

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»
(государственный университет «Дубна»)

Филиал «Протвино»
Кафедра «Техническая физика»



/Евсиков А.А./
Фамилия И.О.

подпись

« 28 » 06 2020 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Квантовая теория

наименование дисциплины (модуля)

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 Физика

код и наименование направления подготовки (специальности)

Уровень высшего образования

бакалавриат

бакалавриат, магистратура, специалитет

Направленность (профиль) программы (специализация)

«Медицинская физика»

Форма обучения

очная

очная, очно-заочная, заочная

Протвино, 2020

Преподаватель (преподаватели):

Куликов А.В., доцент, к.ф.-м.н., кафедра математики и естественных наук

Фамилия И.О., должность, ученая степень, ученое звание, кафедра; подпись



Рабочая программа разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки

03.03.02 Физика

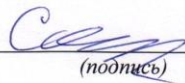
(код и наименование направления подготовки (специальности))

Программа рассмотрена на заседании кафедры технической физики

(название кафедры)

Протокол заседания № 3 от « 26 » июня 2020 г.

И.о. зав. кафедрой технической физики



Соколов А.А.

(подпись)

Эксперт _____

(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание, место работы, должность)

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи освоения дисциплины	4
2. Объекты профессиональной деятельности при изучении дисциплины (модуля).....	4
3. Место дисциплины в структуре ОПОП.....	4
4. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).....	4
5. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся	5
6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий	6
7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)	13
8. Применяемые образовательные технологии для различных видов учебных занятий и для контроля освоения обучающимися запланированных результатов обучения.....	14
9. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	14
10. Ресурсное обеспечение	27
11. Язык преподавания	29

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины: обеспечить знание теоретических оснований квантовой теории, основных физических систем и законов, описываемых квантовой теорией, точных и приближенных методов квантовой теории; ознакомить с современными концепциями теории сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий. , умение решать типовые задачи квантовой теории. формирование у студентов знаний по квантовой физике – основе современного понимания строения микромира;

Задачи освоения дисциплины: дать базовые общетеоретические знания по квантовой теории и сформировать способность использовать теоретические знания для решения профессиональных задач.

2. Объекты профессиональной деятельности при изучении дисциплины (модуля)

Объектами профессиональной деятельности в рамках изучаемой дисциплины (модуля) являются:

- физические системы различного масштаба и уровней организации, процессы их функционирования;
- физические, инженерно-физические, биофизические, химико-физические, медико-физические, природоохранные технологии;
- физическая экспертиза и мониторинг.

3. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.Б.12.4 «Квантовая теория» является обязательной дисциплиной модуля «Теоретическая физика». Изучается в 6–м семестре 3–го курса.

К началу изучения дисциплины студенты должны иметь твёрдые знания дисциплин из модулей «Математика», «Общая физика» и «Теоретическая физика».

После освоения курса студент будет подготовлен к выполнению выпускной квалификационной работы и последующей профессиональной деятельности.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Раздел заполняется в соответствии с картами компетенций.

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения) (последний – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.	Знать: базовые разделы общей и теоретической физики: основные понятия, модели, законы и теории. Код 31 (ОПК-3) Знать: теоретические и методологические основы общей и теоретической физики и способы их использования при решении конкретных фи-

	<p>зических задач.</p> <p>Код 32 (ОПК-3) Уметь: решать типовые учебные задачи по основным разделам общей и теоретической физики; применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий.</p> <p>Код У1 (ОПК-3) Уметь: применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов общей и теоретической физики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач; применять знания базовых дисциплин по общей и теоретической физике для анализа и обработки результатов физических экспериментов.</p> <p>Код У2 (ОПК-3) Владеть: навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам общей и теоретической физики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов общей и теоретической физики; навыками решения базовых задач по общей и теоретической физике; основными методами научных исследований; навыками проведения физического (лабораторного) эксперимента.</p> <p>Код В1 (ОПК-3) Владеть: навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении конкретных физических задач.</p> <p>Код В2 (ОПК-3)</p>
--	--

5. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Объем дисциплины (модуля) составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа, из которых:

68 час составляет контактная работа обучающегося с преподавателем¹:

34 часа – лекционные занятия;

34 часа – практические занятия.

_____ часов – мероприятия текущего контроля успеваемости²;

27 часов – мероприятия промежуточной аттестации⁴ (экзамен каждом семестре),

1 Перечень видов учебных занятий уточняется в соответствии с учебным планом.

