

Федеральное агентство научных организаций

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А.Ф. ИОФФЕ РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК

(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе  
д.ф.-м.н. Лебедев С.В.

" 23 " 06 2015 г.

**Фонд оценочных средств дисциплины**

**Физика полупроводников**

**направление подготовки 03.06.01. Физика и астрономия**

**направленность 01.04.10. Физика полупроводников**

Квалификация (степень) выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения очная

Санкт-Петербург

2015 г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### Разделы фонда оценочных средств

1. Перечень компетенций, которыми должны овладеть обучающиеся в результате освоения дисциплины.
2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций.
3. Оценочные средства для текущего контроля и промежуточной аттестации.

Фонд оценочных средств составлен в соответствии с требованиями ФГОС по направлениям подготовки 03.06.01. Физика и астрономия, направленность 01.04.10. Физика полупроводников

Программа разработана:

Группой подготовки научных кадров  
Проф., д.ф.-м.н. А.П. Шергин



### 1. ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ, КОТОРЫМИ ДОЛЖНЫ ОВЛАДЕТЬ ОБУЧАЮЩИЕСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ООП ВО

Результатом изучения дисциплины Физика полупроводников является освоение выпускником следующих компетенций: УК-1, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4.

### 2. ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Для оценки результатов освоения программы дисциплины Физика полупроводников выделены следующие компетенции:

№	Код компетенции	Показатели	Элемент оценочного средства	Уровни сформированности компетенций			
				Не сформирована (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4балла)	Продвинутый Уровень (5 баллов)
<b>Универсальные компетенции</b>							
1.	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	<i>Знать:</i> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач <i>Уметь:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских	Экзамен	Навыки, умения, знания отсутствуют или нуждаются в существенном развитии	Навыки, умения, знания соответствуют минимальным требованиям, но их проявление не систематическое и требуют дальнейшего развития	Навыки, умения, знания соответствуют основным требованиям, но требуется контроль за их развитием. Необходимы указания на ошибки, способен самостоятельно их устранить	Навыки, умения, знания достаточно высоко развиты. Самостоятельное и качественное решение поставленных задач в различных условиях. Творческий поход к поставленной задаче

		и практических задач <i>Владеть:</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях					
--	--	---	--	--	--	--	--

**Общепрофессиональные компетенции**

2.	ОПК-1 – способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационных технологий	<i>Знать:</i> методики анализа современных проблем в области физики и астрономии, способы и методы решения теоретических и экспериментальных задач <i>Уметь:</i> критически анализировать проблемы в области физики и астрономии, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических и экспериментальных задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности	Экзамен	Навыки, умения, знания отсутствуют или нуждаются в существенном развитии	Навыки, умения, знания соответствуют минимальным требованиям, но их проявление не систематическое и требуют дальнейшего развития	Навыки, умения, знания соответствуют основным требованиям, но требуется контроль за их развитием. Необходимы указания на ошибки, способен самостоятельно их устранить	Навыки, умения, знания достаточно высоко развиты. Самостоятельное и качественное решение поставленных задач в различных условиях. Творческий подход к поставленной задаче
----	--	--	---------	--	--	---	---

**Профессиональные компетенции**

3.	ПК-1- способность планировать, организовывать работу по проектам, направленным на разработку новых физических принципов	<i>Знать:</i> физику полупроводников и полупроводниковых приборов, а также методы диагностики параметров полупроводниковых материалов и структур на их основе <i>Владеть:</i> методами анализа	Экзамен	Навыки, умения, знания отсутствуют или нуждаются в существенном развитии	Навыки, умения, знания соответствуют минимальным требованиям, но их проявление не	Навыки, умения, знания соответствуют основным требованиям, но требуется контроль за их развитием.	Навыки, умения, знания достаточно высоко развиты. Самостоятельное и качественное решение поставленных задач в различных условиях.
----	---	---	---------	--	---	---	---



