские изотопы. Мессбауэровские источники и их основные характеристики. Схемы распада.
3. Схема мессбауэровского эксперимента. Варианты.
4. Разрешающая способность метода
5. Динамические свойства мессбауэровских ядер. Вероятность эффекта. Фактор Лэмба-Мессбауэра.
6. Сверхтонкие взаимодействия и параметры мессбауэровского спектра.
7. Достоинства и недостатки метода мессбауэровской спектроскопии.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Мессбауэровская спектроскопия: основы метода, принципы устройства приборов, обработка и интерпретация данных измерений
2. Характеристики ядерных уровней 57Fe (энергия, среднее время жизни, ширина, спин, четность в основном и возбужденном состоянии).
3. Фактор Лэмба-Мессбауэра и методы его измерения.
4. Преимущества эффекта Мессбауэра при изучении среднеквадратичных смещений атомов в нанокристаллических и аморфных соединениях (по сравнению с рентгендифракционными)
5. Динамические свойства мессбауэровских ядер. Вероятность

эффекта и колебательный спектр ядра. Температурный сдвиг мессбауэровской линии и колебательный спектр ядра. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии. "Эффект насыщения".

6. Интенсивность линий мессбауэровского спектра. Влияние магнитной текстуры образца.
7. Электронная конфигурация и изомерный сдвиг мессбауэровской линии
8. Электрическое квадрупольное сверхтонкое взаимодействие. Квадрупольные моменты ядра и тензор градиента электрического поля.
9. Магнитное сверхтонкое взаимодействие. Магнитные моменты ядра и эффективное магнитное поле. G-факторы основного и возбужденного состояний ядра. Механизмы формирования эффективного магнитного поля в области расположения ядра. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие
10. Суперпарамагнитная релаксация. Определение размеров частиц по релаксационным мессбауэровским спектрам.
11. Конверсионная мессбауэровская спектроскопия. Принцип работы детектора конверсионных электронов. Вероятности выхода электронов с различных глубин. Принципы послойного анализа.
12. Высокотемпературная мессбауэровская спектроскопия “in situ”. Температурные зависимости параметров спектра. Исследование магнитных фазовых переходов.
13. Методы обработки мессбауэровских спектров. Модельная расшифровка. Роль априорной информации при построении модели. Построение и анализ функций распределения сверхтонких параметров спектров.
14. Мессбауэровская спектроскопия твердых растворов.
15. Мессбауэровские спектры кристаллических и аморфных ферромагнетиков.
16. Мессбауэровская спектроскопия наноструктурных материалов и наночастиц. Эффекты суперпарамагнитизма малых ча-

стиц и параметры спектра.

17. Релаксационные эффекты в мессбауэровских спектрах. Модели обработки релаксационных спектров.
18. Особенности эффекта Мессбауэра и трудности возбуждения резонансных уровней ядер СИ
19. Устройство и параметры современной станции ядерного резонансного рассеяния, основные элементы, схема мессбауэровского эксперимента и его особенности.

10.Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Шпинель В.С. Гамма-резонанс лучей в кристаллах. Наука, 1969.
2. Химические применения мессбауэровской спектроскопии. Под ред. Гольданского В.И. // М.: Мир, 1970. – 502 с.
3. Русаков В.С. Основы мессбауэровской спектроскопии. М.МГУ. Физический факультет. 2011.290с.
4. Кузьмин Р.Н., Новакова А.А. Мессбауэровская конверсионная спектроскопия 1989 МГУ. 72 с
5. Новакова А.А, Киселева Т.Ю. Мессбауэровский практикум. Методы мессбауэровской спектроскопии в физике твердого тела. М. МГУ.2003 41 с.

Дополнительная литература

1. *Мёссбауэровская спектроскопия: необычные применения метода.* Под. ред. У. Гонзера. Пер. с англ. под ред. В.И. Гольданского и Р.Н. Кузьмина. М.: «Мир», 1983. Глава YII.
2. *Суздалев И.*П. Гамма резонансная спектроскопия белков и модельных соединений. М.Наука 1988.263 с.
3. Белозерский Г.Н. Мессбауэровская спектроскопия как метод исследования поверхности. М.Энергоатомиздат. 1990. 352 с.
4. Овчинников В.В. Мессбауэровские методы анализа атомной и магнитной структуры сплавов. М.Физматлит 2002. 254 с.
5. Киселева Т.Ю., Новакова А.А. Методика высокотемпературной мессбауэровской спектроскопии для исследования неравновесных металлических систем. М. МГУ.. 1998. 27с
6. Надь Д., Вертеш А. Мессбауэровская спектроскопия заморожен-

ных растворов: Пер. с англ // М.:Мир, 1998. – 398 с.
7. Gutlich P., Eckhard B., Trautwein A. Mossbauer spectroscopy and transition metal chemistry, Springer Verlag (2010)

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

1. http://orgs.unca.edu/medc/Resources.html
2. http://www.ak-klingelhoefer.chemie.uni-mainz.de/

11.Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать фундаментальные основы гамма-резонансной спектроскопии и структуру мессбауэровского эксперимента.

Уметь использовать полученные знания для решения задач по исследованию материалов разного структурного, размерного и магнитного состояния

Владеть основными методами обработки экспериментальных данных и их интерпретации

Иметь опыть деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Для практического освоения к курсу имеется программное обеспечение для аналитической обработки мессбауэровских спектров.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана). Ознакомление с практическими аспектами мессбауэровского эксперимента осуществляется в реальной научной мессбауэровской лаборатории физического факультета, оснащенной всем необходимым экспериментальным оборудованием.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕНТГЕНДИФРАКЦИОННЫХ ДАННЫХ
Автор к.ф.-м.н. В.М.Авдюхина

1. Название дисциплины: **Методы обработки рентгендифракционных данных**

2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация:

Целью курса является ознакомление студентов с основными компьютерными программами и методами обработки экспериментальных рентгеновских спектров, получаемых с помощью рентгеновских дифрактометров, владение современными профессиональными знаниями и опытом в области компьютерной обратотки экспериментальных данных с целью их применения для решения практических задач при исследовании структуры и свойств физических объектов.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Дисциплина «Методы обработки рентгендифракционных данных» имеет тесную связь с дисциплинами физического цикла и является

основополагающей для большого числа профильных дисциплин. Полученные при изучении данного курса знания будут востребованы при изучении многих специальных разделов фундаментальной и прикладной физики, таких как: Физика наносистем, Физика новых материалов, Рентгеновская дифрактометрия, рентгеновский практикум.

При освоении данной дисциплины необходимо владеть основными понятиями и навыками дисциплин: Кристаллография, Структурные дифракционные методы: основы эксперимента, Структура металлических фаз и соединений, Основные разделы физики конденсированного состояния вещества, Дифракционный структурный анализ конденсированных сред.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского ти-	Групповые консультации	Индивидуальные кон-	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних	Подготовка рефератов и	Всего
Основные цели и задачи курса.	4	2					2	2		2

Связь дисциплины с другими дисциплинами учебного процесса. Постановка задачи обработки экспериментальных данных с помощью компьютерных методов. Связь задачи обработки экспериментальных спектров с планированием рентгеновского эксперимента. «Базовые» аппроксимирующие функции (Гаусс, Лоренц). Реалистичные аппроксимирующие функции (pseudo-Voigt, Pearson VII). Учет асимметрии профиля дифракционной линии. Случай немонохроматического излучения (λ_1/λ_2). Понятие о методе фундаментальных параметров.										
Знакомство с пакетом программ «ORIGIN». Импорт экспериментальных данных в программу. Построение графиков. Знакомство со сглаживающим методом Савицкого-Галая. Выбор количества точек сглаживания. Разложение рентгеновских спектров на составляющие. Понятие о невязке. Расчет ошибок. Критерий разложения спектра на составляющие. Корректное определение угла дифракции, интегральной ширины и интегральной интен-	13	2	4	1			7	4	2	6

сивности из данных программы «ORIGIN». Корректный учет фона дифракционной линии. Учет многопиковости дифракционного максимума. Нахождение центра тяжести кривой. Прецизионное нахождение периодов решетки в сплавах с использованием методов аппросимирующих функций										
Знакомство с программой Fityk. Особенности ввода экспериментальных данных в программу. Учет и вычитание фона (функция лупы). Разделение перекрывающихся пиков, подбор параметров методом наименьших квадратов с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта и метода Нелдера-Мида. Понятие инструментальной ширины дифракционной линии. Особенности нормировки при использовании функций типа Gaussian, Loretzian, Pearson 7, Voigt, Pseudo-Voigt и сравнение ее с программой Origin.	13	2	4			1	7	2	4	6
Особенности применения метода аппроксимаций при определении размеров блоков мозаики и величины микродеформаций в программе Fityk. Учет особенности нормировки	12	2	4				6	2	4	6

при использовании функций типа Gaussian, Loretzian, Pearson 7, Voigt, Pseudo-Voigt.										
Основы метода вейвлет – анализа. Анализ обработки экспериментальных спектров для слабых дифракционных максимумов. Знакомство с работой программы «Smoother». Разложение сигнала по базису вейвлетов. Выбор порогового значения шума для каждого уровня разложения. Пороговая фильтрация коэффициентов детализации. Реконструкция сигнала.	12	3	3				6	2	4	6
Метод Ритвельда. Математическая основа метода. Уточняемые параметры в методе Ритвельда. Профильная функция, практические советы по схеме уточнения профильных коэффициентов. Рекомендованная последовательность уточнения параметров. Факторы недостоверности, ограничения. Корреляция между параметрами: примеры, матрица корреляции. Стандартные отклонения уточняемых параметров. Разностный Фурье-синтез.	12	3	3				6	2	4	6
Программы для уточнения структуры методом Ритвельд: GSAS,	6	2					2		4	4

Fullprof, Rietan, Topas, Jana, Siroquant. Особенности их работы.										
Промежуточная аттестация зачет			2				2			2
Итого	**72**	16	18	1		1	36	14	22	36

** Текущий контроль успеваемости реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций.*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс имеет электронную версию для презентации в формате PDF. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Занятия проводятся в дисплейном классе кафедры.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

(приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений).

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Основные методы вейвлет-анализа и их использование в различных областях науки и техники.
2. Дифракционное уширение линий. Метод аппроксимаций.
3. Дифракционное уширение линий. Метод гармонического анализа.
4. Дифракционное уширение линий. Метод моментов.
5. Основные методы структурного анализа и их использование для определения структурных характеристик материалов.
6. Алгоритмы решение задач при помощи МНК.
7. Прецизионные методы определения параметров элементарной ячейки.
8. Суть метода полнопрофильного анализа.
9. Справочные стандартные данные и предъявляемые к ним тре-

бования.

10. Методы эксрополяции.

Примеры типов домашних задач:

Студенты получают рентгендифракционные спектры различных материалов с целью их обработки с помощью компьютерных программ.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время зачетной сессии. Критерии формирования зачета – уровень знаний пройденного курса.

Список контрольных заданий:

Студенты получают дифрактограммы различных сплавов, для которых необходимо определить их структурные характеристики с помощью методов обработки рентгендифракционных спектров.

Перечень заданий к зачету:

1. Разложение спектров дифракционных линий на составляющие фазы с помощью программы Origin и расчет периода решетки сплава с использованием аппроксимационной функции $\cos^2\vartheta$.
2. Разложение спектров дифракционных линий на составляющие фазы с помощью программы Origin и расчет периода решетки сплава с использованием аппроксимационной функции $Cos(\theta)ctg(\theta)$.
3. Разложение спектров дифракционных линий на составляющие фазы с помощью программы Fityk и расчет периода решетки сплава с использованием аппроксимационной функции $\cos^2\vartheta$.
4. Разложение спектров дифракционных линий на составляющие фазы с помощью программы Fityk и расчет периода решетки сплава с использованием аппроксимационной функции $Cos(\theta)ctg(\theta)$.
5. Особенности работы с программой Smoother для обработки спектров рентгендифракционного эксперимента.
6. Особенности работы с программой Origin для обработки спектров рентгендифракционного эксперимента.
7. Особенности работы с программой Fityk для обработки спектров рентгендифракционного эксперимента.

8. Использование метода Ритвольда для обработки рентгендифракционных спектров.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Илюшин А.С., Орешко А.П. Дифракционный структурный анализ в 2х частях. Часть 1. М.: Юрайт, 2017.
2. Илюшин А.С., Орешко А.П. Дифракционный структурный анализ в 2х частях. Часть 2. М.: Юрайт, 2017.
3. Методические указания к практическим занятиям — Рентгенография// Спецпрактикум, под редакцией А.А. Кацнельсона, М.: МГУ, 1986 г.
4. Пергамент М.И. // Методы исследований в экспериментальной физике, 2010.
5. Катаев, М.Ю. // Обработка экспериментальных данных на ЭВМ: Томск: ТМЦДО, 2001г.
6. Г.Б. Ходасевич / /Обработка экспериментальных данных на ЭВМ. http://dvo.sut.ru/libr/opds/i130hod2/index.htm
7. Лавренов А.Ю.// Вейвлет-сглаживание рентгенодифракционных кривых. // Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия.-2002.-N.3.-С.57–61.
8. Дьяконов В.П. // Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 448 с.

Дополнительная литература

1. Мурашкин С. Рисуем данные. Системы визуализации // http://chemicsoft.chat.ru/drugie10.htm (11.12.2008)
2. Пакет “Origin” // http://helplab1.narod.ru/Origin.htm#bad (11.12.2008)
3. OriginLab. Products: Origin //http://www.originlab.com/index.aspx?s=8&lm=169 (17.10.2008)
4. Саймон Б. Там, где бессилен Excel, Origin 7 в своей стихии // http://www.pcmag.ru/issues/detail.php?ID=7867&phrase_id=1732207 (11.12.2008)
5. Petkov V. // RAD, a program for analysis of X-ray diffraction data from amorphous materials for personal computer / Petkov V. // J. Appl. Cryst. – 1989. – V.22. – P.387.

6. Rietveld H. M .// A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structures // J. Appl. Cryst. – 1969. – V. 2. – P. 65.
7. McClune F. // New X-Ray Powder Diffraction Patterns from the JCPDS Associateship / McClune F. // Powder Diffraction – 1986. – V.1. – P.77.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *http://www.Origin.com*
- *http://tex.yourequations.com*http://www.materialsdata.com/products.htm
- http://www.crystalimpact.com/match/
- http://www.icdd.com/products/pdf2.htm .
- http://fityk.nieto.pl

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен знать основные методы и программы компьютерной обработки экспериментальных данных при проведении рентгендифракционных исследований материалов;

владеть техникой проведения эксперимента и методами компьютерной обработки экспериментальных данных;

уметь готовить презентации, научно-технические отчеты по результатам выполненной работы;

оформлять результаты исследований в виде статей и докладов на научных конференциях, курсовые и дипломную работы;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в дисплейном классе при наличии экрана и учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ОСНОВЫ ФИЗИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Авторы д.ф.-м.н., профессор А.С.Илюшин, д.ф.-м.н. И.С.Терешина

1. Название дисциплины: **Основы физики функциональных магнитных материалов**
2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Основная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными наперед заданными уникальными свойствами – не может быть решена без понимания основ физики функциональных материалов и наноматериалов. В предлагаемом курсе проводится изложение теоретических основ (основных теоретических моделей) современных функциональных магнитных материалов и основных экспериментальных методов исследования их физических свойств, а также установление взаимосвязи «состав - структура – дисперсность – свойство» материала.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Электромагнетизм”, “Атомная физика”, “Математический анализ”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”,

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение Магнитные характеристики ато-	4	2					2	2		2

мов и ионов в изолированном состоянии и в конденсированном состоянии										
Свойства материалов Физические свойства слабомагнитных материалов. Физические свойства сильномагнитных материалов.	8	4					4	4		4
Процессы намагничивания и перемагничивания Процессы намагничивания и пермагнитчивания магнитоупорядоченных твердых тел Магнитомягкие материалы. Магнитотвердые материалы. Редкоземельные постоянные магниты.	8	4					4	2	2	4
Экспериментальные методы исследования магнитных материалов и методы обработки результатов. Магнетометры. Приборы типа PPMS. Магнитная нейтронография. Мессбауэровская спектроскопия. ЯМР. Методы обработки экспериментальных данных. Размагничивающий фактор.	12	4	2				6	4	2	6
Магнитокалорические материалы. Материалы с гигантским магнитокалорическим эффектом. Прямой и косвенный метод измерения магнитокалорического эффекта. Магнитные рефрижераторы.	4	2					2	2		2

Другие особые классы магнитных материалов Магнитострикционные материалы. Основные механизмы возникновения гигантских магнитострикционных деформаций. Модель одноионной анизотропии по механизму кристаллического поля. Магнитные материалы с памятью формы. Сплавы Гейслера. Сверхпроводящие материалы. Основные классы сверхпроводников. Куперовские пары. Высокотемпературная сверхпроводимость.	14	6					6		8	8
Аморфные магнитные материалы. Основные методы получения аморфных магнитных материалов. Модели аморфного состояния. Спиновые стекла. Особенности структуры и свойств.	4	2					2		2	2
Магнитные полупроводники. Основные классы магнитных полупроводников. Подвижность носителей. Влияние примесей. Обменные взаимодействия в МПП.	4	2					2	2		2
Спинтронника Наноструктуры. Композиты. Магнитоэлектрические материалы. Магнитооптические материалы. Взаимосвязь «состав – структура – дисперсность - свойства» магнит-	8	4					4	4		4

ных материалов.										
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. зачет	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	30	2	1	1	2	36	22	14	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Редкоземельные интерметаллиды.
2. Магнитные жидкости.
3. Высокочастотные ферромагнетики.
4. Сравнительные анализ свойств аморфных и кристаллических сплавов.
5. Физические основы записи информации.
6. Физика доменных структур
7. Структурные методы исследования магнитных материалов
8. Нейтронографические исследования магнитных материалов.
9. Электронный магнитный резонанс

10. Динамические характеристики магнитных материалов.
11. Современные Fe-содержащие сверхпроводники.
12. Явление левитации.

Примеры типов домашних задач:

1. Вывод формулы для учета размагничивающего фактора.
2. Вычисление магнитных моментов трехвалентных редкоземельных ионов.
3. Намагничивание парамагнетика во внешнем магнитном поле.
4. Определение магнитокалорического эффекта косвенными методами.
5. Расчет максимального энергетического произведения для постоянных магнитов.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Магнитная нейтронография.
2. Слабо и сильномагнитные материалы.
3. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.
4. Основные методы исследования магнитных материалов.
5. Теория одноионной анизотропии по механизму кристаллического поля.
6. Прямой и косвенные методы определения магнитокалорического эффекта.
7. Явление сверхпроводимости и основные классы сверхпроводников.

Перечень вопросов к зачету:

1. Проблема “Состав-структура – дисперсность -свойства твердых тел”.
2. Физические свойства диамагнетиков.
3. Явление парамагнетизма.
4. Магнитокристаллические и обменные взаимодействия.

5. Магнитные гистерезисные свойства.
6. Свойства магнитомягких материалов.
7. Типы магнитотвердых материалов.
8. Достоинства и недостатки аморфных материалов.
9. Природа спинстекольнго состояния.
10. Магнитострикционные материалы.
11. Редкоземельные магнитные полупроводники.
12. Материалы с гигантским магнитным сопротивлением.
13. Композиционные магнитоэлектрические материалы.
14. Природа сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость.
15. Магнитооптические эффекты и устройства.
16. Методы исследования магнитных характеристик.
17. Современные методы обработки результатов магнитных измерений.
18. Магнитная нейтронография.
19. Наноструктуры.
20. Атомная и магнитосиловая спектроскопия.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Д.Д. Мишин. Магнитные материалы. - М.: Высшая школа, 1999. – 384 с.
2. А.С. Илюшин, Основы структурной физики редкоземельных интерметаллических соединений, Москва: “Изд-во МГУ”, 2005, 176 с

Дополнительная литература

1. К.П. Белов. Магнитострикционные явления и их технические приложения. – М.: Наука, 1987. – 160 с.
2. В.В. Пасынков, В.С. Сорокин. Материалы электронной техники. С.-П. Издательство «Лань». 2001. – 368с.
3. А.К. Звездин, В.А. Котов. Магнитооптика тонких пленок. М.: Наука, 1988. – 192 с.
4. K.H.J. Buschow, F.R. Boer. Physics of magnetism and magnetic materials. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2004.

5. G.J. Long and F.Grandjean. Supermagnets, Hard Magnetic Materials, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1991.
6. J.M.D. Coey, Magnetism and Magnetic Materials, Cambridge University Press, 2010.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *https://www.journals.elsevier.com/journal-of-magnetism-and-magnetic-materials*

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать основные физические процессы и явления, ответственные за уникальные магнитные свойства заданного материала;

уметь использовать полученные знания для разработки новых магнитных материалов;

владеть знаниями об основных методах экспериментального исследования магнитных материалов;

иметь опыт по подготовке научного доклада, уметь отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
СОВРЕМЕННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
Автор д.ф.-м.н., профессор А.А.Новакова

1. Название дисциплины: **Современные функциональные материалы**

2. Уровень высшего образования – ***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация: Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ "Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения" и "Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы".

Основная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными наперед заданными уникальными свойствами. Поэтому в спецкурсе особое внимание уделено современным тенденциям развития материаловедения и созданию новых поколений функциональных материалов. Спецкурс знакомит студентов с новыми функциональными материалами: композиционными, нанокристаллическими, супрамолекулярными и с их свойствами.Описываются процессы, происходящие во время их получения (разупорядочение, аморфизация, кристаллизация, химические реакции, образование новых химических связей). В лекционном курсе рассматриваются возможности и ограничения традиционных методов исследования структуры и фазового состава при анализе этих новых материалов. Приводятся конкретные примеры экспериментальных комплексных исследований современных функциональных матнриалов.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 лекционных часов, 16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуаль-

ных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Электромагнетизм”, “Оптика”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Атомная физика”. **“**Основы дифракционного структурного анализа”, “Основы мессбауэровской спектроскопии”, “Фазовые превращения в металлических сплавах”.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение Основные типы современных функциональных материалов, принципы их создания. Физические и химические методы получения функциональных материалов	4	2					2	2		2
Нанопорошки и магнитные наноматериалы. Методы их исследования. Квантово-размерные эффекты в этих материалах и их влияние на термодинамические, магнитные, электрические свойства. Примеры применения таких материалов при создании защитных, декоративных и износостойких покрытий. Использование нанопорошков металлов в композиционных материалах, содержащих пластмассы и полимеры, для создания пластиковых магнитов, актюаторов, электропроводящих резин, красок и других материалов.	16	4	4				8	4	4	8

Формирование нанокомпозитов методом механосинтеза. Основные физические и химические процессы, происходящие в процессе механосинтеза: дефектообразование, разупорядочение, измельчение, сплавление, аморфизация, формирование наноструктурных композитов... Исследование хода химических реакций, а также конечных продуктов синтеза методами просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции и мессбауэровской спектроскопии. Возможности мессбауэровской спектроскопии в получении с большой степенью точности количественного фазового анализа зерен, поверхностных и зернограничных областей, составляющих нанокомпозиты. Химические методы низкотемпературного получения нанокристаллических соединений: соосаждение, золь-гель метод, гидротермальный синтез Природоподобные технологии. Аналитическин методы исследования получаемых материалов.	20	4	6				10	6	4	10
Графен и углеродные наноматериалы (фуллерены, одностен-	12.	2	2				4	4	4	8

ные и многостенные нанотрубки) и физические явления, возникающие в них. Демон Максвелла. Применение сканирующей зондовой микроскопии для исследования физических свойств графена. Примеры применений углеродных наноматериалов (от нанопинцета до космического лифта)										
Материалы для молекулярной электроники. Квантовые точки, квантовые нити, стержни и нанокольца и их применения для магнитной записи и создания квантовых компьютеров.	8	2	2				4	2	2	4
Биоматериалы и бионанотехнологии. Нанолекарства и их транспортнве агенты, дендримеры. Биокерамика Создание искусственных органов.	8	2	2				4	2	2	4
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса зачет	4			1	1	2	4			
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36			36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен презентациями.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Формирование новых соединений методом механоактивации.
2. Комплексное структурное исследование металлоорганического композита
3. Исследование физических свойств графена с помощью сканирующей зондовой микроскопии
4. Создание высокопрочных покрытий с использованием нанопорошков металлов.
5. Демон Максвелла (термический диод – модифицированная нанотрубка).
6. Создание методами нанотехнологий высокотехнологичной формы для военных и МЧС.
7. Наноматериалы, необходимые для создания квантового компьютера.
8. Транспортные агенты для нанолекарств.
9. Создание совершенных биосовместимых имплантов
10. Реальные возможности создания космического лифта.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. В чем заключается принципиальное различие между физическими и химическими методами получения наноматериала?
2. Как квантово-размерные эффекты влияют на термодинамические свойства наноматериалов?

3. Как квантово-размерные эффекты влияют на магнитные свойства наноматериалов?

4. Что такое механоактивация?

5. Какие химические реакции могут осуществляться в процессе механосинтеза?

6. Как можно получить механокомпозит?

7. Какие параметры мессбауэровских спектров позволяют определять степень взаимодействия элементов при механосинтезе?

8. Как получаются наночастицы FeOOH в процессе химического соосаждения и как их можно превратить в функциональные наночастицы Fe_3O_4 ?

9. Какие Вы знаете углеродные наноматериалы?

10. Как влияет хиральность на физические свойства углеродных нанотрубок?

11. С помощью какого физического метода можно точно определить диаметр углеродной нанотрубки?

12. Какой микроскопический метод позволяет проводить манипуляции и изучать физические свойства графена?

13. Какие наноматериалы необходимы для создания квантового компьютера?

14. Что такое биоматериалы?

15. Как можно создать биокерамику ?

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Киселева Т.Ю., Ляхов Н.З., Новакова А.А. и др. Механокомпозиты - прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами./ Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010, 424 с
2. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии./ М.Академия , 2005, 416с
3 Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы/ М. Бином, 2008, 362 с

Дополнительная литература

1. . Пул Ч., Оуэнс Ф.Нанотехнологиии М.Техносфера, 2005, 328 с

2. . Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры/ М.Новые материалы XX1, 2003, 336с.…
3. Хенч Л., Джоунс Д.Биоматериалы, искусственные органы и инжениринг тканей/ М. Техносфера, 2006, 304 с.
4. Баринов С.М., Комлев В.С. Биокерамика на основе фосфатов кальция / М. Наука, 2005, 204 с.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *www.nanometr.ru*
- *www/nanotech-now.com*
- *www.crystallography.net.cod*

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основные типы современных функциональных материалов и принципы их создания;

уметь использовать полученные знания при исследовании современных функциональных материалов,

владеть необходимыми знаниями для выбора оптимального комплекса методов для изучения взаимосвязи состав-структура- размер- свойств новых материалов;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА
Автор д.ф.-м.н., профессор В.М.Силонов

1. Название дисциплины: **Применение рентгеновского излучения для исследования ближнего порядка**

2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения”.

Одна из задач физики конденсированного состояния вещества – создание нового поколения металлических сплавов с необходимыми для техники свойствами, получила значительное развитие в последние десятилетия. Разработка новых методов прогноза свойств металлических сплавов основана на базе современной теоретической физики. В частности, развитие метода псевдопотенциала позволило проводить количественные расчеты характеристик металлов и сплавов, необходимых для интерпретации картин рассеяния рентгеновских лучей сплавами. Перспективным является метод модельного потенциала. В совокупности с методами термодинамики и статистической физики их применение позволяет как интерпретировать экспериментальные данные, так и создавать новые материалы, используемые в технике.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (1 час групповая консультация, 1 час индивидуальная консультация к промежуточной аттестации), 36 часов со-

ставляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Основы дифракционного структурного анализа”, “Свойства конденсированных веществ”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”, “Термодинамика и статистическая физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение. Электроны в металлах. Зона Брил-	6		4				4	4		4

люэна. Закон дисперсии электронов. Электронные соединения. Импульс Ферми. Термодинамические свойства свободного электронного газа. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Уравнение Шредингера.										
Метод псевдопотенциала. Матричные элементы кристаллического потенциала. Метод плоских волн. Метод ортогонализованных плоских волн. Модель желе. Теория возмущений. Факторизация матричных элементов.	14		6				6	6		6
Теория возмущений. Дифракционная модель. Рассеяние во втором порядке теории возмущений. Электростатическая энергия металлов. Вычисление полной энергии. Теория линейного экранирования. Функция Линдхарда. Вычисление псевдопотенциала.	8		4				4	6		6
Атомные свойства. Эффективное взаимодействие между ионами в металлах и сплавах. Энергии упорядочения. Энергии кристаллических структур. Упругие постоянные. Точечные дефекты. Время релаксации. Расчет электросопротивления	12		6				6	6		6

жидких и твердых металлов.										
Термодинамика и статистическая теория твердых растворов. Энергии упорядочения. Параметры дальнего порядка. Статистические теории дальнего порядка Горского-Брэгга-Вильямса. Статистическая теория дальнего порядка с учетом взаимодействия в произвольной координационной сфере. Метод статических концентрационных волн в уравнениях самосогласованного поля. Ближний порядок и размерный эффект в твердых растворах. Статистическая теория ближнего порядка с учетом взаимодействия в первой координационной сфере. Расчет спектра параметров ближнего порядка методом статических концентрационных волн. Теория электросопротивления твердых растворов. Расчет фононных спектров и теплового диффузного рассеяния.	6		14				14	14		14
Промежуточная аттестация зачет	2			1	1		2			
Итого	**72**		34	1	1		36	36		36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей.
2. Ближний и дальний порядок в твердых растворах.
3. Расчет энергий конкурирующих структур металлов.
4. Законы дисперсии.
5. Теория возмущений.
6. Электронная теория потенциалов межатомных взаимодействий.
7. Метод концентрационных волн в теории атомного упорядочения.

Примеры типов домашних задач:

1. Рассчитать значения импульса Ферми, энергии Ферми и скорость электронов на уровне Ферми для алюминия.
2. Найти предельные значения функции диэлектрической проницаемости.
3. Рассчитать формфактор модельного псевдопотенциала Ашкрофта.
4. Найти зависимость параметра ближнего порядка на первой координационной сфере от температуры.
5. Определение степеней дальнего и ближнего порядка в твердых растворах металлов.
6. По значению сверхструктурного вектора $k_0 = 2\pi a_3^*$ сверхструктуры CuAuI найти определение параметра дальнего порядка, стехиометрический состав и атомно-кристаллическую структуру упорядоченной фазы.
7. Для ОЦК сплава типа β-латуни рассчитать температурную зависимость параметра дальнего порядка.
8. Оценить значение ионно-плазменной частоты и температуры Дебая цезия в модели желе.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме кон-

трольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме зачета.

Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Список контрольных вопросов:

1. Вид зависимостей энергии электронов проводимости от волнового вектора.
2. Импульс Ферми и энергия Ферми.
3. Прямое взаимодействие ионов в металлах и сплавах.
4. Энергия электронного газа.
5. Параметры ближнего и дальнего порядка в твердых растворах.
6. Функция распределения Ферми-Дирака.
7. Функция диэлектрической проницаемости и ее пределы.
8. Псевдопотенциал пустого остова.
9. Ряд теории возмущений.
10. Энергия зонной структуры.
11. Электронные соединения.
12. Звезды Лифшица.
13. Критерий фазового перехода второго рода.
14. Связь параметра ближнего порядка на первой координационной сфере с энергией упорядочения.
15. Чем отличается фазовый переход первого рода от фазового перехода второго рода.

Перечень вопросов к зачету:

1. Правило фаз Гиббса.
2. Фазовые переходы первого и второго рода.
3. Статистическая теория дальнего порядка ГБВ.
4. Связь интенсивности рассеяния РЛ с параметрами дальнего порядка.
5. Статистическая теория дальнего порядка с учетом взаимодействия в произвольной координационной сфере.
6. Расчет температуры фазового перехода “порядок-беспорядок”.
7. Статистическая теория ближнего порядка с учетом взаимодействия в первой координационной сфере.

8. Расчет спектра параметров ближнего порядка для сплавов Cu_3Au и $CuAu$.
9. Статистическая теория ближнего порядка с учетом взаимодействия в произвольной координационной сфере.
10. Критерий фазового перехода второго рода. Условия Лифшица Е.М.
11. Электронные соединения.
12. Сфера Ферми. Импульс Ферми. Энергия Ферми.
13. Закон дисперсии в ПСЭ.
14. Функция распределения Ферми-Дирака.
15. Метод плоских волн.
16. Метод ортогонализованных плоских волн.
17. Теория возмущений.
18. Экранирование модельных потенциалов.
19. Модельный потенциал Ашкрофта.
20. Факторизация матричных элементов.
21. Эффективное взаимодействие между ионами в металлах.
22. Зонная структура сплавов с дальним порядком.
23. Теория электросопротивления сплавов с ближним порядком.
24. Теория электросопротивления сплавов с дальним порядком.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Силонов В.М., Введение в микроскопическую теорию металлов и сплавов. М.: МГУ: физический факультет МГУ, 2005.

Дополнительная литература

1. Смирнов А.А., Молекулярно-кинетическая теория металлов. М.: Наука, 1966.
2. Свелин Р.А., Термодинамика твердого состояния. М.: Металлургия, 1968.
3. Харрисон У., Псевдопотенциалы в теории металлов. М.: Мир, 1968.
4. Хейне В., Коэн М., Уэйр Д., Теория псевдопотенциала. М.: Мир, 1973.
5. Хачатурян А.Г., Теория фазовых превращений и структура твер-

дых растворов. М.: Наука, 1974.
6. Жирифалько Л., Статистическая физика твердого тела. М.: Мир, 1975.
7. Китель Ч., Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
8. Анималу А., Квантовая теория кристаллических твердых тел. М.: Мир, 1981.
9. Харьков Е.И., Лысов В.И., Федоров В.Е., Термодинамика металлов. Киев: Вища школа, 1982.
10. Кривоглаз М.А., Диффузное рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов на флуктуационных неоднородностях в неидеальных кристаллах. Киев: Наук. Думка, 1984.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы термодинамики, статистической физики и квантовомеханической теории в приближении псевдопотенциала металлических сплавов,

уметь проводить интерпретацию аномальных изменений физических свойств и данных рентгеновских экспериментов по диффузному рассеянию рентгеновских лучей металлами и металлическими сплавами;

владеть методами расчета характеристик металлов и сплавов, необходимых для интерпретации картин рассеяния рентгеновских лучей,

иметь опыт деятельности выполнения научного доклада.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ФИЗИКА СИСТЕМ МЕТАЛЛ-ВОДОРОД
Автор к.ф.-м.н. В.М.Авдюхина

1. Название дисциплины: **Физика систем металл-водород**

2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация:

Целью курса является ознакомление студентов с одной из актуальных проблем современной физики твердого тела - взаимодействию водорода с металлами. Представлены основные свойства металл-водородных систем и методы их исследования. Будут рассмотрены характерные особенности физико-химической природы взаимодействия водорода с металлами в случае их идеальной и дефектной структуры; поведение открытых систем «металл- водород- дефекты» в процессе длительной эволюции; основные требования к переходу на водородную энергетику.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателме (1 час мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Дисциплина «Физика систем металл-водород» имеет тесную связь с дисциплинами физического цикла и является основополагающей для большого числа профильных дисциплин. Полученные при изучении данного курса знания будут востребованы при изучении многих специальных разделов фундаментальной и прикладной физики.

При освоении данной дисциплины необходимо владеть основными понятиями и навыками дисциплин: Кристаллография, Структурные

дифракционные методы: основы эксперимента, Структура металлических фаз и соединений, Основные разделы физики конденсированного состояния вещества, Дифракционный структурный анализ конденсированных сред, Методы обработки рентгендифракционных данных.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних задания	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Взаимодействие водорода с металлами с точки зрения фундаментальных и прикладных исследований.	4		2				2		2	2
2. Основные способы получения водорода. Мембранные технологии получения высокочистого водорода и его использование.	4		2				2		2	2

3. Структура гидридов и фазовые переходы в металл-водородных системах. Синтез гидридов. Основные термодинамические и кинетические вопросы теории фазовых переходов в металл-водородных системах. Деформация кристаллической решетки металла, обусловленная водородными атомами. Примеры структур металлических гидридов. Гидриды, синтезированные под сверхвысоким давлением.	4		2				2		2	2
4. Влияние водорода на физические свойства металлов. Изменение электронных свойств металл-водородных систем при наличии гидридных соединений. Влияние водорода на магнитные свойства металлов. Оптические свойства гидридов. Проблема сверхпроводимости в металл-водородных системах.	4		2				2		2	2
5. Диффузия водорода в металлах. Виды диффузии водорода в металле. Определение параметров диффузии. Основные способы регулирования диффузии водорода в металлах	4		2				2		2	2
6. Физические методы исследования гидридов металлов. Рентгеноструктурный анализ. Дифракция нейтронов. Ядерный магнитный	4		2				2		2	2

резонанс. Мессбауэровская спекроскопия. Термосербционная спектроскопия.										
7. Экспериментальные данные об эволюции термодинамически открытых систем и некоторые их модели. Явление Бенара. Явление Белоусова – Жаботинского. Поведение популяций в экологии и др.	4		2			2			2	2
8-10. Системы палладий-водород - как пример термодинамической открытой системы. Кинетика наводороживания и дегазации палладия. Структурные характеристики и физический смысл α- и β- фаз в системе Pd-H. Образование и рост β–фазы. Зависимость объемного содержания β-фазы от ОКР. Кинетика обратного $\beta \rightarrow \alpha$ превращения Основные законы дегазации систем металл-водород. Дефектообразование в α- и β- фазах.	12		5		1	6		2	4	6
10-12. Временные зависимости колебательных процессов интегральной интенсивности и ширины дифракционных линий на дифрактограммах сплавов типа Pd-W-H. Временные зависимости колебательных процессов на дифрактограммах деформированных сплавов типа Pd-Er-H.	12		6			6		2	4	6

Синергетические модели: «2 хищника – жертва» и схема Лоренца.										
13. Особенности структурной эволюции в деформированных сплавах Pd-Ta-H и Pd-Mo-H.	4		2			2		2		2
14. Роль водорода и вакансий в структурной эволюции сплавов на основе палладия после гидрирования.	4		2			2			2	2
15-16. Особенности формирования дефектной структуры и выхода водорода из фольг сплавов на основе палладия в процессе релаксации.	8		4			4		2	2	4
17. Гидриды, как перспективные материалы для водородной энергетики. Практическое применение гидридов: замедлители в ядерных реакторах, отрицательные электроды в адапторах, материалы для хранения водорода, мембраны для очистки водорода из смеси промышленных газов и др.	4		2			2			2	2
Промежуточная аттестация зачет										
Итого	**72**	35			1	36		8	28	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. **Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**.

1. Козлов С.И., Фатеев В.Н. // Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2009. 518 с.

2. Андриевский Р.А. // Водород в металлических наноматериалах // Успехи химии. 2011. Т. 80. №9. С. 890-904
3. Ревкевич Г.П., Миткова М.К., Кацнельсон А.А. // Явление восходящей диффузии в насыщаемых водородом сплавах палладий-самарий // Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия. 1997. № 2. С. 30-33.
4. Авдюхина В.М., Кацнельсон А.А., Прокофьев Н.А., Ревкевич Г.П. // Особенности релаксации микронапряжений в деформированном сплаве Pd-Er после электролитического насыщения водородом // Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия. 1998. № 2. С. 70-72.
5. Авдюхина В.М., Кацнельсон А.А., Ревкевич Г.П. // Осциллирующие фазовые превращения на начальной стадии релаксации в насыщенном водородом сплаве PdEr // Кристаллография. 1999. Т. 44. № 1. С. 49-54.
6. Avdyukhina V.M., Katsnelson A.A., Revkevich G.P. // Structural changes and their kinetics in hydrogen-containing palladium systems // Platinum Metals Review. 2002. V. 46. N 4. P.169-179.
7. Авдюхина В.М., Анищенко А.А., Кацнельсон А.А., Ревкевич Г.П.// Роль вакансий в структурной релаксации сплавов Pd-Mo после гидрогенизации // Физика твердого тела. 2004. Т. 46. № 2. С. 259-264.
8. Авдюхина В.М., Ревкевич Г.П., Кацнельсон А.А. // Эволюция структурных характеристи сплава Pd-Er после повторного гидрирования // Int. Sci. J. Alternative Energy Ecology. 2005. № 7. P. 20-26.
9. Авдюхина В.М., Кацнельсон А.А., Ревкевич Г.П. // Изучение кинетики дегазации сплава Pd-Ta-H при циклировании // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2005. Т. 71. № 1. С. 38-43.
10. Avdyukhina V.M., Revkevich G.P., Nazmutdinov A.Z., et al. // Hydrogen-induced phase transformations in Pd-8.3 at % Y alloy // J. Surface investigation-x-ray synchrotron and neutron techniques. 2008. V. 2. N 3. P. 429-432.
11. Авдюхина В.М., Акимова О.В., Левин И.С., Ревкевич Г.П. // Изменение структурного состояния α-фазы в системе Pd-In-H в процессе α→β превращения // Вестник МГУ. Серия 3. Физика.

Астрономия. 2014. № 2. С. 67-72.
12. С.Е. Кулькова, С.В. Еремеев, С.С. Кульков, Д.И. Бажанов, Д. Ш. Шу, К. М. Ху, Ю.Л. Хао // Исследование сорбции водорода в сплавах палладия//Физическая мезомеханика. – 2005, –Т.8 (спецвыпуск). – С. 25-28.
13. Семененко К.Н., Вербецкий В.Н. // Гидридная технология и проблемы накопления и использования водорода в малой энергетике. // Рос. хим. журнал РХО им. Д.И.Менделеева, -1993, -Т.36, N2, -С. 70-76.
14. Товбин Ю.К., Вотяков Е.В. // Оценка влияния растворенного водорода на механические свойства палладия // Физика твердого тела. - 2000. - Т.42, №7. - С. 1158-1160.
15. Гапонцев А.В., Кондратьев В.В. // Диффузия водорода в неупорядоченных металлах и сплавах // Успехи физических наук. - 2003. - Т. 173, № 10. - С. 1107-1128.
16. Нечаев Ю.С.// Физические комплексные проблемы старения, охрупчивания и разрушения металлических материалов водородной энергетики и магистральных газопроводов // Успехи физических наук. - 2008. - Т. 178, № 7. - С. 709-726.

8. **Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.**

Имеются вопросы к зачету и аттестации; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Вопросы к аттестации:

1. Фазовые диаграммы систем металл-водород.
2. Уравнение диффузии для водорода в металлах.
3. Коэффициенты диффузии и методы их получения.
4. Эффект Горского.
5. Деформация решетки при внедрении атомов водорода.
6. Экспериментальные методы обнаружения полей деформаций в системах металл-водород.
7. Гидриды редкоземельных элементов и методы их получения.
8. Формула Ройсса.
9. Образование вакансий при гидрировании металлов и сплавов и их

роль в структурной эволюции характеристик гидрированных материалов.

10. Экспериментальное установления образования «вакансионноупорядоченной» фазой типа Pd3VacH4.
11. Основные законы дегазации системы Pd-H.
12. Основы синергетической модели немонотонной структурной эволюции в системах металл-водород.
13. Взаимодействие водорода с дефектами кристаллической решетки.
14. Основные физические свойства гидрированных материалов.
15. Основные способы насыщения металлов и сплавов водородом.
16. Роль деформации на накопление водорода в метеллах.

Основные вопросы к зачету

1. Взаимодейстаие водорода с металлами с точки зрения фундаментальных и прикладных исследований.
2. Структура гидридов.
3. Фазовые переходы в металл-водородных системах.
4. Синтез гидридов.
5. Основные термодинамические и кинетические вопросы теории фазовых переходов в металл-водородных системах.
6. Деформация решетки металла, обусловленная водородными атомами.
7. Гидриды, синтезированные под сверхвысоким давлением.
8. Уравнение диффузии для водорода в металлах.
9. Коэффициенты диффузии и методы их получения.
10. Основные способы регулирования диффузии водорода в металлах.
11. Фазовые диаграммы систем металл-водород.
12. Эффект Горского.
13. Проблема сверхпроводимости в металл-водородных системах.
14. Основные методы исследования гидридов металлов.
15. Экспериментальные данные об эволюции термодинамически открытых систем и некоторые их модели.
16. Системы металл-водород с точки зрения открытых термодинамических струтур.
17. Примеры структурной эволюции в сплавах Pd-W-H и Pd-Er-H.

18. Особенности структурной эволюции в деформированных сплавах Pd-Ta-H.
19. Особенности структурной эволюции в деформированных сплавах Pd-Mo-H.
20. Особенности формирования дефектной структуры и выхода водорода в фольгах сплавов на основе палладия.
21. Роль вакансий при прохождении фазовых переходов в сплавах Me-H.
22. Способы получения водорода. Мембранные технологии.
23. Гидриды, как перспективные материалы для водородной энергетики.
24. Практическое применение гидридов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Водородная энергетика.
2. Коррозия металлов и сплавов под воздействием водорода.
3. Основы метода водородо-фазоваго наклепа.
4. Современные методы получения водорода.
5. Использование водорода в современной науке и технике.
6. Открытые термодинамические системы.
7. Особенности $\alpha \leftrightarrow \beta$ фазовых превращений в системе Pd-H.
8. Роль вакансий в металлах и сплавах при диффузии.
9. Разработка высокоэффективных сплавов – абсорбентов водорода для систем его хранени и транспортировки.
10. Методы определения содержания водорода в твердом теле.
11. Влияние водорода и его изотопов на конструкционные элементы плазменных камер.
12. Мембранные технологии получения высокочистого водорода и его использование.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Водород в металлах. Под ред. Алефельда Г.И. и Фелкля М.: Мир. 1981. Т.2. 430с.

2. Гельд П.В., Рябов Р.А., Мохрачева Л.Л.// Водород и физические свойства металлов и сплавов. М.: Наука. 1985. 231с.

3. Олемской А.И., Кацнельсон А.А.// Синергетика конденсированной среды, М.УРСС,2003, 336 с.

Дополнительная литература

1. Авдюхина В.М., Кацнельсон А.А., Ревкевич Г.П. // Синергетические аспекты эволюции структуры Pd и Pd-M после гидрогенизации и в процессе последующей релаксации, методическое пособие, физфак МГУ, 2005.

10. **Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины**:

11. **Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

В результате освоения дисциплины студент должен знать фундаментальные понятия взаимодействия водорода с металлами и сплавами; овладеть основными методами изучения данного взаимодействия; уметь качественно объяснять особенности гидридных превращений в открытых системах металл-водород; овладеть основными методами постановки физического эксперимента по взаимодействию водорода с металлами, иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада по данной тематике.

12.**Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости).**

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

Имеется авторское методическое пособие по данному курсу лекций.

13. **Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Курс может быть прочитан в аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (факультатив)
НАУЧНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ. ЧАСТЬ 1
Автор к.ф.-м.н. К.А.Козловская

1. Название дисциплины: **Научная визуализация в физике конденсированного состояния**.
2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***
4. Аннотация:

Научная визуализация - это представление данных в графическом виде, позволяющее глубже разобраться в изучаемом вопросе и найти новые подходы к анализу информации. В современной науке визуализация применяется повсеместно и для изображения объектов самой разной природы.

Курс научной визуализации в физике конденсированного состояния состоит из трех основных разделов:

1) Компьютерное моделирование кристаллических структур.
2) Визуализация методов и данных дифракционного структурного анализа.
3) Визуализация электронных и магнитных свойств кристаллический структур.

В рамках курса студенты познакомятся с современными методами визуализации в кристаллографии, научатся работать с существующими программами трехмерного моделирования кристаллов и научатся создавать собственные программы.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет x зачетных единиц, всего 54 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции), 20 часов составляет самостоятельная работа

обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполение заданий на компьтерное моделироване.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Курс предполагает наличие у студентов знаний и умений по дисциплинам “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Линейная алгебра”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум” и основам программирования.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего

1. Введение. Критерии качества визуализации. Программы для визуализации молекул и кристаллических структур: Vesta, Mercury, CrystalMaker.	3	2					2	1		1
2. Структура кристаллов. Запись молекулярной структуры в формате .xyz. Построение 3D модели кристаллов по плоской проекции.	3	2					2	1		1
3. Индексы Миллера. Построение кристаллографических плоскостей и направлений с помощью программы Vesta.	3	2					2	2		2
4. Стереографические проекции. Построение анимированной стереографической проекции на примере программы CrystalDiffract.	3	2					2	1		1
5. Точечные группы симметрии. Элементы симметрии кристаллов. CIF и PDB файлы. Базы данных молекулярных и кристаллических структур.	3	2					2	1		1
6. Точечные группы симметрии низшей категории. Визуализация классов точечной симметрии низшей категории. Примеры структур и их свойства.	3	2					2	1		1
7. Точечные группы симметрии средней категории. Визуализация 19 классов точечной симметрии средней категории. Примеры структур и их	3	2					2	1		1

свойства.										
8. Точечные группы симметрии высшей категории. Визуализация 5 классов точечной симметрии высшей категории. Примеры и визуализация структур, построенных на основе плотнейших упаковок.	3	2					2	1		1
9. Форма кристаллов. Простые формы кристаллов. Моделирование в программе Vesta простых форм кристаллов низшей, средней и высшей категории.	3	2					2	1		1
10. Пространственная симметрия. Элементы пространственной симметрии кристаллов. Пространственные группы. Интернациональные кристаллографические таблицы.	3	2					2	1		1
11. Координационные многогранники. Общие и частные положения атомов. Координационные многогранники. Типы пустот в плотнейших упаковках. Построение координационных многранников в программе Vesta на примере лангаситов.	3	2					2	2		2
12. Силикаты. Структурные типы силикатов. Зависимость облика и свойств от структуры. Модели-	3	2					2	1		1

рование различных силикатов в программе Vesta.										
13. Тепловые колебания кристаллических решеток. Атомный фактор рассеяния. Структурный фактор. Фактор Дебая-Валлера. Тепловые эллипсоиды. Визуализация тепловых эллипсоидов в программах Vesta и Mercury.	3	2					2	1		1
14. Магнитные кристаллы. Виды магнитного упорядочения. Понятие о магнитной структуре. Магнитные группы симметрии. Магнитные моменты атомов в .cif файле.	3	2					2	1		1
15. Моделирование многослойных структур в программе Vesta.	3	2					2	1		1
16. Рассчетные возможности программы Vesta. Матрицы вращения и вектора трансляции.	3	2					2	1		1
17. Решение задач	3	2					2	2		2
Промежуточная аттестация										
Итого	**54**	34					20			20

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Лекционный материал курса опубликован на сайте кафедры: http://kftt.phys.msu.ru/index.php?id=57.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттеста-

ции обучающихся по дисциплине

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполение заданий на компьтерное моделироване.

Примеры задач для компьютерного моделирования:

1. Объясните природу спайности кристаллов алмаза и сфалерита, п остроив модели структур и проанализировав в них семейства плоскостей (010), (110) и (111).
2. Сколько плоскостей зеркальной симметрии в молекуле метана? Постройте 3D модель молекулы метана и все плоскости симметрии.
3. Древнекитайский фарфор. Найти в международных базах данных информацию о структурах каолинита и карбамида. Построить 3D модель, демонстрирующую проникновение карбамида между слоями каолинита.
4. Моделирование многослойной структуры золото-кобальт.
5. Построить 3D модель кристалла берилла, демонстрирующую связь между внешней формой и структурой кристалла.
6. Дана структура с симметрией Fm3m и параметром ячейки a = 10.0 A. Координаты базисных атомов: Xx 0 0 0, Yy 0.4 0.3 0.2. Сколько атомов приходится на одну ячейку? Постройте модель структуры.
7. Построить модель кристалла CoCeGe3 и описать полиэдрическое окружение атомов кобальта, церия и германия.
8. Построить структуру минерала тремолит, определить тип силиката, предположить механизм изоморфизма в этой структуре.
9. Рассчитать отношение интенсивностей рефлексов 111 и 002 в NaCl.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П.* Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1975.
2. *Киттель Ч.* Элементарная физика твердого тела. М.: Наука, 1965.

3. *Егоров-Тисменко Ю.К.* Кристаллография и кристаллохимия. М.: КДУ, 2005.

Дополнительная литература

1. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ. М.: физический факультет МГУ, 2013.
2. *Patrikalakis N.M.* Scientific Visualization of Physical Phenomena. Springer Science & Business Media, 2012
3. *Матюшкин И.* Моделирование и визуализация средствами MATLAB физики наноструктур. М.: Техносфера, 2011.
4. *Боумен У.Дж.* Графическое представление информации. М.: Мир, 1971

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- Лекции, опубликованные на странице кафедры физики твердого тела: http://kftt.phys.msu.ru/index.php?id=57
- Интерактивный ресурс по физике конденсированного состояния от Кембриджского университета: http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/index.php
- Подборка ссылок на прочие образовательные ресурсы по физике конденсированного сотояния: *http://ww1.iucr.org/cww-top/edu.index.html*....
- База данных кристаллических структур Crystallography Open Database: http://www.crystallography.net/cod/
- База данных кристаллических структур http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать принципы графического представления информации и методы визуализации объектов кристаллографии;

уметь создавать компьютерные модели кристаллов, электронных оболочек и магнитных моментов в кристалле;

владеть компьютерными методами решения задач кристаллографии и рентгеноструктурного анализа;

иметь опыт работы с международными базами данных по кристаллографии.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):

- Программы для компьютерного моделирования кристаллических структур: Vesta, Diamond, PyMol, CrystalMacker и т.д.
- Программы для математических рассчетов и построения графиков: Octave, MathLab.
- Программы для моделирования задач дифракционного структурного анализа: CrystalDiffract, SingleCrystal и т. д.
- База данных кристаллических структур Crystallography Open Database: http://www.crystallography.net/cod/
- База данных кристаллических структур http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине:

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (факультатив)
НАУЧНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ. ЧАСТЬ 2
Автор к.ф.-м.н. К.А.Козловская

1. Название дисциплины: Научная визуализация в физике конденсированного состояния. Часть 2.

2. Уровень высшего образования –***бакалавриат***

3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (бакалавриат)***

4. Аннотация:

Научная визуализация - это представление данных в графическом виде, позволяющее глубже разобраться в изучаемом вопросе и найти новые подходы к анализу информации. В современной науке визуализация применяется повсеместно для изображения объектов самой разной природы.

Курс научной визуализации в физике конденсированного состояния состоит из трех основных разделов:

1) Визуализация методов и данных дифракционного структурного анализа.

2) Построение трехмерных компьютерных моделей электронных оболочек в атоме и периодической структуре.

3) Визуализация кристаллических структур.

В рамках курса студенты познакомятся с современными методами визуализации в кристаллографии, научатся работать с существующими программами трехмерного моделирования кристаллов и создавать собственные программы.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 54 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (54 часа за лекции), 20 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Линейная алгебра”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, основы программирования.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних задания	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Введение в Matlab. Язык программирования Matlab. Элементарные математические выражения. Построение двумерных и трехмерных графиков.	3	2					2	1		1
2. Действия над векторами и матрицами в Matlab. Моделирование	3	2					2	1		1

простейших кристаллических структур средствами Matlab.										
3. Обратная решетка. Электронная микроскопия. Моделирование двумерной обратной решетки в Matlab.	3	2					2	1		1
4. Периодический потенциал. Визуализация теоремы Блоха в бесконечном одномерном кристалле. Построение периодического потенциала в двумерной решетке средствами Matlab.	3	2					2	1		1
5. Эквипотенциальные поверхности. Обзор программ для расчета трехмерного кристаллического потенциала.	3	2					2	1		1
6. Обработка экспериментальных данных в Matlab. Операции над файлами в Matlab. Задачи на обработку данных на примере результатов синхротронных экспериментов.	3	2					2	1		1
7. Дифракционный структурный анализ. Рентгенография, нейтронография, электронография. Программа для моделирования дифракции на монокристалле SingleCrystal.	3	2					2	1		1
8. Нейтронография.Задачи на моделирование дифракции нейтронов в программе SingleCrystal.	3	2					2	1		1

9. Прямая и обратная задача рентгеновской дифракции. Обзор программ для моделирования и анализа рентгенограмм.	3	2					2	1		1
10. Зоны Бриллюэна. Задачи на моделирование зон Бриллюэна на примере двумерных решеток в Matlab.	4	2					2	2		2
11. Визуализация электронных оболочек атома. Сферические функции. Задача: Визуализация сферических гармоник средствами Matlab.	3	2					2	1		1
12. Моделирование атомных орбиталей. Задача: Построение трехмерных моделей s, p и d орбиталей с помощью Matlab.	3	2					2	1		1
13. Анимация в Matlab. Визуализация сферических гармоник через колебания на сфере.	3	2					2	1		1
14. Интерполяция и аппроксимация экспериментальных данных в Matlab.	3	2					2	1		1
15. Численное дифференцирование и интегрирование в Matlab.	3	2					2	1		1
16. Решение систем дифференциальных уравнений в Matlab.	3	2					2	1		1
17. Решение задач.	4	2					2	2		2
Промежуточная аттестация										
Итого	**54**	34						20		

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консуль-*

таций

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, написание программ.

