

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт технологий и инженерной механики
Кафедра микро- и наноэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

директор института технологий и
инженерной механики

 Могильная Е.П.
« 18 » 09 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

По направлению подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль «Электронные приборы и устройства»

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. – 26 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.09.2017 года № 927.

СОСТАВИТЕЛИ:

к.т.н., доцент Войтенко В.А.;

к.т.н., доцент Войтенко Г.О.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры микро- и наноэлектроники «14» 04 2023 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой

микро- и наноэлектроники  Войтенко В. А.

Переутверждена: « » 202 г., протокол № .

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики «18» 04 2023 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической

комиссии института технологий и инженерной механики  С. Н. Ясуник

© Войтенко В.А., Войтенко Г.О., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель дисциплины – изучение основ квантовой механики и статистической физики, знакомство с некоторыми важными приложениями теории и изучение основополагающих понятий квантовой физики.

Задачи: формирование понимания процессов микромира как вероятностных, основанных на статистических закономерностях; изучение и освоение специфического математического аппарата квантовой механики и статистической физики; изучение методов решения квантово-механических и статистических задач, включая приближенные методы; изучение фундаментальных результатов квантовой теории, касающихся строения атома, молекул, квантовых переходов.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО. Требования к условиям освоения содержания дисциплины

Дисциплина «Квантовая механика и статистическая физика» относится к циклу математических и естественнонаучных дисциплин.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания общей физики и высшей математики, физики твердого тела, методов математической физики.

Содержание дисциплины основано на знаниях дисциплин «Математика», «Физика», «Физика конденсированного состояния», «Методы решения задач математической физики» и служит основой для освоения дисциплин «Наноэлектроника», «Оптоэлектронные приборы и устройства».

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Знает математическое описание физических процессов, протекающих в материалах, компонентах и приборах электроники. ПК-1.2. Умеет строить физические и математические модели приборов, узлов, блоков. ПК-1.3. Владеет навыками компьютерного моделирования.	Знать: математическое и физическое описание теплового излучения, фотоэффекта, ядерной модели атома, спектральных закономерностей, теорию возмущений при наличии вырождения, теорию нестационарных возмущений, постулаты Бора, общую теорию движения в центральном поле, эффекты Штарка и Зеемана, вероятность квантовых переходов под действием возмущения,

		теорему и уравнение Лиувилля, каноническое распределение Гиббса;
		Уметь: строить математические модели сверхтонкой структуры уровней атома водорода и многоэлектронных атомов, движения частицы в сферически симметричной яме, моделировать статистические ансамбли, решать термодинамические уравнения состояния; строить математические модели приборов наноэлектроники, работа которых основана на законах квантовой механики и статистической физики;
		Владеть: навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой по компьютерному моделированию; навыками выполнения действий над операторами; навыками применения соотношений неопределенности при решении квантово-механических задач; навыками компьютерного моделирования движения микрочастиц через потенциальные барьеры в наноструктурах.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	144 (4 зач. ед)	144 (4 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	70	18
Лекции	41	10
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	29	8
Лабораторные работы	-	-

Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>)	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	74	126
Форма аттестации	зачет	зачет

4.2. Содержание разделов дисциплины

Семестр 6

Тема 1. Корпускулярные свойства света.

Эксперименты конца XIX – начала XX века и их интерпретация. Дуализм явлений микромира, дискретные свойства волн, волновые свойства частиц. Принцип суперпозиции. Квантовомеханическое описание электромагнитного излучения.

Тема 2. Атом Резерфорда. Теория Бора-Зоммерфельда.

Опыт Резерфорда. Ядерная модель атома. Недостатки модели водорода Бора—Зоммерфельда.

Тема 3. Волновые свойства частиц.

Дифракция электронов на щели. Дифракция атомарных пучков. Дифракция нейтронов. Интерференция пучков молекул.

Тема 4. Основные положения квантовой механики. Аппарат квантовой механики.

Принцип неопределенности В. Гейзенберга. Принцип дополнительности Н. Бора. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности. Аппарат квантовой механики.

Тема 5. Одномерные квантово-механические задачи.

