

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА"**

СОГЛАСОВАНО
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ

Физика твердого тела

рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Микро- и нанoeлектроники**

Учебный план 1.3.11._06_24_00.plx
 1.3.11. Физика полупроводников

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	4 (2.2)		Итого	
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	18	18	18	18
Практические	18	18	18	18
Итого ауд.	36	36	36	36
Контактная работа	36	36	36	36
Сам. работа	72	72	72	72
Итого	108	108	108	108

г. Рязань

Программу составил(и):

д.ф.-м.н., профессор, Холомина Татьяна Андреевна

Рабочая программа дисциплины

Физика твердого тела

разработана в соответствии с ФГТ:

ФГТ к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 г. № 951)

составлена на основании учебного плана:

1.3.11. Физика полупроводников

утвержденного учёным советом вуза от 22.02.2024 протокол № 9.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Микро- и нанoeлектроники

Протокол от 29.05.2024 г. № 9

Срок действия программы: 2024-2028 уч.г.

Зав. кафедрой Литвинов Владимир Георгиевич

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры
Микро- и нанoeлектроники

Протокол от ____ 2025 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры
Микро- и нанoeлектроники

Протокол от ____ 2026 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры
Микро- и нанoeлектроники

Протокол от ____ 2027 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры

Микро- и нанoeлектроники

Протокол от ____ 2028 г. № ____

Зав. кафедрой _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1	Целью освоения дисциплины является формирование у аспирантов систематических знаний в области фундаментальных теоретических принципов, определяющих особенности физических процессов и явлений в твердых телах, как научной основы для выполнения научно-квалификационной работы (НКР), проведения научно-исследовательской и дальнейшей профессиональной деятельности.
1.2	В задачи дисциплины входит:
1.3	- изучение физических процессов, фундаментальных основ физики твердого тела и методов их практического использования;
1.4	- расширение научного кругозора и эрудиции аспирантов, овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями физики твердого тела с четким определением границ, в пределах которых справедливы те или иные физические концепции, модели, теории;
1.5	- совершенствование навыков постановки физического эксперимента по изучению свойств твердых тел, применения современных экспериментальных методик и информационно-коммуникационных технологий;
1.6	- совершенствование навыков моделирования физических процессов в твердо-тельных материалах и структурах с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;
1.7	- совершенствование навыков профессионального изложения научного, экспериментального и теоретического материала в виде докладов, презентаций, научных публикаций;
1.8	- умения теоретически обосновать явления, обусловленные физическими процессами в твердых телах;
1.9	- применение приобретенных теоретических и практических знаний для решения конкретных задач при подготовке выпускных работ, в научно-исследовательской, а также дальнейшей профессиональной деятельности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:	
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	базовые концепции и модели квантовой и статистической физики, основные свойства и законы движения микрочастиц, основы физики электронных процессов в твердом теле и зонной теории твердых тел.
3.2	Уметь:
3.2.1	применять на практике основные приемы и программные средства обработки и представления данных в соответствии с задачей исследования физических процессов в твердом теле, элементах и квантоворазмерных структурах твердотельной электроники.
3.3	Владеть:
3.3.1	навыками экспериментального исследования параметров и характеристик твердо-тельных материалов и приборов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетен-ции	Литература	Форма контроля
	Раздел 1. Введение.					
1.1	Введение. /Тема/	4	0			
1.2	Введение. Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития теории твердого тела. /Лек/	4	2		Л1.1 Л1.4 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Зачёт.
1.3	Зонная структура твердых тел. Основные теоретические методы расчета зонной структуры кристаллических твердых тел. /Пр/	4	2		Л1.1 Л1.4 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Контрольная работа. Зачёт.

