Приложение 7

Утверждено Приказом ФИЦ КазНЦ РАН

от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_\_

Разработано и рекомендовано к утверждению

Ученым советом КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

«22» января 2025 г., протокол №2

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Физика твердого тела»**

Составная часть

**основной профессиональной образовательной программ**

**высшего образования -**

**программы подготовки научных и научно-педагогических кадров**

**в аспирантуре**

Научная специальность

**1.3.8. Физика конденсированного состояния**

**(физико-математические науки)**

**Содержание**

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.

2. Перечень планируемых результатов обучения.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

4. Содержание дисциплины.

5. Учебно-тематический план занятий.

6. Формы текущего контроля, критерии оценки.

7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

**1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины**

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия – 27 часов, самостоятельная работа – 92 часа, зачет - 1 час, всего – 120 часов.

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары и консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

Формой итогового контроля является зачет.

**2. Перечень планируемых результатов обучения**

В результате освоения дисциплины выпускник должен

***Знать:***

- теоретические основы физики различных состояний конденсированных сред;

- современные методы установления физических свойств конденсированных сред;

- основные методы исследования переходов между различными состояниями конденсированных сред.

***Уметь:***

- устанавливать структуру различных конденсированных состояний;

- выявлять закономерности связи структуры конденсированного состояния с его свойствами;

- выявлять закономерности связи структуры конденсированного состояния с его свойствами;

- проводить научные дискуссии на научных (научно-практических) мероприятиях.

***Владеть:***

- навыками исследования физических свойств конденсированного состояния;

- навыками по определению различных фаз конденсированных сред и анализу возможности переходов между ними.

**3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физика твердого тела» является элективной и/или факультативной дисциплиной и включена в Блок «Образовательная компонента» основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Обучение планируется на втором и/или третьем курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общепрофессионального курса «Физика твердого тела» и спецкурсов в рамках магистерской программы образования или специалитета. Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

**4. Содержание дисциплины**

**Целью**дисциплины «Физика твердого тела» является изучение основ современной физики конденсированного состояния: кристаллография; различные состояния твёрдых тел, их электронные, тепловые и т.д. свойства; фазовые переходы. Предполагается теоретическое изучение широкого спектра состояний твердого тела для объектов различной природы.Дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