Частица в однородной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Прохождение через потенциальный барьер. Гармонический осциллятор: энергетический спектр, собственные функции, матричные элементы, понижающий и повышающий операторы.

Тема 6. Движение в центральном поле.

Уравнение Шредингера в центральном поле. Уравнение для радиальной части. Уравнение для угловой части.

Семестр 7

Тема 7. Теория возмущений. Квантовые переходы и элементарная теория излучения.

Стационарная теория возмущений в квантовой механике. Невырожденный спектр. Излучательные квантовые переходы. Безызлучательные квантовые переходы.

Тема 8. Многоэлектронные атомы.

Принцип Паули. Многочастичная волновая функция. Орбитальный механический момент. Заполнение электронных состояний в многоэлектронном атоме.

Тема 9. Атом в магнитном поле.

Магнитный момент атома. Связь Рассел – Саундерса. Гиромагнитное отношение для суммарных механического и магнитного моментов многоэлектронного атома.

Тема 10. Квантовая оптика.

Фотоэффект. Давление света. Элементы релятивистской механики.

Тема 11. Элементы квантовой статистики.

Основные принципы статистики. Термодинамические величины. Распределение Гиббса. Идеальный газ. Распределение Ферми и Бозе. Неидеальные газы.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
	Семестр 6		
1	Корпускулярные свойства света.	4	1
2	Атом Резерфорда. Теория Бора-Зоммерфельда.	4	1
3	Волновые свойства частиц.	4	-
4	Основные положения квантовой механики. Аппарат квантовой механики.	1	1
5	Одномерные квантово-механические задачи.	4	1
6	Движение в центральном поле.	4	-
	Семестр 7		
7	Теория возмущений. Квантовые переходы и элементарная теория излучения.	4	1
8	Многоэлектронные атомы.	4	1
9	Атом в магнитном поле.	4	2
10	Квантовая оптика.	4	2
11	Элементы квантовой статистики.	4	-
Итого:		41	10

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма

	Семестр 6		
1	Квантовые состояния.	2	1
2	Волновые функции. Уравнение Шредингера.	2	-
3	Физические величины. Измеримость физических величин.	2	-
4	Корпускулярные свойства света. Атом Резерфорда. Теория Бора-Зоммерфельда. Волновые свойства частиц.	4	-
5	Операторы. Гамильтониан.	2	1
6	Интегралы движения в квантовой механике.	2	-
7	Основные положения квантовой механики. Аппарат квантовой механики. Одномерные квантово-механические задачи. Движение в центральном поле.	3	-
	Семестр 7		
8	Интеграл вероятности.	2	1
9	Атом в магнитном поле.	2	1
10	Теория возмущений. Квантовые переходы и элементарная теория излучения. Многоэлектронные атомы. Атом в магнитном поле.	2	2
11	Статистическая физика.	2	2
12	Квантовая оптика. Элементы квантовой статистики.	4	-
Итого:		29	8

4.5. Лабораторные работы

Не предусмотрены учебным планом.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
	Семестр 6			
1	Корпускулярные свойства света. Атом Резерфорда. Теория Бора-Зоммерфельда.	Подготовка к практическому занятию	4	5
		Подготовка к тестированию	2	5
		Решение задач домашних заданий	4	6
2	Волновые свойства частиц.	Подготовка к практическому занятию	4	6
		Подготовка к тестированию	2	5
		Решение задач домашних заданий	4	5
3	Основные положения квантовой механики. Аппарат квантовой механики.	Подготовка к практическому занятию	6	6
		Подготовка к тестированию	2	6
		Решение задач домашних заданий	4	5
4	Одномерные квантово-механические задачи. Движение в центральном поле.	Подготовка к практическому занятию	4	5
		Подготовка к тестированию	2	6
		Решение задач домашних заданий	4	6
	Семестр 7			

5	Теория возмущений. Квантовые переходы и элементарная теория излучения.	Подготовка к практическому занятию	4	5
		Подготовка к тестированию	4	5
		Решение задач домашних заданий	4	5
6	Многоэлектронные атомы. Атом в магнитном поле.	Подготовка к практическому занятию	4	5
		Подготовка к тестированию	2	5
		Решение задач домашних заданий	2	5
7	Квантовая оптика.	Подготовка к практическому занятию	2	5
		Подготовка к тестированию	2	5
		Решение задач домашних заданий	2	5
8	Элементы квантовой статистики.	Подготовка к практическому занятию	2	5
		Подготовка к тестированию	2	5
		Решение задач домашних заданий	2	5
Итого:			74	126

4.7. Курсовые работы/проекты

Не предусмотрены учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования;

технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

6. Формы контроля освоения дисциплины

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем(ями), ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- контрольные вопросы к зачету;
- вопросы к практическим занятиям;
- тесты;
- вопросы к зачету.