Примеры задач:

1. Построить модель кристалла с симметрией P31, с одним базисным атомом в общем положении. Координаты атомов структуры задать, пользуясь матрицами вращения и векторами трансляции.
2. Моделирование двумерной обратной решетки в Matlab.
3. Построить вид кулоновского потенциала в одномерном и двумерном кристалле.
4. Задачи на обработку данных на примере результатов синхротронных экспериментов.
5. Моделирование порошковых дифрактограмм в Matlab на прмере двухатомных кристаллов.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1975.
2. Илюшин А.С., Орешко А.П. Дифракционный структурный анализ. М.: физический факультет МГУ, 2013.
3. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. Введение в Octave для инженеров и математиков. М.: ALT Linux 2012

Дополнительная литература

1. Dan Green. One Hundred Physics Visualizations Using Matlab. World Scientific Publishing, 2014.
2. Матюшкин И. Моделирование и визуализация средствами MATLAB физики наноструктур. М.: Техносфера, 2011.
3. Patrikalakis N.M. Scientific Visualization of Physical

Phenomena. Springer Science & Business Media, 2012

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

5. Страница кафедры физики твердого тела физического факультета МГУ: http://kftt.phys.msu.ru/
6. https://www.mathworks.com/help/matlab/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

владеть компьютерными методами решения задач кристаллографии и рентгеноструктурного анализа;

уметь моделировать и читать рентгенограммы;

уметь создавать компьютерные модели кристаллов и электронных оболочек в кристалле;

иметь навык написания программ на языке Octave (Matlab);

знать принципы графического представления информации и методы визуализации объектов кристаллографи.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

1. Программы для компьютерного моделирования кристаллических структур: Vesta, Diamond, PyMol, CrystalMacker и т.д.

2. Программы для математических рассчетов и построения графиков: Octave, MathLab.

3. Программы для моделирования задач дифракционного структурного анализа: CrystalDiffract, SingleCrystal и т. д.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА «ДИФРАКЦИОННЫЕ И ЯДЕРНО-РЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД». 2019/2020 УЧЕБНЫЙ ГОД

№ гр.	№ сем	Обязательн. или по выбору	Дисциплина	Наргрузка за семестр	аудиторная нагрузка	самостоятельная работа	Название курса	Отчетность	ФИО преподавателя	Должность преподават.
115м	1	обязательный	Современные проблемы физики	72 ч.	36 ч.	36 ч.	Современные проблемы физики	зачет	Илюшин А.С. Бушуев В.А.	проф. проф.
			дисциплина магистерской программы	108 ч	72 ч	36 ч.	Рентгеновская дифракционная оптика сверхрешеток и периодических многослойных структур	зачет с оценкой	Прудников И.Р.	с.н.с.
				72 ч.	36 ч.	36 ч.	Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей	экзамен	Бушуев В.А.	проф.
				72 ч.	36 ч.	36 ч.	Структура металлических фаз и соединений		Хунджуа А.Г.	проф.
				72 ч.	36 ч.	36 ч.	Квантовая теория твердых тел. Часть 1	зачет	Ржевский В.В.	ст. преп.

		по выбору (2 из 5)	дисциплины маг.програмы по выбору	72 ч.	36 ч.	36 ч	Основы кристаллофизики	экзамен	Овчинникова Е.Н.	проф.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Мессбауэровская спектроскопия наносистем		Киселева Т.Ю.	доц.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом		Орешко А.П.	проф.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Техника эксперимента дифракционного структурного анализа		Бровкина Е.А.	доц.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Рентгеновская дифрактометрия		Авдюхина В.М.	доц.
		факультатив*	факультативная дисциплина	54 ч.	36 ч.	18 ч.	Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества. Часть 1.	зачет	Илюшин А.С. Прудников И.Р. Якута Е.В.	проф. с.н.с. с.н.с.
115м	2	обязательн.	Спец. физпрак	108 ч	68 ч	40 ч		зачет с оценкой	Акимова О.В. Бровкина Е.А. Киселева Т.Ю. Новакова А.А.	н.с. доц. доц. г.н.с.
			дисциплина магистерской программы	108 ч.	34 ч.	74 ч.	Квантовая теория твердых тел. Часть 2	экзамен	Ржевский В.В.	ст. преп.
				108 ч.	34 ч.	74 ч.	Вторичные процессы в рентгеновской оптике		Бушуев В.А.	проф.

				72 ч	34 ч.	38 ч.	Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы	зачет	Хунджуа А.Г.	проф.
				72 ч	34 ч.	38 ч.	Синхротронные исследования в физике конденсированных сред		Овчинникова Е.Н.	проф.
		по выбору (1 из 3)	дисциплины маг. программы по выбору	72 ч	34 ч.	38 ч.	Термодинамика бинарных систем	экзамен	Бровкина Е.А.	доц.
				72 ч	34 ч.	38 ч.	Физика сверхпроводимости		Ржевский В.В.	ст. преп.
				72 ч	34 ч.	38 ч.	Физика магнитных явлений		Терешина И.С.	в.н.с.
		по выбору (1 из 4)	дисциплины маг. программы по выбору	72 ч	34 ч.	38 ч	Экспериментальные методы исследования структуры и свойств функциональных материалов	зачет	Киселева Т.Ю.	доц.
				72 ч	34 ч.	38 ч	Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия		Бушуев В.А.	проф.
				72 ч	34 ч.	38 ч	Микроскопическая теория металлов и сплавов		Силонов В.М.	г.н.с.
				72 ч	34 ч.	38 ч	Рентгеновская спектроскопия		Орешко А.П.	проф.

		факультатив*	факультативная дисциплина	54 ч.	36 ч.	18 ч.	Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества. Часть 2.	зачет	Илюшин А.С. Прудников И.Р. Якута Е.В.	проф. с.н.с. с.н.с.
215м	3	обязательн	дисциплина магистерской программы	72 ч.	36 ч.	36 ч.	Рентгеновское излучение в исследовании магнетизма	экзамен	Андреева М.А.	в.н.с.
				72 ч.	36 ч.	36 ч.	Ядерно-резонансная спектроскопия конденсированных сред. Часть 1		Киселева Т.Ю.	доц.
				72 ч.	36 ч.	36 ч.	Основы инновационного развития и коммерциализация научных разработок и технологий	зачет	Корнеева Ю.В.	с.н.с.
				72 ч.	36 ч.	36 ч.	Ядерно-резонансная спектроскопия конденсированных сред. Часть 2		Андреева М.А.	в.н.с.
		по выбору (1 из 2)	дисциплины магист. прогр. по выбору	72 ч.	36 ч.	36 ч	Рентгеновская оптика	экзамен	Бушуев В.А.	проф.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Резонансная дифракция синхротронного излучения в конденсированных средах		Овчинникова Е.Н.	проф.

		по выбору (2 из 5)	дисциплины магист. прогр. по выбору	72 ч.	36 ч.	36 ч	Диффузное рассеяние рентгеновского излучения	зачет	Силонов В.М.	г.н.с.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Дифракционные методы исследования белков и полимеров		Якута Е.В.	с.н.с.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Упругие и тепловые свойства твердых тел		Ржевский В.В.	ст. преп.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Электронная микроскопия		Бровкина Е.А.	доц.
				72 ч.	36 ч.	36 ч	Физика магнитных материалов		Терешина И.С.	в.н.с.
		факультатив*	факультативная дисциплина	54 ч.	36 ч.	18 ч.	Дополнительные разделы физики конденсированного состояния вещества	зачет	Хунджуа А.Г. Орешко А.П.	проф. проф.
215м	4	обязательн.	научно-исследоват. семинар	72 ч.	36 ч.	36 ч.		зачет	Илюшин А.С.	проф.

* – факультативный курс, по выбору при желании студента.

Рабочая программа дисциплины
ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАССЕЯНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ
Автор д.ф.-м.н., профессор В.А.Бушуев

1. Название дисциплины: **Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей**

Лектор: д.ф.-м.н., профессор, Бушуев Владимир Алексеевич

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

В курсе лекций проведено последовательное изложение динамической теории рассеяния рентгеновских лучей с длиной волны порядка 0.1 нм, которая лежит в основе целого ряда дифракционных и рефлектометрических методов исследования структуры тончайших приповерхностных слоев материалов современной твердотельной микро- и наноэлектроники. В настоящее время любая микроэлектронная схема представляет собой специальным образом созданную полупроводниковую структуру в приповерхностном слое высокосовершенного кристалла. В связи с необходимостью диагностики с нанометровым разрешением рентгеновские методы занимают одно из основных мест в современной нанофизике и наноэлектронике. В лекционном курсе содержатся базовые знания о принципах построения волновой теории дифракции в совершенных и реальных кристаллах с учетом многократного динамического рассеяния. В рамках курса студенты познакомятся с современными методами рентгеновской диагностики структурного совершенства материалов твердотельной микро- и наноэлектроники. Помимо лекций, контрольных опросов и кратких докладов студентов приводится самая современная информация по материалам последних научных конференций и семинаров.

Цели освоения дисциплины: Владение современными профессиональными знаниями в области динамической теории рассеяния рентгеновских лучей в совершенных и реальных полупроводниковых кристаллах, обучение современным методам обработки экспериментальных данных и их применения для решения практических задач.

Задачи дисциплины: Задачей дисциплины является обучение студентов основным принципам построения динамической теории взаимодействия рентгеновского излучения с идеальными и реальными кристаллами, умению использовать полученные знания для расчета характеристик различных рентгенооптических элементов и для навыков по интерпретации экспериментальных рентгендифракционных данных.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 2 часа групповых консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Курс неразрывно связан с дисциплинами блока профессиональной подготовки.

Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины: “Математический анализ”,

“Дифференциальные уравнения”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Квантовая теория”, “Атомная физика”, “Методы математической физики”, “Основы дифракционного структурного анализа”, “Дифракционный структурный анализ конденсированных сред”, “Кристаллография”, “Физика реальных кристаллов”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. *Основные положения и понятия теории взаимодействия рентгеновских лучей с кристаллами.* Критерии применимости кинема-	8	4					4	4		4

тического и динамического приближений. Рассеяние свободным электроном. Атомный фактор. Структурный фактор. Коэффициент отражения от атомной плоскости. Отражение от системы атомных плоскостей. Первичная и вторичная экстинкция. Функция Лауэ. Область когерентного рассеяния. Тепловой и статический фактор Дебая-Валлера. Классификация процессов взаимодействия по признакам когерентности и упругости. Экспериментальные методы исследования структуры высокосовершенных и реальных монокристаллов.										
2. *Рентгеновская поляризуемость кристалла*. Микроскопические уравнения Максвелла. Материальное уравнение. Макроскопическое (волновое) уравнение.	4	2					2	2		2
3. *Основное уравнение динамической теории дифракции*. Критерии выполнимости двухволнового приближения динамической теории дифракции.	4	2					2	2		2
4. *Современная теория динамической дифракции в идеальном кристалле.* Теория Эвальда-Лауэ и современная волновая теория динамиче-	4	2					2	2		2

ской дифракции в идеальном кристалле. Понятие дисперсионной поверхности. Динамическая теория Дарвина и метод рекуррентных соотношений. Условия непрерывности полей и волновых векторов на поверхности кристалла. Центры распространения на дисперсионной поверхности. Брэгговская аккомодация.										
5. *Амплитудные коэффициенты отражения и прохождения.* Комплексный коэффициент отражения от конечного и полубесконечного поглощающего кристалла. Первичная экстинкция. Кривая дифракционного отражения (КДО). Зависимость КДО от толщины кристалла и коэффициента асимметрии отражения. Интегральная интенсивность отражения.	4	2					2	2		2
6. *Структура электромагнитного поля внутри кристалла.* Метод стоячих рентгеновских волн. Поток энергии в кристалле. Явление аномально глубокого проникновения рентгеновских лучей в схеме Брэгга.	4	2					2	2		2
7. *Дифракция в кристалле с произвольным профилем деформации*. Понятие о бикристалле. Отражение рентгеновских лучей от	8	4					4	4		4

бикристалла. Рекуррентные соотношения нового типа. Дифракция в кристалле с произвольным профилем деформации.										
8. *Уравнения Такаги.* Уравнения Такаги для медленно меняющихся амплитуд в деформированных кристаллах с дефектами структуры. Особенности рассеяния от наноразмерных структур.	4	2					2	2		2
9. *Зеркальное отражение рентгеновских лучей*. Явление полного внешнего отражения (ПВО). Влияние шероховатостей поверхности на коэффициенты отражения и прохождения. *Многослойные структуры*. Рентгеновская оптика на основе многослойных периодических аморфных структур. Рекуррентные формулы Парратта.	8	4					4	4		4
10. *Граничные условия и волновые векторы в кристалле.* Определение центров распространения проходящей и дифрагированной рентгеновских волн. Комплексные коэффициенты отражения и прохождения. Маятниковое решение (пенделлёзунг эффект).	4	2					2	2		2
11. *Структура поля и потоков энергии в кристалле.* Глубина экстинкции. Структура	4	2					2	2		2

поля и потоков энергии в кристалле. Влияние поглощения и толщины кристалла на кривые отражения и прохождения.										
12. *Интегральные интенсивности дифракционного отражения*. Явление аномального прохождения (эффект Бормана). Интегральные интенсивности в случаях дифракции в геометриях Брэгга и Лауэ. Рентгеновская топография и интерферометрия.	4	2					2	2		2
13. *Дифракция в кристаллах с нарушенным поверхностным слоем.* Зависимость углового распределения КДО от профилей деформации. Типы дефектов в кристаллах и их влияние на дифракцию (точечные дефекты, кластеры, дислокации, дислокационные петли). Элементы теории Кривоглаза.	4	2					2	2		2
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. экзамен	8			2		2	4	2	2	4
Итого	**72**	32		2		2	36	34	2	36

* *Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторскими учебными пособиями и презентациями.

1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. Учебное пособие. М.: МГУ. 1990.
2. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Учебное пособие, МГУ, Москва, 2012.
3. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях дифракции в кристаллах с гнарушенными приповерхностными слоями. М.: МГУ. 2016.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Основные положения и понятия теории взаимодействия рентгеновских лучей с кристаллами.
2. Критерии применимости кинематического и динамического приближений.
3. Первичная и вторичная экстинкция.
4. Тепловой и статический факторы Дебая-Валлера.
5. Экспериментальные методы исследования структуры высокосовершенных монокристаллов с нарушенным приповерхностным слоем.
6. Микроскопические уравнения Максвелла. Материальное уравнение.
7. Структура поля внутри кристалла. Метод стоячих рентгеновских волн.

8. Явление полного внешнего отражения рентгеновских лучей.

Примеры типов домашних задач:

1. Определение межплоскостных расстояний и углов Брэгга для отражения общего вида (h, k, l) в кубических кристаллах.
2. Вывод формулы Вульфа-Брэгга в формализме обратного пространства.
3. Зависимость ширины дифракционного отражения от толщины кристалла в кинематическом приближении.
4. Влияние монохроматора на ширину кривой дифракционного отражения, частные случаи лоренцевского и гауссового приближений.
5. Влияние точечных дефектов и температуры кристалла на ширину дифракционного отражения от толстого кристалла.
6. Связь рентгеновской поляризуемости с длиной волны и структурным фактором кристалла.
7. Влияние деформации в приповерхностном слое на знак и величину углового положения пика дифракционного отражения.
8. Графики ширины дифракционного отражения от толщины кристалла и от температуры кристалла.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Диаграмма и интенсивность рассеяния рентгеновского излучения на свободном электроне.
2. Угловая зависимость атомного фактора рассеяния и структурного фактора для кристаллов с “легкими” и ”тяжелыми” атомами.
3. Два способа получения формулы Вульфа-Брэгга (в прямом и обратном пространствах).
4. Влияние асимметрии отражения на ширину брэгговских рефлексов от толстого совершенного кристалла.
5. Зависимость интегральной интенсивности отражения от длины

волны в кинематическом приближении и в рамках динамической теории дифракции.

6. Три способа определения толщины нарушенного слоя по данным дифракционного отражения рентгеновских лучей.
7. Вывод формулы для ширины брэгговского рассеяния в зависимости от длины волны и глубины экстинкции.
8. Явление полного внешнего отражения рентгеновских лучей. В чем причина этого явления. Зависимость глубины проникновения поля от угла падения излучения на поверхность.
9. Зеркальное отражение от многослойной периодической структуры. Вывод рекуррентных соотношений Парратта.
10. Эффект аномального прохождения Боррманна. Экспериментальные данные и физическое обоснование.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Основные характеристики рентгеновского излучения (длина волны, энергия квантов, поляризация, энергия связи внешних и внутренних атомных электронов).
2. Основные положения и понятия теории взаимодействия рентгеновских лучей с кристаллами.
3. Рассеяние свободным электроном. Атомный фактор. Структурный фактор.
4. Коэффициент отражения от одной атомной плоскости.
5. Интенсивность отражения от тонкого кристалла. Функция Лауэ. Зависимость формы узлов обратной решетки от числа элементарных ячеек вдоль координатных осей.
6. Критерии применимости кинематического и динамического приближений.
7. Тепловой и статический фактор Дебая-Валлера.
8. Первичная и вторичная экстинкция. Дальний и ближний порядок. Области когерентного рассеяния.
9. Классификация процессов взаимодействия по признакам когерентности и упругости.
10. Экспериментальные методы исследования структуры высокосовершенных монокристаллов.

11. Микроскопические уравнения Максвелла (вакуум, заряды, наведенные токи).
12. Материальное уравнение (общий интегральный случай, оптика видимого диапазона, рентгеновские лучи и совершенный монокристалл).
13. Рентгеновская поляризуемость кристалла. Ее вывод в квазиклассическом приближении.
14. Основное уравнение динамической теории дифракции (метод дисперсионного уравнения).
15. Теория Эвальда-Лауэ. Двухволновое приближение.
16. Понятие дисперсионной поверхности.
17. Динамическая теория Дарвина и метод рекуррентных соотношений.
18. Условия непрерывности полей и волновых векторов на поверхности кристалла.
19. Центры распространения на дисперсионной поверхности.
20. Брэгговская аккомодация. Ее физическая интерпретация.
21. Комплексный коэффициент отражения от конечного и полубесконечного поглощающего кристалла.
22. Кривая дифракционного отражения (КДО). Зависимость КДО от толщины кристалла.
23. Первичная экстинкция. Глубина первичной экстинкции. Зависимость глубины проникновения поля от угловой отстройки.
24. Интегральная интенсивность отражения (в кинематической теории и в динамической теории.
25. Структура поля внутри кристалла. Метод стоячих рентгеновских волн.
26. Поток энергии в кристалле. Явление аномально глубокого проникновения рентгеновских лучей в схеме Брэгга.
27. Отражение от бикристалла. Рекуррентные соотношения нового типа.
28. Дифракция в кристалле с произвольным профилем деформации.
29. Уравнения Такаги для медленно меняющихся амплитуд в де-

формированных кристаллах с дефектами структуры.

30. Влияние на дифракцию квантовых ям, нитей и точек. Полукинематическое приближение в теории рассеяния рентгеновских лучей от кристалла с тонким эпитаксиальным слоем.
31. Зеркальное отражение рентгеновских лучей. Явление полного внешнего отражения.
32. Рентгеновская оптика на основе многослойных периодических структур.
33. Двухволновая дифракция в схеме Лауэ. Граничные условия для полей. Определение центров распространения.
34. Комплексные коэффициенты отражения и прохождения в случае Лауэ.
35. Маятниковое решение. Глубина экстинкции.
36. Структура поля и потоков энергии в кристалле в геометрии дифракции по Лауэ.
37. Влияние поглощения и толщины кристалла на кривые отражения и прохождения.
38. Явление аномального прохождения (эффект Боррманна). Экспериментальное подтверждение и физическая интерпретация.
39. Интегральные интенсивности отражения и прохождения в случае Лауэ.
40. Рентгеновская топография и интерферометрия.
41. Дифракция в кристаллах с нарушенным поверхностным слоем. Зависимость углового распределения КДО от профилей деформации.
42. Типы дефектов в кристаллах и их влияние на дифракцию (точечные дефекты, кластеры, дислокации, дислокационные петли). Элементы теории Кривоглаза. Дефекты первого и второго типа.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. Учебное пособие. М.: МГУ. 1990.

2. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ. 1978.
3. Пинскер З.Г. Рентгеновская кристаллооптика. М.: Наука. 1982.
4. Колпаков А.В. Динамическая дифракция рентгеновских лучей. М.: МГУ. 1989.
5. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях дифракции в кристаллах с нарушенными приповерхностными слоями. М.: МГУ. 2016.

Дополнительная литература

1. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях скользящей дифракции. Учебное пособие. М.: МГУ. 2002.
2. Бушуев В.А., Кютт Р.Н., Хапачев Ю.П. Физические принципы рентгенодифрактометрического определения параметров реальной структуры многослойных эпитаксиальных пленок. Монография, КБГУ, Нальчик, 1996.
3. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Учебное пособие, МГУ, Москва, 2012.

Периодическая литература

1. Bushuev V.A., Diffraction of X-ray free-electron laser femtosecond pulses on single crystals in the Bragg and Laue geometry. // J. Synchrotron Rad. 2008. V. 15. N 5. P. 495-505.
2. Бушуев В.А., Изменение функции пространственной когерентности при брэгговском отражении рентгеновского пучка. // Известия РАН. Сер. физическая. 2009. Т. 73. № 1. С. 56-60.

Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- http://www.esrf.fr/computing/computing/xop….
- http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/TBS/SciSoft….
- http://sergey.gmca.aps.anl.gov/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать основы динамической теории дифракции рентгеновских лучей в совершенных монокристаллах;

уметь использовать приведенные на лекциях формулы для проведения простых оценок основных параметров динамической теории для разных длин волн, кристаллов, порядков отражения и т.п.

владеть основными методами расчета кривых дифракционного отражения, полей в монокристаллах и многослойных периодических структурах, включая структуры с нанометровыми пленками на поверхности;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, а также умения отвечать на вопросы и вести дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Наиболее важные части курса, требующие приведения сложной наглядной информации и графиков, имеют электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Студентам предлагаются темы для кратких докладов и презентаций с последующей общей дискуссией и обсуждением сделанных докладов. По ряду наиболее современных проблем организуются встречи с представителями ведущих российских (ИК РАН, ИПТМ РАН) и зарубежных (DESY, ESRF) научных центров.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана).

Рабочая программа дисциплины
СТРУКТУРА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ И СОЕДИНЕНИЙ
Автор д.ф.-м.н., профессор А.Г.Хунджуа

1. Название дисциплины: **Структура металлических фаз и соединений**
2. Уровень высшего образования – ***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ "Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения" и "Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы".

Основная прикладная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными свойствами, получила значительное развитие с приходом нано- и биотехнологий, которые реально позволяют конструировать и создавать такие материалы, опираясь, в том числе, и на фазовые превращения, поскольку фазовые состав определяет многие физические свойства материалов. Поэтому задача не может быть решена без изучения фазовых превращений в твёрдом состоянии, так как физические свойства кристаллов зависят атомно-кристаллической и дефектной структуры материалов и его фазового состава.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Квантовая механика”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Теория химической связи. Строение электронных оболочек атома. Простейшие модели взаи-	12	3	3				6	6		6

модействия атомов. Потенциал ионизации. Сродство с электроном. Электроотрицательность. Ионная и ковалентная связи в молекулах и кристаллах. Гибридные волновые функции.										
Металлическая связь. Связь Ван-дер-Ваальса. Водородная связь.	8	2	2				4	4		4
Металлы в периодической системе элементов. Кристаллическая структура металлов. Полиморфизм и аллотропия.	8	2	2				4	4		4
Структурные превращения в сплавах на основе золота, серебра и меди. Электронные фазы Юм-Розери. Кристаллическая структура фаз Юм-Розери.	4	2	2				4	4		4
Аллотропное $\beta \to \alpha$ превращение в титана и цирконии. Твердые растворы на основе титана и циркония. α - и β - стабилизаторы. Метастабильные фазы. Механизм формирования ω-фазы.	8	2	2				4	4		4
Сплавы на основе алюминия. Дюралюминий.	4	1	1				2	4		4
Твердые растворы. Фазы Лавеса.	8	2	2				4	4		4
Аллотропные превращения в железе. $\gamma \to \alpha$ превращение в железе и сплавах систем *Fe-Ti, Fe-V, Fe-Cr, Fe-Mn, Fe-Ni, Fe-Co*. σ - фаза. Углеродистая сталь как пример твердого раствора внедрения.	8	2	2				4	4		4

Диаграмма состояний системы *Fe - C*.										
Контроль текущей успеваемости проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов. на 10 неделе проводится контрольная работа с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.	4					2	2	2		2
Промежуточная аттестация экзамен	2			1	1		2			
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Простейшие модели взаимодействия атомов.
2. Гибридные волновые функции.
3. Водородная связь и её влияние на физические свойства воды.

4. Кристаллическая структура металлов. Полиморфизм и аллотропия.
5. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.
6. Диаграмма состояний железо-углерод

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Потенциал ионизации. Сродство с электроном. Электроотрицательность.
2. Ионная и ковалентная связи в кристаллах Гибридные волновые функции.
3. Связь Ван-дер-Ваальса. Водородная связь.
4. Металлическая связь. Кристаллическая структура металлов. Полиморфизм и аллотропия.
5. Валентный и размерный факторы. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.
6. Диаграмма состояний железо-углерод
7. Кристаллическая структура металлов. Полиморфизм и аллотропия.
8. Фазовые превращения в сплавах на основе титана
9. Фазы Юм-Розери
10. Фазы Лавенса
11. Дюралюминий

Перечень вопросов к экзамену:

1. Простейшие модели взаимодействия атомов.
2. Потенциал ионизации. Сродство с электроном. Электроотрицательность.
3. Гибридные волновые функции.
4. Ионная и ковалентная связи в молекулах и кристаллах.
5. Металлическая связь. Связь Ван-дер-Ваальса.
6. Водородная связь.
7. Кристаллическая структура металлов. Полиморфизм и аллотропия.
8. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.

9. Структурные превращения в сплавах на основе золота, серебра и меди.
10. Фазы Юм-Розери.
11. Кристаллическая структура фаз Юм-Розери.
12. Фазы Лавеса
13. Дюралюминий
14. Аллотропное $\beta \rightarrow \alpha$ превращение в титана и цирконии. Твердые растворы на основе титана и циркония. α - и β - стабилизаторы.
15. Метастабильные фазы в сплавах на основе титана.
16. Механизм формирования ω-фазы.
17. Аллотропные превращения в железе. $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение в железе и сплавах на основе железа.
18. Сплавы железа с d-переходными металлами *IV – VIII* групп (*Ti, V, Cr, Mn, Ni, Co*). σ - фаза.
19. Диаграмма состояний системы *Fe - C*. Углеродистая сталь как пример твердого раствора внедрения.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Жданов Г.С., Хунджуа А.Г. Лекции по физике твердого тела. М. Изд. Моск. ун-та. 1989.
2. Физическое металловеденне / под ред. Р.У. Кана и П. Хазена. Т.2 Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами - М.: Металлургия, 1987.
3. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. М.: Мир. 1978. 906 с.
4. Уманский Я.С., Скаков Ю.Д. Физика металлов М.: Атомиздат. 1978. 352 с.

Дополнительная литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твёрдого тела. М.: Наука. 1978. 791с
2. Шульце Г. Металлофизика М. Мир. 1971. 503 с.
3. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982.
4. Хачатурян А.Г. Теория фазовых превращений и структура твёрдых

растворов. М.: Наука. 1974. 384 с.
5. Миронова Г.А. Конденсированное состояние вещества. т. 1. М.: Физический факультет МГУ, 2004. 532 с.
6. Урусов В.С., Еремин Н.Н. Кристаллохимия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010, 256 с.
7. Лободюк В.А., Эстрин Э.И. Мартенситные превращения - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 352 с.
8. Хунджуа А.Г. Матричный метод описания кристаллических структур и его применение к анализу и моделированию картин дифракции электронов и рентгеновских лучей. Учебное пособие // М.: физический факультет МГУ. 2010.-32 с.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины: http://kftt.phys.msu.ru/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы строго квантовомеханического описания взаимодействия рентгеновского излучения с веществом;

уметь использовать полученные знания для определения сечения рассеяния и поглощения рентгеновского излучения атомами вещества;

владеть основными методами расчета сечения рассеяния и поглощения рентгеновского излучения атомами вещества;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
Автор к.ф.-м.н., доцент В.В.Ржевский

1. Название дисциплины: ***Квантовая теория твердых тел***

Лектор: канд. физ.-мат. наук, доцент (уч. звание), старший преподаватель Ржевский Владимир Васильевич

2. Уровень высшего образования –***магистратура.***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Квантовая природа макроскопических твердых тел проявляется в том, что на низких уровнях возбуждения, движение в них возникает в виде отдельных дискретных порций, элементарных возбуждений (квазичастиц), обладающих определенной энергией и импульсом. Настоящий курс содержит изложение основ квантовой теории твердого тела, с выделением принципов описания, а не детальных расчетов характеристик твердых тел. Квантовая теория твердого тела, в ее современной форме, многими своими достижениями обязана идеям и результатам, принадлежащим профессору физического факультета МГУ, академику И.М.Лифшицу, выдающемуся советскому физику-теоретику. Его работы отличало сочетание математической строгости и замечательного дара автора вносить ясность в суть сложных физических явлений. Ряд вопросов в настоящем курсе излагается, следуя его оригинальным статьям. В курсе, главным образом, представлен квантово-механический подход к многочастичным системам, в рамках одноэлектронного приближения, на основе введения квазичастиц, приводящий к объяснению электронной структуры в твердых телах и к введению классификации диэлектриков, полупроводников и металлов в терминах зонной теории. Рассматриваются динамика кристаллической решетки, фононы, их взаимодействие, теплоемкость низкоразмерных систем, движение электронов с произвольным законом дисперсии во внешнем магнитном поле. Заключительный раздел знакомит с активно исследуемыми в последнее время, системами с сильной корреляцией электронов, для объяснения свойств которых (высокотемпературной сверхпроводимости, органической проводимости, переходов металл-диэлектрик) необходимы квантово-полевые методы. В курсе

уделено внимание выработке практических навыков по применению квантовой теории. От слушателей требуется знание основ квантовой механики и статистической физики. Лекции нацелены на обеспечение магистрантов профессиональными знаниями в области современной квантовой теории твердого тела, подготовки студентов к выполнению самостоятельных исследований в области физики конденсированного состояния вещества, в рамках магистерской выпускной работы.

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы в каждом из семестров №1 и №2. В семестре №1 всего 72 академических часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия семинарского типа, 12 часов групповых консультаций, 2 часов индивидуальных консультаций, 2 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часов мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося***. В семестре №2 всего 108 академических часов,*** из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (17 часов занятия семинарского типа, 11 часов групповых консультаций, 2 часов индивидуальных консультаций, 2 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часов мероприятия промежуточной аттестации), 74 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия: ***предполагается знание слушателями общей физики, знакомство с разделами теоретической физики, квантовой механикой, статистической физикой, требуется подготовка в области дифференциальных уравнений, аналитической геометрии, математического анализа и вариационного исчисления.***

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Квантовая теория твердых тел. Часть 1.										
1.Введение. Структура и квантовые свойства твердых тел. *Классификация твердых тел. Квантовые свойства. Геометрия кристаллов. Операция трансляции. Квазиимпульс. Структура энергетического спектра кристаллов.*	22	4	6	0,5	0,5	1	12	8	2	10
2.Квазичастицы в идеальных квантовых Ферми- и Бозе-газах. *Элементарные возбуждения*	17	4	4	-	-	1	9	6	2	8

вблизи основного состояния. Электроны и дырки. Бозе-Эйнштейновский конденсат. Бозоны –как квазичастицы.										
3. Зонная теория. Электронный энергетический спектр кристаллов. *Зонная теория. Одноэлектронное приближение. Блоховские электроны. Теория Ферми-жидкости Ландау. Закон дисперсии электрона в кристалле. Энергетические зоны. Модель Кронига-Пенни.*	16	2	4	0,5	0,5	1	8	4	4	8
4. Заполнение зон в основном состоянии электронов в кристалле. Металлы, диэлектрики, полупроводники. *Основное состояние электронной системы в кристалле. Произвольный закон дисперсии. Приближенные методы решения одноэлектронного уравнения Шредингера.*	15	4	4	-	-	1	9	4	2	6
Промежуточная аттестация зачет	2									
Итого	72	14	18	1	1	4	38	22	10	32
Квантовая теория твердых тел. Часть 2.										
5. Движение электрона проводимости в магнитном поле. *Квазиклассическое движение электрона со сложным законом дисперсии в магнитном*	26	3	4	0,5	0,5	1	9	9	8	17

поле. *Квантование энергии электрона проводимости в магнитном поле.*										
6. Колебания кристаллической решетки. Фононы. *Динамика кристаллической решетки. Тепловые возбуждения кристаллической решетки. Теплопроводность кристаллической решетки. Коэффициент теплового расширения.*	23	4	4	-	-	1	9	8	6	14
7.Статистико-термодинамические свойства твердых тел. *Фононная (колебательная) часть свободной энергии. Фононная теплоемкость. Электронная часть термодинамических функций. Электронная теплоемкость.*	26	3	5	0,5	0,5	2	11	7	8	15
8. Системы с сильной корреляцией электронов. *Свойства соединений с энергией взаимодействия электронов друг с другом сравнимой с кинетической энергией электронов. Квантовая дуальность волна-частица в системах с сильно коррелированными электронами.*	29	5	4	1	1	1	12	8	9	17
Промежуточная аттестация экзамен	4									
Итого	108	15	17	2	2	5	41	32	31	63

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках*

занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

В.В.Ржевский, Модель Кронига-Пенни. Учебно-методическое пособие, Москва, МГУ, 2010

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Квантовая теория твердых тел. Часть I. Разделы 1-4, (1-й семестр):

Примеры домашних заданий (ч. I).

1.Вывести выражение для взаимодействия Ван-дер-Ваальса.

2. Установить соотношения симметрий между прямой и обратной решетками различных классов.

3. Показать из термодинамики, что химический потенциал газа квазичастиц равен нулю.

4. Найти первые квантовые поправки к классическому значению химического потенциала для Бозе- и Ферми- газов.

5. Определить фермиевскую энергию и фермиевский импульс для двухмерного и одномерного фермиевского газа.

6. Получить выражение гамильтониана для блоховского электрона в к-представлении.

7. Найти особенности плотности состояния электрона на краях энергетической зоны.

8. Найти особенность плотности состояний электрона в случае разрыва "перемычки" изоэнергетической поверхности в двухмерном случае.

9. Найти особенность плотности состояний электрона в случае возникновения нового замкнутого листа изоэнергетической поверхности в трехмерном случае.

Примеры контрольных вопросов (ч.I).

1. Бозе-Эйнштейновская конденсация.

2. Основные положения модели Дебая.

3. Отличия квазиимпульса от импульса.

4. "Мембранный" эффект при распространении упругих волн в тонких

пленках.

5. Адиабатическое приближение.

6. Эффективная масса электрона и геометрия изоэнергетической поверхности.

7. Как связаны особенности Ван Хова и переходы Лифшица?

8. Метод Харрисона построения поверхностей Ферми.

Перечень вопросов к промежуточной аттестации (ч.I):

1.Характерные размеры, силы, скорости, действия частиц в твердом теле.

2. Структура твердых тел. Физика твердого тела и нерелятивистская квантовая механика.

3. Модель твердого тела Эйнштейна. Температура Эйнштейна.

4. Модель твердого тела Дебая. Температура Дебая.

5. Спектральная плотность состояний в моделях Эйнштейна и Дебая.

6. Температуры Эйнштейна и Дебая, как критерий квантовости.

7. Кристаллическая решетка. Основные векторы. Классы кристаллических систем.

8. Решетка Браве. Примитивная ячейка. Построение ячейки Вигнера-Зейтца.

9. Обратная решетка, цель введения. Первая зона Бриллюэна.

10. Построение 1-й, 2-й, 3-й зон Бриллюэна в 1D и 2D случаях.

11. Операция трансляции в кристаллической решетке. Собственные значения оператора трансляции.

12. Циклические граничные условия Борна-Кармана.

13. Связь оператора трансляции с оператором импульса.

14. Трансляционная инвариантность. Квазиимпульс.

15. Особенности закона сохранения квазиимпульса.

16. Элементарные возбуждения вблизи основного состояния кристалла. Квазичастицы.

17. Квантовая теория газа свободных электронов. Статистика Ферми-Дирака.

18. Зависимость химического потенциала фермионов от температуры и ее график. Принцип Паули.

19. Квантовая теория идеального газа бозонов. Статистика Бозе-Эйнштейна.

20. Зависимость химического потенциала бозонов от температуры и ее

график. Бозе-Эйнштейновская конденсация.
21. Закон дисперсии. Геометрическое представление закона дисперсии. Изоэнергетические поверхности.
22. Поверхность Ферми для газа свободных электронов.
23. Плотность электронных состояний в идеальном Ферми газе, зависимость от размерности пространства.
24. Электроны в кристалле. Одноэлектронное приближение.
25. Волновая функция электрона в кристалле.
26. Условие Блоха. Блоховская волна.
27. Уравнение Шредингера для электрона в периодическом потенциале. Зонная теория. Произвольный закон дисперсии.
28. Нормальные и процессы переброса при столкновениях электронов в кристалле.
29. Число состояний в 1-й зоне Бриллюэна.
30. Заполнение энергетических зон в основном состоянии кристалла. Критерий металла, диэлектрика, полупроводника.
31. Уровень Ферми. Поверхность Ферми. Электронные и дырочные поверхности.
32. Плотность состояний электронов с произвольным законом дисперсии.
33. Изоэнергетические поверхности вблизи верха и дна зоны.
34. Особенности электронной плотности состояний на границах зон.
35. Особенности Ван Хова в энергетических зонах.
36. Электронная плотность состояний вблизи критических значений энергий Ван Хова.
37. Тензор обратных эффективных масс электронов в кристалле.
38. Геометрическая структура энергетического спектра электронов в зоне. Открытые и замкнутые изоэнергетические поверхности.
39. Электронно-топологические переходы 2,5 рода Лифшица.
40. Модель Кронига-Пенни.
41. Приближение почти свободных электронов.
42. Метод сильной связи.

Квантовая теория твердых тел. Часть II. Разделы 5-8, (2-й семестр):

Примеры домашних заданий (ч.II).

1. Разложение зоммерфельдовских интегралов по степеням темпера-

туры.

2. Вычислить электронный вклад в теплопроводность металлов при низких температурах.

3. Показать, что химический потенциал фононов равен нулю.

4. Вычислить коэффициент теплового расширения в модели Дебая.

5. Вычислить и построить графики групповой и фазовой скоростей фононов для двухатомной линейной цепочки с соотношением масс 1:6. Оценить вклад оптических фононов в теплопроводность.

6. Вычислить тепловое расширение ангармонического осциллятора (смещение искать в виде: $u(t) = u_0 + u_1 \sin\omega t$).

Примеры контрольных вопросов (ч.II).

1. Отличие структур электронного и фононного зонных спектров.

2. Локальные и квазилокальные фононы.

3. Характер движений акустических и оптических фононов.

4. Связь траекторий движения электрона в магнитном поле в импульсном и координатном пространствах.

5. Отрицательный коэффициент теплового расширения.

6. Изолятор Мотта. Привести примеры веществ,- металлов по зонной теории, но из-за корреляций, -изоляторов.

7. Проявление электронных корреляций в ВТСП материалах.

8. Эффект Ааронова-Бома.

9. Квантовая дуальность в соединениях с сильной корреляцией электронов.

Перечень вопросов к экзамену (ч.II):

1. Концепция квазичастиц.

2. Теория Ферми-жидкости Ландау.

3. Парамагнетизм свободного электронного газа Паули.

4. Свободные электроны в постоянном магнитном поле. Уровни Ландау.

5. Сравнение свойств свободного электрона и электрона в кристалле.

6. Движение электрона в кристалле в постоянном однородном магнитном поле.

7. Квазиклассическая траектория движения электрона в магнитном поле, - в импульсном и координатном пространствах.

8. Правила квантования Лифшица-Онсагера движения электрона с произвольным законом дисперсии в магнитном поле.

9. Циклотронная эффективная масса электрона.
10. Плотность состояний в магнитном поле.
11. Квантование колебаний кристаллической решетки. Фононы.
12. Локальные и квазилокальные фононы.
13. Акустические фононы. Закон дисперсии акустических фононов.
14. Оптические фононы. Закон дисперсии оптических фононов.
15. Сингулярности плотности фононных состояний в критических точках Ван Хова.
16. Взаимодействие фононов. Нормальное рассеяние фононов, роль процессов переброса.
17. Ангармонизм колебаний атомов. Теплопроводность диэлектриков.
18. Электронный вклад в теплопроводность металлов при низких температурах.
19. Ангармонические эффекты. Коэффициент теплового расширения. Параметр Грюнайзена.
20. Теплоемкость кристаллической решетки в модели Эйнштейна.
21. Теплоемкость кристаллической решетки в модели Дебая.
22. Электронная теплоемкость в металлах при низких температурах.
23. Особенности соединений с сильной корреляцией электронов.
24. Уровень Ферми. Поверхность Ферми для электрона с произвольным законом дисперсии в металлах, полуметаллах, полупроводниках.
25. Размытие поверхности Ферми в сильнокоррелированных соединениях.
26. Низкоразмерные и мезоскопические системы.
27. Свойства ВТСП материалов.
28. Изолятор Мотта.
29. Органические высокотемпературные сверхпроводники - фуллериды.
30. Эффект Ааронова-Бома.
31. Форма квантовой дуальности в системах с сильной корреляцией электронов.
32. Различие в проявлении двойственности волна-частица, на примере: диэлектрик Мотта— ВТСП соединение.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Ч.Киттель, Квантовая теория твердого тела, Москва, Наука,

1978.
2. А.Анималу, Квантовая теория кристаллических твердых тел, Москва, Мир, 1981
3. .А.Абрикосов. Основы теории металлов. Москва, Наука, 1987.

Дополнительная литература

1. И.М.Лифшиц, Избранные труды, т.2, Москва, Наука, 1994
2. М.И.Каганов, В.В.Ржевский. Введение в квантовую теорию твердого тела. Москва, МГУ, 1987.
3. M.P.Marder, Condensed Matter Physics, J.Wiley Inc.Publication, 2010.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- http:// eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm.
- http://www.ufn.ru
- http://scitation.aip.org/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

В.В. Ржевский, Задачи по физике конденсированного состояния вещества. Учебно-методическое пособие, Москва, МГУ, 2009

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Лекционные и семинарские занятия по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями к материально-техническим условиям реализации образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», п.5.3.: в ауд.1-42 Физического факультета МГУ, где предусмотрены-учебная доска большого формата, компьютер, проектор, экран.

Рабочая программа дисциплины
ВТОРИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКЕ
Автор д.ф.-м.н., профессор В.А.Бушуев

1. Название дисциплины: **Вторичные процессы в рентгеновской оптике**

Лектор - д.ф.-м.н., профессор, Бушуев Владимир Алексеевич.

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

В связи с переходом к субмикронным и нанометровым толщинам приповерхностных слоев в современной твердотельной электронике необходимо развитие новых методов диагностики кристаллической структуры таких слоев. Рентгеновская дифрактометрия с регистрацией отраженного сигнала не обладает такими возможностями, так как несет информацию о структуре кристалла в слоях с толщиной порядка глубины экстинкции (1-3 мкм). В то же время глубина выхода фотоэлектронов, возбуждаемых рентгеновскими лучами, составляет 10-100 нм, что является основой нового метода стоячих рентгеновских волн. В курсе проведено изложение современного состояния метода стоячих рентгеновских волн, который основан на регистрации угловой зависимости выхода вторичных процессов (фотоэлектроны, флуоресценция) в условиях динамической дифракции рентгеновского излучения и является наиболее информативным для диагностики субмикронных и нанометровых приповерхностных слоев материалов современной нано- и микроэлектроники. Помимо лекций, контрольных опросов и кратких докладов студентов приводится информация по материалам последних научных конференций и семинаров по рентгеновской оптике и дифрактометрии.

Цели освоения дисциплины: Владение современными профессиональными знаниями в области динамической теории рассеяния рент-

геновских лучей и техники стоячих рентгеновских волн, обучение современным методам обработки экспериментальных данных и их применения для решения практических задач.

Задачи дисциплины: Задачей дисциплины является обучение студентов основным принципам построения динамической теории дифракции рентгеновских лучей, теории формирования стоячей рентгеновской волны и выхода вторичных процессов, овладение навыками использовать полученные знания для интерпретации экспериментальных кривых дифракционного отражения и интенсивности выхода вторичных процессов.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (34 часа занятия лекционного типа, 1 час групповых консультаций, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Курс неразрывно связан с дисциплинами блока профессиональной подготовки.

Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины: “Математический анализ”, “Дифференциальные уравнения”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Квантовая теория”, “Атомная физика”, “Методы математической физики”, “Основы дифракционного

структурного анализа”, “Свойства конденсированных веществ”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. *Основные представления о вторичных процессах.* Фотоэлектронная эмиссия, рентгеновская флуоресценция, комптоновское, плазмонное, комбинационное и тепловое диффузное рассеяние, электронная конверсия.	4	2					2	2		2
2. *Физические особенности возбуждения и регистрации вторич-*	4	2					2	2		2

ных процессов. Получаемая с их помощью информация о строении и структуре вещества.										
3. *Следствия из динамической теории дифракции.* Краткие сведения об основных результатах динамическое теории дифракции. Поляризуемость кристалла. Динамическая дифракция. Случаи Брэгга и Лауэ.	4	2					2	2		2
4. *Особенности дифракционного отражения от совершенных кристаллов.* Амплитуда и фаза отражения. Первичная экстинкция. Распределение поля в кристалле.	4	2					2	2		2
5. *Стоячая рентгеновская волна*. Дифракция в совершенных кристаллах и в кристаллах с нарушенным поверхностным слоем.	4	2					2	2		2
6. *Классификация вторичных процессов.* Классификация вторичных процессов по признакам упругости и когерентности. Уравнения Максвелла с распределенными источниками.	4	2					2	2		2
7. *Вторичные процессы в идеальных и реальных кристаллах.* Особенности вторичных процессов в совершенных монокристаллах и в кристаллах с тонким	4	2					2	2		2

нарушенным приповерхностным слоем.										
8. *Угловая зависимость выхода вторичных процессов.* Функция выхода. Проблема экстинкции и пути ее решения. Когерентная фракция и когерентная позиция.	4	2					2	2		2
9. *Внешний рентгеновский фотоэффект.* Внешний рентгеновский фотоэффект как метод исследования структуры субмикронных приповерхностных слоев полупроводниковых материалов. Основные требования к экспериментальной технике.	4	2					2	2		2
10. *Влияние полной и частичной аморфизации на кривые выхода вторичных процессов.* Фотоэффект в аморфизованных, ионно-имплантированных и эпитаксиальных структурах.	4	2					2	2		2
11. *Дифракция в геометрии Лауэ.* Фотоэлектронная эмиссия в условиях скользящей Лауэ-дифракции.	4	2					2	2		2
12. *Возможности изучения профиля деформации.* Функция вероятности выхода фотоэлектронов и селективный по глубине анализ приповерхностных слоев.	4	2					2	2		2
13. *Требования к условиям прове-*	4	2					2	2		2

дения экспериментов. Метод двухканальной регистрации. Требования к угловому разрешению и временной стабильности. Торсионный гониометр.										
14. *Явление полного внешнего отражения*. Вторичные процессы в условиях полного внешнего отражения рентгеновских лучей.	4	2					2	2		2
15. *Влияние глубины выхода вторичных процессов.* Вторичные процессы с большой глубиной выхода (флуоресценция, неупругое рассеяние). *Предельные возможности вторичных процессов*. Исследования структуры отдельных монослоев и локализация примесей. Внутренний фотоэффект.	4	2					2	2		2
16. *Неупругое когерентное и некогерентное комптоновское рассеяние.* Когерентный комптон-эффект как метод анализа электронной структуры кристаллов. Электронная матрица плотности.	4	2					2	2		2
17. *Асимметричные схемы дифракции.* Особенности вторичных процессов в условиях резко асимметричной брэгговской и лауэвской ди-	4	2					2	2		2

фракции. Влияние непрямых процессов возбуждения на угловые зависимости вторичных процессов.										
Промежуточная аттестация проводится на 10-ой неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса экзамен	4			1		1	2		2	2
Итого	**72**	34		1		1	36	34	2	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторскими учебными пособиями и презентациями.

1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. Учебное пособие. М.: МГУ. 1990.
2. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Учебное пособие, МГУ, Москва, 2012.
3. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях дифракции в кристаллах с гнарушенными приповерхностными слоями. М.: МГУ. 2016.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Основные положения и понятия теории взаимодействия рентгеновских лучей с кристаллами.
2. Основные представления о вторичных процессах (фотоэлектронная эмиссия, рентгеновская флуоресценция, комптоновское и тепловое диффузное рассеяние. Физические особенности возбуждения вторичных процессов разного типа.
3. Рентгеновская поляризуемость кристалла. Кинематическая и динамическая дифракция.
4. Упругое и неупругое, когерентное и некогерентное рассеяние рентгеновских лучей.
5. Тепловой и статический факторы Дебая-Валлера.
6. Ампдитуда и фаза брэгговского дифракционного отражения.
7. Пространственное распределение суммарного рентгеновского поля в кристалле.
8. Структура поля внутри кристалла с нарушенным поверхностным слоем. Метод стоячих рентгеновских волн. Требования к экспериментальной техники.
9. Функция выхода вторичных процессов. Ее зависимость от глубины возбуждения и энергии квантов.
10. Явление полного внешнего отражения (ПВО) рентгеновских лучей. Вторичные процессы в условиях ПВО.
11. Экспериментальные методы исследования структуры высокосовершенных монокристаллов с нарушенным приповерхностным слоем.

Примеры типов домашних задач:

1. Определение межплоскостных расстояний и углов Брэгга для отражения общего вида (h, k, l) в кубических кристаллах.
2. Вывод основных формул динамической дифакции в геометрии Брэгга в толстом монокристалле.
3. Вывод формулы Вульфа-Брэгга в формализме обратного пространства.
4. Привести формулы и графики зависимости ширины дифракционного отражения от толщины кристалла в общем случае.

5. Вывод формулы для интенсивности полного поля на глубине, много меньшей глубины первичной экстинкции.
6. Получить выражение дли интенсивности выхода вторичных процессов с функцией выхода экспоненциального вида.
7. Привести графики угловой зависимости интенсивности стоячей рентгеновской волны при различных значениях когерентной фракции и когерентной позиции.
8. Влияние деформации в приповерхностном слое на угловые зависимости кривых выхода вторичных процессов. Провести сравнение с кривыми дифракционного отражения.
9. Привести графики ширины дифракционного отражения и глубины экстинкции от толщины и от температуры кристалла.
10. Привести схему регистрации выхода фотоэлектронов на основе газопроточного пропорционального детектора.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Классификация взаимодействия излучения с веществом по признакам упругости и когерентности.
2. Типичная экспериментальная схема для регистрации вторичных процессов в условиях динамической дифракции рентгеновских лучей (фотоэлектроны, рентгеновская флуоресценция).
3. Основные физические принципы метода стоячих рентгеновских волн.
4. Граничные условия для описания дифракции и полного поля в толстом кристалле.
5. Угловая зависимость интенсивности брэгговского отражения и стоячей рентгеновской волны в разных когерентных позициях.
6. Три способа определения толщины нарушенного слоя по данным дифракционного отражения рентгеновских лучей. Сопоставление с возможностями в методе стоячих рентгеновских

волн.

7. Проблема экстинкции и пути ее решения.
8. Когерентная фракция и когерентная позиция. Привести примеры структуры стоячей волны при различных значениях этих величин.
9. Фотоэффект в аморфизованных, ионно-имплантированных и эпитаксиальных структурах.
10. Фотоэлектронная эмиссия в условиях скользящей Лауэ-дифракции.
11. Вторичные процессы с большой глубиной выхода (флуоресценция, неупругое рассеяние).
12. Исследования структуры отдельных монослоев и локализация примесей.
13. Внутренний фотоэффект в условиях динамической дифракции и информация, получаемая с его помощью.
14. Когерентный комптон-эффект как метод анализа электронной структуры кристаллов.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Основные характеристики рентгеновского излучения (длина волны, энергия квантов, поляризация, энергия связи внешних и внутренних атомных электронов).
2. Основные положения и понятия теории взаимодействия рентгеновских лучей с кристаллами.
3. Основные представления о вторичных процессах. Фотоэлектронная эмиссия, рентгеновская флуоресценция, комптоновское, плазмонное, комбинационное и тепловое диффузное рассеяние, электронная конверсия.
4. Получаемая с помощью регистрации вторичных процессов информация о строении и структуре кристаллов с нарушенным поверхностным слоем.
5. Краткие сведения об основных результатах динамическое теории дифракции. Рентгеновская поляризуемость кристалла. Кривая дифракционного отражения. Глубина экстинкции.
6. Случаи Брэгга и Лауэ. Амплитуда и фаза отражения. Первич-

ная экстинкция.

7. Распределение поля в кристалле. Стоячая рентгеновская волна.
8. Критерии применимости кинематического и динамического приближений.
9. Тепловой и статический фактор Дебая-Валлера.
10. Первичная и вторичная экстинкция. Дальний и ближний порядок. Области когерентного рассеяния.
11. Классификация процессов взаимодействия рентгеновских лучей с кристаллами по признакам когерентности и упругости.
12. Экспериментальные методы исследования структуры кристаллов в методе стоячих рентгеновских волн. Основные требования к различным узлам этого метода.
13. Уравнения Максвелла с распределенными источниками.
14. Особенности вторичных процессов в совершенных монокристаллах и в кристаллах с тонким нарушенным (деформированным) приповерхностным слоем.
15. Угловая зависимость выхода вторичных процессов. Функция выхода.
16. Проблема экстинкции и пути ее решения. Когерентная фракция и когерентная позиция.
17. Основные требования к экспериментальной технике. Особенности регистрации флуоресценции и внешнего фото-эффекта.
18. Фотоэффект в аморфизованных, ионно-имплантированных и эпитаксиальных структурах.
19. Фотоэлектронная эмиссия в условиях скользящей Лауэ-дифракции.
20. Функция вероятности выхода фотоэлектронов и селективный по глубине анализ структуры приповерхностных слоев.
21. Метод двухканальной регистрации в технике стоячих рентгеновских волн.
22. Вторичные процессы в условиях полного внешнего отражения рентгеновских лучей.
23. Вторичные процессы с большой глубиной выхода (флуоресценция, неупругое рассеяние).

24. Исследования структуры отдельных монослоев и локализация примесей. Внутренний фотоэффект.
25. Когерентный комптон-эффект как метод анализа электронной структуры кристаллов.
26. Электронная матрица плотности в теории когерентного комптон-эффекта.
27. Особенности вторичных процессов в условиях резко асимметричной брэгговской и лауэвской дифракции.
28. Влияние непрямых процессов возбуждения на угловые зависимости вторичных процессов.
29. Отражение от бикристалла. Интенсивность стоячей рентгеновской волны и угловой зависимости выхода вторичных процессов из бикристалла.
30. Особенности метода стоячих рентгеновских волн в многослойных структурах.
31. Послойный неразрушающий анализ методами рентгеновской дифрактометрии с техники стоячих рентгеновских волн.
32. Приложения для исследования магнитных слоев и пленок с резонансными мессбауэровскими ядрами.
33. Вторичная экстинкция. Размеры и разориентация областей когерентного рассеяния.
34. Однородные уравнения Захариазена и неоднородные уравнения переноса интенсивностей с распределенными источниками.
35. Функция выхода вторичных процессов от энергии и глубины. Возможности послойного анализа структуры кристалла с нарушенным поверхностным слоем.
36. Распределение поля стоячей рентгеновской волны в кристалле по глубине при различных фиксированных угловых отстройках.
37. Когерентная фракция и когерентная позиция. Их зависимость от концентрации статических дефектов и от температуры.
38. Связь угловой зависимости выхода вторичных процессов фотоэлектронов и флуоресцентных квантов с интенсивностью

стоячей рентгеновской волны.

39. Влияние фактора асимметрии отражения на кривые угловой зависимости интенсивности отражения и вторичных процессов.
40. Требования к угловому разрешению и временной стабильности в методе стоячих рентгеновских волн. Двухканальная регистрация. Торсионный гониометр.

11. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. М.: МГУ. 1990.
2. Афанасьев А.М., Александров П.А., Имамов Р.М. Рентгеновская диагностика субмикронных слоев. М.: Наука. 1989.
3. Бушуев В.А., Кютт Р.Н., Хапачев Ю.П. Физические принципы рентгенодифрактометрического определения параметров реальной структуры многослойных эпитаксиальных пленок. Монография, КБГУ, Нальчик, 1996.

Дополнительная литература

1. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ. 1978.
2. Суворов Э.В. Физические основы современных методов исследования реальной структуры кристаллов. Черноголовка, филиал МГУ. 1999.
3. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Учебное пособие, МГУ, Москва, 2012.
4. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях дифракции в кристаллах с нарушенными приповерхностными слоями. Учебное пособие. М.: МГУ. 2016.

Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- http://www.esrf.fr/computing/computing/xop
- http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/TBS/SciSoft
- http://sergey.gmca.aps.anl.gov/

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы динамической теории дифракции рентгеновских лучей в монокристаллах;

уметь использовать приведенные на лекциях формулы для вычисления пространственной структуры стоячей рентгеновской волны для разных углов падения, длин волн и порядков отражения;

владеть основными методами расчета кривых дифракционного отражения и полей в монокристаллах, многослойных структурах, аморфизованных, ионно-имплантированных и эпитаксиальных структурах;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, а также умения отвечать на вопросы и вести дискуссию.

13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Наиболее важные части курса, требующие приведения сложной наглядной информации и графиков, имеют электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Студентам предлагаются темы для кратких докладов и презентаций с последующей общей дискуссией и обсуждением сделанных докладов. По ряду наиболее современных проблем организуются встречи с представителями ведущих российских (ИК РАН, ИПТМ РАН) и зарубежных (DESY, ESRF) научных центров.

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана).

