



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение

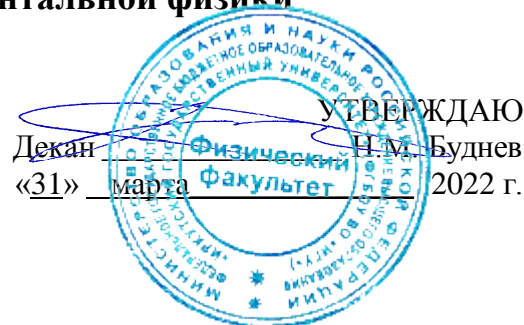
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФГБОУ ВО «ИГУ»**

**Физический факультет**

**Кафедра общей и экспериментальной физики**



УТВЕРЖДАЮ  
Декан Н.М. Буднев  
«31» марта 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.03 Физика конденсированного состояния

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) подготовки: Измерение и модификация свойств наноматериалов и наноструктур.

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная.

**Согласовано с УМК:**

физического факультета

**Протокол № 33**

от « 31 » марта 2022 г.

**Зам. председателя, к.ф.-м.н, доцент**

В.В. Чумак

**Рекомендовано кафедрой:**

общей и экспериментальной физики

**Протокол № 6**

от « 24 » марта 2022 г.

**Зав. кафедрой, д.ф.-м.н., профессор**

А.А. Гаврилюк

## Содержание

I	Цели и задачи дисциплины (модуля).....	3
II	Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.....	3
III	Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
IV	Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.1	Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	5
4.2	План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	6
4.3	Содержание учебного материала.....	7
4.3.1	Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	8
4.3.2	Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	9
4.4	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	9
4.5	Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	10
V	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	10
	а) перечень литературы.....	10
	б) периодические издания.....	10
	в) список авторских методических разработок.....	10
	г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	10
VI	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).....	11
6.1	Учебно-лабораторное оборудование.....	11
6.2	Программное обеспечение.....	11
6.3	Технические и электронные средства.....	11
VII	Образовательные технологии.....	11
VIII	Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	12

### **I. Цели и задачи дисциплины (модуля):**

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой ФГОС по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и предназначена для обеспечения курса «Физика конденсированного состояния», изучаемого студентами в течение седьмого семестра.

#### **- Основная цель курса:**

- дать студентам целостное, в рамках существующих естественнонаучных положений и современного развития физики конденсированного состояния представление о классификации конденсированного состояния вещества, его основных физических свойствах и областях применения веществ различного типа.

#### **- Для достижения данной цели были поставлены задачи:**

- ознакомление студентов с основными типами веществ (диэлектрики, полупроводники, металлы) и их физическими характеристиками, присущими данному типу материала;
- ознакомление студентов с основными принципами формирования зонной структуры вещества и ее связь с физическими свойствами;
- изучение основных электрических и оптических свойства твердых тел, механизмы протекания тока; особенностей электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов;
- развитие у студентов общих представлений о физических основах технологии производства изделий электроники;
- освоение методов квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники;

### **II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:**

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» является дисциплиной профессионального цикла и относится к вариативной части.

Методика преподавания направлена на системный подход к обучению и интеграцию дисциплин естественнонаучного цикла, т. к. при изучении курса используются разделы и темы следующих дисциплин: «Математический анализ», «Квантовая теория», «Атомная физика», «Термодинамика и статистическая физика».

### **III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):**

Курс «Физика конденсированного состояния» согласно положениям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования при подготовке бакалавра по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, позволяет

студенту приобрести следующие компетенции:

- Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик наноматериалов и наноструктур (ПК-2).