Фонды оценочных средств, включающие контрольные вопросы, вопросы коллоквиумов, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в форме зачета 6 и 7 семестры. Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Обучающийся глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено

Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы	не зачтено

7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Пахомов И.И. Квантовая теория излучения. Взаимодействие излучения с веществом [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / И.И. Пахомов, А.М. Хорохоров. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 34 с. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0453.html

2. Сенин А.И. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / А.И.Сенин. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 71 с. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0417.html

б) Дополнительная литература:

1. Байков Ю.А. Квантовая механика / Байков Ю.А., Кузнецов В.М., - 2-е изд., (эл.) - М.: БИНОМ. ЛЗ, 2015. - 294 с.: ISBN 978-5-9963-2989-2 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/540352>

2. Ведринский Р. В. Квантовая механика: учебник / Ведринский Р.В. - Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2009. - 384 с. ISBN 978-5-9275-0706-1 - Текст: электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/553266>

3. Мюллер-Кирштен Х. Основы современной статистической физики: Учебное пособие / Мюллер-Кирштен Х. - Долгопрудный: Интеллект, 2016. - 248 с.: 60x90 1/16 (Переплёт) ISBN 978-5-91559-213-0 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/557472>

4. Березин Ф.А. Лекции по статистической физике: Курс лекций / Березин Ф.А., - 2-е изд., испр. - М.: МЦНМО, 2014. - 198 с.: ISBN 978-5-4439-2151-8 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/958681>

в) Методические рекомендации/указания:

1. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика» для студентов специальности

“Электронные приборы и устройства” (электронное издание) / Сост.: Е.В. Никитин. – Луганск: Изд-во ЛНУ, 2018. – 41 с.

2. Методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика» для студентов специальности “Электронные приборы и устройства” (электронное издание) / Сост.: Е.В. Никитин. – Луганск: Изд-во ЛНУ, 2018. – 20 с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Далевский педагогический портал – <http://ped.dahluniver.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Университетская библиотека On-line – <http://www.biblioclub.ru>

Научная электронная библиотека eLIBRARY – <http://elibrary.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

Научные журналы

"GNU Scientific Library" (GSL - библиотека для научных вычислений проекта GNU): <http://www.gnu.org/software/gsl>.

Система схемотехнического моделирования LTSpice IV. Краткое руководство: <http://zpostbox.ru/ltspice.html>.

Электронные компоненты: <http://www.elitan.ru/>.

Навигатор по профессиональным электронным ресурсам – http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav_ei.htm

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционные занятия проводятся с использованием комплекта электронных презентаций в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).

Практические занятия проводятся с использованием компьютерных математических сред Mathcad, MATLAB.

Рабочие места преподавателя и студентов в учебной лаборатории оснащены компьютерами с доступом в Интернет, предназначенными для работы в указанных компьютерных средах.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Оценочные средства по дисциплине

Паспорт

фонда оценочных средств по учебной дисциплине
«Квантовая механика и статистическая физика»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по	Контролируемые темы	Этапы формирования

			реализуемой дисциплине)	учебной дисциплины, практики	(семестр изучения)
1	ПК-1	Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Тема 1 Корпускулярные свойства света	1
				Тема 2 Атом Резерфорда. Теория Бора-Зоммерфельда	1
				Тема 3 Волновые свойства частиц	1
				Тема 4 Основные положения квантовой механики. Аппарат квантовой механики	1
				Тема 5 Одномерные квантово-механические задачи	1
				Тема 6 Движение в центральном поле	1
				Тема 7 Теория возмущений. Квантовые переходы и элементарная теория излучения	1
				Тема 8 Многоэлектронные атомы	2
				Тема 9 Атом в магнитном поле	2
				Тема 10 Квантовая оптика	2
				Тема 11 Элементы квантовой статистики	2