2 В скобках необходимо сделать уточнение, если мероприятия текущего контроля успеваемости и (или) промежуточной аттестации (например, зачет, дифференцированный зачет) проводятся в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

49 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

- 6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля) Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе:										
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них ³								Самостоятельная работа обучающегося, часы, из них		
		Лекционные занятия	Семинарские занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	..	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.)*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т. п.
6-й семестр												
Введение. Квантовая природа микромира. Волны Де-Бройля. Вероятностное описание состояний физических систем. Волновая функция. Физические величины в квантовой механике. Операторы физических величин. Соотношение неопределённости.		2		2						4		
Уравнение Шрёдингера. Уравнение Шрёдингера для одной частицы. Уравнение непрерывности. Изменение значений физических величин со временем. Стационарные состояния.												
Линейный гармонический осциллятор. Стационарные состояния. Чётность состояния. Волновой пакет.												
Прямоугольная потенциальная яма. Стационарные состояния. Импульсное распределение. Свободное движение частицы. Инфинитное движение в поле ямы. Импульсное представление.		2		2						4		
Представление Гейзенберга. Эквивалентные представления. Преобразование операторов и		2		2						4		

³ Перечень видов учебных занятий уточняется в соответствии с учебным планом.

<p>волновых функций при преобразованиях систем отсчёта. Свободное движение и осциллятор в представлении Гайзенберга. Обозначения Дирака.</p> <p>Матричная формулировка квантовой механики. Матрицы операторов физических величин для осциллятора. Операторы рождения и уничтожения. Когерентные состояния.</p>													
<p>Матрица плотности. Чистые и смешанные состояния. Матрица плотности и статистический оператор. Матрица плотности составной системы. Система в термостате.</p> <p>Движение в сферически-симметричном поле. Стационарные состояния для потенциалов с быстрым убыванием. Оператор момента количества движения. Сферически-симметричная прямоугольная яма.</p>	2	2							4	12			12
<p>Кулоновское поле. Спектр водородоподобного атома. Квантовые «орбиты». Таблица Менделеева. Изотропный трёхмерный гармонический осциллятор.</p> <p>Момент количества движения. Квантование с помощью перестановочных соотношений. Матрицы операторов момента. Спиновая волновая функция. Спин $\frac{1}{2}$.</p>	2	2							4				
<p>Сложение моментов. Оператор магнитного момента частицы. Прецессия спина электрона в магнитном поле. Опыт Штерна–Герлаха.</p> <p>Квазиклассическое приближение. Метод ВКБ, условие применимости. Квазиклассические волновые функции. Туннельный эффект. Вариационный метод.</p>	2	2							4				
<p>Теория возмущений. Теория возмущений для стационарных состояний с дискретным спектром; первое и второе приближения. Теория возмущений при наличии близких уровней.</p> <p>Некоторые применения теории возмущений в</p>	2	2							4				

задачах атомной физики. Квантовая частица во внешнем электромагнитном поле. Магнитные и электрические свойства вещества.													
Теория симметрии. Понятие симметрии в квантовой механике. Применение теории групп. Группа трёхмерных вращений и её представления. Градиентная инвариантность и локальные U(1)-калибровочные преобразования волновой функции частицы. Принцип локальной калибровочной инвариантности, его обобщение на неабелевы группы SU(N) как основа физики фундаментальных взаимодействий.		2	2						4	12			12
Заряженная частица в постоянном однородном магнитном поле. Уровни Ландау, целочисленный квантовый эффект Холла, эффект Ааронова-Бома. Принцип неразличимости тождественных частиц. Бозе- и Ферми-статистика, принцип запрета Паули. Пространство состояний системы тождественных частиц, способы задания базиса в этом пространстве.		2	2						4				
Обменное взаимодействие. Эффективное спин-спиновое взаимодействие как следствие обменных эффектов. Природа (анти)ферромагнетизма. Одномерный ферромагнетик Гейзенберга. Спиновые волны Теория двухэлектронных атомов, пара- и орто-состояния, обменные эффекты. Многоэлектронные атомы. Приближение центрально-симметричного самосогласованного поля. Статистический метод Томаса-Ферми		2	2						4				
Взаимодействие атомов на больших расстояниях. Силы Ван-дер-Ваальса, обменные эффекты. Квантовая теория молекулярной связи. Адиабатический метод Борна-Оппенгеймера. Молекула водорода в приближении Гайтлера-		2	2						4	12			12

