

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре НИЦ «Курчатовский институт»
по научной специальности
1.3.8. Физика конденсированного состояния

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Физика конденсированного состояния»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины «Физика конденсированного состояния» – дать введение в физику конденсированного состояния вещества как ансамбля взаимодействующих частиц, методологию описания таких систем на математическом языке, основные наблюдаемые эффекты в физике конденсированного состояния, а также представление о современных тенденциях в данной области науки.

Задачи дисциплины «Физика конденсированного состояния»:

- 1) сформировать устойчивые знания в области основных понятий физики конденсированного состояния;
- 2) познакомить с проблематикой физики конденсированного состояния и с используемыми методами;
- 3) развить понимание основных концепций в данной области знаний;
- 4) обучить владению элементами математического аппарата для описания физических процессов и явлений в данной области знаний;
- 5) побудить к выполнению самостоятельных исследований в области физики конденсированного состояния.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров для научной специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на первом, втором году обучения (во втором, третьем, четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 396 часов (11 зачетных единиц), из которых 198 часов составляет контактная работа обучающегося

с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 198 часов. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

2) способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;

3) владеть методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;

4) владеть культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;

5) способность самостоятельно проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния и применять полученные результаты для решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

1) физические явления в конденсированных средах;

2) принципы расчетов твердотельных структур, их электронных и фононных свойств;

3) практические возможности методов исследования кристаллов;

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

- 1) проводить необходимые эксперименты;
- 2) получать результаты, их обрабатывать и анализировать в рамках изучаемого метода;
- 3) использовать полученные результаты в практических целях для разработки новых материалов, явлений и процессов в них;

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

- 1) основными методами расчета параметров кристаллов;
- 2) иметь опыт научной деятельности;
- 3) навыками выполнения простейших квантово-механических расчетов и подготовки научных сообщений.

4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины

4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	396
Аудиторные занятия (всего)	198
В том числе:	
Лекции (Л)	144
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	54
Самостоятельная работа (СР)	198
В том числе*:	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

* приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

4.2. Структура и содержание дисциплины

№ темы	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	Понятие частиц в квантовой механике	33	12	5	16
2	Гибридные орбитали	33	12	5	20
3	Кристаллическая структура и ее описание	33	12	5	16
4	Основное состояние кристалла	33	12	5	16
5	Законы дисперсии фононов в кристалле	33	12	5	16
6	Жидкий гелий	33	12	5	20
7	Кристаллическая структура и ее описание	33	12	5	16
8	Невзаимодействующие электроны в потенциальном ящике	33	12	5	16
9	Теорема Блоха	33	12	5	16
10	Зоны Бриллюэна	33	12	5	20
11	Метод Гаррисона построения поверхностей Ферми	33	12	2	20
12	Спектральная плотность состояний электронов в магнитном поле	33	12	2	6
Всего		396	144	54	198

5. Образовательные технологии

1. При реализации настоящей дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа, самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Текущий контроль (промежуточный) проводится на 7 и 14 неделе в форме контрольной работы с оценкой по пятибалльной системе. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Примеры контрольных вопросов:

1. Построить p-орбитали.
2. Построить d-орбитали: d_{z^2} ($m=0$, сечение в плоскости xz); d_{xz} ($m=+1$, сечение в плоскости xz); d_{zy} ($m=-1$, сечение в плоскости yz); $d_{x^2-y^2}$ ($m=+2$, сечение в плоскости xy); d_{xy} ($m=-2$, сечение в плоскости xy).
3. Какова вероятность возбуждения двух фононов с максимальной частотой при температуре Дебая?
4. Вывести плотность состояний фононов в трехмерном случае в модели Дебая.
5. Какова вероятность возбуждения трех фононов с максимальной частотой при температуре в два раза меньшей температуры Дебая?
6. Вывести плотность состояний фононов в двухмерном случае.
7. Построить ячейку Вигнера-Зейтца для решетки ОЦК.
8. Указать все элементы симметрии решеток ГЦК.

Для получения положительной оценки и для выполнения задания по самостоятельной работе аспиранту необходимо подготовить реферат по представленным или подобным темам объемом 15 – 20 страниц. Реферат должен быть написан самостоятельно и построен по типу статьи: краткая аннотация: 4 – 5 строк, введение (цели, задачи обзора, объект рассмотрения), основная часть (описание объекта или способа), заключение, литература. Обязательно предоставляется информация (ссылки на статьи и патенты) об авторах, институтах, лабораториях, которые разрабатывали представленную тематику. Перспективы и прогноз дальнейших исследований. Возможное применение данных разработок. Можно предоставить данные по фирмам и рекламную литературу по их

деятельности, которые занимаются данными разработками. В реферате должны быть отражены методы формирования объекта, способы измерения его характеристик и свойств, применения.