**5. Учебно-тематический план занятий**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Наименование темы** | **Аудит. занятия** | **Самост.**  **работа** | **Всего**  **часов** |
|  | **Конденсированное состояние как ансамбль взаимодействующих частиц.** Виды взаимодействия между частицами в жидкостях и твердых телах: ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь, Ван-дер-Ваальсовское взаимодействие (определение, особенности, примеры). | **1** | **6** | **7** |
|  | **Кристаллическая структура и ее описание.** Трехмерные кристаллические решетки Браве. Элементы симметрии кристаллических решеток. Энергия связи кристалла. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Обратная решетка.** Свойства обратной решетки. Зоны Бриллюэна. Построение зон Бриллюэна для двумерных плоских и трехмерных кристаллических решеток. Дифракция рентгеновских лучей. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Реальные кристаллы.** Дефекты кристаллической структуры. Дислокации.  Краевая и винтовая дислокации. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Тепловые свойства твердых тел.** Колебания решетки. Фононы. Методы описания тепловых колебаний решетки. Акустическая и оптическая ветви колебаний.  Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов и трехмерных решетках. Статистика акустических фононов. Среднее число фононов, средняя энергия фононов, температура Дебая.  Оптические фононы. Закон дисперсии оптических фононов в одномерной цепочке атомов и в кристаллах.  Теплоемкость решетки. Высокотемпературное приближение. Закон Дюлонга и Пти. Низкотемпературное приближение. Дебаевская модель колебательного спектра кристаллов. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Зонная теория.** Классификация твердых тел по их электрическим свойствам на основе зонной теории. Металлы. Полупроводники. Диэлектрики. Статистика электронов в кристалле. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Металлическое состояние.** Электроны в периодическом поле кристалла. Функция Блоха и ее свойства.  Движение электрона в кристалле под действием внешнего поля.  Энергия Ферми как функция температуры. Энергия электронов в кристалле. Электронная теплоемкость металлов. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Волны и квазичастицы в металлах.** Фазовая и групповая скорости. Метод эффективной массы. Статистика носителей заряда. Основные положения теории ферми-жидкости Ландау. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Электро- и теплопроводность металлов.** Закон Видемана. Теория металлов Друде и Зоммерфельда. Рассеяние носителей тока. Электрон-фононное рассеяние (высокие температуры; низкие температуры). Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-электронное рассеяние.  Движение электрона во внешнем магнитном поле. Магнитосопротивление. Эффект Холла. Циклотронный резонанс. Квантование спектра. Плотность состояний. Уровни Ландау. Квантовые осцилляционные эффекты. Осцилляции Шубникова – де Гааза. Квантовый эффект Холла. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Полупроводники.** Полупроводники с точки зрения зонной теории твердых тел. Носители заряда в собственном (беспримесном) полупроводнике. Уровни Ферми. Электропроводность полупроводников.  Примеси и их влияние на проводимость. Доноры и акцепторы, полупроводники n- и р-типа.  Контактные явления в полупроводниках. Контакт Шоттки. Омический контакт. Р-n переход.  Вольтамперная характеристика р-n перехода.  Фотопроводимость. Фоторезисторы, фотодиоды. Полупроводниковые источники света: светодиоды, лазеры. | **2** | **8** | **10** |
|  | **Диэлектрики.** Дипольный момент и поляризация диэлектриков. Диэлектрическая восприимчивость и проницаемость. Воздействие электромагнитного излучения. Комплексная диэлектрическая проницаемость. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики.** Сегнетоэлектрический фазовый переход. Сегнетоэлектрические домены. Типы сегнетоэлектриков. Электреты. | **2** | **8** | **10** |
|  | **Сверхпроводимость.** Сверхпроводники 1-го рода. Длина когерентности. Глубина проникновения магнитного поля. Критическая температура. Критический ток. Критическое поле. Эффект Мейсснера.  Феноменологическая теория Гинзбурга-Ландау. Основы теории Бардина-Купера-Шриффера. Электрон-фононное взаимодействие. Куперовские пары. Изотопический эффект. Теплоемкость сверхпроводников.  Сверхпроводники 2-го рода. Квантование магнитного потока. Вихри Абрикосова. Критические параметры.  Туннельные эффекты в сверхпроводниках. Эффекты Джозефсона. Квантовый интерферометр (SQUID). Сверхпроводящие Q-bits.  Высокотемпературные сверхпроводники. Купратные соединения. d-симметрия параметра порядка.  Железосодержащие сверхпроводники. Роль магнитных флуктуаций в формировании сверхпроводящего состояния.  Гидридные сверхпроводники. Методы создания сверхвысокого давления и контроля параметров. Рекордная критическая температура. Механизм куперовского спаривания. | **2** | **8** | **10** |
|  | **Фазовые состояния и фазовые переходы.** Примеры фазовых переходов первого и второго рода. Теория Ландау фазовых переходов II рода. Термодинамические характеристики. Восприимчивость по отношению ко внешним полям. Флуктуации параметра порядка. Критическое поведение физических параметров. | **2** | **8** | **10** |
|  | **ЗАЧЕТ** | **1** | **-** | **1** |
| ВСЕГО | | **28** | **92** | **120** |

**6. Формы текущего контроля, критерии оценки**

**6.1. Итоговый контроль:** формой итогового контроля по дисциплине является Зачет.

Текущий контроль освоения дисциплины проводится регулярно, начиная со второй недели обучения, в форме контроля посещаемости, устного опроса по теме, анализа результатов решения практических задач и выполненных лабораторных работ.

