

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ  
Декан РТФ

УТВЕРЖДАЮ /А.Н. Дедов/  
(Ф.И.О. декана (директора института))

01.03.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Б.1.1.16 Физика конденсированного состояния

(код и наименование дисциплины по учебному плану)

Направление подготовки  
(специальность)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Квалификация выпускника

Бакалавр

(бакалавр/магистр/специалист)

Направленность

Электронные приборы и устройства

Курс 2  
Семестр 3

**Распределение учебного времени**

Трудоемкость по учебному плану	108 / 3	часов/зачетных единиц
Лекции	-	часов
Лабораторные работы	36	часов
Практические занятия	-	часов
Иная контактная работа	-	часов
Всего контактной работы (без учета экз.)	36	часов
Контактная работа по экзамену	-	часов
Курсовой проект (работа)	-	семестр
Самостоятельная работа обучающихся (без учета экз.)	72	часов
Самостоятельная работа по подготовке к экзамену	-	часов
Экзамен	-	семестр
Зачет	3	семестр
БРК, ДЗ	-	семестр

(год)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Программу составили:

Физики	СОГЛАСОВАНО	А.С. Масленников
заведующий кафедрой с ученой степенью кандидата наук		
(должность)	(кафедра)	(И.О. Фамилия)

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании кафедры, за которой закреплена дисциплина  
Кафедра физики

	(наименование кафедры)	
22.02.2022	протокол №	2
(дата)		

Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	А.С. Масленников
		(И.О. Фамилия)

Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом (институтом), выпускающей(ими)  
кафедрой(ами).

СООТВЕТСТВУЕТ действующей ОП.

Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Н.И. Сушенцов
		(И.О. Фамилия)

Председатель методической комиссии факультета (института), в который входит  
выпускающая кафедра

СОГЛАСОВАНО	А.Н. Дедов
	(И.О. Фамилия)

Эксперт(ы): Лапин Владимир Авангардович, директор ООО "НПФ Мета-Хром"

Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 06.03.2023 г.

Специалист учебно-методического центра СОГЛАСОВАНО /И.Р. Валиева/

## Раздел 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является достижение планируемых результатов обучения, соответствующих установленным в ОПОП индикаторам достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения
1. ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1. Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы.	<b>знания:</b> Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы. <b>умения:</b> <b>навыки:</b>
	ОПК-1.2. Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.	<b>знания:</b> <b>умения:</b> Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера. <b>навыки:</b>
	ОПК-1.3. Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач.	<b>знания:</b> <b>умения:</b> <b>навыки:</b> Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач.

## Раздел 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части ОПОП.

Дисциплина является обязательной

Для продолжения формирования заявленных компетенций необходимы знания предшествующих дисциплин: Математика (ОПК-1), Физика (ОПК-1), Химия (ОПК-1)

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных компетенций в следующих дисциплинах: Физические основы электроники (ОПК-1), Функциональная электроника (ОПК-1), Основы нанотехнологии (ОПК-1), Основы лучевых и плазменных технологий (ОПК-1), Основы оптоэлектроники (ОПК-1), Технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники (ОПК-1), Микроэлектронные датчики (ОПК-1); государственной итоговой аттестации в форме: Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (ОПК-1)

## Раздел 3. ОПИСАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для формирования заявленных компетенций используются методологические технологии, реализующие деятельностный, личностно-ориентированный, практико-ориентированный подходы.

Основными стратегическими технологиями являются: практические и лабораторные. На достижение конкретных целей обучения направлены применяемые тактические технологии: задания

## Раздел 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 3 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>Физические свойства веществ в конденсированном состоянии</b>	<b>88</b>	ОПК-1
Лабораторная работа. 1. Определение коэффициента поверхностного натяжения различных водных растворов	4	
Лабораторная работа. 2. Определение теплоемкости твердых тел	4	
Лабораторная работа. 3. Определение структуры молекул веществ по оптической рефракции их растворов	4	
Лабораторная работа. 4. Изучение свойств сегнетоэлектриков	4	
Лабораторная работа. 5. Изучение температурной зависимости электросопротивления металла и полупроводника	4	
Лабораторная работа. 6.. Изучение электропроводности примесных полупроводников	4	
Лабораторная работа. 7. Изучение эффекта Зеебека на примере термопары	4	
Лабораторная работа. 8. Изучение закономерностей вентильного фотоэффекта	4	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Обработка результатов измерений и подготовка к защите лабораторных работ.	56	
<b>Современные методы изучения структуры твердых тел</b>	<b>20</b>	ОПК-1
Лабораторная работа. Реферативные сообщения о туннельном сканирующем микроскопе, атомном силовом микроскопе, электроно- и нейтронографии.	4	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение реферата Подготовка реферата и презентации для доклада по выбранной теме	16	
Иная контактная работа: зачет, консультации	0	

### Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой, ее структурой и содержанием разделов. Учебный материал структурирован, изучение дисциплины осуществляется в тематической последовательности. Подготовка к занятиям **семинарского** типа включает ознакомление с планом лабораторного занятия; работу с конспектом лекций, выполнение домашнего задания, работу с учебной и учебно-методической литературой, научными изданиями и электронными образовательными ресурсами, рекомендованными рабочей программой дисциплины. Содержание самостоятельной работы определяется рабочей программой дисциплины, оценочными и методическими материалами, заданиями и указаниями преподавателя. Самостоятельная работа может осуществляться в аудиторной и внеаудиторной формах. Эффективным средством осуществления самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к образовательной программе, рабочей программе дисциплины, к электронным библиотечным системам, профессиональным базам данных и информационным справочным системам. Изучение дисциплины включает выполнение лабораторных работ и подготовку реферата. Реферат должен иметь объем от 10 до 15 страниц формата А4, содержать введение, основную часть,

закключение и список цитируемой литературы. Периодичность проведения, формы текущего контроля успеваемости, система оценивания хода освоения дисциплин представлены в рабочей программе. Формой промежуточной аттестации по дисциплине является зачет.

## Раздел 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебно-методическое обеспечение

№№ п/п	Список используемой литературы	Количество экземпляров печатных изданий, имеющих в библиотеке, или электронный адрес издания (ресурса) в сети Интернет
<b>УЧЕБНЫЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ</b>		
1.	Квантовая и ядерная физика [Текст] : лабораторный практикум : [для студентов 1-2 курсов всех технических направлений подготовки и специальностей] / Г. Ш. Гогелашвили, М. Е. Гордеев, С. В. Красильникова [и др.]. ; редактор Г. Ш. Гогелашвили; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, ФГБОУ ВО "Поволж. гос. технол. ун-т". Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. - 118 с. ISBN 978-5-8158-2020-3. Экземпляры: всего 19.	19 / <a href="https://portal.volgatech.net/books/Gogelashvili_Kvantovaya_i_iadernaia_fizika_2018.pdf">https://portal.volgatech.net/books/Gogelashvili_Kvantovaya_i_iadernaia_fizika_2018.pdf</a>
2.	Физика твердого тела [Текст] : лабораторный практикум : [для студентов технических специальностей и направлений подготовки бакалавров] / А. С. Масленников, С. В. Красильникова, Л. А. Григорьев, М. Е. Гордеев ; редактор А. С. Масленников; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, ФГБОУ ВО "Поволж. гос. технол. ун-т". Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. - 66 с. ISBN 978-5-8158-2037-1. Экземпляры: всего 15.	15 / <a href="https://portal.volgatech.net/books/Maslennikov_Fizika_tverdogo_tela_2018.pdf">https://portal.volgatech.net/books/Maslennikov_Fizika_tverdogo_tela_2018.pdf</a>
3.	Смотрина, Татьяна Валерьевна. Физико-химические методы анализа [Электронный ресурс] : [лабораторный практикум для студентов направлений "Строительство", "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", "Стандартизация и метрология", "Техносферная безопасность"] / Т. В. Смотрина, Д. В. Ладычук, В. И Таланцев; Поволж. гос. технол. ун-т. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. - 136 с. ISBN 978-5-8158-1315-1.	<a href="https://portal.volgatech.net/books/Smotrina_fiziko_ximicheskie_metody_analiza.pdf">https://portal.volgatech.net/books/Smotrina_fiziko_ximicheskie_metody_analiza.pdf</a>
4.	Савельев, Игорь Владимирович. Курс физики [Электронный ресурс] : учебное пособие : в 3 томах. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. 8-е изд., стер., 2023. - 308 с. ISBN 978-5-8114-4254-6.	<a href="https://e.lanbook.com/book/302249">https://e.lanbook.com/book/302249</a>
5.	Чертов, Александр Георгиевич. Задачник по физике [Текст] : [учеб. пособие для втузов] / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. Изд. 8-е, перераб. и доп. М.: Физматлит, 2009. - 640 с. ISBN 978-5-94052-169-3. Экземпляры: всего 274.	274

