

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 кванторазмерных структур
рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Микро- и наноэлектроники**

Учебный план 1.3.11._06_25_00.plx
1.3.11. Физика полупроводников

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **2 ЗЕТ**

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		Итого	
Неделя	16			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Итого ауд.	32	32	32	32
Контактная работа	32	32	32	32
Сам. работа	40	40	40	40
Итого	72	72	72	72

г. Рязань

Программу составил(и):

д.ф.-м.н., зав.каф., Литвинов Владимир Георгиевич

Рабочая программа дисциплины

Физика квантооразмерных структур

разработана в соответствии с:

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 28.02.2025 протокол № 8.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Микро- и наноэлектроники

Протокол от 03.06.2025 г. № 8

Срок действия программы: 2025 - 2029 уч.г.

Зав. кафедрой Литвинов Владимир Георгиевич

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 наноэлектроники

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 наноэлектроники

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 наноэлектроники

Протокол от _____ 2028 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2029-2030 учебном году на заседании кафедры

Микро- и наноэлектроники

Протокол от _____ 2029 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:	2.1.7
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	Компетенции	Литература	Форма контроля
	Раздел 1. Введение.					
1.1	Введение. /Тема/	5	0			
1.2	Введение. Предмет дисциплины и ее задачи. Основные цели и задачи изучения дисциплины. Современное значение физики квантоворазмерных структур. /Лек/	5	1		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Зачёт.
	Раздел 2. Классификация квантоворазмерных структур и методов их получения					
2.1	Классификация квантоворазмерных структур и методов их получения /Тема/	5	0			

2.2	Классификация квантоворазмерных структур и методов их получения. Классификация квантоворазмерных структур. Атомы, молекулы и нано-системы. Конденсированное состояние материи. Методы получения атомных кластеров, квантовых точек, проволоки, трубки, ямы. Гетероструктуры. Углеродные наноструктуры. Фуллерены, графен, углеродные нанотрубки. Спинтронные наносистемы. Методы получения. Многообразие электронных наносистем. /Лек/	5	4		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Зачёт.
2.3	Электрофизические свойства квантоворазмерных структур /Пр/	5	4		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Контрольная работа. Зачёт.
2.4	Классификация квантоворазмерных структур и методов их получения /Ср/	5	6		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 3. Электрофизические свойства квантоворазмерных структур					
3.1	Электрофизические свойства квантоворазмерных структур /Тема/	5	0			
3.2	Электрофизические свойства квантоворазмерных структур. Квантовая механика простейших квантоворазмерных структур. Приближение эффективной массы. Туннельные эффекты. Резонансное туннелирование. Кулоновская блокада туннелирования. Туннельный контакт. Транспорт в квантоворазмерных структурах. Баллистический транспорт. /Лек/	5	2		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Зачёт.
3.3	Оптические свойства квантоворазмерных структур /Пр/	5	4		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Контрольная работа. Зачёт.
3.4	Оптические свойства квантоворазмерных структур /Ср/	5	6		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 4. Оптические свойства квантоворазмерных структур					
4.1	Оптические свойства квантоворазмерных структур /Тема/	5	0			
4.2	Оптические свойства квантоворазмерных структур. Поглощение электромагнитного излучения. Люминесценция квантоворазмерных структур. Лазеры на квантоворазмерных структурах. Характеристики излучения лазерного диода. /Лек/	5	3		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Зачёт.
4.3	Оптические свойства квантоворазмерных структур /Пр/	5	4		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Контрольная работа. Зачёт.

4.4	Оптические свойства квантоворазмерных структур /Ср/	5	6		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 5. Магнитные свойства квантоворазмерных структур.					
5.1	Магнитные свойства квантоворазмерных структур /Тема/	5	0			
5.2	Магнитные свойства квантоворазмерных структур. Движение и энергетический спектр электронов в однородном постоянном магнитном поле. Плотность разрешенных состояний и энергия Ферми в магнитном поле. Уровни Ландау. Представление о классически слабых, сильных и квантующих магнитных полях. Ультраквантовый предел. Кинетические явления при диффузионном механизме переноса заряда в классических магнитных полях. Эффект Холла классический и квантовый, магниторезистивный эффект, эффект Шубникова - де Гааза в квантоворазмерных структурах. /Лек/	5	4		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Зачёт.
5.3	Магнитные свойства квантоворазмерных структур /Пр/	5	2		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Контрольная работа. Зачёт.
5.4	Магнитные свойства квантоворазмерных структур /Ср/	5	12		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания
	Раздел 6. Методы теоретического и экспериментального исследования квантоворазмерных структур					
6.1	Методы теоретического и экспериментального исследования квантоворазмерных структур /Тема/	5	0			
6.2	Методы теоретического и экспериментального исследования квантово-размерных структур. Теоретические модели и их использование. Классификация экспериментальных методов исследования структуры, химического состава, электрофизических, магнитных и оптических свойств наносистем. Сравнение и характеристики. Заключение. Инженерно-физические технологии в нанoeлектронике. Обобщение современных достижений и анализ проблем в области физики наносистем. /Лек/	5	2		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Зачёт.
6.3	Методы теоретического и экспериментального исследования квантоворазмерных структур /Пр/	5	2		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	Контрольная работа. Зачёт.

6.4	Методы теоретического и экспериментального исследования квантоворазмерных структур /Ср/	5	10		Л1.1 Л1.2 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	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 квантоворазмерных структур"").

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	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
Л1.3	Епифанов Г.И.	Физика твердого тела : учеб. пособие	СПб.: Лань, 2011, 288с.	978-5-8114- 1001-9
Л1.4	Холомина Т.А.	Электронные процессы в твердом теле : учеб. пособие	Рязань, 2017, 68с.	

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
---	---------------------	----------	-------------------	-------------------------

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
ЛЗ.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
3	57 учебно-административный корпус. Учебная лаборатория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, лабораторных работ текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная лабораторным оборудованием 20 мест, мультимедиа проектор Aser X128H, доска магнитно-маркерная, компьютер, 8 лабораторных столов, 3 компьютера, блоки питания ВИП-009 (7 шт.), ВИП-010(4 шт.), вольтметры В7-21(4 шт.), В7-21А(3 шт.), Ф283, генераторы Г4-165, Г4-81, Г6-27, измеритель Л2-56, лазер ЛГИ-502, осциллографы С1-65, С1-76
4	40 учебно-административный корпус. Аудитория для самостоятельной работы 12 мест, мультимедиа проектор, доска магнитно-маркерная, 5 компьютеров (4 из них подключены к сети «Интернет» с обеспечением доступа в ЭИОС РГРТУ), мультиметр DM 3051, фотометр КФК.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания дисциплины "Физика квантовых размерных структур"). Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО
ЗАВЕДУЮЩИМ
КАФЕДРЫ

ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Литвинов Владимир
Георгиевич, Заведующий кафедрой МНЭЛ

11.07.25 15:17
(MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО
ЗАВЕДУЮЩИМ
ВЫПУСКАЮЩЕЙ
КАФЕДРЫ

ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Литвинов Владимир
Георгиевич, Заведующий кафедрой МНЭЛ

11.07.25 15:17
(MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО
НАЧАЛЬНИКОМ ОА

ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Нефедова Елена
Евгеньевна, Начальник отдела аспирантуры

14.07.25 10:22
(MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО
ПРОРЕКТОРОМ ПО НР
И И

ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Гусев Сергей Игоревич,
Проректор по научной работе и инновациям

14.07.25 14:11
(MSK)

Простая подпись