

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Сыров Игорь Анатольевич  
Должность: Директор  
Дата подписания: 28.06.2022 10:56:50  
Уникальный программный ключ:  
b683afe664d7e9f64175886cf9626a196149ad56

СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет  
Кафедра

*Естественнонаучный*  
*Общей и теоретической физики*

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

дисциплина

***Б1.В.ДВ.08.01 Физика полупроводников***

часть, формируемая участниками образовательных отношений

Направление

***03.03.02***  
код

***Физика***  
наименование направления

Программа

***Медицинская физика***

Форма обучения

***Очная***

Для поступивших на обучение в  
***2021 г.***

Разработчик (составитель)

***к.ф.-м.н., доцент***  
***Ягафарова З. А.***

ученая степень, должность, ФИО

<b>1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Цели и место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....</b>	<b>4</b>
4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах).....	4
4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам) .....	4
<b>5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю).....</b>	<b>7</b>
<b>6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) .....</b>	<b>7</b>
6.1. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)	7
6.2. Перечень электронных библиотечных систем, современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем .....	8

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций**

<b>Формируемая компетенция (с указанием кода)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>	<b>Результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
ПК-1. Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	ПК-1.1. Применяет основные принципы обработки и анализа научно-технической информации и результатов исследований в соответствующей области знаний	Обучающийся должен: знать основные понятия и законы физики полупроводников, а также используемые в физике полупроводников основополагающие модели и теории
	ПК-1.2. Понимает, умеет излагать и анализировать научно-техническую информацию, и полученные результаты исследований в соответствующей области знаний	Обучающийся должен: уметь использовать полученные знания для определения параметров и интерпретации физических свойств полупроводников
	ПК-1.3. Решает профессиональные задачи с применением современной приборной базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	Обучающийся должен: владеть навыками измерения некоторых основных параметров полупроводников на современных измерительных установках

**2. Цели и место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Цели изучения дисциплины:

формирование знаний о физике полупроводников; изучение физических свойств и особенностей характеристик полупроводников, анализ имеющихся методов исследования полупроводников

Дисциплина изучается на 4 курсе в 8 семестре

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

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 2 зач. ед., 72 акад. ч.

<b>Объем дисциплины</b>	<b>Всего часов</b>
	<b>Очная форма обучения</b>
Общая трудоемкость дисциплины	72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	
лекций	26
практических (семинарских)	
лабораторных	26

другие формы контактной работы (ФКР)	0,2
Учебных часов на контроль (включая часы подготовки):	
зачет	
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	19,8

<b>Формы контроля</b>	<b>Семестры</b>
зачет	8

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

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

№ п/п	Наименование раздела / темы дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			
		Контактная работа с преподавателем			СР
		Лек	Пр/Сем	Лаб	
<b>1</b>		<b>26</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>19,8</b>
1.7	Основные представления физики неупорядоченных полупроводников	4	0	6	2,8
1.1	Основные свойства полупроводников	2	0	0	2
1.2	Основы зонной теории кристаллических твердых тел	4	0	4	2
1.3	Кристаллы во внешних полях. Неидеальные кристаллы	4	0	4	2
1.4	Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках	4	0	4	3
1.5	Неравновесные электроны и дырки. Статистика рекомбинации электронов и дырок	4	0	4	4
1.6	Явления в контактах. p-n переход	4	0	4	4
	<b>Итого</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>19,8</b>

##### 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Курс лабораторных занятий

№	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
<b>1</b>		
1.7	Основные представления физики неупорядоченных полупроводников	Лабораторная работа № 6. Исследование работы усилителей на ОУ
1.2	Основы зонной теории кристаллических твердых тел	Лабораторная работа № 1. Общее знакомство с программой Micro Cap
1.3	Кристаллы во внешних полях. Неидеальные кристаллы	Лабораторная работа № 2. Исследование полупроводниковых диодов

1.4	Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках	Лабораторная работа № 3. Снятие характеристик и измерение параметров биполярного транзистора
1.5	Неравновесные электроны и дырки. Статистика рекомбинации электронов и дырок	Лабораторная работа № 4. Расчет и исследование однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе
1.6	Явления в контактах. p-n переход	Лабораторная работа № 5. Исследование усилительных каскадов на основе полевых транзисторов

Курс лекционных занятий

№	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
<b>1</b>		
1.7	Основные представления физики неупорядоченных полупроводников	Определение неупорядоченной системы. Примеры неупорядоченных полупроводников. Общие особенности неупорядоченных систем. Случайный потенциал. Плотность состояний. Хвосты плотности состояний и локализация. Проводимость по локализованным состояниям, закон Мотта для прыжковой проводимости. Оптические переходы в неупорядоченных полупроводниках. Хвосты оптического поглощения (правило Урбаха).
1.1	Основные свойства полупроводников	Отличительные черты полупроводников. Примеры полупроводников. Строение некоторых полупроводниковых кристаллов. Представление о запрещенной зоне в полупроводниках. Примесные центры в полупроводниках. Представление о дырках. Электронная и дырочная проводимость. Электропроводность. Эффект Холла. Изменение сопротивления в магнитном поле. Термоэдс. Фотопроводимость.
1.2	Основы зонной теории кристаллических твердых тел	Основные приближения зонной теории. Уравнение Шредингера для электронов в кристалле в одноэлектронном приближении. Теорема Блоха. Квазиимпульс и зона Бриллюэна. Понятие об энергетических зонах. Основные различия между металлами, полупроводниками и диэлектриками с точки зрения зонной теории. Метод сильно связанных электронов. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода сильно связанных электронов. Метод слабо связанных (почти свободных) электронов. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода слабо связанных электронов. Понятие об эффективной массе. Тензор обратных эффективных масс. Изоэнергетические поверхности. Многодолинные полупроводники. Примеры зонных структур полупроводников: зоны проводимости полупроводников АШВV, Si, Ge. Вырождение зон и гофрировка изоэнергетических поверхностей вблизи потолка валентной зоны. Прямозонные и непрямозонные