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-1	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Знать: математическое и физическое описание теплового излучения, фотоэффекта, ядерной модели атома, спектральных закономерностей, теорию возмущений при наличии вырождения, теорию нестационарных возмущений, постулаты Бора, общую теорию движения в центральном поле, эффекты Штарка и Зеемана, вероятность квантовых переходов под действием возмущения, теорему и уравнение Лиувилля, каноническое распределение Гиббса; Уметь: строить математические модели сверхтонкой структуры уровней атома водорода и многоэлектронных атомов, движения	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12, Практическое занятие 1, Практическое занятие 2, Практическое занятие 3	Контрольные вопросы к лекциям, вопросы к практическим занятиям, тесты, вопросы к зачету

			<p>частицы в сферически симметричной яме, моделировать статистические ансамбли, решать термодинамические уравнения состояния; строить математические модели приборов наноэлектроники, работа которых основана на законах квантовой механики и статистической физики;</p> <p>Владеть: навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой по компьютерному моделированию; навыками выполнения действий над операторами; навыками применения соотношений неопределенности при решении квантово-механических задач; навыками компьютерного моделирования движения микрочастиц через потенциальные барьеры в наноструктурах.</p>		
--	--	--	--	--	--

Фонды оценочных средств по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика»

Контрольные вопросы к лекциям:

1. Каковы основные характеристики фотонов?

2. Объяснить, почему формула Эйнштейна для фотоэффекта по сути является выражением закона сохранения энергии.
3. Почему скорость фотоэлектронов не зависит от интенсивности света? От чего зависит скорость фотоэлектронов?
4. Какое напряжение называется запирающим?
5. В каких приборах используется явление внешнего фотоэффекта?
6. Почему при освещении одним и тем же светом зеркальные тела испытывают большее давление, чем черные?
7. В каком случае при наблюдении эффекта Комптона изменение длины волны будет максимальным?
8. Какой величины был оценен (установлен) размер ядра и атома?
9. Почему планетарная модель атома Резерфорда не согласовалась с представлениями классической физики?
10. Могут ли электроны находиться в ядре? Ответ обоснуйте.
11. Почему модель атома Бора называется полуклассической?
12. Какие уровни энергии атома называются возбужденными?
13. Каким переходам в атоме соответствует спектр излучения атомарного водорода в видимой области?
14. Какому диапазону длин волн соответствует серия Лаймана в спектре атома водорода?
15. В чем заключаются постулаты Бора?
16. В чем заключается основная идея гипотезы де Бройля?
17. Какие опыты доказали справедливость гипотезы де Бройля?
18. Каков физический смысл волн де Бройля?
19. Чем обусловлено появление принципа неопределенностей Гейзенберга в квантовой механике?
20. Что определяет волновая функция в уравнении Шредингера?
21. Что такое туннельный эффект?
22. Что физически определяют квантовые числа n , l , m для электрона в атоме?
23. Чему равен спиновый (собственный) магнитный момент электрона?
24. Что определяет магнитное квантовое число m_s ?
25. Почему пучок атомов лития в опыте Штерна и Герлаха расщепился на две равные части?
26. Что такое операторы физических величин?
27. Запишите и поясните оператор импульса.
28. Запишите и поясните оператор Гамильтона частицы в потенциальном поле.
29. Какие производят действия с операторами?
30. Что такое коммутаторы?
31. Сформулируйте теорему об одновременном измерении физических величин.
32. Что такое собственные функции и собственные значения физических величин?
33. Что такое интегралы движения и квантовые числа?
34. Как выглядит матричное представление операторов?
35. Как определяют среднее значение физических величин?

