Приложение 8

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**

**«Физические методы создания конденсированных состояний с заданными свойствами»**

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:***

- современные методы установления физических свойств конденсированных сред;

- основные методы исследования переходов между различными состояниями конденсированных сред;

- методы синтеза веществ для исследования различных состояний конденсированных сред;

- методы научно-исследовательской деятельности в том числе в области физики;

- сложившиеся практики решения исследовательских задач по тематике проводимых исследований и (или) разработок.

***Уметь:***

- устанавливать структуру различных конденсированных состояний;

- выявлять закономерности связи структуры конденсированного состояния с его свойствами;

- осуществлять направленный синтез соединений, в которых реализуются конденсированные состояния с заданными свойствами;

- использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований.

***Владеть:***

- навыками исследования физических свойств конденсированного состояния;

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

- навыками анализа методов и способов решения исследовательских задач;

- навыками использования информационных ресурсов, научной, опытно- экспериментальной и приборной базы по тематике проводимых исследований и (или) разработок.

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

Дисциплина «Физические методы создания конденсированных состояний с заданными свойствами» 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 конденсированного состояния» и спецкурсов в рамках магистерской программы образования или специалитета. Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

**4. Содержание дисциплины**

**Целью**дисциплины «Физические методы создания конденсированных состояний с заданными свойствами» является изучение практических методов исследования физических свойств твёрдых тел, включая тонкоплёночные гетероструктуры, сверхпроводники, ферромагнетики и топологические изоляторы. Предполагается освоение методов изучения транспортных и магнитных характеристик, криогенной и вакуумной техники, основ спектрометрических и магнитометрических методов. Программой курса предусмотрен значительный объем практических работ, выполняемых на современном экспериментальном оборудовании.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** |
|  | **Измерение транспортных свойств твёрдых тел.**  Виды транспортных явлений в твердых телах. Зонная структура магнитных металлов и полупроводников. Электронная проводимость (сопротивление) в металлах и других проводящих материалах. Формула Друде для проводимости. Четырёхконтактный метод измерения сопротивления. Удельное сопротивление. Измерения удельного сопротивления на постоянном/переменном токе. Эффекты Холла (классические, спиновые, аномальные, квантовые), их наблюдение в эксперименте. Способы изготовления контактов для измерения удельного сопротивления и эффекта Холла. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Основы вакуумной техники**  Основные понятия. Вакуум. Основы вакуумной техники. Вакуумные насосы: форвакуумный, диффузный, турбомолекулярный, криогенный, ионно-гетерный (магниторазрядный) насосы. Классификация, основные параметры и характеристики. Вакуумметрия: термопарный вакуумметр, ионизационный вакуумметр. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Основы криогенной техники**  Концепция температуры. Законы термодинамики. Классификация криогенных установок и циклов. Методы получения (ожижения) криогенных жидкостей. Методы получения низких температур выше 1К. Методы получения низких температур ниже 1К. Жидкий азот. Жидкий гелий-4. Современные методы ожижения гелия-4. Заливной Криостаты Не-4. Проточный криостат. Термостатирование. Измерение низких температур. Виды термодатчиков. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Спектрометрические и микроскопические методы исследования твёрдого тела.**  ринципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Сканирующие элементы (сканеры) зондовых микроскопов. Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Сканирующая (растровая) электронная микроскопия (СЭМ, РЭМ). Фотоэмиссионная спектроскопия (ARPES). Андреевская спектроскопия и её основные принципы. Ключевые характеристики адреевского эффекта. Основные этапы проведения эксперимента по адреевской спектроскопии. Типы точечных контактов в адреевской спектроскопии. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Магнитометрические методы исследования твердых тел.**  Измерение магнитных характеристик. Весы Фарадея. Весы Гюи. СКВИД-магнитометрия. Вибрационный магнетометр Фонера (VSM). | **3** | **10** | **13** |
|  | **Основы электронного парамагнитного резонанса и техники ЭПР-спектроскопии**  Суть и особенности магнитного резонанса. Форма линий ЭПР. Лоренц. Гаусс. Дайсон. Механизмы и времена спиновой релаксации. Скин-эффект и форма линии ЭПР в металлах, теория Дайсона. Эффекты, связанные с формой образца. Влияние кристаллической магнитной анизотропии на резонансную частоту. Основные блоки спектрометра ЭПР и их настройка. Форма электромагнитных полей в прямоугольном резонаторе. Двойная модуляция магнитного поля. Определение g-фактора. Определение концентрации парамагнитных центров. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Введение в топологические изоляторы**  Типы изоляторов. Топологическая эквивалентность, топологический инвариант. Хиральные и краевые проводящие состояния, энергетическая структура топологического изолятора. Дираковские фермионы. Свойства поверхностного проводящего состояния. Трёхмерные топологические изоляторы: материалы, способы изготовления, компенсированные топологические изоляторы, транспортные характеристики. Влияние сверхпроводимости и ферромагнетизма: примеси и гетероструктуры. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Тонкоплёночные гетероструктуры, сверхпроводящий спиновый клапан**  Проникновение магнитного поля в сверхпроводник. Эффект близости сверхпроводник/ферромагнетик. Эффект близости сверхпроводник/нормальный металл. Эффект близости ферромагнетик/нормальный металл. Методы определения сверхпроводимости. Гигантское магнетосопротивление. Сверхпроводящий трансформатор магнитного потока. Устройство сверхпроводящего ключа. Спиновый клапан. Антиферромагнитные и немагнитные слои. Виды спиновых клапанов. Модель спинового клапана, предложенная профессором Бисли. Модель спинового клапана, предложенная профессором Тагировым Л.Р. Эффект Джозефсона. Джозефсоновские контакты. Теория сверхпроводящего спинового клапана. Эффект Джозефсона в С/Ф/С контактах, пи-контакты. Спиновый транзистор. Обратная сверхпроводимость в структурах сверхпроводящего спинового клапана. Дальнодействующая триплетная компонента сверхпроводящего конденсата. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Создание тонкоплёночных гетероструктур.**  Методы создания тонких плёнок. Термическое напыление. Общие сведения об эпитаксии. Термодинамика поверхности, процессы на поверхности и в приповерхностных слоях. Модели эпитаксиального роста пленок. Методы молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков. Радиочастотное распыление. | **3** | **12** | **15** |
|  | 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 «Физические методы создания конденсированных состояний с заданными свойствами»:**

