Приложение 3

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**

**«Магнитные свойства конденсированного состояния»**

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;

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

***Уметь:***

- устанавливать структуру различных конденсированных состояний;

- выявлять закономерности связи структуры конденсированного состояния с его свойствами;

- использовать современную аппаратуру при проведении научных исследований;

- 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 «Магнитные свойства конденсированного состояния» 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 «Магнитные свойства конденсированного состояния» является изучение основ современной физики магнетизма конденсированного состояния вещества. Предполагается теоретическое освоение широкого спектра магнитных свойств конденсированного состояния, методов их изучения; изучение фазовых переходов между различными магнитными свойствами; получения знаний о способах применения магнитных свойств.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** |
|  | **Магнитные явления и вещества.** Классификация веществ по магнитным свойствам: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики, альтермагнетики. | **1** | **7** | **8** |
|  | **Спиновые магнитные моменты электронов и ядер.** Орбитальный магнитный момент оболочки многоэлектронного атома. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Магнитные свойства твердых тел.** Намагниченность. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость. Обобщенная восприимчивость. Соотношения Крамерса–Кронига. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Феноменологическая теория ферромагнетизма.** Закон Кюри - Вейсса. Гиромагнитное отношение. Теория молекулярного поля. Теория Гейзенберга. | **2** | **7** | **9** |
|  | **Классическая и квантовая теория магнетизма.** Понятие об обменном взаимодействии. Обменный интеграл. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Магнитооптические явления. Эффект Фарадея. Эффект Коттона–Мутона. Эффекты Керра.** | **2** | **6** | **8** |
|  | **Ферромагнетизм.** Обменная энергия. Энергия анизотропии. Происхождение доменов. Доменные границы. Коэрцитивная сила и гистерезис. Форма кривой намагничивания ферромагнетика. Размагничивающее поле. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Антиферромагнитное состояние.** Энергетическая щель антиферромагнетика. Релятивистские и обменные моды. Две ветви АФМР. Поле Дзялошинского и поле анизотропии. | **2** | **7** | **9** |
|  | **Спиновые волны в ферромагнетиках и антиферромагнетиках.** Модель Гейзенберга. Статистика спиновых волн. | **2** | **7** | **9** |
|  | **Электронный спиновый резонанс.** Прецессия магнитного момента в магнитном поле. Эффект Зеемана. Резонансное поглощение квантов электромагнитного поля. Спиновый гамильтониан. g-фактор. Кристаллическое поле. Сверхтонкое взаимодействие. Обменное сужение. Механизмы спиновой релаксации. | **2** | **7** | **9** |
|  | **Ядерный магнитный резонанс.** Протонный магнитный резонанс. Химический сдвиг. Спин-спиновое взаимодействие. Сужение линий, обусловленное движением спинов и обменным взаимодействием. ЯМР в металлах. Сдвиг Найта. Корринговская релаксация. Времена ядерной релаксации. Ядерный квадрупольный резонанс. | **2** | **7** | **9** |
|  | **Основные типы магнитных состояний вещества.** Магнитные фазовые переход. Флуктуации магнитных моментов вблизи фазового перехода. Теория фазовых переходов и понятие о критических индексах. | **2** | **7** | **9** |
|  | **Влияние магнитного порядка на немагнитные свойства вещества.** Вклад в электропроводность и теплоемкость. Эффект Кондо. | **2** | **6** | **8** |
|  | **Основы спинтроники.** Гигантское магнитосопротивление. Спиновые волны и спин-поляризованный ток. Способы генерации спин-поляризованного тока. Материалы и устройства спинтроники. | **2** | **7** | **9** |
|  | 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 «Магнитные свойства конденсированного состояния»:**

**Тема 1** Магнитные явления и вещества.

**Тема 2** Спиновые магнитные моменты электронов и ядер.

**Тема 3** Магнитные свойства твердых тел.

**Тема 4** Феноменологическая теория ферромагнетизма.

**Тема 5** Классическая и квантовая теория магнетизма.

**Тема 6** Магнитооптические явления.

**Тема 7** Ферромагнетизм.

**Тема 8** Антиферромагнитное состояние.

**Тема 9** Спиновые волны в ферромагнетиках и антиферромагнетиках.

**Тема 10** Электронный спиновый резонанс.

**Тема 11** Ядерный магнитный резонанс.

**Тема 12** Основные типы магнитных состояний вещества.

**Тема 13** Влияние магнитного порядка на немагнитные свойства вещества.

**Тема 14** Основы спинтроники.

**6.2. Критерии оценки итогового контроля:**

|  |  |
| --- | --- |
| Оценка | Требования к знаниям и критерии выставленияоценок: |
| **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 «Магнитные свойства конденсированного состояния» в качестве элективной, зачет по дисциплине является допуском к промежуточной аттестации – кандидатскому экзамену по специальной дисциплине.**

**7. Учебно-методическое обеспечение**

**7.1. Литература**

1. Вонсовский С.В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков. М.: Наука, 1971.
2. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм. М.: Наука, 1970. 384 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Краткий курс теоретической физики, том 1: Механика. Электродинамика. М.: Наука, 1969.
4. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Том 5. Электричество и магнетизм. М.: Мир, 1965.
5. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений. М.: МГУ, 1976.

**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.

**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.