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю),  
соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
<p>ПК-2 Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик наноматериалов и наноструктур</p>	<p>ПК-2.1 Способен проводить анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений, используя специализированные знания в области физики магнитных явлений. ПК-2.2 Способен проводить анализ новых направлений исследований и опытно-конструкторских разработок в соответствующей области знаний.</p>	<p><b>Знает:</b> основные сведения о структуре кристаллов, основные постулаты и положения квантовой теории; роль квантовой статистики в формировании зонной структуры твердого тела; классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории <b>Умеет:</b> оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов; оценивать физические параметры материалов (проводимость, диэлектрические и магнитные свойства, термодинамические функции, дефектообразование) по экспериментальным данным; <b>Владет:</b> методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники, способами расчетов проводимости, диэлектрических и магнитных свойств, теплоемкости твердых тел.</p>

#### IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов, в том числе 80 часов контактной работы. Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. На практическую подготовку отводится 32 аудиторных часа (во время выполнения практических заданий). Форма промежуточной аттестации: экзамен.

**4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельна я работа	
					Лекции	Семинарские/ практические/ лабораторные занятия	Консуль тации		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1	Раздел 1. Строение кристаллических твердых тел.	7	10	2	4	2	-	4	Опрос
2	Раздел 2. Типы связей к кристаллах		10	2	4	2	-	4	Решение задач
3	Раздел 3. Классическая и квантовая теории колебаний решетки.	7	32	10	12	10	-	12	Решение задач
4	Раздел 4. Дефекты в твердых телах.	7	10	2	4	2	-	4	Решение задач
5	Раздел 5. Электронные состояния в идеальном кристалле.	7	34	10	14	10	-	12	Решение задач
6	Раздел 6. Явления переноса в твердых телах.	7	16	4	6	4	-	6	Решение задач
7	Раздел 7. Твердые тела с неидеальной структурой.	7	10	2	4	2	-	4	Опрос
	Экзамен	7	<b>54</b>						Тестирование
	<b>Итого часов</b>	7	<b>180</b>		<b>48</b>	<b>32</b>		<b>46</b>	

#### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся				Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоёмкость (час.)	Оценочное средство	
7	Разделы 2,3,4,5,6	Решение домашних задач	В течение семестра	38	Задачи и упражнения	Из списка литературы.
7	Разделы 1,7	Подготовка к опросу	После завершения лекций по данным разделам	8	Опрос	Из списка литературы.
7	<b>Подготовка к экзамену</b>	Работа с лекционным материалом и учебной литературой	К концу семестра	54	Тест	Из списка литературы.
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>100</b>		

## 4.3 Содержание учебного материала

### Содержание разделов и тем дисциплины

#### **Раздел 1. Строение кристаллических твердых тел.**

1.1 Элементы точечной и трансляционной симметрии; базис, кристаллические классы, сингонии и решетки Бравэ. Простые и сложные решетки, стехиометрические соотношения. Координационные числа. Обозначения плоскостей и направлений, индексы Миллера. Обратная решетка.

#### **Раздел 2. Типы связей в кристаллах.**

- 2.1. Кристаллы инертных газов.
- 2.2. Ионные кристаллы.
- 2.3. Ковалентные кристаллы.
- 2.4. Металлические кристаллы.
- 2.5. Кристаллы с водородными связями.

#### **Раздел 3. Классическая и квантовая теории колебаний решетки.**

- 2.1 Упругие свойства кристаллов. Упругие волны. Частотный спектр. Тепловые колебания, фононы, тепловая энергия, термодинамические функции твердых тел.
- 2.2 Теплоемкости по Эйнштейну, Дебаю, закон Дюлонга-Пти.

#### **Раздел 4. Дефекты в твердых телах.**

- 3.1 Термодинамика образования точечных дефектов. Дефекты по Шоттки и Френкелю. Равновесная концентрация дефектов.

#### **Раздел 5. Электронные состояния в идеальном кристалле.**

- 4.1 Модель свободных электронов. Уравнение Шредингера, волновые функции, уровни энергии и их заполнение, уровень Ферми при 0 К, функция распределения энергетических состояний по энергии, вероятность заполнения энергетических уровней (функция распределения Ферми-Дирака), функция распределения электронов по энергиям.
- 4.2 Теплоемкость вырожденного электронного газа. Зонная теория твердых тел. Зоны Бриллюэна. Соотнесение зонной модели и модели свободных электронов. Туннельный эффект. Распределение электронов по зонам. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Эффективная масса электрона. Дырки.
- 4.3 Влияние дефектов на зонную структуру полупроводников. Примесные полупроводники. Температурная зависимость концентраций носителей заряда.