	<p>работы и создание приборов на базе полупроводниковых материалов и композиционных полупроводниковых структур, разработку методов исследования полупроводников и композитных полупроводниковых структур</p>	<p>работы полупроводниковых приборов на основе системы уравнений описывающих движение носителей заряда, также методами диагностики полупроводниковых материалов, композиционных полупроводниковых структур и приборов на их основе стволовых клеток</p>			<p>систематическое и требуют дальнейшего развития</p>	<p>Необходимы указания на ошибки, способен самостоятельно их устранить</p>	<p>Творческий подход к поставленной задаче</p>
4	<p>ПК-2- способность осуществлять моделирование свойств и физических явлений в полупроводниках и структурах, технологических процессов и полупроводниковых приборов</p>	<p><i>Знать:</i> основы квантовой механики, физики твердого тела, физики полупроводников и полупроводниковых приборов, основные особенности электронной энергетической структуры, связанные с ее зонным характером, основы динамики электронов в полупроводниках во внешних электрическом и магнитном полях, методы решения уравнений математической физики, аппарат решения одночастичных и многочастичных задач, в твердых телах, основы тензорного и векторного анализа.</p> <p><i>Уметь:</i> моделировать свойства и физические явления в полупроводниках структурах и приборах на их основе, решать уравнения Шредингера, Паули и Дирака,</p>	<p>Экзамен</p>	<p>Навыки, умения, знания отсутствуют или нуждаются в существенном развитии</p>	<p>Навыки, умения, знания соответствуют минимальным требованиям, но их проявление не систематическое и требуют дальнейшего развития</p>	<p>Навыки, умения, знания соответствуют основным требованиям, но требуется контроль за их развитием. Необходимы указания на ошибки, способен самостоятельно их устранить</p>	<p>Навыки, умения, знания достаточно высоко развиты. Самостоятельное и качественное решение поставленных задач в различных условиях. Творческий подход к поставленной задаче</p>

		<p>анализировать физическую картину полученных результатов</p> <p><i>Владеть:</i> методами квантовой механики, квантовой теории твердого тела, основами электродинамики сплошных сред для описания движения носителей заряда в полупроводниках структурах и приборах на их основе, навыками использования различных пакетов математического моделирования физических систем</p>					
5.	<p>ПК-3</p> <p>способность применять технологические методы получения полупроводниковых материалов, композитных структур, структур пониженной размерности и полупроводниковых приборов на их основе и интегральных устройств на их основе</p>	<p><i>Знать:</i> основные технологические методы получения полупроводниковых материалов, композитных структур, структур пониженной размерности и полупроводниковых приборов на их основе</p> <p><i>Уметь:</i> разрабатывать технологические процессы для выращивания полупроводниковых материалов и приборов на их основе, объяснять физические процессы, происходящие в системах пониженной размерности, применять изученные модели и подходы для описания принципов работы полупроводниковых приборов</p> <p><i>Владеть:</i> методами</p>	Экзамен	<p>Навыки, умения, знания отсутствуют или нуждаются в существенном развитии</p>	<p>Навыки, умения, знания соответствуют минимальным требованиям, но их проявление не систематическое и требуют дальнейшего развития</p>	<p>Навыки, умения, знания соответствуют основным требованиям, но требуется контроль за их развитием. Необходимы указания на ошибки, способен самостоятельно их устранить</p>	<p>Навыки, умения, знания достаточно высоко развиты. Самостоятельное и качественное решение поставленных задач в различных условиях. Творческий подход к поставленной задаче</p>

