

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ

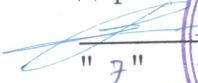
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики,

д.ф.-м.н., профессор

 С.Б. Вениг

" 7 "

2021 г.



Рабочая программа дисциплины
Квантовая теория твердого тела

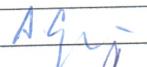
Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата
«Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов,
2021 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Постельга А.Э.		5.10.21
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		5.10.21
Заведующий кафедрой	Скрипаль Ал.В.		5.10.21
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Квантовая теория твердого тела» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений (владений) и усвоение физических принципов, лежащих в основе многих квантовых эффектов в твердых телах, нашедших широкое применение в таких быстро развивающихся разделах физики твердого тела как физика экситонов, сверхпроводимость, включая высокотемпературную сверхпроводимость (ВТСП), целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла (КЭХ), квантово-размерные эффекты.

Задачами освоения дисциплины являются:

- усвоение основных положений квантовой теории твердого тела.
- формирование умения решать практические задачи, связанные с разработкой различных твердотельных приборов, использующих квантово-размерные эффекты.
- овладение методами и навыками теоретического расчета параметров и характеристик твердотельных электронных приборов на основе квантово-размерных структур;

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Квантовая теория твердого тела» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами очной формы обучения Института физики СГУ, проходящими подготовку по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», в течение 7 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, химии, квантовой механике, электродинамике сплошных сред, физике полупроводников и подготавливает студентов к изучению в том же или в последующих семестрах таких дисциплин как «Материалы электронной техники и наноэлектроники», «Технология материалов и структур электроники», «Твердотельная электроника», «Микроэлектроника и наноэлектроника», «Квантовая и оптическая электроника», а также ряда дисциплин при продолжении обучения в магистратуре.

3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	1.1_Б.ОПК-1. Понимает важность применения фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов.	<u>Знать</u> основные положения, законы и методы естественных наук и математики, используемые в области квантовой теории твердого тела; основные положения квантовой теории твердого тела.

	<p>2.1_Б.ОПК-1. Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.</p> <p>3.1_Б.ОПК-1. Использует знания физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности.</p>	<p>Уметь аргументированно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области квантовой теории твердого тела; решать практические задачи, связанные с разработкой различных твердотельных приборов, использующих квантово-размерные эффекты.</p> <p>Владеть знаниями физики и математики, необходимыми при решении конкретных задач в области квантовой теории твердого тела; методами и навыками теоретического расчета параметров и характеристик твердотельных электронных приборов на основе квантово-размерных структур.</p>
--	--	--

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лек	Лаб		Пр	СРС	
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка			
1.	Введение	7	1	2			2	2	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
2.	Основные типы композиционных гетероструктур	7	2-3	4			4	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной

									работы
3.	Одиночный гетеропереход	7	4-6	4			4	6	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
4.	Зонная структура твердых тел	7	7	2			2	4	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
5.	Влияние примесей и внешних полей на энергетический спектр электронов в кристалле	7	8	2			2	4	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
6.	Экситоны. Уравнение Шредингера для экситона и его решение	7	9	4			4	6	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
7.	Кинетическое уравнение Больцмана	7	10-11	4			4	6	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
8.	Гальваномагнитные явления в объемных материалах.	7	12-13	4			4	4	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
9.	Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла.	7	14-15	4			4	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы, контрольная работа
	Итого:			30	0	0	30	48	
	Контроль	6		36					
	Промежуточная аттестация	6							Экзамен
	Общая трудоемкость дисциплины			144					

Содержание дисциплины

1. Основные типы композиционных гетероструктур.
2. Одиночный гетеропереход.
Зонные диаграммы гетеропереходов различных типов. Гетерограницы между полупроводниками с одинаковым типом проводимости.
Гетеропереходы между полупроводниками с разным типом проводимости.
3. Зонная структура твердых тел.
Диэлектрики, полупроводники и металлы. Приближение сильной связи, приближение слабой связи для объемных материалов. Аналогии между приближением сильной связи и расчетом низкоразмерных структур методом огибающей.
4. Влияние примесей и внешних полей на энергетический спектр электронов в кристалле.

5. Экситоны. Уравнение Шредингера для экситона и его решение.
6. Кинетическое уравнение Больцмана.
Интеграл столкновений. Решение стационарного уравнения Больцмана в приближении времени релаксации. Ограничения применимости понятия времени релаксации.
7. Гальваномагнитные явления в объемных материалах.
8. Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла.