<p>Лондона. Типы химической связи</p> <p>Нестационарная теория возмущений (Дирака). Общая постановка задачи для квантовых переходов. Поведение системы при мгновенном и адиабатическом изменении потенциала. Золотое правило (Ферми) для скорости перехода в периодическом внешнем поле в первом порядке теории возмущений, область его применимости.</p>													
<p>Матрица реакций. Прямые и последовательные переходы в непрерывном спектре для независящего от времени взаимодействия. Матрица реакций (Т-оператор) как сумма борновского ряда теории возмущений. Полная скорость перехода при несовпадающих начальном и конечном состояниях</p> <p>S-матрица. Уравнения Липпмана-Швингера в операторной и векторной формах. S-матричная формулировка задачи о переходах. Взаимосвязь между матричными элементами S- и Т-матриц. Скорость перехода в общем случае. Оптическая теорема для квантовых переходов как следствие унитарности эволюции. Переходы в системах тождественных частиц, обменные эффекты</p>		2		2						4			
<p>Эволюция состояний, принадлежащих непрерывному энергетическому спектру. Закон распада и время жизни квазистационарного состояния. Форма и интенсивность линии. Соотношение между полушириной и временем жизни. Обращение времени в квантовой механике. Теорема взаимности и принцип детального равновесия для обращенных во времени переходов. Теорема Крамерса</p> <p>Потенциальное рассеяние. Амплитуда и дифференциальное сечение рассеяния, их выражение через Т-матрицу. Уравнения Липпмана-Швингера и оптическая теорема для упругого рассеяния. Борновское приближение, область</p>		2		2						4			

его применимости. Резерфордovo рассеяние.													
Парциальные амплитуды и фазы рассеяния , методы их вычисления. Низкоэнергетическое рассеяние на потенциале конечного радиуса действия. Рассеяние при высоких энергиях. Резонансы и фазовый анализ. Резонансное низкоэнергетическое рассеяние на неглубоком дискретном уровне, формула Бете-Пайерлса. Эффект Рамзауэра (резонанс на виртуальном уровне). Резонансное рассеяние на метастабильном состоянии, формулы Брейта-Вигнера		2	2						4				
Волновое уравнение. Ограниченность нерелятивистской квантовой теории, необходимость учета релятивистских эффектов. Полевое описание. Волновое уравнение Клейна-Гордона-Фока; лагранжиан скалярного поля. Динамические инварианты. Уравнение Дирака. Матрицы Дирака и их свойства. Уравнение непрерывности. Орбитальный и спиновый моменты частицы Дирака. Ковариантная форма уравнения Дирака. Решения уравнения Дирака для свободных частиц с определенным импульсом и спиральностью. Квазирелятивистское приближение уравнения Дирака во внешнем электромагнитном поле; переход к уравнению Паули. Спиновый магнитный момент частицы Дирака. Спин-орбитальное взаимодействие и другие релятивистские поправки, их физический смысл. Точное решение уравнения Дирака для водородоподобного атома. Тонкая и сверхтонкая структура энергетических уровней атома водорода. Позитроны как отрицательно-частотные решения уравнения Дирака. Электрон-позитронный вакуум. Фундаментальные фермионы (кварки и лептоны) как частицы Дирака, их квантовые числа.		2	2						4	12			12

<p>Фоковское пространство. Вторичное квантование как метод описание систем с переменным числом частиц. Вторичное квантование бозонов и фермионов. Оператор волновой функции. Наблюдаемые в представлении вторичного квантования. Несохранение числа частиц в заданном состоянии при включении взаимодействия. Квантование колебаний решетки в твердом теле, фононы. Эффект Мессбауэра. Гамильтониан электрон-фононного взаимодействия.</p> <p>Вторичное квантование поля Клейна-Гордона. Интерпретация в терминах частиц. Частицы и античастицы. Вакуумные флуктуации.</p>		2		2						4			
<p>Квантовая электродинамика. Квантование свободного электромагнитного поля. Фотоны как элементарные возбуждения квантованного электромагнитного поля. Спин и спиральность фотона. Когерентные и сжатые состояния электромагнитного поля. Электромагнитные переходы в атомах. Мультипольное разложение. Поляризация вакуума квантованного электромагнитного поля (эффект Казимира).</p> <p>Теория возмущений. Динамическое описание вторично квантованных систем. Метод функции распространения. Диаграммы Фейнмана. Виртуальные процессы, их вклад в наблюдаемые эффекты. Лэмбовский сдвиг, аномальный магнитный момент электрона, рассеяние света на свете, эффективные заряды и бегущие константы связи. Проблема конфайнмента.</p>		2		2						4			
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	27	X									X		
Итого		34		34						68		49	49

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)

Методические указания к практическим занятиям

Последовательное решение практических задач по следующим темам:

