

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебно-методической работе,
профессор

Е.Г. Елина

2016 г.



Рабочая программа дисциплины

Квантовая теория твердого тела

Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Профили подготовки бакалавриата
«Микро- и нанoeлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем»,
«Приборы микро- и нанoeлектроники, методы измерения микро- и наносистем»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов, 2016 г.

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 вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися 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. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины «Квантовая теория твердого тела» формируются следующие компетенции: ОПК-1, ОПК-2.

ОПК-1. Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

ОПК-2. Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

В результате освоения дисциплины обучающийся студент должен:

- знать основные положения квантовой теории твердого тела.
- уметь решать практические задачи, связанные с разработкой различных твердотельных приборов, использующих квантово-размерные эффекты.
- владеть методами и навыками теоретического расчета параметров и характеристик твердотельных электронных приборов на основе квантово-размерных структур;

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	
1.	Введение	7	1	2		2	2	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
2.	Основные типы композиционных гетероструктур	7	2-3	4		4	2	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	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
7.	Кинетическое уравнение Больцмана	7	10-11	4		4	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
8.	Гальваномагнитные явления в объемных материалах.	7	12	2		2	4	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
9.	Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла.	7	13-14	4		4	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
	Итого		1-14	28		28	52	Экзамен, 36 час

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

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 рекомендуемую основную и дополнительную литературу;
- 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 экзамена.

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 лекционных 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. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности в семестре.

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:

- не более 50% от числа занятий в семестре – 0 баллов,
- от 51% до 60% – 1-3 балла;
- от 61% до 70% – 4-5 балла;
- от 71% до 80% – 6-7 баллов;
- от 81% до 90% – 8-9 баллов;
- не менее 91% занятий – 10 баллов.

Активность – от 0 до 10 баллов

Лабораторные занятия

Не предусмотрены.

Практические занятия:

- Правильное самостоятельное выполнение не менее 91% заданий – 20 баллов
- от 61% до 90% заданий – 15-19 баллов
- от 31% до 60% заданий – 5-14 баллов
- менее 30% заданий – 0-4 балла

Самостоятельная работа

- Правильное выполнение не менее 91% заданий на самостоятельную работу – 20 баллов
- Выполнение от 61% до 90% заданий – 15-19 баллов
- Выполнение от 31% до 60% заданий – 5-14 баллов
- Выполнение менее 30% заданий – 0-4 балла

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности:

Контрольная работа - от 0 до 10 баллов

Промежуточная аттестация (экзамен)

Ранжирование ответов студентов при проведении промежуточной аттестации:
ответ на «отлично» – **21-30 баллов**

ответ на «хорошо» – **11-20 баллов**

ответ на «удовлетворительно» – **6-10 баллов**

неудовлетворительный ответ. – **0-5 баллов**

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

Пересчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Квантовая теория твердого тела» в оценку, выставляемую в экзаменационную ведомость и зачётную книжку, осуществляется в соответствии с таблицей 2:

Таблица 2. Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине в оценку.

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

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Краснопевцев Е.А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела [**Электронный ресурс**]: учебное пособие/ Краснопевцев Е.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 354 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45097>. — ЭБС «IPRbooks»
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, 2010. – 390 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648 . – ЭБС "ЛАНЬ"

б) дополнительная литература:

1. 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.)
2. Квантовый транспорт в устройствах электроники [**Электронный ресурс**] : монография / Неволин В. К. - Москва : Техносфера, 2012. - 88 с. ЭБС "IPRBOOKS".
3. 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.)
4. Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику [**Электронный ресурс**]. - Москва : Лань, 2010. - 351 с. ЭБС "ЛАНЬ" **Гриф НМС МО**. URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=297
5. Физика твердого тела [**Электронный ресурс**] : Учебное пособие / Ю. А. Стрекалов, Н. А. Тенякова. – М. : Издательский Центр РИОР ; М. : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2013. - 307 с. ЭБС "ИНФРА-М". URL: <http://znanium.com/go.php?id=363421>
6. Толмачев В. В. Физические основы электроники [**Электронный ресурс**] : учебное пособие. - Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. - 496 с. ЭБС "IPRBOOKS".
7. Квантовая теория твердых тел [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / Пайерлс Р. - Москва-Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2002. - 260 с. ЭБС "IPRBOOKS".

8. Неволин В. К. Квантовая физика и нанотехнологии [**Электронный ресурс**] : учебное пособие. - Москва : Техносфера, 2013. - 128 с. ЭБС "IPRBOOKS".
9. 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.)
10. 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.)
11. 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.)
12. Физика полупроводников: Явления переноса в структурах с туннельно-тонкими полупроводниковыми слоями / Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1996. – 233 с. (в НБ СГУ 5 экз.)
13. Простейшие модели в квантовой механике: учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов / И. В. Абаренков, С. Н. Загуляев; С.-Петербур. гос. ун-т. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 126 с. (в НБ СГУ 8 экз.)
14. 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.).
15. 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.)

в) 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.)

г) 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 нанoeлектроника» и профилями подготовки «Микро- и нанoeлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем», «Приборы микро- и нанoeлектроники, методы измерения микро- и наносистем»

Программа разработана в 2011 г. (одобрена на заседании кафедры физики твердого тела от 18 марта 2011 г., протокол № 12).

Программа актуализирована в 2016 г. (одобрена на заседании кафедры физики твердого тела от 30 августа 2016 г., протокол № 1).

Автор, доцент




А.Э. Постельга

Зав. кафедрой физики твердого тела,
Профессор



Д.А. Усанов

Декан факультета нано- и биомедицинских
технологий, профессор



С.Б. Вениг