

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.
Лобачевского»**

Радиофизический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан _____

Матросов В.В.

« ____ » _____ 2021 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Физика твердого тела

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Аспирантура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.06.01 «Физика и астрономия»

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**Исследователь. Преподаватель-
исследователь**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2021 г.

1. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы (ООП)

Дисциплина «Физика твердого тела» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на третьем году обучения в пятом семестре.

Освоение дисциплины обучающимися опирается на знания, умения, навыки и компетенции, которые должны иметь выпускники бакалавриата и магистратуры радиофизического факультета, получившие хорошую аттестацию на экзаменах общей физики, математического анализа, дифференциальных уравнений, классической (теоретической) механики и квантовой механики.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ООП (компетенциями выпускников)

Таблица 1

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 – Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики (завершающий этап)	З(ПК-1)-1 – знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, знать о таких понятиях, как кристаллическая решетка, элементарная ячейка и кристаллографические направления. У(ПК-1)-1 – уметь определять наиболее актуальные направления исследований, уметь анализировать поведение сверхпроводников в магнитном поле. У(ПК-1)-2 – уметь самостоятельно формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики и этапов профессионального роста, уметь объяснять процессы переноса в неоднородных полупроводниках и возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике. У(ПК-1)-3 – уметь при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений, уметь рассматривать магнитные свойства твердых тел. В(ПК-1)-1 – владеть навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, владеть навыками анализа механизмов рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фоновых, рассеяние на оптических фоновых, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние. В(ПК-1)-2 – владеть навыками технологиями планирования профессиональной деятельности в сфере научных исследований, владеть навыками классификации кристаллов. В(ПК-1)-3 – владеть навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов параметров кристаллических структур.
ПК-2 – Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и полу-	З(ПК-2)-1 – знать современное состояние науки в области радиофизики, знать такие понятия как сверхпроводимость, диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм, антиферромагнетизм, фотоионизация и фотопроводимость.

<p>чению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p>(завершающий этап)</p>	<p>З(ПК-2)-2 – знать современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов, знать актуальные способы моделирования процессов протекания зарядов в кристаллических структурах.</p> <p>З(ПК-2)-3 – знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе для работ о процессах в твердых телах.</p> <p>У(ПК-2)-1 – уметь представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях о сверхпроводимости или магнитных свойствах твердых тел.</p> <p>У(ПК-2)-2 – уметь представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению.</p> <p>В(ПК-2)-1 – владеть навыками моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов, владеть навыками проводить моделирование параметров кристаллических структур с учетом изменяющихся внешних факторов.</p> <p>В(ПК-2)-2 – владеть современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования, владеть навыком проводить статистический анализ параметров кристаллических структур, сопоставлять его с данными эксперимента и проводить обобщение полученных результатов.</p> <p>В(ПК-2)-3 – владеть методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности Радиофизика, владеть методикой составления программы - методики изучения твердых тел и обобщать результаты.</p>
<p>ПК-3 – Способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики</p> <p>(завершающий этап)</p>	<p>З(ПК-3)-1 – знать нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР и знать о порядке составления заявок, грантов, проектов НИР по вопросам о полупроводниковых приборах.</p> <p>З(ПК-3)-2 – знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, знать порядок оформления рукописи по вопросам курса.</p> <p>У(ПК-3)-1 – уметь самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования, уметь проводить анализ механизмов рекомбинации носителей и возникновения внутреннего поля в неоднородном полупроводнике.</p> <p>У(ПК-3)-2 – уметь оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения, уметь применять полученные данные в специальном оборудовании.</p> <p>У(ПК-3)-3 – уметь готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в области радиофизики, в особенности по темам связанным с определением и анализом параметров полупроводниковых структур.</p> <p>У(ПК-3)-4 – уметь представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе работы по темам связанным с исследованием поведения полупроводниковых приборов при влиянии внешних факторов.</p> <p>В(ПК-3)-1 – владеть навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных ра-</p>

	<p>бот по направленности Радиофизика, владение навыком подачи заявки на выполнение работ по темам связанным с измерением характеристик кристаллических структур.</p> <p>В(ПК-3)-2 – владеть навыками представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по сверхпроводимости приборов и возможностях их применения в аппаратуре.</p>
--	--

3. Структура и содержание дисциплины «Физика твердого тела»

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляют контактную работу обучающегося с преподавателем (35 часов занятия лекционного типа, 1 час мероприятия по аттестации) и 36 часов – самостоятельную работу аспиранта.