Семестр 6

1. Алгебра операторов
2. Уравнение Шрёдингера
3. Линейный гармонический осциллятор
4. Прямоугольная потенциальная яма
5. Представление Гайзенберга
6. Матричная формулировка квантовой механики
7. Матрица плотности
8. Сферически-симметричное уравнение Шрёдингера
9. Кулоновское поле
10. Момент количества движения
11. Сложение моментов
12. Квазиклассическое приближение
13. Теория возмущений
14. Теория возмущений в атомной физике
15. Представления групп $SO(3)$ и $SU(2)$
16. Калибровочная инвариантность
17. Частица в магнитном поле
18. Стационарная теория возмущений.
19. Многоэлектронный атом
20. Многоэлектронный атом в полях
21. Многоэлектронный атом. Волновые функции термов.
22. Теория переходов. Мгновенные переходы.
23. Нестационарная теория возмущений.
24. Переходы. Периодическое возмущение.
25. Рассеяние в Борновском приближении.
26. Парциальное разложение в рассеянии.
27. Резонансы в рассеянии.
28. Волновое уравнение
29. Уравнение Дирака
30. Уравнение Дирака во внешнем поле
31. Вторичное квантование
32. Квантовая электродинамика.
33. Теория возмущений.
34. Перенормировки.

Методические указания для самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов (СРС) состоит в выполнении двух контрольных работ (ПР-2). Для успешного выполнения контрольных работ студентам необходимо предварительно проработать теоретический материал и освоить на практических занятиях методы решения предлагаемых задач. Тематика самостоятельных работ студентов и распределение времени самостоятельной работы студентов по разделам дисциплины приведены ниже .

<i>№ n/n</i>	<i>Название</i>	<i>Содержание самостоятельной работы</i>	<i>Трудоемкость</i>
1	ПР–2.1	Одномерная квантовая механика	12
2	ПР–2.2	Квантовая теория атома	12
3	ПР–2.3	Многоэлектронный атом. Переходы.	12
4	ПР–2.4	Квантовая теория поля	13

8. Применяемые образовательные технологии для различных видов учебных занятий и для контроля освоения обучающимися запланированных результатов обучения

Перечень обязательных видов учебной работы студента:

- посещение лекционных занятий;
- ответы на теоретические вопросы на практических занятиях;
- решение практических задач и заданий на практических занятиях;
- выполнение контрольных работ.

Методическое обеспечение инновационных форм учебных занятий

В случае использования инновационных форм проведения учебных занятий⁴ приводится перечень инновационных форм проведения учебных занятий (по видам учебных занятий).

(сведения о наличии по дисциплине (модулю) инновационных форм проведения учебных занятий, о количестве часов по видам учебных занятий отражаются в учебном плане по образовательной программе)

С целью формирования и развития требуемых компетенций обучающихся в сочетании с внеаудиторной работой в учебном процессе используются инновационные образовательные технологии (~20% от объема аудиторных занятий). В качестве таковых используется частично на лекциях, а в основном на практических занятиях интерактивное обсуждение отдельных разделов дисциплины, иллюстрация теоретических положений примерами из жизни и практики, постановка и решение соответствующих задач.

9. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

⁴ При разработке и реализации ОПОП ВО выпускающая кафедра должна предусмотреть применение инновационных форм учебных занятий, развивающих у обучающихся навыки командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерские качества (включая, при необходимости, проведение интерактивных лекций, групповых дискуссий, ролевых игр, тренингов, анализ ситуаций и имитационных моделей, преподавание дисциплин (модулей) в форме курсов, составленных на основе результатов научных исследований, проводимых университетом, в том числе с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребностей работодателей).

ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

Планируемые результаты обучения (показатели освоения компетенции)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: базовые разделы общей и теоретической физики: основные понятия, модели, законы и теории. Код 31 (ОПК-3)	Отсутствие знаний	Не знает базовые разделы общей и теоретической физики: основные понятия, модели, законы и теории.	Имеет представление о базовых разделах общей и теоретической физики: основных понятиях, моделях, законах и теориях, но допускает неточности в формулировках.	Знает базовые разделы общей и теоретической физики: основные понятия, модели, законы и теории.	Имеет четкое, целостное представление о базовых разделах общей и теоретической физики: основных понятиях, моделях, законах и теориях.
Знать: теоретические и методологические основы общей и теоретической физики и способы их использования при решении конкретных физических задач. Код 32 (ОПК-3)	Отсутствие знаний	Не знает и не имеет общего представления о теоретических и методологических основах общей и теоретической физики.	Имеет общее представление о теоретических и методологических основах общей и теоретической физики, может предложить отдельные примеры их использования при решении задач профессиональной деятельности.	Имеет представление о взаимосвязи теоретических и методологических основ общей и теоретической физики, может предложить примеры их использования в разных областях физики	Имеет представление о взаимосвязи теоретических и методологических основ общей и теоретической физики, может предложить способ их использования при решении конкретной физической задачи.
Уметь: решать типовые учебные задачи по основным разделам общей и теоретической физики; применять полученную теоретическую базу для решения конкретных	Отсутствие умений	Не умеет решать типовые задачи из базовых разделов общей и теоретической физики; применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамот-	Умеет решать типовые задачи из базовых разделов общей и теоретической физики, но допускает отдельные ошибки. Частично умеет применять полученную теоретическую базу для	Умеет решать комбинированные задачи из базовых разделов общей и теоретической физики. В целом успешно умеет применять полученную теоретическую базу для решения конкретных	Умеет решать задачи повышенной сложности из базовых разделов общей и теоретической физики. Полностью сформировано умение применять полученную теоретиче-