Промежуточный контроль подразумевает проведение коллоквиума по учебному материалу нескольких тем.

**Контрольные темы и вопросы для проведения текущего и итогового контроля по дисциплине «Физика твердого тела»:**

**Тема 1** Конденсированное состояние как ансамбль взаимодействующих частиц.

**Тема 2** Кристаллическая структура и ее описание.

**Тема 3** Обратная решетка.

**Тема 4** Реальные кристаллы.

**Тема 5** Тепловые свойства твердых тел.

**Тема 6** Зонная теория.

**Тема 7** Металлическое состояние.

**Тема 8** Волны и квазичастицы в металлах.

**Тема 9** Электро- и теплопроводность металлов.

**Тема 10** Полупроводники.

**Тема 11** Диэлектрики.

**Тема 12** Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики.

**Тема 13** Сверхпроводимость.

**Тема 14** Фазовые состояния и фазовые переходы.

**6.2. Критерии оценки итогового контроля:**

|  |  |
| --- | --- |
| Оценка | Требования к знаниям и критерии выставления  оценок: |
| **зачтено** | Аспирант при ответе демонстрирует знание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями и терминами, знает особенности развития соответствующей области науки, имеет представление о специфике объектов исследований. Информирован о современных направлениях работ, ознакомлен с содержанием основных литературных источников, способен делать анализ проблем и намечать пути их решения. |
| **не зачтено** | Аспирант демонстрирует плохое знание большей части основного материала в соответствующей области науки. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и не в состоянии наметить пути их решения. |

**При выборе аспирантом дисциплины «Физика твердого тела» в качестве элективной, зачет по дисциплине является допуском к промежуточной аттестации – кандидатскому экзамену по специальной дисциплине.**

**7. Учебно-методическое обеспечение**

**7.1. Литература**

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.

2. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. Т.1, 2. М.: Мир, 1979.

3. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.

4. А.С. Давыдов. Теория твердого тела. М.: Наука, 1976.

5. В.В. Шмидт. Введение в физику сверхпроводников. М., Наука, 1982.

6. М. Тинкхам. Введение в сверхпроводимость. М.: Атомиздат, 1980.

**7.2. Дополнительная литература**

1. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М.: Наука, 1978.
2. Г. Фрёлих. Теория диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери. М.: ИЛ, 1960.
3. П. де Жен. Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977.

**7.3. Электронные ресурсы**

**I. НЕКОММЕРЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ (ЭБС) СВОБОДНОГО ДОСТУПА**

• Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU www.elibrary.ru

• Электронная библиотека «Научное наследие России» http://www.e-heritage.ru/index.html

• Научная электронная библиотека КиберЛенинка http://www.cyberleninka.ru/

• Полнотекстовая электронная библиотека РФФИ http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library

• Электронная библиотека ИФТТ РАН http://www.issp.ac.ru/libcatm/elib.html

• Электронная библиотека международного научно-образовательного сайта EqWorld – http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm

• Библиотека международного издательства INTECHOPEN – http://www.intechopen.com/

**II. РЕФЕРАТИВНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ И НАУЧНЫЕ ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ**

• Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) http://elibrary.ru/project\_risc.asp

• Международная реферативная база по физике, астрономии, теории частиц ADS(NASA) http://adsabs.harvard.edu/

• Directory of Open Access Journals (DOAJ) http://www.doaj.org

• Directory of Open Access Books (DOAB) http://doabooks.org/

• ArXiv: Open access to 1,146,534 e-prints in Physics, Mathematics, Computer Science, Quantitative Biology, Quantitative Finance and Statistics (Электронный архив публикаций библиотеки Корнелльского университета) http://xxx.lanl.gov/archive

• Science Research Portal – научно-поисковая система, осуществляющая полнотекстовый поиск в журналах многих крупных научных издательств, таких как Elsevier, Highwire, IEEE, Nature, Taylor & Francis и др., в открытых научных базах данных: Directory of Open Access Journals, Library of Congress Online Catalog, Science.gov и Scientific News http://www.scienceresearch.com

