

Институт физики микроструктур РАН —  
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной физики Российской академии наук»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИФМ РАН

---

З.Ф.Красильник

"9" апреля 2018 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
Приборы и методы экспериментальной физики

Направление подготовки

*03.06.01 «Физика и астрономия»*

Направленность (профиль) программы

*01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»*

Квалификация (степень) выпускника

*исследователь - преподаватель, исследователь*

Форма обучения

*очная*

Нижний Новгород

2018

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Приборы и методы экспериментальной физики» является обязательной дисциплиной вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

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) и 3 курсе (6 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 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», 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
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<b>ЗНАТЬ:</b> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях. <b>УМЕТЬ:</b> проводить анализ литературных данных в рамках поставленной исследовательской (практической, образовательной) задачи, выявлять основные вопросы и проблемы, существующие в современной науке; при решении исследовательских и практических задач генерировать

		<p>новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p>
<b>УК-3</b>	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	<p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>Особенности проведения научных исследований при работе в российских и международных исследовательских коллективах.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>следовать нормам, принятым в научном общении, при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач;</p> <p>осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>технологиями планирования и оценки результатов коллективной научно-образовательной деятельности в рамках работы в российских и международных коллективах;</p> <p>различными типами коммуникаций при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных и научно-образовательных задач .</p>
<b>УК-5</b>	способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	<p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и тре-</p>

		<p>бований рынка труда.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b> осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b> Приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач .</p>
<p><b>ОПК-1</b></p>	<p>способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p><b>ЗНАТЬ:</b> теоретические основы организации научно-исследовательской деятельности; методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач; методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования планировать, организовывать и проводить научно-исследовательские и производственно-технические исследования с применением современной аппаратуры, оборудования и компьютерных технологий; самостоятельно выполнять теоретические, экспериментальные и вычислительные физические исследования при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по те-</p>

		<p>матике проводимых исследований;</p> <p>навыками планирования научного исследования, анализа полученных результатов и формулировки выводов;</p> <p>навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований;</p> <p>способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий; анализировать, обобщать и систематизировать результаты физических работ.</p>
<b>ПК-1</b>	<p>способность самостоятельно проводить научные исследования в области разработки приборов и методов экспериментальной физики и применять полученные результаты для решения практических задач</p>	<p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области разработки приборов и методов экспериментальной физики.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области разработки приборов и методов экспериментальной физики.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области разработки приборов и методов экспериментальной физики и способами применения этих знаний для создания прикладных технологий и решения практических задач.</p>
<b>ПК-2</b>	<p>способность к системному анализу современных проблем физики и комплекса новейших знаний и достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности</p>	<p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>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><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>понимать суть явлений и процессов, изучаемых физикой.</p>

		<p><b>ВЛАДЕТЬ:</b>  основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении различных уровней организации материи, пространства и времени.</p>
<b>ПК-3</b>	<p>способность использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов в области разработки приборов и методов экспериментальной физики.</p>	<p><b>ЗНАТЬ:</b>  основные методы обработки данных, полученных экспериментально или методами численного моделирования.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b>  выделять и систематизировать необходимые научные данные; критически оценивать их достоверность.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b>  навыками сбора, обработки, анализа и систематизации научных данных; навыками статистического анализа экспериментальных данных; навыками аналитических и численных аппроксимаций функций.</p>
<b>ПК-4</b>	<p>готовность разрабатывать научно-техническую документацию различного уровня сложности, а также способностью осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований.</p>	<p><b>ЗНАТЬ:</b>  основные принципы написания научно-технической документации.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b>  выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать научную информацию по теме исследования.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b>  навыками написания научного текста (научных статей, тезисов, заявок по грантам и отчётам по научным исследованиям обработки).</p>
<b>ПК-5</b>	<p>готовность осуществлять преподавательскую деятельность в области разработки приборов и методов экспериментальной физики в образовательных организациях высшего образования, разрабатывать комплексное методическое обеспечение преподаваемых учебных дисциплин, обоснованно выбирать и эффективно использовать образовательные технологии, методы и средства обуче-</p>	<p><b>ЗНАТЬ:</b>  основные физические законы, явления и методы экспериментальной физики, основные законы теоретической физики.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b>  использовать оптимальные методы преподавания и контроля усваиваемого материала.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b>  различными навыками преподавания,</p>

	ния с целью обеспечения планируемого уровня личностного и профессионального развития обучающегося.	уметь их применять в зависимости от специфики преподаваемого курса и аудитории.
--	--	---

**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 6 зачетных единиц (ЗЕ), 216 часов.

**3.1. Объем дисциплины по видам учебных занятий (в часах)**

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Всего часов</b>
Общая трудоемкость дисциплины	216
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	72
Аудиторная работа (всего):	72
в том числе:	
Лекции	36
Практические занятия	36
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	108
Контроль	36
<b>Вид итогового контроля</b>	<b>Экзамен</b>

**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	Получение сильных магнитных полей	24	6	6	12
5	Конструкции гелиевых криостатов	24	6	6	12
6	Шумы в измерительных устройствах	12	2	2	8
7	Использование импульсной техники в физических измерениях	24	6	6	12
8	Приемники электромагнитного излучения	24	4	4	16

	Контроль	36			
	<b>Дисциплина в целом</b>	<b>216</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>108</b>

### 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	Получение сильных магнитных полей	Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. Расчет магнитного поля на оси соленоида. Использование сверхпроводников для получения сильных магнитных полей. Импульсные магнитные поля.
5	Конструкции гелиевых криостатов	Основные принципы конструирования гелиевых криостатов. Тепловые экраны. Оптимизация тоководов для сверхпроводящих соленоидов.
6	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.
7	Использование импульсной техники в физических измерениях	Использование импульсной техники в физических измерениях. Стробоскопический анализ сигналов. Использование цифровых осциллографов для анализа импульсных сигналов.
8	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. Промежуточный контроль осуществляется на зачете, итоговый – на экзамене, в ходе которых 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 108 часов (50 % 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 и экзамену 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  $He^4$  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. Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. Расчет магнитного поля на оси соленоида.
7. Использование сверхпроводников для получения сильных магнитных полей. Импульсные магнитные поля.
8. Основные принципы конструирования гелиевых криостатов. Тепловые экраны. Оптимизация тоководов для сверхпроводящих соленоидов.
9. Естественные пределы измерений. Шумы в измерительных устройствах.
10. Фазочувствительное (синхронное) детектирование. Улучшение отношения сигнал/шум при синхронном детектировании.
11. Аналоговые и цифровые синхродетекторы. Использование фильтров низкой и высокой частоты.
12. Использование импульсной техники в физических измерениях. Стробоскопический анализ сигналов. Использование цифровых осциллографов для анализа импульсных сигналов.
13. Приемники электромагнитного излучения и их основные характеристики. Ограничение обнаружительной способности флуктуациями фонового излучения.
14. Микроволновая спектроскопия. Опыты по циклотронному резонансу.

### 6.2. Описание шкал оценивания

Контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета и экзамена, на которых определяется:

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

Зачет и экзамен проводятся 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.

	<p>Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, 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. Лоунасмаа, «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