

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 "  10 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

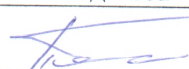
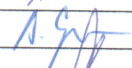

Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата
«Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов,
2021 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Постельга А.Э.		05.10.21
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		05.10.21
Заведующий кафедрой	Скрипаль Ал.В.		05.10.21
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Квантовая механика» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений (владений), усвоение основных законов, методов и понятий квантовой механики.

Задачами освоения дисциплины являются овладение знаниями основных положений теории, уравнений Шредингера и навыками применения их к расчету процессов, происходящих на атомном и молекулярном уровне. Студенты также должны знать основные квантовомеханические модели (гармонический осциллятор, прямоугольная яма, квантовый ротатор и т.п.).

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Квантовая механика» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной образовательной программы и изучается студентами очной формы обучения Института физики СГУ, проходящими подготовку по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» по профилю «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур», в течение 5 учебного семестра.

Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, химии, термодинамике и статистической физике, электродинамике сплошных сред, и подготавливает студентов к изучению в последующих семестрах таких дисциплин как, «Физика полупроводников», «Квантовая теория твердого тела», «Квантовая и оптическая электроника», «Технология материалов и структур электроники», «Твердотельная 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. 2.1_Б.ОПК-1. Аргументированно применяет физические законы и математические	Знать основные положения, законы и методы естественных наук и математики, используемые в области квантовой механики; подходы и методы квантовой механики, их отличие от подходов и методов классической физики. Уметь аргументированно применять физические законы и

	<p>методы для решения задач теоретического и прикладного характера.</p> <p>3.1_Б.ОПК-1.</p> <p>Использует знания физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности.</p>	<p>математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области квантовой механики;</p> <p>описывать и качественно объяснять те или иные свойства наноразмерных частиц, структур из них образованных.</p> <p>Владеть знаниями физики и математики, необходимыми при решении конкретных задач в области квантовой механики; методами теоретического описания и анализа процессов в микромире.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ 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	Лабораторные	Пр	СРС			
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка				
1.	Введение	5	1	2						
2.	Основные положения квантовой механики	5	2-3	4			4	12	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы	
3.	Принцип неопределённости. Операторы	5	4-5	4			4	16	Контрольная работа	

4.	Постулаты квантовой механики	5	6-7	4			4	12	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
5.	Уравнение Шредингера	5	8-10	6			8	20	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
6.	Принцип Паули. Статистика элементарных частиц	5	11-13	6			6	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
7.	Движение в поле центральной силы	5	14-17	8			8	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
	Итого:	5		34	0	0	34	76	
	Контроль	5		36					
	Промежуточная аттестация	5							Экзамен
	Общая трудоемкость дисциплины			180					

Содержание дисциплины

1. Введение. Истоки квантовой теории. Ультрафиолетовая катастрофа. Формула Планка. Объяснение фотоэлектрического эффекта. Модели атома. Теория Бора.
2. Основные положения квантовой механики. Гипотеза Де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновая функция. Физический смысл волновой функции. Нормировка волновой функции. Принцип суперпозиции. Волновой пакет.
3. Принцип неопределённости. Квазиклассическое приближение. Операторы координаты, импульса, кинетической энергии. Коммутатор операторов.
4. Постулаты квантовой механики. Собственные функции. Собственные числа. Эрмитовое сопряжение. Самосопряженные операторы. Средние значения. Теорема об одновременной измеримости физических величин.
5. Уравнение Шредингера. Гамильтониан. Стационарное уравнение Шредингера. Классические задачи квантовой механики. Потенциальная яма с бесконечно высокими стенками. Потенциальная яма со стенками конечной высоты. Прохождение частицы через потенциальный барьер (туннельный эффект).

6. Тожественность частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Обменное взаимодействие. Статистика элементарных частиц. Распределения Ферми-Дирака и Бозе–Эйнштейна. Бозе-конденсат. Зависимость химического потенциала от температуры
7. Движение в поле центральной силы. Квантовый осциллятор. Главное квантовое число. «Нулевые» колебания. Волновые функции квантового осциллятора. Оператор момента импульса. Спин. Оператор квадрата момента импульса. Переход из декартовой системы в сферическую. Сферические гармоники. Оператор орбитального момента. Орбитальное квантовое число. Магнитное квантовое число. Правило сложения моментов. Спиновое квантовое число. Магнетон Бора. Ядерный магнетон Бора. Уравнение Шредингера для движения в поле центральной силы. Уравнение Шредингера для водородоподобного атома. Радиальное квантовое число. Кратность вырождения. Термы. Правила отбора. Теория возмущений. Молекула водорода. Адиабатическое приближение. Интеграл перекрытия волновых функций.

