

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики микроструктур Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ИФМ РАН

_____ В.И.Гавриленко

"22" июня 2015 г.

Рабочая программа дисциплины

Экспериментальные методы физики твердого тела

Направление подготовки

03.06.01 «Физика и астрономия»

Направленность (профиль) программы

01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Квалификация (степень) выпускника

исследователь - преподаватель, исследователь

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2015

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Экспериментальные методы физики твердого тела» является факультативной дисциплиной программы 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, ряда разделов теоретической физики (электродинамика, статистическая физика), физики твердого тела, твердотельной электроники. Данный курс является базой для выполнения аспирантами экспериментальных исследований в области твердотельных наноструктур.

Дисциплина изучается на 2 курсе, (4 семестр).

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов представления о современных экспериментальных методиках, широко используемых исследователями в различных разделах физики твердого тела;
- формирование у аспирантов в ходе лекционных и практических занятий умения выбирать адекватный экспериментальный метод, соответствующий поставленной задаче физики твердого тела;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия»

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть следующими компетенциями результатами обучения по дисциплине:

Код компетенции	Результаты освоения ООП Содержание компетенций	Перечень результатов планируемых обучения по дисциплине
ПК-1	способность самостоятельно проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния и применять полученные результаты для решения практических задач	ЗНАТЬ: основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области физики конденсированного состояния. УМЕТЬ: использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области физики конденсированного состояния. ВЛАДЕТЬ: разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области физики конденсированного состояния и способами применения этих знаний для создания прикладных

		технологий и решения практических задач.
ПК-2	способность к системному анализу современных проблем физики и комплекса новейших знаний и достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности	<p>ЗНАТЬ: Базовые законы современной физики и их взаимосвязь, тенденции развития физики в обозримой перспективе, основные проблемы, стоящие перед современной физикой, а также предлагаемые средства их решения.</p> <p>УМЕТЬ: понимать суть явлений и процессов, изучаемых физикой.</p> <p>ВЛАДЕТЬ: основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении различных уровней организации материи, пространства и времени.</p>
ПК-3	способность использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов в области физики конденсированного состояния.	<p>ЗНАТЬ: основные методы обработки данных, полученных экспериментально или методами численного моделирования.</p> <p>УМЕТЬ: выделять и систематизировать необходимые научные данные; критически оценивать их достоверность.</p> <p>ВЛАДЕТЬ: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации научных данных; навыками статистического анализа экспериментальных данных; навыками аналитических и численных аппроксимаций функций.</p>

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц (ЗЕ), 108 часов.

3.1. Объём дисциплины по видам учебных занятий (в часах)

Вид учебной работы	Всего часов
--------------------	-------------

Общая трудоемкость дисциплины	108
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	36
Аудиторная работа (всего):	36
в том числе:	
Лекции	18
Практические занятия	18
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	72
Вид итогового контроля	Зачет

3.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№	Раздел дисциплины	Всего	Контактная работа		Самостоятельная работа
			Лекционные занятия	Практические занятия	
1	Получение низких температур	24	4	4	16
2	Техника низкотемпературного эксперимента	24	4	4	16
3	Низкотемпературная термометрия	24	4	4	16
4	Шумы в измерительных устройствах	12	2	2	8
5	Приемники электромагнитного излучения	24	4	4	16
	Дисциплина в целом	108	18	18	72

3.3 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
1	Получение низких температур	Методы получения низких температур. Холодильные циклы и конструкции азотных и гелиевых ожижителей. Получение температур ниже 1К (использование He3, метод адиабатического размагничивания). Устройство и принцип работы криостатов замкнутого цикла.
2	Техника низкотемпературного эксперимента	Свойства жидкого He4 и его использование в низкотемпературном эксперименте. Техника низкотемпературного эксперимента, устройство и принципы работы криостатов.
3	Низкотемпературная термометрия	Методы низкотемпературной термометрии. Первичные и вторичные термометры. Международные и национальные температурные шкалы. Металлические и полупроводниковые термометры сопротивления. Термопары.
4	Шумы в измерительных устройствах	Естественные пределы измерений. Шумы в измерительных устройствах. Фазочувствительное