**Тема 1** Изучение транспортных характеристик твёрдого тела. Использование ультразвуковой и лазерной сварки для изготовления электрических контактов.

**Тема 2** Криогенная техника. Использование гелиевого течеискателя.

**Тема 3** Вакуумная техника. Изучение работы турбомолекулярного, мембранного, спирального, пластинчато-роторного насоса, крионасоса.

**Тема 4** Электронный парамагнитный резонанс. Поведение параметров резонансного сигнала (положение, ширина и форма линии, интегральная интенсивность) выше и ниже температуры упорядочения.

**Тема 5** Создание тонкоплёночных гетероструктур. Использование молекулярно-лучевой эпитаксии и магнетронного распыления для создания тонкоплёночных гетероструктур.

**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 «Физические методы создания конденсированных состояний с заданными свойствами» в качестве элективной, зачет по дисциплине является допуском к промежуточной аттестации – кандидатскому экзамену по специальной дисциплине.**

**7. Учебно-методическое обеспечение**

**7.1. Литература**

1. С.В. Вонсовский. Магнетизм. – М.: Наука, 1984.
2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.
3. С.А. Альтшулер, Б.М. Козырев. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. – М.: Наука, 1972.
4. Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства : учебное пособие — Москва : Лаборатория знаний, 2020
5. В.Л. Миронов "Основы сканирующей зондовой микроскопии", Н.Новгород 2004
6. Кульбачинский, В. А. Физика наносистем : учебное пособие / В. А. Кульбачинский. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2023. — 704 с. — ISBN 978-5-9221-1963-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/415478

**7.2. Дополнительная литература**

1. А.И. Ахиезер, И.А. Ахиезер. Электромагнетизм и электромагнитные волны. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1985.
3. А. Абрагам, Б. Блини. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Т.2. – М.: Мир, 1973
4. Шелованова, Г.Н. Современные проблемы микро- и наноэлектроники:учебное пособие / Г.Н. Шелованова. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. - 128 с. - ISBN978-5-7638-3775-9. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1032113
5. Борисенко, В. Е. Спинтроника : учебное пособие / В. Е. Борисенко, А. Л. Данилюк, Д. Б. Мигас ; художник В. Е. Шкерин. — 2-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 232 с. — ISBN 978-5-93208-558-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/176449
6. Шишкин, Г. Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства : учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев ; художник Н. А. Новак. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 411 с. — ISBN 978-5-00101-731-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/152031
7. Касьянов, А. О. Приборы, устройства и методы функциональной электроники : учебное пособие / А. О. Касьянов. — Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2021. — 123 с. — ISBN 978-5-9275-3987-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/247154
8. Кузнецова, Ю. В. Применение атомно-силовой микроскопии в научно-исследовательской работе : учебное пособие / Ю. В. Кузнецова. — Тверь : ТвГУ, 2023. — 96 с. — ISBN 978-5-7609-1838-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/415544

**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.

В учебном процессе аспиранты используют современное научное оборудование профильных подразделений КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН:

* Сверхвысоковакуумная напылительная установка фирмы BESTEC, состоящая из двух основных камер – камера молекулярно-лучевой эпитаксии и камера с радиочастотным напылением
* Сканирующий зондовый микроскоп Solver P47;
* Спектрометр ЭПР BER-418s фирмы Брукер (ФРГ), оснащенный криостатом для измерений в широком диапазоне температур 1.5-500 К.
* Установка для измерений транспортных свойств в широком диапазоне температур 1.6-350 К