### 6.2. Материально-техническая база и программное обеспечение

№№ п/п	Аудитории для проведения учебных занятий, самостоятельной работы и проведения государственной итоговой аттестации	Перечень основного оборудования	Программное обеспечение
1.	219 (I)	Доска аудиторная 1000 * 1700 (1), КОМПЛЕКТ ПРИБ.АРИОН (1), Лабораторная установка "Куб Лесли" (1), Лабораторная установка "Линейные спектры со спектрометром низкого разрешения" (1), Лабораторная установка "Определение постоянной Планка" (1), Лабораторная установка "Электрическая проводимость в полупроводниках" (1), Лабораторная установка "Эффект Зеебека" (1), ПРИБОР КОМБИНИР.Щ4310 (1), Установка ФПВ-05-3-4"Определение постоянной дифракционной решетки" (2), Установка ФПВ-05-4-1 для получения и исследования поляризованного света" (1), Установка ФПК 08 (1), Установка ФПК 11 (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач

## Раздел 7. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ/ ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Критерии оценивания индикаторов достижения компетенций направлены на:

- усвоение теоретического материала (объем знаний, глубина усвоения), предусмотренного рабочей программой;
- умение излагать материал (четкость, грамотность изложения материала, точность и полнота воспроизведения учебного материала);
- умение применять теоретические знания при решении практических заданий.

Шкала оценивания представлена ниже.

Уровень сформированности элементов компетенции	Критерии оценивания	Шкала оценивания
Пороговый уровень	Обучающийся имеет знания основного материала, проявляет умение логично его излагать, но может допускать неточности в изложении материала, недостаточно правильные формулировки, испытывает затруднения в выполнении практических заданий	Зачтено

### 7.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины (модуля) и производится с применением технологии рейтингового контроля в соответствии с технологической картой дисциплины. Порядок составления технологической карты и алгоритм проведения процедуры оценивания видов деятельности обучающихся, направленных на освоение знаний, умений, навыков и/или опыта деятельности, по накопительной системе в баллах устанавливается положением о системе РИТМ в ФГБОУ ВО «ПГТУ»

### 7.2. Промежуточная аттестация обучающихся

Промежуточная аттестация обучающихся направлена на оценивание результатов обучения по дисциплине (модулю) и проводится с использованием фондов оценочных средств.

Примеры типовых контрольных заданий из базы фонда оценочных средств по образовательной программе.

1. Эффект Холла используется в физике твердого тела, чтобы измерить...

- а) знак носителей заряда;
- б) магнитную восприимчивость;
- в) энергию Ферми;
- г) отношение заряда к массе.

2. На рисунке представлена схема энергетических зон полупроводника  $n$  – типа. Буква В обозначает:

- а) донорный уровень
- б) зону проводимости;
- в) уровень Ферми при 0 К;
- г) валентную зону;

3. Зонная теория твердых тел истолковывает существование диэлектриков и полупроводников, объясняя различие в их электрических свойствах...

- а) шириной запрещенных зон.
- б) конечным числом уровней в зоне.
- в) степенью заполнения разрешенных зон электронами.
- г) шириной разрешенных зон.

4. На рисунке представлена схема энергетических зон полупроводника  $p$  – типа. Буква Б обозначает

/td  
>

а) акцепторный уровень.

б) уровень Ферми для чистого полупроводника;

в) валентную зону;

г) уровень Ферми при 0 К;

5. Зонная теория твердых тел истолковывает существование металлов и диэлектриков, объясняя

а) различие в их электрических свойствах...

б) степенью заполнения разрешенных зон электронами.

в) конечным числом уровней в зоне.

г) шириной запрещенных зон.

д) шириной разрешенных зон.

6. При контакте р- и n-полупроводников возникает барьер для ...

а) основных носителей

б) неосновных носителей

в) электронов из р-полупроводника в n-полупроводник

г) дырок из n-полупроводника в р-полупроводник

7. При контакте р- и n-полупроводников в состоянии динамического равновесия ...

а) диффузионный ток равен дрейфовому току

б) напряженность поля контакта направлена из n-полупроводника в р-полупроводник

в) контактная разность потенциалов стремится к нулю

г) уровень Ферми в n-полупроводнике выше, чем в р-полупроводнике

8. На рисунке приведены графики сил межмолекулярного взаимодействия, где  $F_o$  и  $F_n$  – силы отталкивания и притяжения соответственно.  
Расстояние  $r_0$  – это...