<p>практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий. Код У1 (ОПК-3)</p>		<p>но работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий.</p>	<p>решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий.</p>	<p>практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий</p>	<p>скую базу для решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий.</p>
<p>Уметь: применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов общей и теоретической физики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач; применять знания базовых дисциплин по общей и теоретической физике для анализа и обработки результатов физических экспериментов. Код У2 (ОПК-3)</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Не умеет осваивать теоретический материал из отдельных специальных разделов общей и теоретической физики. Не умеет использовать стандартные методики обработки результатов физических экспериментов.</p>	<p>Умеет осваивать теоретический материал из отдельных специальных разделов общей и теоретической физики под руководством специалиста более высокой категории. Умеет использовать стандартные методики обработки результатов физических экспериментов, рекомендованные специалистом более высокой категории.</p>	<p>Способен самостоятельно освоить типовые методы решения задач из отдельных специальных разделов общей и теоретической физики, но допускает отдельные ошибки при их применении в профессиональной сфере деятельности. Умеет оценивать условия применимости стандартных методик анализа и обработки результатов физического эксперимента, допуская ошибки в отдельных случаях.</p>	<p>Умеет применять и обосновать необходимость привлечения сведений из дополнительных разделов общей и теоретической физики и ранжировать их по степени значимости для решения поставленной задачи (необходимые, вспомогательные, иллюстративные и др.). Способен самостоятельно освоить основные теоретические положения и типовые методы решения задач из отдельных специальных разделов общей и теоретической физики. Умеет оценивать адекватность и физическую корректность моделей, используемых при обработке результатов физического эксперимента.</p>

<p>Владеть: навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам общей и теоретической физики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов общей и теоретической физики; навыками решения базовых задач по общей и теоретической физике; основными методами научных исследований; навыками проведения физического (лабораторного) эксперимента. Код В1 (ОПК-3)</p>	<p>Отсутствие владения</p>	<p>Не владеет основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов общей и теоретической физики; навыками самостоятельной работы с учебной литературой; навыками решения базовых задач по общей и теоретической физике; основными методами научных исследований; навыками проведения физического (лабораторного) эксперимента.</p>	<p>Недостаточно владеет методами решения базовых задач по общей и теоретической физике; владеет навыками воспроизведения освоенного учебного материала по базовым разделам общей и теоретической физики, в целом; плохо ориентируется в учебной литературе по общей и теоретической физике; недостаточно владеет навыками библиографического поиска; фрагментарное применение основных методов научных исследований, навыков проведения физического (лабораторного) эксперимента.</p>	<p>Хорошо владеет основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов общей и теоретической физики, навыками применения решения базовых задач по общей и теоретической физике; владеет навыками самостоятельного изучения отдельных разделов учебной литературы по базовым разделам общей и теоретической физики и хорошо в ней ориентируется; в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение основных методов научных исследований, навыков проведения физического (лабораторного) эксперимента.</p>	<p>Свободно владеет основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов общей и теоретической физики, что позволяет формулировать выводы и участвовать в дискуссии по учебным вопросам базовых физических дисциплин; уверено владеет техникой решения сложных задач по базовым разделам общей и теоретической физики; легко ориентируется в учебной литературе по базовым разделам общей и теоретической физики и владеет навыками критического анализа учебной информации; успешное и систематическое применение основных методов научных исследований, навыков проведения физического (лабораторного) эксперимента.</p>
<p>Владеть: навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении конкретных физических задач.</p>	<p>Отсутствие владения</p>	<p>Не владеет навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении конкретных физических и смежных</p>	<p>Способен предложить примеры использования теоретических представлений отдельных разделов общей и теоретической физики для решения задач профес-</p>	<p>Владеет навыками применения теоретических моделей из базовых разделов общей и теоретической физики при интерпретации результатов в отдельно взятой обла-</p>	<p>Владеет навыками применения теоретических моделей из базовых разделов общей и теоретической физики при планировании работ в профессиональной сфере</p>

Код В2 (ОПК-3)		задач.	сиональной деятельности.	сти физики и смежных дисциплинах, но допускает отдельные неточности.	деятельности и грамотной интерпретации полученных результатов.
-----------------------	--	--------	--------------------------	--	--

- Описание шкал оценивания.