Примерная тематика практических занятий (семинаров)

	Тема	Время в часах	План
1	Основные положения квантовой механики. Волновая функция. Принцип суперпозиции. Волновой пакет	4	Дуализм «волна-частица». Волновой пакет.
2	Принцип неопределённости. Операторы координаты, импульса, кинетической энергии.	4	Действия с операторами. Операторы координаты, импульса, кинетической энергии
4	Постулаты квантовой механики. Теорема об одновременной измеримости физических величин.	4	Коммутаторы операторов
3	Уравнение Шредингера. Классические задачи квантовой механики.	8	Частица в бесконечно глубокой прямоугольной яме. Ямы конечной глубины. Отражение от стенки и прохождение частицы через прямоугольный барьер.
	Принцип Паули.	6	Перестановочные соотношения для

5	Обменное взаимодействие. Статистика элементарных частиц		фермионов. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
6	Движение в поле центральной силы	8	Уравнение Шредингера в сферических координатах
	Итого	34	

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В преподавании дисциплины «Квантовая механика» используются следующие образовательные технологии:

- информационно-развивающие,
- проблемно-поисковые,
- исследовательские,

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

При реализации программы дисциплины «Квантовая механика» наряду с традиционными лекционными и семинарскими технологиями используются современные образовательные технологии с использованием ПК и мультимедийного проектора для наглядных демонстраций функциональных зависимостей, формы электронных облаков и т.п.

При реализации программы дисциплины предусмотрены также лекции по актуальным вопросам квантовой теории ведущих российских и зарубежных ученых.

Методы обучения, применяемые при освоении дисциплины способствуют закреплению и совершенствованию знаний, овладению умениями и получению навыков в области применения квантово-механических методов. Содержание учебного материала диктует выбор методов обучения:

- информационно-развивающие – лекция, объяснение, демонстрация, решение задач, самостоятельная работа с рекомендуемой литературой;
- проблемно-поисковые и исследовательские – самостоятельная проработка предлагаемых проблемных вопросов по дисциплине

При проведении практических (семинарских) занятий в активной форме проводится детальный анализ вопросов физики, математических методов расчета квантово-механических процессов в соответствии с приведенным ниже списком тем (по выбору преподавателя).

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 внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практическим (семинарским) занятиям, к контрольным работам, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке.

Самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателей (консультации и помощь при выполнении домашних заданий) и индивидуальную работу студента 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

1. Чистые, смешанные и запутанные состояния.
2. Операторы, матрица плотности, представления.
3. Момент импульса, спин, магнитный момент. Спиноры.

4. Теория возмущений. Молекула. Спектр.
5. Теория возмущений. Квантовые переходы.
6. Метод функционала плотности.
7. Теория рассеяния.
8. Вторичное квантование, представление чисел заполнения.
9. Основные положения квантовой электродинамики.
10. Квантовый компьютер.

При реализации программы дисциплины «Квантовая механика» студентам предлагается одна контрольная работа в середине семестра после освоения двух первых тем.

При подготовке к контрольной работе необходимо использовать материал прочитанных лекций.

Контрольная работа.

Вариант А. Решение уравнения Шредингера для частицы в бесконечной потенциальной яме

Вариант Б. Прохождение частицы через потенциальный барьер.

При выполнении данной контрольной работы студент должен продемонстрировать знания принципов квантовой механики и умение в решении задач.

Результаты выполнения контрольных работ учитываются при проведении промежуточной аттестации студентов.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Истоки квантовой теории. Основные представления квантовой механики.
2. Постулаты квантовой механики.
3. Волновой пакет. Трудности, устраняемые введением волнового пакета.
4. Принцип и соотношения неопределенности.
5. Квантовый осциллятор.
6. Изменение физических величин во времени.
7. Тождественность частиц. Принцип Паули. Обменное взаимодействие.
8. Распределения Ферми–Дирака и Бозе–Эйнштейна. Бозе-конденсат.
9. Решение уравнения Шредингера для потенциальной ямы со стенками бесконечной высоты.
10. Решение уравнения Шредингера для потенциальной ямы со стенками конечной высоты.
11. Движение в поле центральной силы.
12. Прохождение частиц через потенциальный барьер.
13. Теория возмущений. Молекула водорода

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
5	20	0	20	20	0	10	30	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

5 семестр

Лекции

Посещаемость, опрос, активность и др. – от 0 до 20 баллов.