36. Запишите уравнение Шредингера атома водорода.
37. Как выглядит волновая функция атома водорода?
38. Что такое радиальные и сферические функции?
39. Как выглядит оператор момента импульса?
40. Приведите набор квантовых чисел квантовых состояний атома водорода.
41. Опишите дискретный энергетический спектр атома водорода.
42. Что значит вырождение квантовых состояний?
43. Каково пространственное распределение электрона в атоме водорода?
44. Как проводят вычисление средних значений физических величин атома водорода?
45. Опишите спектры атома водорода.
46. Что такое спин?
47. Запишите спиновые функции и собственные значения спина электрона.
48. Как описывают атом водорода с учетом спина электрона?
49. Как представляют тонкую структуру атомных уровней?
50. В чем состоит эффект Зеемана?
51. В чем состоит эффект Штарка?
52. Как происходит диполь-дипольное взаимодействие нейтральных атомов в основном состоянии?
53. Как происходит резонансная передача энергии от одного атома к другому?
54. Как ведет себя атом в электромагнитном поле?
55. Запишите оператор Гамильтона атома с одним электроном в электромагнитном поле.
56. Как происходят электрические дипольные переходы в атоме? Как определяют дипольный момент перехода?
57. Что такое резонансные однофотонные квантовые переходы?
58. Какова вероятность вынужденного излучения фотонов?
59. Какова вероятность поглощения фотонов в атоме?
60. Что представляют собой спектры излучения и поглощения?
61. В каком диапазоне электромагнитных волн работает квантовая оптика?
62. Как описывается состояние физической системы в квантовой механике?
63. Запишите соотношение ассоциативности.
64. Запишите соотношение коммутативности.
65. Запишите свойства скалярного произведения.
66. Сформулируйте процедуру квантования.
67. Запишите уравнение Шредингера.
68. Запишите уравнения Гейзенберга.
69. В чем отличие подходов Гейзенберга и Шредингера?
70. Запишите уравнение Шредингера в представлении взаимодействия.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к лекциям

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу

	своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности)
3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией)
2	Ответ представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов отвечать)

Вопросы к практическим занятиям:

1. Эксперименты конца XIX – начала XX века и их интерпретация.
2. Дуализм явлений микромира, дискретные свойства волн, волновые свойства частиц.
3. Волновая функция. Принцип суперпозиции.
4. Волны Де Бройля.
5. Чистые и смешанные состояния. Эволюция состояний и физических величин.
6. Уравнение Шрёдингера.
7. Уравнение непрерывности.
8. Принцип соответствия.
9. Соотношения между классической и квантовой механикой.
10. Общие свойства одномерного движения.
11. Прохождение через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
12. Правило квантования Бора-Зоммерфельда.
13. Частица в однородной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме.
14. Гармонический осциллятор: энергетический спектр, собственные функции, матричные элементы, понижающий и повышающий операторы.
15. Теория представлений.
16. Линейные операторы и их свойства.
17. Собственные значения и собственные функции эрмитовых операторов.
18. Ортонормированность и полнота собственных функций.
19. Постулаты квантовой механики.
20. Среднее значение физической величины.
21. Операторы координаты, импульса, момента импульса.
22. Оператор Гамильтона.
23. Унитарные преобразования.
24. Среднее значение физической величины.
25. Интегралы движения.
26. Теоремы Эренфеста.
27. Теория момента.
28. Перестановочные соотношения для операторов компонент момента импульса.
29. Общая теория движения в центральном поле.