Таблица 2

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение. Кристаллическая структура твердого тела	10	5	-	-	-	5	5
2. Колебания и волны в кристаллической решетке. Электроны в периодическом потенциале	10	5	-	-	-	5	5
3. Статистика носителей заряда	10	5	-	-	-	5	5
4. Квазиклассическое описание движения носителей заряда	11	5	-	-	-	5	6
5. Неравновесные явления в полупроводниках. Процессы переноса в неоднородных полупроводниках.	10	5	-	-	-	5	5
6. Магнитные свойства твердых тел	10	5	-	-	-	5	5
7. Сверхпроводимость	10	5	-	-	-	5	5
Аттестация по дисциплине – зачет	1	1	-	-	-	1	-
Итого	72	36	-	-	-	36	36

Таблица 3

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение. Кристаллическая структура твердого	Кристаллические решетки. Элементарная ячейка. Симметрии. Решетки Браве. Кристаллографические направления.	Лекции	-

	го тела	Области Дирихле. Обратная решетка. Индексы Миллера. Ячейка Вигнера-Зейтца. Зоны Бриллюэна. Рентгено-структурный анализ кристаллов. Описание решетки кремния.		
2	Колебания и волны в кристаллической решетке. Электроны в периодическом потенциале	Колебания простой и сложной цепочки. Продольные и поперечные колебания. Решетка с одним атомом в ячейке. Решетка с несколькими атомами в ячейке. Законы дисперсии для трехмерной решетки. Акустические и оптические фононы. Теория теплоемкости Дюлонга-Пти. Квантовый подход к описанию кристаллов. Статика Бозе-Эйнштейна. Теории теплоемкости Эйнштейна и Дебая. Уравнение Шредингера для периодического потенциала. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пени. Зонная структура кристаллов: разрешенные и запрещенные зоны. Закон дисперсии. Классификация: металлы, диэлектрики, полупроводники. Классификация: ковалентные и ионные кристаллы. Свободные носители заряда: электроны и дырки. Эффективные массы электронов и дырок. Граничные условия Борна-Кармана. Плотность состояний.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
3	Статистика носителей заряда	Функция Ферми и поверхность Ферми. Заселение состояний в металлах и диэлектриках. Электронная теплоемкость в металлах. Заселение состояний в полупроводниках. Уравнение электронейтральности. Уровень Ферми и концентрация носителей в собственных и примесных полупроводниках. Область истощения примесей. Основные и неосновные носители заряда. Управление проводимостью с помощью легирования.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
4	Квазиклассическое описание движения носителей заряда	Свободное движение волнового пакета. Кинетическое уравнение Больцмана. Механизмы рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фононах, рассеяние на оптических фононах, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние. Квазигидродинамическое приближение. Подвижность носителей. Циклотронный резонанс. Эффект Холла.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
5	Неравновесные явления в полупроводниках. Процессы переноса в неоднородных	Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей. Время жизни неравновесных	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного прове-

	полупроводниках.	носителей. Диффузия свободных носителей заряда. Ток диффузии и ток дрейфа. Возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике. Соотношение Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Максвелловская релаксация в проводящей среде. Время жизни неосновных носителей заряда. Диффузионная длина.		ряющему по электронной почте
6	Магнитные свойства твердых тел	Магнитная восприимчивость и намагниченность. Энергия магнитного дипольного взаимодействия. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм. Антиферромагнетизм. Температура Кюри. Возникновение доменных структур.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
7	Сверхпроводимость	Нулевое сопротивление. Критическая температура. Низкотемпературные и высокотемпературные сверхпроводники. Поведение сверхпроводников в магнитном поле. Эффект Мейснера. Критические магнитные поля. Сверхпроводники 1 и 2 рода. Теория Гинзбурга-Ландау и параметр порядка. Квантование магнитного потока. Вихри Абрикосова. Туннельный эффект Джозефсона. Джозефсоновские контакты и Джозефсоновские вихри.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