Примерная тематика практических занятий (семинаров)

1. Основные типы композиционных гетероструктур.
2. Гетероструктуры I, II и III родов; описание электронных состояний гетероструктур методом огибающей.
3. Гетеролазеры на межзонных переходах; униполярные лазеры на межзонных переходах; оптические свойства гетероструктур, фотонные кристаллы.
4. Зонная структура твердых тел; диэлектрики, полупроводники и металлы.
5. Влияние примесей и внешних полей на энергетический спектр электронов в кристалле.
6. Экситоны. Уравнение Шредингера для экситона и его решение.
7. Статистика электронов в твердых телах; явления переноса; кинетическое уравнение Больцмана.
8. Кинетическое уравнение Больцмана.
9. Квантовый эффект Холла.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В преподавании дисциплины «Квантовая теория твердого тела» используются следующие образовательные технологии:

- Информационно-коммуникационные технологии
- Исследовательские методы в обучении
- Проблемное обучение

В процессе обучения предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий: адресация аудитории вопросов и коллективный поиск ответов на них в форме дискуссий, встречи с известными специалистами и экспертами.

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении части лекционных занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

При проведении практических (семинарских) занятий в активной форме проводится детальный анализ физических принципов работы твердотельных электронных приборов на основе низкоразмерных структур.

Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.
- использование индивидуальных графиков обучения
- использование дистанционных образовательных технологий

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода освоения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практическим (семинарским) занятиям, к контрольной работе, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать литературу по теме занятия;
- при подготовке к контрольной работе пользоваться лекциями и рекомендованной литературой;
- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время промежуточной аттестации.

Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе чтения лекций:

- Расчет коэффициента отражения от квантовой ямы, барьера, системы квантовых ям и барьеров.
- Расчет коэффициента прохождения через сверхрешетку.
- Гетероструктуры I, II и III родов; описание электронных состояний гетероструктур методом огибающей.
- Физика резонансного туннелирования.
- Расчет порогового значения тока инжекционного лазера на квантовых точках.
- Целочисленный эффект Холла.

- Изменение энергетического спектра структуры твердых тел в зависимости от размеров структуры.
- Расчет коэффициента отражения и прохождения от гетерограницы низкоразмерной структуры.

В ходе освоения дисциплины в часы практических занятий студенты выполняют одну контрольную работу.

При подготовке к контрольной работе необходимо использовать материал прочитанных лекций.

Контрольная работа

ВАРИАНТ 1. Расчет коэффициента отражения от квантовой ямы конечной глубины.

ВАРИАНТ 2. Вывод алгоритма расчета зонной структуры в приближении слабой связи.

ВАРИАНТ 3. Вывод алгоритма расчета зонной структуры в приближении сильной связи.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена (7-й семестр).

Вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Основные типы композиционных гетероструктур.
2. Одиночный гетеропереход.
3. Сверхрешетки, квантовые проволоки и квантовые ямы.
4. Гетероструктуры I, II и III родов; описание электронных состояний гетероструктур методом огибающей.
5. Резонансное туннелирование.
6. Гетеролазеры на межзонных переходах; униполярные лазеры на межзонных переходах; оптические свойства гетероструктур, фотонные кристаллы.
7. Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла.
8. Зонная структура твердых тел; диэлектрики, полупроводники и металлы.
9. Коэффициент отражения и прохождения от гетерограницы низкоразмерной структуры.
10. Влияние примесей и внешних полей на энергетический спектр электронов в кристалле.
11. Приближение эффективной массы; классическая и квантовая теория.
12. Статистика электронов в твердых телах; явления переноса; кинетическое уравнение Больцмана.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1. 1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	20	0	20	20	0	10	30	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

7 семестр

Лекции

Посещаемость, активность на лекциях – от 0 до 20 баллов

Лабораторные занятия

Не предусмотрены.

Практические занятия:

Посещаемость, корректность выполнение заданий – от 0 до 20 баллов

Самостоятельная работа

Выполнение заданий на самостоятельную работу – от 0 до 20 баллов

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности:

Контрольная работа - от 0 до 10 баллов

Промежуточная аттестация (экзамен)

Экзамен проводится в устной форме и предполагает ответ на 2 вопроса билета.