		полупроводники.
1.3	Кристаллы во внешних полях. Неидеальные кристаллы	Средняя скорость движения электрона в кристалле. Уравнение движения электрона в кристалле во внешних полях. Заполнение зон и введение дырочного описания. Метод эффективной массы. Картина плавного искривления энергетических зон. Мелкие уровни в гомеополярных кристаллах (водородоподобные примесные центры). Условия применимости водородоподобной модели. Применение метода эффективной массы для нахождения энергетического спектра полупроводниковых систем пониженной размерности. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация полупроводниковых сверхрешеток. Энергетический спектр мелких примесных состояний в полупроводниковых квантовых ямах.
1.4	Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках	Плотность состояний и функция распределения электронов по квантовым состояниям. Концентрации электронов и дырок в зонах. Эффективные плотности состояний электронов и дырок в зонах. Невырожденный электронный (дырочный) газ. Вычисление положения уровня Ферми в собственном полупроводнике. Статистика заполнения примесных уровней. Уровень Ферми в полупроводнике с примесями одного типа. Статистика электронов и дырок в компенсированных полупроводниках. Многозарядные примесные центры. Плотность состояний в системах пониженной размерности. Вычисление положения уровня Ферми в 2 D-системах.
1.5	Неравновесные электроны и дырки. Статистика рекомбинации электронов и дырок	Возникновение неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Оптическая генерация. Темпы генерации и рекомбинации; время жизни. Соотношения между временами релаксации энергии и импульса и временем жизни. Квазиравновесие и квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации в пространственно однородных и неоднородных системах. Механизмы рекомбинации. Время жизни при межзонной рекомбинации. Рекомбинация через примеси и дефекты. Коэффициент захвата на локальные уровни. Центры прилипания и центры рекомбинации. Демаркационные уровни. Времена жизни в случае рекомбинации через один глубокий примесный уровень. Статистика Шокли-Рида.
1.6	Явления в контактах. p-n переход	Потенциальные барьеры. Плотность тока. Соотношение Эйнштейна. Условия равновесия контактирующих тел. Контактная разность потенциалов. Длина экранирования. Истощенный контактный слой. Обогащенный контактный слой. Экранирование электрического поля в 2 D-системах. Выпрямление в контакте металл-полупроводник. p-n переход. Статическая вольтамперная характеристика p-n перехода. Туннельный эффект в p-n переходах. Туннельный диод. Биполярный транзистор.

## 5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Темы для самостоятельного изучения

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Общая трудоёмкость всего (в часах)
1	Основные свойства полупроводников	2
2	Основы зонной теории кристаллических твердых тел	2
3	Кристаллы во внешних полях. Неидеальные кристаллы	2
4	Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках	3
5	Неравновесные электроны и дырки. Статистика рекомбинации электронов и дырок	4
6	Явления в контактах. p-n переход	4
7	Основные представления физики неупорядоченных полупроводников	2,8
Всего		19,8

Качество и глубина освоения материала по изучаемой дисциплине неразрывно связаны с чёткой организацией и эффективностью самостоятельной работы студентов (СРС). Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

Самостоятельная работа студентов включает в себя следующие виды деятельности:

- 1) подготовка к лекциям и лабораторным работам
- 2) самостоятельное изучение отдельных вопросов курса;
- 3) подготовка к отчету лабораторного практикума;
- 4) подготовка к промежуточному контролю знаний.

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется ведение конспекта, чтение и анализ лекционного материала. В период подготовки к лекционным занятиям главное – научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета, статистическими данными является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### 6.1. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

**Основная учебная литература:**

1. Зегря, Г. Г. Основы физики полупроводников: учебное пособие / Г. Г. Зегря, В. И. Перель. – Москва: Физматлит, 2009. – 336 с. – Режим доступа: по подписке. – URL:

- <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68394> (дата обращения: 19.05.2022). – ISBN 978-5-9221-1005-1. – Текст: электронный.
2. Матухин, В. Л. Физика твердого тела: учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 224 с. – ISBN 978-5-8114-0923-5. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/262> (дата обращения: 19.05.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### **Дополнительная учебная литература:**

1. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела: учебное пособие / Г. И. Епифанов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2011. – 288 с. – ISBN 978-5-8114-1001-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/2023> (дата обращения: 19.05.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Перлин, Е. Ю. Лекции по физике твердого тела: учебное пособие: [16+] / Е. Ю. Перлин, А. В. Иванов; Университет ИТМО. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. – Часть 2. – 135 с.: ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=566772> (дата обращения: 19.05.2022). – Библиогр. в кн. – Текст: электронный.

#### **6.2. Перечень электронных библиотечных систем, современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование документа с указанием реквизитов</b>
--------------	--