4. Образовательные технологии

Еженедельно текст прочитанной лекции и соответствующие вопросы для контроля текущей успеваемости из списка **5.4** рассылаются по электронной почте обучающимся для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы и создания личного **портфолио** по дисциплине «**Физика твердого тела**».

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.

2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы аспирантов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма выборочной проверки (в соответствии со **списком вопросов 5.4**) состояния отдельных частей индивидуального **портфолио** обучающегося не менее двух раз в течение семестра.

3. Трансляции по электронной почте на адреса всех аспирантов, изучающих дисциплину «**Физика твердого тела**», ответа преподавателя на индивидуальный вопрос (по программе дисциплины) одного из обучающихся.

4. Список вопросов для контроля текущей успеваемости

1. Особенности кристаллической структуры твердых тел и правила построения ячейки Вигнера-Зейтца.

2. Причины возникновения зонной структуры твердых тел. Эффективная масса электронов и дырок

3. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Уровень Ферми. Собственная и примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда.
4. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трехмерной решетки.
5. Кинетическое уравнение Больцмана и механизмы рассеяния электронов. Подвижность носителей заряда.
6. Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии
7. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей.
8. Диффузионный и дрейфовый ток. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.
9. Каковы магнитные свойства твердых тел?
10. Каковы сверхпроводящие свойства твердых тел?

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования

Дисциплина «Физика твердого тела» вносит определённый доленой вклад в *формирование компетенций* выпускников Основной Образовательной Программы (ПК–1; ПК–2 и ПК–3), *которое* предусмотрено *утверждённым рабочим Учебным планом подготовки аспирантов* по направлению 03.06.01 Физика и астрономия и направленности 01.04.03 – «Радиофизика» на 2020- 2021 учебный год. Содержание компетенций ПК–1; ПК–2 и ПК–3 с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, представлено в разделе 2 настоящей РПД. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Оценка результатов обучения в соответствии с *Учебным планом* производится на основании анализа предоставленных обучающимся документов его личного **портфолио**. Оценивание компетенций обучающегося на всех стадиях их формирования осуществляется *по пятибалльной шкале*. Показатели и критерии оценивания компетенций, которые формируются у обучающихся в процессе изучения дисциплины, представлены в таблицах Приложения 1, являющегося неотъемлемой частью РПД.

6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

1. Особенности кристаллической структуры твердых тел и правила построения ячейки Вигнера-Зейтца.
2. Причины возникновения зонной структуры твердых тел. Эффективная масса электронов и дырок
3. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Уровень Ферми. Собственная и примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда.
4. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трехмерной решетки.
5. Кинетическое уравнение Больцмана и механизмы рассеяния электронов. Подвижность носителей заряда.
6. Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии
7. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей.
8. Диффузионный и дрейфовый ток. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.
9. Каковы магнитные свойства твердых тел?
10. Каковы сверхпроводящие свойства твердых тел?

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) **ПК-1**, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 1-5.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) **ПК-2**, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 6-10.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) **ПК-3**, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 1, 5, 8-10.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Физика твердого тела»

а) основная литература:

1. Зи С. М. - Физика полупроводниковых приборов: в 2 кн. - М. : Мир , 1984. - 455 с.
2. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. - Физика полупроводников: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М.: Наука, 1977. - 672 с.
3. Киттель Ч. - Элементарная физика твердого тела. - М.: Наука, 1965. - 366 с.