Рабочая программа дисциплины
СТРУКТУРНАЯ ФИЗИКА СПЛАВОВ С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ
Автор д.ф.-м.н., профессор А.Г.Хунджуа

1. Название дисциплины: **Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы**

2. Уровень высшего образования – ***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Одной из важнейших задач современной физики конденсированного состояния вещества является создание материалов с особыми физическими свойствами. К таким материалам относятся и металлические сплавы с эффектами памяти формы - относящихся к важнейшим достижениям физики металлов второй половины XX века. В настоящее время эти задачи решаются с помощью различных физико-химических и физических методов, среди которых одно из ведущих мест принадлежит рентгеноструктурным методам анализа и электронной микроскопии.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (15 часов занятия лекционного типа, 15 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 38 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, , “Термодинамика”, “Квантовая механика”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского ти-	Групповые консультации	Индивидуальные кон-	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних	Подготовка рефератов и	Всего
Мартенситные превращения. Основные закономерности. Термоупругие и нетермоупругие пре-	5	1	1				2	3		3

вращения. Термоупругий эффект.										
Термодинамика мартенситных превращений. Характеристические точки. Гистерезис превращений. Обратное превращение.	5	1	1				2	3		3
Механизм мартенситных превращений. Деформация с инвариантной плоскостью. Сдвиг. Микроскопическое и макроскопическое формоизменение.	5	1	1				2	3		3
Предмартенситные эффекты. Два типа неустойчивости ОЦК решеток. Аномалии упругих модулей. Анизотропное отношение. Диффузное рассеяние. Промежуточные структуры сдвига.	5	1	1				2	3		3
Кристаллография мартенситных превращений. Ориентационное соотношение. Кристаллографическая эквивалентность и операторы симметрии.	5	1	1				2	3		3
Двойникование. Механизм двойникования. Исследование двойников дифракционными методами. Самоаккомодация.	5	1	1				2	3		3
Построение точечных дифракционных картин двухфазных объектов. Построение точечных дифракционных картин двухфазных объектов с учётом двойникрвания кристаллов мартенсита.	6	1	1				2	4		4

Деформация металлов. Механизмы неупругой деформации аустенитной и мартенситной фаз. Формоизменение при скольжении, двойниковании, мартенситном превращении. Псевдоупругость. Эффект памяти формы. Обратимый и круговой эффекты памяти.	8	2	2				4	4		4
Мартенситные превращения в β-фазах Юм-Розери в сплавах на основе золота, серебра и меди. Диаграммы состояний систем *Cu - Al* и *Cu - Zn*. Многоступенчатая термоупругость. Мартенсит - мартенситные превращения. Антиферромагнитное превращение в сплавах на основе γ-*Mn*. Влияние упорядочения на мартенситные превращение в сплавах *Mn – Ga*, *Mn –Fe*.	8	2	2				4	4		4
Мартенситные превращения в *B2*-соединениях на основе титана. Никелид титана - уникальный сплав с двумя мартенситными превращениями.	8	2	2				4	4		4
Легирование никелида титана. Распад твердых растворов на основе никелида титана. Изменения мартенситных свойств при выделении Ti_3Ni_4 и при расслоении твердого раствора.	8	2	2				4	4		4
Контроль текущей успеваемо-	2					2	2			

сти проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов. на 10 неделе проводится контрольная работа с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.										
Промежуточная аттестация зачет	2			1	1		2			
Итого	**72**	15	15	1	1	2	34	38		38

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Механизмы неупругой деформации аустенитной и мартенситной фаз.
2. Формоизменение при скольжении, двойниковании, мартенситном превращении.
3. Построение точечных дифракционных картин двухфазных

объектов.

4. Двойникование. Механизм двойникования. Исследование двойников дифракционными методами.
5. Два типа неустойчивости ОЦК решеток. Аномалии упругих модулей.
6. Мартенситные превращения. Основные закономерности.

Примеры типов домашних задач:

1. Расчет матрицы ориентационного соотношения.
2. Расчет матрицы двойникования.
3. Построение модельной рентгенограммы с учетом двойникования кристаллов мартенсита.
4. Анализ изменения дифрактограмм при превращении B2 →R в никелиде титана.
5. Анализ изменения дифрактограмм при мартенситном превращении в сплавах на основе марганца.
6. Оценка максимальной обратимой деформации в никелиде титана.
7. Оценка максимальной обратимой деформации при многоступенчатой термоупругости.
8. Расчет доменной структуры самоаккомодационного комплекса.

Промежуточная аттестация проводится на 9 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме зачета. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для зачета – уровень знаний всего курса).

Перечень вопросов к зачету:

1. Кристаллическая структура металлов. Полиморфизм и аллотропия. Интерметаллические соединения.
2. Мартенситные превращения. Основные закономерности.
3. Мартенситное превращение как основной механизм реализации полиморфизма.
4. Термодинамика мартенситных превращений.
5. Термоупругие и нетермоупругие превращения. Термоупругий эффект.
6. Характеристические точки. Гистерезис превращений. Обратное

превращение.

7. Механизм мартенситных превращений. Деформация с инвариантной плоскостью. Сдвиг.
8. Микроскопическое и макроскопическое формоизменение.
9. Предмартенситные эффекты. Аномалии упругих модулей. Диффузное рассеяние.
10. Два типа неустойчивости *ОЦК* решеток. Промежуточные структуры сдвига.
11. Кристаллография мартенситных превращений. Ориентационное соотношение и его представление в матричном виде.
12. Кристаллографическая эквивалентность и операторы симметрии.
13. Двойникование мартенситных кристаллов. Механизм двойникования.
14. Оператор двойникования и его собственные значения.
15. Кристаллическая структура аустенитной и мартенситной фаз. Обозначения Жданова и Рамсдела.
16. Термодинамическая и кристаллографическая обратимость превращений.
17. Упорядочение и кристаллографическая обратимость. Наследование структурных дефектов.
18. Механизмы неупругой деформации аустенитной и мартенситной фаз.
19. Мартенсит напряжения и мартенсит деформации.
20. Псевдоупругость. Эффект памяти формы.
21. Обратимый и круговой эффекты памяти.
22. Мартенситные превращения в *B2*-соединениях на основе титана.
23. Никелид титана - уникальный сплав с двумя мартенситными превращениями.
24. Легирование никелида титана.
25. Мартенситные превращения в β - фазах Юм-Розери в сплавах на основе золота, серебра и меди.
26. Диаграммы состояний систем *Cu - Al* и *Cu - Zn*.

27. Многоступенчатая термоупругость. Мартенсит -мартенситные превращения.
28. Антиферромагнитное превращение в сплавах на основе γ-Mn.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Физическое металловеденне / под ред. Р.У. Кана и П. Хазена. Т.2 Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами - М.: Металлургия, 1987.
2. Сплавы с эффектом памяти формы: пер.с яп. / К. Ооцука, К. Симидзу, Ю. Судзуки и др. - М.: Металлургия, 1990. 224 с.
3. Хунджуа А.Г. Структурная физика сплавов с эффектами памяти формы. М. Изд. Моск. ун-та. 1991.
4. Хунджуа А.Г. Возможности создания новых материалов с памятью формы на основе неупорядоченных твёрдых растворов. Учебное пособие // М.: физический факультет МГУ. 2012. 40 с.
5. Хунджуа А.Г. Мартенситные превращения в сплавах с эффектами памяти формы. Учебное пособие // М.: физический факультет МГУ. 2011. 44 с.
6. Хунджуа А.Г. Эффект памяти формы и сверхупругость. Учебное пособие // М.: физический факультет МГУ. 2010.-32 с.

Дополнительная литература

1. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах: пер. с англ. М.: Мир. 1978. 906 с.
2. Лободюк В.А., Эстрин Э.И. Мартенситные превращения - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 352 с.
3. Васильев А.Н., Бучельников В.Д., Такаги Т., Ховайло В.В., Эстрин Э.И. Ферромагнетики с памятью формы. // УФН. 2003, т. 173, №6. С. 577-608.
4. Shape memory materials. Ed. K. Otsuka, C.M. Wayman. Cambridge, Cambridge University Press, 1999. 284 p.
5. Хунджуа А.Г. Матричный метод описания кристаллических структур и его применение к анализу и моделированию картин дифракции электронов и рентгеновских лучей. Учебное пособие // М.: физический факультет МГУ. 2010.-32 с.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины: http://kftt.phys.msu.ru/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать основные типы и механизмы неупругих явлений (эффектов памяти формы и сверхупругости);

Уметь анализировать различные объекты на содержание основных и примесных компонентов, в том числе сплавы, жидкости и тонкие пленки, а также ориентироваться в основных направлениях и тенденциях развития современной рентгеновской спектроскопии.

Иметь представление (навыки) об основных методах расчета картины рассеяния рентгеновского излучения и электронов в кристаллах, испытывающих мартенситные превращения и двойникование кристаллов мартенсита;

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
СИНХРОТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД
Автор д.ф.-м.н., профессор Е.Н.Овчинникова

1. Название дисциплины: **Синхротронные исследования в физике конденсированных сред**

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Спецкурс знакомит студентов с новейшими методами исследования, развивающимися в последние годы в центрах синхротронного излучения. В лекционном курсе содержатся базовые знания об устройстве синхротронов, свойствах синхротронного излучения, а также особенностях взаимодействия синхротронного излучения с веществом. Студенты должны освоить, какие физические данные о структуре и свойствах твердых тел и наносистем можно изучать на синхротронах и какие свойства синхротронного излучения обеспечивают реализацию исследований в требуемых спектральных и угловых диапазонах.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (15 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 часов индивидуальных консультаций, 2 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часов мероприятия промежуточной аттестации), 38 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электро-

магнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Принципы работы синхротрона и свойства синхротронного излучения Современные синхротроны как источники мощного рентгеновского излучения. Принципы устройства синхротрона. Синхротроны третьего поколения. Основные свойства синхротронного излучения: высокая яркость,	8	2	2				4	2	2	4

направленность, поляризация, импульсный характер. Параметры, характеризующие синхротроны третьего поколения. Лазеры на свободных электронах.										
Взаимодействие синхротронного излучения с веществом Особенности взаимодействия рентгеновского синхротронного излучения с веществом. Гамильтониан взаимодействия рентгеновского излучения с веществом с учетом спина. Уравнение Паули. Амплитуда рассеяния рентгеновского излучения. Магнитный нерезонансный вклад в рассеяние рентгеновского излучения. Амплитуда резонансного рассеяния рентгеновского излучения. Края поглощения. Коэффициент поглощения, его зависимость от энергии. Дисперсионные поправки к атомному фактору.	12	2	2				4	4	4	8
Спектры поглощения синхротронного излучения Дальняя тонкая структура спектров поглощения рентгеновского излучения (EXAFS)– метод исследования ближнего порядка. Метод DAFS (дифракционная аномальная тонкая структура). Метод MAD (многоволновая аномальная дифракция) и решение фазовой проблемы рентгено-	8	2	2				4	2	2	4

структурного анализа. Ближняя тонкая структура и ее физическая интерпретация.										
Дихроизм в спектрах поглощения СИ Явления линейного и кругового дихроизма в спектрах поглощения рентгеновского излучения. Круговой дихроизм в магнитных системах. Правила сумм. Естественный круговой дихроизм спектров поглощения и его экспериментальное подтверждение. Физические причины естественного кругового дихроизма в рентгеновской области частот. Магнитокиральный дихроизм в системах, обладающих магнитоэлектрическим эффектом. Эксперименты, подтверждающие наличие магнитокирального дихроизма в Cr_2O_3 . Физические причины, приводящие в появлению магнитокирального дихроизма.	12	4	4				8	2	2	4
Резонансное рассеяние СИ Анизотропные добавки к атомному фактору. Определение числа независимых компонент тензоров атомного и структурного факторов в диполь-дипольном приближении. Учет вкладов высших порядков. «Запрещенные» рефлексы в резонансной дифракции рентгеновского излучения. Эксперимен-	14	3	3				6	4	4	8

тальные результаты исследований «запрещенных» рефлексов в различных кристаллах. Расчет тензорных структурных факторов для кристаллов для «запрещенных» отражений в кристаллах пирита и рутила. Влияние атомных смещений на тензорный рассеивающий фактор. Термоиндуцированные «запрещенные» рефлексы и их аномальная температурная зависимость. Резонансная дифракции СИ в электрически упорядоченных системах. Возможности метода для исследования орбитального упорядочения. «Запрещенные» рефлексы, обусловленные киральностью локального окружения атомов. Резонансное рассеяние рентгеновского излучения в магнитных кристаллах. Магнитные “запрещенные” рефлексы. Примеры исследования магнитных структур с помощью резонансного рассеяния СИ: гольмий, гематит, V_2O_3 и др.										
Другие методы Использование методов EXAFS и XANES для исследования структуры наносистем. Экспериментальные методы, использующие геометрию скользящего отражения: GISAXS и GIXAFS. Результаты исследований для квантовых	12	2	2				4	4	4	8

точек германия в кремнии Неупругие каналы рассеяния рентгеновского излучения. Электронный микроскоп в пучке синхротронного излучения. Временные измерения. Дифракционное «кино».										
Промежуточная аттестация зачет	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	15	15	1	1	2	34	20	18	38

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Источники синхротронного излучения 4-го поколения.
2. Тензорный атомный фактор и «запрещенные» отражения.
3. Изучение киральности среды с помощью синхротронного излучения.
4. Правила сумм в резонансном поглощении и рассеянии синхротронного излучения.
5. Метод многократного рассеяния для расчета атомного фактора.
6. Методы рентгеновского кругового дихроизма.
7. Применение синхротронного излучения в науке и технике.

Примеры типов домашних задач:

1. Рассчитать число электронов в банче в однобанчевом режиме при токе 10 мА.

2. Найти критическую частоту в спектре, излучаемую электронами,

вращающимися с энергией 1ГэВ и циклической частотой 10^{19} Гц.

3. Сравнить амплитуду магнитного и немагнитного нерезонансного рассеяния излучения с длиной волны 1А .

4. Найти число независимых компонент тензорной атомной амплитуды в диполь-дипольном приближении для симметрии 42m.

5. Рассчитать азимутальную зависимость отражения 00l (l=2n+1) при наличии оси 2_1.

6. Определить, возможно ли наблюдение естественного рентгеновского кругового дихроизма в кристалле группы P321 вдоль и перпендикулярно оси третьего порядка.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Список контрольных вопросов:

1. Основные принципы устройства синхротрона третьего поколения.
2. Основные свойства синхротронного излучения.
3. Физические основы чувствительности синхротронного рентгеновского излучения к магнитной структуре кристалла.
4. Тензорный атомный фактор и составляющие его вклады.
5. Явление линейного рентгеновского дихроизма.
6. Круговой магнитный рентгеновский дихроизм.
7. Дальняя и ближняя структуры рентгеновского поглощения.
8. Основные свойства резонансной дифракции синхротронного излучения.
9. Магнитное рассеяние рентгеновских лучей.

Перечень вопросов к зачету:

1. Принципы получения синхротронного излучения. Излучение релятивистского электрона. Формула Льенара.

2. Угловое и спектральное распределение мощности синхротронного излучения.

3. Основные свойства синхротронного излучения.

4. Основные характеристики синхротронного излучения. Яркость и эмиттанс.

5. Принципиальное устройство синхротрона.

6. Квантовомеханическое описание взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Уравнение Паули.
7. Магнитное нерезонансное рассеяние рентгеновского излучения.
8. Определение орбитального и спинового моментов с помощью нерезонансного рассеяния синхротронного излучения.
9. Резонансное рассеяние синхротронного излучения. Края поглощения.
10. Амплитуда рассеяния рентгеновского излучения и тензорный атомный фактор.
11. Дальняя тонкая структура спектров поглощения. Метод EXAFS.
12. Метод DAFS.
13. Ближняя тонкая структура спектров рентгеновского поглощения. Метод XANES.
14. Решение фазовой проблемы с помощью метода MAD.
15. Рентгеновский естественный круговой дихроизм XNCD.
16. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм XMCD.
17. Определение спиновой и орбитальной составляющих магнитного момента. Правила сумм.
18. Резонансная дифракция рентгеновского излучения RXS.
19. «Запрещенные» отражения в резонансной дифракции синхротронного излучения.
20. «Магнитные» отражения, изучение магнитной структуры кристаллов.
21. Исследование орбитального и зарядового упорядочения с помощью резонансной дифракции синхротронного излучения.
23. Электронный микроскоп в пучке синхротронного излучения.
24. Киральность кристаллической среды и ее исследование с помощью поглощения и дифракции синхротронного излучения.

9. *Перечень основной и дополнительной учебной литературы*

Основная литература

1. *Е.Н.Овчинникова, М.А.Андреева*. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 1. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2007.
2. *Е.Н.Овчинникова, В.Е.Дмитриенко, М.А.Андреева*. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 2. Изучение запрещенных отражений – новый метод исследования структуры и свойств кристаллов. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2009.

Дополнительная литература

1. *И.М.Тернов, В.В.Михайлин, В.Р.Халилов.* Синхротронное излучение и его применения. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1985.
2. *Г.В.Фетисов*. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М., Физматлит, 2007.
3.*Р.В.Ведринский, И.И.Гегузин.* Рентгеновские спектры поглощения твердых тел. М.: Энергоатомиздат, 1991, 183 с.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

http:// nrcki.ru

http:// esrf.fr

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основные принципы работы синхротронов, основные свойства синхротронного излучения;

уметь использовать полученные знания для анализа особенностей взаимодействия синхротронного излучения с конденсированными средами;

владеть основными методами расчета спектров поглощения и рассеяния синхротронного излучения с учетом поляризационной зависимости;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Студентам предлагаются темы для докладов и презентаций с последующей дискуссией и обсуждением сделанного доклада.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ МАГНЕТИЗМА
Автор д.ф.-м.н., доцент М.А.Андреева

1. Название дисциплины: ***Рентгеновское излучение в исследовании магнетизма***

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Магнитные структуры являются базовой основой современной микроэлектроники, спинтроники, сенсорики и т.д. Исследование особенностей магнитной структуры и магнитных свойств различных материалов, в том числе многослойных покрытий, является важнейшей задачей физики конденсированного состояния. Лекционный курс знакомит с новыми подходами в исследования магнетизма и магнитных структур, базирующимися на использовании поляризованного синхротронного излучения. Спектры поглощения и рассеяния рентгеновского излучения вблизи краев поглощения предоставляют элементно-, пространственно- и оболочечно-селективную информацию о деталях магнитного упорядочения. В лекционном курсе изучаются основные магнитооптические эффекты, особенности дифракция и рефлектометрии в случае магнитоупорядоченных структур. Рассматриваются правила сумм, используемые для анализа спектров кругового дихроизма с целью определения орбитального и спинового момента атомов, а также магнитно-дипольной анизотропии. Курс знакомит с особенностями магнитного упорядочения в многослойных пленках, имеющих ванные применения в современной нанотехнологии и спинтронике.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных заня-

тий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение Поглощение и рассеяние рентгеновского излучения. Края поглощения. Сечение поглощения, амплитуда рассеяния и восприимчивость среды для рентгеновского излучения.	4	2					2	2		2
Рентгеновский дихроизм Эффект кругового и линейного дихроизма для рентгеновского излучения. Эффекты вблизи $L_{2,3}$ краев поглощения. Вывод правила сумм для определения орбитального и спинового магнитного момента атомов.	8	2	2				4	4		4
Анизотропия атомных орбиталей Магнитно-дипольный вклад в сечение поглощения рентгеновского излучения. Квадрупольный тензор, описывающий орбитали d-состояний. Угловые и поляризационные зависимости поглощения при наличии анизотропии электронных орбиталей. Учет диполь-	8	2	2				4	2	2	4

ного магнитного момента в правилах сумм.										
Поляризационные эффекты в рентгеновском поглощении Способы описания поляризации излучения: векторы Джонса, векторы Стокса, сфера Пуанкаре, эллиптичность и азимут эллипса поляризации. Определение ортогональных поляризаций. Интерференция волн с учетом степени поляризации. Эффекты Фарадея и Фойгта в рентгеновском поглощении: экспериментальные результаты.	12	3	3				6	4	2	6
Особенности кинематической и динамической теории дифракции при наличии магнитных добавок к амплитуде рассеяния Структурная амплитуда в поляризационных ортах. Зависимость амплитуд рассеяния на атомах с различным направлением магнитного момента: запрещенные отражения. Динамическая теория рентгеновской дифракции с учетом тензорной магнитной добавки к восприимчивости среды.	4	1	1				2	2		2

Зеркальное отражение от магнитоупорядоченных многослойных структур Эффекты Керра при разных ориентациях намагниченности: экспериментальные результаты. Пространственная селективность рентгеновского отражения в исследовании магнитных моментов резонансных атомов вследствие: 1) изменения глубины проникновения в окрестности критического угла полного внешнего отражения, 2) различия фаз амплитуд отражения в разных порядках брэгговского отражения от периодических мультислоев, 3) "высвечивания" отдельных слоев стоячими рентгеновскими волнами. Экспериментальное определение профилей намагниченности в многослойных структурах по угловым и спектральным зависимостям асимметрии отражения по знаку круговой поляризации. Определение наведенных магнитных моментов на немагнитных атомах (Au, W, Se, La, Y и др.) в многослойных структурах за счет эффекта близости с магнитными слоями.	14	2	4				6	8		8
Теория резонансной магнитной рентгеновской рефлектометрии Метод собственных волн. Метод	4	1	1				2		2	2

4x4-матриц распространения. Частные случаи матрицы распространения для рентгеновского излучения при рассмотрении дипольных магнитных переходов, угловые и поляризационные характеристики отражения. Кинематическое приближение в теории рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии										
Рефлектометрия поляризованных нейтронов (аналогия с теорией рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрией) Уравнение Шредингера для спинорных волновых функций. Матричное выражение для потенциала. Примеры взаимодополняющих экспериментальных исследований методами рефлектометрии поляризованных нейтронов и рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии.	4	1	1				2	2		2
Нерезонансное магнитное рассеяние рентгеновского излучения. Исследование магнитных характеристик рассеяния в запрещенных отражениях. Угловые и поляризационные характеристики амплитуды магнитного рассеяния и сечения поглощения. Раздельное определение спинового и орбитального момента атомов при анализе спектров поглощения и дифракции.	8	2	2				4	4		4

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. экзамен	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8.. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Первые эксперименты, в которых была зафиксирована зависимость рассеяния рентгеновского излучения от магнитного момента атома.
2. Малоугловое резонансное рассеяние рентгеновских лучей как метод исследования магнитных неоднородностей.
3. Магнитные свойства интерфейса Co/Pd, исследованные методом XMCD с использованием усиления сигнала за счет стоячих рентгеновских волн (по статье S.-K. Kim and J. B. Kortright, Phys. Rev. Lett. 86, 1347 (2001)).
4. Исследование никзотемпературных свойства сплава $Ce(Pd_{1-x}Ni_x)_3$ методом XMCD на $L_{2,3}$ краях поглощения Ce. Локализация 4f электронов Ce. По статье: J.-P. Kappler, et al., Eur.

Phys. J. B **37**, 163–167 (2004)

5. Магнитные моменты атомов золота в интерфейсе с кобальтом. По статье: F. Wilhelm, et al., Phys. Rev. B 69, 220404 (R) (2004).
6. Обнаружение ферромагнитного момента для антиферромагнитного слоя CaMnO3 на границе с металлическим слоем CaRuO3 методом XMCD (по статье: J. W. Freeland, et al., Phys. Rev. B **81**, 094414 (2010))
7. Магнитная структура [Fe/Gd] периодической многослойной структуры, исследованная на $L_{2,3}$ краях поглощения гадолиния методом рентгеновского резонансного магнитного рассеяния. По статье: N. Ishimatsu, Phys. Rev. B 60, 9596 (1999).
8. Изучение кругового дихроизма в тонкой пленке топологического изолятора Bi2Te3 допированного Dy на M4.5 краях поглощения диспрозия (A.I. Figueroa, JMMM 422, 93–99 (2017)).

<u>Примеры типов домашних задач:</u>

1. Найти края поглощения церия и диспрозия, используя сайт http://henke.lbl.gov/optical_constants/getdb2.html.
2. Найти среднее значение спиновой плотности, возникающей на d-состоянии, при поглощении излучения левой круговой поляризации атомом, находящемся изначально на уровне $p_{3/2}$.
3. Вычислить орбитальный и спиновый магнитный момент атома по спектру XMCD, предоставленном преподавателем, при известном значении числа незаполненных состояний на d-оболочке.
4. Найти угол поворота плоскости поляризации линейно поляризованного излучения с энергией фотонов, соответствующей L_3-краю поглощения железа, после его прохождения через намагниченную пленку железа, толщиной 1 мкм. Значения комплексной магнитной добавки к показателю преломления железа прилагаются.
5. Рассчитать график глубины проникновения излучения в пленку в окрестности угла полного внешнего отражения, используя табличные значения показателя преломления в заданном веществе.

6. Провести вычисление асимметрии коэффициента отражения по знаку круговой поляризации в функции угла скольжения от намагниченной пленки железа в направлении пучка излучения по заданным значениям восприимчивости среды, включая магнитную добавку для энергии фотонов в L_3-крае поглощения железа.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Правила отбора для дипольных переходов между электронными уровнями.
2. Между какими электронными уровнями происходит переход при поглощении на $L_{2,3}$ крае поглощения.
3. Почему для переходных элементов знак кругового дихроизма различен на L_2 и L_3 краях поглощения.
4. Почему в брэгговских отражениях первого порядка вклад резонансного рассеяния от интерфейсов подавлен.
5. Что такое ферро- и антиферромагнитное межслойное упорядочение.
6. Как вычисляется коэффициент отражения от периодической структуры в кинематическом приближении.
7. Как изменяется форма спектров отражения при углах скольжения до и выше угла полного внешнего отражения.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Края поглощения, их обозначения и квантовые числа переходов.
2. Спектры поглощения: XANES (XAS) и EXAFS, характерные особенности и в чем их отличие.
3. Эффекты кругового (XMCD) и линейного (XMLD) дихроизма для рентгеновского излучения, какие спектры обнаруживают максимальный эффект?
4. Связь эффекта XMCD с орбитальным и спиновым магнитным

моментом атома, процедура их определения по спектрам асимметрии L_2 и L_3 резонансных линий в спектрах поглощения.

5. Правила сумм. Вывод соотношений в пренебрежении магнитным дипольным моментом.
6. 5 d-орбиталей и матричные элементы квадрупольного тензора.
7. Магнитный дипольный оператор в правилах сумм.
8. Особенности интерпретации спектров XMCD в случае редкоземельных элементов.
9. Анизотропия рассеяния рентгеновского излучения вблизи краев поглощения. Тензорный вид диэлектрической проницаемости при наличии магнитного рассеяния.
10. Рентгеновская магнитооптика. Эффекты Керра в продольной (меридиональной), поперечной (экваториальной) и полярной геометриях.
11. Методы определения оптических констант и элементов тензора диэлектрической проницаемости для рентгеновского излучения.
12. Проблема восстановления магнитных компонент тензора рентгеновской восприимчивости по спектрам отражения.
13. Рентгеновская рефлектометрия для многослойных магнитных образцов. Теория отражения, обобщенная на анизотропный случай.
14. Рекуррентные соотношения для описания отражения от анизотропных многослойных структур с использованием тензоров поверхностного импеданса и нормальной рефракции.
15. Матричные выражения для тензоров однократного отражения и пропускания на границе раздела двух анизотропных сред.
16. Вывод общих выражений для тензоров поверхностного импеданса и нормальной рефракции из известной 4x4-матрицы распространения.
17. Теория отражения в кинематическом приближении.
18. Эффекты интерференционного подавления и усиления вкладов отдельных компонент спектра.
19. Нерезонансное магнитное рассеяние рентгеновского излуче-

ния. Матричное представление амплитуды нерезонансного магнитного рассеяния рентгеновского излучения.

20. Рефлектометрия поляризованных нейтронов. Основные уравнения теории. Показатель преломления для нейтронов с учетом магнитного взаимодействия.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *Андреева М.А.* Рентгеновское излучение в исследовании магнетизма, Учебное пособие для аспирантов и студентов старших курсов, под ред. проф. А.С. Илюшина, Оп. печать физического факультета МГУ, 2018.
2. *М.А. Андреева*, Рентгено-оптические методы исследования многослойных структур, Часть I. Рефлектометрия изотропных мультислоев. Учебное пособие для аспирантов и студентов старших курсов, под ред. проф. А.С. Илюшина, Оп.печать физического факультета МГУ, 2016.
3. *Андреева М.А., Кузьмин Р.Н.* Мессбауэровская гамма-оптика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. Гл.II.,§1.

Дополнительная литература

1. M. Blume Magnetic scattering of x-rays. J. Appl. Phys., 57(1), 3615 (1985).
2. P. Carra, et al., X-ray circular dichroism and local magnetic fields, Phys. Rev. Lett. 70, 694 (1993).
3. G. Schütz, V. Knülle, H. Ebert, X-ray magnetic circular dichroism and its relation to local magnetic structures, In: "Resonant anomalous X-ray scattering", Ed.by G. Materlik, C.J. Sparks and K.Fischer, Elsevier Science, 1994.
4. J. Stöhr, X-ray magnetic circular dichroism spectroscopy of transition metal thin films, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena 75, 253-272 (1995).
5. Андреева М.А., Смехова А.Г., Рентгеновская магнитооптика на синхротронном излучении, Изв. РАН, сер. физическая, 72, No.5, 693–696 (2008).

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисци-

плины:

- https://www-ssrl.slac.stanford.edu/stohr/xmcd.htm.
- http://henke.lbl.gov/optical_constants/getdb2.html

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

В результате освоения дисциплины студент должен понимать физические причины возникновения зависимости амплитуды рассеяния рентгеновского излучения от магнитного состояния атома, знать условиях наблюдения магнитного рассеяния рентгеновского излучения, уметь найти энергии фотонов, при которых возникает зависимость поглощения рентгеновского излучения от знака круговой или направления линейной поляризации, иметь представление об основные направлениях исследований методом кругового (или линейного) рентгеновского дихроизма и рентгеновской резонансного и нерезонансного магнитного рассеяния, владеть теоретическими основами рассматриваемых эффектов, иметь опыт представления научного доклада, уметь отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
ЯДЕРНО-РЕЗОНАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД. (ЧАСТЬ 1)
Автор д.ф.-м.н. Т.Ю.Киселева

1. Название дисциплины: **Ядерно-резонансная спектроскопия конденсированных сред. (Часть 1)**
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Ядерно-резонансная спектроскопия, основанная на эффектах взаимодействия гамма-излучения с веществом, - является одним из важнейших методов исследования в физике конденсированного состояния: для решения различных задач в технологиях новых материалов, биологии и минералогии. Курс состоит из двух взаимосвязанных частей, в которых рассматриваются физические основы и практические аспекты классической гамма-резонасной (мессбауэровской) спектроскопии на лабораторных источниках (часть 1) и ее развитие с использованием синхротронного излучения (2 часть). В предлагаемом курсе (часть 1) проводится изложение фундаментальных основ взаимодействия гамма-излучения с различными средами, эффектов резонансного поглощения и рассеяния, сверхтонких взаимодействий и связанных с этими эффектами возможностей исследования структурного, химического и магнитного состояния вещества. Лекционный курс знакомит также с техникой современного мессбауэровского эксперимента, алгоритмами его постановки и аналитической обработки экспериментальных данных. Рассматриваются конкретные примеры исследований различных структур, веществ и материалов, в том числе находящихся в экстремальных состояниях.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 часа индивидуальных консультаций, 2 часа

мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям и выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно необходимо освоение следующих дисциплин и практики:

“Математический анализ”, Электромагнетизм”, “Оптика”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Квантовая теория”, “Атомная физика”, «Кристаллография», «Свойства конденсированных веществ”

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего

1. Взаимодействие гамма-излучения с веществом. Свойства гамма-излучения. Взаимодействие гамма-излучения с веществом.	4	2					2	2		2
2. **Эффект Мессбауэра.** Открытие эффекта Мессбауэра. Суть эффекта. Мессбауэровские изотопы, схемы распада, времена жизни, естественные ширины линий, спины состояний, мультипольность перехода.	8	2	2				4	4	4	
3. Экспериментальная техника мессбауэровского эксперимента. Методика проведения мессбауэровского эксперимента. Мессбауэровский спектрометр и способы регистрации спектра. Комплектация мессбауэровской лаборатории для различных задач. Планирование эксперимента	4	1	1				2	2		2
4. Основы мессбауэровской спектроскопии. Величина эффекта и эффективная толщина образца. Качество спектра и оптимизация эксперимента. Естественная и экспериментальная ширины линий.Динамические свойства мессбауэровских ядер. Вероятность эффекта и колебательный спектр ядер в твердом теле. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии. Эффективная масса и сила связи.	8	2	2				4	2	2	4
5. Основы мессбауэровской	8	2	2				4	2	2	4

спектроскопии. Сверхтонкие взаимодействия и параметры мессбауэровского спектра. Изомерный (химический) сдвиг и электронная конфигурация. Температурный сдвиг. Электрическое квадрупольное взаимодействие. Градиент электрического поля. Механизмы формирования неоднородного электрического поля в области расположения ядра. Эффекты экранирования. Характерные значения величин изомерного сдвига и квадрупольного расщепления для соединений железа.										
6. **Основы мессбауэровской спектроскопии**. Магнитное сверхтонкое взаимодействие. Магнитные моменты ядра и эффективное магнитное поле. G-факторы основного и возбужденного состояний ядра. Теория формирования эффективного магнитного поля $H^{эфф}$ в области расположения ядра. Температурная зависимость сверхтонкого поля. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие. Примеры характерных значений $H^{эфф}$ в различных соединениях железа	4	1	1				2	2		2

7.Основы мессбауэровской спектроскопии. Интенсивности гамма-переходов между расщепленными СТВ основным и возбужденным состояниями ядра. Поляризационные и угловые характеристики отдельных сверхтонких переходов в магнитоупорядоченном состоянии образца. Соотношение интенсивностей линий в мессбауэровском спектре как характеристика магнитной текстуры.	4	1						2	2	2
8.Методы обработки мессбауэровских спектров. Принципы аналитической обработки мессбауэровских спектров. Модельная расшифровка спектров. Роль априорной информации Анализ распределений параметров и их корреляций. Построение модели. Алгоритмы поиска решения. Современные программы обработки. Базы данных.	4	2						2	2	2
9. Мессбауэровская спектроскопия высокодисперсных веществ. Влияние размера частиц на сверхтонкие параметры спектра. Суперпарамагнитная релаксация. Модели для описания мессбауэровских спектров. Мессбауэровские спектры основных функциональных оксидов железа и их размерные зависимости. Особенно-	4	2						2	2	2

сти анализа спектров композиционных и нанокомпозиционных систем.										
10. **Применение мессбауэровской спектроскопии** металлурги и технологии новых материалов Мессбауэровская спектроскопия в металлургии. Фазовый анализ сплавов. Влияние степени упорядочения на параметры мессбауэровского спектра: спектры твердых растворов, аморфных и нанокристаллических материалов. Мессбауэровская спектроскопия механокомпозитов, каталитических систем, гибридных многокомпонентных материалов.	4	1	1				2	2		2
11.Мессбауэровская спектроскопия с регистрацией вторичных процессов Регистрация ядерно-резонансного поглощения по выходу рентгеновского излучения и конверсионных электронов. Взаимодействие электронов с веществом, ослабление потока, глубина выхода. Конструкции систем регистрации и детектирования. Конверсионная мессбауэровская спектроскопия как метод неразрушающего послойного анализа вещества. Весовые функции и учет эффектов перерассеяния. Извлечение количественной информации. Примеры	4	2					4	2	2	4

исследований, поверхностны слоев и пленок. Миниатюрный мессбауэровский спектрометр в исследовании поверхности Марса. Мессбауэровская конверсионная спектроскопия в геологических и экологических задачах										
12. **Мессбауэровская спектроскопия биологических объектов.** Спиновые и координационные состояния двух и трехвалентного железа. Спектроскопия координационных соединений. Спектр гемоглобина и его производных.	4	1	1				2		2	2
13. **Мессбауэровская спектроскопия на поглощения с использованием синхротронного источника**. Особенности возбуждения резонансных уровней ядер «белым» спектром СИ. Устройство «мессбауэровских» станций на синхротронах 3-го поколения. Особенности мессбауэровского эксперимента на синхротронном источнике. Поляризация излучения.	4	2					2		2	2
Промежуточная аттестация Проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерий формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса зачет	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках*

занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями лекций.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов, написание рефератов по периодическим источникам.

Примеры темы рефератов и докладов.

1. Мессбауэровская спектроскопия. Необычные применения метода.
2. Мессбауэровская спектроскопия в нанотехнологиях.
3. Миниатюрный мессбауэровский спектрометр и использование мессбауэровской спектроскопии в исследовании Марса.
4. Химические применения мессбауэровской спектроскопии
5. Возможности мессбауэровской спектроскопии в исследованиях археологических объектов и предметов искусства
6. Мессбауэровская спектроскопия в минералогии.
7. Мессбауэровский микроскоп и картирование
8. Мессбауэровская спектроскопия и задачи экологии.
9. Фармацевтические приложения мессбауэровской спектроскопии

Примеры типов домашних задач:

1. Рассчитать эффективную толщину поглотителя по заданным параметрам.
2. Рассчитать калибровочные параметры по эталонному спектру.
3. Оценить качество предложенного спектра. Сделать предложения по его улучшению.
4. Оценить величину температурного сдвига мессбауэровской линии для ядер железа.
5. Оценить погрешность в определении основных параметров спектра.
6. Провести количественный фазовый анализ в предложенном спектре, используя программу обработки.

7. Определить валентность железа в исследуемом образце по мессбауэровскому спектру.
8. Выявить типы магнитного состояния фаз в мессбауэровском спектре композитного материала.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. Для экзамена – уровень знаний всего курса.

Список контрольных вопросов:

1. Мессбауэровская спектроскопия. Физические принципы эффекта резонансного поглощения гамма излучения веществом.
2. Мессбауэровские изотопы. Мессбауэровские источники. Получение. Схемы распада. Практически важные параметры мессбауэровского источника.
3. Схема мессбауэровского эксперимента. Принципы управления, регистрации и детектирования.
4. Разрешающая способность метода.
5. Динамические свойства мессбауэровских ядер. Вероятность эффекта. Фактор Лэмба-Мессбауэра.
6. Сверхтонкие взаимодействия и параметры мессбауэровского спектра.
7. Особенности мессбауэровских измерения на синхротронном и лабораторном источниках.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Мессбауэровская спектроскопия: основы метода, принципы устройства приборов, обработка и интерпретация данных измерений
2. Характеристики ядерных уровней 57Fe (энергия, среднее время жизни, ширина, спин, четность в основном и возбужденном состоянии).
3. Фактор Лэмба-Мессбауэра и методы его измерения.
4. Преимущества эффекта Мессбауэра при изучении среднеквадратичных смещений атомов в нанокристаллических и аморфных соединениях (по сравнению с рентгендифракционными)
5. Динамические свойства мессбауэровских ядер. Вероятность эффекта и колебательный спектр ядра. Температурный сдвиг мес-

сбауэровской линии и колебательный спектр ядра. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии. "Эффект насыщения".

6. Интенсивность линий мессбауэровского спектра. Влияние магнитной текстуры образца.
7. Электронная конфигурация и изомерный сдвиг мессбауэровской линии
8. Электрическое квадрупольное сверхтонкое взаимодействие. Квадрупольные моменты ядра и тензор градиента электрического поля.
9. Магнитное сверхтонкое взаимодействие. Магнитные моменты ядра и эффективное магнитное поле. G-факторы основного и возбужденного состояний ядра. Механизмы формирования эффективного магнитного поля в области расположения ядра. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие
10. Суперпарамагнитная релаксация. Определение размеров частиц по релаксационным мессбауэровским спектрам.
11. Конверсионная мессбауэровская спектроскопия. Принцип работы детектора конверсионных электронов. Вероятности выхода электронов с различных глубин. Принципы послойного анализа.
12. Высокотемпературная мессбауэровская спектроскопия “in situ”. Температурные зависимости параметров спектра. Исследование магнитных фазовых переходов.
13. Методы обработки мессбауэровских спектров. Модельная расшифровка. Роль априорной информации при построении модели. Построение и анализ функций распределения сверхтонких параметров спектров.
14. Мессбауэровская спектроскопия твердых растворов.
15. Мессбауэровские спектры кристаллических и аморфных ферромагнетиков.
16. Мессбауэровская спектроскопия наноструктурных материалов и наночастиц. Эффекты суперпарамагнитизма малых частиц и параметры спектра.
17. Релаксационные эффекты в мессбауэровских спектрах. Модели обработки релаксационных спектров.
18. Особенности эффекта Мессбауэра и трудности возбуждения ре-

зонансных уровней ядер СИ

19. Устройство и параметры современной станции ядерного резонансного рассеяния, основные элементы, схема мессбауэровского эксперимента и его особенности.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Г. Вертхейм, Эффект Мёссбауэра. Принципы и применения. Мир, 1966.
2. Шпинель В.С. Гамма-резонанс лучей в кристаллах. Наука, 1969.
3. Химические применения мессбауэровской спектроскопии. Под ред. Гольданского В.И. // М.: Мир, 1970. – 502 с.
4. Русаков В.С. Основы мессбауэровской спектроскопии. М.МГУ. Физический факультет. 2011.290с.
5. Кузьмин Р.Н., Новакова А.А. Мессбауэровская конверсионная спектроскопия 1989 МГУ. 72 с
6. Новакова А.А, Киселева Т.Ю. Мессбауэровский практикум. Методы мессбауэровской спектроскопии в физике твердого тела. М. МГУ.2003 41 с.
7. Андреева М.А., Овчинникова Е.Н. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 3. Ядерно-резонансные («мёссбауэровские») эксперименты на синхротронах. Учебное пособие. М.: Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. Под ред. проф. А.С. Илюшина, 2010, 160 с.

Дополнительная литература

1. Новакова А.А, Киселева Т.Ю. Мессбауэровский практикум. Методы мессбауэровской спектроскопии в физике твердого тела. М. МГУ.2003 41 с.
2. Мёссбауэровская спектроскопия: необычные применения метода. Под. ред. У. Гонзера. М.: Мир, 1983. Глава YII.
3. *Суздалев И.*П. Гамма резонансная спектроскопия белков и модельных соединений. М.Наука 1988.263 с.
4. Белозерский Г.Н. Мессбауэровская спектроскопия как метод исследования поверхности. М.Энергоатомиздат. 1990.-352 с.
5. Овчинников В.В. Мессбауэровские методы анализа атомной и магнитной структуры сплавов. М.Физматлит 2002. 254 с.
6. Киселева Т.Ю., Новакова А.А. Методика высокотемператур-

ной мессбауэровской спектроскопии для исследования неравновесных металлических систем. М. МГУ.. 1998. 27с
7. Надь Д., Вертеш А. Мессбауэровская спектроскопия замороженных растворов. М.: Мир, 1998. – 398 с.
8. Gutlich P., Eckhard B., Trautwein A. Mossbauer spectroscopy and transition metal chemistry, Springer Verlag (2010)

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

http://orgs.unca.edu/medc/Resources.html
http://www.ak-klingelhoefer.chemie.uni-mainz.de/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать фундаментальные основы гамма-резонансной спектроскопии и структуру мессбауэровского эксперимента.

Уметь использовать полученные знания для решения задач по исследованию материалов разного структурного, размерного и магнитного состояния

Владеть основными методами обработки экспериментальных данных и их интерпретации

Иметь опыть деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Для практического освоения к курсу имеется программное обеспечение для аналитической обработки мессбауэровских спектров.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана). Ознакомление с практическими аспектами мессбауэровского эксперимента осуществляется в реальной научной мессбауэровской лаборатории физического факультета, оснащенной всем необходимым экспериментальным оборудованием.

Рабочая программа дисциплины
ЯДЕРНО-РЕЗОНАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД. (ЧАСТЬ 2)
Автор д.ф.-м.н., доцент М.А.Андреева

1. Название дисциплины: **Ядерно-резонансная спектроскопия конденсированных сред. (Часть 2)**

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Мессбауэровская спектроскопия в последние годы получила второе рождение после начала экспериментов по ядерно-резонансному рассеянию на синхротронах. Методика экспериментов при этом получила существенное изменение, измерения проводятся на временной шкале ядерного распада после мгновенного возбуждения образца импульсом синхротронного излучения. Лекционный курс знакомит с этим новым способом исследования сверхтонких взаимодействий (СТВ). Обсуждаются преимущества использования синхротронного излучения в исследованиях образцов под сверхвысоким давлением (до 250 Гигапаскалей), в сверхсильных магнитных полях (до 17 Тесла), при сверхнизких температурах (до десятых долей градусов Кельвина). Значительная часть материала посвящена когерентным каналам ядерного рассеяния: рассеянию вперед (аналогу спектроскопии поглощения), дифракции на кристаллах и зеркальному отражению от пленок, обогащенных мёссбауэровским изотопом. Обсуждаются также эксперименты по неупругому ядерно-резонансному рассеянию, в которых исследуются спектры фононных возбуждений, а также временные спектры рассеяния в некогерентных каналах (аналог дифференциальной угловой корреляции в ядерных каскадных переходах). Отдельная часть лекций посвящена новым усовершенствованиям станций ядерно-резонанасного рассеяния и экспериментальным работам, в которых начали использовать ядерную монохроматизация синхротронного излучения (до 10^{-8} эВ на 14.4 кэВ переходе ^{57}Fe).

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение *Эффект Мёссбауэра на синхротронном излучении*. Энергетическая ширина возбужденных мессбауэровских уровней. Проблема выделения чисто ядерной компоненты из белого спектра СИ. Первые успешные эксперименты. Устройство и параметры современных станций ядерно-резонансного рассеяния СИ. Поиски новых решений.	4	2					2	2		2
Мёссбауэровская спектроскопия на временной шкале. Взаимосвязь энергетического и временного представления. Квантовые биения. Динамические эффекты в когерентном рассеянии. Роль поляризации излучения в отдельных сверхтонких переходах в формировании квантовых биений.	8	2	2				4	4		4
Некоторые примеры применения ядерно-резонансного рассеяния	8	2	2				4	2	2	4

СИ. Исследования фазовых переходов. Релаксация и диффузия. Модуляции ядерно-резонансного рассеяния. Эксперименты под давлением.										
Ядерно-резонансная рефлектометрия. История метода. Теория отражения. Особенности формы линий в спектре отражения при разных ьуглах скольжения. Селективность по глубине спектров отражения. Стоячие волны в теории отражения.	12	3	3				6	4	2	6
Резонансная магнитометрия. Экспериментальное определение профилей намагниченности в многослойных структурах по угловым и спектральным зависимостям ядерно-резонансного отражения.	4	1	1				2	2		2
Исследования диффузии в периодических мультислоях. Чисто ядерные максимумы брэгговского отражения. Диффузное и малоугловое ядерно-резонансное рассеяние.	14	2	4				6	8		8
Некогерентное и неупругое ядерно-резонансное рассеяние. Фононная спектроскопия с помощью ядерно-резонансного рассеяния. Квантовые биения для от-	8	2	2				4	4		4

дельных ядер. Кинематическое приближение в теории рентгеновской резонансной магнитной рефлектометрии.										
Создание ядерных монохроматоров синхротронного излучения. Новые ядерно-резонансные эксперименты с использованием "синхротронного мессбауэровского источника". Поляризационные особенности спектров поглощения и отражения для p-поляризованного излучения.	4	1	1				2	2		2
Стоячие волны в теории мессбауэровского магнитного отражения. Общие закономерности. Селективность по глубине квадрата стоячих волн. Примеры экспериментальных исследований с анализом поляризации отраженного пучка.	4	1	1				2	2		2
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. зачет	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Поляризационные эффекты в ядерно-резонансном рассеянии.
2. Краткий реферат работы: Collective Lamb Shift in Single-Photon Superradiance, R. Röhlsberger, et al., Science **328,** 1248 (2010).
3. Использование поляризаторов для синхротронного излучения, отраженного ядерным монохроматором (По статье: Takaya Mitsui, Yasuhiko Imai, Ryo Masuda, Makoto Seto, Ko Mibu J. Synchrotron Rad. (2015). 22, 427–435 (2014))
4. Метод стоячих рентгеновских волн для исследования профилей распределения сверхтонких взаимодействий по глубине резонансного слоя – по оригинальным публикациям.
5. Краткий реферат работы: “Morphology of the interfaces between transition metals and their native oxides: Role of interdiffusion processes”, S. Couet, et al., Phys. Rev. B 79, 085417 (2009)

Примеры типов домашних задач:

1. Определить интерферирующие сверхтонкие переходы при разных взаимных ориентациях сверхтонкого магнитного поля и направления излучения ядра.
2. Определить величину сверхтонкого магнитного поля по биениям на временном спектре ядерно-резонансного рассеяния вперед.
3. Получить формулу для амплитуды ядерно-резонансного отражения от ультратонкого слоя, используя матрицу распространения с мессбауэровской среде.
4. Определить глубину проникновения излучения в условиях зеркального отражения от мессбауэровского зеркала, используя в расчетах по программе REFTIM поверхностные слои с разными сверхтонкими слоями.

5. Рассчиать временные спектры ядерно-резонансного рассеяния при разных взаимных ориентациях сверхтонкого магнитного поля и направления излучения ядра по программе REFTIM.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Чем определяется сложность мессбауэровских измерений на синхротроном излучении.
2. Как связана частота квантовых биений в распаде ядер при наличии магнитного сверхтонкого расщепления уровней и величина сверхтонкого магнитного поля на ядре.
3. Как проявляется поляризация сверхтонких переходов во временном спектре рассеяния вперед.
4. Что такое динамические биения?
5. Как проявляется релаксационное уширение линий мессбауэровского спектра на временных спеткрах распада ядра
6. Как измеряются изомерные сдвиги при временном способе регистрации ядерного резонанса?
7. Амплитуда ядерно-резонансного рассеяния и показатель преломления мессбауэровской среды.
8. Чем отличается теория отражения рентгеновского излучения от теории мессбауэровской рефлектометрии?
9. Чем определяется пространственная селективность исследования сверхтонких взаимодействий в методе ядерно-резонансной рефлектометрии.
10. Как измеряется спектр фононных возбуждений методом ядерно-резонансного рассеяния.

Перечень вопросов к зачету:

1. Особенности эффекта Мессбауэра и трудности возбуждения резонансных уровней ядер СИ
2. Методы «ядерной монохроматизации». Чисто ядерные брэгговские отражения, четверть-волновые пленки скользящего падения, временная фильтрация, Использование поляризации.
3. Устройство и параметры современных станций ядерного резо-

нансного рассеяния, основные элементы, существующие станции, доступные для исследования мессбауэровские изотопы.

4. Временные спектры ядерно-резонансного рассеяния как Фурье преобразование энергетических спектров.
5. Рассеяние вперед. Общие формулы для описания энергетического и временного спектра излучения, прошедшего через резонансный образец.
6. Проявление когерентных эффектов: квантовые и динамические биения, усиление и ускорение распада ядер при когерентном рассеянии.
7. Зависимость временных спектров рассеяния от поляризации магнитных сверхтонких переходов.
8. Использование временных спектров ядерно-резонансного рассеяния вперед для исследования сверхтонких взаимодействий. фазовых переходов с изменением температуры и под давлением.
9. Временные спектры ядерно-резонансного рассеяния вперед при наличии релаксационных процессов и диффузии.
10. Ультразвуковая и радиочастотная модуляция, исследование поперечной когерентности синхротронного излучения, лайт-хауз эффект, интерферометрия.
11. Малоугловое рассеяние на магнитных доменах.
12. Зеркальное отражение в скользящей геометрии. Глубина проникновения излучения в области полного внешнего отражения: селективные по глубине исследования сверхтонких взаимодействий.
13. Ядерно-резонансная магнитометрия. Использование резонансных тестерных прослоек.
14. Поляризационная матрица амплитуды рассеяния мессбауэровского излучения.
15. Кривые отражения для интегральной задержанной интенсивности отражения. «Интерференционный максимум» вблизи критического угла и его объяснение.
16. «Магнитные максимумы» на интегральной задержанной кривой ядерно-резонансного отражения от многослойных периодических структур с аниферромагнитным межслойным упоря-

дочением.

17. Методика исследования фононных спектров с помощью ядерно-резонансного рассеяния
18. Исследования фононных спектров кристаллов и аморфных сред в функциях температуры и направления распространения гамма излучения в кристаллах.
19. Квантовые биения при некогерентном ядерно-резонансном рассеянии.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *Андреева М.А., Овчинникова Е.Н.* Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 3. Ядерно-резонансные («мёссбауэровские») эксперименты на синхротронах. Учебное пособие. М.: Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. Под ред. проф. А.С.Илюшина, 2010, 160 с.
2. *М.А. Андреева, В.А. Бушуев, Овчинникова, А.П. Орешко, И.Р. Прудников, А.Г. Смехова,* Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Учебное пособие, под ред. А.С.Илюшина; Московский гос. ун-т им. М.В.Ломоносова, Физ. фак., Каф. физики твердого тела. - Изд. 2-е, перераб. и доп. ОнтоПринт, 2012. - 162 с.
3. *М.А. Андреева*, Рентгено-оптические методы исследования многослойных структур, Часть I. Рефлектометрия изотропных мультислоев. Учебное пособие для аспирантов и студентов старших курсов, под ред. проф. А.С.Илюшина, Оп.печать физического факультета МГУ, 2016.
4. М.А. Андреева, Р.Н. Кузьмин, Мёссбауэровская и рентгеновская оптика поверхности. М., Издание Общенациональной акад. знаний, 1996.

Дополнительная литература

1. Г.Вертхейм, Эффект Мёссбауэра. Принципы и применения. Мир, 1966.
2. В.С. Шпинель, Резонанс гамма-лучей в кристаллах. Наука, 1969.
3. Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. Мессбауэровская гамма-оптика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982.
4. Мёссбауэровская спектроскопия: необычные применения мето-

да. Под. ред. У. Гонзера. М.: Мир, 1983. Глава YII
5. M.A. Andreeva, B. Lindgren, Nuclear resonant spectroscopy at Bragg reflections from periodic multilayers: basic effects and applications, Phys. Rev. B 72, 125422-1-22 (2005).

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- http://orgs.unca.edu/medc/Resources.html
- http://www.esrf.eu/Instrumentation/software/data-analysis/OurSoftware/REFTIM
- http://henke.lbl.gov/optical_constants/getdb2.html

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

В результате освоения дисциплины студент должен понимать особенности экспериментом на синхротронах по ядерно-резонансному рассеянию, взаимосвязь данных получаемых в энергетическом и временном представлениях. знать основные характеристики ядерно-резонансного рассеяния, ее поляризационные и угловые зависимости, иметь представление об основные направлениях исследований методом ядерно-резонансного рассеяния и отражения, иметь представление о фононной ядерно-резонансной спектроскопии, владеть теоретическими основами рассматриваемых эффектов, иметь опыт представления научного доклада, уметь отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины
ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК И ТЕХНОЛОГИЙ
Автор к.ф.-м.н. Ю.В.Корнеева

1. Название дисциплины: **Основы инновационного развития и коммерциализация научных разработок и технологий**
2. Уровень высшего образования – ***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация: В связи с усилением влияния новых технологий в плане экономического роста необходимым представляется определение современной роли и значения инновационного развития. Исследование инновационного развития требует, прежде всего, изучения таких основных понятий как инновации и их классификация, инновационный процесс и его составляющие, инновационная деятельность и ее характеристика, инновационный потенциал организации. Также в рамках изучения курса, студенты познакомятся с основами коммерциализации научных разработок - процесса, связанного с практическим использованием результатов научных исследований и разработок с целью вывода на рынок новых или улучшенных продуктов, услуг или процессов с получением коммерческого эффекта. Помимо этого, будут изучены понятия интеллектуальной собственности и методы их защиты.
5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (14 часов занятия семинарского типа, 14 лекций, 2 часа групповых консультаций, 2 часа индивидуальных консультаций, 4 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Кри-

терии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Владение современными профессиональными знаниями в области основных разделов физики, умение структурировать полученные знания. Умение делать доклады.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского ти-	Групповые консультации	Индивидуальные кон-	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних	Подготовка рефератов и	Всего
Раздел 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Понятие и классификация инноваций Инновационный процесс	4	1	1				2	1	1	2

Организация инновационной деятельности на предприятии Инновационный потенциал организации										
Раздел 2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Венчурные фирмы Бизнес-инкубаторы Технопарки и технополисы	4	1	1				2	1	1	2
Раздел 3. ПЛАНИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Стратегическое планирование инновационной деятельности Классификация инновационных стратегий Стратегическое планирование инноваций и диверсификация Планирование инноваций и взаимодействие с внешней средой Бизнес-планирование инновационных проектов	4	1	1				2	1	1	2
Раздел 4. ФИНАНСИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Цели и задача системы финансирования инновационной деятельности. Виды финансирования инновационных процессов. Сущность рискованного финансирования инновационной деятельности на базе венчурного капитала.	8	2	2				4	2	2	4

Лизинговое финансирование инновационных программ. Риски при финансировании. Инновации как объект государственной политики. Инструменты государственной поддержки инновационной деятельности. Правовые аспекты охраны интеллектуальной собственности.										
Раздел 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ Основные принципы оценки эффективности инновационной деятельности. Основные показатели экономической эффективности инновационных проектов. Экономическая оценка социальных результатов инновационной деятельности. Основные методы оценки эффективности инновационных проектов Роль руководителя в процессе инноваций Основные методы стимулирования инновационной активности служащих Сопротивление инновациям и методы его нейтрализации Внутренняя культура фирмы и ее изменение в холе инноваций	8	2	2				4	2	2	4

Раздел 6. РИСКИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Понятие и сущность риска Управление инновационными рисками Способы снижения рисков в инновационной деятельности	10	2	2				4	2	4	6
Раздел 7. КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК Основы коммерциализации научно-технических разработок Сценарии коммерциализации результатов научно-технической деятельности Участники процесса создания и коммерциализации результатов научно-технической деятельности Сопровождение процесса коммерциализации результатов научно-технической деятельности	10	2	2				4	3	3	6
Раздел 8. ЗАЩИТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ Понятие интеллектуальной собственности Объекты интеллектуальной собственности Классификация объектов интеллектуальной собственности Основные формы охраны интеллектуальной собственности Нормативно-правовая база в сфере интеллектуальной собственно-	12	3	3				6	3	3	6

сти Коммерциализация интеллектуальной собственности										
Промежуточная аттестация зачет	12	0	0	2	2	4	8	2	2	4
Итого	**72**	14	14	2	2	4	36	17	19	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторскими лекциями в электронном виде в форме презентации.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, ответы на вопросы по предыдущей лекции.