Лабораторные занятия

Не предусмотрены.

Практические занятия:

Посещаемость, опрос, активность и др. – 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 5 семестр по дисциплине «Квантовая механика» составляет 100 баллов.

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

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

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) литература:

1. Теоретическая физика: учеб. пособие : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. **Т. 3** : Квантовая механика. Нерелятивистская теория / под ред. Л. П. Питаевского. - 6-е изд., испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 800 с.
Гриф МО (В ЗНБ СГУ 25 экз.)
2. Савельев И.В. Основы теоретической физики [**Электронный ресурс**] : учебник.Т.2. Квантовая механика. - Москва : Лань, 2018. - 432 с. — ЭБС "ЛАНЬ"
3. Введение в квантовую механику [**Электронный ресурс**]: учебное пособие/ Магазинников А.Л., Мухачев В.А.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 112 с.— ЭБС «IPRbooks»
4. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики [**Электронный ресурс**]. - Москва : Лань, 2021. - 672 с. — ЭБС "ЛАНЬ"
5. Демидович Б. П. Математические основы квантовой механики [**Электронный ресурс**] : учебное пособие для вузов / Б. П. Демидович. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 200 с. — ЭБС "ЛАНЬ"
6. Толмачев В.В. Основы квантовой механики [**Электронный ресурс**]: учебное пособие/ В.В. Толмачев, А.А. Федотов, С.В. Федотова. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019.— 240 с. — ЭБС «IPRbooks»
7. Начальные главы квантовой механики / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 359 с. (В ЗНБ СГУ 5 экз.), 2004 (5 экз.).
8. Задачи по квантовой механике: [700 задач с подроб. решениями] : учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов : в 2 ч. / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган. - М. : Едиториал УРСС, 2001. (В ЗНБ СГУ 9 экз.)
9. Простейшие модели в квантовой механике: учеб. пособие для студентов

физ. специальностей ун-тов / И. В. Абаренков, С. Н. Загуляев ; С.-Петербург. гос. ун-т. - СПб. : Изд-во С-Петербург. ун-та, 2004. - 126 с. (В ЗНБ СГУ 8 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. Зональная научная библиотека им. В.А.Артисевич Саратовского государственного университета им.Н.Г.Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>
5. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. – Режим доступа: <http://window.edu.ru>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Квантовая механика» проводятся в аудиториях, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам, оснащенных компьютерной техникой, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками и пр.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с учётом профиля подготовки «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур».

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. Шпольский Э. В. Атомная физика [Электронный ресурс] : учебник. Т.2 : Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. – М. : Лань, 2010. - 448 с. — ЭБС "ЛАНЬ"
2. Задачи и тесты по оптике и квантовой механике [Электронный ресурс] / С. С. Аплеснин, Л. И. Чернышова, Н. В. Филенкова. – М. : Лань, 2012. - 336 с. Гриф НМС УМО. — ЭБС "ЛАНЬ"
3. Краснопевцев Е.А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Краснопевцев Е.А.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 354 с.— ЭБС «IPRbooks»
4. Усанов Д.А., Сучков С.Г. Многочастичные квантовые эффекты в физике твердого тела (экситон, квантовые эффекты Холла, сверхпроводимость). Учеб. пособие с для вузов. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2007, - 112 с. Гриф УМО (В ЗНБ СГУ 12 экз.)
5. Сучков С.Г. Макроскопические квантовые эффекты в твердых телах. Учеб. пособие для вузов.-Саратов. Изд-во СГУ, 2001.-96 с. (В ЗНБ СГУ 49 экз.)
6. Сивухин Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов : в 5 т. - 3-е изд., стер. Т. 5 : Атомная и ядерная физика. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 782 с. Гриф МО (В ЗНБ СГУ 46 экз.)
7. Белинский А. В. Квантовые измерения : учеб. пособие. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2008. - 181с. **Гриф УМО** (В ЗНБ СГУ 4 экз.).

8. Квантовая механика : учеб. пособие для вузов / В. В. Мултановский, А. С. Василевский. - 2-е изд., перераб. - М. : Дрофа, 2007. - 399с. (В ЗНБ СГУ 1 экз.)