- 30.Разделение переменных, радиальное уравнение Шрёдингера, асимптотическое поведение радиальной компоненты волновой функции.
- 31.Свободное движение частицы с определенным значением момента импульса.
- 32.Движение частицы в сферически симметричной яме.
- 33.Ротатор. Атом водорода: энергетический спектр, собственные функции.
- 34.Собственные функции и собственные значения операторов квадрата момента импульса и проекции момента на данное направление.
- 35.Движение частицы в сферически симметричной яме. Ротатор. Атом водорода: энергетический спектр, собственные функции.
- 36.Теория возмущений для стационарных задач.
- 37.Теория возмущений при наличии вырождения.
- 38.Теория нестационарных возмущений.
- 39.Эффекты Штарка и Зеемана.
- 40.Общая теория переходов.
- 41.Квантовые переходы в случае возмущений, изменяющихся со временем по гармоническому закону.
- 42.Переходы в непрерывном спектре. Золотое правило Ферми.
- 43.Переходы в непрерывном спектре.
- 44.Золотое правило Ферми.
- 45.Индукцированное излучение и поглощение.
- 46.Понятие о спонтанном излучении.
- 47.Коэффициенты Эйнштейна. Квантомеханическое выражение для коэффициентов Эйнштейна.
- 48.Правила отбора для дипольного излучения (осциллятор, ротатор, атом водорода).
- 49.Элементарная квантовая теория дисперсии.
- 50.Уравнение Клейна-Гордона-Фока.
- 51.Уравнение Дирака.
- 52.Релятивистская инвариантность.
- 53.Плотность вероятности и поток вероятности в теории Дирака.
- 54.Спин.
- 55.Переход от уравнения Дирака к уравнению Паули.
- 56.Спиновый магнитный момент электрона.
- 57.Приближенное уравнение Дирака.
- 58.Контактное и спин-орбитальное взаимодействия.
- 59.Энергетический спектр релятивистской частицы.
- 60.Тонкая структура спектра атома водорода.
- 61.Лэмбовский сдвиг.
- 62.Сверхтонкая структура уровней атома водорода.
- 63.Решение уравнения Дирака для свободной частицы.
- 64.Отрицательные энергии.
- 65.Позитрон.
- 66.Понятие об электрон-позитронном и электромагнитном вакууме.
- 67.Аномальный магнитный момент электрона.
- 68.Понятие статистического ансамбля.

69. Фазовое пространство статистической системы.

70. Теорема и уравнение Лиувилля.

71. Равновесная фазовая плотность.

72. Уравнение фон Неймана.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству вопросы коллоквиумов к практическим

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответы представлены на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 90-100% вопросов)
4	Ответы представлены на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности, правильные ответы даны на 75-89% вопросов)
3	Ответы представлены на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 50-74% вопросов)
2	Ответы представлены на неудовлетворительном уровне или не представлены (студент не готов отвечать или правильные ответы даны менее чем на 50% вопросов)

Тесты:

1. Импульс излучения, состоящий из $n = 6 \cdot 10^4$ квантов света длиной волны $\lambda = 0,3$ мкм, падает на фоточувствительную поверхность, спектральная чувствительность которой для данной длины волны $J = 4,5$ мА/Вт. Количество фотоэлектронов, освобождаемых таким импульсом, приблизительно равно:

А) 640.

Б) 930.

В) 1020.

2. Микроскопическая частица вольфрама под действием кванта света длиной волны 272 нм испускает фотоэлектрон под прямым углом к направлению падающего кванта. Определить величину импульса, переданного частице в результате поглощения кванта и испускания фотоэлектрона, если известно, что последний вылетает со скоростью, составляющей 0,02 максимально возможной при данных условиях:

А) $3,7 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с.

Б) $4,4 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с.

В) $5,1 \cdot 10^{-23}$ кг·м/с.

3. Вакуумный фотоэлемент состоит из двух пластин – медной и платиновой, замкнутых снаружи накоротко. При освещении одной из них

вылетающие фотоэлектроны попадают в тормозящее электрическое поле, обусловленное внешней контактной разностью потенциалов. Определить предельную длину волны света, при которой фотоэлектроны начинают достигать противоположной пластины:

- А) 234,8 нм.
- Б) 342,6 нм.
- В) 423,5 нм.

4. Фототок, возникающий в цепи фотоэлемента при освещении поверхности вольфрама светом длиной волны 253,7 нм, прекращается при включении задерживающей разности потенциалов $U = 1$ В. Определить значение внешней контактной разности потенциалов:

- А) -0,2 В.
- Б) -0,4 В.
- В) -0,6 В.

5. Поверхность калия в фотоэлементе освещают светом длиной волны 95 мкм. Определить минимальную задерживающую разность потенциалов, которую необходимо приложить извне для полного прекращения фототока, если известно, что внешняя контактная разность потенциалов, равная 0,7 В, направлена противоположно приложенному напряжению:

- А) 11,75 В.
- Б) 12,25 В.
- В) 14,50 В.

6. Фотоэлемент состоит из двух разнородных электродов, один из которых освещают монохроматическим светом длиной волны 185 мкм. Фототок возникает лишь при наличии приложенного извне ускоряющего напряжения 0,4 В. Кроме того, известно, что внешняя контактная разность потенциалов между данными электродами равна 1,81 В. Определить работу выхода освещаемого электрода:

- А) 2,37 эВ.
- Б) 3,98 эВ.
- В) 5,29 эВ.