Список контрольных вопросов:

1. Дайте определение понятию «инновация»
2. Чем инновация отличается от новшества?
3. Назовите основные стадии инновационного процесса
4. Как может быть организована инновационная деятельность на предприятии?
5. Что входит в понятие «инновационный потенциал организации»?
6. Назовите основные организационные формы инновационной деятельности
7. В чем состоят основные особенности работы бизнес-инкубатора?
8. Дайте определение понятиям «технопарк» и «технополис»
9. Приведите примеры технополисов в России
10. Из каких основных компонентов состоит технопарк?
11. В чем заключается сущность риска?
12. Охарактеризуйте инновационные риски.
13. Назовите признаки классификации рисков.
14. Дайте определение управления риском.

15. Обрисуйте основные сценарии коммерциализации результатов научно-технической деятельности.
16. Перечислите основных участников процесса создания и коммерциализации результатов научно-технической деятельности.
17. Определение понятие интеллектуальной собственности
18. Перечислите основные объекты интеллектуальной собственности
19. Дайте классификацию объектов интеллектуальной собственности
20. Перечислите основные формы охраны интеллектуальной собственности

Промежуточная аттестация проводится на 12 неделе в форме доклада с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме зачета. Критерии формирования оценки – уровень выполненной работы (для зачета – уровень знаний всего курса).

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Основные стадии инновационного процесса на примере современных российских/зарубежным компаний.
2. Доклад о работе технопарка/бизнес-инкубатора на примере российских/зарубежным компаний.
3. Особенности организации инновационных процессов на предприятиях различных секторов экономики в РФ.
4. Рассмотрения путей коммерциализации результатов научно-технической деятельности на примере дипломного проекта учащегося.
5. Анализ возможности патентования или иной защиты интеллектуально собственности на примере научной работы учащегося.

Вопросы к зачету:

1. Дайте определение понятию «инновация»
2. Чем инновация отличается от новшества?
3. Назовите основные стадии инновационного процесса
4. Как может быть организована инновационная деятельность на предприятии?
5. Что входит в понятие «инновационный потенциал организации»?
6. Назовите основные организационные формы инновационной деятельности
7. В чем состоят основные особенности работы бизнес-инкубатора?
8. Дайте определение понятиям «технопарк» и «технополис»
9. Приведите примеры технополисов в России

10. Из каких основных компонентов состоит технопарк?
11. В чем заключается сущность риска?
12. Охарактеризуйте инновационные риски.
13. Назовите признаки классификации рисков.
14. Дайте определение управления риском.
15. Обрисуйте основные сценарии коммерциализации результатов научно-технической деятельности.
16. Перечислите основных участников процесса создания и коммерциализации результатов научно-технической деятельности.
17. Определение понятие интеллектуальной собственности
18. Перечислите основные объекты интеллектуальной собственности
19. Дайте классификацию объектов интеллектуальной собственности
20. Перечислите основные формы охраны интеллектуальной собственности

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. В.А.Антонец, Н.В.Нечаева, А.С.Суркова, К.Н.Абубакирова, Е.В.Рунова, И.В.Левчук Основы инновационной деятельности: Учебное пособие / Под общ. ред. проф. Б.И. Бедного. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского гос-университета, 2014.
2. Инновационное развитие территории в России и ЕС: опыт, проблемы, перспективы. Коммерческое развитие российских научно-исследовательских институтов / под общ. ред. М.А.Аллигтона, проф. Дж.Р.Метьюза. М., 2001. Кн 3.
3. Кожитов, Л.В. // Инновационная деятельность. Научно-аналитический журнал для ученых, производственников, разработчиков новой продукции, инвесторов, властных структур и ор-ганизаторов инновационной деятельности, зарубежных партне-ров / Саратовский государственный технический университет. – 2009. – № 4 (9) Кожитов Л.В., Демин В.А., Емельянов С.Г., Ки-селев Б.Г., Кожитов С.Л. Коммерциализация результатов науч-но-технической деятельности вузов – С. 16–24.
4. Право интеллектуальной собственности: учебник/ И.А.Близнец, Э.П. Гаврилов,О.В. Добрынин Ф [и др.] ; под ред. И.А. Близнеца. – М.: Проспект, 2011.

Дополнительная литература

1. Экономическая энциклопедия / науч.-ред. Совет изд-ва «Экономика»; Институт экономики РАН; гл. ред. Л.И.Абалкин. М., 2000.

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *Сайт Всемирной организации интеллектуальной собственности. [Электронный ресурс]- режим доступа: http://www.wipo.int/about-ip/ru/*
- *Сайт Федеральной службы по интеллектуальной собственности. .[Электронный ресурс]- режим доступа: http://www.rupto.ru*
- *Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. URL: http://www.economy.gov.ru*

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы инновационной деятельности предприятия, основные пути коммерциализации научных разработок и технологий, основные методы защиты интеллектуальной собственности;

уметь использовать полученные знания для проведения полноценной научно-исследовательской деятельности;

владеть основными методами защиты интеллектуальной собственности;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную и общеобразовательную дискуссию.

13.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана).

Рабочая программа дисциплины
РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ ОПТИКА СВЕРХРЕШЕТОК И ПЕРИОДИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР
Автор к.ф.-м.н. И.Р.Прудников

1. Название дисциплины: ***Рентгеновская дифракционная оптика сверхрешеток и периодических многослойных структур***
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Представленный курс посвящен современному разделу физики и техники, который можно назвать рентгеновской дифракционной оптикой сверхрешеток. В рамках этого направления проводятся рентгенодифракционные исследования структуры перспективных объектов современной современной опто- и микроэлектроники — полупроводниковых сверхрешеток. Как и многие другие разделы физики сегодняшнего дня, рентгенодифракционная оптика сверхрешеток находится в тесной взаимосвязи с разнообразными областями фундаментальной и прикладной физики, а также передовыми нанотехнологиями.

Неослабевающий интерес к сверхрешеткам в научном сообществе связан с идеями и выводами квантовой теории твердого тела, которая предсказывает необычные физические свойства этих объектов. Однако, для проверки этих выводов на практике следует научиться изготавливать сверхрешетки. Эту возможность предоставляют мощные нанотехнологии, которые сейчас бурно развиваются во всем мире. Наконец, для того, чтобы «увидеть» и исследовать структуру сверхрешеток просто необходимы эксперименты по рентгеновской дифракции. Рентгеновская дифрактометрия — это мощный экспериментальный экспресс-метод, позволяющий достаточно быстро оценить качество сверхрешетки и проанализировать возможные пути для совершенствования технологий, используемых для ее изготовления, Информация, получаемая при помощи метода рентгеновской дифрактометрии, имеет большое практическое значение. Эта информация крайне важна для технологов, изготавливающих сложные сверхрешеточные структуры. С другой стороны, для обработки экспериментальных данных и извлечения количественной информации

необходима фундаментальная основа - теория дифракции рентгеновских лучей в сверхрешетках.

Мы показываем, что рентгенодифракционная оптика сверхрешеток характеризуется красивым взаимодействием современных технологий, экспериментальной физики и теоретических разработок. Кроме того, мы надеемся, что в результате прочтения настоящего курса у молодых исследователей возникнет устойчивое желание работать в этой области физики, которая представляет широкие возможности для получения новых интересных научных результатов.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины -3 зачетные единицы, всего 108 ак. часов,

34 ак. часа занятий лекционного типа, 34 ак. часов занятий семинарского типа, 1 ак. час индивидуальные консультации, 1 ак. час групповые консультации, 2 ак. часа мероприятия промежуточной аттестации);

36 ак. часов - самостоятельная работа студентов.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения представленной дисциплины необходимо получить фундаментальные знания и практические навыки в результате освоения следующих дисциплин: рентгеновская оптика, рентгеновский структурный анализ, кристаллография и основы строения кристаллов, динамическая и кинематическая дифракция рентгеновских лучей в совершенных кристаллах, экспериментальные рентгенодифракционные методы исследования кристаллов, основы квантовой теории твердого тела, квантовая механика.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Полупроводниковые сверхрешетки										
1.1 Определение и примеры полупроводниковых сверхрешеток Определение полупроводниковой сверхрешетки, сверхрешетка как искуственно выращенный одномерно-искаженный кристалл, примеры полупроводниковых сверхрешеток, идея искусственных периодических (кристаллических) структур, пионерские работы Л.В.Келдыша, Л.Эсаки, от полупроводниковой гетероструктуры к сверхрешетке, примеры полупроводниковых ге-	9	3	3				6	3		3

тероструктур, пионерские работы Ж.И. Алферова и Г. Кремера, первый лазер с двойной гетероструктурой, квантовая яма, оптические свойства квантовых ям.										
1.2 Особенности энергетической зонной структуры сверхрешеток Сверхрешетки - периодическая последовательность квантовых ям, энергетические зоны в сверхрешетках, оптические свойства сверхрешеток, классификация сверхрешеток, композиционные и легированные сверхрешетки,	6	2	2				4	2		2
1.3 Сверхрешетки на основе квантовых точек и многослойные квантовые точки Квантовые нити и квантовые точки, самоорганизация квантовых точек, сверхрешетки на основе квантовых точек, многослойные квантовые точки.	3	1	1				2	1		1
1.4 Применения сверхрешеток в опто- и микроэлектронике Фотодетекторы в инфракрасном диапазоне и квантово-каскадные лазеры, поляризаторы и фильтры излучения инфракрасного диапазона, Источники излучения, инжекционные лазеры, светодиоды и лавинные фотодиоды	6	2	2				4	2		2

1.5 Современные нанотехнологии для создания сверхрешеток Современные нанотехнологии используемые для изготовления сверхрешеток, метод молекулярно-лучевой эпитаксии, газофазная и жидкофазная эпитаксия, катодное и магнетронное распыление, индукционное, лазерное и электронно-лучевое испарение, метод литографии для создания многослойных квантовых точек.	6	2	2				4	2		2
2.Дифракция рентгеновских лучей в сверхрешетках и методы ее описания										
2.1 Почему нужны эксперименты по рентгеновской дифракции в сверхрешетках? Экспериментальные методы исследования сверхрешеток, каналирование ионов, спектроскопия резерфордовского обратного рассеяния, дифракция электронов, электронная микроскопия, электронная оже-спектроскопия, комбинационное рассеяние света, преимущества метода рентгеновской дифракции	9	3	3				6	3		3
2.2 Дефекты структуры в сверхрешетках Идеальная когерентная эпитаксия, тетрагональные искажения кристаллической решетки, дислокации несоответствия, взаимная диффузия материалов, флуктуации толщин слоев и/или кон-	9	3	3				6	3		3

центрации твердого раствора слоев										
2.3 Схемы экспериментов по дифракции рентгеновских лучей в сверхрешетках Описание двукристального и трехкристального рентгеновских спектрометров	3	1	1				2	1		1
2.4 Кривая дифракционного отражения сверхрешетки Возникновение спектра сателлитов, построение сферы Эвальда в обратном пространстве в случае сверхрешетки	3	1	1				2	1		1
2.5 Кинематическая дифракция рентгеновских лучей в сверхрешетках Аналитическая формула для интенсивности сателлитов в случае кинематической дифракции, структурный фактор сверхрешетки, Функция Лауэ сверхрешетки, характеристики спектра сателлитов, формулы для угловых расстояний между пиками, угловых полуширин пиков, углового расстояния между основным пиком и дифракционным пиком подложки	13	4	4				8	5		5
2.6 Динамическая дифракция рентгеновских лучей в сверхрешетках Математические методы расчетов в динамической теории, метод дифференциальных уравнений	12	4	4				8	4		4

Такаги, алгебраических уравнений Эвальда-Лауэ, метод рекуррентных соотношений, аналитическая формула для интенсивности сателлитов в случае динамической дифракции, особенности спектра сателлитов в случае динамической дифракции, сравнительный анализ кинематической и динамической дифракции рентгеновских лучей в сверхрешетках										
2.7 Примеры из экспериментов Примеры экспериментальных дифракционных спектров полученных в случае различных сверхрешеток, обработка экспериментальных кривых и извлечение количественной информации о структуре сверхрешеток, обратная задача рентгеновской оптики, влияние дефектов структуры на кривую дифракционного отражения сверхрешетки	16	5	5				10	6		6
3. Динамическая дифракция рентгеновских лучей на ультразвуковой сверхрешетке										
3.1 Рентгеноакустический резонанс Ультразвуковая сверхрешетка, резонансное взаимодействие рентгеновских лучей с ультразвуковой сверхрешеткой в схеме дифракции по Лауэ, условие резонанса при динамической дифракции	3	1	1				2	1		1

3.2 Резонансное подавление эффекта Бормана Подавление эффекта Бормана в условиях рентгеноакустического резонанса, примеры из экспериментов, аналитическое описание и объяснение на основе теории динамической дифракции рентгеновских лучей	3	1	1				2	1		1
3.3 Ренгеновская акустоптика Прецизионные измерения динамических параметров кристалла в условиях рентгеноакустического резонанса, рентгенооптические устройства для управления рентгеновским пучком с помощью ультразвука	3	1	1				2	1		1
Промежуточная аттестация Зачет с оценкой				1	1	2				
Итого	**108**	34	34	1	1	2	72	36		36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Авторские учебные пособия, авторские презентации.

Также классические учебники и учебные пособия по рентгеновской оптике и дифракции рентгеновских лучей в кристаллах.

Литература по рентгеновской оптике:

Р. Джеймс, Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей (Изд-во ИЛ, Москва, 1950).

З.Г.Пинскер, Рентгеновская кристаллооптика (Изд-во «Наука», Москва, 1982).

В.И. Иверонова, Г.П. Ревкевич, Теория рассеяния рентгеновских лучей (изд.2-е, Изд-во МГУ, Москва, 1978).

А.В. Колпаков, Динамическая дифракция рентгеновских лучей

(Изд-во МГУ, Москва, 1989).

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Варианты типовых вопросов:

Вариант 1

Определение полупроводниковой сверхрешетки, сверхрешетка как искусственно выращенный одномерно-искаженный кристалл, композиционные и легированные сверхрешетки, энергетические зоны в сверхрешетках, оптические свойства сверхрешеток.

Вариант 2

Квантовая яма, оптические свойства квантовых ям, сверхрешетки - периодическая последовательность квантовых ям, энергетические зоны в сверхрешетках, оптические свойства сверхрешеток.

Вариант 3

Современные нанотехнологии, используемые для изготовления сверхрешеток, метод молекулярно лучевой эпитаксии, газофазная и жидкофазная эпитаксия, катодное и магнетронное распыление, метод литографии для создания многослойных квантовых точек.

Вариант 4

Квантовые нити и квантовые точки, схема энергетических уровней для случая одиночного атома, объемного кристалла и квантовой точки, самоорганизация квантовых точек, сверхрешетки на основе квантовых точек, многослойные квантовые точки.

Вариант 5

Применения сверхрешеток в опто и микроэлектронике, энергетически зоны в сверхрешетках, оптические свойства сверхрешеток, фотодетекторы и квантово-каскадные лазеры.

Вариант 6

Необходимость экспериментов по дифракции рентгеновских лучей в сверхрешетках, дефекты структуры сверхрешеток, когерентная эпитаксия и тетрагональные искажения кристаллической решетки, схемы экспериментов по дифракции рентгеновских лучей в сверхрешетках, влияние структурных дефектов на кривую дифракционного отражения сверхрешетки.

Вариант 7

Кривая дифракционного отражения рентгеновских лучей от сверхрешетки, появление сателлитов на кривой дифракционного отражения сверхрешетки, интерпретация спектра сателлитов с помощью сферы Эвальда в обратном пространстве, динамическая и кинематическая дифракция рентгеновских лучей в сверхрешетках.

Вариант 8

Основные характеристики дифракционного спектра сверхрешетки в случае кинематической дифракции, Функция Лауэ и структурный фактор сверхрешетки, характеристики спектра сателлитов в случае кинематической дифракции.

Вариант 9

Ультразвуковая сверхрешетка, резонансное взаимодействие рентгеновских лучей с ультразвуковой сверхрешеткой в схеме дифракции по Лауэ, рентгеноакустический резонанс, резонансное подавление эффекта Бормана.

Перечень тестов:

Задача 1

Рассчитать угловое расстояние между сателлитами (в угловых минутах) в случае кинематической симметричной дифракции по Брэггу на сверхрешетке: 10×[GaAs(8 nm)/$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$(20 nm)]/подложка GaAs(001) для отражения (004). На сверхрешетку падает излучение CuKα с длиной волны λ=1.54 Å и сигма поляризацией. Угол Брэгга для GaAs равен 33.0^0.

Задача 2

Угловое расстояние между сателлитами на кривой качания от сверхрешетки равно 0.5 градуса. Чему равен период сверхрешетки в нанометрах? Кривая качания отвечает кинематической симметричной дифракции по Брэггу на сверхрешетке GaAs/AlGaAs/подложка GaAs(001), отражение (004). На сверхрешетку падает излучение CuKα с длиной волны λ=1.54 Å и сигма поляризацией. Угол Брэгга для GaAs равен 33.0^0.

Задача 3

Рассчитать угловое расстояние между сателлитами (в угловых минутах) в случае кинематической симметричной дифракции по Брэггу на сверхрешетке: 10×[GaAs(8 nm)/$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$(20 nm)]/подложка

GaAs(001) для отражения (002). На сверхрешетку падает излучение CuKα с длиной волны λ=1.54 Å и сигма поляризацией. Угол Брэгга для GaAs равен 15.8°.

Задача 4

Как изменится угловое расстояние между сателлитами (увеличится или уменьшится и на сколько угловых минут), в случае кинематической симметричной дифракции по Брэггу на сверхрешетке 10×[GaAs(8 nm)/$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$(20 nm)]/подложка GaAs(001), если изменить отражение с (004) на (002) ? На сверхрешетку падает излучение CuKα с длиной волны λ=1.54 Å и сигма поляризацией. Углы Брэгга для GaAs равны 33.0° (отражение (004)) и 15.8° (отражение (002)).

Задача 5

Рассчитать угловую полуширину сателлита (ширину на уровне, где значение интенсивности равно половине от максимального значения интенсивности пика) в случае кинематической симметричной дифракции по Брэггу на сверхрешетке: 10×[GaAs(8 nm)/$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$(20 nm)]/подложка GaAs(001), отражение (004). На сверхрешетку падает излучение CuKα с длиной волны λ=1.54 Å и сигма поляризацией. Угол Брэгга для GaAs равен 33.0^0. Ответ представить в угловых секундах)

Задача 6

Рассчитать угловую полуширину сателлита (ширину на уровне, где значение интенсивности равно половине от максимального значения интенсивности пика) в случае кинематической симметричной дифракции по Брэггу на сверхрешетке: 20×[GaAs(8 nm)/$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$(20 nm)]/подложка GaAs(001), отражение (004). На сверхрешетку падает излучение CuKα с длиной волны λ=1.54 Å и сигма поляризацией. Угол Брэгга для GaAs равен 33.0^0. Ответ представить в угловых минутах.

Задача 7

Чему равна резонансная частота ультразвука в случае рентгеноакустического резонанса при динамической дифракции рентгеновских лучей в симметричной схеме Лауэ на кристалле кремния и отражения (220)? На кристалл падает излучение MoKα с длиной волны

λ=0.71 Å и сигма поляризацией. Период маятникового решения $\pi\Lambda$=36.6 мкм, C_S=4.67 10^5 см/с - скорость звука в кремнии.

Задача 8

Чему равна резонансная частота ультразвука в случае рентгеноакустического резонанса при динамической дифракции рентгеновских лучей в симметричной схеме Лауэ на кристалле кремния и отражения (440)? На кристалл падает излучение MoKα с длиной волны λ=0.71 Å и сигма поляризацией. Период маятникового решения $\pi\Lambda$=47.2 мкм, C_S=4.67 10^5 см/с - скорость звука в кремнии.

Задача 9

Рассчитать угловое расстояние между сателлитами (в угловых минутах) в случае кинематической симметричной дифракции по Брэггу на сверхрешетке: 10×[GaAs(8 nm)/$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$(8 nm)]/подложка GaAs(001) для отражения (004). На сверхрешетку падает излучение CuKα с длиной волны λ=1.54 Å и сигма поляризацией. Угол Брэгга для GaAs равен 33.0^0.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. А.С. Илюшин, И.Р. Прудников, Е.В. Якута, "Перспективные объекты исследований в современной физике конденсированного состояния вещества. Полимерные структуры, фотонные кристаллы, сверхрешетки". — М.: МЦНМО, 2018. — С. 148.
2. А.С. Илюшин, И.Р. Прудников, Е.В. Якута, "Современные проблемы физики конденсированного состояния вещества". Избранные главы. — М.: Физический факультет МГУ, 2015. — С. 148.
3. А.С. Илюшин, И.Р. Прудников, "Введение в рентгеновскую дифракционную оптику сверхрешеток (издание третье)", МГУ им. М.В. Ломоносова, изд-во физического факультета, 2010 г., - С. 41.

Дополнительная литература

1. А.В.Колпаков, И.Р.Прудников, "Дифракция рентгеновских лучей в сверхрешетках", Изд-во МГУ, 1992 г., С.1-128.
2. М.А. Андреева, В.А.Бушуев, Е.Н.Овчинникова, А.П.Орешко, И.Р. Прудников, А.Г.Смехова,"Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики ", под ред. проф. А.С.Илюшина; МГУ им. Ломоносова, Физ. фак-т.- изд. 2-е, переработ. и доп.-2012.-164 с.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *https://scholar.google.ru/*
- *https://elibrary.ru/*

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии в виде кратких обсуждений и опросов, в виде рейтинговой системы, учитывающей посещаемость.

Обучающимся необходимо:

- После каждой лекции необходимо прочитать соответствующие этой лекции разделы в рекомендованной учебно-методической литературе,
- Повторить формулы, которые выводятся в ходе этой лекции,
- Сделать расчеты, которые обсуждаются в ходе конкретной лекции,

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Информационные справочные системы:

Web of science; Scopus; E-Library; Академия Google

Программное обеспечение

Программа Superlattice (Автор И.Р. Прудников, к.ф.-м.н., с.н.с КФТТ Фического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория на 30 посадочных мест, компьютер, проектор, экран.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОФИЗИКИ
Автор д.ф.-м.н., профессор Е.Н.Овчинникова

1. Название дисциплины: ***Основы кристаллофизики***

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Кристаллы являются анизотропными средами, симметрия свойств которых связана с особенностями их структуры. Физические свойства кристаллов обычно описываются в терминах материальных тензоров. Взаимосвязь симметрии и свойств, а также внешних воздействий, устанавливается принципами Кюри и Неймана. В лекционном курсе рассматриваются ограничения на число независимых компонент тензоров в разных кристаллографических группах. Студенты должны ознакомиться с описанием ряда физических явлений в анизотропных средах, таких как упругость, пиро- и пьезоэлектричество, оптическая анизотропия, электропроводность и др., а также влиянием внешних воздействий на физические свойства кристаллов.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (15 часов занятия семинарского типа, 1 часа групповых консультаций, 1 часов индивидуальных консультаций, 2 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часов мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагне-

тизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”, «Кристаллография».

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Симметрия кристаллов Конденсированное состояние вещества. Анизотропные сплошные среды. Преобразования симметрии. Точечные группы. Сингонии. Кристаллические классы. Категории. Преобразования осей координат. Преобразования компонент векторов, тензоров. Главные оси тензоров, приведение к главным	12	3	3				6	4	2	6

осям.										
Тензорное описание физических свойств Симметрия макроскопических физических свойств. Предельные группы Кюри. Связь симметрии и свойств. Принцип Кюри-Неймана. Кристаллографическая и кристаллофизическая системы координат. Материальные и полевые тензоры. Определение числа независимых параметров тензоров с помощью теории групп. Тензоры и псевдотензоры. Соотношения дуальности. Бескоординатная запись тензоров. Внутренняя и внешняя симметрия тензоров. Изотропные и гиротропные тензоры.	10	2	2				4	4	2	6
Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга. Тепловые свойства кристаллов. Дискретные и континуальные решеточные модели кристаллов. Пироэлектричество, пироэлектрические классы. Сегнетоэлектрики и их применение. Диэлектрические постоянные вблизи точки Кюри.	6	1	1				2	2	2	4

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга. Характеристическая поверхность. Величина, характеризующая свойство в данном направлении. Электрические свойства. Основные уравнения электростатики анизотропных кристаллов. Поляризуемость. Постоянный электрический ток в кристаллах. Электропроводность. Симметрия тензора электропроводности. Обобщенный закон Ома. Оптические свойства кристаллов. Уравнения Максвелла для анизотропных диэлектриков. Оптическая индикатриса. Эллипсоид Френеля. Бирадиали. Волновая и лучевая поверхности. Построение оптических поверхностей в различных сингониях.	8	2	2				4	2	2	4
Эффекты высших порядков Упругие свойства. Тензор деформации. Тензор напряжений. Уравнения эластостатики и эластодинамики. Обобщенный закон Гука. Вид упругих тензоров в разных кристаллических классах. Тепловое расширение. Пьезоэлектричество. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты. Симметрия пьезоэффекта, вид пьезоэлектрического	10	3	3				6	2	2	4

тензора в кристаллических классах. Разновидности пьезоэффекта. Упругие волны в пьезоэлектрических кристаллах. Искусственная двуосность одноосных кристаллов, вызванная электрическим полем. Электрооптические эффекты Покельса и Керра. Пьезооптический эффект. Нелинейные оптические свойства в сильном электрическом поле. Оптическая активность кристаллов. Гиротропия, тензор гирации. Искусственная оптическая активность.										
Термодинамика равновесных свойств кристаллов. Инвариантные и неинвариантные термодинамические потенциалы и их матрицы. Взаимодействие тепловых, электрических и механических свойств кристаллов. Электрокалорический и пьезокалорический эффекты. Изменение симметрии кристаллов при фазовых переходах второго рода. Математические методы теории фазовых переходов.	8	2	2				4	2	2	4

Магнитная симметрия в кристалофизике Магнитные свойства Магнитная проницаемость. Магнитная симметрия кристаллов. Магнитные классы и пространственные группы. Симметрия тензоров в магнитном поле. Магнитооптический, магнитоэлектрический, пиромагнитный, пьезомагнитный, магнитокалорический эффекты.	4	1	1				2	2		2
Локальная анизотропия кристаллов и ее проявление в дифракционных методах исследования Симметрия локальных свойств кристаллов, ее связь с пространственной и точечной симметрией. Исследование локальных физических свойств с помощью рентгеновского излучения.	6	1	1				2		4	4
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. экзамен	8			2	2	2	6	2		2
Итого	**72**	15	15	2	2	2	36	20	16	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной

работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен презентациями.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Внутренняя и внешняя симметрия тензоров.
2. Соотношения дуальности.
3. Изотропные и гиротропные тензоры.
4. Проблема выбора кристаллографических и кристаллофизических систем координат.
5. Поля точечного заряда и диполя в анизотропной среде.

Примеры типов домашних задач:

1. Используя метод прямой проверки определить число ненулевых компонент материального тензора второго ранга кристалла с симметрией, описывающейся точечной группой mmm, и выразить тензор в системе координат с осями, перпендикулярными плоскостям отражения.
2. Используя метод прямой проверки записать форму симметричного тензора 2 ранга, описывающего физические свойства кристалла с группой симметрии $\bar{4}$ в системе координат, где ось Ox_3 параллельна инверсионной оси 4 порядка.
3. Тензор напряжения в некоторой системе координат имеет вид: $T_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T \end{pmatrix}$. Рассчитать величину T_ν напряжения по нормали к поверхности, единичный вектор которой задается известными косинусами углов, а также величину τ напряжения сдвига.
4. Кристалл рутила TiO_2 имеет тетрагональную симметрию и па-

раметры решетки a = b = 4.5933 Å and c = 2.9592 Å прит 0◦C. Когда он нагревается от 0◦C до 100◦C, угол между плоскостями (100) и (101) уменьшается на 0.095 mrad. Используя, что средний коэффициент теплового расширения в интервале от 0◦C до 100◦C равен 23.4x 10^{-6} $◦C^{-1}$, рассчитать два независимых коэффициента теплового расширения.

5. Показать, что модуль Юнга кубического кристалла максимален в направлении [111] во всех случаях, когда величина $s_{11} - s_{12} - s_{44}/2$ положительна.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Список контрольных вопросов:

1. Материальные и полевые тензоры.
2. Определение числа независимых параметров тензоров с помощью теории групп.
3. Пироэлектричество, пироэлектрические классы.
4. Симметрия тензора электропроводности. Обобщенный закон Ома.
5. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты.
6. Оптическая активность кристаллов. Гиротропия, тензор гирации.
7. Симметрия локальных свойств кристаллов, ее связь с пространственной и точечной симметрией.

Перечень вопросов к зачету:

1.Физические свойства кристаллов и их описание с помощью тензоров.

2. Основные принципы кристаллофизики. Принцип Неймана и принцип Кюри. Предельные группы симметрии.

3. Влияние симметрии внешних воздействий на симметрию кристаллов.

4. Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга. Прямой и обратный пироэлектрический эффект. Кристаллы-пироэлектрики. Сегнетоэлектрические кристаллы: основные свойства и практические применения.

5. Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга. Нахождение свойства по заданному направлению. Характеристическая поверхность тензора второго ранга. Свойства характеристической поверхности.

6. Диэлектрическая и магнитная проницаемости кристаллов, тепловое расширение, тепловое и электрическое сопротивление.

7. Напряжение и деформации в кристаллах, тензор напряжений.

8. Упругие свойства кристаллов. Связь между коэффициентами податливости и жесткости кристаллов. Влияние симметрии на вид матрицы упругих коэффициентов. Модуль Юнга, сдвига и коэффициент Пуассона.

9. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Свойства пьезоэлектрических кристаллов.

10. Распространение упругих волн в кристаллах. Уравнение распространения упругих волн. Продольные и поперечные упругие волны.

11. Оптические свойства кристаллов. Тензоры диэлектрической проницаемости и непроницаемости в кристаллах разных групп симметрии.

12. Оптическая индикатриса и эллипсоид Френеля. Нахождение показателя преломления в заданном направлении.

13. Естественная и искусственная оптическая активность кристаллов.

9. *Перечень основной и дополнительной учебной литературы*

Основная литература

1. *Най Дж.* Физические свойства кристаллов. М.: Мир, 1967 г., 387 с.

2. *Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П.* Основы кристаллофизики. М. Наука.1984.

3. *Сонин А.С.* Курс макроскопической кристаллофизики. М. Физматлит. 2006.

Дополнительная литература

1. *Cécile Malgrange, Christian Ricolleau, Michel Schlenker.* Symmetry and Physical Properties of Crystals. Springer, 2014.

2. Желудев И.С. Электрические кристаллы. М., Наука, 1979.

3. *Агранович В.М., Гинзбург В.Л.* Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. М., Наука, 1965.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

http://kftt.phys.msu.ru/

http://crys.ras.ru

https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

знать основы описания симметрии физических свойств анизотропных сред;

уметь использовать полученные знания для определения возможности наблюдения определенных физических свойств в кристаллах различных групп симметрии;

владеть основными методами расчета определенных физических параметров в заданных кристаллографических направлениях;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НАНОСИСТЕМ
Автор д.ф.-м.н. Т.Ю.Киселева

1. Название дисциплины: ***Мессбауэровская спектроскопия наносистем***
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

   Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ «Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения» и «Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы»

   Железосодержащие наночастицы, их ансамбли, а также содержащие их композитные системы, активно применяются в металлургии, химической, электронной промышленности, в сферах биотехнологий, экологии, медицины. Мессбауэровская спектроскопия на ядрах 57Fe, основанная на эффекте резонансного поглощения гамма-излучения в веществе, зарекомендовала себя мощным методом исследования материалов. Сочетание информации локального характера с данными о кооперативных явлениях делает ее исключительным инструментом в технологиях наносистем. В предлагаемом лекционном курсе рассматриваются вопросы, связанные с фундаментальными и прикладными аспектами применения метода для систем пониженной размерности, в которых возникает необходимость учета динамических эффектов, эффектов электронного обмена, суперпарамагнитной релаксации. В курсе обсуждаются методические вопросы применения мессбауэровской спектроскопии к технологическим процессам при создании и функционализации наносистем, материалов, содержащих наноструктурные компоненты. Курс включает обсуждение существующих моделей к интерпретации мессбауэровских спектров, рассматриваются конкретные примеры.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа,

из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 часов индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерий формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов, рефератов. часов мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия: ля освоения дисциплины предварительно необходимо освоение следующих дисциплин и практики:

“Математический анализ”, Электромагнетизм”, “Оптика”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Квантовая теория”, “Атомная физика”, «Кристаллография», «Свойства конденсированных веществ”

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консуль-	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних за-	Подготовка рефератов и т.п.	Всего

Физические основы мессбауэровской спектроскопии Характеристики атомного ядра и ядерный энергетический переход. Испускание и поглощение гамма квантов ядрами и форма линий. Резонансное поглощение и флюоресценция гамма излучения. Энергия отдачи. Эффект Допплера. Сравнение электронных и ядерных переходов. Сечение резонансного поглощения. Эффект Мессбауэра. Вероятность эффекта. Фактор Лэмба-Мессбауэра. Мессбауэровские изотопы и их основные характеристики.	4	2					2	2		2
Техника мессбауэровского эксперимента. Схема стандартного (традиционного) мессбауэровского эксперимента. Геометрии эксперимента. Мессбауэровские источники. Характеристики источников. Принцип работы мессбауэровского спектрометра. Системы регистрации и детектирования. Мессбауэровский спектр. Оптимизация эксперимента. Эффективная толщина поглотителя и эффекты насыщения. Форма линии излучения, поглощения и резонансной линии. Качество спектра. .	8	2	2				4	4	4	
Сверхтонкие взаимодействия, параметры мессбауэровского спек-	4	1	1				2	2		2

тра. Электрическое монопольное взаимодействие. Изомерный (химический) сдвиг. Волновые функции и плотность электронов на ядре. Характерные изомерные сдвиги в железосодержащих соединениях. Эффект Допплера второго порядка. Температурная зависимость изомерного сдвига Электрическое квадрупольное взаимодействие. Градиент электрического поля. Квадрупольные моменты ядер и их взаимодействие с градиентом электрического поля (ГЭП) в кристаллах. ГЭП, обусловленный окружающими ионами. ГЭП, создаваемый валентными электронами. Влияние температуры. Эффекты экранирования.										
Сверхтонкие взаимодействия и мессбауэровские параметры. Магнитное дипольное взаимодействие. Магнитные моменты ядра и эффективное магнитное поле. G-факторы основного и возбужденного состояний ядра. Формирования эффективного магнитного поля в области расположения ядра. Спектр 57Fe. Происхождение магнитного сверхтонкого поля на ядрах железа. Знак сверхтонкого поля. Комбинированное сверх-	8	2	2				4	2	2	4

тонкое взаимодействие. Температурная зависимость сверхтонкого поля. Особенности спектров ферро-, ферри- и антиферромагнетиков. Интенсивности гамма-переходов между расщепленными СТВ основным и возбужденным состояниями ядра. Поляризационные и угловые характеристики отдельных сверхтонких переходов в магнитоупорядоченном состоянии образца.										
Методы обработки и анализа мессбауэровских спектров. Методы извлечения информации из мессбауэровских спектров. Комплексный подход к обработке спектров и роль априорной информации. Аналитическая обработка мессбауэровских спектров. Модельная расшифровка. Восстановление функций распределения параметров спектра. Комплексный подход. Современные программные комплексы для обработки мессбауэровских спектров	4	1						2	2	2
Железосодержащие нанокристаллические материалы. Особенности структуры и свойств систем пониженной размерности. Наночастицы, нанокомпозиты и наноструктурированные материалы. Виды и классификация. Модели описания структуры. Роль зернограничных и	8	2	2				4	2	2	4

интерфейсных состояний. Свойства индивидуальных частиц и их ансамблей. Размерные эффекты и физические свойства. Магнитные наночастицы. Доменное состояние. Эффекты суперпарамагнетизма. Критерии однодоменности. Подходы к описанию магнетизма однодоменных частиц. Магнитокалорические и резонансные эффекты. Некоторые способы получения железосодержащих функциональных наночастиц, их стабилизации и функционализации. Особенности практической работы с высокодисперсными материалами.										
Мессбауэровская спектроскопия систем пониженной размерности Возможности традиционной мессбауэровской спектроскопии в технологии наноструктурных материалов. Влияние размерных эффектов на мессбауэровские спектры. Релаксационные явления и их модели. Мёссбауэровские спектры наночастиц в представлении Джонса–Шриваставы.	8	2	2				4	2	2	4
Экспериментальная техника температурных мессбауэровских измерений и измерений во внешних магнитных полях. Низкотемпературный мессбауэровский криостат. Температурные зависимости сверхтонких парамет-	4	2					2	2		2

ров мессбауэровских спектров. Изучение размерных характеристик образцов, фазовых переходов. Измерения мессбауэровских спектров во внешнем магнитном поле. Влияние магнитного поля и его направления на параметры мессбауэровского спектра. Температурно-полевые зависимости параметров мессбауэровских спектров ферримагнитных частиц.										
Применение мессбауэровской спектроскопии. Мессбауэровская спектроскопия в нанотехнологиях. Мессбауэровские спектры основных функциональных оксидов железа и их особенности в наноразмерном состоянии. Мессбауэровская спектроскопия как метод мониторинга технологических процессов синтеза материалов. Применение Мессбауэровской спектроскопии в механосинтезе нанокомпозитов. Анализ окислительно-восстановительных реакций в порошковых смесях оксидов железа с металлами восстановителями. Мессбауэровская спектроскопия катализаторов и продуктов катализа.	8	2	2				4	2	2	4
Применение мессбауэровской спектроскопии для решения геологических, археологических и минералогических задач. Мессбауэров-	4	2					4	2	2	4

ская спектроскопия наночастиц гидроокислов. Применение метода к задачам геологии. Мессбауэровские спектроскопия некоторых частиц биоминералов- продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. .										
Мессбауэровская спектроскопия наносистем на синхротронном мессбауэровском источнике Мессбауэровские эксперименты на синхротронных источниках. Схема эксперимента. Синхротронный мессбауэровский источник, системы монохроматизации и фокусировки. Сравнение особенностей и возможностей эксперимента на синхротронном и лабораторном источниках. Исследования железосодержащих наночастиц и наноструктурных материалов с помощью мессбауэровского синхротронного излучения:. визуализация кристаллизации аморфных сплавов in situ, определение спинового и магнитного состояния наночастиц в полимере в процессе напыления in situ.	8	2	2				4	2	2	4
Промежуточная аттестация Проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерий формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса	6			1	1	2	4	2		2

экзамен										
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями лекций.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов, написание рефератов по периодическим источникам.

Примеры темы рефератов и докладов.

1. Наносистемы в современном мире, методы их получения и исследования.
2. Мессбауэровская спектроскопия в технологиях создания новых материалов и исследовании их функциональных свойств.
3. Наночастицы оксидов железа в медицине и мессбауэровская диагностика их структурного и размерного состояния.
4. Модель зернограничной области в нанокристаллическом железе и ее мессбауэровский спектр.
5. Мессбауэровская спектроскопия нанокомпозитов, разделение вкладов зерен, граничных и интерфейсных областей

Примеры типов домашних задач:

1. Провести расчет калибровки спектрометра для разных амплитуд движения источника относительно поглотителя.
2. Оценить погрешность в определении основных параметров спектра.
3. Рассчитать эффективную толщину поглотителя по заданным параметрам.
4. Оценить качество предложенного спектра. Сделать предложе-

ния по его улучшению.

5. Оценить величину температурного сдвига мессбауэровской линии для ядер железа.
6. Провести количественный фазовый анализ в предложенном спектре, используя программу обработки.
7. Определить валентность железа в исследуемом образце по мессбауэровскому спектру.
8. Выявить типы магнитного состояния фаз в мессбауэровском спектре композитного материала.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. Для экзамена – уровень знаний всего курса.

Список контрольных вопросов:

1. Мессбауэровская спектроскопия. Физические принципы эффекта резонансного поглощения гамма излучения веществом.
2. Схема мессбауэровского эксперимента.
3. Разрешающая способность метода. Динамические свойства мессбауэровских ядер. Вероятность эффекта. Фактор Лэмба-Мессбауэра.
4. Сверхтонкие взаимодействия и основные параметры мессбауэровского спектра.
5. Влияние степени упорядоченности и размерных эффектов на параметры спектра.
6. Достоинства и недостатки метода мессбауэровской спектроскопии.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Мессбауэровская спектроскопия: основы метода, принципы устройства приборов, обработка и интерпретация данных измерений
2. Характеристики ядерных уровней 57Fe (энергия, среднее время жизни, ширина, спин, четность в основном и возбужденном состоянии).
3. Динамические свойства мессбауэровских ядер. Вероятность эф-

фекта и колебательный спектр ядра. Температурный сдвиг мессбауэровской линии и колебательный спектр ядра. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии. "Эффект насыщения".

4. Электронная конфигурация и изомерный сдвиг мессбауэровской линии
5. Электрическое квадрупольное сверхтонкое взаимодействие. Квадрупольные моменты ядра и тензор градиента электрического поля. Интенсивность линий.
6. Магнитное сверхтонкое взаимодействие. Магнитные моменты ядра и эффективное магнитное поле. G-факторы основного и возбужденного состояний ядра. Механизмы формирования эффективного магнитного поля в области расположения ядра. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие. Интенсивность линий мессбауэровского спектра. Влияние магнитной текстуры образца.
7. Методы обработки мессбауэровских спектров. Модельная расшифровка. Роль априорной информации при построении модели. Особенности анализа спектров малых частиц.
8. Мессбауэровская спектроскопия наночастиц. Спектры изолированных и консолидированных частиц. Эффекты суперпарамагнитизма.
9. Релаксационные эффекты в мессбауэровских спектрах. Модели обработки релаксационных спектров. Определение размеров частиц по релаксационным мессбауэровским спектрам.
10. Мессбауэровские спектры основных функциональных оксидов железа: магнетита, гематита, маггемита и гетита. Влияние размеров частиц оксидов на параметры мессбауэровского спектра. Методы определения размеров частиц и их структуры.
11. Мессбауэровский спектр нанокристаллического железа. Модель зернограничной области и ее спектр.
12. Количественный фазовый анализ многокомпонентных нанокристаллических систем. Модели обработки с учетом особенностей наноструктурного состояния.

13. Особенности и преимущества Мессбауэровского эксперимента с использованием синхротронного излучения. Примеры исследований наносистем.

10.Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Шпинель В.С. Гамма-резонанс лучей в кристаллах. Наука, 1969.
2. Химические применения мессбауэровской спектроскопии. Под ред. Гольданского В.И. // М.: Мир, 1970. – 502 с.
3. Русаков В.С. Основы мессбауэровской спектроскопии. М.МГУ. Физический факультет. 2011.290с.
4. Кузьмин Р.Н., Новакова А.А. Мессбауэровская конверсионная спектроскопия 1989 МГУ. 72 с
5. Новакова А.А, Киселева Т.Ю. Мессбауэровский практикум. Методы мессбауэровской спектроскопии в физике твердого тела. М. МГУ.2003 41 с.

Дополнительная литература

1. Новакова А.А, Киселева Т.Ю. Мессбауэровский практикум. Методы мессбауэровской спектроскопии в физике твердого тела. М. МГУ.2003 41 с.
2. Мёссбауэровская спектроскопия: необычные применения метода. Под. ред. У. Гонзера. М.: Мир, 1983. Глава YII.
3. *Суздалев И.*П. Гамма резонансная спектроскопия белков и модельных соединений. М.Наука 1988.263 с.
4. Белозерский Г.Н. Мессбауэровская спектроскопия как метод исследования поверхности. М.Энергоатомиздат. 1990.-352 с.
5. Овчинников В.В. Мессбауэровские методы анализа атомной и магнитной структуры сплавов. М.Физматлит 2002. 254 с.
6. Киселева Т.Ю., Новакова А.А. Методика высокотемпературной мессбауэровской спектроскопии для исследования неравновесных металлических систем. М. МГУ. 1998. 27с
7. Надь Д., Вертеш А. Мессбауэровская спектроскопия замороженных растворов: Пер. с англ // М.:Мир, 1998. – 398 с.
8. Gutlich P., Eckhard B., Trautwein A. Mossbauer spectroscopy and transition metal chemistry, Springer Verlag (2010)

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- http://orgs.unca.edu/medc/Resources.html
- http://www.ak-klingelhoefer.chemie.uni-mainz.de/

11.Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать фундаментальные основы гамма-резонансной спектроскопии и структуру мессбауэровского эксперимента.

Уметь использовать полученные знания для решения задач по исследованию материалов разного структурного, размерного и магнитного состояния

Владеть основными методами обработки экспериментальных данных и их интерпретации

Иметь опыть деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Для практического освоения к курсу имеется программное обеспечение для аналитической обработки мессбауэровских спектров.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана). Ознакомление с практическими аспектами мессбауэровского эксперимента осуществляется в реальной научной мессбауэровской лаборатории физического факультета, оснащенной всем необходимым экспериментальным оборудованием.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ
Автор д.ф.-м.н., доцент А.П.Орешко

1. Название дисциплины: **Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом**
2. Уровень высшего образования – ***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

В последние годы все большую популярность приобретают рентгеновские резонансные методы исследования конденсированных сред. Эти методы позволяют получать уникальную информацию и существенно расширили границы традиционной рентгеновской дифрактометрии и спектроскопии. Для практического использования этих новых методов, специалистом необходимо знать строгое квантово-механическое описание взаимодействия рентгеновского излучения с атомами вещества.

В рамках курса проводится последовательное изложение теоретических основ строгого описания особенностей взаимодействия рентгеновского излучения с атомами в идеальных кристаллах. Проводится обзор основных рентгеновских резонансных методов исследования, отмечаются их достоинства и недостатки.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, актив-

ность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Квантовая механика”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Упругое рассеяние на электронах, фотоэлектрическое поглощение, неупругое (комптоновское) рассея-	4	1	1				2	4		4

ние. Вторичное излучение (флуоресценция, фотоэлектроны). Края поглощения.										
Элементы квантовой теории рассеяния Эффективные сечения и амплитуда рассеяния. Рассеяние волнового пакета на потенциале. Общий закон резонансного рассеяния. Метастабильные состояния. Сечение рассеяния и *T*-матрица. Борновское приближение, борновское разложение и критерий применимости. Обобщенное борновское приближение. Формула Бора-Пайерлса-Плачека (оптическая теорема).	8	2	2				4	4		4
Электромагнитное излучение Классическая теория. Электромагнитный потенциал. Выбор калибровки. Квантование свободного поля излучения. Фотоны. Поляризация. Разложение по мультиполям.	8	2	2				4	4		4
Взаимодействие электромагнитного излучения с атомом Уравнения Дирака и Паули для электрона в электромагнитном поле. Гамильтониан взаимодействия рентгеновского излучения с атомом. Сечение рассеяния рентгеновского излучения атомом.	4	2	2				4	4		4
Нерезонансное упругое рассеяние рентгеновского излучения атомом Томсоновский атомный рассеи-	8	2	2				4	4		4

вающий фактор. Нерезонансное магнитное рассеяние.										
Резонансное упругое рассеяние рентгеновского излучения атомом Разложение по мультиполям: дипольный и квадрупольный члены. Диполь-квадрупольный перекрестный член.	12	3	3				6	6		6
Резонансное неупругое рассеяние рентгеновского излучения атомом	8	2	2				4	4		4
Резонансное поглощение рентгеновского излучения атомом	8	2	2				4	4		4
Контроль текущей успеваемости проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов. на 10 неделе проводится контрольная работа с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.	4					2	2	2		2
Промежуточная аттестация экзамен	2			1	1		2			
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Рентгеновская кристаллография.
2. Нерезонансные рентгеновские метод исследования магнитной структуры вещества.
3. Резонансные рентгеновские метод исследования магнитной структуры вещества.
4. Резонансная дифракция рентгеновского излучения.
5. Методы резонансной рентгеновской спектроскопии.
6. Оптическая активность в рентгеновском диапазоне длин волн и ее проявления.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Упругое рассеяние рентгеновского излучения на атомах.
2. Неупругое рассеяние рентгеновского излучения на атомах.
3. Фотоэлектрическое поглощение.
4. Рентгеновская флуоресценция.
5. Края поглощения.
6. Сечение рассеяния.
7. Борновское приближение и область его применения.
8. Оптическая теорема.
9. Калибровка Лоренца и калибровка Кулона.
10. Сечение рассеяния рентгеновского излучения атомом.
11. Нерезонансный атомный рассеивающий фактор.
12. Нерезонансное магнитное рассеяние рентгеновского излучения.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Основные каналы взаимодействия рентгеновского излучения с

веществом.

2. Края поглощения.
3. Сечение рассеяния, амплитуда рассеяния, *T*- и *S*-матрицы.
4. Обобщенное борновское приближение.
5. Функция Грина искаженных волн.
6. Оптическая теорема.
7. Гамильтониан свободного электромагнитного поля.
8. Гамильтониан излучения, взаимодействующего с атомами.
9. Нерезонансный атомный рассеивающий фактор.
10. Нерезонансное магнитное рассеяние рентгеновского излучения.
11. Резонансное рассеяние рентгеновского излучения атомом.
12. Дипольный вклад в резонансное рассеяние рентгеновского излучения атомом.
13. Квадрупольный член в резонансное рассеяние рентгеновского излучения атомом.
14. Дальняя тонкая структура спектров поглощения.
15. Ближняя тонкая структура спектров поглощения.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Дмитриенко В.Е.* Синхротронные исследования конденсированных сред. Резонансная дифракция синхротронного излучения. Физич.Ф-т. МГУ, 2016.
2. *Овчинникова Е.Н., Андреева М.А.* Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 1. Физич. Ф-т. МГУ, 2007.
3. *Altarelli M.* Theoretical Basis of Photon Spectroscopies. // in Magnetism and Synchrotron Radiation: Towards the Fourth Generation Light Sources (Springer Proceedings in Physics, vol. **151**). Edited by Beaurepaire E., Bulou H., Joly L., Scheurer F. 2013, P. 95-138.
4. *Blume M.* Magnetic Effects in Anomalous Dispersion. // in Resonant Anomalous X-ray Scattering. Edited by Materlik G., Sparks C.J., Fisher K. Amsterdam: Elsevier. 1994. P. 495.

Дополнительная литература

1. *Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б.* Квантовая электродинамика. Москва, Наука, 1981.
2. *Мессиа А.* Квантовая механика. Т. 2. Москва, Наука, 1978.

3. *Cohen-Tannoudji C., Dupont-Roc J., Grynberg G.* Atom-photon interactions. Wiley-VCH, 2004.
4. *Joly Y.* Interaction of Polarized Light with Matter. // in Magnetism and Synchrotron Radiation: New Trends (Springer Proceedings in Physics, vol. **133**). Edited by Beaurepaire E., Bulou H., Scheurer F., Kappler J.P. 2010, P. 77-126.
5. *Овчинникова Е.Н., Дмитриенко В.Е., Андреева М.А.* Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 2. Изучение запрещенных отражений – новый метод исследования структуры и свойств кристаллов. Физич. Ф-та МГУ, 2009.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы строго квантовомеханического описания взаимодействия рентгеновского излучения с веществом;

уметь использовать полученные знания для определения сечения рассеяния и поглощения рентгеновского излучения атомами вещества;

владеть основными методами расчета сечения рассеяния и поглощения рентгеновского излучения атомами вещества;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА ДИФРАКЦИОННОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА
Автор к.ф.-м.н. Е.А.Бровкина

1. Название дисциплины: **Техника эксперимента дифракционного структурного анализа**

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. В курсе отражены основные экспериментальные дифракционные методы исследования структурных состояний вещества: рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия, структурная нейтронография. Дан обзор и сравнительные характеристики современной техники структурных исследований. Обсуждаются методики и аппаратурная специфика конкретных задач по выявлению особенностей структурных формирований в материалах. Рассматриваются современные методы обработки сложных дифракционных данных.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономичестехники ких часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия: Входные требования для освоения дисциплины, предвари-

тельные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Аналитическая геометрия”, “Линейная алгебра”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”, “Основы дифракционного структурного анализа”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение. Общие принципы постановки дифракционного структурного эксперимента.	4	1					1	2	1	3
Техника дифракционного эксперимента. Источники рентгеновского, элек-	8	2	2				4	2	2	4

тронного пучков. Точечные, линейные и двумерные детекторы, их характеристики и области применения. Рентгеновская оптика: плоские и изогнутые монохроматоры, коллиматоры, ограничивающие щели. Погрешности и систематические ошибки дифракционного эксперимента. Синхротронное излучение рентгеновского диапазона: его характеристики, особенности получения и применения в структурном анализе.										
Рентгеноструктурный анализ монокристаллов. Метод Лауэ. Метод вращения. Монокристальный дифрактометр: устройство, требования к монохроматизации излучения, область возможных рентгеноструктурных задач, общие принципы работы программного обеспечения. Рентгеновская топография.	4	1	1				2	2		2
Рентгеноструктурный анализ поликристаллов. Устройство современных порошковых дифрактометров. Причины искажения профиля дифракционного спектра. Систематизация возможных погрешностей эксперимента. Аппроксимирующие функции Лоренца, Гаусса, псевдо-Войта (pseudo-Voigt), Пирсона. Понятие о полнопрофильном анализе (ме-	8	1	2				3	2	3	5

тод Ритвельда). Уточнение кристаллической структуры. Прецизионные методы определения параметров элементарной ячейки. Определение размеров ОКР и микронапряжений. Особенности дифрактометрии тонких пленок. Методика определения толщины поверхностных покрытий.										
Качественный и количественный анализ многофазных образцов. Качественный рентгенофазовый анализ, чувствительность метода. Принципы работы с базой структурных данных ICDD PDF. Алгоритм автоматического и ручного поиска, критерии отбора фаз. Методы количественного рентгенофазового анализа – внутреннего и внешнего стандарта, добавок, разбавлений, корундовых чисел. Пробоподготовка. Учет текстуры. Полнопрофильное уточнение как бесстандартный фазовый анализ. Основные погрешности количественного фазового анализа	8	2	2				4	2	2	4
Определение параметров текстуры. Аксиальная текстура и текстура прокатки. Влияние текстурированности образца на картины дифракции. Определения индексов оси текстуры и угла рассеяния фотометодом. Прямые и обратные	4	1	1				2	2		2

полюсные фигуры. Полюсная плотность. Построение полюсных фигур с помощью дифрактометра. Учет дефокусировки. Примеры текстурограмм. Автоматизация метода.										
Рентгеноструктурный анализ как инструмент изучения фазовых превращений в сплавах. Возможности метода. Уточнение фазовых диаграмм состояний сплавов. Получение и интерпретация картин дифракции от сплавов с предвыделениями второй фазы. Изменение дифракционного спектра при дисторсии решетки в результате фазового превращения.	4	1	1				2	2		2
Электронная микроскопия. Взаимодействие электронного пучка с веществом. Прошедшие, обратно рассеянные (BSE), вторичные электроны (SE), Оже электроны: схемы образования, энергии, углы рассеяния, глубина проникновения. Непрерывное и характеристическое рентгеновское излучение, катодолюминесценция. Области применения.	4	1	1				2	2		2
Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Устройство электронного микроскопа. Магнитные линзы, аберрации линз. Разрешающая способность электронного микроскопа. Постоянная прибора, способ ее	8	2	2				4	2	2	4

определения. Подготовка образцов. Режим дифракции. Зоны Лауэ. Влияние толщины образца на распределение интенсивности на электронограммах. Расшифровка экспериментально полученной кольцевой и точечной электронограмм. Дифракционные картины от образцов с текстурой, двойников, двухфазных объектов, предвыделений. Двойная дифракция. Кикучи линии. Режим изображения. Темнопольное и светлопольное изображения. Примеры, области применения.										
Сканирующая электронная микроскопия. Устройство сканирующего электронного микроскопа. Управляющие параметры СЭМ. Детекторы для различных видов излучения. Фазовый и топографический контраст. Дифракция обратнорассеянных электронов.	4	1	1				2	2		2
Рентгеноспектральный микроанализ Основы метода. Энергодисперсионные и кристалл-дифракционные детекторы, сравнительные характеристики. Чувствительность метода для легких элементов. Метод картирования элементного состава.	4	1	1				2	2		2

Структурная нейтронография. Основные области применения нейтронографии в материаловедении. Конструкция нейтронографической установки Анализ дифракционных спектров.	4	1	1				2	2		2
Техника безопасности Техника безопасности при работе в области структурного дифракционного эксперимента. Источники опасности. Способы защиты.	2	1	1				2			
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса экзамен.	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	26	10	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен презентациями и частично авторским учебным пособием.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Монокристальный дифрактометр – устройство, характеристики,

круг решаемых задач.

2. Особенности получения и использования синхротронного излучения рентгеновского диапазона.
3. Рентгеновская топография.
4. Текстура поликристаллических образцов.
5. Базы данных дифракционных рентгеновских спектров.
6. Количественный фазовый анализ.
7. Развитие сканирующей электронной микроскопии.
8. Кикучи линии.
9. Режим изображения в просвечивающей электронной микроскопии.
10. Энергодисперсионные и кристалл-дифракционные детекторы
11. Структурная нейтронография.