#### **Раздел 6. Явления переноса в твердых телах.**

- 5.1 Электропроводность металлов, время релаксации, Уравнение Больцмана. Электропроводность собственных и примесных полупроводников, температурная зависимость. Механизмы рассеяния носителей заряда.
- 5.2 Диффузия и дрейф носителей заряда. Контактные явления. Явления переноса и кинетические эффекты. Продольные и поперечные эффекты.
- 5.3 Сверхпроводимость, параметры сверхпроводников, сверхпроводники 1 и 2-го рода, вихри Абрикосова, квантование магнитного потока, Куперовская пара, длина когерентности.

#### **Раздел 7. Твердые тела с неидеальной структурой.**

- 7.1. Влияние неоднородностей на зонную структуру кристаллических сплавов.
- 7.2. Особенности зонной структуры аморфных металлических сплавов.

### 4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1.	1	Простые и сложные решетки, обратная решетка.	2	2	опрос	ПК-2
2.	2	Энергия связи в кристаллах различных типов.	2	2	опрос, контрольное задание	
3.	3.	Тепловые колебания, фононы, тепловая энергия, термодинамические функции твердых тел.	10	10	опрос, контрольное задание	
4.	4	Термодинамика образования точечных дефектов. Дефекты по Шоттки и Френкелю. Равновесная концентрация дефектов.	2	2	опрос, контрольное задание	
5.	5	Теплоемкость вырожденного электронного газа. Зонная теория твердых тел. Зоны Бриллюэна. Соотнесение зонной модели и модели свободных электронов. Распределение электронов по зонам. Проводники, полупроводники, диэлектрики.	10	10	опрос, контрольное задание	
6.	6	Сверхпроводимость, параметры сверхпроводников, сверхпроводники 1 и 2-го рода, вихри Абрикосова, квантование магнитного потока, Куперовская пара, длина корреляции.	4	4	опрос, контрольное задание	
7.	7	Влияние неоднородностей на зонную структуру кристаллических сплавов.	2	2	опрос	



### 4.3.2 Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Обозначения плоскостей и направлений, индексы Миллера. Обратная решетка.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	4
2.	Металлические кристаллы.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	4
3.	Тепловые колебания, фононы, тепловая энергия.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	12
4.	Термодинамика образования точечных дефектов.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	4
5.	Распределение электронов по зонам. Проводники, полупроводники, диэлектрики.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	12
6.	Электропроводность собственных и примесных полупроводников.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы.	6
7.	Влияние неоднородностей на зонную структуру кристаллических сплавов.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы.	Из списка литературы.	4
11.	Подготовка к экзамену			Вся литература	54

### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода

обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Теоретические знания, полученные студентами на практических занятиях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются при выполнении практических заданий.

При выполнении практических заданий обращается особое внимание на выработку у студентов умения грамотно выполнять и оформлять документацию, умения

пользоваться научно-технической справочной литературой. Каждый студент должен подготовиться к защите своего отчета, разобравшись с теорией исследуемого явления. Текущая работа над учебными материалами включает в себя систематизацию теоретического материала каждой практической работы, заполнения пропущенных мест, уточнения схем и выделения главных мыслей основного содержания работы. Для этого используются имеющиеся учебно-методические материалы и другая рекомендованная литература.

Границы между разными видами самостоятельных работ достаточно размыты, а сами виды работы пересекаются. Таким образом, самостоятельной работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

Закрепление всего изученного материала осуществляется на контрольной работе. Также может быть проведен опрос по всем темам курса. Преподаватель помогает разобраться с проблемными вопросами и задачами (по мере их поступления) в ходе текущих консультаций.