б) дополнительная литература:

1. Пикус Г. Е. - Основы теории полупроводниковых приборов. - М.: Наука, 1965. - 448 с.
2. Зеегер К. - Физика полупроводников: пер. с англ. Р. Бразиса [и др.]. - М.: Мир, 1977. - 615 с.
3. Киреев П. С. – «Физика полупроводников» [учеб. пособие для втузов]. - М.: Высшая школа, 1975. - 584 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;

<http://www.biblioclub.ru>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор _____ В.А. Козлов

Рецензент _____

Зав. кафедрой квантовой радиофизики и электроники _____ С.А. Бельков

Программа рекомендована на заседании кафедры квантовой радиофизики и электроники от _____ года, протокол № ____.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от _____ 2021 года, протокол № ____.

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

Дисциплина «Физика твердого тела» вносит долевой вклад в *формирование профессиональных компетенций* ПК–1; ПК–2 и ПК–3 выпускников Основной Образовательной Программы аспирантуры по направлению 03.06.01 Физика и астрономия и направленности 01.04.03 – «Радиофизика». В настоящем Приложении 1 представлены **шифры планируемых результатов обучения** (см раздел 2 РПД) и **критерии оценивания результатов обучения**.

ПК-1 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики

Шифры планируемых результатов	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
З(ПК-1)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач и знания о таких понятиях, как кристаллическая решетка, элементарная ячейка и кристаллографические направления	Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач и знания о таких понятиях, как кристаллическая решетка, элементарная ячейка и кристаллографические направления	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных и знания о таких понятиях, как кристаллическая решетка, элементарная ячейка и кристаллографические направления	Сформированные системные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных и знания о таких понятиях, как кристаллическая решетка, элементарная ячейка и кристаллографические направления
У(ПК-1)-1	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований и умение анализировать поведение сверхпроводников в магнитном поле	В целом успешное, но не систематическое использование умения определять наиболее актуальные направления исследований и умения анализировать поведение сверхпроводников в магнитном поле	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения определять наиболее актуальные направления исследований и умения анализировать поведение сверхпроводников в магнитном поле	Сформированное умение определять наиболее актуальные направления исследований и умение анализировать поведение сверхпроводников в магнитном поле

У(ПК-1)-2	Не умеет и не готов формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки и этапов профессионального роста. Не умеет объяснять процессы переноса в неоднородных полупроводниках и возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике.	Имея базовые представления о тенденциях развития науки в области радиофизики и этапах профессионального роста, не способен сформулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения. Частичное умение объяснять процессы переноса в неоднородных полупроводниках и возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике.	При формулировке новых научных задач в области радиофизики не учитывает тенденции развития науки в области радиофизики и индивидуально-личностные особенности. В целом успешное, но не систематизированное умение объяснять процессы переноса в неоднородных полупроводниках и возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике.	Формулирует новые научные задачи в области радиофизики, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики и индивидуально-личностных особенностей, но не полностью учитывает возможные этапы профессиональной деятельности. В целом успешное, но с небольшими недочетами умение объяснять процессы переноса в неоднородных полупроводниках и возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике.	Готов и умеет формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей. Умеет объяснять процессы переноса в неоднородных полупроводниках и возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике.
У(ПК-1)-3	Отсутствие умений	Частично освоенное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений и умение рассматривать магнитные свойства твердых тел	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений и умение рассматривать магнитные свойства твердых тел	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений и умение рассматривать магнитные свойства твердых тел	Сформированное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений и умение рассматривать магнитные свойства твердых тел
В(ПК-1)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и применение навыков анализа механизмов рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фоновых, рассеяние на оптических фоновых, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние	В целом успешное, но не систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и применение навыков анализа механизмов рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фоновых, рассеяние на оптических фоновых, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и применение навыков анализа механизмов рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фоновых, рассеяние на оптических фоновых, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние	Успешное и систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и применение навыков анализа механизмов рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фоновых, рассеяние на оптических фоновых, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние

В(ПК-1)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий планирования профессиональной деятельности и применение навыков классификации кристаллов	В целом успешное, но не систематическое применение технологий планирования профессиональной деятельности и применение навыков классификации кристаллов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий планирования профессиональной деятельности и применение навыков классификации кристаллов	Успешное и систематическое применение технологий планирования профессиональной деятельности и применение навыков классификации кристаллов
В(ПК-1)-3	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение отдельными навыками анализа радиофизических задач, отдельными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов и навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов параметров кристаллических структур	В целом успешное, но не систематическое владение основными навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; основными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов и навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов параметров кристаллических структур	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основными навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; основными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов и навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов параметров кристаллических структур	Успешное и систематическое владение навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов и навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов параметров кристаллических структур

ПК-2 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта

Шифры планир. результатов	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
3(ПК-2)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии науки в области радиофизики и таких понятиях как сверхпроводимость, диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм, антиферромагнетизм, фотоионизация и фотопроводимость	Неполные представления о современном состоянии науки в области радиофизики и таких понятиях как сверхпроводимость, диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм, антиферромагнетизм, фотоионизация и фотопроводимость	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии науки в области радиофизики и таких понятиях как сверхпроводимость, диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм, антиферромагнетизм, фотоионизация и фотопроводимость	Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в области радиофизики и таких понятиях как сверхпроводимость, диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм, антиферромагнетизм, фотоионизация и фотопроводимость

З(ПК-2)-2	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и знания об актуальных способах моделирования процессов протекания зарядов в кристаллических структурах	В целом успешные, но несистемные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и знания об актуальных способах моделирования процессов протекания зарядов в кристаллических структурах	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и знания об актуальных способах моделирования процессов протекания зарядов в кристаллических структурах	Сформированные систематические представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и знания об актуальных способах моделирования процессов протекания зарядов в кристаллических структурах
З(ПК-2)-3	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе для работ о процессах в твердых телах	Общие представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе для работ о процессах в твердых телах	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях, в том числе для работ о процессах в твердых телах	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях, в том числе для работ о процессах в твердых телах
У(ПК-2)-1	Отсутствие умений	Фрагментарное использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях о сверхпроводимости или магнитных свойствах твердых тел	В целом успешное, но не систематическое использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях о сверхпроводимости или магнитных свойствах твердых тел	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях о сверхпроводимости или магнитных свойствах твердых тел	Сформированное умение использовать методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях о сверхпроводимости или магнитных свойствах твердых тел
У(ПК-2)-2	Отсутствие умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению	В целом успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению	Сформированное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу; определять целевые группы и форматы продвижения результатов собственной научной деятельности, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению
В(ПК-2)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и применение навыков проводить моделирование параметров кристаллических структур с учетом изменяющихся внешних факторов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и применение навыков проводить моделирование параметров кристаллических структур с учетом изменяющихся внешних факторов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и применение навыков проводить моделирование параметров кристаллических структур с учетом изменяющихся внешних факторов	Успешное и систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и применение навыков проводить моделирование параметров кристаллических структур с учетом изменяющихся внешних факторов

В(ПК-2)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и применение навыков проведения статистического анализа параметров кристаллических структур, сопоставлять его с данными эксперимента и проводить обобщение полученных результатов	В целом успешное, но не систематическое применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и применение навыков проведения статистического анализа параметров кристаллических структур, сопоставлять его с данными эксперимента и проводить обобщение полученных результатов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и применение навыков проведения статистического анализа параметров кристаллических структур, сопоставлять его с данными эксперимента и проводить обобщение полученных результатов	Успешное и систематическое применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и применение навыков проведения статистического анализа параметров кристаллических структур, сопоставлять его с данными эксперимента и проводить обобщение полученных результатов
В(ПК-2)-3	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методов планирования, подготовки и проведения НИР, анализа и обсуждения полученных данных и применение методики составления программы - методики изучения твердых тел и обобщать результаты	В целом успешное, но не систематическое применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных и применение методики составления программы - методики изучения твердых тел и обобщать результаты	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировка выводов по результатам НИР и применение методики составления программы - методики изучения твердых тел и обобщать результаты	Успешное и систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения НИР и анализа и обсуждения полученных результатов; формулировка выводов и рекомендаций по результатам НИР и применение методики составления программы - методики изучения твердых тел и обобщать результаты