Примеры типов домашних задач:

1. Расчет оси текстуры по рентгенограмме от кубического сплав.
2. Определение углов разориентировки в блочном кристалле по рентгеновской топограмме.
3. Индицирование кольцевой электронограммы.
4. Расчет и построение точечной микроэлектронограммы от известного кристалла с заданной осью зоны.
5. Анализ ориентировки образца по Кикучи картинам.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Погрешности и систематические ошибки дифракционного эксперимента.
2. Монохроматоры рентгеновского излучения – сравнительные характеристики.
3. Чувствительность качественного рентгенофазового анализа.
4. Профильные функции дифракционных максимумов.
5. Влияние текстуры образца на дифракционную картину.
6. Взаимодействие электронного пучка с веществом.
7. Определение размеров ОКР и микронапряжений.
8. Особенности подготовки образцов для просвечивающей электрон-

ной микроскопии.

9. Физические основы рентгеноспектрального микроанализа.
10. Энергодисперсионные и кристалл-дифракционные спектрометры.
11. Сравнение количественного рентгенофазового и рентгеноспектрального анализа.

Перечень вопросов к зачету:

1. Источники рентгеновского излучения. Сравнительные характеристики.
2. Элементы рентгеновской оптики: плоские и изогнутые монохроматоры, коллиматоры, ограничивающие щели.
3. Синхротронное излучение рентгеновского диапазона: его характеристики, особенности получения и применения в структурном анализе
4. Методы исследования монокристаллов.
5. Монокристальный дифрактометр: устройство и возможности.
6. Рентгеновская топография.
7. Устройство порошкового дифрактометра.
8. Причины искажения профиля дифракционного спектра. Аппроксимирующие функции.
9. Прецизионные методы определения параметров элементарной ячейки.
10. Определение размера ОКР. Формула Селякова-Шеррера.
11. Расчет микронапряжений. Формула Стокса-Уилсона.
12. Разделение вкладов размера ОКР и микронапряжений. Метод Вильямсона-Холла.
13. Особенности дифрактометрии тонких пленок.
14. Качественный рентгенофазовый анализ, чувствительность метода.
15. Автоматический и ручной поиск в базе ICDD PDF, критерии отбора фаз.
16. Методы количественного рентгенофазового анализа.
17. Полнопрофильное уточнение как бесстандартный фазовый анализ.
18. Аксиальная текстура и текстура прокатки. Влияние на картины дифракции.
19. Определения индексов оси текстуры и угла рассеяния фотоме-

тодом.

20. Прямые и обратные полюсные фигуры.
21. Построение полюсных фигур с помощью дифрактометра.
22. Взаимодействие электронного пучка с веществом.
23. Устройство электронного микроскопа. Магнитные линзы, аберрации линз.
24. Постоянная прибора (в ПЭМ), способ ее определения.
25. Подготовка образцов для электронной микроскопии.
26. Режим дифракции. Зоны Лауэ.
27. Методика индицирования кольцевой и точечной электронограмм.
28. Интерпретация дифракционных картин от образцов с текстурой, двойников, двухфазных объектов.
29. Двойная дифракция.
30. Кикучи линии.
31. Режим изображения. Темнопольное и светлопольное изображения.
32. Дифракция обратнорассеянных электронов.
33. Физические основы рентгеноспектрального микроанализа.
34. Энергодисперсионные и кристалл-дифракционные спектрометры
35. Структурная нейтронография.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *Фульц Б., Хау Дж.М.* Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов. М.: Техносфера, 2011
2. *Хатанова Н.А., Бровкина Е.А* Просвечивающая электронная микроскопия твердых тел и биологических объектов физический факультет МГУ. 2005
3. *Криштал М.М., Ясников И.С. и др*. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ. М.: Техносфера, 2009,

Дополнительная литература

1. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. М.: Юрайт. 2017.
2. *Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д. и др.* Растровая электронная мик-

роскопия и рентгеновский анализ. Москва, Мир, 1984.
3. *Фетисов Г.В.* Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М.: Физматлит. 2007
4. *Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А.* Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: Изд-во МИСИС, 2002.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- .... www.icdd.com
- www.crystallography.net/cod/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основные экспериментальные методы рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и нейтронографии:

владеть различными методами обработки дифракционных картин;

уметь использовать полученные знания для выбора оптимальной методики исследования структурных состояний конкретного образца;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Используется программное обеспечение по моделированию картин дифракции, разработанное на кафедре физики твердого тела.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ
Автор к.ф.-м.н. В.М.Авдюхина

1. Название дисциплины: **Рентгеновская дифрактометрия**
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Целью курса является знакомство с современными рентгеновскими дифрактометрами, подготовкой к проведению рентгеновского эксперимента, изучение основ методов рентгендифракционного исследования структуры, фазового анализа, прецизионного определения параметров кристаллической решетки, тонкой атомной структуры, изучение методов определения размеров материалов различной природы, знакомство с методами компьютерной обработки рентгендифракционных спектров, получение навыков практической работы на рентгеновском дифрактометре для получения достоверных данных о структурно-фазовых характеристиках исследуемых объектов.

Задачей курса является выработка у учащихся навыков правильного выбора методов исследования структуры и фазового состава различных объектов физики конденсированного состояния и решения прикладных задач с использованием компьютерных программ.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателме (7 часов занятия семинарского типа, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Дисциплина «Рентгеновская дифрактометрия» имеет тесную связь с

дисциплинами физического цикла и является основополагающей для большого числа профильных дисциплин. Полученные при изучении данного курса знания будут востребованы при изучении многих специальных разделов фундаментальной и прикладной физики, таких как: Физика наносистем, Физика новых материалов, Введение в нанотехнологии, рентгеновский практикум.

При освоении данной дисциплины необходимо владеть основными понятиями и навыками дисциплин: Кристаллография, Структурные дифракционные методы: основы эксперимента, Структура металлических фаз и соединений, Основные разделы физики конденсированного состояния вещества, Дифракционный структурный анализ конденсированных сред, Методы обработки рентгендифракционных данных.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского ти-	Групповые консультации	Индивидуальные кон-	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних	Подго-товка рефе-ратов и	Всего

1. Современные рентгеновские дифрактометры. Природа возникновения рентгеновского излучения. Источники рентгеновского излучения. Спектральный состав рентгеновского излучения. Закон Мозли. Основные виды рентгеновских трубок. Использование характеристического излучения для качественного и количественного элементного анализа вещества. Синхротронные источники.	4	2					2		2	2
2. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Упругое, неупругео рассеяние, фотоэффект, рождение электрон-позитронных пар. Когерентное, некогерентное рассеяние. Изменение длины волны при комптоновском рассеянии. Рентгеновская флуоресценция. Поглощение рентгеновского излучения веществом, уравнение Бугера-Лаберта-Бэра и Гамильтона – Дарвина.	4	2					2		2	2
3. Решение задач по подбору фильтров для рентгеновского излучения и расчета линейного коэффициента поглощения для образцов различных типов (порошковые образцы и сплавы многокомпонентного состава).	4		2				2	2		2
4. Дифракционный эксперимент:	4	2					2		2	2

оборудование, условия съемки. Два класса дифрактометров: с дисперсией по углам и дисперсией по энергиям. Основное узлы дифрактометра. Типы рентгеновских трубок. Детекторы рентгеновского излучения (точечные, координатные). Рабочие характеристики счетчиков (эффективность, разрешение по времени, энергетическое разрешение). Сравнение рабочих характеристик различных типов детекторов (сцинтилляционых, твердотельных полупроводниковых, газонаполненных, Multi-Strip, Image Plate, CCD).										
5 Использование рентгеновской оптики в рентгеновских дифрактометрах. Коллимация, монохроматизация рентгеновского излучения. Принцип работы коллиматоров Соллера. Основные типы монохроматоров (плоские, изогнутые). Рентгеновские зеркала. Принцип работы многослойного зеркала Гебеля. Основные типы фокусировок рентгеновского излучения (по Иоганну, по Иогансону). Особенности фокусировки первичного и отраженного пучков рентгеновского излучения.	4	2					2		2	2

Особенности фокусировки СИ. Двухкристальные монохроматоры.										
6. Особенности геометрии съемки по Бреггу–Брентано и Зееману-Болену. Учет вертикальной и горизонтальной расходимости рентгеновского пучка. Два способа регистрации дифракционных максимумов (θ-2θ сканирование, ω- сканирование). Планирование дифракционного эксперимента (выбор: материала анода, режима работы источника РИ, режима работы детектора, параметры работы системы монохроматизации, тиап сканирования, расходимости пучков, величины приемной щели детектора, шаг сканирования, особенности приготовления образцов). Эталонные образцы.	4	2					2	2		2
7. Решение задач по выбору рентгеновских монохроматоров и условий съемки для определения структурных характеристик различных питов материалов (монокристаллы, поликристаллы, нанообъекты). Погрешности и систематические ошибки дифракционного эксперимента.	4		2				2		2	2

8. Юстировка дифрактометра для решения разных типов задач. Понятие инструментальной функции и спектральной функции. Систематические погрешности в дифракционном эксперименте.	4	1				1	2	2		2
9. Параметры, влияющие на интенсивность рефлекса при дифракции на реальных объектах. Поляризационный фактор, влияние монохроматоров. Порошковая дифрактограмма как 1D проекция 3D дифракционной картины, рассмотрение дифракции на поликристаллической пробе с помощью построения Эвальда. Фактор Лоренца, геометрический фактор. Поглощение РИ в пробе (случай дифракции «на отражение»), абсорбционный фактор. Понятие о текстуре образца, текстурный фактор. Коэффициент экстинкции. Фактор повторяемости рефлексов.	5	3					3	2		2
10. Основные вклады в уширение дифракционных пиков: инструментальное уширение, уширение, обусловленное малым размером ОКР, уширение, обусловленное микронапряжениями. Формула Шерера, её ограничения. Разделение вкладов, метод Вильямсона-Холла.	6	2	2				4		2	2

11. Прецизионные методы определения параметров элементарной ячейки. Выбор условий рентгенографирования. Методы экстраполяции. Метод Коэна. Определение коэффициентов теплового расширения, фазовых границ на диаграммах равновесия бинарных сплавов, плотности и молекулярного веса кристаллической фазы. Измерение внутренних напряжений упругодеформированных материалов. Определение концентрации растворенного элемента в твердых растворах. Оценка концентрации вакансий в кристаллах.	5	2	1				3		2	2
12. Понятие о методах гармонического анализа (Уоррена-Авербаха). Влияние полидисперсности, подходы к определению распределения по размерам ОКР. Понятие о методе WPPM.	4	2					2		2	2
13. Методы первичной обработки дифрактограмм. Профильный анализ. Метод Ритвельда, интерпретация профильных коэффициентов. Нелинейный МНК. Результаты профильного анализа. Критерии качества.	6	2					2	2	2	4
14. Особенности проведения качественного рентгенофазового анализа. Выбор условий получения	4	2					2		2	2

дифрактограмм для качественного фазового анализа. База данных ICDD PDF-2. Автоматизированный поиск (по всему массиву рефлексов). Поиск фаз по наиболее сильным рефлексам (метод Ханавальта). Поиск фаз по рефлексам на малых углах (метод Финка).										
15. Основные методы количественного рентгенофазового анализа (метод внутреннего стандарта, метод добавок, метод разбавлений, метод с эталоном, безэталонный метод). Погрешности количественного фазового анализа.	4	2					2		2	2
16. Методы исследования тонких слоев и пленок. Метод скользящего пучка рентгеновских лучей. Особенности определения толщины различных типов покрытий на рентгеновском дифрактометре.	4	2					2		2	2
экзамен										
Итого	**72**	28	7		1		36	10	26	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. **Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**.

1. В.М. Авдюхина //Рентгеновская дифрактометрия, препринт физ.факультета МГУ, 2017.
2. Азаров Л., Бургер М.Дж.// Метод порошка в рентгенографии. М.: ИЛ.,1965.
3. Асланов Л.А. // Инструментальные методы рентгеноструктурного

анализа. М. МГУ. 1983.
4. Блохин М.А. // Физика рентгеновских лучей, М.: ГИТТЛ, 1957.
5. Бокий Г.Б., Порай-Кошиц М.А. // Практический курс рентгеноструктурного анализа. Т.1.М.: Изд-во МГУ, 1951.
6. Бокий Г.Б., Порай-Кошиц М.А. // Рентгеноструктурный анализ, том 2, Из-во МГУ,1964.
7. Бородкина М.М., Спектор Э.Н. // Рентгенографический анализ текстуры металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981.
8. Васильев Д.М. // Дифракционные методы исследования структур. М. Металлургия. 1977.
9. Васильев Е.К., Нахмансон М.С. // Качественный рентгенофазовый анализ. Наука, Сиб.отделение, Новосибирск, 1986.
10. Гинье А. // Рентгенография кристалловв, М., Физматгиз, 1961.
11. Горелик С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. // Рентгенографический и электронномикроскопический анализ, Металлургия, 1970.
12. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей, И.Л.,М., 1950.
13. ЗевинЛ.С., Завьялова Л.Л. // Количественный рентгенографический фазовый анализ, Из-во Недра, 1974.
14. Миркин Л.И. // Рентгеноструктурный анализ. Индицирование рентгенограмм. М.: Наука, 1981.
15. Сигаловская Ю.И., Сандомирский П.А., Урусов В.С. // Уточнение структур порошковым полнопрофильным методом // Журнал структурной химии. 1985. Т.26. N4. С. 132-143.
16. Сигаловская Ю.И., Урусов В.С. // Развитие рентгеновского порошкового полнопрофильного метода уточнения кристаллических структур // Методы дифракционных исследований кристаллических материалов: Материалы 5 школы по рентгеноструктурным методам анализа вещества, Иркутск 3-9 сентября 1986. С.59-69.
17. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н //. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия . М.: Металлургия, 1982.
18. Хейкер Д.М., Зевин Л.С. // Рентгеновская дифрактометрия, Физматгиз,1963.

19. Цыбуля С.В., Соловьева Л.П.// Программа уточнения структур по полному профилю рентгенограммы // Аппаратура и методы рентгеновского анализа. 1988. В.38. С. 46-61.

8. **Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.**

Имеются вопросы к зачету и аттестации; тесты и компьютерные тестирующие программы; темы докладов и рефератов.

Вопросы к аттестации:

1. Устройство рентгеновской трубки.
2. Сплошной и характеристический спектр рентгеновского излучения.
3. Условие возникновения *Ka* – излучения.
4. Назначение фильтров рентгеновского излучения.
5. От чего зависит число линий на рентгенограмме?
6. Основные способы монохроматизации рентгеновского излучения.
7. Способы регистрации рентгеновского излучения. Детекторы рентгеновского излучения.
8. Из каких основных узлов состоит порошковый дифрактометр?
9. Каковы преимущества и недостатки координатных детекторов?
10. Какой материал анода рентгеновской трубки следует использовать для анализа фазового состава образца оксида железа?
11. Зачем нужны коллиматоры Соллера?
12. Назовите недостатки геометрии Брегга-Брентано.
13. Причины возникновения рентгеновской флуоресценции.
14. В чем заключается сущность профильного анализа?
15. Каковы критерии правильности проведения профильного анализа?
16. В чем заключаются основные трудности при описании профиля рентгеновской линии?
17. Какие задачи позволяет решить качественный рентгенофазовый анализ?

18. Какую информацию дают базы данных?
19. Перечислите основные методы проведения количественного рентгенофазового анализа и укажите основные различия между ними.
20. Какие приемы применяют для минимизации текстурирования?

Основные вопросы к зачету

1. Схемы фокусировки в порошковых дифрактометрах по Брэггу-Брентано (с монохроматорами на первичном и/или дифрагированном пучках. достоинства и недостатки.
2. Монохроматоры, схемы фокусировки с монохроматором, фильтры.
3. Колимирование пучка рентгеновских лучей.
4. Обработка функции профиля дифракционного максимума методом Стокса.
5. Каковы основные ограничения в применении формулы Шеррера?
6. Какие параметры можно определить в построении Уильямсона-Холла?
7. Влияние размеров кристаллитов на ширину дифракционных максимумов.
8. Определение формы и размеров кристаллитов методом Фурье анализа.
9. Основные типы детекторов рентгеновского дифрактометра.
10. Применение рентгеновской оптики в дифрактометре.
11. Основные требования при подготовке к проведению рентгендифракционного определения структурных характеристик образцов.
12. Методы количественного определения содержания фаз в образцах.
13. Учет поглощения в плоском образце при количественном фазовом анализе.
14. Требования к процедуре проведения количественного фазового анализа.
15. Погрешность количественного фазового анализа.
16. Методы качественного фазового анализа.
17. Факторы, влияющие на чувствительность фазового анализа.

18. Сущность метода Ритвельда.

19. Какие параметры уточняются при проведении анализа методом Ритвельда и за что они отвечают?

20. На интенсивность рефлексов каких зон текстурирование оказывает наибольшее влияние?

21. Каким требованиям предъявляются к образцам для рентгеноструктурного фазового анализа?

22. Основы гармонического анализа (Уоррена-Авербаха).

23. Основные типы рентгеновских дифрактометров.

24. Основные типы фокусировок рентгеновского излучения.

25. Основы прецизионного определения параметров кристаллической решетки образцов.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. В.М. Авдюхина «Рентгеновская дифрактометрия», препринт физ.факультета МГУ, 2017.

2. Асланов Л.А. Инструментальные методы рентгеноструктурного анализа. М. МГУ. 1983.

3. Бокий Г.Б., Порай-Кошиц М.А. Практический курс рентгеноструктурного анализа. Т.1.М.: Изд-во МГУ, 1951.

4. Бокий Г.Б., Порай-Кошиц М.А. Рентгеноструктурный анализ, том1, Из-во МГУ,1964.

5. Васильев Д.М. Дифракционные методы исследования структур. М. Металлургия. 1977.

6. Гинье А. Рентгенография кристаллов, М.: Физматгиз, 1961.

7. Горелик С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронномикроскопический анализ, Металлургия, 1970.

8. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н.. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982.

Дополнительная литература

1. Иверонова, В.И. Теория рассеяния рентгеновских лучей / В.И. Иверонова, Г.П. Ревкевич. М., 1978

2. Русаков, А.А. Рентгенография металлов / М., 1977 г.

3. Уманский, Я.С. Рентгенография металлов и полупроводников. М., 1969.

10. **Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины**:

11. **Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

В результате освоения дисциплины студент должен получить навыки правильного выбора методов исследования структуры и фазового анализа различных объектов физики конденсированного состояния и решения прикладных задач с использованием компьютерных программ.

12.**Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости).**

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

Имеется авторское методическое пособие по данному курсу лекций.

13. **Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Курс может быть прочитан в аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютеров, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ТЕРМОДИНАМИКА БИНАРНЫХ СИСТЕМ
Авторы д.ф.-м.н., профессор А.Г.Хунджуа, к.ф.-м.н. Е.А.Бровкина

1. Название дисциплины: **Термодинамика бинарных систем**
2. Уровень высшего образования —***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Курс отражает основные термодинамические и статистические методы описания равновесных фазовых состояний в конденсированных системах. Изложены принципы построения и интерпретации диаграмм равновесных состояний бинарных систем. Знание условий термодинамического равновесия позволяет описать поведение системы при заданных условиях и предсказать ее физико-химические свойства, что является одной из основных задач физики конденсированного состояния вещества.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 34 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (10 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 38 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Общий физический

практикум”, “Основы дифракционного структурного анализа”, “Кристаллография».

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение Методы описания термодинамических систем. Термодинамический и статистический методы. Гомогенные и гетерогенные системы. Термодинамическая фаза. Начала термодинамики.	4	2					2	2		2
Термодинамические потенциалы. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Метод термодинамических потен-	8	2					2	4	2	6

циалов. Энтропия, свободная энергия Гельмгольца, потенциал Гиббса, энтальпия. Химический потенциал.										
Термодинамическое равновесие Условия термодинамического равновесия. Равновесие в многокомпонентной многофазной системе. Правило фаз Гиббса. Одно- и двухкомпонентные системы. Принцип Ле Шателье.	8	2					2	4	2	6
Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы I и II рода. Плавление кристалла. Изменение симметрии системы. Магнитное превращение.	4	2					2	2		2
Диаграммы равновесных состояний бинарных систем. Непрерывный ряд твердых растворов. Правило рычага. Эвтектика с отсутствием растворимости и ограниченной растворимостью в твердом состоянии. Перитектика. Система с куполом распада. Системы с промежуточной фазой. Диаграммы равновесия систем с полиморфным превращением. Ретроградное плавление.	6	2	2				4	2		2
Экспериментальные методы построения диаграмм состояний сплавов. Физико-химический анализ как метод построения фазовых диа-	4	2					2	2		2

грамм. Определение фазовых границ по графику зависимости «состав – физическое свойство». Обзор экспериментальных методов определения линий фазового равновесия: рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия, термический анализ, измерение микротвердости и электросопротивления, дилатометрия, оптическая микроскопия. Построение диаграмм состояний по кривым охлаждения										
Тройные диаграммы состояний. Правило фаз Гиббса для тройных сплавов. Изотермические и политермические сечения диаграмм состояний тройных систем. Концентрационный треугольник, его свойства, правило прямой линии, определение содержания компонентов. Каноды. Примеры различных типов тройных фазовых диаграмм.	4	1	1				2		2	2
Статистический расчет термодинамических характеристик бинарного твердого раствора. Внутренняя энергия твердого тела. Расчет энергии связи бинарного твердого раствора замещения в приближении парного взаимодействия. Энергия упорядочивания. График зависимости энергии связи неупорядоченного твердого раствора от концентрации. Термоди-	8	2	2				4	2	2	4

намическая вероятность. Энтропия смешения. Концентрационная зависимость термодинамического потенциала Гиббса твердого раствора (*U*– и *W*– образная формы). Соотношение Гиббса – Дюгейма.										
Статистическое обоснование диаграмм состояний бинарных систем Правило общих касательных. Вывод основных типов диаграмм состояний бинарных систем. Температурная зависимость растворимости.	4	1	1				2	2		2
Упорядочение атомно-кристаллической структуры. Сверхструктуры. Степень дальнего порядка. Теория дальнего порядка. Зависимость энтропии смешения от степени дальнего порядка. Явление упорядочения в твердых растворах внедрения и вычитания. Недостатки теории дальнего порядка. Представление о ближнем порядке.	8	2	2				4	2	2	4
Метастабильность твердых растворов. Распад пересыщенного однофазного твердого раствора. Влияние флуктуации состава на механизм фазовых превращений (распада). Спинодальный распад. Кривая химической спинодали. Кинетика спинодального распада. Модернизированное уравнение	8	2	2				4	2	2	4

диффузии.										
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. экзамен	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	20	10	1	1	2	34	26	12	38

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Термодинамический и статистический подходы в физике конденсированного состояния.
2. Исторические аспекты развития термодинамики.
3. Правило фаз Гиббса.
4. Упорядочение атомно-кристаллической структуры.
5. Классификация фазовых переходов
6. Симметрия и фазовые переходы.
7. Экспериментальные методы построения фазовых диаграмм.
8. Тройные диаграммы фазового равновесия.
9. Правило общих касательных при построении диаграмм состояний бинарных систем.

Примеры типов домашних задач:

1. Применение правила фаз Гиббса к двух- и трёхкомпонентным системам
2. Построение купола распада в простейшей бинарной системе.
3. Описание реальных фазовых диаграмм бинарных сплавов.
4. Построение фазовой диаграммы с непрерывным рядом твердых растворов по кривым термического охлаждения.
5. Применение правила рычага к определению соотношения фаз.
6. Перевод массовых концентраций компонентов сплава в атомные.
7. Определение расположения фигуративной точки на концентрационном треугольнике тройного сплава по заданным концентрациям компонент.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Правило фаз Гиббса.
2. Классификация фазовых переходов
3. Гомогенные и гетерогенные системы. Термодинамическая фаза
4. Термодинамический потенциал Гиббса.
5. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов.
6. Химический потенциал.
7. Условия термодинамического равновесия.
8. Фазовые переходы I и II рода.
9. Правило рычага.
10. Система с куполом распада
11. Построение диаграмм состояний по кривым охлаждения
12. Изотермические сечения диаграмм состояний тройных систем.
13. Каноды.
14. Термодинамическая вероятность.
15. Энтропия смешения.
16. Статистическое обоснование диаграмм состояний бинарных систем
17. Правило общих касательных.
18. Сверхструктуры.
19. Степень дальнего порядка.

20. Зависимость энтропии смешения от степени дальнего порядка.

Перечень вопросов к зачету:

1. Методы описания термодинамических систем.
2. Начала термодинамики.
3. Метод термодинамических потенциалов.
4. Химический потенциал.
5. Условия термодинамического равновесия.
6. Фазовые переходы I и II рода.
7. Плавление кристалла.
8. Изменение симметрии системы.
9. Магнитное превращение
10. Основные типы диаграмм равновесных состояний бинарных систем.
11. Ретроградное плавление
12. Экспериментальные методы построения диаграмм состояний бинарных систем.
13. Изотермические сечения диаграмм состояний тройных систем. Каноды.
14. Концентрационный треугольник, его свойства.
15. Типы тройных фазовых диаграмм.
16. Энергия упорядочивания.
17. График зависимости энергии связи неупорядоченного твердого раствора от концентрации.
18. Термодинамическая вероятность.
19. Энтропия смешения.
20. Концентрационная зависимость термодинамического потенциала Гиббса твердого раствора.
21. Правило общих касательных.
22. Вывод основных типов диаграмм состояний бинарных систем.
23. Температурная зависимость растворимости
24. Степень дальнего порядка.
25. Теория дальнего порядка.
26. Зависимость энтропии смешения от степени дальнего порядка.
27. Явление упорядочения в твердых растворах внедрения и вычитания.
28. Представление о ближнем порядке.

29. Распад пересыщенного однофазного твердого раствора.
30. Спинодальный распад.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Жданов Г.С., Хунджуа А.Г. Лекции по физике твердого тела. М. Изд. Моск. ун-та. 1988. 231 с.
2. Уманский Я.С., Скаков Ю.Д. Физика металлов М. Атомиздат. 1978.

Дополнительная литература

1. Кубо Т. Термодинамика. М.: Мир. 1970. 304 с.
2. *Шульце Г.*, Металлофизика, М., Мир. 1971
3. *Илюшин А.С., Орешко А.П.* Дифракционный структурный анализ в 2х частях. М.: Юрайт, 2017
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник под ред Лякишева Н.П. М: Машиностроение 2000

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины: http://kftt.phys.msu.ru/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основные принципы термодинамического и статистического подхода физики конденсированного состояния вещества;

уметь использовать полученные знания для решения задач по определению фазовых состояний и превращений в сплавах, для интерпретации и построения фазовых диаграмм

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ФИЗИКА СВЕРХПРОВОДИМОСТИ
Автор к.ф.-м.н., доцент В.В.Ржевский

1. Название дисциплины: ***Физика сверхпроводимости***

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Сверхпроводимость — макроскопическое квантовое явление. Сверхпроводники дают уникальные возможности для решения фундаментальных и прикладных задач. На их базе создаются приборы для измерения магнитных и электрических свойств веществ с недостижимой никакими другими методами, чувствительностью. Открытие высокотемпературных сверхпроводников (1986 г.) вызвало сенсацию и огромное число исследований. Однако, до сих пор, природа высокотемпературной сверхпроводимости остается не выясненной. Именно поэтому, в курсе, излагаются фундаментальные основы явления сверхпроводимости и основные положения теории Бардина–Купера–Шриффера и Гинзбурга–Ландау–Абрикосова, исходя из которых, проблемы сверхпроводимости рассматриваются как единое целое, без разделения на области «классической» и «высокотемпературной». Особое внимание уделяется наглядной, модельной физической интерпретации природы сверхпроводимости.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии.

Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение домашних заданий.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, «Электромагнетизм»; желательно знакомство с курсами “Квантовая механика”, “Электродинамика”, “Статистическая физика”.

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1.Основные физические свойства сверхпроводников Нулевое электрическое сопротивление на постоянном токе.	16	4	4	0.5	0.5		9	5	2	7

Эффект Мейсснера. Магнитные свойства идеального проводника и сверхпроводника. Уравнения Лондонов. Лондоновская глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Термодинамика сверхпроводников. Энтропия сверхпроводящей и нормальной фаз сверхпроводника. Скачок электронной теплоемкости сверхпроводника.										
2. Теория сверхпроводимости Гинзбурга –Ландау. Однородный сверхпроводник в нулевом магнитном поле. Неоднородный сверхпроводник во внешнем магнитном поле. Уравнения Гинзбурга–Ландау. Градиентная инвариантность. Длина когерентности. Поверхностная энергия границы раздела между нормальной и сверхпроводящей фазами. Смешанное состояние сверхпроводника. Фаза Шубникова. Вихри Абрикосова.	20	4	6	-	-	-	10	6	4	10
3. Микроскопическая теория сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера. Изотопический эффект. Электрон-фононное взаимодействие. Притяжение между электронами. Неустойчивость системы	20	6	4	0.5	0.5	-	11	7	2	9

фермионов при слабом притяжении между электронами. Куперовские пары. Длина когерентности. Волновая функция пары. Энергия связи электронов в куперовской паре. Модель БКШ. Основное состояние сверхпроводника. Элементарные возбуждения вблизи основного состояния сверхпроводника. Энергетическая щель при T=0 K. Корреляционная энергия связи пар.Плотность состояний элементарных возбуждений. Зависимость энергетической щели от температуры. Критическая температура сверхпроводника по БКШ.										
4.Высокотемпературные сверхпроводники. Аномалии нормальной фазы ВТСП соединений. Классы высокотемпературных сверхпроводников. Квазидвумерные и квазиодномерные системы. Усиление электрон–фононного взаимодействия в системах с переменной валентностью. Нефононные механизмы сверхпроводимост, d – спаривание. Высокотемпературная сверхпроводимость. Купраты и их характеристики. Аномалии нормального состояния купратов. Высокое	14	2	2	-	-	-	4	6	4	10

значение температуры сверхпроводящего перехода, малая длина когерентности и значительная пространственная анизотропия ВТСП оксидов меди. Двухщелевая сверхпроводимость соединения MgB_2 и твердых растворов на его основе. Пниктиды железа – новый широкий класс высокотемпературных сверхпроводников на основе слоистых соединений железа.										
Промежуточная аттестация Проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерий формирования оценки – уровень знаний пройденного материала курса. зачет	2									
Итого	**72**	16	16	1	1	-	34	24	12	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

В.В.Ржевский, Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау. Учебно-методическое пособие. Физический ф-т МГУ, 2010.

В.В.Ржевский, Теория сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера. Учебно-методическое разработка. Физический ф-т МГУ, 2012.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Примеры домашних заданий:

1. Вычислить скачок теплоемкости, обусловленный переходом из сверхпроводящего в нормальное состояние алюминия, используя температурную зависимость Туина для критического магнитного поля. Необходимые константы найти в справочнике Ландольта-Бёрнштейна.

2. Определить критическую скорость из условия сверхпроводимости Ландау, если спектр элементарных возбуждений имеет вид $E_k=[\Delta^2+\varepsilon_k^2]^{1/2}$, щель $\Delta=1\cdot10^{-16}$ эрг, ε_k- энергия свободного электрона, отсчитанная от уровня Ферми, $k_F=0.66\cdot10^8$ см$^{-1}$.

3. Найти энергию связи и характерный линейный размер куперовской пары для «стандартного» металла с параметрами: одновалентный металл с плотностью электронов $6\cdot10^{22}$ см$^{-3}$, температурой Дебая Θ_D=300 K и температурой сверхпроводящего перехода T_c=0.3 K.

4. Тонкая ($d\ll\lambda$) сверхпроводящая пленка индия характеризуется параметром теории Гинзбурга–Ландау равным 0.1. Глубина проникновения магнитного поля пленки λ=800 Å. Найти критическую скорость сверхпроводящих электронов.

5. Сверхпроводящий сплав переходит в нормальное состояние при величине второго критического магнитного поля H_{c2}=150 кЭ и характеризуется параметром теории Гинзбурга–Ландау равным 96. Найти энергию одиночного вихря и сравнить ее с энергией нормальной сердцевины вихря.

Примеры контрольных вопросов:

1. Получить граничные условия к уравнению Гинзбурга–Ландау.

2. Вычислить величину туннельного тока через контакт между сверхпроводником, диэлектриком и нормальным металлом.

3. Произвести вычисление амплитуды тока Джозефсона для случая контакта двух одинаковых сверхпроводников через диэлектрик.

4. Вихри Абрикосова. Что представляет собой фаза Шубникова?

5. Микроскопическая теория БКШ: электрон-фононное взаимодействие. Что такое виртуальный фонон?

6. Механизмы высокотемпературной сверхпроводимости; d-спаривание.

7. Связь между эффектом Мейсснера-Оксенфельда и уравнениями Лондонов.

8. Связь между эффектом Мейсснера-Оксенфельда и уравнениями Гинзбурга-Ландау.

9. Устойчивость сверхпроводящего состояния. Удельная теплоемкость сверхпроводников.

10. Сравнение вольт-амперных характеристик высокотемпературных сверхпроводников на основе оксидов меди и железосодержащих сверхпроводников

Перечень вопросов к зачету:

1. Критическая температура. Способ определения.
2. Критическое магнитное поле.
3. Эффект Мейсснера.
4. Сверхпроводники I-го и II-го рода.
5. Критический ток. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник.
6. Нулевое сопротивление. Сверхпроводящий контур в магнитном поле.
7. Распределение тока в сверхпроводящей цепи.
8. Сопротивление переменному току.
9. Термоэлектрические явления в сверхпроводниках.
10. Размагничивающий фактор.
11. Промежуточное состояние в магнитном поле.
12. Энергетическая щель в спектре сверхпроводника.
13. Поглощение ультразвука.
14. Электронная теплоемкость.
15. Туннельные эффекты.
16. Фазовая когерентность электронной подсистемы в сверхпроводниках.
17. Квантование магнитного потока.
18. Эффекты Джозефсона. Стационарный эффект.
19. Эффекты Джозефсона. Нестационарный эффект.
20. Изотопический эффект.

21. Основные положения микроскопической теории Бардина-Купера-Шриффера (БКШ).
22. Электрон-фононное взаимодействие.
23. Куперовские пары.
24. Плотность состояний элементарных возбуждений.
25. Зависимость энергии связи пары от температуры. Критическая температура сверхпроводника в теории БКШ.
26. Модель Вайскопфа.
27. Термодинамика сверхпроводников. Свободная энергия сверхпроводника.
28. Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау. Основные положения.
29. Уравнения Гинзбурга-Ландау. Градиентная инвариантность.
30. Длина когерентности. Параметр Гинзбурга-Ландау.
31. Энергия границы раздела между нормальной и сверхпроводящей фазами.
32. Сверхпроводники II-го рода. Вихри Абрикосова.
33. Механизмы высокотемпературной сверхпроводимости; d-спаривание.
34. Структура и свойства ВТСП соединений на основе оксидов меди.
35. Особенности соединения MgB_2 и твердых растворов на его основе.
36. Физические свойства железосодержащих сверхпроводников.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Э. Линтон, Сверхпроводимость. Мир. Москва 1971.
2. А.А. Абрикосов Основы теории металлов. Наука Москва. 1987.
3. В. Буккель. Сверхпроводимость. Мир, Москва 1975.

Дополнительная литература

1. П. Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. Мир, Москва, 1968.
2. А.С.Давыдов. Высокотемпературная сверхпроводимость. Наукова Думка, Киев, 1990.
3. М.И.Каганов, В.В.Ржевский. Введение в квантовую теорию твердого тела, МГУ, Москва, 1987.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

1. web of science
2. www.ufn.ru
3. arxiv.org/list/cond-mat.supr-con/recent

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основные положения физики сверхпроводников, структуру электронного энергетического спектра сверхпроводников;

уметь проводить оценки критических параметров сверхпроводников на основе модели Бардина-Купера-Шриффера.

владеть навыками вычисления характеристик сверхпроводящих материалов по экспериментальным данным.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Используются средства компьютерного сопровождения учебного процесса. Для экспериментальных параметров сверхпроводников используется база данных Ландольта-Бернштейна.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные и семинарские занятия по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями к материально-техническим условиям реализации п.5.3. образовательного стандарта МГУ, по направлению подготовки «Физика», в ауд.1-42 Физического факультета МГУ.

Для проведения лекционных занятий в аудитории 1-42 предусмотрены: учебная доска большого формата, компьютер, проектор, экран.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ
Автор д.ф.-м.н. И.С.Терешина

1. Название дисциплины: **Физика магнитных явлений**
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Одной из важнейших задач физики конденсированного состояния вещества является создание новых современных материалов с комплексом необходимых свойств. При этом магнетизм и магнитные материалы рассматривается как универсальное природное явление, присущее как живой, так и неживой материи. Устанавливается неразрывная связь между электронным строением атомов вещества и особенностями внешнего проявления магнитных свойств различных материалов.

В предлагаемом курсе проводится изложение основ физики магнитных явлений. Изучаются как основные теоретические модели, так и экспериментальные методы исследования магнитных свойств материи.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Электромагнетизм”, “Атомная физика”, “Математический анализ”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского ти-	Групповые консультации	Индивидуальные кон-	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних	Подготовка рефератов и	Всего
Введение Макроскопические характеристики магнитных веществ. Намагниченность. Воспиимчивость. Магнитные свойства электронной	4	2					2	2		2

оболочки атомов.										
Классификация магнетиков Диамагнетики, парамагнетика, ферромагнетики	8	4					4		4	4
Виды магнитных структур Коллениарные и неколлинеарные магнетики, ферримагнетики, гелимагнетики, спиновые стекла и другие. *Процессы намагничивания и перемагничивания* Особенности процессов намагничивания и перемагнитчивания магнетиков с различными магнитными структурами. Магнитное насыщение. Остаточная намагниченность. Коэрцитивная сила. Размагничивание переменным полем, нагревом. Перемагничивание. Эффект Баркгаузена	8	4					4	2	2	4
Магнитная анизопропия. Магнитная анизотропия – как явление. Основные типы магнитной анизотропии. Кривые намагничивания монокристаллов. Оси легкого намагничивания. Энергия магнитной анизотропии. Константы магнитной анизотропии и зависимость их от температуры. Метод Сексмита-Томпсона. Природа монокристаллической анизотропии. Наведенная магнитная анизотропия. Модели одноионной и дву-	12	4	2				6	4	2	6

хионной анизотропии.										
Обменные взаимодействия. Прямое и косвенное обменное взаимодействие. Внутримолекулярное поле Вейсса. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитное дипольное взаимодействие.	4	2					2	2		2
Магнитоупругие явления в магнитоупорядоченных средах Тепловое расширение. Спонтанная и индуцированная внешним магнитным полем магнитострикция. Линейная и объемная магнитострикция. Анизотропия магнитострикции в монокристаллах. Константы магнитострикции и их физический смысл. Механострикция и ΔE-эффект *Домены и доменные границы* Магнитный домен. Доменная граница (Блоха, Нееля). Доменная структура. Полосовая и лабиринтная доменные структуры. Цилиндрический магнитный домен. *Современные экспериментальные методы для изучения свойств магнетиков* Современные магнитометрические методы. Метод нейтронографии. Эффект Мессбауэра. Ферромагнитный, ферримагнитный и антиферром агнитный резонансы. Ядерный магнитный резонанс.	14	6					6		8	8

Термодинамический подход при описании свойств магнетиков Теплоемкость: выделение различных вкладов. Особенности поведения теплоемкости в точке магнитного упорядочения. Изменение магнитного состояния при изменении температуры, давления и магнитного поля. Магнетокалорический эффект. Прямые и косвенные методы его определения.	4	2					2		2	2
Фазовые переходы Магнитные фазовые переходы. Переходы первого и второго рода. Диаграмма состояний. Температура Кюри. Температура Нееля.	4	2					2	2		2
Классификация магнитных материалов Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Ферриты. Сплавы на основе соединений редкоземельных элементов с железом и кобальтом. Сплавы с гигантской магнитострикцией и гигантским магнитокалорическим эффектом. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью (пермаллой, альсифер). Сплавы с коллосальным магнитосопротивлением и другие. *Свойства магнетиков в различном структурном состоянии* Нанокристаллические и аморфные магнитные материалы. Магнитные порошковые материалы различной	8	4					4	4		4

дисперсности (порошки на гамма окиси железа, порошки из двуокиси хрома, порошки Nd-Fe-B и др.).										
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. экзамен	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	30	2	1	1	2	36	18	18	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Заполнение электронных оболочек атомов. Особенности электронной структуры переходных металлов.
2. Парамагнетизм Паули. Парамагнетизм электронов проводимости.
3. Теория Ланжевена.
4. Природа молекулярного поля Вейсса. Виды обменной связи. Обменное взаимодействие и критерий магнетизма.
5. Физика доменных структур

6. Основные магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов
7. Физические основы записи информации.
8. Обменные взаимодействия типа РККИ.
9. Наведенная магнитная анизотропия.
10. Магнитные структуры.
11. Нейтронографические исследования
12. Магнитная силовая микроскопия.
13. Ядерный магнитный резонанс.

Примеры типов домашних задач:

1. Задача 1. Рассчитать магнитные моменты для неполностью заполненных электронных оболочек следующих атомов 4f – металлов:
   Sm, Pr, Gd, Tb, Dy, Ho и Er.
2. Задача 2 . Оценить обменную энергию, ее объемную плотность и обменный параметр по температуре Кюри для следующих металлов: Fe, Co, Ni, Gd, Dy. Составить таблицу с указанием значений рассчитанных величин и температур Кюри.
3. Задача 3. Определите линейную плотность магнитостатической энергии бесконечного цилиндра радиуса R, намагниченного вдоль и перпендикулярно длинной оси.
4. Задача 4. Рассчитать квантовые числа S, L, J для неполностью заполненных электронных оболочек следующих атомов:
   3d – переходных металлов Mn, Fe, Co, Ni;
   4f – металлов Sm, Pr, Dy, Er. Записать обозначения термов основного состояния этих атомов.
5. Вывод формулы для учета размагничивающего фактора.
6. Определение магнитокалорического эффекта из измерений намагниченности и теплоемкости.
7. Расчет максимального энергетического произведения магнитотвердого материала.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний

пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Магнитные структуры.
2. Модель одноионной и двухионной анизотропии.
3. Магнитоупругие взаимодействия
4. Прямые и косвенные обменные взаимодействия
5. Основные экспериментальные методы исследования магнитных материалов.
6. Прямой и косвенные методы определения магнитокалорического эффекта.
7. Нейтронографические исследования магнетиков

Перечень вопросов к зачету:

1. Особенности обменного взаимодействия в ферро- и антиферромагнетиках.
2. Физические свойства диамагнетиков.
3. Явление парамагнетизма.
4. Обменные взаимодействия.
5. Температура Нееля и температура Кюри.
6. Температура магнитной компенсации.
7. Магнитные гистерезисные свойства.
8. Методы исследования магнитных свойств.
9. Современные методы обработки результатов магнитных измерений.
10. Магнитная нейтронография.
11. Закон Кюри-Вейсса.
12. Внутримолекулярное поле Вейсса.
13. Внутрикристаллическое поле. Замораживание орбитального магнитного момента.
14. Магнитная восприимчивость.
15. Уравнение магнитного состояния с точки зрения термодинамики.
16. Термодинамическая аномалия теплоемкости.
17. Магнетокалорический эффект.
18. Магнитная анизотропии

19. Явление магнитострикции.
20. Метод нейтронографии.
21. Магнитные структуры.
22. Магнитотвердые материалы.
23. Магнитомягкие материалы.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Боровик Е.С, Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму, М.: Физматлит, 2005, 510 с.

2. Боков В.А., Физика магнетиков, 2002 г, С-Петербург, 272 с.

3. Д.Д. Мишин. Магнитные материалы. - М.: Высшая школа, 1999. – 384 с.

4. Тикадзуми.С. Физика ферромагнетизма, т. 1. Магнитные свойства вещества, М.:Мир, 1983.

5. Тикадзуми.С. Физика ферромагнетизма, т. 2. Магнитные характеристики и практическое применение, М.:Мир, 1987.

6.. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений - Москва: Московский государственный университет, 1985. - 336 с.

Дополнительная литература

1. А.С. Илюшин, Основы структурной физики редкоземельных интерметаллических соединений, Москва: “Изд-во МГУ”, 2005, 176 с.
2. Никитин С.А., Магнитные свойства редкоземельных металлов и их сплавов, Москва: “Изд-во МГУ”, 1989, 248 с.
3. Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках, М.: Наука, 1979, 320 с.
4. В.И.Ивановский, А.А.Черникова. Физика магнитных явлений. М.: МГУ, 1981.
5. Вонсовский С.В. Магнетизм - Москва: Наука, 1971. - 1031 с.
6. Buschow K.H.J., de Boer F.R. Physics of Magnetism and Magnetic Materials. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *http://magn.phys.msu.su/*

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

- Знать об основных физических процессах и явлениях, ответственных за магнитные свойства конкретного материала;
- владеть знаниями об основных методах экспериментального исследования свойств магнитных материалов;
- уметь использовать полученные знания для разработки новых перспективных магнитных материалов;

иметь опыт по подготовке научного доклада по физике магнитных явлений, уметь отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Автор д.ф.-м.н. Т.Ю.Киселева

1. Название дисциплины: **Экспериментальные физические методы исследования структуры и свойств функциональных материалов**
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ «Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения» и «Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы»

Лекционный курс знакомит с физическими принципами некоторых основных экспериментальных методов исследования структуры и свойств материалов, которые используются в современных технологиях создания функциональных материалов. В частности, рассматриваются возможности методов электронной микроскопии, рентгендифракционного и рентгеноспектрального анализа, термоаналитических методов, методов оптической спектроскопии и мессбауэровской спектроскопии при изучении многокомпонентных, гибридных систем, систем пониженной размерности, систем, включающих наноструктурные компоненты. Курс направлен на ознакомление с практическими аспектами измерений на современных приборах и анализа экспериментальных данных. Особое внимание уделено новому направлению в технике эксперимента– совмещенным методам анализа, позволяющим в одном эксперименте одновременно получать набор экспериментальных данных (термодинамических, спектроскопических, механических). В курсе обсуждается важность комплексного подхода для всестороннего анализа взаимосвязи структуры и свойств материалов, прогнозирования их поведения при эксплуатации и эффективности использования.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контакт-

ную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 часа индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям и выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно необходимо освоение следующих дисциплин и практики:

“Математический анализ”, “Оптика”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Квантовая теория”, “Атомная физика”, «Кристаллография», Термодинамика и статистическая физика, «Электричество и магнетизм», «Свойства конденсированных веществ”

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Обзор спектра функциональных материалов. Взаимосвязь структуры и свойств материалов Функциональные материалы, их физико-химические свойства и перспективы применения. Современные принципы создания новых материалов. Функциональные материалы с использованием наноразмерных элементов. Зависимость физических свойств материалов от их структуры. Разрушающие и неразрушающие методы анализа структуры и свойств материалов.	8	2	2				4	2	2	4
Методы анализа структуры материала с использованием рентгеновского излучения Дифракционные методы исследования. Дифракция на кристаллических и аморфных веществах. Принципы качественного и количественного фазового анализа. Методы уточнения кристаллической структуры Размерные эффекты в	8	2	2				4	4	4	

дифракционных картинах наноструктур. Рентгеновская дифракция в исследованиях наноструктурных объектов. Малоугловое рассеяние. Полнопрофильный анализ дифрактограмм..Метод Шерера. Метод Вильямсона-Холла. Метод Ритвельда. Принципы рентгеновской компьютерной томографии для визуализации внутренней структуры композитных материалов. Современные многофункциональные рентгеновские дифрактометры для решения задач технологии новых материалов. Рентгеновский дифрактометр Panalytical – мощный инструмент-трансормер для дифрактометрических исследований. Схемы. Конструктивные элементы. Системы монохроматизации и фокусировки под разные задачи.Управление и обработка данных.										
*Методы электронной микро*скопии. Просвечивающая электронная микроскопия. Принцип работы современного просвечивающего микроскопа. Формирование изображения. Способы фокусировки Два режима получения изображений: светопольное и темнопольное. Электронная дифракция и индицирование электронограмм. Про-	8	2	2				4	2	2	4

граммы обработки изображений, полученных на микроскопе. Сканирующая электронная микроскопия. Принцип работы современного сканирующего микроскопа. Режимы и пробоподготовка. Принципы элементного анализа и соответствующее оборудование. Исследование веществ в нанокристаллическом состоянии методами ПЭМ и СЭМ. Проведение дисперсионного анализа по изображениям.										
Методы мессбауэровской спектроскопии. Общая характеристика и основы теории метода. Условия наблюдения эффекта гамма-резонансного поглощения. Сверхтонкие взаимодействия и параметры мессбауэровского спектра. Извлекаемая информация из спектров. Техника эксперимента. Варианты геометрии эксперимента и способы регистрации. Современные мессбауэровские спектрометры и вспомогательная аппаратура. Возможности мессбауэровской спектроскопии в технологиях синтеза функциональных материалов, исследовании фазовых переходов, магнитных явлений, поведения материалов в экстремальных условиях. Портативная мессбауэровская	8	2	2				4	2	2	4

спектроскопия для экспрессной диагностики.										
Спектроскопия комбинационного рассеяния света (КР). Колебательные спектры КР, правила отбора. Поляризацпя в спектрах КР. Резонансные спектры КР. Техника эксперимента. Аналитическая обработка спектров. Фоновые эффекты и флюоресценция. Применение метода КР. Современный рамановский спектрометр. Системы с использованием оптоволоконной техники. Портативный рамановский спектрометр. Рамановский микроскоп. Принципы получения КР изображений.	8	2	2				4	2	2	4
Методы термоанализа Термоаналитические методы в физике конденсированного состояния и химической технологии. Основные принципы термоанализа и дифференциальной сканирующей калориметрии. Измерительные ячейки и дифференциальные схемы. Термогравиметрия. Техника проведения эксперимента. Кинетический и изотермический режимы. Оценка термодинамических характеристик фазовых превращений. Определение температурных интервалов, характерных температур, энергий, степеней и скоростей фазовых превращений. Приборная	8	2	2				4	2	2	4

база для термоналитических исследований. Термомеханический анализ и Динамический механический анализ. Принцип работы динамического механического анализатора. Режимы и схемы измерений механических характеристик. Температурные и частотные зависимости.										
Методы исследования магнитных свойств Типы магнитных материалов и магнитные фазовые переходы. Макроскопические характеристики магнитных свойств вещества и основные методы их измерения. Кривая намагничивания и особенности свойств ферромагнетиков. Магнитострикция и методы измерения Доменная структура ферромагнетиков. Кривые намагничивания. Температурные измерения. Методы измерения гистерезисных свойств. Диаграммы Дея. Двумерные диаграммы FORC. Современные приборы для магнитных измерений.	8	2	2				4	2	2	4
Комплексные исследования и совмещенные методы анализа Обоснование необходимости комплексного подхода к исследованию структурного и фазового состояния наноструктурных материалов и пределы применимости	4	2						2	2	2

традиционных физических методов. Современные совмещенные методы анализа температурных и структурных превращений. Совмещенные системы ДСК_Раман, ДСК_ТГ. Принцип работы и примеры исследований функциональных материалов на этих приборах.										
Научный семинар Презентация докладов по предлагаемым темам и обсуждение	6	2						2	2	2
Промежуточная аттестация Проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерий формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса зачет	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	30	6	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями лекций.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов, написание рефератов по периодическим источникам.

Примеры темы рефератов и докладов.

1. Новейшие экспериментальные методы в исследованиях новых материалов
2. Перспективные направления создания многофункциональных и гибридных наноматериалов и экспериментальные методы их исследования
3. Возможности и ограничения традиционных методов исследования структуры и свойств материалов при изучении наноструктурных объектов.
4. Физические методы в развитии био-нано-технологий.
5. Совмещенные методы анализа в физике конденсированного состояния
6. Методы визуализации структур
7. Гранулометрический анализ порошковых материалов
8. Методы определения размеров частиц.

Примеры типов домашних задач:

1. Определить по дифракционным данным размер областей когерентного рассеяния и величину микронапряжений в частицах механосинтезированного композита.
2. Определить размер частиц в композиционном материале по мессбауэровским спектрам, полученным при различных температурах.
3. Оценить степень превращения и энергию активации процесса кристаллизации аморфного сплава по экспериментальным данным, полученным методом дифференциальной сканирующей калориметрии.
4. Провести качественный анализ биоминеральной структуры по рамановскому спектру.
5. Определить механические характеристики полимерного материала по предлагаемой экспериментальной кривой, полученной методом динамического механического анализа, при заданных параметрах эксперимента.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. Для зачета – уровень знаний всего курса.

Список контрольных вопросов:

1. Состав-структура-свойство –размер и принципы создания новых материалов
2. Какие существуют методы физико-химического исследования материалов?
3. Физико-химические свойства наночастиц и методы их определения
4. Фазовые переходы. Способы определения интервалов фазовых и магнитных переходов.
5. Размерные эффекты в дифракционных исследованиях
6. Размерные эффекты в мессбауэровской спектроскопии
7. Типы магнитных структур и способы их определения.

Примерный список вопросов к зачету

1. Функциональные материалы и наноматериалы. Состав, структура, свойство, размер – применение.
2. Методы исследования функциональных материалов. Обоснование необходимости комплексного подхода.
3. Принципы выбора экспериментального метода для анализа функционального материала
4. Ограничения и пределы применимости традиционных методов исследования материалов при изучении наноструктурных объектов.
5. Рентгеновская дифрактометрия в изучении функциональных материалов. Порошковая дифрактометрия.
6. Методы рентгеновской дифракции для изучения аморфных и нанокристаллических материалов.
7. Качественный и количественный фазовый анализ материалов методом рентгеновской дифрактометрии.
8. Профильный анализ и метод Ритвельда.
9. Принцип визуализации структур методом рентгеновской компьютерной томографии
10. Принципы получения изображений методами просвечивающей микроскопии. Темнопольное и светлопольное изображение. Индицирования электронограмм
11. Принципы получения изображений методом сканируюещей электронной микоскопиии. Анализ распределения по размерам частиц.

12. Мессбауэровская спектроскопия в применении к наноматериалам: теоретические основы метода, принципы устройства приборов, обработка и интерпретация данных измерений
13. Фазовые переходы. Фазовые диаграммы и Основные принципы дифференциальных термоаналитических методов (ДТА, ДСК, ДТГ). Анализ и интерпретация термограмм, условий проведения эксперимента
14. Методы измерения магнитных характеристик наноматериалов: намагниченности, восприимчивости, коэрцитивной силы, характеристических температур магнитных переходов.
15. Основные принципы Рамановской спектроскопии.
16. Совмещенные методы анализа, принципы, техника, применение. Примеры применения.
17. Упругие свойства. Измерение механических свойств методами термомеханического анализа и динамического механического анализа.
18. Нанокомпозиты. Структура межзеренных границ и методы их исследования.
19. Методы неразрушающего контроля материалов.
20. Методы исследования тонких пленок и послойного анализа.
21. Методы элементного анализа материалов.
22. Методы определения размеров частиц.
23. Методы определения размеров зерен кристаллической фазы

10.Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Механокомпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами под ред. Ломовского О.И., Изд-во СО РАН, 2010, 424 с.

2. А.А.Елисеев, А.В.Лукашин Функциональные наноматериалы М. Физматлит, 2010, 456 с.

3. И.П.Суздалев “Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов”, Москва-2005

4. Илюшин А., Орешко А. Дифракционный структурный анализ. — ООО Издательский дом "Крепостновъ" г. Киров, 2013. — С. 616.

6. Горелик С. С, Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ Учеб. пособие для вузов. —

3-е изд. доп. и перераб. — М.: МИСИС, 1994. —328 с.
7 Синдо Д-+ Оикава Т Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия+ -Техносфера+1//5-
8. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов, неметаллических материалов. М. Машиностроение. 1990- 256 с.
9. K.Mennard Dynamical Mechanical Analysis. A practical introduction. CRC Press., 1999.
10. Химические применения мессбауэровской спектроскопии. Под ред. Гольданского В.И. // М.: Мир, 1970. – 502 с.
11. Т.Ю.Киселева, А.А.Новакова Термоаналитические методы в физике твердого тела. Учебное пособие. Изд. Физич.ф-та. МГУ, 2009, 64 с.
12. Шестак Я. Термические методы анализа М.Мир 1987, 256
13. М.М.Сущинский Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристаллов. М.Наука. 1998, 576 с.
14. Вонсовский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1971. 1032 с.
15. Чечерников В.И. Магнитные измерения. М.МГУ.1968 г.
16. Селвуд П.Магнетохимия. М. ТнИлит. 1958, 458
17. Kaiserberger E. Thermoanalytical characterization of nanometerials. New research trends in material science, ARM, Sibiu, 2007.
18. Совмещенные методы анализа. Обзор. //PerkinElmer.com/hyphenation

Дополнительная литература

1. Новакова А.А., Киселева Т.Ю. Методы мессбауэровской спектросокопии в физике твердого тела. Спецпрактикум.
2. Новакова Т.Ю., Киселева Т.Ю. Спецпрактикум НОЦ по нанотехнологиям. Задача практикума. Изучение процесса кристаллизации аморфного металлического сплава. М.МГУ.
3. Киселева Т.Ю., Жолудев С.И., Новакова А.А. Измерение механических свойств металл-полимерного композита. Задача спецпрактикума. М.ФФ МГУ. 2012.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

http://www.materialstoday.com/home.htm (Materials Today)
www.icdd.org
www.medc.org

http://www.spectroscopyonline.com

http://magnetism.eu

11.Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать фундаментальные основы гамма-резонансной спектроскопии и структуру мессбауэровского эксперимента.

Уметь использовать полученные знания для решения задач по исследованию материалов разного структурного, размерного и магнитного состояния

Владеть основными методами обработки экспериментальных данных и их интерпретации

Иметь опыть деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

HighScore (Анализ рентгендифракционных данных, проведение полнопрофильного анализа, фазового анализа, т.п.),

Univem MS (Пограмма аналитической обработки мессбауэровских спектров),

Spectum PE (анализ рамановских спектров),

Pyris программное обеспечение для DSC PE (анализ кривых ДСК),

Программное обеспечение для ДМА PE (анализ результатов измерений механических свойств).