а) равновесное расстояние между молекулами

б) минимальное расстояние между молекулами

в) максимальное расстояние между молекулами

г) среднеквадратичное расстояние между молекулами

9. На рисунке изображена....



- а) базоцентрированная кристаллическая решетка.
- б) гранецентрированная кристаллическая решетка.
- в) примитивная кристаллическая решетка.
- г) объемно-центрированная кристаллическая решетка.

10 Независимость физических свойств тела от направления внутри него называют...

- а) изотропностью.
- б) инверсией.
- в) метастабильностью.
- г) анизотропией.

11. На рисунке под №1 изображен дефект типа...

- а) вакансия
- б) примесь внедрения
- в) примесь замещения
- г) краевая дислокация

12. Укажите одно из основных положений теории теплоемкости Дебая для твердых тел:

- а) В твердом теле связанные друг с другом гармонические осцилляторы образуют стоячие волны
- б) Атомы - гармонические осцилляторы, не взаимодействующие друг с другом
- в) Осцилляторы могут иметь любую энергию
- г) Частота колебаний осцилляторов может быть любой

13. Укажите одно из основных положений теории теплоемкости Эйнштейн для твердых тел:

- а) Атомы - гармонические осцилляторы, не взаимодействующие друг с другом
- б) В твердом теле связанные друг с другом гармонические осцилляторы образуют стоячие волны
- в) Осцилляторы могут иметь любую энергию
- г) Частота колебаний осцилляторов может быть любой

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

1. Основные положения физики конденсированных сред. Силы и энергия взаимодействия молекул.
2. Фазовые состояния вещества. Фазовая диаграмма. Тройная точка.
3. Особенности жидкого состояния вещества. Силы поверхностного натяжения. Условия

равновесия на границе газ-жидкость-твердое тело.

4. Жидкие кристаллы. Их классификация и применение.
5. Строение твердых тел. Структуры кристаллов. Кристаллические решетки.
6. Дефекты в кристаллах. Вектор Бюргерса. Рост кристаллов.
7. Методы исследования структуры вещества. Рентгеноструктурный анализ. Электронный микроскоп. Нейтронография.
8. Методы исследования поверхности твердых тел. Принципы действия туннельного сканирующего микроскопа, атомного силового микроскопа.
9. Тепловые свойства твердых тел. Классическая теория теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга-Пти.
10. Квантовая теория теплоемкости твердых тел: модели Эйнштейна и Дебая. Нормальные моды. Фононы.
11. Тепловое расширение твердых тел. Гармонические и ангармонические колебания атомов в кристаллической решетке.
12. Диэлектрические свойства твердых тел. Поляризация диэлектриков. Особенности поляризации кристаллических диэлектриков. Тензор диэлектрической проницаемости.
13. Поляризация жидких и твердых диэлектриков. Среднее и локальное поле. Формулы Клаузиуса-Мосотти и Лорентц-Лоренца.
14. Поляризация диэлектриков. Особенности упругой и тепловой поляризации. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости.
15. Поляризация диэлектриков с нецентральной симметрией кристаллической решетки. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрики. Пироэлектрики. Электреты.
16. Зонная теория твердых тел. Одноэлектронное приближение. Энергетические зоны. Заполнение зон электронами. Металлы, диэлектрики и полупроводники по зонной теории.
17. Распределение электронов по энергиям в металле. Функция Ферми-Дирака и ее изменение при повышении температуры. Уровень Ферми.
18. Вырожденный электронный газ и его свойства. Температура Ферми.
19. Распределение электронов по энергиям в собственном полупроводнике. Переход от функции распределения Ферми-Дирака к функции распределения Больцмана.
20. Электропроводность твердых тел. Закон Ома. Температурная зависимость сопротивления металлов. Закон Видемана-Франца.
21. Явление сверхпроводимости. Элементы теории БКШ. Высокотемпературная сверхпроводимость.
22. Электропроводность полупроводников. Собственная проводимость полупроводников. Проводимость примесных полупроводников.
23. Эффективная масса носителей заряда в полупроводниках. Свойства эффективной массы.
24. Контактные явления. Контактная разность потенциалов. Контакт металл-металл.

ТермоЭДС.

25. Контакт металл-полупроводник. Контакты с запирающим слоем и без запирающего слоя.

26. Контакт двух полупроводников с разным типом проводимости ( $p-n$  – переход).  
Образование контактной разности потенциалов. Вольтамперная характеристика  $p-n$  – перехода.

27. Вентильный фотоэффект. Принцип действия солнечных батарей.