		<p>решения одночастичных уравнений Шредингера для наноструктур различных размерностей, владеть методами численной оценки для различных физических параметров полупроводниковых структур пониженной размерности</p>					
6	<p>ПК-4 - способность получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, выбирать и обосновывать методики и средства решения поставленных задач</p>	<p><i>Знать:</i> основные достижения, проблемы и тенденции развития отечественной и зарубежной науки технологии в области полупроводниковых материалов и приборов на их основе</p> <p><i>Уметь:</i> критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области физики полупроводников и полупроводниковых приборов</p> <p><i>Владеть:</i> методами приемами работы в основных службах сети Интернет, основными программными продуктами информационных технологий: текстовыми, графическими и табличными процессорами, базами данных Web of Science, Scopus и РИНЦ, способностью к критическому анализу, оценке современных научных достижений и</p>	Экзамен	<p>Навыки, умения, знания отсутствуют или нуждаются в существенном развитии</p>	<p>Навыки, умения, знания соответствуют минимальным требованиям, но их проявление не систематическое и требуют дальнейшего развития</p>	<p>Навыки, умения, знания соответствуют основным требованиям, но требуется контроль за их развитием. Необходимы указания на ошибки, способен самостоятельно их устранить</p>	<p>Навыки, умения, знания достаточно высоко развиты. Самостоятельное и качественное решение поставленных задач в различных условиях. Творческий подход к поставленной задаче</p>



		генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях					
--	--	---	--	--	--	--	--

### 3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию в виде кандидатского экзамена.

#### 3.1. Текущий контроль успеваемости по дисциплине

Текущий контроль проходит в виде консультаций с преподавателем, промежуточная аттестация - экзамена.

Для сдачи экзамена разработан фонд контрольных вопросов:

БИЛЕТ №1

1. Кристаллические решетки. Трансляционная симметрия. Решетки Бравэ. Сингония.
2. Аморфные и стеклообразные полупроводники.

БИЛЕТ №2

1. Зонная структура полупроводников (A3B5, A2B6, A4)
2. Диэлектрическая проницаемость однородного электронного газа в полупроводниках.

БИЛЕТ №3

1. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, уровней примесей и дефектов.
2. Собственная и примесная фотопроводимость.

БИЛЕТ №4

1. Связь структуры кристаллов с характером химической связи. Типы сил связи. Энергия связи.
2. Плазменные колебания.

БИЛЕТ №5

1. Упругие свойства кристаллической решетки. Тензор деформаций и тензор напряжений. Модули упругости и упругие постоянные кристаллов разных классов.
2. Механизмы рассеяния носителей заряда.

БИЛЕТ №6

1. Колебания кристаллической решетки. Акустические и оптические ветви колебаний. Фононы.
2. Основные экспериментальные методы измерения диэлектрических потерь в переменном электрическом поле.

БИЛЕТ №7

1. Волновая функция электрона в периодическом поле кристаллической решетки. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
2. Пьезоэлектрические явления в кристаллах.

БИЛЕТ №8

1. Метод сильной связи. Зоны дисперсии. Металлы и полупроводники.
2. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами. Правила отбора для межзонных и внутрizonных переходов.

БИЛЕТ №9

1. Метод эффективной массы. Зонная структура полупроводников. Электроны и дырки.

2. Оптические свойства прямозонных и непрямозонных полупроводников.

БИЛЕТ №10

Полупроводниковые структуры пониженной размерности. Энергетический спектр электронов в этих системах.

2. Поглощение электромагнитных волн колебаниями решетки.

БИЛЕТ №11

1. Движение носителей в постоянном, однородном магнитном поле.

(классическая теория.) Циклотронный резонанс.

2. Фотолюминесценция полупроводников.

БИЛЕТ №12

1. Движение носителей в постоянном, однородном магнитном поле

(квантовая теория). Эффекты Шубникова-де Газа и квантовый эффект Холла.

2. Рекомбинационное излучение в диэлектриках и полупроводниках.

БИЛЕТ № 13

1. Движение и энергетический спектр носителей в постоянном электрическом поле.

2. Оптические квантовые генераторы (лазеры) и принципы их действия

БИЛЕТ № 14

1. Статистика электронов. Распределение Ферми-Дирака.

Концентрация электронов и дырок. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

2. Использование наноструктур в полупроводниковых приборах.

БИЛЕТ №15

1. Распределение Гиббса.

2. Поглощение света свободными носителями. Плазменное отражение.

БИЛЕТ №16

1. Уровень Ферми в собственном полупроводнике и в полупроводнике с примесью одного типа.