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана). Ознакомление с практическими аспектами методов, осуществляется в лаборатории кафедры на имеющейся современной приборной базе.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ТРЕХКРИСТАЛЬНАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ
Автор д.ф.-м.н., профессор В.А.Бушуев

1. Название дисциплины: **Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия**

Лектор - д.ф.-м.н., профессор, Бушуев Владимир Алексеевич

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Метод трехкристальной рентгеновской дифрактометрии является самым современным рентгеновским методом изучения кристаллической структуры тончайших приповерхностных слоев полупроводниковых материалов вследствии возможности разделения вкладов когерентного (дифракционного) и некогерентного (диффузного) рассеяния. В курсе проводится изложение современного состояния высокоразрешающей трехкристальной рентгеновской дифрактометрии, на основе динамической теории дифракции рентгеновских лучей излагается теория метода, его преимущества перед другими рентгеновскими дифракционными и рефлектометрическими методами, рассмотрен большой объем конкретных экспериментальных данных, в том числе полученных с использованием высококогерентного рентгеновского синхротронного излучения в ведущих мировых научных центрах. Помимо лекций, контрольных опросов и кратких докладов студентов приводится информация по материалам последних научных конференций и семинаров по рентгеновской оптике и дифрактометрии.

Цели освоения дисциплины: Владение современными профессиональными знаниями в области динамической теории рассеяния рентгеновских лучей в реальных кристаллах и метода высокоразрешаю-

щей трехкристальной рентгеновской дифрактометрии; обучение современным методам обработки экспериментальных данных и их применения для решения практических задач определения деформаций и дефектов структуры в кристаллах и в приповерхностных слоях толщиной порядка микро- и нанометров.

Задачи дисциплины: Задачей дисциплины является обучение студентов основным принципам современного метода высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии, теории формирования интенсивности дифракционного и диффузного рассеяния вблизи узла обратной решетки кристаллов с дефектами структуры, овладение навыками использовать полученные знания для исследования деформаций и дефектов структуры по экспериментальным данным угловых спектров трехкристальной рентгеновской дифратометрии.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 2 час групповых консультаций, 2 час мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Курс неразрывно связан с дисциплинами блока профессиональной подготовки.

Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины: “Математический анализ”, “Дифференциальные уравнения”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение

в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Квантовая теория”, “Атомная физика”, “Методы математической физики”, “Основы дифракционного структурного анализа”, “Свойства конденсированных веществ”, “Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. *Введение.* Идеальные и реальные кристаллы. Материалы современной твердотельной микроэлектроники. Основные сведения о кинематической теории рассеяния Кривогласа-Дедерихса в кристаллах с дефектами структуры.	4	2					2	2		2

2. *Типы дефектов.* Типы дефектов, их влияние на дифракцию (точечные дефекты, кластеры, дефекты упаковки, частицы новой фазы, дислокации, дислокационные петли).	4						2	2		2
3. *Наноразмерные материалы микроэлектроники.* Возможности диагностики таких материалов на основе анализа отражения рентгеновских лучей.	4	2					2	2		2
4. *Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия.* Необходимость и преимущества высокоразрешающей трехкристальной рентгеновской дифрактометрии (ТРД) для разделения вкладов когерентной (динамической) и некогерентной (диффузной) компонент рассеяния.	8	4					4	4		4
5. *Угловые зависимости дифракционного отражения.* Кривые дифракционного отражения (КДО) от идеальных и слабоискаженных кристаллов. Щелевые монохроматор и кристалл-анализатор. Типичная схема трехкристального эксперимента, требования к точности юстировки и стабильности.	4	2					2	2		2
6. *Распределение интенсивности вблизи узла обратной решетки.* Спектры трехкристальной рентге-	8	4					4	4		4

новской дифрактометрии: главный пик, псевдопики монохроматора и анализатора, диффузный пик, их угловые положения, интенсивности, формы пиков.										
7. *Основные методы сканирования*. 1) тета-сканирование, 2) омега-сканирование, 3) тета/2тета-сканирование, 4) тета/2тета-сканирование с фиксированной отстройкой. Вид схем сканирования в прямом и обратном пространствах.	4	2					2	2		2
8. *Преимущества использования синхротронного излучения (СИ).* Синхротронные исследования методом ТРД. Влияние деформации тонких приповерхностных слоев на интенсивность главного пика.	4	2					2	2		2
9. *Особенности влияния шероховатостей*. Влияние крупно- и мелкомасштабных шероховатостей кристалла на угловое распределение главного пика и псевдопика. Зависимость диффузного пика от типа, концентрации и размера дефектов.	8	4					4	4		4
10. *Вопросы информативности метода ТРД.* Сравнительный анализ информативности и чувствительности дифференциального (ТРД) и инте-	4	2					2	2		2

грального (КДО) методов исследования дефектной структуры кристаллов.										
11. *Асимптотическая дифракция.* Метод асимптотической брэгговской дифракции для исследования сверхтонких нарушенных слоев и границ раздела. Проблема однозначности и единственности решения обратной задачи.	4	2					2	2		2
12. *Влияние упругих деформаций на КДО и спектры ТРД* Влияние упругих деформаций кристаллов на динамическое рассеяние рентгеновских лучей. Дифракция рентгеновских лучей в упруго деформированных почти совершенных монокристаллах. Брэгг- и Лауэ-дифракция рентгеновских лучей в кристаллах с нарушенным поверхностным слоем.	4	2					2	2		2
13. *Основные сведения о статистической динамической теории дифракции.* Уравнения Такаги. Статистическое усреднение. Когерентная и диффузная компоненты интенсивности рассеяния. Корреляционная функция, длина корреляции, статический фактор Дебая-Валлера, коэффициент диффузного поглощения. Динамические	4	2					2	2		2

эффекты в диффузном рассеянии. Эффект аномального прохождения диффузного рассеяния.										
Промежуточная аттестация проводится на 10-ой неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. зачет	8			2		2	4	2	2	4
Итого	**72**	32		2		2	36	34	2	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторскими учебными пособиями и презентациями.

1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. Учебное пособие. М.: МГУ. 1990.
2. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Учебное пособие, МГУ, Москва, 2012.
3. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях дифракции в кристаллах с нарушенными приповерхностными слоями. М.: МГУ. 2016.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Основные положения и понятия теории взаимодействия рентгеновских лучей с кристаллами. Упругое когерентное и упругое некогерентное (диффузное) рассеяние.
2. Материалы современной микро- и наноэлектроники. Технологические операции в приповерхностных слоях.
3. Влияние деформации и дефектов на кривые дифракционного рассеяния.
4. Методы разделения дифракционного и диффузного каналов расеянния.
5. Интегральное представление для интенсивности сигнала в методе трехкристальной рентгеновской дифрактометрии (ТРД).
6. Схема трехкристальной рентгеновской дифрактометрии. Назначение и требования к различным ее узлам и элементам.
7. Физические причины формирования главного пика и псевдопиков на спектрах ТРД.
8. Асимптотическое представление кривой дифракционного отражения от толстого кристалла при больших угловых отстройках.
9. Методы сканирования обратного пространства: тета-сканирование, омега-сканирование и тета/2тета-сканирование.
10. Метод асимптотической брэгговской дифракции.
11. Особенности дифракции в кристаллах с тонким нарушенным слоем.
12. Влияние крупномасштабных шероховатостей на угловое распределение интенсивности главного пика.

<u>Примеры типов домашних задач:</u>

1. Оценки углового разрешения в методе двухкристальной дифрактометрии с одной и двумя щелями перед детектором.
2. Определение межплоскостных расстояний и углов Брэгга для отражения общего вида (h, k, l) в кубических кристаллах.
3. Вывести приближенную формулу для интенсивности главного пика из общего интегрального представления для интенсивности ТРД.
4. Вывод соотношения для интенсивностей псевдопиков монохроматора и анализатора в схеме омега-сканирования.

5. Вывод формулы для интенсивности псевдопика монохроматора в схеме тета-сканирования.
6. Получить выражения для интенсивности главного пика в схеме асимптотической брэгговской дифракции.
7. Оценить степень подавления интенсивности псевдопиков с использование однократного и трехкратного (щелевого) монохроматора.
8. Оценить размер и угловую разориентацию блоков мозаики при плотностях дислокаций 10^5 и 10^8 на квадратный сантиметр.
9. Получить связь между угловыми переменными вращения образца и анализатора и проекциями вектора **q** в обратном пространстве.
10. Получить формулы для углового положения пика диффузного рассеяния на сферических кластерах в методах тета-сканирования и омега-сканирования.
11. Получить явное соотношение для величины волнового вектора, при котором режим хуанговского рассеяния переходит в рассеяние Стокса-Вильсона.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме зачета. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для зачета – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Классификация взаимодействия излучения с веществом по признакам упругости и когерентности. Связь углового распределения интенсивности диффузного рассеяния с размерами дефектов и длиной волны.
2. Типичная экспериментальная схема для регистрации спектров трехкристальной рентгеновской дифрактометрии.
3. В чем причина недостатков регистрации интенсивности рассеяния в схемах с одной и двумя щелями перед детектором. Провести оценки углового разрешения.
4. Получить формулу для интенсивности псевдопика монохроматора с трехкратным отражением.

5. Чем определяется интенсивность и ширина псевдопика монохроматора в схеме тета-сканирования ?
6. Получить из общего интегрального выражения формулу для интенсивности главного пика в схеме тета/2тета-сканирования.
7. Привести примеры спектров ТРД в режиме тета-сканирования в случае кристалла с положительным знаком деформации в нарушенном приповерхностном слое.
8. Какова физическая природа уменьшения функции приведенной интенсивности главного пика при больших угловых отклонениях образца.
9. Как влияют дислокации на ширину главного пика ?
10. Какую роль играют мелкомасшабные шероховатости поверхности монохроматора на спектры ТРД ?
11. Что такое хаунговское рассеяние и рассеяние Стокса-Вильсона на дефектах структуры.
12. Влияние дефектов структуры на фурье-компоненты поляризуемости кристалла.
13. Получить формулу для интенсивности рассеяния рентгеновских лучей в кинематическом приближении. Какова ее связь с дифракцией Фраунгофера.
14. Графическое представление функции приведенной иненсивности главного пика для “идеального” кристалла-образца.
15. Графическое представление функции приведенной иненсивности главного пика для кристалла-образца, подвергнутого ионной имплантации.

<u>Перечень вопросов к зачету:</u>

1. Физические причины формирования дифракционного (упругого и когерентного) и диффузного (упругого и некогерентного) рассения в реальных кристаллах.
2. Понятие о средней решетке. Основные типы, размеры и концентрации дефектов в совершенных монокристаллах, являющихся элементной базой для современной микро- и наноэлектроники.
3. Возможные способы разделения дифракционного и диффузного рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах с дефектами струк-

туры.

4. Типичная схема метода трехкристальной рентгеновской дифрактометрии. Назначение и требования к узлам и элементам этого метода.
5. Интегральная формула для интенсивности когерентного дифракционного рассеяния в методе ТРД (вывод формулы и интерпретация).
6. Методы сканирования обратного пространства: тета-сканирование, омега-сканирование и тета/2тета-сканирование. Сравнение этих методов по признаку информативности.
7. Вывод приближенных соотношений для интенсивности ТРД в случае тета-сканирования. Интенсивности и ширины пиков.
8. Вывод приближенных соотношений для интенсивности ТРД в случае тета/2тета-сканирования. Интенсивность и ширина пика. Каковы проблемы экспериментальной реализации этой схемы.
9. Вывод приближенных соотношений для интенсивности ТРД в случае омега-сканирования. Интенсивности и ширины пиков.
10. Карта распределения интенсивности в методе ТРД в координатах угол кристалла – угол анализатора.
11. Формулы перехода от углов к проекциям волнового вектора в обратном пространстве вблизи узла обратной решетки.
12. Карта распределения интенсивности в методе ТРД в координатах (q_x, q_z). Изобразить геометрические места точек для всех трех методов сканирования обратного пространства.
13. Методы подавления интенсивностей псевдопиков монохроматора и анализатора. Причины недостаточной степени этого подавления.
14. Графической представление типичных спектров ТРД в случае кристалла с нарушенным поверхностным слоем при положительных и отрицательных угловых отстройках кристалла-образца.
15. Метод асиптотической брэгговской дифракции. Функция приведенной интенсивности.
16. Графики функции приведенной интенсивности для “идеально-

го” монокристалла. Связь угловой отстройки с толщиной изучаемого приповерхностного слоя.

17. Графики функции приведенной интенсивности для кристаллов с ионно-имплантированными слоями. Чем определяется угловое положение и величина максимума функции приведенной интенсивности.
18. Влияние мелкомасштабных шероховатостей на интенсивность главного пика.
19. Влияние крупномасштабных шероховатостей поверхности образца на положение и ширину главного пика.
20. Влияние дислокаций на ширину главного пика. Вывод интегрального соотношения для интенсивности ТРД при наличии случайного крупномасштабного рельефа и дислокаций.
21. Связь размеров блоков мозаики и их угловой разориентации с плотностью дислокаций. Графическое представление ширины главного пика в зависимости от угла поворота кристалла-образца.
22. Влияние мелкомасшабных шероховатостей поверхности монохроматора на интенсивность псевдопика монохроматора.
23. Зависимость интенсивности псевдопика от ширины щели перед кристаллом-образцом. Пути подавления интенсивности псевдопиков.
24. Фактор атомного рассеяния в кристаллах с дефектами. Поле смещений.
25. Интенсивность рассеяния от кристалла с дефектами структуры в кинематическом приближении.
26. Связь кинематического приближения теории рассеяния с дифракцией Фраунгофера.
27. Представление поля смещений в случае хаотического распределения дефектов.
28. Усреднение по ансамблю. Связь с другими примерами усреднения.
29. Интенсивность когерентного (дифракционного) и некогерентного (диффузного) рассеяния в кинематической теории дифракции

в кристаллах с дефектами структуры.

30. Интегральное представление показателя степени статического фактора Дебая-Валлера.
31. Классификация дефектов по Кривоглазу.
32. Структурный фактор диффузного рассеяния. Его связь с фурье-компонентами поля смещений под влиянием дефектов.
33. Модель сферический кластеров. Понятие мощности кластеров.
34. Связь относительной деформации на границе кластера с мощностью кластера.
35. Области Хуанговского рассеяния и области Стокса-Вильсона.
36. Зависимость диффузного рассеяния от величины модуля **q** в областях рассеяния Хуанга и Стокса-Вильсона.
37. Статический фактор Дебая-Валлера в рамках теории Дедерихса.
38. Пики диффузного рассеяния в режимах тетта-сканирования и омега-сканирования.
39. Типичный вид изодиффузных линий на картах распределения интенсивности в методе трехкристальной рентгеновской дифрактометрияя высокого разрешения.
40. Влияние динамических дифракционных эффектов на распределение интенсивности диффузного рассеяния вблизи узла обратной решетки.
41. Требования к угловому разрешению и временной стабильности в методе трехкристальной рентгеновской дифрактометрии.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Бушуев В.А., Петраков А.П. Особенности формирования спектров трехкристальной рентгеновской дифрактометрии. Учебное пособие. Сыктывкар, СыктГУ. 1997.
2. Афанасьев А.М., Александров П.А., Имамов Р.М. Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев. - М.: Наука, 1989.
3. Даценко Л.И., Молодкин В.Б., Осиновский М.Е. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами. - Киев: Наукова думка, 1988.

Дополнительная литература

1. Бушуев В.А., Кютт Р.Н., Хапачев Ю.П. Физические принципы рентгенодифрактометрического определения параметров реальной структуры многослойных эпитаксиальных пленок. - Нальчик, КБГУ. 1996.
2. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях скользящей дифракции. Учебное пособие. М.: МГУ. 2002.
3. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ. 1978.
4. Суворов Э.В. Физические основы современных методов исследования реальной структуры кристаллов. Черноголовка, филиал МГУ. 1999.
5. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Учебное пособие, МГУ, Москва, 2012.

Периодическая литература

1. Ломов А.А., Бушуев В.А., Карцев А.А., Караванский В.А., Васильев А.Л. Применение рентгеновских дифракционных методов для исследования микронных пористых слоев кремния. // Кристаллография. 2009. Т. 54. № 3. С. 410-417.

Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/TBS/SciSoft
- http://sergey.gmca.aps.anl.gov/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы динамической теории дифракции рентгеновских лучей в монокристаллах;

уметь использовать приведенные на лекциях формулы для получения распределения интенсивности рассеяния вблизи узлов обратной решетки для разных углов падения, длин волн и порядков отражения;

владеть основными методами расчета спектров трехкристальной рентгеновской дифрактометрии;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, а также умения отвечать на вопросы и вести дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Наиболее важные части курса, требующие приведения сложной наглядной информации и графиков, имеют электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Студентам предлагаются темы для кратких докладов и презентаций с последующей общей дискуссией и обсуждением сделанных докладов. По ряду наиболее современных проблем организуются встречи с представителями ведущих российских (ИК РАН, ИПТМ РАН) и зарубежных (DESY, ESRF) научных центров.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана).

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
МИКРОСКОПИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ
Автор д.ф.-м.н., профессор В.М.Силонов

1. Название дисциплины: **Микроскопическая теория металлов и сплавов**

2. Уровень высшего образования – ***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ "Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения".

Одна из задач физики конденсированного состояния вещества – создание нового поколения металлических сплавов с необходимыми для техники свойствами, получила значительное развитие в последние десятилетия. Разработка новых методов прогноза свойств металлических сплавов основана на базе современной теоретической физики. В частности, развитие метода псевдопотенциала позволило проводить количественные расчеты характеристик металлов и сплавов, необходимых для интерпретации картин рассеяния рентгеновских лучей сплавами. Перспективным является метод модельного потенциала. В совокупности с методами термодинамики и статистической физики их применение позволяет как интерпретировать экспериментальные данные, так и создавать новые материалы, используемые в технике.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (34 часа занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии.

Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Атомная физика”, “Физика реальных кристаллов”, “Основы дифракционного структурного анализа”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних	Подготовка рефератов и	Всего
Электроны в металлах. Электроны в металлах. Зона Бриллюэна. Закон дисперсии электронов. Электронные соединения.	4		2				2	2		2

Импульс Ферми.										
Термодинамические свойства свободного электронного газа. Термодинамические свойства свободного электронного газа. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Уравнение Шредингера.	4		2				2	2		2
Матричные элементы кристаллического потенциала. Матричные элементы кристаллического потенциала. Метод плоских волн. Метод ортогонализованных плоских волн.	4		2				2	2		2
Факторизация матричных элементов. Модель желе. Теория возмущений. Факторизация матричных элементов.	4		2				2	2		2
Вычисление полной энергии. Дифракционная модель. Рассеяние во втором порядке теории возмущений. Электростатическая энергия металлов. Вычисление полной энергии.	4		2				2	2		2
Вычисление псевдопотенциала. Теория линейного экранирования. Функция Линдхарда. Вычисление псевдопотенциала.	4		2				2	2		2
Эффективное взаимодействие между ионами в металлах и сплавах. Эффективное взаимодействие	4		2				2	2		2

между ионами в металлах и сплавах. Энергии упорядочения.										
Энергии кристаллических структур. Энергии кристаллических структур. Упругие постоянные. Точечные дефекты. Время релаксации. Расчет электросопротивления жидких и твердых металлов.	4		2				2	2		2
Энергии упорядочения. Энергии упорядочения. Параметры дальнего порядка. Статистические теории дальнего порядка Горского-Брэгга-Вильямса.	4		2				2	2		2
Статистическая теория дальнего порядка. Статистическая теория дальнего порядка с учетом взаимодействия в произвольной координационной сфере.	5		2				2	3		3
Метод статических концентрационных волн. Метод статических концентрационных волн в уравнениях самосогласованного поля.	5		2				2	3		3
Ближний порядок и размерный эффект в твердых растворах. Ближний порядок и размерный эффект в твердых растворах. Статистическая теория ближнего порядка с учетом взаимодействия в первой координационной сфере.	6		3				3	3		3
Расчет спектра параметров ближ-	6		3				3	3		3

него порядка. Расчет спектра параметров ближнего порядка методом статических концентрационных волн.										
Теория электросопротивления твердых растворов. Теория электросопротивления твердых растворов.	6		3				3	3		3
Расчет фононных спектров и теплового диффузного рассеяния. Расчет фононных спектров и теплового диффузного рассеяния.	6		3				3	3		3
Промежуточная аттестация зачет	2			1	1					
Итого	**72**		34	1	1		36	36		36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей.
2. Ближний и дальний порядок в твердых растворах.
3. Расчет энергий конкурирующих структур металлов.
4. Законы дисперсии.
5. Теория возмущений.

6. Электронная теория потенциалов межатомных взаимодействий.
7. Метод концентрационных волн в теории атомного упорядочения.

Примеры типов домашних задач:

1. Рассчитать значения импульса Ферми, энергии Ферми и скорость электронов на уровне Ферми для алюминия.
2. Найти предельные значения функции диэлектрической проницаемости.
3. Рассчитать формфактор модельного псевдопотенциала Ашкрофта.
4. Найти зависимость параметра ближнего порядка на первой координационной сфере от температуры.
5. Определение степеней дальнего и ближнего порядка в твердых растворах металлов.
6. По значению сверхструктурного вектора $k_0 = 2\pi a_3^*$ сверхструктуры CuAuI найти определение параметра дальнего порядка, стехиометрический состав и атомно-кристаллическую структуру упорядоченной фазы.
7. Для ОЦК сплава типа β-латуни рассчитать температурную зависимость параметра дальнего порядка.
8. Оценить значение ионно-плазменной частоты и температуры Дебая цезия в модели желе.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Вид зависимостей энергии электронов проводимости от волнового вектора.
2. Импульс Ферми и энергия Ферми.
3. Прямое взаимодействие ионов в металлах и сплавах.
4. Энергия электронного газа.
5. Параметры ближнего и дальнего порядка в твердых растворах.

6. Функция распределения Ферми-Дирака.
7. Функция диэлектрической проницаемости и ее пределы.
8. Псевдопотенциал пустого остова.
9. Ряд теории возмущений.
10. Энергия зонной структуры.
11. Электронные соединения.
12. Звезды Лифшица.
13. Критерий фазового перехода второго рода.
14. Связь параметра ближнего порядка на первой координационной сфере с энергией упорядочения.
15. Чем отличается фазовый переход первого рода от фазового перехода второго рода.

Перечень вопросов к зачету:

1. Правило фаз Гиббса.
2. Фазовые переходы первого и второго рода.
3. Статистическая теория дальнего порядка ГБВ.
4. Связь интенсивности рассеяния РЛ с параметрами дальнего порядка.
5. Статистическая теория дальнего порядка с учетом взаимодействия в произвольной координационной сфере.
6. Расчет температуры фазового перехода “порядок-беспорядок”.
7. Статистическая теория ближнего порядка с учетом взаимодействия в первой координационной сфере.
8. Расчет спектра параметров ближнего порядка для сплавов $\boldsymbol{Cu_3Au}$ и CuAu.
9. Статистическая теория ближнего порядка с учетом взаимодействия в произвольной координационной сфере.
10. Критерий фазового перехода второго рода. Условия Лифшица Е.М.
11. Электронные соединения.
12. Сфера Ферми. Импульс Ферми. Энергия Ферми.
13. Закон дисперсии в ПСЭ.
14. Функция распределения Ферми-Дирака.
15. Метод плоских волн.

16. Метод ортогонализованных плоских волн.
17. Теория возмущений.
18. Экранирование модельных потенциалов.
19. Модельный потенциал Ашкрофта.
20. Факторизация матричных элементов.
21. Эффективное взаимодействие между ионами в металлах.
22. Зонная структура сплавов с дальним порядком.
23. Теория электросопротивления сплавов с ближним порядком.
24. Теория электросопротивления сплавов с дальним порядком.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Силонов В.М., Введение в микроскопическую теорию металлов и сплавов. М.: МГУ: физический факультет МГУ, 2005.

Дополнительная литература

1. Смирнов А.А., Молекулярно-кинетическая теория металлов. М.: Наука, 1966.
2. Свелин Р.А., Термодинамика твердого состояния. М.: Металлургия, 1968.
3. Харрисон У., Псевдопотенциалы в теории металлов. М.: Мир, 1968.
4. Хейне В., Коэн М., Уэйр Д., Теория псевдопотенциала. М.: Мир, 1973.
5. Хачатурян А.Г., Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука, 1974.
6. Жирифалько Л., Статистическая физика твердого тела. М.: Мир, 1975.
7. Китель Ч., Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
8. Анималу А., Квантовая теория кристаллических твердых тел. М.: Мир, 1981.
9. Харьков Е.И., Лысов В.И., Федоров В.Е., Термодинамика металлов. Киев: Вища школа, 1982.
10. Кривоглаз М.А., Диффузное рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов на флуктуационных неоднородностях в неидеальных кристаллах. Киев: Наук. Думка, 1984.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы термодинамики, статистической физики и квантово-механической теории в приближении псевдопотенциала металлических сплавов,

уметь проводить интерпретацию аномальных изменений физических свойств и данных рентгеновских экспериментов по диффузному рассеянию рентгеновских лучей металлами и металлическими сплавами;

владеть методами расчета характеристик металлов и сплавов, необходимых для интерпретации картин рассеяния рентгеновских лучей,

иметь опыт деятельности выполнения научного доклада.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
РЕНТГЕНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ
Автор д.ф.-м.н., доцент А.П.Орешко

1. Название дисциплины: **Рентгеновская спектроскопия**

2. Уровень высшего образования – ***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ "Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения" и "Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы".

Одной из важнейших задач современной физики конденсированного состояния вещества является развитие и внедрение методов анализа, обладающих высокой чувствительностью, точностью, экспрессностью, позволяющих проводить дистанционный анализ и автоматический контроль на базе современной техники и ЭВМ материалов, без которых невозможно развитие современной полупроводниковой и атомной техники, квантовой микроэлектроники и производства оптических материалов.

В настоящее время эти задачи решаются с помощью различных физико-химических и физических методов, среди которых одно из ведущих мест принадлежит рентгеноспектральным методам анализа.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (15 часов занятия лекционного типа, 15 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 38 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Квантовая механика”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение. Понятие рентгеновского спектра. Классификация методов рентге-	5	1	1				2	3		3

новской спектроскопии. Рентгеновская эмиссия, рентгеновская абсорбция, рентгеновская флуоресценция.										
Понятие рентгеновского спектрального анализа. Понятие рентгеноспектрального анализа (РСА). Классификация методов РСА по способу генерации рентгеновского излучения. Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), рентгенорадиометрический анализ (РРА).	5	1	1				2	3		3
Качественный анализ. Обозначения в рентгеновских спектрах. Правила отбора. Качественный анализ. Закон Мозли. Выход рентгеновской флуоресценции. Поглощение рентгеновского излучения, края поглощения и массовые коэффициенты поглощения.	5	1	1				2	3		3
Экспериментальная схема рентгеновского спектрометра. Схема рентгеновского спектрометра с волновой дисперсией. Источники излучения (рентгеновская трубка, электронная пушка).	5	1	1				2	3		3
Кристаллы-анализаторы. Разложение рентгеновского излучения в спектр. Закон Вульфа-	5	1	1				2	3		3

Брэгга. Кристаллы-анализаторы.										
Детекторы излучения. Детекторы излучения (ионизационные, сцинтилляционные, полупроводниковые). Особенности рентгеновских спектров с волновой и энергетической дисперсией	5	1	1				2	3		3
Метрологические характеристики методов РСА. Метрологические характеристики методов РСА (предел обнаружения, относительное стандартное отклонение, глубина отбора аналитической информации, локальность по поверхности).	6	1	1				2	4		4
Постановка задачи. Качественный и количественный РСА. Постановка задачи. Отбор и подготовка пробы. Гомогенизация пробы для РФА (растворение, прессование порошков, сплавление).	8	2	2				4	4		4
Подготовка образцов. Подготовка пробы для РСМА (шлифовка и полировка поверхности, обеспечение электропроводности и теплопроводности пробы). Качественный РСА. Особенности приготовления образцов сравнения для РФА и РСМА.	8	2	2				4	4		4
Количественный анализ. Выбор оптимальных условий проведения РСА. Количественный	8	2	2				4	4		4

анализ.										
Экспериментальные методы. Метод градуировочного графика в РФА. Метод внешнего стандарта в РСМА. Метод фундаментальных физических параметров. РФА с полным внешним отражением. Распределительный анализ гетерогенных структур методом РСМА.	8	2	2				4	4		4
Контроль текущей успеваемости проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов. на 10 неделе проводится контрольная работа с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.	2					2	2			
Промежуточная аттестация экзамен	2			1	1		2			
Итого	**72**	15	15	1	1	2	34	38		38

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а

также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение.
2. Характерные особенности взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.
3. Рентгеновский спектрометр.
4. Кристаллы-анализаторы.
5. Качественный рентгеноспектральный анализ.
6. Количественный рентгеноспектральный анализ.

Примеры типов домашних задач:

Промежуточная аттестация проводится на 9 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме зачета. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для зачета – уровень знаний всего курса).

Перечень вопросов к зачету:

1. Общая характеристика метода.
2. Основные свойства рентгеновского излучения.
3. Закон Вульфа-Брегга.
4. Рентгеновская трубка. Ее устройство и принцип действия.
5. Спектральное распределение интенсивности рентгеновского излучения.
6. Спектральное распределение интенсивности Тормозного излучения.
7. Поглощение и отражение рентгеновского излучения.
8. Закон Мозли.
9. Зависимость интенсивности флуоресценции от химического состава излучателя.
10. Эффект избирательного поглощения и возбуждения.
11. Эффект Оже.
12. Оптическая и блок-схемы рентгеновского анализатора.
13. Разложение рентгеновского излучения в спектр.

14. Кристалл-анализаторы.
15. Детекторы рентгеновского излучения.
16. Сцинтилляционный счетчик. Его устройство и принцип действия.
17. Устройство и принцип действия проточно-пропорционального счетчика.
18. Полупроводниковые детекторы.
19. Основные типы современных рентгеновских флуоресцентных спектрометров.
20. Спектрометры с волновой дисперсией.
21. Спектрометры с энергетической дисперсией.
22. Приготовление образцов сравнения.
23. Отбор проб для анализа.
24. Количество материала, обуславливающее регистрируемую интенсивность флуоресценции.
25. Влияние качества поверхности излучателя на интенсивность флуоресценции.
26. Подготовка проб к анализу.
27. Способы количественного анализа.
28. Способ внешнего стандарта.
29. Анализ по методу внешнего стандарта с поправкой на поглощение.
30. Использование уравнений связи для количественного РФ анализа сплавов.
31. Способ стандарта-фона.
32. Учет фона при РФА.
33. Применение РФА.
34. Определение компонентного состава и толщины тонких пленок.
35. РСФ определение толщины слоев многослойных пленок.
36. Определение компонентного состава массивных образцов.
37. Метрологические характеристики методик анализа.
38. Оценка воспроизводимости методик анализа.
39. Оценка правильности методики.
40. Экспрессность, производительность и информативность мето-

дик.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. М: ГИТТЛ, 1953..
2. Блохин М.А. Методы рентгеноспектральных исследований. М: Физматгиз, 1959.
3. Боровский И.Б. Физические основы рентгеноспектральных исследований. М: МГУ, 1956.
4. Лосев Н.Ф. Количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ. М: Наука, 1969.
5. Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н. Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. М: Химия, 1982.
6. Афонин В.П., Комяк Н.И., Николаев Р.И. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ. Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 1991.

Дополнительная литература

1. Илюшин А.С., Орешко А.П. Дифракционный структурный анализ в 2х частях. М.: Юрайт. 2017..
2. Мазалов Л.Н. Рентгеновские спектры и химическая связь. Новосибирск: Наука, 1982.
3. Блохин М.А., Швейцер И.Г. Рентгеноспектральный справочник. М: Наука, 1982.
4. Алексеев Р.И., Коровин Ю.И. Руководство по вычислению и обработке результатов количественного анализа.-М: Атомиздат, 1979.
5. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. М: Мир, 1985.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать основы физики рентгеновского излучения, устройство и принцип действия рентгеновской аппаратуры с волновой и энергетической дисперсией, этапы анализа и способы подготовки проб к

анализу, способы рентгеноспектрального анализа и метрологические характеристики методик анализа.

Уметь анализировать различные объекты на содержание основных и примесных компонентов, в том числе сплавы, жидкости и тонкие пленки, а также ориентироваться в основных направлениях и тенденциях развития современной рентгеновской спектроскопии.

Иметь представление (навыки) о методах рентгеновского спектрального анализа, способах пробоподготовки, выбора оптимальных условий анализа и расчете основных метрологических характеристик методик анализа различных объектов.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
РЕНТГЕНОВСКАЯ ОПТИКА
Автор д.ф.-м.н., профессор В.А.Бушуев

1. Название дисциплины: **Рентгеновская оптика**

   Лектор: доктор физико-математических наук, профессор, Бушуев Владимир Алексеевич

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

   Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

   В курсе лекций излагаются основные физические принципы работы целого ряда рентгеновских оптических элементов, предназначенных для целенаправленного управления рентгеновскими пучками и импульсами (монохроматизация, коллимация, фокусировка, получение изображений и т.п.). Описаны рентгеновские микроскопы и телескопы. Рассмотрены свойства, методы расчета, технология изготовления и применение таких рентгеновских оптических элементов как многослойные периодические и апериодические зеркала, изогнутые многослойные структуры, дифракционные решетки, зонные пластинки, преломляющие рентгеновские линзы. Излагаются основные фундаментальные и технические проблемы, связанные с использованием жесткого и мягкого рентгеновского излучения в области спектроскопии, микроскопии, астрономии, физики плазмы, физики поверхности, биологии, медицины.

   Цели освоения дисциплины: Владение современными профессиональными знаниями в области рентгеновской оптики на основе кристаллов, многослойных зеркал, дифракционных решеток, фазовых пластинок и рентгеновских дифракционных и преломляющих линз. Обучение современным методам обработки экспериментальных данных и их применения для решения практических задач.

   Задачи дисциплины: Задачей дисциплины является обучение сту-

дентов основным принципам построения различных элементов рентгеновской оптики в мягком и жестком рентгеновских диапазонах длин волн, умению использовать полученные знания для расчета характеристик различных рентгенооптических элементов и для навыков по интерпретации экспериментальных рентгенооптических данных.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 2 часа групповых консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Курс неразрывно связан с дисциплинами блока профессиональной подготовки.

Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины: “Математический анализ”, “Дифференциальные уравнения”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”, “Квантовая теория”, “Атомная физика”, “Методы математической физики”, “Основы дифракционного структурного анализа”, “Свойства конденсированных веществ”, “Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и ви-

ды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. *Введение. Источники рентгеновского излучения.* Рентгеновские трубки. Рентгеновское излучение плазменного фокуса. Лазерно-плазменные источники вакуумного ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения.	4	2					2	2		2
2. *Источники рентгеновского излучения.* Синхротронное излучение. Рентгеновские лазеры на свободных электронах как наиболее яркие рентгеновские источники. Сравнительные характеристики источ-	4	2					2	2		2

ников. Особенности оптических констант вещества в жестком и мягком рентгеновском диапазонах.										
3. *Отражательная оптика для мягкого рентгеновского излучения.* Явление полного внешнего отражения. Влияние шероховатости поверхности.	4	2					2	2		2
4. *Фокусировка сферическими зеркалами скользящего падения.* Астигматизм. Сферическая аберрация. Кома. Методы уменьшения аберраций. Составные системы. Система Киркпатрика-Баеза. Системы Вольтера. Изготовление отражательной оптики скользящего падения.	4	2					2	2		2
5. *Многослойные зеркала.* Динамическая теория дифракционного отражения от многослойных зеркал. Рекуррентные соотношения Парратта. Выбор материалов и толщин слоев.	8	4					4	4		4
6. *Влияние шероховатостей границ раздела.* Методы изготовления многослойных зеркал. Влияние ошибок в толщине слоев. Коррекция разброса толщин слоев.	4	2					2	2		2
7. *Дифракционная оптика I.* Дифракционные решетки. Плоские линейные решетки. Вогнутые	4	2					2			2

сферические решетки. Аберрации в схеме Роуланда. Разрешающая способность линейных и сферических решеток. Асферические решетки. Конструкция и изготовление рентгеновских дифракционных решеток. Точность изготовления и типы решеток.										
8. *Дифракционная оптика II.* Зонные пластинки. Амплитудные зонные пластинки Френеля и Сорре. Основные формулы. Разрешающая способность и хроматическая аберрация.	4	2					2	2		2
9. *Эффективность дифракции рентгеновских лучей на решетках.* Глубина резкости. Составные зонные пластинки. Зонные пластинки Габора.	4	2					2	2		2
10. *Зонные пластинки.* Зонные пластинки с модуляцией фазы. Допустимые отклонения при изготовлении. Технологии изготовления (электронно-лучевая литография, интерференционные методы).	4	2					2	2		2
11. *Применение фокусирующих элементов в рентгеновской оптике.* Монохроматоры для синхротронного излучения. Монохроматоры с плоскими решетками.	4	2					2	2		2
12. *Рентгеновская микроскопия.* Изображающая и сканирующая	4	2					2	2		2

рентгеновская микроскопия. Рентгеновский микроскоп на основе динамической дифракции в системе из двух резкоасимметричных кристаллов.										
13. *Рентгенооптические методы исследования лазерной плазмы.* Рентгеновская астрономия. Примеры рентгеновских телескопов скользящего и нормального падения.	4	2					2	2		2
14. *Преломляющая рентгеновская оптика 1.* Рентгеновские линзы на основе явления преломления. Фокусное расстояние, глубина резкости. Теория рентгеновских преломляющих линз в рамках геометрической и волновой оптики.	4	2					2	2		2
15. *Преломляющая рентгеновская оптика 2.* Пузырьковые линзы Дудчика. Многокапиллярные линзы Кумахова. Составные рентгеновские линзы и трансфокаторы Снигирева и Кона.	4	2					2	2		2
Промежуточная аттестация проводится на 10-ой неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. экзамен	8			2		2	4	2	2	4
Итого	**72**	32		2		2	36	34	2	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках*

занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторскими учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Источники мягкого рентгеновского излучения.
2. Источники жесткого рентгеновского излучения.
3. Как устроен и как рабоает рентгеновский лазер на свободных электронах.
4. Общие закономерности оптики мягкого рентгеновского диапазона (действительные и мнимые части показателя преломления).
5. Методы увеличения коэффициента отражения.
6. Принципы действия френелевской зонной пластинки.
7. Полное внешнее отражение для сигма- и пи-поляризованного излучения в мягкой и жесткой областях рентгеновского спектра.
8. Фокусировка сферическими зеркалами скользящего падения.
9. Эффект шепчущей галереи.
10. Сферическая аберрация и методы ее уменьшения.
11. Фокусировка рентгеновского излучения в системе Кирпатрика-Баеза.
12. Конструкция и изготовление рентгеновских дифракционных решеток.
13. Достижения и перспективы рентгеновской преломляющей оптики.

Примеры типов домашних задач:

1. Расчет кривой полного внешнего отражения излучения CuK_α

от кристаллов кремния, алмаза и от стекла. Оптические константы найти самостоятельно в Интернете.

2. Получить соотношение для амплитудного коэффициента отражения рентгеновских лучей в случае пленки произвольной толщины на полубесконечной подложке.
3. Повторить вывод формул для расчета аберраций в схеме Роуланда.
4. Получить соотношения для радиусов границ зон в случае плоской зонной пластинки Френеля.
5. Рассчитать форму дифракционной картины в фокусе на основе дифракционного интеграла Френеля-Кирхгофа.
6. Получить формулу для углового положения первого минимума в случае точечного источника и зонной пластинки Френеля (критерии Рэлея).
7. В рамках геометрической оптики получить выражение для уравнения плоской решетки.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Принцип работы рентгеновской трубки. Тормозное и характеристическое излучение.
2. Принцип работы источника синхротронного излучения.
3. Как работают виглеры и ондуляторы.
4. В чем заключается принцип self-seeding в рентгеновском лазере на свободных электронах.
5. Полное внешнее отражение и пути увеличения коэффициента отражения.
6. Рекуррентные соотношения Парратта.
7. Фокусировка сферическими зеркалами, астигматизм и сферическая аберрация.
8. Составные системы в методах фокусировки рентгеновского излучения (система Киркпатрика-Баеза, Вольтера, Вольтера-Шварцшильда).
9. Выбор материалов и толщин слоев для повышения коэффиуи-

ент отражения от многослойных периодических структур.

10. Метода изготовления многослойных зеркал. К чему приводят ошибки в толщинах слоев.
11. Ионное распыление, термическое и электронно-лучевое испарение, лазерное испарение.
12. Принцип действия и основные соотношения для плоских линейных решеток.
13. Вогнутые сферические решетки и их разрешающая способность.
14. Тороидальные и эллипсоидальные решетки.
15. Нарезка, травление, литография и интерференционные методы изготовления отражательных и пропускающих решеток.
16. Основные принципы работы и самые главные соотношения для амплитудных зонных пластинок.
17. Разрешающая способность и хроматическая аберрация зонных пластинок (с использованием критерия Рэлея).
18. Функция размытия точки, глубина резкости.
19. Составные зонные пластинки.
20. Фазовые зонные пластинки Габора.
21. Принципы работы преломляющих рентгеновских линз (линзы Кумахова, Дудчика, Снигирева).
22. Электронно-лучевая литография.
23. Изображающая рентгеновская микроскопия – принципы работы и требования к оптическим элементам.
24. Спектрометры на основе пропускающих решеток.
25. Рентгеновская астрономия.
26. Рентгеновская спектроскопия плазмы и солнечной короны.

<u>Перечень вопросов к экзамену:</u>

1. Особенности оптических констант в мягком и жестком рентгеновском диапазонах.
2. Щелевые монохроматоры на основе совершенных кристаллов.
3. Принцип работы рентгеновской трубки. Тормозное и характеристическое излучение.
4. Принцип работы источника синхротронного излучения.
5. Как работают виглеры и ондуляторы.
6. Поляризация излучения рентгеновских трубок и синхротронов.

7. В чем заключается принцип self-seeding в рентгеновском лазере на свободных электронах.
8. Принцип формирования электронных банчей в рентгеновском лазере на свободных электронах.
9. Полное внешнее отражение и пути увеличения коэффициента отражения.
10. Рекуррентные соотношения Парратта.
11. Фокусировка сферическими зеркалами, астигматизм и сферическая аберрация.
12. Составные системы в методах фокусировки рентгеновского излучения (система Киркпатрика-Баеза, Вольтера, Вольтера-Шварцшильда).
13. Выбор материалов и толщин слоев для повышения коэффиуиент отражения от многослойных периодических структур.
14. Метода изготовления многослойных зеркал. К чему приводят ошибки в толщинах слоев.
15. Ионное распыление, термическое и электронно-лучевое испарение, лазерное испарение.
16. Принцип действия и основные соотношения для плоских линейных решеток.
17. Вогнутые сферические решетки и их разрешающая способность.
18. Тороидальные и эллипсоидальные решетки.
19. Нарезка, травление, литография и интерференционные методы изготовления отражательных и пропускающих решеток.
20. Основные принципы работы и самые главные соотношения для амплитудных зонных пластинок.
21. Разрешающая способность и хроматическая аберрация зонных пластинок (с использованием критерия Рэлея).
22. Функция размытия точки, глубина резкости.
23. Составные зонные пластинки.
24. Фазовые зонные пластинки Габора.
25. Принципы работы преломляющих рентгеновских линз (линзы Кумахова, Дудчика, Снигирева).
26. Электронно-лучевая литография.
27. Изображающая рентгеновская микроскопия – принципы рабо-

ты и требования к оптическим элементам.

28. Спектрометры на основе пропускающих решеток.
29. Рентгеновская астрономия.
30. Рентгеновская спектроскопия плазмы и солнечной короны.
31. Влияние шероховатостей на зеркальное отражение.
32. Влияние поглощения на отражение от многослойных периодических зеркал.
33. Детекторы мягкого и жесткого рентгеновского излучения.
34. Вогнутые сферические решетки.
35. Аберрации в схеме Роуланда.
36. Улучшение качества изображения с использованием модифицированных зонных пластинок.
37. Сканирующая рентгеновская микроскопия.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Шмаль Г., Рудольф Д. (под редакцией), Рентгеновская оптика и микроскопия. // Москва, Мир. 1987. 463 с.
2. Мишет А. Оптика мягкого рентгеновского излучения. // Москва, Мир. 1989. 351 с.
3. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. // Москва, Наука. 1990. с. 239-262.
4. Каули Дж. Физика дифракции. // Москва. Мир: 1979. 431 с.
5. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры вещества. // М.: Физматлит. 2007, 671 с.

Дополнительная литература

1. Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. // М.: МГУ. 1990. с. 3-32, 56-61.
2. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях скользящей дифракции. // Учебное пособие, Физический факультет МГУ, 2003. 64 с.
3. Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.Р., Смехова А.Г. Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики. // Учебное пособие. Издание 2-е, дополненное и переработанное. М.: МГУ, 2012, 149 с.

Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- http://www.esrf.fr/computing/computing/xop….

- http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/TBS/SciSoft….
- http://sergey.gmca.aps.anl.gov/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать основы работы различных элементов рентгеновской оптики (прямые и изогнутые многослойные зеркала, решетки, зонные пластинки, рентгеновские преломляющие линзы;

уметь использовать приведенные на лекциях формулы для вычисления оптического хода лучей в оптических элементах и пространственного распределения интенсивностей;

владеть основными методами расчета рентгеновских многослойных зеркал, решеток, зонных пластинок, преломляющих линз;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, а также умения отвечать на вопросы и вести дискуссию.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Наиболее важные части курса, требующие приведения сложной наглядной информации и графиков, имеют электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Студентам предлагаются темы для кратких докладов и презентаций с последующей общей дискуссией и обсуждением сделанных докладов. По ряду наиболее современных проблем организуются встречи с представителями ведущих российских (ИК РАН, ИПТМ РАН) и зарубежных (DESY, ESRF) научных центров.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии учебной доски, мела или фломастеров, работающих электрических розеток, компьютера, проектора и экрана (либо мультимедийного телеэкрана).

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
РЕЗОНАНСНАЯ ДИФРАКЦИЯ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ
Автор д.ф.-м.н., профессор Е.Н.Овчинникова

1. Название дисциплины: ***Резонансная дифракция синхротронного излучения в конденсированных средах***

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Резонансная дифракция синхротронного излучения является новым и перспективным методом исследования структуры и свойств материалов. В лекционном курсе содержатся базовые знания о свойствах синхротронного излучения, а также особенностях резонансного взаимодействия синхротронного излучения с кристаллами при энергии падающего излучения, близкой к краям поглощения. Студенты должны ознакомиться с целым рядом физических явлений, возникающих вблизи краев поглощения, освоить основы математического аппарата для описания азимутальных и поляризационных свойств рассеянного излучения, а также получат знания о методах численного моделирования энергетических спектров «запрещенных» отражений с использованием квантовомеханического подхода.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (15 часов занятия семинарского типа, 1 часа групповых консультаций, 1 часов индивидуальных консультаций, 2 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часов мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные

условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”, «Кристаллография».

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Взаимодействие синхротронного излучения с веществом Теоретические основы описания резонансного рассеяния рентгеновских лучей. Края поглощения. Амплитуда резонансного рассеяния рентгеновского излучения и тензорный атомный фактор.	12	3	3				6	4	2	6

Мультипольные вклады в резонансный атомный фактор. Представления тензорного атомного фактора в декартовом и сферическом базисах.										
Диполь-дипольное резонансное рассеяние СИ Запрещенные отражения в резонансном диполь-дипольном рассеянии рентгеновского излучения. Связь с симметрией кристаллов. Экспериментальные исследования «запрещенных» отражений. «Запрещенные» отражения в немагнитных кристаллах. Отражения I и II типов. Поляризационные свойства «запрещенных» отражений. Азимутальная зависимость интегральной их интенсивности.	10	2	2				4	4	2	6
Вклады высших порядков в амплитуду резонансного рассеяния СИ «Запрещенные» резонансные отражения, обусловленные вкладами высших порядков в атомный фактор. «Термоиндуцированные» запрещенные» отражения. Термоиндуцированные «запрещенные» отражения в кристалле германия и вюртцитах.	8	2	2				4	2	2	4

Методы математического моделирования в резонансном рассеянии СИ Методы математического моделирования энергетических спектров «запрещенных» отражений. Модель многократного рассеяния и метод конечных разностей.	6	1	1				2	2	2	4
Интерференция резонансного и нерезонансного рассеяния СИ Резонансное рассеяние рентгеновского излучения в кристалле германия. Экспериментальные результаты и численное моделирование исследования отражений 222 и 006. Расчет энергетической структуры «запрещенных» отражений в кристаллах пирита и рутила. «Запрещенные» отражения, обусловленные точечными дефектами.	8	2	2				4	2	2	4
Резонансная дифракции СИ в электрически упорядоченных системах. Возможности метода для исследования зарядового и орбитального упорядочения. «Запрещенные» рефлексы, обусловленные киральностью локального окружения атомов.	**8**	2	2				4	2	2	4
«Запрещенные» отражения в несоразмерно модулированных структурах. Построение амплитуды резонанс-	**4**	1	1				2	2		2

ного рассеяния для несоразмерно модулированных кристаллов. Резонансное рассеяние рентгеновского излучения в кобальтовом акермaните.										
Магнитное рассеяния синхротронного излучения Магнитные «запрещенные» отражения, их поляризационные свойства. Использование интерференции магнитного нерезонансного рассеяния и резонансного квадрупольного рассеяния для определения знака взаимодействия Дзялошинского-Мория.	**8**	2	2				4		4	4
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. экзамен	8			2	2	2	6	2		2
Итого	**72**	15	15	2	2	2	36	20	16	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

<u>Текущая аттестация</u> проводится еженедельно. Критерии формиро-

вания оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Способы представления атомного тензорного фактора.
2. Можно ли использовать «запрещенные» отражения для определения координат резонансных атомов?
3. Изучение киральности среды с помощью резонансной дифракции синхротронного излучения.
4. Правила сумм в резонансном рассеянии синхротронного излучения.
5. Метод многократного рассеяния для расчета атомного фактора.
6. Эффективные операторы в резонансном поглощении и рассеянии синхротронного излучения.
7. Неупругое резонансное рассеяние синхротронного излучения.

Примеры типов домашних задач:

1. Рассчитать структурный фактор запрещенного отражения 006 в кристалле германия.

2. Рассчитать азимутальную зависимость интегральной интенсивности отражения 111 в кристалле гематита.

3. Найти число независимых компонент тензорной атомной амплитуды в диполь-дипольном приближении для симметрии 42m.

4. Найти число независимых компонент тензорной атомной амплитуды в диполь-квадрупольном приближении для симметрии 42m.

5. Рассчитать азимутальную зависимость отражения 00l (l=2n+1) при наличии оси 2_1.

6. Определить, какие вклады в тензорный структурный фактор возможны в отражении 115 в кристалле ZnO.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Список контрольных вопросов:

1. Магнитный вклад в амплитуду рассеяния синхротронного излучения.
2. Декартово представление атомного тензорного фактора.

3. Феноменологический подход к определению числа независимых компонент тензорного атомного фактора.
4. Тензорный атомный фактор и составляющие его вклады.
5. Азимутальная зависимость интегральной интенсивности запрещенных отражений.
6. Влияние колебаний атомов на тензорный атомный фактор.
7. Интерференционные явления в резонансной дифракции синхротронного излучения.
8. Диполь-квадрупольное резонансное рассеяния синхротронного излучения.
9. Неупругое резонансное рассеяния синхротронного излучения.

Перечень вопросов к зачету:

1. Квантовомеханическое описание взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Уравнение Паули.
2. Магнитное нерезонансное рассеяние рентгеновского излучения.
3. Определение орбитального и спинового моментов с помощью нерезонансного рассеяния синхротронного излучения.
4. Резонансное рассеяние синхротронного излучения. Края поглощения.
5. Амплитуда рассеяния рентгеновского излучения и тензорный атомный фактор.
6. Амплитуда резонансного рассеяния синхротронного излучения в диполь-дипольном приближении.
7. Феноменологический подход к определению числа независимых компонент тензорного атомного фактора.
8. Азимутальная зависимость интегральной интенсивности «запрещенных» отражений.
9. Диполь-квадрупольный вклад в тензорный атомный фактор и связанные с ним явления.
10. Поляризационные свойства амплитуды резонансного рассеяния синхротронного излучения.
11. Определение киральности кристаллов с помощью резонансного рассеяния синхротронного излучения.

12. Исследование зарядового и орбитального упорядочения с помощью резонансной дифракции синхротронного излучения.
13. Интерференция резонансного и нерезонансного вкладов в амплитуду рассеяния. Возможность определения фазы резонансной амплитуды.
14. Интерференция резонансного и нерезонансного вкладов в амплитуду рассеяния. Возможность определения координат атомов.
15. Резонансное рассеяние синхротронного излучения при наличии нескольких анизотропных факторов.
16. «Магнитные» отражения, изучение магнитной структуры кристаллов.
17. Термоиндуцированные «запрещенные» отражения.
18. «Запрещенные» отражения, обусловленные наличием точечных дефектов.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *Е.Н.Овчинникова, М.А.Андреева*. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 1. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2007.

2. *Е.Н.Овчинникова, В.Е.Дмитриенко, М.А.Андреева*. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 2. Изучение запрещенных отражений – новый метод исследования структуры и свойств кристаллов. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2009.

3. *Е.Н.Овчинникова, А.П.Орешко, В.Е.Дмитриенко*. Синхротронные исследования конденсированных сред. Резонансная дифракция синхротронного излучения. Препринт физ. Ф-та МГУ, 2016.

Дополнительная литература

1. *И.М.Тернов, В.В.Михайлин, В.Р.Халилов*. Синхротронное излучение и его применения. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1985.

2. *Г.В.Фетисов*. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М., Физматлит, 2007.

3. *V.E.Dmitrienko, K.Ishida, A. Kirfel, E.N.Ovchinnikova.* Polarization anisotropy of X-ray atomic factors and “forbidden” reflections. Acta Crystallographica 2005. V. A61. P. 481-493.

4. *В.Е.Дмитриенко, Е.Н.Овчинникова.* Резонансная дифракция рентгеновского излучения в кристаллах: новый метод исследования структуры и свойств материалов. Кристаллография 2003. Т.48. С. S1-S19.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

http://neel.cnrs.fr

http://esrf.eu/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

знать основы теории дифракции синхротронного рентгеновского излучения в кристаллах;

уметь использовать полученные знания для анализа энергетической, азимутальной и поляризационной зависимости интенсивности брэгговских отражений при энергиях падающего излучения, близких к краям поглощения;

владеть основными методами расчета амплитуды резонансного рассеяния синхротронного излучения;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ДИФФУЗНОЕ РАССЕЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
Автор д.ф.-м.н., профессор В.М.Силонов

1. Название дисциплины: **Диффузное рассеяние рентгеновского излучения**
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения”.

Одна из задач физики конденсированного состояния вещества – создание нового поколения металлических сплавов с необходимыми для техники свойствами. Решение этой задачи невозможно без развития новых методов рентгеноструктурного анализа, позволяющих воспроизводить атомную структуру неупорядоченных систем. К ним относится прямой метод диффузного рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов, позволяющий определять параметры межатомных корреляций и статических смещений атомов компонент как в бинарных так и в многокомпонентных неупорядоченных системах. Экспериментальные исследования диффузного рассеяния позволяют определять параметры межатомных корреляций на расстояниях до 50 и более координационных сфер и на этой основе восстанавливать атомно-кристаллическую структуру неупорядоченных сплавов. Метод диффузного рассеяния рентгеновских лучей позволяет также определять важнейшие характеристики межатомных взаимодействий – потенциалы межатомных взаимодействий и энергии упорядочения, являющиеся основой для расчета атомных свойств неупорядоченных сплавов.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 ча-

са, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (1 час групповая консультация, 1 час индивидуальная консультация к промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Основы дифракционного структурного анализа”, “Свойства конденсированных веществ”,. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”, “Термодинамика и статистическая физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение.	6		4				4	4		4

Атомно-кристаллическая структура металлов и металлических неупорядоченных твердых растворов. Диаграммы состояния. Фазы Юм-Розери. Рассеяние рентгеновских лучей и тепловых нейтронов кристаллическими и некристаллическими металлами и сплавами. Диффузное рассеяние. Энергии упорядочения. Ближний порядок и размерный эффект в твердых растворах. Дальний порядок. Статистические теории дальнего порядка Горского-Брэгга-Вильямса. Модельные расчеты картин диффузного рассеяния для моно- и поликристаллических сплавов. Тепловое, комптоновское и двойное Брэгговское рассеяния.										
Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов. Теория рассеяния однокомпонентными кристаллическими металлами. Параметры дальнего и ближнего порядка. Параметры межатомных корреляций. Теория рассеяния твердыми растворами с дальним и ближним порядком. Статические смещения атомов компонент в твердых растворах и их влияние на картины диффузного рассеяния.	14		6				6	6		6
Структура жидких металлов. Определение структуры жидких металлов методом диффузного	8		4				4	6		6

рассеяния рентгеновских лучей. Описание структуры жидких металлов в рамках модели жидкости твердых сфер. Функции радиального распределения и их нахождение методом диффузного рассеяния. Связь функции радиального распределения с интенсивностью когерентного рассеяния излучения жидкостью.										
Методика определения картин диффузного рассеяния рентгеновских лучей твердыми растворами. Автоматизированные рентгеновские дифрактометры. Спектр рентгеновского излучения. Монохроматизация рентгеновского излучения. Коллиматоры. Абсолютизация рентгеновского излучения. Рассеяние воздухом. Тепловое диффузное рассеяние. Комптоновское рассеяние. Двойное брэгговсое рассеяние. Нахождение параметров ближнего порядка методом наименьших квадратов.	12		6				6	6		6
Упругое рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов на статических неоднородностях в реальных сплавах. Порядок в твердых растворах и флуктуации. Параметры межатомных корреляций и их связь с параметрами ближнего порядка. Мик-	6		14				14	14		14

роскопическая теория флуктуационных волн концентрации в твердых растворах. Флуктуационные волны статических смещений в неидеальных кристаллах. Микроскопическая теория волн статических смещений. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей на концентрационных неоднородностях в неискаженных и искаженных неупорядоченных твердых растворах.										
Промежуточная аттестация зачет	2			1	1		2			
Итого	**72**		34	1	1		36	36		36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей.
2. Ближний и дальний порядок в твердых растворах.
3. Метод концентрационных волн в теории атомного упорядочения.
4. Рассеяние рентгеновских лучей металлическими жидкостями.