		(синхронное) детектирование. Улучшение отношения сигнал/шум при синхронном детектировании. Использование фильтров низкой и высокой частоты. Аналоговые и цифровые синхродетекторы.
5	Приемники электромагнитного излучения	Приемники электромагнитного излучения и их основные характеристики. Тепловые и фотоэлектрические приемники. Ограничение обнаружительной способности флуктуациями фонового излучения.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачете, в ходе которого оцениваются уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Аспиранты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий, подготовку семинаров, а также теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, аспиранты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, мастер-классах экспертов и специалистов в области современных экспериментальных задач физики твердого тела.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В курсе запланировано на самостоятельную работу аспирантов 72 часа (67 % общего объема). Самостоятельная работа аспирантов является одним из видов учебных занятий, выполняется по заданию преподавателя индивидуально и без его непосредственного участия. Самостоятельная работа аспиранта – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – систематизация и закрепление полученных знаний и умений, углубление и расширение знаний, приобретение навыков самостоятельной работы с литературой, формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа аспиранта подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних задач с последующей проверкой навыков решения задач. Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных аспирантам на самостоятельную

работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится при подготовке к зачету по дисциплине. Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

6. Фонд оценочных средств по дисциплине

6.1 Типовые контрольные задания или иные материалы

1. Методы получения низких температур. Техника низкотемпературного эксперимента, устройство и принципы работы криостатов.
2. Свойства жидкого He⁴ и его использование в низкотемпературном эксперименте.
3. Получение температур ниже 1К. Наблюдение квантового эффекта Холла.
4. Устройство и принцип работы криостатов замкнутого цикла.
5. Методы низкотемпературной термометрии. Первичные и вторичные термометры. Международные и национальные температурные шкалы. Металлические и полупроводниковые термометры сопротивления. Термопары.
6. Естественные пределы измерений. Шумы в измерительных устройствах.
7. Фазочувствительное (синхронное) детектирование. Улучшение отношения сигнал/шум при синхронном детектировании.
8. Аналоговые и цифровые синхродетекторы. Использование фильтров низкой и высокой частоты.
9. Приемники электромагнитного излучения и их основные характеристики. Ограничение обнаружительной способности флуктуациями фонового излучения.
10. Микроволновая спектроскопия. Опыты по циклотронному резонансу.

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания изученного материала;
- способности использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме. Устная часть заключается в ответе аспирантом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать краткий ответ. Практическая часть предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Зачет ставится при уровне знаний на оценку «удовлетворительно» и выше.

Оценка	Уровень подготовки
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Аспирант дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов,

	<p>демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 90%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Аспирант показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., курс "Теоретическая физика", Том V. «Статистическая физика. Часть 1». М.: Наука. 1976.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., курс "Теоретическая физика", Том VIII. «Электродинамика сплошных сред». М.: Наука. 1982.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г., «Физика полупроводников». М.: Наука 1977.

б) дополнительная литература:

1. Ансельм А.И., «Введение в теорию полупроводников». М.: Наука 1978.
2. Ю П., Кардона М., «Основы физики полупроводников». М. Физматлит 2002.
3. Зеегер К., «Физика полупроводников», М.: Мир 1977.
4. Успехи физических наук (<https://ufn.ru/ru/>)
5. Review of Scientific Instruments (<https://aip.scitation.org/journal/rsi>)
6. Reviews of Modern Physics (RMP) (<https://journals.aps.org/rmp/>)
7. Информационный портал о температурных датчиках (<http://temperatures.ru>)
8. Physical Review B (PRB) (<https://journals.aps.org/prb/>)
9. Superconductor Science and Technology (<http://iopscience.iop.org/journal/0953-2048>)
10. Semiconductor Science and Technology (<http://iopscience.iop.org/journal/0268-1242>)
11. Физика и техника полупроводников (<http://journals.ioffe.ru/journals/2>)

в) факультативная литература

4. Д. Монтгомери, «Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов». М.: Мир, 1971.
5. Ж. Макс, «Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях». М.: Мир, 1983.
6. С.М. Зи, «Физика полупроводниковых приборов» (в 2 кн). М.: Мир, 1984.
7. П. Ю, М. Кардона, «Основы физики полупроводников». М.: Физматлит, 2002.
8. О.В. Лоунасаа, «Принципы и методы получения температур ниже 1К». М.: Мир, 1977.
9. М.Н. Уилсон, Сверхпроводящие магниты. М.: Мир, 1985.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Использование программного обеспечения:

1. Microsoft Office Word.
2. Microsoft Office Excel.
3. Microsoft Office Power Point.
4. Free Origin Viewer.

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей аспиранты имеют возможность работать за компьютером с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Составитель:

Гавриленко В.И., проф., д.ф.-м.н., зав. отделом физики полупроводников ИФМ РАН.

Рецензент:

Фраерман А.А., д.ф.-м.н., зав. отделом магнитных наноструктур ИФМ РАН