Методы формирования кристаллов: (магнетронный, лазерный, термический (вакуумный), газофазная эпитаксия, дуговой метод, химическое осаждение, электрохимические способы, механические методы, керамическая технология, гальваническое осаждение, ионное напыление, плазменное осаждение, электронно-лучевой метод и т.п. (выбрать один из методов и дать его описание).

Способы измерения характеристик кристаллов: сопротивление, рентгеновская дифракция, оптическое отражение и пропускание (выбрать один из способов и дать его описание).

Способы изучения акустических свойств кристаллов и их характеристики: теплоемкость, фононный спектр т.д. (выбрать один из объектов или способов его изучения и дать его описание).

Примеры тем предлагаемых докладов, рефератов:

1. Общая картина колебаний кристаллической решетки.
2. Ангармонизм колебаний кристаллической решетки и его связь с тепловым расширением.
3. Роль нулевых колебаний в свойствах кристаллов.
4. Методика измерения сопротивления.
5. Поверхность Ферми благородных металлов.
6. Одноэлектронное и адиабатическое приближения в решении уравнения Шредингера.
7. Квантование Ландау энергетического спектра в магнитном поле.
8. Восстановление формы поверхности Ферми по данным эффекта Шубникова – де Гааза.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры вопросов к экзамену:

1. Необходимые условия для гибридизации орбиталей.
2. От каких факторов зависит пространственная симметрия орбиталей.
3. Построить гибридную пи-орбиталь, сигма-орбиталь и указать принципиальные их отличия.
4. Получить зависимость фазовой скорости фононов от волнового вектора в первой и последующих зонах Бриллюэна.
5. Основные положения модели Дебая колебаний кристаллической решетки.
6. Понятия зон Бриллюэна для фононов.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

I. Основная литература:

1. 1. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – 336 с. – ISBN 978-5-9221-1931-3.
2. Брандт, Н.Б. Кульбачинский, В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния, Москва, Физматлит, 2016, 634 с. – ISBN 978-5-9221-1209-3.

II. Дополнительная литература:

1. Попов А.М., Тихонова О.В. Лекции по атомной физике, 2007 г. – Текст: электронный. – DOI отсутствует. – URL: <https://studizba.com/files/show/pdf/38549-1-a-m-popov-o-v-tihonova--lekicii-po.html> (дата обращения: 30.07.2022).
2. Шмидт, В.В. Введение в физику сверхпроводников 2000. – 397 с. – Текст: электронный. – DOI отсутствует. – URL: <https://studizba.com/files/show/pdf/37951-1-v-v-shmidt--vvedenie-v-fiziku.html> (дата обращения: 30.07.2022).

3. Фаддеев М.А., Хохлов А.Ф., Чупрунов Е.В., Основы Кристаллографии. - ФИЗМАТЛИТ, Москва, 2004 г., 500 стр. – ISBN 5-94052-020-0.

4. Благоев А.Е., Писаревский Ю.В., Таргонский А.В., Элиович Я.А., Ковальчук М.В., Эволюция кривых дифракционного отражения рентгеновских лучей в кристаллах парателлурифта и фторида лития при воздействии интенсивным ультразвуком, Физика твердого тела. 2017. Т. 59. № 5. С. 947-950. – ISBN 0367-3294.

III. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. Онлайн курс по физике конденсированного состояния от доктора Мухаммада Сабиеха Анвара из LUMS. <https://www.youtube.com/watch?v=WuWMw6ex-1Q&list=PLeG1bdj--qXNkzJxsk4V6giC5b3ZaLMkt> (дата обращения: 30.08.2022).

2. Онлайн курс «Квантовая физика конденсированного состояния» доктора Андроу Митчела, Университетский колледж Дублина. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLotxE0xVaa0KRXdDN-7II3Y88PaHqyOZL> (дата обращения: 22.08.2022).

IV. Доступ к электронным библиотекам актуальной научной литературы:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Электронная библиотека Платонанет: [сайт]. – URL: https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/2 (дата обращения: 28.06.2022).

3. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

5. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

6. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии
Physics related free-access Journals: [сайт]. –

URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

7. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.scilib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

8. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

9. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

10. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата обращения: 12.08.2022).

11. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

12. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

V. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. – URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. – URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect. Коллекция журналов Complete Freedom Collection: [сайт]. – URL: <http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm> (дата обращения: 12.09.2022).

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer_Nature: [сайт]. – URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементарноорганических соединений (800 000 структур, он-лайн и офф-лайн версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

VI. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).

8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).

9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).

10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).

11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).

12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).

13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и доступ к библиотеке

периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).

2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.