Примеры типов домашних задач:

1. Рассчитать картину диффузного рассеяния по известным пара-

метрам ближнего порядка.

2. Найти зависимость параметра ближнего порядка на первой координационной сфере от температуры.
3. По значению сверхструктурного вектора $k_0 = 2\pi a_3^*$ сверхструктуры CuAuI найти определение параметра дальнего порядка, стехиометрический состав и атомно-кристаллическую структуру упорядоченной фазы.
4. Для ОЦК сплава типа β-латуни рассчитать температурную зависимость параметра дальнего порядка.

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме зачета.

Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Список контрольных вопросов:

1. Характерные особенности описания ближнего и дальнего порядка в твердых растворах.
2. Связь межатомных корреляций с межатомными взаимодействиями.
3. Функция радиального распределения.
4. Связь параметра ближнего порядка на первой координационной сфере с энергией упорядочения.

Перечень вопросов к зачету:

1. Атомно-кристаллическая структура металлов и металлических неупорядоченных твердых растворов.
2. Диаграммы состояния. Фазы Юм-Розери.
3. Рассеяние рентгеновских лучей и тепловых нейтронов кристаллическими и некристаллическими металлами и сплавами.
4. Диффузное рассеяние.
5. Энергии упорядочения.
6. Ближний порядок и размерный эффект в твердых растворах.
7. Дальний порядок. Статистические теории дальнего порядка Горского-Брэгга-Вильямса.
8. Модельные расчеты картин диффузного рассеяния для моно- и поликристаллических сплавов.

9. Тепловое, комптоновское и двойное Брэгговское рассеяния.
10. Связь интенсивности рассеяния РЛ с параметрами дальнего порядка.
11. Электронные соединения.
12. Эффективное взаимодействие между ионами в металлах.
13. Теория рассеяния однокомпонентными кристаллическими металлами.
14. Параметры дальнего и ближнего порядка. Параметры межатомных корреляций.
15. Теория рассеяния твердыми растворами с дальним и ближним порядком.
16. Статические смещения атомов компонент в твердых растворах и их влияние на картины диффузного рассеяния.
17. Описание структуры жидких металлов в рамках модели жидкости твердых сфер.
18. Функции радиального распределения и их нахождение методом диффузного рассеяния.
19. Связь функции радиального распределения с интенсивностью когерентного рассеяния излучения жидкостью.
20. Микроскопическая теория флуктуационных волн концентрации в твердых растворах.
21. Флуктуационные волны статических смещений в неидеальных кристаллах.
22. Микроскопическая теория волн статических смещений.
23. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей на концентрационных неоднородностях в неискаженных и искаженных неупорядоченных твердых растворах

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Кривоглаз М.А. Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами. . М.: Наука, 1966.
2. Иверонова В.И., Кацнельсон А.А. Блиэний порядок в твердых растворах. М.: Наука, 1967.
3. Силонов В.М., Введение в микроскопическую теорию металлов и сплавов. М.: МГУ: физический факультет МГУ, 2005.

Дополнительная литература

1. Хачатурян А.Г., Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука, 1974.
2. Харьков Е.И., Лысов В.И., Федоров В.Е., Физика жидких металлов. Киев: Вища школа, 1979.
3. Кривоглаз М.А., Диффузное рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов на флуктуационных неоднородностях в неидеальных кристаллах. Киев: Наук. Думка, 1984.
4. Силонов В.М. Введение в теорию рассеяния рентгеновских лучей реальными твердыми растворами. М.: МГУ: физический факультет МГУ, 2016.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основы теории рассеяния рентгеновских лучей металлических сплавов,

уметь проводить интерпретацию картин диффузного рассеяния и данных полученных из картин рассеяния рентгеновских лучей и их связь с физическими свойствами;

владеть методами расчета характеристик металлов и сплавов, необходимых для интерпретации картин рассеяния рентгеновских лучей,

иметь опыт деятельности выполнения научного доклада.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
УПРУГИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ
Автор к.ф.-м.н., доцент В.В.Ржевский

1. Название дисциплины: **Упругие и тепловые свойства твердых тел**

2. Уровень высшего образования –***магистратура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***

4. Аннотация:

Курс посвящен тепловым и упругим свойствам твердых тел. Основные понятия и уравнения теории упругости излагаются как часть физики твердого тела. Помимо традиционных вопросов в курсе рассмотрены упругие и тепловые свойства тонких пленок и одномерных структур. Рассматриваются упругие колебания и волны в кристаллах, поверхностные волны и ангармонические эффекты, их вклад в тепловые характеристики кристалла. Особое внимание уделяется удельной теплоемкости слоистых структур, характерных для кристаллических решеток сильно коррелированных систем. Исследуются макроскопические уравнения теплопроводности и вязкости в твердых телах, поглощение звука. Результаты расчетов сопоставляются с экспериментальными данными.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следую-

щие дисциплины и практики: “Математический анализ”, «Векторный анализ», «Тензоры», «Физика реальных кристаллов», «Современные функциональные материалы». Желательно знакомство с курсами «Термодинамика» и «Статистическая физика»

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1.Основные уравнения теории упругости. Тензор деформации. Тензор напряжений. Свободная энергия деформированного изотропного тела. Закон Гука. Упругие свойства кристаллов.	15	2	4	0.5	0.5	-	7	4	4	8
2.Упругие волны.	12	3	3	-	-	-	6	4	2	6

Упругие волны в изотропной среде. Упругие волны в кристаллах. Ангармонические колебания. Упругие поверхностные волны Рэлея.										
3. Теплопроводность и вязкость твердых тел. Уравнение теплопроводности в твердых телах. Плотность потока тепла. Диссипативная функция изотропного тела. Движение с трением в сплошном теле. Тензор вязкости.	10	3	3	-	-	-	6	2	2	4
4. Удельная теплоемкость. Тепловое расширение. Тепловая энергия гармонического осциллятора. Вклад в теплоемкость оптических ветвей спектра в приближении Эйнштейна. Теплоемкость тонких пленок и игл при низких температурах.	14	4	2	0.5	0.5	-	7	5	2	7
5. Коэффициент теплового расширения и ангармонические колебания. Параметр Грюнайзена.	19	4	4	-	-	-	8	6	5	11

Тепловое расширение цепных и слоистых структур при низких температурах. Волны изгиба. Отрицательный коэффициент теплового расширения в плоскости слоя и в направлении оси цепей.										
Промежуточная аттестация Проводится на 8 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерий формирования оценки – уровень знаний пройденного материала курса.	2									
Итого	**72**	16	16	1	1	-	34	21	15	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

В.В.Ржевский, Задачи по физике конденсированного состояния вещества. Учебно-методическая разработка. Часть 1. Москва. МГУ 2009.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение контрольных работ и домашних заданий.

Примеры контрольных вопросов.

1. Сформулируйте условие устойчивости кристалла при абсолютном нуле температуры.

2. Каково условие разрушения кристалла при абсолютном нуле температуры?

3. Какая система частиц относится к конденсированным средам?

4. При каких условиях кристалл можно рассматривать как непрерывную среду?

5. Когда поликристаллическое тело можно считать упруго-изотропным?

6. Вычислите тепловую энергию системы двух гармонических осцилляторов

7. Поясните физический смысл параметра Грюнайзена.

8. В чем суть "мембранного" эффекта при распространении упругих волн в тонких пленках?

9. В каких системах возможен отрицательный коэффициент теплового расширения?

Примеры домашних заданий.

1. При деформации тела, относительное изменение длины, объема описывается тензором деформации. Установить с помощью какой величины описывается изменение угла между двумя векторами в объеме тела при деформации.

2. Найти какой деформации соответствует антисимметричный тензор $\nu_{ik} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} - \frac{\partial u_k}{\partial x_i}\right)$.

3. Осуществить переход от декартовых к цилиндрическим координатам при записи компонентов тензора деформации.

4. Записать для изотропной среды тензор модулей упругости через изотропные тензоры.

5. Найти число независимых компонент тензора теплопроводности в случае кубического кристалла.

6. Вычислить характерную температуру, при которой становятся равными электронный и решеточный вклады в удельную теплоемкость, в случае низких температур

Полный перечень вопросов к зачету:

1. Тензор деформации. Виды деформации
2. Относительное изменение элемента длины, объема и углов при деформировании тела.
3. Чистый сдвиг. Всестороннее сжатие.
4. Однородные деформации.
5. Тензор напряжений. Свойства тензора напряжений. Физический смысл компонентов тензора напряжений.
6. Уравнения равновесия изотропных тел.
7. Уравнения движения изотропных тел.
8. Свободная энергия деформированного тела в квадратичном приближении.
9. Закон Гука для изотропных тел.
10. Коэффициенты Ламе.
11. Модуль всестороннего сжатия. Модуль сдвига.
12. Формулы, выражающие тензор деформаций через тензор напряжений.
13. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона.
14. Деформации с изменением температуры. Коэффициент теплового расширения тела.
15. Термоупругость изотропных тел.
16. Упругие волны в изотропной среде.
17. Скорости распространения продольной и поперечных упругих волн в изотропной среде.
18. Упругие свойства кристаллов. Тензор модулей упругости.
19. Тензор теплового расширения кристаллов
20. Упругие волны в кристаллах. Закон дисперсии волн в кристалле.
21. Групповая скорость распространения волны в кристалле, ее направление.
22. Поверхностные волны Рэлея. Граничные условия.
23. Ангармонические колебания. Кубические члены в упругой энергии.
24. Тепловая энергия гармонического осциллятора. Теплоемкость твердого тела в приближении Эйнштейна.
25. Интерполяционная формула теплоемкости твердого тела Дебая.

26. Теплоемкость тонких пленок и игл при низких температурах.

27. Ангармонические эффекты. Коэффициент теплового расширения.

28. Параметр Грюнайзена.

29. Тепловое расширение цепных и слоистых структур при низких температурах. Волны изгиба. Мембранный эффект.

30. Уравнение теплопроводности в твердых телах. Плотность потока тепла.

31. Теплопроводность кристаллов. Тензор теплопроводности.

32. Вязкость твердых тел. Диссипативная функция изотропного тела.

33. Движение с трением в сплошном теле. Тензор вязкости. Учет вязкости в уравнениях движения.

34. Поглощение звука в твердом теле. Теплопроводностный и вязкостный механизмы диссипации звука.

35. Поглощение звука в поликристаллических телах.

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория упругости, Москва, Наука, 1987.

2. Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела, Москва, Наука, 1978.

3. И.М.Лифшиц, Избранные труды, т.2, Москва, Наука, 1994.

Дополнительная литература

1. H.Ibach, H.Lüth, Solid-State Physics. 4th ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

2. D.Sidebottom, Fundamentals of Condensed Matter and Crystalline Physics, Cambridge University Press, 2012.

3. И.М.Лифшиц, О теплоемкостях тонких пленок и игл при низких температурах. ЖЭТФ, 1952, т.22, №4, с.471-474.

4. Г.Л.Беленький и др. Деформационные явления в слоистых кристаллах. УФН, 1988, т.155, №7, с.89-127.

5. K.S.Novoselov et al. Two-dimensional atomic crystals. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2005, v.102, p.10451-10453.

6. М.И.Каганов, В.В.Ржевский. Введение в квантовую теорию твердого тела. Москва, МГУ, 1987.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисци-

плины:

http:// eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm.

http://www.ufn.ru

http://scitation.aip.org

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать основные методы исследования тепловых, упругих и вязких свойств твердых тел;

уметь использовать полученные знания для расчета и оценок упругих модулей, коэффициента теплового расширения, величин теплоемкости, теплопроводности и вязкости твердых тел, коэффициента Грюнайзена;

владеть навыками расчета тепловых свойств кристаллов при изменении их размерности.

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Используются средства компьютерного сопровождения учебного процесса. Для экспериментальных тепловых характеристик используется база данных Ландольта-Бернштейна. Преподавание дисциплины ведется в форме авторского курса, по программе, составленной на основе, в том числе, результатов исследований научной школы академика, профессора МГУ И.М.Лифшица.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные и семинарские занятия по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями к материально-техническим условиям реализации п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», в ауд.1-42 Физического факультета МГУ.

Для проведения лекционных занятий в аудитории 1-42 предусмотрены: учебная доска большого формата, компьютер, проектор, экран.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ
Автор к.ф.-м.н. Е.А.Бровкина

1. Название дисциплины: **Электронная микроскопия**
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

В рамках данного курса изложены физические основы просвечивающей, сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа. Помимо теоретических основ особое внимание уделено практическим разделам - обзору и сравнительным характеристикам используемой аппаратуры, специфике подготовки образцов, различным методикам получения, обработки и интерпретации дифракционных картин и изображений.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономичестехники ких часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия: Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следую-

щие дисциплины и практики: “Аналитическая геометрия”, “Линейная алгебра”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”, “Атомная физика”, “Основы дифракционного структурного анализа”, “Кристаллография”

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение. Электронная микроскопия: этапы развития и возможности.	4	1	1				2		2	2
Взаимодействие электронного пучка с веществом. Прошедшие, обратно рассеянные (BSE), вторичные электроны (SE), Оже электроны: схемы образования, энергии, углы рассеяния, глубина проникновения. Не-	4	1	1				2	1	1	2

прерывное и характеристическое рентгеновское излучение, катодолюминесценция. Области применения.										
Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) Основные параметры и описание. Устройство электронного микроскопа. Магнитные линзы, аберрации линз. Разрешающая способность электронного микроскопа. Глубина поля и глубина фокуса. Постоянная прибора, способ ее определения. Подготовка образцов.	4	1	1				2	2		2
Режим дифракции в ПЭМ. Схема Эвальда. Зоны Лауэ. Влияние толщины образца на распределение интенсивности на электронограммах. Основные типы электронограмм и их расшифровка. Дифракционные картины от образцов с текстурой, двойников, двухфазных объектов, предвыделений. Двойная дифракция. Кикучи линии.	8	2	2				4	4		4
Режим изображения в ПЭМ Ход лучей в электронном микроскопе в режиме изображения. Дифракционный принцип получения изображения. Светлопольное и темнопольное изображения. Действующее отражение. ПЭМ	4	1	1				2	2		2

высокого разрешения.										
Кинематическая теория дифракционного контраста на изображениях совершенного кристалла Рассеяние на совершенном кристалле - кинематическое приближение. Амплитудно-фазовая диаграмма. Дифракционный контраст при изменении ориентировки. Толщинный экстинкционный контур. Изгибный экстинкционный контур.	8	2	2				4	4		4
Кинематическая теория дифракционного контраста на изображениях несовершенных кристаллов. Контраст на изображениях краевой и винтовой дислокациях. Определение вектора Бюргерса. Контраст на дефектах упаковки.	4	1	1				2	2		2
Дифракционный контраст на двухфазных сплавах Контраст от частиц второй фазы. Матричный контраст. Контраст на выделении: за счет различия структурных факторов, ориентационный контраст, контраст типа полос смещения, муаровый контраст	4	1	1				2	2		2
Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Устройство сканирующего электронного микроскопа. Типы при-	8	2	2				4	2	2	4

ставок. Пробоподготовка. Механизм сканирования. Управляющие параметры СЭМ: ускоряющее напряжение, рабочее расстояние, зондовый ток, размер диафрагмы. Детекторы для обратнорассеянных и вторичных электронов. Фазовый и топографический контраст. Дифракция обратнорассеянных электронов. Кикучи картины дифракции.										
Рентгеноспектральный микроанализ Физические основы метода. Пространственное разрешение. Методы измерения интенсивности рентгеновского излучения спектроскопия с дисперсией по энергии и спектроскопия с дисперсией по длинам волн. Качественный рентгеновский микроанализ. Количественный рентгеновский микроанализ. Учет поправок на атомный номер, поглощение, флуоресценцию. Чувствительность метода. Рентгеновские карты распределения элементов в образце (метод картирования элементного состава).	8	2	2				4	2	2	4
Сканирующая зондовая микроскопия Принципы работы и устройство сканирующих зондовых микроскопов. Формирование и обра-	10	2	2				4	2	4	6

ботка СЗМ изображений. Сканирующая туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия.										
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса зачет	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	16	16	1	1	2	36	25	11	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен презентациями и бо́льшая часть курса - авторским учебным пособием.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Развитие электронной микроскопии – от первого микроскопа Эрнста Руски до наших дней.
2. ПЭМ высокого разрешения
3. Методики подготовки образцов для ПЭМ.
4. Электронные пушки с различным типом электронной эмиссии.
5. Детекторы вторичных и обратнорассеяных электронов.
6. Кикучи линии.

7. Энергодисперсионные и кристалл-дифракционные спектрометры.
8. Системы вакуумирования в электронной микроскопии.
9. Перспективы развития электронной микроскопии.

Примеры типов домашних задач:

1. Индицирование кольцевой электронограммы.
2. Вычисление длины волны электрона при ускоряющем напряжении 10 кВ, 100кВ.
3. Расшифровка точечной микроэлектронограммы от известного материала.
4. Расчет и построение точечной микроэлектронограммы с заданной осью зоны.
5. Анализ ориентировки образца по Кикучи картинам.
6. Определение вектора Бюргерса для винтовой дислокации по светлопольным изображениям, полученных при разных дифракционных условиях отражения.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Основные узлы электронного микроскопа.
2. Разрешающая способность электронного микроскопа
3. Особенности схемы Эвальда для ПЭМ.
4. Зоны Лауэ.
5. Дифракционная картина от образца с текстурой.
6. Типы электронных пушек.
7. Влияние толщины образца на распределение интенсивности на электронограммах
8. Алгоритм расшифровки точечных микроэлектронограмм
9. Отличие полосчатого контраста на дефектах упаковки и толщинном контуре.
10. Условия визуализации изображения винтовой дислокации.
11. Фазовый и топографический контраст в СЭМ.

12. Особенности подготовки образцов для просвечивающей электронной микроскопии.
13. Физические основы рентгеноспектрального микроанализа.
14. Спектрометры с дисперсией по энергии и по длинам волн.
15. Чувствительность рентгеноспектрального микроанализа.

Перечень вопросов к зачету:

1. Источники электронов в электронной микроскопии. Сравнительные характеристики.
2. Взаимодействие электронного пучка с веществом.
3. Устройство электронного микроскопа.
4. Магнитные линзы, аберрации линз.
5. Глубина поля и глубина фокуса.
6. Постоянная прибора в ПЭМ, способ ее определения.
7. Подготовка образцов в ПЭМ и СЭМ.
8. Сфера Эвальда в ПЭМ. Зоны Лауэ.
9. Природа и типы контраста в ПЭМ и СЭМ.
10. Основные типы микроэлектронограмм и алгоритм расшифровки.
11. Дифракционные картины от образцов с текстурой, двойников, двухфазных объектов.
12. Двойная дифракция.
13. Рассеяние на совершенном кристалле - кинематическое приближение.
14. Амплитудно-фазовая диаграмма.
15. Толщинный экстинкционный контур.
16. Изгибный экстинкционный контур.
17. Контраст на изображениях краевой дислокации.
18. Контраст на изображениях винтовой дислокации. Определение вектора Бюргерса.
19. Контраст на дефектах упаковки.
20. Кикучи линии.
21. Дифракционный контраст на двухфазных сплавах
22. Муаровый контраст.
23. Темнопольное и светлопольное изображения.

24. Управляющие параметры СЭМ: ускоряющее напряжение, рабочее расстояние, зондовый ток, размер диафрагмы.
25. Детекторы обратнорассеянных и вторичных электронов.
26. Дифракция обратнорассеянных электронов.
27. Физические основы рентгеноспектрального микроанализа.
28. Спектрометры с дисперсией по энергии и длинам волн.
29. Качественный рентгеновский микроанализ.
30. Количественный рентгеновский микроанализ. Учет поправок на атомный номер, поглощение, флуоресценцию.
31. Метод картирования элементного состава.
32. Принципы работы и устройство сканирующих зондовых микроскопов.
33. Атомно-силовая микроскопия

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *Хатанова Н.А., Бровкина Е.А* Просвечивающая электронная микроскопия твердых тел и биологических объектов М: Физический факультет МГУ. 2005
2. *Криштал М.М., Ясников И.С. и др*. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ. М.: Техносфера, 2009
3. *Миронов В.Л.* Основы сканирующей зондовой микроскопии М.:Техносфера, 2005

Дополнительная литература

1. *Эгертон Р.Ф.* Физические принципы электронной микроскопии М.: Техносфера, 2005
2. *Брандон Д., Каплан У.* Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004.
3. *Фульц Б., Хау Дж.М.* Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов. М.: Техносфера, 2011
4. *Руска Э.* Развитие электронного микроскопа и электронной микроскопии – Нобелевские лекции по физике – 1986. УФН, т. 154 (1988), вып.2, с. 243.
5. *Бинниг Г., Рорер Г.* Сканирующая туннельная микроскопия – от

рождения к юности – Нобелевские лекции по физике – 1986. УФН, т. 154 (1988), вып.2, с. 261.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

http://www.eurmicsoc.org/

http:/ http://www.rodenburg.org/

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать физические основы методов электронной микроскопии;

владеть различными методиками получения и интерпретации дифракционных картин и изображений;

уметь использовать полученные знания для выбора оптимальной методики исследования структурных состояний конкретного образца;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Используется программное обеспечение по моделированию точечных микроэлектронограмм от одно- и двухфазных объектов, разработанное на кафедре физики твердого тела.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ФИЗИКА МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Автор д.ф.-м.н. И.С.Терешина

1. Название дисциплины: **Физика магнитных материалов**
2. Уровень высшего образования –***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.03.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

Данный курс подготовлен в рамках Приоритетных направлений развития МГУ “Система подготовки и воспроизводства кадров нового поколения” и “Энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы”.

Основная задача физики конденсированного состояния вещества – создание материалов со специальными наперед заданными уникальными свойствами – не может быть решена без понимания основ физики функциональных материалов и наноматериалов. В предлагаемом курсе проводится изложение теоретических основ (основных теоретических моделей) современных функциональных магнитных материалов и основных экспериментальных методов исследования их физических свойств, а также установление взаимосвязи «состав - структура – дисперсность – свойство» материала.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, актив-

ность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Электромагнетизм”, “Атомная физика”, “Математический анализ”. Желательно знакомство с курсами “Введение в квантовую физику”, “Электродинамика”,

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение Введение в физику магнитных материалов. Анализ элементов переодической системы Менделеева. Основные группы переходных металлов.	4	2					2	2		2

Свойства электронных оболочек атомов.										
Классификация магнитный материалов Основные типы магнитных материалов. Основные характеристики магнитных материалов. Сравнительный анализ физических свойств слабомагнитных и сильномагнитных материалов.	8	4					4	4		4
Магнитотвердые материалы Процессы намагничивания, размагнитчивания и перемагнитчивания материалов. Петля магнитного гистерезиса. Остаточная намагниченность, коэрцитивная сила, размагничивающий фактор. Материалы для постоянных магнитов на основе редкоземельных элементов. Поиск материалов с пониженнм содержанием РЗМ или без РЗМ.	8	4					4	2	2	4
Магнитомягкие материалы. Основные типы магнитомягких материалов. Поиск новых материалов с улучшенными характеристиками. Проблемы снижения энергетических потерь при процессах намагничивания и перемагничивания. *Современные методы исследования структуры и свойств магнитных материалов.*	12	4	2				6	4	2	6

Рентгеноструктурный фазовый анализ, элементный анализ, сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскрпия, атомно и магнитосиловая микроскопия. Магнетометры. Приборы типа PPMS. Магнитная нейтронография. Мессбауэровская спектроскопия.										
Материалы для магнитного охлаждения/нагревания. Магнитное охлаждение для получения сверхнизких температур, магнитное охлаждение для хранения сжжижанных газов, магнитное охлаждение в области комнатных температур. Тепловые насосы. Магнитные рефрижераторы. Каскадный тип охлаждающих систем.	4	2					2	2		2
Магнитные материалы специального назначения Магнитострикционные материалы. Магнитострикторы, как устройства для фиксации перемещений. Магнитные материалы с памятью формы. Сплавы Гейслера. Основные преимущества и недостатки материалов с памятью формы. Сверхпроводящие материалы. Эффект Мейснера. Основные	14	6					6		8	8

классы сверхпроводников. Модель Бардина, Купера и Шриффера (БКШ). Куперовские пары. Высокотемпературная сверхпроводимость. Сверхпроводники на основе Fe – новый класс сверхпроводящих материалов.										
Нанокристаллические магнитные материалы. Основные методы получения нанокристаллических магнитных материалов. Особенности структуры и свойств. Сравнительный анализ свойств нанокристалличенских материалов с их крупнокристааллическими аналогами.	4	2					2		2	2
Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики. Линейный магнитоэлектрический эффект. Особенности свойств магнитоэлектрических материалов и их практическое использование.	4	2					2	2		2
Влияние структурного состояния от моно- до нанокристаллического на фундаментальные и функциональные свойства магнитных материалов различного назначения Взаимосвязь «состав – структура – дисперсность - свойства» магнитных материалов. Основные методы получения материалов в	8	4					4	4		4

различном структурном состоянии от моно- до нанокристаллического. Особенности исследования их структуры и магнитных свтйств. Получение материалов с улучшенными магнитными характеристиками.										
Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса. зачет	6			1	1	2	4	2		2
Итого	**72**	30	2	1	1	2	36	22	14	36

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Курс обеспечен авторским учебным пособием и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Редкоземельные интерметаллиды.
2. Магнитные жидкости.
3. Высокочастотные ферромагнетики.
4. Сравнительные анализ свойств аморфных и кристаллических сплавов.

5. Физические основы записи информации.
6. Физика доменных структур
7. Структурные методы исследования магнитных материалов
8. Нейтронографические исследования магнитных материалов.
9. Электронный магнитный резонанс
10. Динамические характеристики магнитных материалов.
11. Современные Fe-содержащие сверхпроводники.
12. Явление левитации.

Примеры типов домашних задач:

1. Вывод формулы для учета размагничивающего фактора.
2. Вычисление магнитных моментов трехвалентных редкоземельных ионов.
3. Намагничивание парамагнетика во внешнем магнитном поле.
4. Определение магнитокалорического эффекта косвенными методами.
5. Расчет максимального энергетического произведения для постоянных магнитов.

Промежуточная аттестация проводится на 10 неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса (для экзамена – уровень знаний всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Магнитная нейтронография.
2. Слабо и сильномагнитные материалы.
3. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.
4. Основные методы исследования магнитных материалов.
5. Теория одноионной анизотропии по механизму кристаллического поля.
6. Прямой и косвенные методы определения магнитокалорического эффекта.
7. Явление сверхпроводимости и основные классы сверхпроводников.

Перечень вопросов к зачету:

1. Проблема “Состав-структура – дисперсность -свойства твер-

дых тел”.

2. Физические свойства диамагнетиков.
3. Явление парамагнетизма.
4. Магнитокристаллические и обменные взаимодействия.
5. Магнитные гистерезисные свойства.
6. Свойства магнитомягких материалов.
7. Типы магнитотвердых материалов.
8. Достоинства и недостатки аморфных материалов.
9. Природа спинстекольнго состояния.
10. Магнитострикционные материалы.
11. Редкоземельные магнитные полупроводники.
12. Материалы с гигантским магнитным сопротивлением.
13. Композиционные магнитоэлектрические материалы.
14. Природа сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость.
15. Магнитооптические эффекты и устройства.
16. Методы исследования магнитных характеристик.
17. Современные методы обработки результатов магнитных измерений.
18. Магнитная нейтронография.
19. Наноструктуры.
20. Атомная и магнитосиловая спектроскопия.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. K.H.J.Buschow, F.R.Boer. Physics of magnetism and magnetic materials. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2004.
2. Д.Д.Мишин. Магнитные материалы. - М.: Высшая школа, 1999. – 384 с.
3. А.С.Илюшин, Основы структурной физики редкоземельных интерметаллических соединений, Москва: “Изд-во МГУ”, 2005, 176 с

Дополнительная литература

1. К.П. Белов. Магнитострикционные явления и их технические приложения. – М.: Наука, 1987. – 160 с.

2. В.В. Пасынков, В.С. Сорокин. Материалы электронной техники. С.-П. Издательство «Лань». 2001. – 368с.
3. А.К. Звездин, В.А. Котов. Магнитооптика тонких пленок. М.: Наука, 1988. – 192 с.
4. G.J. Long and F.Grandjean. Supermagnets, Hard Magnetic Materials, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1991.
5. J.M.D. Coey, Magnetism and Magnetic Materials, Cambridge University Press, 2010.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *https://www.journals.elsevier.com/journal-of-magnetism-and-magnetic-materials*

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

Знать основные физические процессы и явления, ответственные за уникальные магнитные свойства заданного материала;

уметь использовать полученные знания для разработки новых магнитных материалов;

владеть знаниями об основных методах экспериментального исследования магнитных материалов;

иметь опыт по подготовке научного доклада, уметь отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

Рабочая программа дисциплины (по выбору)
ДИФРАКЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛКОВ И ПОЛИМЕРОВ
Автор к.ф.-м.н. Е.В.Якута

1. Название дисциплины: **Дифракционные методы исследования белков и полимеров**
2. Уровень высшего образования – ***магистратура***
3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика (магистратура)***
4. Аннотация:

В спецкурсе рассматриваются различные методы исследования структуры полимеров и биомакромолекул, основанные на изучении результатов дифракции и рассеяния электромагнитных волн на структурных элементах вещества: рентгеноструктурный анализ сложноорганизованных биологических объектов (белков) и рассеяние излучения (света, рентгеновских лучей) растворами полимеров.

В первой части курса студенты знакомятся с полимерными системами и биополимерами, их специфическими особенностями, отличающими их от низкомолекулярных систем или от строго периодических систем (например, кристаллов). Дается описание основных характеристик макромолекул, и приводятся сведения об основных теоретических моделях, описывающих поведение полимеров и полимерных растворов. Во второй части курса рассматриваются вопросы, связанные с рентгеновскими методами анализа сложных веществ. В третьей части курса излагается теория и дается описание метода светорассеяния растворами полимеров, проводится обзор основных характеристик полимерных систем, которые могут изучаться с использованием данного метода.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающего-

ся с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 1 час групповых консультаций, 1 час индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия по текущему контролю успеваемости), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Текущий контроль успеваемости проводится на каждом занятии. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к занятиям, выполнение докладов.

6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Для освоения дисциплины предварительно нужно освоить следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Квантовая механика”, “Электродинамика”, “Атомная физика”.

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего

Ч. 1. § 1. *Вводная часть*. Определение полимера. Основные типы макромолекул. Агрегатные состояния полимерных веществ. Механизмы гибкости полимерных молекул. Пространственные формы макромолекул. Понятие персистентной длины и куновского сегмента. Основные особенности биологических полимеров. Первичная, вторичная структуры биополимеров. Третичная структура белков.	6	1	1				2	4		4
Ч. 1. § 2. *Основные характеристики одиночной полимерной цепи.* Оценка размеров цепных молекул. Идеальный полимерный клубок. Модель свободно-сочлененной цепи и модель цепи со свободным вращением. Гауссово распределение расстояния между концами идеального клубка. Радиус инерции.	8	2	2				4	4		4
Ч.1, § 3. *Растворы полимеров.* Типы растворителей. Тета-точка, хороший и плохой растворители. Набухание полимерного клубка в хорошем растворителе. Исклю-	6	2	2				4	2		2

ченный объем. Особенности свойств растворов полимеров. Теория растворов и расплавов полимеров. Другие полимерные системы (смеси полимеров и блок-сополимеры).										
Ч. 2, § 1. *Рентгеноструктурный анализ кристаллов (повторение).* Природа рентгеновского излучения. Дифракция рентгеновского излучения на монокристаллах и поликристаллических порошках. Основные схемы дифракционного эксперимента. Сравнение метода Лауэ, метода Дебая-Шеррера и метода вращения (качания) кристалла. Достоинства и недостатки этих методов, области их применения.	8	2	2				4	4		4
Ч. 2, § 2. *Рентгеноструктурный анализ белков.* Основные этапы определения структуры белка. Выделение, очистка. Кристаллизация. Рентгеновский эксперимент. Обработка результатов. Решение фазовой проблемы. Физические величины, получаемые из экспери-	8	2	2				4	4		4

ментальных данных.										
Ч. 2, § 3. *Уточнение структуры белков.* Соответствие модели данным эксперимента. Модель рентгеновского рассеяния. Учет влияния растворителя. R-фактор, R-free фактор. Общие закономерности строения белков. Точность определения структуры белков методом рентгеноструктурного анализа. Визуальный анализ результатов и коррекция модели. Системы визуального анализа.	8	2	2				4	4		4
Ч. 3. § 1. *Рассеяние света растворами полимеров*. Теория рассеяния света растворами полимеров. Основные соотношения. Внутримолекулярная интерференция света, рассеянными макромолекулами. Молекулярный фактор рассеяния. Ослабление света в растворах макромолекул. Уширение спектральной линии рассеяния. Методы интерпретации результатов измерений светорассеяния растворами макромолекул. Методика измерений светорассеяния.	6	1	1				2	4		4

Ч. 3. § 2. *Рассеяние света и свойства ансамбля макромолекул.* Рассеяние света и полидисперсность. Рассеяние света и разветвленность макромолекул. Рассеяние света жесткоцепными полимерами.	8	2	2				4	4		4
Ч. 3. § 3. *Рассеяние света и термодинамические свойства полимерных систем.* Светорассеяние полимеров в тета-растворителях – оценка невозмущенных размеров полимерных клубков. Светорассеяние полимеров в хороших растворителях. Второй вириальный коэффициент и обусловленные им свойства растворов макромолекул. Особенности светорассеяния растворами сополимеров. Смеси гомополимеров и блок-сополимеров. Некоторые специальные случаи рассеяния света растворами полимеров.	8	2	2				4	4		4
Контроль текущей успеваемости. Проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подго-	4					2	2	2		2

товки к лекциям, выполнение докладов. На 10-й учебной неделе проводится контрольная работа с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знания учебного материала изученной части курса.										
Групповые и индивидуальные консультации.	2			1	1		2			
Итого	**72**	**16**	**16**	**1**	**1**	**2**	**36**	**36**	**0**	**36**

** Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.*

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Курс обеспечен учебными пособиями и презентациями.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, выполнение докладов.

Примеры тем предлагаемых докладов:

1. Переход клубок-глобула.
2. Рентгеновская кристаллография.
3. Рентгенография фибриллярных структур.
4. Светорассеяние и полидисперсность макромолкул.
5. Рассеяние света и разветвленность макромолекул.
6. Рассеяние света жесткоцепными полимерами.

Промежуточная аттестация проводится на 10-й неделе в форме контрольной работы с оценкой и во время экзаменационной сессии в форме экзамена. Критерии формирования оценки – уровень знания учебного материала изученной части курса (для экзамена – уровень

знания учебного материала всего курса).

Список контрольных вопросов:

1. Дайте определение полимера.
2. Перечислите основные типы макромолекул.
3. Пространственные формы макромолекул. Понятие персистентной длины и куновского сегмента.
4. Специфические особенности биологических полимеров.
5. Идеальный полимерный клубок. Модель свободно-сочлененной цепи.
6. Гауссово распределение расстояния между концами идеального клубка.
7. Структурный фактор и радиус инерции.
8. Растворы полимеров: классификация.
9. Дифракция рентгеновского излучения на монокристаллах и поликристаллических порошках. Основные схемы дифракционного эксперимента.
10. Сравнение метода Лауэ, метода Дебая-Шеррера и метода вращения (качания) кристалла.
11. Основные этапы определения структуры белка. Физические величины, получаемые из экспериментальных данных.
12. Общие закономерности строения белков. Точность определения структуры белков методом рентгеноструктурного анализа.
13. Теория рассеяния света растворами полимеров. Основные соотношения.
14. Рассеяние света и полидисперсность.
15. Светорассеяние полимеров в тета-растворителях – оценка невозмущенных размеров полимерных клубков.
16. Светорассеяние полимеров в хороших растворителях

Перечень вопросов к зачету:

1. Основные каналы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.
2. Определение полимера. Основные типы макромолекул.
3. Агрегатные состояния полимерных систем.
4. Механизмы гибкости полимерных молекул. Персистентная длина и куновский сегмент.
5. Первичная, вторичная структуры биополимеров. Третичная

структура белков.

6. Модель свободно-сочлененной цепи и модель цепи со свободным вращением. Оценка среднего размера макромолекулы.
7. Гауссово распределение расстояния между концами идеального клубка. Радиус инерции.
8. Особенности свойств растворов полимеров. Теория растворов.
9. Сравнение метода Лауэ, метода Дебая-Шеррера и метода вращения (качания) кристалла. Достоинства и недостатки этих методов, области их применения.
10. Основные этапы определения структуры белка.
11. Модель рентгеновского рассеяния. Учет влияния растворителя.
12. Теория рассеяния света растворами полимеров. Основные соотношения.
13. Методы интерпретации результатов измерений светорассеяния растворами макромолекул.
14. Рассеяние света и свойства ансамбля макромолекул.
15. Светорассеяние полимеров в тета-растворителях. Оценка невозмущенных размеров полимерных клубков.
16. Светорассеяние полимеров в хороших растворителях.

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. *А.Р. Хохлов, С.И. Кучанов.* Лекции по физической химии полимеров. – М.: «Мир», 2000.
2. *А.Ю. Гросберг, А.Р. Хохлов.* Статистическая физика макромолекул. – М.: «Наука», 1989.
3. *М.В. Волькенштейн.* Молекулярная биофизика. – М.: «Наука», 1975.
4. *Г.С. Жданов, А.С. Илюшин, С.В. Никитина.* Дифракционный и резонансный структурный анализ. – М.: «Наука», 1980.
5. *В.Е. Эскин.* Рассеяние света растворами полимеров. – М., «Наука», 1973.

Дополнительная литература

1. *П. де Жен.* Идеи скейлинга в физике полимеров. – М., «Наука», 1982.
2. *А.Ю. Гросберг, А.Р. Хохлов.* Физика в мире полимеров. – М., «Наука», 1989.

3. *П. Уитли.* Определение молекулярной структуры. Пер. с англ./ Под ред. М.Е. Дяткиной. – М.: «Мир», 1970.
4. *М.Д. Франк-Каменецкий.* Самая главная молекула. – М.: «Наука», 1983.
5. *Лунин В.Ю., Лунина Н.Л., Петрова Т.Е.* Биологическая кристаллография без кристаллов. // *Математическая биология и биоинформатика. 2017 г. Т.12. №1. С.55-72. doi: 10.17537/2017.12.55.*

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- *http://www.xumuk.ru/*
- *http://www.crystallography.net/cod/*

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать основные этапы определения структуры белка, основные соотношения теории рассеяния света растворами полимеров;

уметь использовать полученные знания для извлечения характеристик вещества из физических величин, получаемых из экспериментальных данных рентгеноструктурного анализа белков и светорассеяния полимерных растворов;

владеть основными методами интерпретации результатов измерений светорассеяния растворами макромолекул и рентгеноструктурного анализа белков;

иметь опыт деятельности по подготовке и выполнению научного доклада, умения отвечать на вопросы и вести научную дискуссию.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости).

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

ПРОГРАММЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ КУРСОВ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ДЛЯ АСПИРАНТОВ. 2019/2020 УЧЕБНЫЙ ГОД

Название специального курса	ФИО преподавателя	Научная специальность
Рентгеновская фазоконтрастная томография	Бушуев В.А., д.ф.-м.н., проф.	01.04.05 01.04.07 05.13.18
Электронный транспорт в конденсированных средах	Илюшин А.С., д.ф.-м.н., проф. Ржевский В.В., к.ф.-м.н. ст. преп.	01.04.07 01.04.09 01.04.10 01.04.11
Теоретико-групповые методы в исследованиях структуры и свойств конденсированных сред	Овчинникова Е.Н, д.ф.-м.н., проф.	01.01.03 01.04.02 01.04.07 01.04.09 01.04.10 01.04.11
Физика конденсированого состояния и физическое материаловедение. Исторический аспект: от бронзового века до нанотехнологий	Хунджуа А.Г, д.ф.-м.н., проф.	01.04.01 01.04.07 01.04.09 01.04.10 01.04.11 02.00.06
Рентгенооптические методы исследования многослойных наноструктур	Андреева М.А., д.ф.-м.н., в.н.с.	01.04.01 01.04.04 01.04.05 01.04.07 01.04.09 01.04.10 01.04.11

Введение в статистическую рентгеновскую оптику	Бушуев В.А., д.ф.-м.н., проф.	01.04.05 01.04.07 01.04.21 05.13.18
Радиационная физика конденсированных сред	Орешко А.П., д.ф.-м.н., проф.	01.04.04 01.04.07 01.04.10 01.04.11 01.04.20

Рабочая программа дисциплины
РЕНТГЕНООПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР
Автор д.ф.-м.н., доцент М.А.Андреева

1. Название дисциплины**: Рентгенооптические методы исследования многослойных наноструктур**

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки: 03.06.01 «Физика и Астрономия». Научная специальность **01.04.01, 01.04.04, 01.04.05, 01.04.07, 01.04.09, 01.04.10, 01.04.11.**

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: курс относится к дисциплинам научной специальности вариативной части Блока 1, по результатам освоения которых обучающиеся сдают кандидатский экзамен по научной специальности.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

Формируемые компетенции ***(код компетенции)***	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**
УК-1	З1 (УК-1) **Знать** методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области рентгенооптических исследований многослойных пленок. У1 (УК-1) **Уметь** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при исследовании электронной и маг-

	нитной структуры многослойных пленок методами рентгеновской, рентгеновской резонансной, ядерно-резонансной и нейтронной рефдектометрии. В1 (УК-1) **Владеть** навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (оптика, полупроводники, наноструктуры).
УК-3	З1 (УК-3) **Знать** особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах в области структурных исследований многослойных пленок. У1 (УК-3) **Уметь** следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач в области структурных исследований многослойных пленок. В1 (УК-3) **Владеть** навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в.т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных иссле-

	довательских коллективах в области структурных исследований многослойных пленок.
УК-5	З1 (УК-5) **Знать** содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда в сфере оптики полупроводников и полупроводниковых структур пониженной размерности. У1 (УК-5) **Уметь** формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей в сфере структурных исследований многослойных пленок. В1 (УК-5) **Владеть** приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач в сфере структурных исследований многослойных пленок.
ОПК-1	**Знать** физические принципы основных методов исследования оптических явлений в многослойных магнитных пленках. **Уметь** применять физические теории к описанию соответствующих

	методов исследования структуры многослойных магнитных пленок. **Владеть** методиками построения моделей, описывающих структуру многослойных магнитных пленок.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов*, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 6 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 6 часов индивидуальные консультации, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 60 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.*

Форма отчетности <u>зачет с оценкой</u>.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

8. Формат обучения: очный, дистанционное обучение не предусмотрено

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий (*таблица заполняется преподавателем*)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Введение. Уникальные эффекты, возникающие в ультратонких многослойных пленках и важность этих структур для современной микроэлектроники и спинтроники, магнитооптики, рентгеновской оптики, микросенсорики, и других устройствах нанотехнологии. Нобелевская премия Альберта Ферта и Питера Грюнберга 2007 года за исследование эффекта гиганского магнитосопротивления.	3	2					2	1		1
Тема 2. Общий обзор методов исследования нанослоев: HRTEM (high-resolution transmission-electron microscopy), фотоэлектронная спектроскопия, ARPES (Angle-resolved photoemission spectroscopy), AFM (Atomic force microscopy), MFM (Magnetic force microscopy), рефлектометрия	3	2					2	1		1

поляризованных нейтронов, мессбауэровская спектроскопия, ядерно-резонансная рефлектометрия, рентгеновский круговой и линейный дихроизм вблизи краев поглощения, резонансная рентгеновакая рефлектометрия										
Тема 3. Теория рентгеновской рефлектометрии. Распространение плоских волн в планарных структурах. Формулы Френеля и Паррата. Матричный метод и теории рефлектометрии. Влияние шероховатостей границ раздела. Расшифровка профилей распределения по глубине электронной плотности.	3	2					2	1		1
Тема 4. Основы теории диффузного рассеяния в условиях зеркального отражения (GISAX) от многослойных структур с включенными нанодефектами.	5	2			2		4	1		1
Тема 5. Рентгеновская дифракция в скользящей геометрии. Компланарная резко-асимметричная и некомпланарная геометрия эксперимента. Основы динамической теории рентгеновской дифракции в условиях зеркального отраже-	8	2	2				4	1	3	4

ния. Исследования нарушений и перестройки кристаллической структуры в приповерхностной области.										
Тема 6. Поляризация излучения и способы описания преобразования поляризации излучения в анизотропных средах.	3	2					2	1		1
Тема 7. Рентгеновская магнитная резонансная рефлектометрия (XRMR). Основные эффекты. Примеры исследования магнитных профилей в многослойных структурах	5	2				2	4	1		1
Тема 8. Теория рентгеновской магнитной резонансной рефлектометрии. 4x4 матрицы распространения, обобщение рекуррентных соотношений Паррата на анизотропный случай.	3	2					2	1		1
Тема 9. Тензоры поверхностного импеданса и нормальной рефракции. Общие формулы и конкретные случаи.	5	2			2		4	1		1
Тема 10. Кинематический предел в теории рефлектометрии для анизотропных слоев.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 11. Ядерно-резонансная рефлектометрия. Примеры модельных расчетов по программе REFTIM.	3	2					2	1		1
Тема 12. Стоячие волны в пери-	3	2					2	1		1

одических и волноводных структурах. Селективные по глубине исследования с регистрацией флуоресцентного излучения.										
Тема 13. Влияние стоячих волн на зеркально отраженный сигнал. Эффекты квантовой оптики в ядерно-резонансных экспериментах.	3	2					2	1		1
Тема 14. Рефлектометрия поляризованных нейтронов. Отражение с переворотом спинов. Теория отражения нейтронов по аналогии с теорией отражения рентгеновского излучения. Примеры исследования магнитных многослойных структур.	5	2			2		4	1		1
Тема 15. Практическое занятие по расшифровке угловых зависимостей зеркального отражения от модельных образцов.	12	2	2	2		2	8	1	3	4
Промежуточная аттестация								**36**		
Итого	**108**	30	6	2	6	4	**48**	51	9	**60**

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине.

Самостоятельная работа аспиранта проводится в виде выполнения практических самостоятельных работ (ПСР).

Текущий контроль осуществляется путем индивидуального обсуждения с преподавателем выполненного ПСР или путем групповой дискуссии в группе аспирантов при участии преподавателя.

Примеры типовых самостоятельных работ:

- вывести формулу для кинематического предела формулы Френеля для углов скольжения много больших критического угла;
- определить критический угол полного внешнего отражения для нескольких простых структур;
- построить график угловой зависимости коэффициента отражения для трехслойной структуры;
- вычислить восприимчивость структуры Al_2O_3 (C uO, Fe_2O_3) для излучения с длиной волны 0.154 нм;
- нарисовать график спектра отражения вблизи критического угла для случая, когда восприимчивость среды описывается формулой Брейта-Вигнера;
- провести обработку представленной преподавателем рефлектометрической кривой и определить период структуры и толщины слоев в ней.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

  Примеры практических контрольных заданий (ПКЗ).

  Простые ПКЗ:

  - объяснить возникновение осцилляций Кизиха на угловых зависимостях коэффициента отражения;
  - вывести формулу отражения от пленки;
  - как определяется показатель преломления для рентгеновского излучения;
  - как зависит ширина брэгговского максимума при отражении от периодической многослойной структуры от числа повторений в структуре?
  - что такое рентгеновский круговой и линейный дихроизм?
  - каким образом можно исследовать перестройку кристаллической структуры в поверхностном слое?
  - как измеряют ядерно-резонансное рассеяние на синхротронном излучении?

Комплексные ПКЗ:

1. Сравнить величины эффекта Фарадея в оптике видимого диапазона и для рентгеновского излучения вблизи L2,3 краев поглощения атомов Fe в намагниченном α-железе.
2. Найти оптимальные условия наблюдения магнитного рассеяния для рентгеновского излучения линейной поляризации.
3. Представить краткий реферат работы: J. Geissler, et al., “Pt magnetization profile in a Pt/Co bilayer studied by resonant magnetic x-ray reflectometry”, PRB **65**, 020405 R (2001).
4. Перечислить методы экспериментального определения оптических характеристик слоев для рентгеновского излучения.
5. Найти в Таблицах Хенке наиболее оптически плотные и оптически мягкие материалы для излучения с длиной волны 0.154 нм.
6. Провести вывод формулы Лауэ для описания отражения от периодической многослойной структуры в кинематическом приближении

Вопросы и задания по курсу:

По теории:

1. Как определяется показатель преломления для рентгеновского излучения?
2. Как можно представить коэффициент отражения от многослойной структуры в кинематическом приближении?
3. Каковы условия возникновения волноводного режима?
4. Что такое правила сумм, применяемые для разделения спиновой и орбитальной части магнитного момента атома по $L_{2,3}$ спектрам поглощения излучения круговой поляризации?
5. В чем различие поляризационных эффектов при различных направлениях намагниченности среды относительно плоскости рассеяния (T-MOKE, L-MOKE, P-MOKE)?
6. Как используется элементная селективность резонансной магнитной рентгеновской рефлектометрии?
7. Что такое антиферромагнитное межслойное упорядочение?
8. Как связаны амплитуда ядерно-резонансного рассеяния и по-

казатель преломления мессбауэровской среды?

9. Как меняется глубина проникновения излучения в среду при разных углах скольжения?
10. Как определить показатель преломления для нейтронов?

Упражнения:

1. Проведите расчет коэффициента отражения от 50 А пленки CuO на подложке кремния для излучения с длиной волны 0.154 нм по программе REFTIM.
2. Рассчитайте показатель преломления гематита для излучения с длиной волны 0.86 А
3. Проведите вычисление реальной части рентгеновской восприимчивости по известному спектру поглощения (предоставляется преподавателем) с использованием преобразования Крамерса-Кронига (программа прилагается).
4. Проведите расчет поля излучения в трехслойной пленке Mo(10 нм)/Si(5 нм)/Mo(50 нм) в области полного внешнего отражения для излучения с длиной волны 0.154 нм с использованием пакета программ XOP.
5. Распишите координатное представление тензора магнитной восприимчивости для рентгеновского излучения для случая, когда намагниченность направлена по оси z.
6. Опишите последовательность вычисления коэффициента отражения от анизотропных многослойных пленок.
7. Как изменяется форма спектра мессбауэровского отражения при изменении угла скольжения в области полного внешнего отражения?
8. При каких условиях происходит изменение направления спина нейтронов при отражении от нейтронного зеркала?
9. Проведите расчет угловой зависимости выхода флуоресцентного излучения Zr из 5 А слоя Zr, помещенного на разную глубину в пленку Al.
10. Проведите сравнение спектров ядерно-резонансного рассеяния в энергетическом и временном представлении для разных

направлений сверхтонкого магнитного поля относительно плоскости рассеяния.

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

Презентации лекций раздаются обучающимся по окончании каждой лекции.

12. Ресурсное обеспечение:

- **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**
- **Основная литература**
  - Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. Мессбауэровская и рентгеновская оптика поверхности. М., Издание Общенациональной академии знаний, 1996.
  - Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей, Изд-во Моск. ун-та, 1978.
  - Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях скользящей дифракции, Физфак МГУ, 2002.
  - Андреева М.А., Бушуев В.А., Овчинникова Е.Н., Орешко А.П., Прудников И.П., Смехова А.Г., Численные эксперименты в задачах рентгеновской оптики, Препринт физфака МГУ, Москва, 2005.
- **Дополнительная литература**

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики, Изд-во «Наука», 1973.
2. Андреева М.А., Овчинникова Е.Н. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 3. Ядерно-резонансные («мёссбауэровские») эксперименты на синхротронах. Учебное пособие. М.: Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. Под ред. проф. А.С. Илюшина, 2010, 160 с.
3. Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. Мессбауэровская гамма-оптика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 227 С.
4. M. Blume Magnetic scattering of x-rays. J. Appl. Phys., 57(1), 3615 (1985).

5. Андреева М.А., Смехова А.Г. Рентгеновская магнитооптика на синхротронном излучении, Изв. РАН, сер. физическая, 72, No.5, с. 693–696, 2008.
6. М.А. Андреева, Б. Линдгрен, Когерентная ядерно-резонансная спектроскопия в брэгговских отражениях: особенности, основные эффекты и применения к магнитным мультислоям, Препринт физфака МГУ, 2004, №4. 48 с.

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

  При чтении лекций используются презентации, оформленные в редакторе Power Point, слушатели обучаются пользованию программами модельных расчетов REFTIM и ASYM. Все программное обеспечение имеется.
- Описание материально-технической базы.

  Вся необходимая материально-техническая база имеется.

13. Язык преподавания. Русский

14. Преподаватель (преподаватели). Андреева Марина Алексеевна, д.ф.м.н., в.н.с., кафедра физики твердого тела.

Рабочая программа дисциплины
ВВЕДЕНИЕ В СТАТИСТИЧЕСКУЮ РЕНТГЕНОВСКУЮ ОПТИКУ
Автор д.ф.-м.н., профессор В.А.Бушуев

1. Название дисциплины: **Введение в статистическую рентгеновскую оптику**.

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки: 03.06.01 «Физика и Астрономия». Научная специальность **01.04.05, 01.04.07, 01.04.21, 05.13.18.**

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: курс относится к дисциплинам научной специальности вариативной части Блока 1, по результатам освоения которых обучающиеся сдают кандидатский экзамен по научной специальности.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

Формируемые компетенции ***(код компетенции)***	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**
УК-1	З1 (УК-1) **Знать** методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области статистической рентгеновской оптики. У1 (УК-1) **Уметь** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при исследовании взаимодействия излучения с веществом в рамках статистической рентгеновской опти-

	ки. В1 (УК-1) **Владеть** навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (физика конденсированного состояния, волновая рентгеновская оптика, статистическая оптика, дифракция рентгеновских лучей).
УК-3	З1 (УК-3) **Знать** особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах в области статистической рентгеновской оптики. У1 (УК-3) **Уметь** следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач в области статистической рентгеновской оптики. В1 (УК-3) **Владеть** навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в.т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах в обла-

	сти статистической рентгеновской оптики.
УК-5	З1 (УК-5) **Знать** содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда в сфере статистической рентгеновской оптики. У1 (УК-5) **Уметь** формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей в сфере статистической рентгеновской оптики. В1 (УК-5) **Владеть** приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач в сфере статистической рентгеновской оптики.
ОПК-1	**Знать** физические принципы основных методов исследования теории и практического использования принципов статистической рентгеновской оптики. **Уметь** применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования в области статистической рентгеновской оп-

	тики. **Владеть** методиками построения моделей, описывающих рентгено-оптические явления в рамках статистической рентгеновской оптики.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов*, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 6 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 6 часов индивидуальные консультации, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 60 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.*

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (знание основных уравнений волновой оптики).

8. Формат обучения: очный, дистанционное обучение не предусмотрено

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др*	**Всего**	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	**Всего**
Тема 1. Введение. Источники рентгеновского излучения (трубки, синхротроны, рентгеновские лазеры на свободных электронах). Их характеристики и области применения.	3	2					2	1		1
Тема 2. Регулярные и случайные процессы. Корреляционные и спектральные характеристики случайных процессов.	3	2					2	1		1
Тема 3. Теорема Винера-Хинчина. Статистическое усреднение и усреднение по времени.	3	2					2	1		1
Тема 4. Случайные поля.	5	2			2		4	1		1

Однородные и изотропные случайные электромагнитные поля.										
Тема 5. Спектры однородных и стационарных пространственно-временных случайных полей.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 6. Корреляционные функции. Рентгеновские пучки. Поперечная и продольная корреляция полей. Когерентность.	3	2					2	1		1
Тема 7. Полностью и частично когерентные поля. Коэффициент когерентности пучка. Пространственная и временная когерентность.	5	2				2	4	1		1
Тема 8. Методы измерения. Фурье спектроскопия. Дифракция случайных рентгеновских волн в кристаллах и многослойных периодических структурах.	3	2					2	1		1
Тема 9. Параболическое уравнение в теории дифракции. Приближение квазиоптики. Теорема Ван Циттерта-Цернике и ее более поздние обобщения.	5	2			2		4	1		1
Тема 10. Особенности влияния когерентных свойств излучения на брэгговскую дифракцию фемтосекундных	8	2	2				4	1	3	4

рентгеновских импульсов в кристаллах и многослойных структурах.										
Тема 11. Изменение функций пространственной и временной когерентности при дифракции ограниченных рентгеновских пучков и импульсов.	3	2					2	1		1
Тема 12. Режим self-seeding и его использования для повышения степени временной когерентности импульсного излучения рентгеновского лазера на свободных электронах.	3	2					2	1		1
Тема 13. Когерентная рентгеновская дифракция на трехмерных объектах, в том числе нанометровых биологических объектах.	3	2					2	1		1
Тема 14. Осевая рентгеновская голография, imaging и влияние когерентных свойств излучения на контраст рентгеновских изображений.	5	2			2		4	1		1
Тема 15. Проблема фазы и пути ее решения для реконструкции трехмерного строения исследуемых объектов. Примеры решения прямых и обратных задач.	12	2	2	2		2	8	1	3	4

Промежуточная аттестация								**36**		
Итого	**108**	30	6	2	6	4	**48**	51	9	**60**

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине.