**III. ЖУРНАЛЫ И КНИГИ**

• Nature Communications http://www.nature.com/ncomms/index.html

• Physical Review X http://journals.aps.org/prx/

• Scientific Reports http://www.nature.com/srep/

• New Journal of Physics http://iopscience.iop.org/journal/1367-2630

• Журналы физико-технического института им А.Ф. Йоффе РАН: «Журнал технической физики», «Письма в журнал технической физики», «Физика твердого тела», «Физика и техника полупроводников» http://journals.ioffe.ru/

• Труды института общей физики им. А.М. Прохорова РАН http://www.gpi.ru/trudgpi.php

• Physics Books – Free Computer Books http://www.freebookcentre.net/Physics/Physics-Books-Online.html

• List of Free Physics Books | Physics Database http://physicsdatabase.com/free-physics-book

**IV. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ РЕСУРСЫ «ИНТЕРНЕТ»**

• Российское магнитное общество http://www.amtc.ru/mago/

• European community of Magnetism http://magnetism.eu

• International Society of Magnetic Resonance https://www.weizmann.ac.il/ISMAR/education

• ETH Zurich group about EPR http://www.epr.ethz.ch

• Molecular magnetism http://www.molmag.de

• Magnetic Resonance Imaging http://www.magnetic-resonance.org

• Техническая библиотека http://techlibrary.ru/

• Библиотека Гумер. Гуманитарные науки. http://www.gumer.info/bibliotek\_Buks/Pedagog/

• Федеральный портал «Российское образование» www.edu.ru

• Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» http://window.edu.ru/

• Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям в образовании http://www.ict.edu.ru/

• Информационная справочно-правовая система «Консультант плюс» http://www.consultant.ru/ (некоммерческая версия)

• Справочно-информационный портал ГРАМОТА.РУ http://www.gramota.ru/

**8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины**

Аудиторные занятия, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче зачета и кандидатского экзамена проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки, лабораторные комнаты), оборудованных мебелью (столы, стулья), компьютерами с доступом к сети Интернет, демонстрационным оборудованием.

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, лабораторные работы), так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах подразделений КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН и молодежных научных школах, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе для дополнительного изучения.

Аудиторные занятия, целью которых является освоение теоретических основ дисциплины, проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного оборудования. Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

В ходе лабораторных занятий аспирантам предоставляется возможность изучить специфику экспериментальных исследований поверхности с помощью методов сканирующей зондовой микроскопии, познакомится с принципами работы и возможностями современной экспериментальной аппаратуры и оборудования, используемых при проведении научных исследований в области исследований поверхности, получить практические навыки интерпретации экспериментальных результатов.

Самостоятельная работа аспирантов подразумевает углубленное освоение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к текущему, промежуточному и итоговому контролю успеваемости. В целях формирования способности к критическому анализу информации и поиску путей решения поставленных задач в дальнейшей профессиональной деятельности используется технология проблемного обучения, требующая значительных временных ресурсов, что предусмотрено структурой дисциплины, и предполагает самостоятельную проработку учебно-проблемных задач аспирантами, выполняемую с привлечением основной и дополнительной литературы; поиск необходимой научно-технической информации в открытых источниках, консультации с преподавателем.

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на персональных рабочих местах аспирантов с доступом к ресурсам «Интернет», в научных подразделениях КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, ресурсы «Интернет».

**Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

- библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, научная периодика;

- зал, оснащённый стационарным проектором, экраном и обычной доской – для проведения лекционных занятий;

- учебная аудитория, оснащенная переносными проектором и экраном для проведения практических занятий;

- индивидуальные рабочие места аспирантов, оснащенные персональным компьютерами с доступом к сети «Интернет», локальной сети и электронной информационно-образовательной среде ФИЦ КазНЦ РАН.