Приложение 1

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**

**«Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости»**

Составная часть

**основной профессиональной образовательной программ**

**высшего образования -**

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

**в аспирантуре**

Научная специальность

**1.3.12. Физика магнитных явлений (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:***

* методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области магнетизма и сверхпроводимости;
* роль и место теории взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в современной физике твердого тела;
* особенности научной терминологии, понятийный аппарат магнетизма и сверхпроводимости, используемые при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме;
* основы теории сверхпроводимости и магнетизма в твердых телах;
* проявления взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в различных физических системах: сплавах, интерметаллических соединениях, сильнокореллированных электронных системах, высокотемпературных сверхпроводниках и мультислоях сверхпроводник/ферромагнетик;
* существующие методы и методические подходы в научных исследованиях взаимосвязи магнетизма и сверхпроводимости и возможные способы их развития;

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

***Уметь:***

* анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнетизма и сверхпроводимости и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;
* выбирать и применять при решении задач магнетизма и сверхпроводимости адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;

- проводить самостоятельные исследования с целью изучения природы взаимовлияния сверхпроводимости и магнетизма, физических явлений в парамагнетиках, ферромагнетиках, в соединениях с магнитными фазовыми переходами, особенностей магнетизма в сильнокореллированных электронных системах и нанообъектах;

- анализировать экспериментальные данные;

***Владеть:***

- навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнетизма и сверхпроводимости;

- методами и методическими подходами в научных исследованиях в области физики магнитных явлений и возможные способы их развития;

- навыками проведения экспериментальных исследований сверхпроводящих материалов.

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

Дисциплина «Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости» 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 1.3.12. Физика магнитных явлений. Обучение планируется на втором и/или третьем курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов по квантовой механике и физике твердого тела и спецкурсов в рамках магистерской программы образования или специалитета по физике. Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

**4. Содержание дисциплины**

**Целью**дисциплины «Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости» является изучение основ физики сверхпроводимости, магнитных фазовых переходов, сосуществования ферромагнетизма и сверхпроводимости в сплавах и интерметаллических соединениях, особенностей сверхпроводимости и магнетизма в сильнокоррелированных электронных системах, взаимосвязи магнетизма и сверхпроводимости в высокотемпературных сверхпроводниках и мультислоях сверхпроводник/ферромагнетик. Предполагается освоение фундаментальных основ сверхпроводимости, закономерностей, связанных с взаимодействием сверхпроводимости и магнетизма в высокотемпературных сверхпроводниках и слоистых тонкопленочных структурах сверхпроводник/ферромагнетик. Дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине 1.3.12. Физика магнитных явлений.

**5. Учебно-тематический план занятий**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Наименование темы** | **Аудит. занятия** | **Самост.**  **работа** | **Всего**  **часов** |
|  | Сверхпроводимость  Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Сверхпроводники I и II рода. Энергетическая щель. Основы микроскопической теории сверхпроводимости. Различные типы спаривания и их симметрия. Сверхпроводимость в системах с неоднородным параметром порядка. | **9** | **30** | **39** |
|  | Магнитные фазовые переходы  Магнитные фазовые переходы. Критические явления (критические индексы и соотношения между ними). Связь фазовых переходов с симметрией. Фазовые переходы в малоразмерных магнитных системах. Квантовые флуктуации в спиновых системах. Явления фрустрации в фазовых переходах. | **9** | **31** | **40** |
|  | Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости  Особенности магнетизма в сильно-коррелированных электронных системах.  Сосуществование ферромагнетизма и сверхпроводимости в сплавах и интерметаллических соединениях. Магнитное упорядочение примесей в сверхпроводящем состоянии.  Сосуществование ферромагнетизма и сверхпроводимости в слоистых тонкопленочных системах сверхпроводник/ ферромагнетик. Эффект близости сверхпроводник/ферромагнетик. Подавление температуры сверхпроводящего перехода за счет эффекта близости. Перестройка магнитной структуры в ферромагнитном слое под воздействием сверхпроводимости. | **9** | **31** | **40** |
|  | 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 «Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости»:**

**Тема 1. Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Сверхпроводники I и II рода**

Сверхпроводящие материалы. Эффект Мейснера. Разрушение сверхпроводимости магнитным полем. Сверхпроводники I и II рода.

**Тема 2. Энергетическая щель. Основы микроскопической теории сверхпроводимости**

Теплоемкость. Поглощение СВЧ излучения. Релаксация ядерного спина. Туннельный эффект. Электрон-фононное взаимодействие. Куперовские пары. Энергия основного состояния. Энергетическая щель при 0 К. Симметрия энергетической щели. Туннельный эффект Джозефсона.

**Тема 3. Фазовые переходы в малоразмерных магнитных системах. Фрустрации**

Ближний порядок. Модель Изинга. Дальний порядок. Параметр дальнего порядка. Квантовые флуктуации. Фрустрации.