Самостоятельная работа аспиранта проводится в виде выполнения практических самостоятельных работ (ПСР).

Текущий контроль осуществляется путем индивидуального обсуждения с преподавателем выполненного ПСР или путем групповой дискуссии в группе аспирантов при участии преподавателя.

Примеры типовых самостоятельных работ:

- вывести формулу для функции пространственной когерентности гауссова источника с произдольной длиной пространственной когерентностью в зависимости от расстояния до источника;
- построить графики зависимости длины пространственной когерентности в плоскости (ДПК) наблюдения как функцию ДПК источника при фиксированном расстоянии до источника;
- построить графики зависимости ДПК в плоскости наблюдения как функцию размера источника при фиксированных расстоянии до источника и ДПК источника;
- составить программу расчета изображения двух (трех) щелей при падении гауссова пучка с произвольными статистическими характеристиками;
- на примере поглощающего экрана с двумя щелями обсудить влияние пространственной и временной когерентности падающего излучения на контраст изображения щелей;
- провести сравнительный анализ влияния длины волны рентгеновского излучения и ДПК источника на формирование когерентного рентгеновского изображения нанообъектов.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

  Примеры практических контрольных заданий (ПКЗ).

Простые ПКЗ:

- что такое синхротронное излучения, его основные характеристики?;
- что такое пространственная и временная когерентность, функции когерентности?;
- как определяются длина и время когерентности?;
- дать определение спектральных характеристик случайных процессов?;
- в чем состоял опыт Юнга по определению пространственной когерентности:

Комплексные ПКЗ:

- нарисовать график зависимости длины пространственной когерентности от длины волны, от размера некогерентного источника, от расстояния до источника;
- что такое пропогатор свободного пространства, привести его явный вид?
- какими статистичесими характеристиками определяются частично-когерентные рентгеновские пучки и импульсы;
- как формируется изображение в схеме когерентной рентгеновской дифракции на нано объектах?;
- изобразить типичную схему для получения когерентных рентгеновских изображений в схеме “pump-and probe”;
- обосновать требования к статистическим параметрам пучком и импульсов для регистрации когерентных рентгеновских безлинзовых изображений;
- как связаны пространственная и временная когерентность?;
– в чем состоят особенности дифракции рентгеновских импульсов и пучков в совершенных кристаллах?

Вопросы и задания по курсу:

По теории:

1. Что такое корреляционная функция, коррелятор?
2. Что такое случайная функция, среднее значение, дисперсия?
3. Что такое спектральная мощность случайного процесса?
4. Как определяются однородные и изотропные случайные по-

ля?

5. Обоснуйте преимущества использования синхротронного излучения по сравнению с излучением рентгеновских трубок.
6. Что такое коэффициент когерентности рентгеновского пучка?
7. Каковы требования к источникам рентгеновского излучения для визуализации нанообъектов в методе рентгеновской безлинзовой микроскопии?
8. Как меняются когерентные свойства отраженных пучков и импульсов по сравнению со статистическими характеристиками излучения, падающего на кристалл или многослойную структуру?
9. Что такое функция Грина в задаче о распространении рентгеновского излучения в свободном пространстве?
10. В чем заключается теорема Винера-Хинчина и ее значение для проведения теоретических расчетов и проектирования экспериментов?.
11. Повторить вывод теоремы Ван Циттерта-Цернике на случай гауссова пучка с произвольной степенью пространственной когерентности.
12. Изложить процедуру восстановления фазы в методе рекурсивных фурье-преобразований интенсивности когерентных изображений.
13. Каковы требования к двухкоординатному детектору в методе когерентной рентгеновской дифракции (безлинзовый imaging)?
14. Что такое режим self-seeding и как он реализуется на практике?

По эксперименту:

1. Каковы требования к источникам излучения для регистрации когерентных изображений?
2. Изобразить схемы экспериментов по определению длины пространственной когерентности частично когерентного рентгеновского пучка.

3. Изобразить схему безлинзовой рентгеновской когерентной микроскопии?
4. Приведите примеры практического применения методов рентгеновской in-line голографии.
5. Каковы требования к спектральной ширине излучения рентгеновского источника в экспериментах по когерентной дифракции.
6. Даны размер некогерентного источника и длина волны. Оценить длину пространственной (поперечной) когерентности на заданном расстоянии.
7. Как выбрать размер входной щели для проведения экспериментов по когерентной дифракции с использованием рентгеновской трубки и синхротрона?
8. Привести схему для экспериментального наблюдения изображений в методе рентгеновской in-line голографии?
9. Обосновать требования к угловой апертуре координатного детектора и размерам пикселей для повышения пространственного разрешения визуализации трехмерного строения биологических молекул в схеме когерентной рентгеновской безлинзовой микроскопии?
10. Какова методика проведения эксперимента по сравнения рентгеновских когерентных изображений при различных расстояниях от объекта до детектора?

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

Презентации лекций раздаются обучающимся по окончании каждой лекции.

12. Ресурсное обеспечение:

- **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

- Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. // М.: Наука, 1981. 640 с.
- Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. // М.: Наука, 1976. с. 494.
- Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследова-

ния структуры вещества. // М.: Физматлит. 2007, 671 с.

- Бушуев В.А. Изменение функции пространственной когерентности при брэгговском отражении рентгеновского пучка. // Известия РАН. Сер. физическая. 2009. Т. 73. № 1. С. 56-60.
- Бушуев В.А. Влияние пространственной когерентности рентгеновского излучения на зеркальное отражение от многослойных зеркал. // Известия РАН. Сер. физическая. 2010. Т. 74. № 1. С. 47-52.
- Бушуев В.А., Самойлова Л. Влияние дифракции в кристаллах на когерентные свойства импульсов рентгеновского лазера на свободных электронах // Кристаллография. 2011. Т. 56. № 5. С. 876-885.

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

  При чтении лекций используются презентации, оформленные в редакторе Power Point, слушатели обучаются использованию компьютерных программ расчетов на языке FORTRAN. Все программное обеспечение имеется.

- Описание материально-технической базы.

  Вся необходимая материально-техническая база имеется.

13. Язык преподавания. Русский

14. Преподаватель (преподаватели). Бушуев Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор, кафедра физики твердого тела.

Рабочая программа дисциплины
РЕНТГЕНОВСКАЯ ФАЗОКОНТРАСТНАЯ ТОМОГРАФИЯ
Автор д.ф.-м.н., профессор В.А.Бушуев

1. Название дисциплины: **Рентгеновская фазоконтрастная томография**.
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки: 03.06.01 «Физика и Астрономия». Научная специальность **01.04.05, 01.04.07, 05.13.18.**
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: курс относится к дисциплинам научной специальности вариативной части Блока 1, по результатам освоения которых обучающиеся сдают кандидатский экзамен по научной специальности.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

Формируемые компетенции ***(код компетенции)***	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**
УК-1	З1 (УК-1) **Знать** методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов. У1 (УК-1) **Уметь** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши

	реализации этих вариантов при исследовании рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов. В1 (УК-1) **Владеть** навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (физика конденсированного состояния, волновая рентгеновская оптика, медико-биологические объекты).
УК-3	З1 (УК-3) **Знать** особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах в области теории и практики формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных слабопоглощающих объектов, в том числе медико-биологических объектов. У1 (УК-3) **Уметь** следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач в области

	формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов. В1 (УК-3) **Владеть** навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в.т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах в области теории и практики формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов. .
УК-5	З1 (УК-5) **Знать** содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда в сфере теории и практического применения формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов..

	У1 (УК-5) **Уметь** формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей в сфере теории и практического использования принципов формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов. В1 (УК-5) **Владеть** приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач в сфере теории и практического использования принципов формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов.
ОПК-1	**Знать** физические принципы основных методов исследования теории и практического использования принципов формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов.

	Уметь применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования в области формирования рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений различных объектов, в том числе медико-биологических объектов. **Владеть** методиками построения моделей, описывающих рентгено-оптические явления при получении рентгеновских абсорбционных и фазоконтрастных изображений слабопоглощающих объектов.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов*, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 6 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 6 часов индивидуальные консультации, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 60 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.*

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (знание основных уравнений волновой оптики).

8. Формат обучения: очный, дистанционное обучение не предусмотрено

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Введение. Основные сведения об особенностях взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Источники рентгеновского излучения (трубки, синхротроны, накопительные кольца, рентгеновский лазер на свободных электронах).	3	2					2	1		1
Тема 2. Методы визуализации внутреннего строения объектов. Рентгеновская просвечивающая радиография и томография. Особенности поглощения в медико-биологических объектах. Доза поглощенного ионизирующего излучения. Едини-	3	2					2	1		1

цы измерения доз.										
Тема 3. Метод рентгеновского фазового контраста (прямые задачи). История открытия метода. Основные сведения из динамической теории дифракции рентгеновских лучей. Кривые отражения и прохождения.	3	2					2	1		1
Тема 4. Фаза рентгеновской волны и ее изменение при прохождении через объект. Схемы регистрации изображений в методе рентгеновского фазового контраста.	5	2			2		4	1		1
Тема 5. Понятие рабочей точки на кривой отражения. Роль кристалла-монохроматора и кристалла-анализатора в формировании рентгеновских фазоконтрастных изображений.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 6. Дифракция ограниченного рентгеновского пучка с неоднородным распределением интенсивности и фазы. Метод Фурье-разложения. Функция Грина.	3	2					2	1		1
Тема 7. Приближение геометрической оптики (рефракционный контраст). Рентгеновские фазоконтрастные изображения модельных объектов (нить, капилляр, призма, пластинка). Приближение фазового объ-	5	2				2	4	1		1

екта.										
Тема 8. Осевая (*in-line*) рентгеновская голография. Метод Кирхгофа. Угловой спектр плоских волн. Области дифракции Френеля и дифракции Фраунгофера.	3	2					2	1		1
Тема 9. Параболическое уравнение в теории дифракции. Приближение квазиоптики. Ограничения на размеры объектов. Влияние угловой расходимости и пространственного разрешения координатного детектора.	5	2			2		4	1		1
Тема 10. Влияние временной и пространственной когерентности падающего излучения на контраст получаемых рентгеновских томографических изображений.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 11. Рентгеновская фазоконтрастная томография (обратные задачи). Восстановление трехмерного строения объекта в методе абсорбционной рентгеновской интроскопии.	3	2					2	1		1
Тема 12. Теория фурье-преобразований. Решение обратной задачи в методе рентгеновской фазоконтрастной томографии.	3	2					2	1		1
Тема 13. Фазовая проблема и пути ее решения в методе рентгеновского фазового	3	2					2	1		1

контраста. Дифференциальные уравнения переноса интенсивности ограниченных пучков.										
Тема 14. Влияние статистических ошибок и аппаратурных факторов на качество и однозначность реконструкции рентгеновских фазоконтрастных изображений.	5	2			2		4	1		1
Тема 15. Примеры реконструкции рентгеновских фазоконтрастных изображений простейших модельных объектов. Анализ возникающих при этом задач и проблем.	12	2	2	2		2	8	1	3	4
Промежуточная аттестация								**36**		
Итого	**108**	30	6	2	6	4	**48**	51	9	**60**

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине.

Самостоятельная работа аспиранта проводится в виде выполнения практических самостоятельных работ (ПСР).

Текущий контроль осуществляется путем индивидуального обсуждения с преподавателем выполненного ПСР или путем групповой дискуссии в группе аспирантов при участии преподавателя.

Примеры типовых самостоятельных работ:

- построить абсорбционное изображение плоской пластинки с двумя сильно поглощающими объектами разного размера;
- провести анализ вида кривых дифракционных отражений при различных значениях фактора асимметрии;
- провести анализ влияния длины волны рентгеновского излучения и порядка отражения на форму и ширину кривых дифракционного отражения от совершенных кристаллов;
- построить рентгеновские фазоконтрастные изображения пластинки, нити, трубки, призмы;

- на примере поглощающего экрана с двумя щелями обсудить влияние пространственной и временной когерентности падающего излучения на контраст изображения щелей;
- провести сравнительный анализ влияния длины волны рентгеновского излучения на формирование абсорбционного и фазоконтрастного изображения.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

Примеры практических контрольных заданий (ПКЗ).

Простые ПКЗ:

- какова зависимость декремента преломления и коэффициента поглощения от длины волны?;
- как длина волны и порядок отражения влияют на ширину кривой дифракционного отражения в геометрии Брэгга?;
- в чем состоят преимущества положения рабочей точки на склоне кривой дифракционного отражения?;
- почему фазовый контраст является более чувствительным, чем абсорбционный контраст?;
- нарисовать схемы экспериментов по регистрации фазоконтрастных изображений в геометриях брэгга и Лауэ:

Комплексные ПКЗ:

- построить абсорбционное и фазоконтрастное изображение пластинки конечной толщины;
- построить абсорбционное и фазоконтрастное изображение призмы, нити и цилиндра;
- определить размеры и трехмерное строение ряда модельных объектов;
- привести фазоконтрастные изображения ряда модельных объектов при различных положениях рабочей точки;
- нарисовать схему двухкристального рентгеновского спектрометра и обосновать требования к рентгенооптическим элементам для повышения чувствительности и пространственного разрешения метода рентгеновского фазового контраста;

- обосновать требования к толщине кристалла-анализатора в случае Лауэ при наличии s- и p-поляризаций в падающем излучении;
- построить фазоконтастное изображение сложного (составного) объекта (нить в призме, цилиндр в пластине и т.п.);
– указать критерий применимости лучевой оптики исходя из общих формул для волновой оптики.

Вопросы и задания по курсу:

По теории:

1. Что такое абсорбционный контраст?
2. Что такое томография?
3. Что такое фазоконтрастная томография?
4. Изобразите схему эксперимента для регистрации абсорбционного и фазового контраста.
5. Обоснуйте преимущества выбора рабочей точки на краю кривой дифракционного отражения.
6. Чем определяется пространственное разрешение в методе рентгеновского фазового контраста.
7. Каковы требования к источнику рентгеновского излучения?
8. Каковы требования к кристаллу-монохроматору и кристаллу-анализатору?
9. Что такое функция Грина в задаче о распространении рентгеновского излучения в свободном пространстве?
10. Обосновать диапазон энергий, наиболее предпочтительный для рентгеновской фазоконтрастной томографии.
11. Как происходит формирование рефракционного изображения?.
12. В чем состоит отличие рефракционного изображения от фазоконтрастного?.
13. Каковы требования к двухкоординатному детектору в методе рентгеновской томографии?
14. Каковы требования к дозам радиации в методах рентгеновской интроскопии и томографии?

По эксперименту:

1. Каковы требования к кристаллу-монохроматору?
2. Изобразить схемы экспериментов в геометриях Брэгга и Ла-

уэ.

3. Каковы требования к мощности рентгеновских источников?.
4. Приведите примеры практического применения методов абсорбционного и фазового контраста.
5. Опишите методы регистрации изображений в рентгеновской оптике.
6. Даны размер некогерентного источника и длина волны. Оценить длину пространственной (поперечной) когерентности на заданном расстоянии.
7. Как выбрать коэффициент асимметрии отражения от кристалла-анализатора для повышения пространственного разрешения?
8. Как выбрать коэффициент асимметрии отражения от кристалла-анализатора для повышения величины фазового контраста?
9. К каким последствиям приводит температурная нестабильность положения кристалла-анализатора?
10. Какова методика проведения эксперимента по сравнения рентгеновских фазоконтрастных изображений при различных положения рабочей точки на кривой дифракционного отражения?

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

Презентации лекций раздаются обучающимся по окончании каждой лекции.

12. Ресурсное обеспечение:

- **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

- Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии. // М.: Мир, 1990. 288 с.
- Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии. // М.: Мир, 1983. 352 с.
- Бушуев В.А., Кузьмин Р.Н. Вторичные процессы в рентгеновской оптике. // М.: МГУ. 1990. с. 3-32, 56-61.
- Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. // Москва, Наука. 1990. с. 239-262.
- Каули Дж. Физика дифракции. // Москва. Мир: 1979. 431 с.

- Бушуев В.А. Динамическая дифракция ограниченных пучков рентгеновского излучения. // Препринт физического факультета МГУ (учебное пособие), 1998. N 14/1998, 12. с.
- Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., Тимонов А.А. Математические задачи компьютерной томографии. // М.: Наука, 1987. 160 с.
- Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач, // М.: Наука, 1990. 232 с.
- Бушуев В.А., Ингал В.Н., Беляевская Е.А. Волновая теория рентгеновской фазоконтрастной интроскопии // Кристаллография. 1998. Т. 43. N 4. С. 586-595.
- Бушуев В.А., Сергеев А.А. Решение обратной задачи реконструкции изображений в методе рентгеновского фазового контраста // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2000. N 9. С. 48-52.
- Бушуев В.А. Интроскопия - новый поворот. // Наука в России. 2002. N 3. С. 19-24.

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

  При чтении лекций используются презентации, оформленные в редакторе Power Point, слушатели обучаются использованию компьютерных программ расчетов на языке FORTRAN. Все программное обеспечение имеется.

- Описание материально-технической базы.

  Вся необходимая материально-техническая база имеется.

13. Язык преподавания. Русский

14. Преподаватель (преподаватели). Бушуев Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор, кафедра физики твердого тела.

Рабочая программа дисциплины
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Авторы д.ф.-м.н., профессор А.С.Илюшин,
к.ф.-м.н., доцент В.В.Ржевский

1. Название дисциплины: **Электрический транспорт в конденсированных средах**

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки: 03.06.01 «Физика и Астрономия». Научная специальность **01.04.07, 01.04.09, 01.04.10, 01.04.11.**

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: курс относится к дисциплинам научной специальности вариативной части Блока 1, по результатам освоения которых обучающиеся сдают кандидатский экзамен по научной специальности.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

Планируемые результаты по дисциплине заполняются согласно картам компетенций:

Формируемые компетенции ***(код компетенции)***	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**
УК-1	З1 (УК-1) **Знать** методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области физики электронного транспорта в конденсированных средах различной природы. У1 (УК-1) **Уметь** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических за-

	дач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при исследовании электронного транспорта в конденсированных средах. В1 (УК-1) **Владеть** навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (электронный транспорт, фуллериды, мезоскопические системы, наноструктуры).
УК-3	З1 (УК-3) **Знать** особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах в области физики электронного транспорта в конденсированных средах. У1 (УК-3) **Уметь** следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач в области физики электронного транспорта в конденсированных средах. В1 (УК-3) **Владеть** навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в.т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по реше-

	нию научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах в области физики электронного транспорта в конденсированных средах.
УК-5	З1 (УК-5) **Знать** содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда в сфере исследования электронного транспорта в конденсированных средах. У1 (УК-5) **Уметь** формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей в сфере исследований физики электронного транспорта в конденсированных средах. В1 (УК-5) **Владеть** приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач в сфере исследований физики электронного транспорта в конденсированных средах .
ОПК-1	**Знать** физические принципы основных методов исследования элек-

	тронного транспорта в конденсированных средах различной природы. **Уметь** применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования физики электронного транспорта в конденсированных средах.. **Владеть** методиками построения моделей, описывающих свойства электронного транспорта в конденсированных средах различной природы.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов*, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 6 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 6 часов индивидуальные консультации, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 60 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.*

Форма отчетности <u>зачет с оценкой</u>.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Предполагается, что слушатели знакомы со следующими дисциплинами: общая физика, квантовая теория, физика твердого тела.

8. Формат обучения: очный, дистанционное обучение не предусмотрено

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготов-ка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Введение. Основные понятия. Механизмы проводимости частиц и квазичастиц. Формула Друдэ. Формула Кубо.	3	2					2	1		1
Тема 2. Квазичастичное туннелирование под барьерами. Туннельная прозрачность неупорядоченных систем.	3	2					2	1		1
Тема 3. Сверхпроводящий поток в сверхпроводниках. Параметр порядка Гинзбурга-Ландау.	3	2					2	1		1
Тема 4. Новые подходы в физике сверхпроводимости:	5	2			2		4	1		1

Андреевское отражение и сверхпроводящий ток.										
Тема 5. Новые подходы в физике сверхпроводимости: Обобщение теории аналогичной БКШ для сверхпроводимости фуллеридов.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 6. Сопротивление высокотемпературных сверхпроводников. Формула Блоха-Грюнайзена.	3	2					2	1		1
Тема 7. Скачкообразные токи в разбавленных электронных системах. Локализация П.В. Андерсона.	5	2				2	4	1		1
Тема 8. Скачкообразные токи в разбавленных электронных системах. Модель И.М. Лифшица.	3	2					2	1		1
Тема 9. Раздельное распространение спина и заряда в 1D металлах (жидкость Латтинджера).	5	2			2		4	1		1
Тема 10. Сильно коррелированные системы. Переход Н.Мотта металл - изолятор.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 11. Электронный транспорт в графене. Формула проводимости Ландауэра.	3	2					2	1		1
Тема 12. Гигантское магне-	3	2					2	1		1

тосопротивление. Поток спинов в слоистых магнетиках.										
Тема 13. Спин-транспортная электроника (спинтроника). Модель Слончевского.	3	2					2	1		1
Тема 14. Связь нейтронной, фотоэмиссионной и инфракрасной спектроскопий с исследованием транспортных свойств конденсированных сред.	5	2			2		4	1		1
Тема 15. Квантовый транспорт в наноструктурах и мезоскопических системах. Обобщенная формула проводимости Ландауэра-Буттикера. Измерительные системы.	12	2	2	2		2	8	1	3	4
Промежуточная аттестация								**36**		
Итого	**108**	30	6	2	6	4	**48**	51	9	**60**

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине.

Самостоятельная работа аспиранта проводится в виде выполнения практических самостоятельных работ (ПСР).

Текущий контроль осуществляется путем индивидуального обсуждения с преподавателем выполненного ПСР или путем групповой дискуссии в группе аспирантов при участии преподавателя.

Пример типовых заданий для ПСР и методические рекомендации к их выполнению.

1. Вывести закон дисперсии элементарных возбуждений идеального квантового Ферми газа вблизи основного состояния.

Убедиться, что элементарному возбуждению Ферми газа соответствует возникновение двух квазичастиц , электрона и дырки, с линейным законом дисперсии. Построить график зависимости энергии от импульса квазичастиц.

2. Проанализировать соотношение Эйнштейна между коэффициентами проводимости и диффузии:

а). Для классического идеального Больцмановского газа.

б). С учетом квантовой корреляции для ферми- и бозе-частиц.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- тестирование;
- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;

- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),

- нахождение ошибок в последовательности (определить правильный вариант последовательности действий);

- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.

- задания на принятие решения в нестандартной ситуации (ситуации выбора, многоальтернативности решений, проблемной ситуации);

- задания на оценку последствий принятых решений;

- задания на оценку эффективности выполнения действия.

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций. Пример.

  Вопросы и задания по курсу:

  1. Что такое квазичастицы? Условия введения квазичастиц.
  2. Формула Друдэ для удельной проводимости металлов.
  3. Особенности проводимости микроконтактов Шарвина.
  4. Кинетическое уравнение Больцмана. Почему возможно линеаризовать уравнение Больцмана в металлах?
  5. Формула проводимости Кубо.
  6. Когда кинетическое уравнение Больцмана и формула проводимости Кубо не подходят для описания распространения потока электронов?
  7. Особенности сверхпроводящего тока в сверхпроводниках. Параметр порядка Гинзбурга-Ландау.
  8.Что такое Андреевское отражение на границе нормальный металл-сверхпроводник?
  9. Структура фуллеридов. Как происходит "металлизация" фуллеридов?
  10. Основные положения обобщенной теории сверхпроводимости, аналогичной БКШ, для фуллеридов.

11. Приведите график зависимости удельного сопротивления от дырочного допирования для высокотемпературного сверхпроводника La(2-x)Str(x)CuO4.

12.Что такое локализация Андерсона? Её отличие от локализации в модели Лифшица.

13.Концепция минимальной металлической проводимости.

14.Поясните суть эффекта гигантского магнетосопротивления в слоистых магнетиках.

15.Модели передачи спина электронным током Слончевского и Гуляева.

16. Баллистический транспорт и квантование проводимости в квантовых нитях.

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения.

Презентации лекций. Раздаются обучающимся по окончании каждой лекции.

12. Ресурсное обеспечение:

- **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

1. И.М.Лифшиц, М.Я.Азбель., М.И.Каганов, Электронная теория металлов. М.: Наука, 1971
2. P.B.Allen, Electron transport. In: Conceptual foundations of materials, Eds. S.G.Louie, M. L.Cohen, Elsevier, 2006
3. И.Имри Введение в мезоскопическую физику. М.,-Физматлит, 2004

4. И.М.Лифшиц, Избранные труды. Физика реальных кристаллов и неупорядоченных систем. - М.: Наука, 1987

5. E. Matsushita, Progress of Theoretical Physics, **125**, no.5, 1021, 2011

6. А.С. Илюшин, А.П. Орешко, Дифракционный структурный анализ, М.: Физический факультет МГУ, 2013

7. В.В. Ржевский, Динамика сложных систем, **3**, №4, 29, 2009

- **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Сайт журнала «Квантовая электроника» http://www.quantum-

electron.ru/

2. Сайт журнала «Физика твердого тела» http://journals.ioffe.ru/ftt/

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

  Для сопровождения лекций используется программа Microsoft Power Point.

- Описание материально-технической базы.

  В качестве технического обеспечения учебного процесса используется, мультимедийный проектор, доска.

  Проведение контрольных работ и зачета обеспечивается печатным материалом.

13. Язык преподавания. Русский.

14. Преподаватели. Илюшин А.С., профессор, доктор физ.-мат. наук, кафедра физики твердого тела, Ржевский В.В., доцент, канд. физ.-мат. наук, кафедра физики твердого тела

Рабочая программа дисциплины
ТЕОРЕТИКО-ГРУППОВЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД
Автор д.ф.-м.н., профессор Е.Н.Овчинникова

1. Название дисциплины: **Теоретико-групповые методы в исследованиях структуры и свойств конденсированных сред**.
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки: 03.06.01 «Физика и Астрономия». Научная специальность **01.01.03, 01.04.02, 01.04.07, 01.04.09, 01.04.10, 01.04.11.**
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: курс относится к дисциплинам научной специальности вариативной части Блока 1, по результатам освоения которых обучающиеся сдают кандидатский экзамен по научной специальности.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

Формируемые компетенции ***(код компетенции)***	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**
УК-1	З1 (УК-1) **Знать** методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при использовании методов теории групп для решения задач физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом. У1 (УК-1) **Уметь** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при

	использовании методов теории групп для решения задач физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом. В1 (УК-1) **Владеть** навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (физика конденсированного состояния, взаимодействие излучения с веществом).
УК-3	З1 (УК-3) **Знать** особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах в области использования методов теории групп для решения задач физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом.. У1 (УК-3) **Уметь** следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач в области физики конденсированного состояния, взаимодействия излучения с веществом с применением методов теории групп. В1 (УК-3) **Владеть** навыками анализа основных мировоззренческих

	и методологических проблем, в.т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах в области физики конденсированного состояния, взаимодействия излучения с веществом с применением методов теории групп..
УК-5	З1 (УК-5) **Знать** содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда в сфере физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом. У1 (УК-5) **Уметь** формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей в сфере использования методов теории групп для решения задач физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом. В1 (УК-5) **Владеть** приемами и технологиями целеполагания, це-

	лереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач в сфере использования методов теории групп для решения задач физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом
ОПК-1	**Знать** физические принципы основных методов в теории групп для решения задач физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом **Уметь** применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования для решения задач физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом. **Владеть** методиками построения моделей, описывающих метододы теории групп для решения задач физики конденсированного состояния и взаимодействия излучения с веществом.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов*, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 6 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 6 часов индивидуальные консультации, 2 часа мероприятия текущего*

контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 60 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.

Форма отчетности <u>зачет с оценкой</u>.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

8. Формат обучения: очный, дистанционное обучение не предусмотрено

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
Тема 1. Определение группы. Примеры групп. Изоморфное и гомоморфное отображение. Подгруппы. Сопряженные элементы и классы. Прямое произведение групп. Примеры классов.	3	2					2	1		1

Тема 2. Группа вращений. Полная ортогональная группа. Евклидова группа.	3	2					2	1		1
Тема 3. Кристаллографическая симметрия. Операции точечной группы и их обозначения. Элементы симметрии. Теорема Эйлера. Перечисление точечных групп.	3	2					2	1		1
Тема 4. Группы трансляций. Сингонии и решетки Бравэ. Операции симметрии с трансляциями. Произведение операций симметрии. Пространственные группы как расширение точечных групп.	5	2			2		4	1		1
Тема 5. Фундаментальный метрический тензор. Обратное пространство. Связь симметрии прямого и обратного пространства.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 6. Линейные векторные пространства. Линейные операторы. Умножение и преобразование операторов. Сопряженные операторы, унитарные и эрмитовы операторы.	3	2					2	1		1
Тема 7. Представления группы. Матричные представления. Приводимые и неприводимые представления. Эквивалентные представления. Свойства ортогональности неприводимых представлений. Характеры представлений.	5	2				2	4	1		1

Критерий неприводимости. Число неэквивалентных неприводимых представлений. Леммы Шура. Соотношения ортогональности.										
Тема 8. Ортогональность базисных функций неприводимых представлений. Прямое произведение представлений. Проекционные операторы. Разложение представления на неприводимые. Теорема Вигнера-Эккарта.	3	2					2	1		1
Тема 9. Неприводимые представления точечных групп и групп трансляций. Представления пространственных групп. Электронные состояния в периодическом потенциале. Колебания решетки.	5	2			2		4	1		1
Тема 10. Расщепление уровней в кристаллических полях. Построение собственных функций для кристаллов различной симметрии. Однозначные и двузначные представления.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 11. Роль симметрии в молекулярных колебаниях. Нормальные моды колебаний. Колебательные уровни. Инфракрасные спектры поглощения и спектры комбинационного рассеяния молекул. Эффект Яна-Теллера и спонтанное нарушение симметрии.	3	2					2	1		1

Тема 12. Симметрия тензоров в кристаллах. Внешняя и внутренняя симметрия. Соотношения дуальности. Определение числа независимых компонент тензоров.	3	2					2	1		1
Тема 13. Антисимметрия. Группы магнитной симметрии. Шубникование группы. Тензоры, определенные на расширенной ортогональной группе. Пьезомагнитный и магнитоэлектрический эффекты.	3	2					2	1		1
Тема 14. Обобщенная симметрия. Группы цветной симметрии. Многомерные группы и группы суперсимметрии. Симметрия квазикристаллов.	5	2			2		4	1		1
Тема 15. Проявление симметрии кристаллов в дифракционных методах. Группы Лауэ. Симметрия пространства Фурье. Симметрия тензора поляризуемости. Эффекты анизотропии в резонансных дифракционных методах.	12	2	2	2		2	8	1	3	4
Промежуточная аттестация								**36**		
Итого	**108**	30	6	2	6	4	**48**	51	9	**60**

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине.

Самостоятельная работа аспиранта проводится в виде выполнения практических самостоятельных работ (ПСР).

Текущий контроль осуществляется путем индивидуального обсуждения с преподавателем выполненного ПСР или путем групповой дискуссии в группе аспирантов при участии преподавателя.

Примеры типовых самостоятельных работ:

- построить таблицу умножения группы 4m, определить число подгрупп, число классов;
- построить таблицу неприводимых представлений группы 4m;
- построить таблицу характеров неприводимых представлений группы 4m;
- построить прямое произведение двух неприводимых представлений и разложить его на неприводимые;
- определить число независимых компонент тензора диэлектрической проницаемости в группе 4m;
- определить законы погасаний при дифракции рентгеновского излучения в кристалле с симметрией Fd3m.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

  Примеры практических контрольных заданий (ПКЗ).

  Простые ПКЗ:

  - перечислить подгруппы группы 4m;
  - показать, что кристаллографические группы не могут содержать оси 5 порядка;
  - сколько сингоний и решеток Бравэ существует в двумерном случае?
  - что называется представлением группы?
  - что такое группы Лауэ?

  Комплексные ПКЗ:

  - дана двумерная решетка элементарной ячейкой которой является ромб, острый угол которого 60° . Построить обратную решетку и первую зону Бриллюэна;
  - имеется ось симметрии шестого порядка, к ней добавляют плоскость симметрии, параллельную оси, и центр симметрии. Определить полный набор элементов симметрии и класс симметрии;

- определить все элементы симметрии, возникающие в примитивной ячейке в результате взаимодействия винтовой оси 2, совпадающей с осью y, и плоскости симметрии m, проходящей перпендикулярно оси 2 на высоте y=1/4. Указать, как расположены элементы симметрии и каковы координаты точек общей правильной системы;
- показать, что решетка, обратная гранецентрированной, является объемноцентрированной;
- определить число независимых компонент антисимметриного тензора третьего ранга в группе 3m;
- построить прямое произведение двух представлений в группе 3m и разложить его на неприводимые;
- построить базисные функции векторного представления Pn3m для звезды k=0;
– определить законы погасаний для группы Fd3m;

Вопросы и задания по курсу:

По теории:

1. Что такое группа?
2. Что такое подгруппа, смежные классы, класс?
3. Каковы элементы точечных кристаллографических групп?
4. В чем состоит теорема Эйлера о взаимодействии элементов симметрии?
5. Сколько существует трансляционных групп?
6. Что такое представление группы?
7. Как разложить представление группы на неприводимые?
8. Как связана симметрия физического свойства с симметрией структуры?
9. Как преобразуются компоненты векторов и псевдовекторов?
10. Как проявляется симметрия кристаллов в дифракционных методах?
11. Какова связь симметрии прямого и обратного пространства?
12. Что такое запрещенные отражения?
13. Объясните особенности тензора поляризуемости в рентгеновском диапазоне частот.

14. В чем причина появления «запрещенных» отражений?

Упражнения:

1. Составьте таблицу умножения для заданной группы симметрии.
2. В заданной группе выделите подгруппы, смежные классы.
3. Определите число независимых компонент материального тензора в заданной группе симметрии.
4. Составьте таблицу характеров точного векторного представления заданной группы.
5. Опишите методы построения прямого произведения групп?
6. Как построить прямое произведение матричных представлений?
7. Как рассчитать структурный фактор для кристалла заданной симметрии?
8. В чем состоит различие законов преобразований электрического и магнитного векторов?
9. Постройте тензор, дуальный вектору.

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

Презентации лекций раздаются обучающимся по окончании каждой лекции.

12. Ресурсное обеспечение:

- **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**
- **Основная литература**

- Ю.И.Сиротин, М.П.Шаскольская. Основы кристаллофизики. М., «Наука», 1975.
- Дж.Эллиот, П.Добер, Симметрия в физике, т.I, II, ``Мир", 1983.
- М.Хамермеш. Теория групп и ее применение к физическим проблемам. М., «Мир», 1966.
- Д.М. Васильев. Физическая кристаллография. М., Изд-во «Металлургия», 1972.
- Ю.А.Изюмов, В.Е.Найш, Р.П.Озеров. Нейтронография магнетиков. М., Атомиздат, 1981.
- Ю.А.Изюмов, В.Н.Сыромятников. Фазовые переходы и сим-

метрия кристаллов. М, «Наука», 1984.

- **Дополнительная литература**
  - М.А.Наймарк. Теория представлений групп, М., «Наука», 1976.
  - Э.Э.Лорд, А.Л.Маккей, С.Ранганатан. Новая геометрия для новых материалов. М., ФИЗМАТЛИТ, 2010.
  - А.С.Илюшин, Е.Н.Овчинникова. Теоретико-групповые методы в дифракционных исследованиях структуры и свойств твердых тел. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1996.
- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

  При чтении лекций используются презентации, оформленные в редакторе Power Point, слушатели обучаются пользованию программами визуализации кристаллических структур (DIAMOND, VESTA). Все программное обеспечение имеется.
- Описание материально-технической базы.

  Вся необходимая материально-техническая база имеется.

13. Язык преподавания. Русский

14. Преподаватель (преподаватели). Овчинникова Елена Николаевна, д.ф.м.н., профессор, кафедра физики твердого тела.

Рабочая программа дисциплины
РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД
Автор д.ф.-м.н., доцент А.П.Орешко

1. Название дисциплины: **Радиационная физика конденсированных сред**

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки: 03.06.01 «Физика и Астрономия». Научная специальность **01.04.04, 01.04.07, 01.04.10, 01.04.11, 01.04.20**

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: курс относится к дисциплинам научной специальности вариативной части Блока 1, по результатам освоения которых обучающиеся сдают кандидатский экзамен по научной специальности.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

Формируемые компетенции ***(код компетенции)***	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**
УК-1	З1 (УК-1) **Знать** методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области радиационной физики конденсированных сред. У1 (УК-1) **Уметь** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при исследовании взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.

	В1 (УК-1) **Владеть** навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (физика конденсированного состояния, полупроводники, металлы, диэлектрики, органические соединения, полимеры).
УК-3	З1 (УК-3) **Знать** особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах в области радиационной физики конденсированных сред. У1 (УК-3) **Уметь** следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач в области радиационной физики конденсированных сред. В1 (УК-3) **Владеть** навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в.т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах в области радиационной физики конден-

	сированных сред.
УК-5	З1 (УК-5) **Знать** содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда в сфере радиационной физики конденсированных сред.. У1 (УК-5) **Уметь** формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей в сфере радиационной физики конденсированных сред. В1 (УК-5) **Владеть** приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач в сфере радиационной физики конденсированных сред.
ОПК-1	**Знать** физические принципы основных методов исследования радиационных эффектов в конденсированных средах. **Уметь** применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования радиационных эффектов в конденсированных средах.

	Владеть методиками построения моделей, описывающих радиационные эффекты в конденсированных средах.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов*, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 6 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 6 часов индивидуальные консультации, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 60 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.*

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

8. Формат обучения: очный, дистанционное обучение не предусмотрено

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Введение. Взаимодействие излучения с веществом. Упругое взаимодействие двух тел. Основы рассеяния релятивистских частиц.	3	2					2	1		1
Тема 2. Основы квантового описания рассеяния. Влияние кристаллической решетки на процессы упругого взаимодействия. Действие облучения на материалы.	3	2					2	1		1
Тема 3. Процессы образования радиационных центров в полупроводниках. Взаимодействие проникающих излучений с полупроводниками. Количественная оценка полного числа смещений в объеме полупроводника при облучении.	3	2					2	1		1
Тема 4. Механизм образования и физическая природа термически стабильных радиационных дефектов в полупроводниках.	5	2			2		4	1		1

Роль исходного состояния кристалла. Свойства радиационных центров в полупроводниках.										
Тема 5. Свойства радиационных центров в полупроводниках. Изменение основных электрофизических параметров полупроводников при облучении. Процессы отжига радиационных центров в полупроводниках.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 6. Радиационные эффекты в металлах и сплавах. Опыты с облучением вещества. Радиационный рост и радиационное распухание материалов. Радиационно-ускоренные процессы и индуцированные превращения.	3	2					2	1		1
Тема 7. Радиационное упрочнение и охрупчивание. Релаксация напряжений.	5	2				2	4	1		1
Тема 8. Влияние излучения на физические свойства металлов и сплавов.	3	2					2	1		1
Тема 9. Влияние излучения на электрическое сопротивление металлов и сплавов. Влияние излучения на коэффициент термического расширения металлов и сплавов.	5	2			2		4	1		1
Тема 10. Влияние излучения на органические соединения. Ковалентные связи органических соединений. Радиационное разру-	8	2	2				4	1	3	4

шение органических соединений.										
Тема 11. Механизм воздействия различных видов радиации на органические соединения. Закономерности процесса радиолиза. Влияние излучения на полимеры. Сшивание. Деструкция. Установление влияния мощности дозы излучения.	3	2					2	1		1
Тема 12. Упорядочение структуры кристаллов при воздействии ионизирующего излучения.	3	2					2	1		1
Тема 13. Тепловые колебания атомов кристаллической решетки. Миграция точечных дефектов. Вакансии и междоузельные атомы. Аннигиляция вакансий и междоузельных атомов. Образование сложных ассоциаций дефектов. Распад скоплений дефектов.	3	2					2	1		1
Тема 14. Изменение структуры металлов и сплавов при облучении малыми дозами ионизирующего излучения.	5	2			2		4	1		1
Тема 15. Зависимость удельного сопротивления материалов от дозы ионизирующего излучения. Измерение количества дефектов методом измерения удельного электрического со-	12	2	2	2		2	8	1	3	4

противления. Уменьшение концентрации дефектов при облучении малыми дозами ионизирующего излучения.										
Промежуточная аттестация								**36**		
Итого	**108**	30	6	2	6	4	**48**	51	9	**60**

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине.

самостоятельная работа аспиранта проводится в виде выполнения практических самостоятельных работ (ПСР).

Текущий контроль осуществляется путем индивидуального обсуждения с преподавателем выполненного ПСР или путем групповой дискуссии в группе аспирантов при участии преподавателя.

<u>Примеры типовых заданий для ПСР:</u>

1. Получение формулы Резерфорда для упругого рассеяния заряженных частиц.
2. Ионизация атомов среды при облучении ускоренными заряженными частица-ми.
3. Отражение заряженных частиц от облучаемой поверхности.
4. Черенковское излучение. Переходное излучение.
5. Различные факторы, влияющие на коэффициент ионного распыления.
6. Особенности распыления кристаллов.
7. Блистеринг и флекинг.
8. Примеры образования дефектных структур при ионном облучении.
9. Механизмы усиления массопереноса при мощном импульсном воздействии.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине.

Для оценивания результатов обучения в виде <u>знаний</u> используются следующие процедуры и технологии:

- тестирование;
- индивидуальное собеседование,

- письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;
- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- нахождение ошибок в последовательности (определить правильный вариант последовательности действий);
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.
- задания на принятие решения в нестандартной ситуации (ситуации выбора, многоальтернативности решений, проблемной ситуации);
- задания на оценку последствий принятых решений;
- задания на оценку эффективности выполнения действия.

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

Вопросы и задания по курсу:

По теории:

1. Назовите основные характеристики описания процесса взаимодействия излучение – твердое тело?
2. Какие виды сечений рассеяния используют для описания взаимодействия излучения с веществом?
3. Какие основные процессы происходят при воздействии заряженных частиц на твердое тело?
4. Каковы условия и критерии применимости классического, квантового и релятивистского описания взаимодействия?
5. В чем разница упругих и неупругих процессов взаимодействия?
6. Какие законы сохранения используют для описания “самопроизвольного” распада частиц и упругих столкновений двух тел?
7. Как оценить максимальную передаваемую энергию в классическом случае?
8. В чем принципиальное отличие для максимальной передаваемой энергии в релятивистском случае?
9. Каким уравнением описывается траектория движения частицы в центрально-симметричном поле?
10. Как определяется минимальное расстояние сближения двух взаимодействующих частиц?
11. Какие потенциалы позволяют получать аналитическое решение характеристик взаимодействия двух тел?
12. Чем определяется выбор потенциалов ион-ионного взаимодействия?
13. Какие приближенные потенциалы взаимодействия используют для описания рассеяния?
14. Каковы условия выбора приближенного потенциала взаимодействия?
15. Какие приближенные методы используют для решения класси-

ческой задачи взаимодействия частиц?

16. Как строится диаграмма рассеяния в релятивистском случае?
17. В чем суть метода парциальных волн при описании рассеяния квантовых частиц?
18. Каковы основные допущения кинематической теории рассеянии квантовых частиц?
19. Назовите основные свойства обратной решетки?
20. Как записывается условие дифракции (закон Вульфа–Брэгга)?
21. Что такое структурный множитель интенсивности?
22. Как влияют тепловые колебания решетки на рассеяние?
23. Что такое эффект каналирования и блокировки?
24. Какие виды каналирования возможны в твердом теле?
25. Каковы необходимые условия образования радиационных дефектов при малых энергиях ПВА?
26. В чем суть эффекта простой фокусировки?
27. Назовите условие реализации дополнительной фокусировки?
28. Что такое пороговая энергия радиационного повреждения?
29. Каковы основные допущения модели Кинчина–Пиза?
30. Как рассчитывается каскадная функция в модели Кинчина–Пиза?
31. Как оценить степень радиационного повреждения материалов?
32. Какие типы каскадов возможны при облучении твердых тел?
33. Каковы критерии определения типа каскада?
34. В чем различие процессов образования дефектов в разреженных и плотных каскадах?
35. Как распределяются дефекты в каскадной области повреждения для различных каскадов?
36. Как релаксируется энергия ПВА в каскаде?

По эксперименту:

1. Каковы основные радиационные эффекты при облучении материалов?
2. В чем особенности облучения нейтронами делящихся материалов?
3. Чем отличаются термические пики от пиков смещения при об-

лучении?

4. Каковы основные закономерности радиационного роста делящихся материалов?
5. Каковы современные представления о механизмах радиационного роста урана?
6. От каких факторов зависит радиационный рост конструкционных материалов?
7. Какие виды распухания проявляются при облучении делящихся материалов?
8. Как влияет на газовое распухание урана степень выгорания и температура облучения?
9. Каков механизм газового распухания материалов?
10. Какими способами можно уменьшить газовое распухание делящихся материалов?
11. Каковы условия образования и факторы, влияющие на вакансионное распухание конструкционных материалов?
12. Как зависит вакансионное распухания от температуры и флюенса облучения?
13. Как зависит радиационное упрочнение металлов и сплавов от условий облучения?
14. Какие виды радиационного охрупчивания наблюдаются при облучении металлов и сплавов?
15. Как зависит радиационное охрупчивание от условий облучения?
16. Как влияют структура и легирующие добавки на упрочнение сталей?
17. Каковы ханизмы вы котемпературного радиационного охрупчивания (ВТРО)?
18. Как влияют температура, флюенс и спектр нейтронов на ВТРО?
19. Каковы способы уменьшения ВТРО?
20. От каких факторов зависит радиационная ползучесть материалов?
21. Каковы основные механизмы радиационной ползучести кон-

струкционных материалов?

22. В чем проявляется и от чего зависит релаксация напряжений в материалах под облучением?
23. Что такое радиационно-ускоренные и радиационно-индуцированные процессы под облучением?
24. Каковы механизмы радиационно-индуцированной сегрегации под облучением?
25. В чем проявляется радиационно-индуцированная сепарация атомов в сплавах?
26. Каковы основные механизмы радиационной эрозии металлов и сплавов под облучением?
27. Как зависит коэффициент физического распыления от условий облучения?
28. Что такое химическое распыление? Когда оно наблюдается?
29. Какие основные параметры и механизмы радиационного блистеринга?
30. В чем отличие блистеринга от флекинга?
31. Как зависит коэффициент эрозии из-за радиационного блистеринга от условий облучения?
32. Что такое униполярные дуги?

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

  Презентации лекций. Раздаются обучающимся по окончании каждой лекции.

12. Ресурсное обеспечение:

- **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

- Ганченкова М.Г., Григорьев Е.Г., Калин Б.А., Соловьев Г.И., Удовский А.Л., Якушин В.Л. Физическое материаловедение. Том. 4. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование. / Под общей ред. Б.А.Калина. - М.: МИФИ, 2012. - 624 с.
- Лейман К. Взаимодействие излучения с твердым телом и образование элементарных дефектов / Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1979. – 296 с.

- Кирсанов В.В., Суворов А.Л., Трушин Ю.В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
- Оцуки Ё.-Х. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами / Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 280 с.
- Диденко А.Н., Лигачев А.Е., Куракин И.Б. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. – М.: Энергоатом-
- издат, 1987. – 184 с.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10-ти т. Т.1 Механика. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие для вузов. – В 10-ти т. Т.3 Квантовая механика (нерелятивистская теория). – М.: Наука, 1989. – 768 с.
- Электронная микроскопия тонких кристаллов / Хирш П., Хови А., Николсон Р. и др. / Пер. с англ./ Под ред. Л.М. Утевского. – М.: Мир. 1968. – 574 с.
- Распыление твердых тел ионной бомбардировкой: Физическое распыление одноэлементных твердых тел/Пер. с англ./Под ред. Р. Бериша. – М.: Мир. 1984. – 336 с.
- Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. – М.: Атомиздат, 1967. – 402 с.
- Вавилов В.С., Ухин Н.А. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах. - М.: Атомиздат, 1969. - 311с.
- Паршин А.М., Тихонов А.Н., Васильев Ю.С., Кириллов Н.Б., Криворук М.И. Технология конструкционных материалов. Радиационное материаловедение. / Под ред. А.М. Паршина и А.Н. Тихонова. - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. - 331 с.
- Займовский А.С., Калашников В.В., Головин И.С. Тепловыделяющие элементы атомных реакторов. – М.: Атомиздат, 1966. – 520 с.
- Сокурский Ю.Н., Стерлин Я.М., Федорченко В.А. Уран и его сплавы. – М.: Атомиздат, 1971.

- Ибрагимов Ш.Ш., Кирсанов В.В., Пятилетов Ю.С. Радиационныеповреждения металлов и сплавов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
- Фазовые превращения при облучении / Пер. под ред. Л.Н. Быстрова. – Челябинск: Металлургия, 1989. – 312 с.
- Зеленский В.Ф., Неклюдов И.М., Черняева Т.П. Радиационные дефекты и распухание металлов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 296 с.
- Паршин А.М. Структура, прочность и радиационная повреждаемость коррозионно-стойких сталей и сплавов. – Челябинск: Металлургия, 1988. – 656 с.
- Залужный А.Г., Сокурский Ю.Н., Тебус В.Н. Гелий в реакторных материалах. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 244 с.

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

  Для образовательного процесса используется презентативный лекционный материал в виде слайдов в формате PowerPoint и AdobeAcrobat.
- Описание материально-технической базы.

  Курс обеспечен аудиторией с учебной доской, компьютером, проектором и экраном.

13. Язык преподавания. Русский

14. Преподаватель (преподаватели). Орешко Алексей Павлович, доцент, д.ф.-м.н., кафедра физики твердого тела

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ: ОТ БРОНЗОВОГО ВЕКА ДО НАНОТЕХНОЛОГИЙ
Автор д.ф.-м.н., профессор А.Г.Хунджуа

1. Название дисциплины: **Физика конденсированного состояния и физическое материаловедение. Исторический аспект: от бронзового века до нанотехнологий**

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки: 03.06.01 «Физика и Астрономия». Научная специальность 01.04.01, 01.04.07, 01.04.09, 01.04.10, 01.04.11, 02.00.06.

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: курс относится к дисциплинам научной специальности вариативной части Блока 1, по результатам освоения которых обучающиеся сдают кандидатский экзамен по научной специальности.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

Формируемые компетенции ***(код компетенции)***	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**
УК-1	З1 (УК-1) **Знать** методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области физического материаловедения. У1 (УК-1) **Уметь** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при

	исследовании свойств современных материалов. В1 (УК-1) **Владеть** навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (физика конденсированного состояния, физическая химия).
УК-3	З1 (УК-3) **Знать** особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах в области физического материаловедения. У1 (УК-3) **Уметь** следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач в области физического материаловедения. В1 (УК-3) **Владеть** навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в.т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах в области физического материаловедения.

УК-5	З1 (УК-5) **Знать** содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда в сфере физического материаловедения. У1 (УК-5) **Уметь** формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей в сфере физического материаловедения. В1 (УК-5) **Владеть** приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач в области современного физического материаловедения. .
ОПК-1	**Знать** физические принципы основных методов исследования структуры и свойств конденсированных сред. **Уметь** применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования современных материалов. **Владеть** методиками построения моделей, описывающих свойства

	современных материалов.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов*, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 6 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 6 часов индивидуальные консультации, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 60 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.*

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: знание квантовой механики.

8. Формат обучения: очный, дистанционное обучение не предусмотрено

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Коллоквиумы и др*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Строение атома и периодическая система элементов. Типы межатомных связей в кристаллах.	3	2					2	1		1
Тема 2. Типы кристаллических решеток. Анизотропия свойств кристаллов.	3	2					2	1		1
Тема 3. Дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные и объемные.	3	2					2	1		1
Тема 4. Зонная теория твердых тел. Теплопроводность, электропроводность и электронная теплоемкость металлов. Термоэлектронная эмиссия. Сверхпроводимость. Электронное строение полупроводников и диэлектриков.	5	2			2		4	1		1
Тема 5. Магнитные свойства материалов. Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 6. Условия термодинамического равновесия. Определение системы, фаз. Смеси, твердые	3	2					2	1		1

растворы, промежуточные фазы. Правило фаз Гиббса.										
Тема 7. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов и методы их построения. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии.	5	2				2	4	1		1
Тема 8. Методы исследования структуры и физических свойств материалов. Физико-химический анализ.	3	2					2	1		1
Тема 9. Процессы скольжения и двойникования. Влияние пластической деформации на структуру и свойства материалов. Деформационное упрочнение. Дисперсионное твердение. Разрушение.	5	2			2		4	1		1
Тема 10. Система железо-углерод. Стали. Влияние углерода и примесей на свойства углеродистых сталей.	8	2	2				4	1	3	4
Тема 11. Алюминий и его сплавы. Классификация алюминиевых сплавов. Дюралюминий.	3	2					2	1		1
Тема 12. Сплавы на основе меди. Классификация медных сплавов. Латуни и бронзы. Медно-никелевые сплавы.	3	2					2	1		1
Тема 13. Материалы с эффектом памяти формы. Мартенсиные превращения. Упругие модули. Классификация, структура, физико-механические свойства.	3	2					2	1		1

Тема 14. Титан и его сплавы. Классификация легирующих элементов, структура и свойства титановых сплавов.	5	2			2		4	1		1
Тема 15. Графит и его модификации как конструкционные материалы. Фуллерены и нанотрубки. Графен. Принципы создания и основные типы композиционных материалов. Композиционные материалы с нуль-мерными и одномерными наполнителями.	12	2	2	2		2	8	1	3	4
Промежуточная аттестация								**36**		
Итого	**108**	30	6	2	6	4	**48**	51	9	**60**

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине.

Самостоятельная работа аспиранта проводится в виде выполнения практических самостоятельных работ (ПСР).

Текущий контроль осуществляется путем индивидуального обсуждения с преподавателем выполненного ПСР или путем групповой дискуссии в группе аспирантов при участии преподавателя.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- тестирование;
- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.
- т.п.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки

действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;
- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- нахождение ошибок в последовательности (определить правильный вариант последовательности действий);
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.
- задания на принятие решения в нестандартной ситуации (ситуации выбора, многоальтернативности решений, проблемной ситуации);
- задания на оценку последствий принятых решений;
- задания на оценку эффективности выполнения действия
- т.п.

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

Вопросы и задания по курсу:

По теории:

1. Что такое гибридизация волновых функций?

2. Что такое фундаментальный край поглощения?
3. Опишите основные закономерности мартенситного превращения?
4. Перечислите основные механизмы фазовых превращений в кристаллических твердых телах.
5. Что такое дисперсионное твердение?
6. Расскажите о краевой и винтовой дислокациях.
7. В чем основные особенности сплавов системы железо - углерод?
8. Что такое сверхупругость и сверхпдастичность?
9. Что называют запрещенной зоной?
10. Приведите примеры фазовых переходов I и II рода.
11. Опишите различные типы диаграмм состояния бинарных систем.

По эксперименту:

1. Что такое физико-химический анализ?
2. Какие сплавы на основе меди вам известны?
3. Что такое туннельный микроскоп?
4. Какую информацию позволяют получить исследования методом парамагнитного резонанса?
5. Приведите примеры практического применения сплавов с эффектами памяти формы?
6. В чем основные преимущества применения титановых сплавов?
7. Опишите методы изготовления композитных материалов.
8. В чем состоит эффект Мёсбауэра.
9. Что такое комбинационное рассеяние света? Какова методика эксперимента? Какие параметры можно получить, анализируя спектры комбинационного рассеяния?
10. Какова методика проведения рентгеноструктурного анализа?
11. Какова методика проведения эксперимента по ЯМР?

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

Презентации лекций. Раздаются обучающимся по окончании каждой лекции.

12. Ресурсное обеспечение:

- **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

1. Киттель Ч. // Введение в физику твердого тела. М. Наука 1978.
2. Вест А. // Химия твердого тела. 2тт.М. Мир. 1988.
3. Жданов Г.С., Илюшин А.С., Никитина С.В. // Дифракционный и резонансный структурный анализ. М. Наука. 1980.
4. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А. // Кристаллография. 2000. М. Издательство ФизМат. Литературы. 496 с.
5. Уманский Я.С., Скаков Ю.Д. // Физика металлов М. Атомиздат 1978..
6. Шульце Г. // Металлофизика М. Мир. 1971.
7. Жданов Г.С., Хунджуа А.Г. // Лекции по физике твердого тела. М. Изд. Моск. ун-та. 1989.
8. Сплавы никелида титана с памятью формы / Под ред. В.Г. Пушина. Ч. 1. структура, фазовые превращения и свойства. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 438 с.
9. Сайт журнала «Физика металлов и металловедение» http://impo.imp.uran.ru/fmm/
10. Сайт журнала «Физика твердого тела» http://journals.ioffe.ru/ftt/

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

Для образовательного процесса используется презентативный лекционный материал в виде слайдов в формате PowerPoint и AdobeAcrobat.

- Описание материально-технической базы.

  Курс обеспечен аудиторией с учебной доской, компьютером, проектором и экраном.

13. Язык преподавания. Русский

14. Преподаватель (преподаватели). Хунджуа Андрей Георгиевич, профессор, д.ф.-м.н., кафедра физики твердого тела

Научное издание

ИЛЮШИН Александр Сергеевич

ОРЕШКО Алексей Павлович

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ КАДРОВ НА КАФЕДРЕ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Подписано в печать 27.07.2020. Формат 60×84/16.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 53.5
Заказ №403
Тираж 200 экз.

Отпечатано в типографии ООО “Белый Ветер”
115054, Москва, ул. Щипок, д. 28
(495) 651-84-56, wwprint.ru