2. Магнитооптические явления. Эффекты Фарадея и Фохта

БИЛЕТ №17

1. Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Поверхностная рекомбинация.

2. Электрооптические явления. Эффекты Поккельса, Керра, Франца-Келдыша.

БИЛЕТ №18

1. Кинетическое уравнение Больцмана для электронов. Интеграл столкновений.

Приближение времени релаксации.

2. Нелинейная оптика: генерация второй гармоники.

БИЛЕТ №19

1. Кинетические эффекты: проводимость, постоянная Холла и термоэдс.

2. Междзональные оптические переходы в сильно легированных полупроводниках. Эффект Бурштейна-Мосса.

БИЛЕТ №20

1. Подвижность носителей в полупроводниках и диэлектриках.

2. Фотопроводимость и фотоэлектромагнитный эффект.

БИЛЕТ №21

1. Прыжковая проводимость.

2. Теплопроводность кристаллов.

БИЛЕТ № 22

1. Горячие электроны. Доменная неустойчивость.

2. Дефекты по Френкелю и Шоттки.

БИЛЕТ №23

1. Неравновесные электроны и дырки. Механизмы рекомбинации неравновесных носителей заряда.

2. Поляроны большого и малого радиуса.

БИЛЕТ №24



1. п-р-переход и его свойства. Туннельный эффект в п-р-переходе.  
Туннельный диод. Биполярный транзистор.

2. Экситон.

БИЛЕТ №25

1. Гетеропереход и его свойства. Энергетические диаграммы гетеропереходов.

2. Теплоемкость кристаллов. Теории Дебая, Эйнштейна, Борна.

БИЛЕТ №26

1. Контактные явления. Работа выхода. Контактная разность потенциалов.

Распределение концентрации и потенциала в слое объемного заряда.

2. Использование наноструктур в полупроводниковых приборах (гетеролазер, гетеротранзистор, резонансно-туннельный диод)

БИЛЕТ №27

1. Механизмы переноса тока в тонких диэлектрических пленках в системе металл-диэлектрик-металл. Контакт металл -полупроводник. Барьер Шоттки.

2. Экспериментальное определение типа, концентрации и подвижности носителей заряда.

БИЛЕТ №28

1. Типы процессов рекомбинации.

2. Выпрямление в контакте металл-полупроводник. Диффузионная и диодная теория.

БИЛЕТ №29

1. Поверхностные электронные состояния.

2. Экспериментальное определение энергетических уровней и концентрации примесных атомов из электрических измерений.

БИЛЕТ №30

1. Фотоэлементы и фотодиоды.

2. Основные приближения зонной теории. Волновая функция электронов в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха.

БИЛЕТ №31

1. Сильнолегированные полупроводники. Хвосты плотности состояний. Методы легирования полупроводников.

2. Фотолюминесценция. Электролюминесценция.

БИЛЕТ №32

1. Явление пробоя, Типы пробоев. Ударная ионизация.

2. Методы выращивания эпитаксиальных пленок. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

Металлорганическая эпитаксия.

БИЛЕТ №33

1. Лавинный и туннельный пробой в р-п-переходе в полупроводниках. Использование пробоя в приборах.

2. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

### **3.2. Критерии выставления оценок экзамена**

По результатам ответа на контрольные вопросы аспирантам выставаются оценки. Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»:

- для оценки «отлично» необходимо наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме пройденного программного материала, грамотное и логически стройное изложение материала при ответе, знание дополнительных источников информации;

- для оценки «хорошо» - наличие твердых и достаточно полных знаний программного материала, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, четкое изложение материала;

- для оценки «удовлетворительно» - наличие твердых знаний пройденного материала, изложение ответов с ошибками, уверенно исправляемыми после дополнительных вопросов, необходимость наводящих вопросов;

- для оценки «неудовлетворительно» - наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неуверенность и неточность ответов на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценки "отлично", "хорошо" и "удовлетворительно" означают успешную сдачу экзамена.