При балльно-рейтинговой системе все знания, умения и навыки, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины, оцениваются в баллах.

Оценка качества работы в рейтинговой системе является накопительной и используется для оценивания системной работы студентов в течение всего периода обучения.

Распределение баллов по видам работ, формирующих рейтинговую оценку работы студента в каждом семестре, осуществляется следующим образом:

Виды работ	Максимальное количество баллов
Посещаемость	17
Контрольная работа ПР-2.1	15
Контрольная работа ПР-2.2	15
Контрольная работа ПР-2.3	15
Контрольная работа ПР-2.4	15
Промежуточная аттестация (экзамен)	50

По итогам работы в семестре студент может получить максимально **77** баллов.

Если к моменту окончания семестра студент не набрал минимального числа баллов (**50** баллов), то он не получает допуск к экзамену.

Если студент набирает свыше 50 баллов, то он получает допуск к экзамену.

Если студент к моменту окончания семестра набирает от **61** до **70** баллов, то он может получить автоматическую оценку «удовлетворительно». При желании повысить свою оценку студент имеет право отказаться от автоматической оценки и сдать экзамен.

Промежуточной формой контроля является экзамен. На экзамене студент может набрать максимально **50** баллов.

Формирование экзаменационной оценки происходит следующим образом:

- отлично – при наборе не менее 91 балла;
- хорошо – при наборе от 71 до 90 баллов;
- удовлетворительно – при наборе от 51 до 70 баллов;
- неудовлетворительно – при наборе менее 50-ти баллов.

Текущий контроль осуществляется в течение семестра в виде устных опросов на практических занятиях (УО–1), проверки аудиторных контрольных работ по основным разделам программы и выполнения письменных контрольных заданий (ПР–2).

График выполнения самостоятельных работ студентами

Недели учебного процесса																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ВЗ			ЗЗ													
			ВЗ				ЗЗ									
							ВЗ			ЗЗ						
										ВЗ				ЗЗ		

ВЗ – выдача задания

ЗЗ – защита задания

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Процедура промежуточной аттестации проходит в соответствии с «Положением балльно-рейтинговой системе оценки и текущем контроле успеваемости студентов», а также «Положением о промежуточной аттестации» университета «Дубна».

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Образцы контрольных работ

Ниже приведены образцы задач, входящих в контрольные задания.

Задачи контрольных заданий:

1. Пучок частиц со спином $1/2$, ориентированным по оси x , влетает в прибор Штерна-Герлаха с полем по оси z . На выходе из прибора верхний пучок пролетает область магнитного поля H_z , время пролета t . После этого пучки сводят вместе и направляют в прибор Штерна-Герлаха с полем по оси x . Найти отношение интенсивностей пятен.
2. Матрица плотности одномерного гармонического осциллятора имеет вид $\rho = \frac{2}{3} |0\rangle\langle 0| + \frac{1}{3} |1\rangle\langle 1| + \frac{i}{6} |0\rangle\langle 1| - \frac{i}{6} |1\rangle\langle 0|$.
Найти среднее значение и дисперсию энергии, среднее значение и дисперсию импульса в этом состоянии.
3. Матрица плотности одномерного гармонического осциллятора имеет вид $\rho = \frac{3}{4} |0\rangle\langle 0| + \frac{1}{4} |1\rangle\langle 1| + \frac{1}{6} |0\rangle\langle 1| + \frac{1}{6} |1\rangle\langle 0|$.
Найти среднее значение и дисперсию энергии, среднее значение и дисперсию координаты в этом состоянии.
4. Одномерный гармонический осциллятор. Вычислить $\langle \alpha | x p | \alpha \rangle$
5. Одномерный гармонический осциллятор. Вычислить $\langle \alpha | x | \beta \rangle$, $\langle \alpha | p | \beta \rangle$. Как убывает ответ с ростом $|\alpha - \beta|$?
6. Одномерный гармонический осциллятор. В координатном представлении найти явный вид волновой функции для когерентного состояния $|\alpha\rangle$.
7. Одномерный гармонический осциллятор. В импульсном представлении найти явный вид волновой функции для когерентного состояния $|\alpha\rangle$.
8. Одномерный гармонический осциллятор. Вычислить $\langle n | x^4 | n \rangle$
9. Одномерный гармонический осциллятор. Вычислить $\langle n | p^3 | m \rangle$
10. Волновая функция осциллятора имеет вид $|\psi\rangle = (|\alpha\rangle + |\beta\rangle)/2^{1/2}$.
Полагая $\langle \alpha | \beta \rangle$ малым, найти среднее значение и дисперсию координаты.
11. Найти уровни энергии и волновые функции системы $H = p_x^2/2m + p_y^2/2m + kx^2/2 + qy^2/2 + \alpha xy$
12. Найти уровни энергии в потенциале $V(-a < x < a) = -V_0 \delta(x-a) - V_0 \delta(x+a) + U_0$. $V(x < -a, x > a) = 0$.
13. Найти уровни энергии в потенциале $V(-a < x < a) = -V_0 \delta(x) - U_0$. $V(x < -a, x > a) = 0$.
14. Найти коэффициенты отражения и прохождения для потенциала $V(x > 0) = V_0 \delta(x) + U_0$, $V(x < 0) = 0$.
15. Найти расположение разрешенных зон для одномерной решетки Дирака.
16. Найти в квазиклассическом приближении уровни энергии в потенциале $V(x < 0) = \infty$, $V(x > 0) = kx^2/2$. Сравнить с точным ответом.