#### **4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)**

Курсовые работы учебным планом не предусмотрены

#### **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):**

##### *а) основная литература*

1. Байков, Ю.А. Физика конденсированного состояния. [Электронный ресурс] / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — Электрон. дан. — М. : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 296 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/70766>
2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2023>
3. Павлов П.В. Физика твердого тела. Высшая школа., М. 2000.

##### *б) периодические издания*

<http://perst.issp.ras.ru/Control/Inform/perst.htm>

##### *в) список авторских методических разработок*

1. Гаврилюк А.А., Зубрицкий С.М., Петров А.Л.. Физика металлов и сплавов. Учебное пособие. Иркутск-2009, 93с.

##### *г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы:*

Книгафонд - библиотека онлайн чтения. [www.knigafund.ru](http://www.knigafund.ru)

ЭЧЗ «БИБЛИОТЕХ» <https://isu.bibliotech.ru/>

ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com/>

ЭБС «РУКОНТ» <http://rucont.ru>

Архив научных журналов JSTOR <http://www.jstor.org>

## **VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Практические занятия по данной дисциплине проводятся в учебной аудитории по расписанию. Лабораторное оборудование не предусмотрено.

На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу.

Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде, в том числе в авторском учебном пособии.

### **6.2. Программное обеспечение:**

Стандартные сервисы сети Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу

### **6.3. Технические и электронные средства:**

Для проведения практических и лекционных занятий в качестве демонстрационного оборудования используются проектор, экран и меловая доска. Используются современные образовательные технологии: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: научные статьи из рецензируемых журналов и монографий, рассматривающие современные подходы и исследования в области физики конденсированного состояния.

## **VII. Образовательные технологии**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО, в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий. Интерактивные формы работы на учебных занятиях предусматривают активную позицию студентов при изучении материала, например, самостоятельно подготовить дополнение к теме и вынести его на обсуждение, провести дискуссию, включить элементы собственных научных исследований и сделать краткую презентацию своих выступлений на научных конференциях. Все это формирует способности применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в области исследований конденсированного состояния вещества.

На практических занятиях студенты используют авторские задачи. По материалам наблюдений они приобретают исследовательские навыки, необходимые для работы по междисциплинарным направлениям, после получения базового

образования и формируют компетенцию готовности выявить естественнонаучную сущность проблем, компетенцию готовности использовать методы теоретической и экспериментальной физики в профессиональной деятельности для изучения конденсированного состояния вещества.

Программа основана на использовании современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео), дистанционные, научно-исследовательской направленности и т. п.

### **VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

#### 8.1.1. Оценочные средства для входного контроля.

Проводится опрос на первом занятии.

#### 8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Содержание учебного материала разделено на дидактические единицы (ДЕ) – предметные темы, подлежащие обязательному изучению и усвоению в процессе обучения. Учитывается промежуточная аттестация по итогам самостоятельной работы, предусмотренной программой курса.

Примерные тестовые задания по физике конденсированного состояния приведены в фондах оценочных средств.

#### 8.1.3 Оценочные средства для промежуточной аттестации

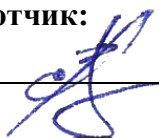
Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Опрос	Строение кристаллических твердых тел.	ПК-2
2.	Проверка решения домашней задачи	Классическая и квантовая теории колебаний решетки.	ПК-2
3.	Опрос	Типы связей в кристаллах.	ПК-2
4.	Проверка решения домашней задачи	Дефекты в твердых телах.	ПК-2
5.	Проверка решения домашней задачи	Электронные состояния в идеальном кристалле.	ПК-2
6.	Проверка решения домашней задачи	Явления переноса в твердых телах.	ПК-2
7.	Опрос	Твердые тела с неидеальной структурой.	ПК-2

Программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04  
Электроника и нанoeлектроника.

**Разработчик:**

  
\_\_\_\_\_ к.ф.-м.н., доцент Зубрицкий С.М.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики  
«24» марта 2022 г.

Протокол № 6

Зав. кафедрой  \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

*Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без  
предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.*