**Тема 4. Особенности магнетизма в сильно коррелированных электронных системах**

Сильно коррелированные электроны и сверхпроводимость. Высокотемпературная сверхпроводимость. Квантовые критические явления и магнитные свойства. Сильно коррелированные системы различной природы.

**Тема 5. Сосуществование ферромагнетизма и сверхпроводимости в сплавах и интерметаллических соединениях. Магнитное упорядочение примесей в сверхпроводящем состоянии**

Парамагнитные примеси в сверхпроводниках. s-d модель. Теория Абрикосова–Горькова. Невозможность реализации ферромагнетизма в сверхпроводящем состоянии. Возможный тип магнитного упорядочения в сверхпроводнике. Экспериментальное наблюдение этого порядка.

**Тема 6. Сосуществование ферромагнетизма и сверхпроводимости в слоистых тонкопленочных системах сверхпроводник/ферромагнетик**

Эффект близости сверхпроводник/нормальный металл. Эффект близости сверхпроводник/ферро-магнетик. Подавление температуры сверхпроводя-щего перехода за счет эффекта близости. Возвратная сверхпроводимость. Эффект спинового клапана.

**Тема 7. Перестройка магнитной структуры в ферромагнитном слое под воздействием сверхпроводимости**

Теория Буздина, основанная на термодинамическом подходе. Теория Берджерет и др. Экспериментальное наблюдение перестройки магнитной структуры в двухслойных пленках сверхпроводник/ферромагнетик.

**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 «Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости» 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. – М.: Наука, 1984.
2. Вонсовский С.В., Кацнельсон М.И. Квантовая физика твердого тела. – М.: Наука, 1983.
3. Займан Дж. Модели беспорядка. – М.: Мир, 1982.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. – М.: Мир, 1974.
5. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.

**7.2. Дополнительная литература**

1. Rado G.T. and Suhl H. Magnetism Vol.5. – NewYork and London, 1973.
2. Линтон Э. Сверхпроводимость. – М. «Мир», 1971.
3. Сан –Жам Д., Сарма Г., Томас Е. Сверхпроводимость второго рода. – М. Мир, 1970.
4. Уайт Р. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1985.
5. Уайт Р., Джебелл Т. Дальний порядок в твердых телах. – М. «Мир», 1982.
6. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. – М.: Наука, 2000.

**7.3. Электронные ресурсы**

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

* Библиотека международного издательства INTECHOPEN – http://www.intechopen.com/
* Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU www.elibrary.ru
* Научная электронная библиотека КиберЛенинка http://www.cyberleninka.ru/
* Полнотекстовая электронная библиотека РФФИ http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library
* Электронная библиотека «Научное наследие России» http://www.e-heritage.ru/index.html
* 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

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

* 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
* Directory of Open Access Books (DOAB) http://doabooks.org/
* Directory of Open Access Journals (DOAJ) http://www.doaj.org
* 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
* Международная реферативная база по физике, астрономии, теории частиц ADS(NASA) http://adsabs.harvard.edu/
* Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) http://elibrary.ru/project\_risc.asp

**III. ЖУРНАЛЫ И КНИГИ**

* List of Free Physics Books | Physics Database http://physicsdatabase.com/free-physics-book
* Nature Communications http://www.nature.com/ncomms/index.html
* New Journal of Physics http://iopscience.iop.org/journal/1367-2630
* Physical Review X http://journals.aps.org/prx/
* Physics Books – Free Computer Books http://www.freebookcentre.net/Physics/Physics-Books-Online.html
* Scientific Reports http://www.nature.com/srep/
* 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

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

* ETH Zurich group about EPR http://www.epr.ethz.ch
* European community of Magnetism http://magnetism.eu
* International Society of Magnetic Resonance https://www.weizmann.ac.il/ISMAR/education
* Magnetic Resonance Imaging http://www.magnetic-resonance.org
* Molecular magnetism http://www.molmag.de
* Библиотека Гумер. Гуманитарные науки. http://www.gumer.info/bibliotek\_Buks/Pedagog/
* Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» http://window.edu.ru/
* Информационная справочно-правовая система «Консультант плюс» http://www.consultant.ru/ (некоммерческая версия)
* Российское магнитное общество http://www.amtc.ru/mago/
* Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям в образовании http://www.ict.edu.ru/
* Справочно-информационный портал ГРАМОТА.РУ http://www.gramota.ru/
* Техническая библиотека http://techlibrary.ru/
* Федеральный портал «Российское образование» www.edu.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:

- Установка для измерения электросопротивления в магнитном поле до 10 кЭ и при температуре до 1.5 К.

- СКВИД магнитометр, позволяющий проводить измерения в магнитных полях до 10 кЭ и до температур 1.5

- Спектрометр ЭПР BE-R418 для исследования в стационарном режиме стабильных парамагнитных центров в X-диапазоне.