17. Найти в квазиклассическом приближении уровни энергии в потенциале $V(x<0)=\infty, V(x>0)=kx$.
18. Найти в квазиклассическом приближении коэффициент надбарьерного отражения на потенциале $V(x<0)=0, V(0<x<a)=U_0 x/a, V(a<x)=U_0$. Сравнить с точным ответом при $a=0$. Проанализировать ответ в классическом пределе.
19. Найти зависимость времени жизни α -активного ядра от энергии вылетающей α -частицы.
20. Найти зависимость тока холодной эмиссии от величины приложенного электрического поля.
21. Найти уровни энергии для сферической оболочки $V(r)=-V_0 \delta(r-a)$.
22. Найти уровни энергии в сферически-симметричном потенциале $V(r<a)=-U_0 + V_0 \delta(r-a), V(r>a)=0$.
23. Найти уровни энергии в сферически-симметричном потенциале $V(r<a)=-U_0, V(r>a)=A/r^2$.
24. Найти среднее значение кинетической энергии, потенциальной энергии, центростремительного потенциала и величины $1/r^3$ для атома водорода, который находится в состоянии $|\psi_{nlm}\rangle$.
25. Вычислить $\langle l'm' | l_x l_y | lm \rangle, \langle l'm' | l_y l_x | lm \rangle$
26. Система двух спинов $1/2$ находится в состоянии $S=0$. Оба спина пропускают сквозь прибор Штерна-Герлаха с полем, ориентированным по оси n . Найти вероятности всех 4 возможных результатов (вв, вн, нв, нн).
27. Гамильтониан системы двух спинов $1/2$ имеет вид $H = -2\mu_1 s_z^1 H_z - 2\mu_2 s_z^2 H_z + \alpha s^1 s^2$. Найти уровни энергии и соответствующие волновые функции.
28. Сложение двух спинов $1/2$. Вычислить $\langle S=1, S_z=0 | s^2 | S=1, S_z=1 \rangle$
 $\langle S=1, S_z=-1 | s^2 | S=0, S_z=0 \rangle$
 $\langle S=0, S_z=0 | s^2 | S=1, S_z=0 \rangle$
29. Сложение орбитального момента и спина. Вычислить $\langle j=1-1/2, m_j=m+1/2 | s_y | j=1-1/2, m_j=m-1/2 \rangle$
 $\langle j=1+1/2, m_j=m-1/2 | s_x | j=1-1/2, m_j=m+1/2 \rangle$
 $\langle j=1+1/2, m_j=m+1/2 | s_z | j=1-1/2, m_j=m+1/2 \rangle$
30. Сложение орбитального момента и спина. Вычислить $\langle j=1-1/2, m_j=m+1/2 | l_x | j=1-1/2, m_j=m-1/2 \rangle$
 $\langle j=1+1/2, m_j=m-1/2 | l_y | j=1-1/2, m_j=m+1/2 \rangle$
 $\langle j=1+1/2, m_j=m+1/2 | l_z | j=1-1/2, m_j=m+1/2 \rangle$
31. Частица со спином $1/2$ находится в состоянии $|j l m_j\rangle$. Найдите направление спина n в произвольной точке x .
32. Сложение моментов $l_1=2$ и $l_2=1$. Вычислить $|L=1, M=1\rangle, |L=1, M=0\rangle, |L=1, M=-1\rangle$
33. Сложение моментов $l_1=2$ и $l_2=2$. Найти все старшие вектора с определенными значениями L
34. Сложение моментов $l_1=1$ и $l_2=1$. Вычислить все коэффициенты Клебша Гордона.
35. Одномерный гармонический осциллятор в момент времени $t=0$ находится в основном состоянии. Затем он на интервале $0<t<t_0$ подвергается воздействию постоянной силы $f(t)=f_0$. Найти волновую функцию в момент времени t и вероятность обнаружить его на n -ом уровне в момент времени t .
36. Одномерный гармонический осциллятор в момент времени $t=0$ находился в когерентном состоянии $|\alpha\rangle$. Найти волновую функцию в момент времени t . Вычислить средние значения координаты и импульса и их дисперсию в момент времени t .
37. Гамильтониан системы двух частиц со спином $1/2$ имеет вид $H = -2\mu_0 (s_z^1 - s_z^2) H_z$. Найти вероятность того, что полный спин системы равен нулю в

