

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

УТВЕРЖДЕНО

приказом ФИЦ КазНЦ РАН

от 01.03.2019 № 9-А

Разработано и рекомендовано к утверждению
Ученым советом

КФТИ - обособленного структурного
подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

28 ноября 2018 г., протокол № 33

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости»

Уровень высшего образования

Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки

03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Направленность подготовки:

01.04.11 – Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника:

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Содержание:

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Трудоемкость дисциплины.
5. Содержание дисциплины.
6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, фонд оценочных средств.
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

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия 1 зачетная единица труда (36 часов), самостоятельная работа 6 зачетных единиц труда (216 часов), всего 7 зачетных единиц труда (252 часа).

Форма проведения аудиторных занятий – лекции и семинары.

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.

2. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

универсальных

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

общепрофессиональных

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

профессиональных

- способность проводить самостоятельные исследования в области физики магнитных явлений, владеть современными методами физического эксперимента, а также способность анализировать экспериментальные данные с целью исследования природы взаимовлияния сверхпроводимости и магнетизма, физических явлений в парамагнетиках, ферромагнетиках, в соединениях с магнитными фазовыми переходами, особенностей магнетизма в сильнокоррелированных электронных системах и нанобъектах (ПК-1);
- способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области физики магнитных явлений (ПК-3).

В результате освоения дисциплины аспирант 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 (*шифр формируемого результата обучения З(УК-1)-1*);
- роль и место теории взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в современной физике твердого тела (*шифр формируемого результата обучения З(УК-2)-2*);
- особенности научной терминологии, понятийный аппарат магнетизма и сверхпроводимости, используемые при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме (*шифр формируемого результата обучения З(УК-3)-1*);
- основы теории сверхпроводимости и магнетизма в твердых телах (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-1)-1*);
- проявления взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в различных физических системах: сплавах, интерметаллических соединениях, сильнокоррелированных электронных системах, высокотемпературных сверхпроводниках и мультислоях сверхпроводник/ферромагнетик (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-1)-1*);
- существующие методы и методические подходы в научных исследованиях взаимосвязи магнетизма и сверхпроводимости и возможные способы их развития (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-3)-1*);

Уметь:

- анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнетизма и сверхпроводимости и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (*шифр формируемого результата обучения У(УК-1)-1*);
- выбирать и применять при решении задач магнетизма и сверхпроводимости адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования (*шифр формируемого результата обучения У(ОПК-1)-1*);

Владеть:

- навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнетизма и сверхпроводимости (*шифр формируемого результата обучения (ОПК-1)-1*);
- навыками проведения экспериментальных исследований сверхпроводящих материалов (*шифр формируемого результата обучения В(ПК-1)-1*);

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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 относится к *дисциплинам по выбору*, входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к вариативной части ОПОП аспирантуры по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность (профиль) 01.04.11 «Физика магнитных явлений». Индекс (по учебному плану) – **Б1.В.ДВ.1**. Дисциплина изучается в 3 и 4 семестрах.

Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью явления сверхпроводимости в энергетике будущего и спинтронике.

Материал, изучаемый в ходе освоения дисциплины, в значительной мере дополняет и расширяет ряд разделов обязательной дисциплины «Физика магнитных явлений».

В курсе используются представления смежных областей физики: квантовой механики и физики твердого тела.

4. Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, в том числе **2 ЗЕ** аудиторных занятий и **5 ЗЕ** самостоятельной работы.

№	Дисциплина	Курс	Виды учебной работы и трудоемкость (в часах)			
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости	2	20	8	8	216

5. Содержание дисциплины

5.1. Лекционные занятия

(аудиторная нагрузка 20 часов, самостоятельная работа 120 часов)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	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.
2	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.
3.	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.

5.2. Лабораторные занятия

(аудиторная нагрузка 8 часов, самостоятельная работа 48 часов)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Примеры выполняемых экспериментальных работ
1	Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости	Измерение сверхпроводящих параметров образцов (температура сверхпроводящего перехода, критическое поле).
2	Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости	Измерение петель гистерезиса с помощью СКВИД магнитометра.

5.3. Практические занятия

(аудиторная нагрузка 16 часов, самостоятельная работа 48 часов)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика семинаров
1.	Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости	Нобелевская лекция: Микроскопическая теория сверхпроводимости (J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer, 1972) Доклад на основе лекции и дискуссия
	Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости	Нобелевская лекция: Слабая сверхпроводимость. Эффект Джозефсона (B.D. Josephson, 1973) Доклад на основе лекции и дискуссия
	Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости	Нобелевская лекция: Гигантское магнетосопротивление (A. Fert, P. Gruenberg, 2007) Доклад на основе лекции и дискуссия
	Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости	4. СКВИД-магнитометр

6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, фонд оценочных средств

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.

Формой итогового контроля по дисциплине является зачет.

6.1. 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 сверхпроводящего 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 и шкала оценивания результатов освоения дисциплины:

№ п/п	Результат освоения дисциплины	Балл	Показатели оценивания
Знание			
1.	методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания

	практических задач в области магнетизма и сверхпроводимости	3	высокий уровень знания
2.	роли и места теории взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в современной физике твердого тела	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
3.	особенностей научной терминологии, понятийного аппарата магнетизма и сверхпроводимости, используемых при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
4.	основ теории сверхпроводимости и магнетизма в твердых телах	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
5.	проявлений взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости в различных физических системах: сплавах, интерметаллических соединениях, сильнокоррелированных электронных системах, высокотемпературных сверхпроводниках и мультислоях сверхпроводник/ферромагнетик	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
6.	существующих методов и методических подходов в научных исследованиях взаимовлияния магнетизма и сверхпроводимости и возможных способов их развития	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
Умение			
1.	анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнетизма и сверхпроводимости и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение

2.	выбирать и применять при решении задач магнетизма и сверхпроводимости адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение
Владение			
1.	навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнетизма и сверхпроводимости	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
2.	навыками проведения экспериментальных исследований сверхпроводящих материалов	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
Итого баллов		20–30	«зачтено»
		менее 20	«не зачтено»

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

7.1. ОСНОВНАЯ 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. – New York 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. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

7.3.1. 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>

7.3.2. 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

7.3.3. 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. Иоффе 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>

7.3.4. 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

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, практические занятия, лабораторные работы), так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах подразделений КФТИ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых КФТИ – обособленное структурное подразделение 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.

Практические занятия (семинары) посвящены подробному обсуждению лекций лауреатов Нобелевской премии по физике 1972, 1973 и 2007 годов, посвященных проблемам магнетизма и сверхпроводимости.

В ходе лабораторных занятий аспирантам предоставляется возможность изучить специфику экспериментальных исследований сверхпроводящих материалов, познакомиться с принципами работы и возможностями современной экспериментальной аппаратуры и оборудования, 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 – обособленное структурное подразделение 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 – обособленное структурное подразделение 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.