При проведении промежуточной аттестации
 ответ на «отлично» оценивается от 21 до 30 баллов;
 ответ на «хорошо» оценивается от 11 до 20 баллов;
 ответ на «удовлетворительно» оценивается от 6 до 10 баллов;
 ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 7 семестр по дисциплине «Квантовая теория твердого тела» составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Квантовая теория твердого тела» в оценку (экзамен):

86 - 100 баллов	«отлично»
70 - 85 баллов	«хорошо»
50 - 69 баллов	«удовлетворительно»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) литература:

1. Краснопевцев Е.А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела [**Электронный ресурс**]: учебное пособие/ Краснопевцев Е.А.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017.— 357 с.— ЭБС «IPRbooks»
2. Усанов Д.А., Сучков С.Г. Многочастичные квантовые эффекты в физике твердого тела. Учеб. пособие: Для вузов. – Саратов. Изд-во СГУ, 2007. – 116 с. **Гриф УМО** (в НБ СГУ 12 экз.)
3. Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику [**Электронный ресурс**]. - Москва : Лань, 2021. - 351 с. ЭБС "ЛАНЬ" **Гриф НМС МО**.
4. Физика твердого тела [**Электронный ресурс**] : Учебное пособие / Ю. А. Стрекалов, Н. А. Тенякова. – М. : Издательский Центр РИОР ; М. : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2018. - 307 с. - ЭБС "ИНФРА-М".
5. Квантовая теория твердых тел [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / Пайерлс Р. - Москва-Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2019. - 260 с. ЭБС "IPRBOOKS".
6. Физика низкоразмерных систем: учеб. пособие для студентов вузов / А. Я. Шик [и др.] ; Под общ. ред. Ильина В. И., Шика А. Я. – СПб.: Наука, 2001. – 154 с. (в НБ СГУ 12 экз.)
7. Физика полупроводников: Явления переноса в структурах с туннельно-тонкими полупроводниковыми слоями / Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1996. – 233 с. (в НБ СГУ 5 экз.)
8. Начальные главы квантовой механики / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 359 с. (в НБ СГУ 5 экз.), 2004 (в НБ СГУ 5 экз.).

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Windows XP Prof

2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. –
Режим доступа: <http://window.edu.ru>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Квантовая теория твердого тела» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками и пр. (презентации, программное обеспечение).

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с учётом профиля подготовки «Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем».

Автор, доцент А.Э. Постельга

Программа разработана в 2019 г. и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 03 декабря 2019 года, протокол № 4.

Программа актуализирована в 2021г. и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 05 октября 2021 года, протокол № 3.

Приложение

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература:

1. Гинзбург И. Ф. Введение в физику твёрдого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твёрдого тела: учеб. пособие. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2007. – 537 с. (в НБ СГУ 1 экз.)
2. Шалимова К. В. Физика полупроводников: учебник. - 4-е изд., стер. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. – 390 с. (В НБ СГУ 43 экз.)
3. Шалимова К. В. Физика полупроводников [**Электронный ресурс**]: учебник. - 4-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2021. – 384 с. – ЭБС "ЛАНЬ"
4. Квантовый транспорт в устройствах электроники [**Электронный ресурс**] : монография / Неволин В. К. - Москва : Техносфера, 2012. - 88 с. ЭБС "IPRBOOKS".
5. Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику: учеб. пособие. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. – 351 с. **Гриф НМС МО** (в НБ СГУ 28 экз.)
6. Толмачев, В. В. Физические основы электроники [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / В. В. Толмачёв, Ф. В. Скрипник. — 2-е изд.. - Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2019. - 496 с. ЭБС "IPRBOOKS".
7. Неволин В. К. Квантовая физика и нанотехнологии [**Электронный ресурс**] : учебное пособие. - Москва : Техносфера, 2013. - 128 с. ЭБС "IPRBOOKS".

8. Сучков С.Г. Макроскопические квантовые эффекты в твердых телах. Учеб. пособие: Для вузов.-Саратов. Изд-во СГУ, 2001. – 96 с. (в НБ СГУ 49 экз.)
9. Основы физики твердого тела: учеб. пособ. по физике твердого тела для студентов вузов / В. И. Зиненко, Б. П. Сорокин, П. П. Турчин. – М.: Физматлит, 2001. – 336 с. (в НБ СГУ 5 экз.)
10. Простейшие модели в квантовой механике: учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов / И. В. Абаренков, С. Н. Загуляев; С.-Петерб. гос. ун-т. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 126 с. (в НБ СГУ 8 экз.)
11. Варизонные полупроводники и гетероструктуры: учеб. пособие для студентов. обучающихся по направлению "Техническая физика" / В. И. Ильин, С. Ф. Мусихин, А. Я. Шик; - СПб.: Наука, 2000. – 99 с. (в НБ СГУ 12 экз.)