1.4	Зонная структура важнейших бинарных и многокомпонентных соединений. Способы управления параметрами зонной структуры твердых тел и композиционных полупроводниковых структур. Подготовка к ПЗ /Ср/	4	10		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 2. Кристаллическая структура твердых тел.					
2.1	Кристаллическая структура твердых тел. /Тема/	4	0			
2.2	Кристаллическая структура твердых тел. Типы межатомных связей. Симметрия и сингонии кристаллов. Преобразования симметрии: операции и элементы симметрии, классы симметрии. Ячейки Браве. Основные типы кристаллических структур. Координационное число и координационный многогранник. Определение стехиометрической формулы вещества. Плотнейшие упаковки частиц в кристаллических структурах. Структуры реальных кристаллов. Классификация дефектов структуры, их модели. Расчет концентрации дефектов по Френкелю и по Шоттки. Линейные несовершенства: дефекты упаковки, краевые и винтовые дислокации, методы их изучения. Дифракция в кристаллах, закон Вульфа-Брегга. Обратное пространство. Расчет параметров кристаллов при помощи представлений об обратной решетке. Методы рентгеноструктурного, электронного и нейтронного анализов для изучения структуры и параметров кристаллов. /Лек/	4	4		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Зачёт.
2.3	Основные механизмы переноса зарядов в твердом теле. Диффузионный, прыжковый, баллистический, туннельный процессы. Критерий вырождения. Расчет параметров вырожденных полупроводников и металлов. /Пр/	4	4		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Контрольная работа. Зачёт.
2.4	Динамика кристаллической решетки. Электрон-фононное взаимодействие. Подготовка к ПЗ /Ср/	4	12		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 3. Динамика кристаллической решетки.					
3.1	Динамика кристаллической решетки. /Тема/	4	0			

3.2	Динамика кристаллической решетки. Упругие волны, смещения атомов в струне, линейной цепочке и структуре с базисом. Колебательные моды одноатомной решетки. Волновой вектор, фазовая и групповая скорости. Закон дисперсии. Температура Дебая. Колебательный спектр решетки с базисом. Оптические и акустические колебания. Закон дисперсии. Графическая иллюстрация упругих волн кристаллической решетки. Статистика фононов. Теплоемкость кристаллической решетки. Закон Дюлонга-Пти. Модели Эйнштейна и Дебая-Борна зависимости молярной теплоемкости кристалла от температуры. Теплопроводность электронная и решеточная. Термоэлектрические явления в твердых телах: эффекты Зеебека, Пельтье, Томсона. Природа термо-э.д.с. Вывод формул Писаренко. Применение термоэлектрических явлений. /Лек/	4	3		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Зачёт.
3.3	Расчет температурной зависимости электропроводности и положения уровня Ферми в собственных и примесных полупроводниках. Расчет удельной теплоемкости твердых тел. Расчет термо-э.д.с. /Пр/	4	4		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Контрольная работа. Зачёт.
3.4	Многочастичные взаимодействия в полупроводниках. Подготовка к ПЗ /Ср/	4	12		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 4. Электронные процессы в металлах и полупроводниках.					
4.1	Электронные процессы в металлах и полупроводниках. /Тема/	4	0			
4.2	Электронные процессы в металлах и полупроводниках. Классическая и квантовая теории электронных процессов. Классические представления Друде-Лоренца и квантовые Зоммер-фельда. Представления о квазичастицах. Закон дисперсии для свободных электронов. Плотность разрешенных электронных состояний в разрешенных и запрещенной зонах. Основные характеристики электрона в периодическом поле решетки. Квазиимпульс. Эффективная масса. Скорость и ускорение электрона в периодическом поле решетки кристалла. Периодичность энергии электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна для плоской квадратной решетки. Зонная теория твердых тел, основные приближения, лежащие в ее основе. Обобщенная функция распределения. Расчет концентрации равновесных электронов и дырок в невырожденном примесном и собственном полупроводнике. Зависимость концентрации и положения уровня Ферми в полупроводниках от температуры. Динамика движения электронов в металлах и полупроводниках. /Лек/	4	3		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Зачёт.