ПК-3 Способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики

Шифры планир. результатов	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
3(ПК-3)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о нормативных документах для составления заявок, грантов, проектов НИР и знания о порядке составления заявок, грантов, проектов НИР по вопросам о полупроводниковых приборах	Неполные представления о нормативных документах для составления заявок, грантов, проектов НИР и знания о порядке составления заявок, грантов, проектов НИР по вопросам о полупроводниковых приборах	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР и знания о порядке составления заявок, грантов, проектов НИР по вопросам о полупроводниковых приборах	Сформированные систематические знания нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР и знания о порядке составления заявок, грантов, проектов НИР по вопросам о полупроводниковых приборах
3(ПК-3)-2	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях и знание порядка оформления рукописи по вопросам курса	Общие представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях и знание порядка оформления рукописи по вопросам курса	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях и знание порядка оформления рукописи по вопросам курса	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях и знание порядка оформления рукописи по вопросам курса

У(ПК-3)-1	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить анализ механизмов рекомбинации носителей и возникновения внутреннего поля в неоднородном полупроводнике	В целом успешное, но не систематическое использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить анализ механизмов рекомбинации носителей и возникновения внутреннего поля в неоднородном полупроводнике	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить анализ механизмов рекомбинации носителей и возникновения внутреннего поля в неоднородном полупроводнике	Сформированное умение самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умение проводить анализ механизмов рекомбинации носителей и возникновения внутреннего поля в неоднородном полупроводнике
У(ПК-3)-2	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в специальном оборудовании	В целом успешное, но не систематическое использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в специальном оборудовании	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в специальном оборудовании	Сформированное умение оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в специальном оборудовании
(ПК-3)-3	Отсутствие умений	Умение готовить отдельные материалы для заявки на получение научных грантов по поручению научного руководителя, в особенности по темам связанным с определением и анализом параметров полупроводниковых структур	В целом успешное, но не систематическое использование умения готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР, в особенности по темам связанным с определением и анализом параметров полупроводниковых структур	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение готовить предложения по тематике и плану реализации исследовательских проектов, а также оформлять проект согласно установленным требованиям, в особенности по темам связанным с определением и анализом параметров полупроводниковых структур	Сформированное умение готовить предложения по тематике и плану реализации исследовательских проектов; обосновывать предложения с точки зрения реалистичности сроков, трудозатрат и ресурсной обеспеченности; оформлять проект согласно установленным требованиям, в особенности по темам связанным с определением и анализом параметров полупроводниковых структур
(ПК-3)-4	Отсутствие умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов, в том числе работы по темам связанным с исследованием поведения полупроводниковых приборов при влиянии внешних факторов	В целом успешное, умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу, в том числе работы по темам связанным с исследованием поведения полупроводниковых приборов при влиянии внешних факторов	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе работы по темам связанным с исследованием поведения полупроводниковых приборов при влиянии внешних факторов	Сформированное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу; определять целевые группы и форматы продвижения результатов собственной научной деятельности, в том числе работы по темам связанным с исследованием поведения полупроводниковых приборов при влиянии внешних факторов

В(ПК-3) -1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика и применение навыков подачи заявки на выполнение работ по темам связанным с измерением характеристик кристаллических структур	В целом успешное, но не систематическое применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика и применение навыков подачи заявки на выполнение работ по темам связанным с измерением характеристик кристаллических структур	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика и применение навыков подачи заявки на выполнение работ по темам связанным с измерением характеристик кристаллических структур	Успешное и систематическое применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика и применение навыков подачи заявки на выполнение работ по темам связанным с измерением характеристик кристаллических структур
В(ПК-3)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по сверхпроводимости приборов и возможностях их применения в аппаратуре	В целом успешное, но не систематическое применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по сверхпроводимости приборов и возможностях их применения в аппаратуре	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по сверхпроводимости приборов и возможностях их применения в аппаратуре	Сформированное владение навыками представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по сверхпроводимости приборов и возможностях их применения в аппаратуре