7. Электроды вакуумного фотоэлемента (один цезиевый, другой – медный) замкнуты снаружи накоротко. Цезиевый электрод освещается монохроматическим светом. Определить: а) длину волны света, при которой в цепи фотоэлемента появляется ток:

- А) 280 нм.
- Б) 350 нм.
- В) 420 нм.

8. Ток, возникающий в цепи вакуумного фотоэлемента при освещении цинкового электрода светом длиной волны 262 нм, прекращается, когда внешняя

задерживающая разность потенциалов достигает 1,4 В. Определить значение внешней контактной разности потенциалов фотоэлемента.

- А) 0,35 В.
- Б) 0,45 В.
- В) 0,55 В.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству тесты

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Тесты выполнены на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% тестов)
4	Тесты выполнены на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% тестов)
3	Тесты выполнены на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% тестов)
2	Тесты выполнены на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50% тестов)

Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет)

1. Волновая функция. Принцип суперпозиции.
2. Волны Де Бройля.
3. Чистые и смешанные состояния. Эволюция состояний и физических величин.
4. Уравнение Шрёдингера.
5. Уравнение непрерывности.
6. Прохождение через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
7. Правило квантования Бора-Зоммерфельда.
8. Частица в однородной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме.
9. Гармонический осциллятор: энергетический спектр, собственные функции, матричные элементы, понижающий и повышающий операторы.
10. Линейные операторы и их свойства.
11. Собственные значения и собственные функции эрмитовых операторов.
12. Ортонормированность и полнота собственных функций.
13. Постулаты квантовой механики.
14. Среднее значение физической величины.
15. Операторы координаты, импульса, момента импульса.
16. Оператор Гамильтона.
17. Интегралы движения.
18. Теоремы Эренфеста.
19. Теория момента.
20. Общая теория движения в центральном поле.
21. Радиальное уравнение Шрёдингера.
22. Собственные функции и собственные значения операторов квадрата момента импульса и проекции момента на данное направление.

23. Движение частицы в сферически симметричной яме. Ротатор. Атом водорода: энергетический спектр, собственные функции.
24. Теория возмущений для стационарных задач.
25. Теория возмущений при наличии вырождения.
26. Теория нестационарных возмущений.
27. Эффекты Штарка и Зеемана.
28. Общая теория переходов.
29. Квантовые переходы в случае возмущений, изменяющихся со временем по гармоническому закону.
30. Переходы в непрерывном спектре.
31. Золотое правило Ферми.
32. Индуцированное излучение и поглощение.
33. Понятие о спонтанном излучении.
34. Коэффициенты Эйнштейна. Квантомеханическое выражение для коэффициентов Эйнштейна.
35. Правила отбора для дипольного излучения (осциллятор, ротатор, атом водорода).
36. Элементарная квантовая теория дисперсии.
37. Уравнение Клейна-Гордона-Фока.
38. Уравнение Дирака.
39. Релятивистская инвариантность.
40. Плотность вероятности и поток вероятности в теории Дирака.
41. Спин.
42. Переход от уравнения Дирака к уравнению Паули.
43. Спиновый магнитный момент электрона.
44. Приближенное уравнение Дирака.
45. Контактное и спин-орбитальное взаимодействия.
46. Энергетический спектр релятивистской частицы.
47. Тонкая структура спектра атома водорода.
48. Лэмбовский сдвиг.
49. Сверхтонкая структура уровней атома водорода.
50. Решение уравнения Дирака для свободной частицы.
51. Понятие об электрон-позитронном и электромагнитном вакууме.
52. Аномальный магнитный момент электрона.
53. Понятие статистического ансамбля.
54. Фазовое пространство статистической системы.
55. Теорема и уравнение Лиувилля.
56. Равновесная фазовая плотность.
57. Уравнение фон Неймана.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (зачет)

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Обучающийся глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и	зачтено

<p>правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.</p>	
<p>Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.</p>	
<p>Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.</p>	
<p>Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы</p>	<p>не зачтено</p>

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)