4.3	Расчет основных характеристических длин. Классические размерные эффекты на длине свободного пробега и длине остывания. Расчет оптических и магнитооптических параметров электронных систем пониженной размерности. /Пр/	4	4		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Контрольная работа. Зачёт.
4.4	Мезоскопические явления в полупроводниках и композитных структурах. Подготовка к ПЗ /Ср/	4	14		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 5. Магнитные свойства твердых тел.					
5.1	Магнитные свойства твердых тел. /Тема/	4	0			
5.2	Магнитные свойства твердых тел. Основные магнитные параметры вещества. Движение и энергетический спектр электронов в однородном постоянном магнитном поле. Гиромангнитные соотношения. Квантование магнитных моментов. Диа- и парамагнетизм твердого тела, электронного газа. Теория Ланжевена. Модель Ланжевена–Бриллюэна. Природа ферромагнетизма. Молекулярное поле Вейсса. Обменный интеграл. Обменное взаимодействие. Прямой, косвенный и сверхобмен. Ферромагнитные домены. Стенки Блоха. Спиновые волны Блоха, магноны. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Магнитные резонансы. /Лек/	4	4		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Зачёт.
5.3	Расчет э.д.с. Холла, холловской подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках. /Пр/	4	2		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Контрольная работа. Зачёт.
5.4	Особенности электронных состояний и процессов в слабо разупорядоченных электронных системах на металлической стороне перехода диэлектрик-металл. Представление о слабой электронной локализации и антилокализации. Подготовка к ПЗ /Ср/	4	14		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 6. Заключение.					
6.1	Заключение. /Тема/	4	0			
6.2	Заключение. Уникальные свойства и характеристики твердотельных материалов для электроники и наноэлектроники будущего. Перспективы и тенденции разработки современных технологий и материалов. /Лек/	4	2		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Зачёт.
6.3	Расчет параметров диа-, пара- и ферромагнетиков по модели Ланжевена–Бриллюэна /Пр/	4	2		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Контрольная работа. Зачёт.
6.4	Особенности рассеяния носителей заряда с переворотом спина. Спин-орбитальное взаимодействие и рассеяние на магнитных центрах. Спиновый эффект Холла. Подготовка к ПЗ /Ср/	4	10		Л1.1 Л1.4 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы по дисциплине "Физика твердого тела"").

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л1.1	Анфимов И. М., Кобелева С. П., Коновалов М. П., Осипов Ю. В., Орлова М. Н., Спицына Л. Г.	Физика твердого тела : сборник задач	Москва: Издательский Дом МИСиС, 2011, 70 с.	978-5-87623- 426-1, http://www.iprbookshop.ru/56591.html
Л1.2	Епифанов Г.И.	Физика твердого тела : учеб. пособие	СПб.: Лань, 2011, 288с.	978-5-8114- 1001-9
Л1.3	Холомина Т.А.	Электронные процессы в твердом теле : учеб. пособие	Рязань, 2017, 68с.	
Л1.4	Разумовская И. В.	Физика твердого тела. Часть 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки	Москва: Прометей, 2011, 64 с.	978-5-4263- 0032-3, http://www.iprbookshop.ru/9611.html

6.1.2. Дополнительная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л2.1	Павлов П.В., Хохлов А.Ф.	Физика твердого тела : Учеб.для вузов	М.:Выш.шк., 2000, 494с.	5-06-003770- 3
Л2.2	Вихров С.П., Холомина Т.А.	Свойства и применение металлов и полупроводников : Учеб.пособие	Рязань, 2004, 84с.	5-7722-0250- 2

6.1.3. Методические разработки

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л3.1	Холомина Т.А.	Физика твердого тела : Метод.указ.к практ.занятиям	Рязань, 2006, 39с.	

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Сайт кафедры Микро- и нанoeлектроники
Э2	Система дистанционного обучения ФГБОУ ВО «РГРТУ»
Э3	Единое окно доступа к образовательным ресурсам

6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства**

Наименование	Описание
Kaspersky Endpoint Security	Коммерческая лицензия
LibreOffice	Свободное ПО
Операционная система Windows	Коммерческая лицензия
Adobe Acrobat Reader	Свободное ПО
Среда инженерно-графического программирования LabView 9	Коммерческая лицензия

6.3.2 Перечень информационных справочных систем

6.3.2.1	Справочная правовая система «КонсультантПлюс» (договор об информационной поддержке №1342/455-100 от 28.10.2011 г.)
6.3.2.2	Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ http://www.garant.ru
6.3.2.3	Система КонсультантПлюс http://www.consultant.ru

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1	501 лабораторный корпус. Помещение для самостоятельной работы Специализированная мебель (37 посадочных мест) ПК: Intel Celeron CPVJ1800 – 25 шт. Возможность подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ
2	343 учебно-административный корпус. Учебно-вспомогательная Аудитория для хранения и ремонта оборудования 2 компьютера, принтер, сканер, 5 мест

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания дисциплины "Физика твердого тела").

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ КАФЕДРЫ	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Литвинов Владимир Георгиевич, Заведующий кафедрой МНЭЛ	03.07.24 14:05 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Литвинов Владимир Георгиевич, Заведующий кафедрой МНЭЛ	03.07.24 14:05 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО НАЧАЛЬНИКОМ ОА	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Нефедова Елена Евгеньевна, Начальник отдела аспирантуры	03.07.24 14:07 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО ПРОРЕКТОРОМ ПО УР	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Гусев Сергей Игоревич, Проректор по научной работе и инновациям	03.07.24 14:08 (MSK)	Простая подпись