момент времени t , если в момент времени $t=0$ спин первой частицы был ориентирован вдоль оси

y , а второй --- против оси y .

38. Гамильтониан системы двух частиц со спином $1/2$ имеет вид $H = -2\mu_0 (s_z^{(1)} + s_z^{(2)}) H_z$. Найти вероятность того, что полный спин системы равен нулю в момент времени t , если в момент времени $t=0$ спин первой частицы был ориентирован вдоль оси

y , а второй --- против оси y .

39. Линейный гармонический осциллятор в начальный момент времени находится в состоянии

$$\rho(t=0) = \frac{2}{3} |0\rangle\langle 0| + \frac{1}{4} |1\rangle\langle 0| + \frac{1}{4} |0\rangle\langle 1| + \frac{1}{3} |1\rangle\langle 1|$$

Найти матрицу плотности, среднее значение и дисперсию координаты и импульса в произвольный момент времени t .

40. Заряженный двумерный симметричный гармонический осциллятор помещен в слабое однородное магнитное поле, ориентированное по оси z . В первом порядке теории возмущений найти поправки к энергии второго возбужденного уровня, вызванные магнитным полем.

41. Двумерный симметричный гармонический осциллятор. В первом порядке теории возмущений найти поправки к энергии первого возбужденного уровня, вызванные возмущением

$$H_I = \alpha xy. \text{ Сравнить с точным ответом.}$$

42. Заряженный двумерный симметричный гармонический осциллятор помещен в слабое однородное магнитное поле, ориентированное по оси z . В первом порядке теории возмущений найти поправки к энергии первого возбужденного уровня, вызванные магнитным полем.

43. Двумерный симметричный гармонический осциллятор. В первом порядке теории возмущений найти поправки к энергии второго возбужденного уровня, вызванные возмущением

$$H_I = \alpha xy. \text{ Сравнить с точным ответом.}$$

44. Одномерный гармонический осциллятор. Найти поправки к энергии n -го уровня, вызванные возмущением $H_I = \alpha x^3$.

45. Одномерный гармонический осциллятор. Найти поправки к энергии основного состояния, вызванные возмущением $H_I = \alpha x^4$. Сравнить с ответом, полученным вариационным методом.

46. Найти диэлектрическую восприимчивость газа, состоящего из атомов водорода, находящихся в основном состоянии. Спином пренебречь.

47. Найти магнитную восприимчивость газа, состоящего из атомов водорода, находящихся в основном состоянии. Спином пренебречь.

48. Найти энергию взаимодействия двух атомов водорода на больших расстояниях (силы Ван-дер-Ваальса).

49. Найти расщепление уровня $n=2$ атома водорода в слабом магнитном поле с учетом тонкой структуры.

50. Найти расщепление уровня $n=2$ атома водорода в среднем магнитном поле с учетом тонкой структуры.

51. Найти расщепление уровня $n=2$ атома водорода в сильном магнитном поле с учетом тонкой структуры.

52. Найти расщепление уровня $n=2$ атома водорода в слабом электрическом поле с учетом тонкой структуры.

53. Найти расщепление уровня $n=2$ атома водорода в среднем электрическом поле с учетом тонкой структуры.

54. Найти расщепление уровня $n=2$ атома водорода в сильном электрическом поле с учетом тонкой структуры.

55. Разложить электронную конфигурацию $2p^3$ на термы с помощью диаграмм Юнга.

56. Разложить электронную конфигурацию $3d^2$ на термы с помощью диаграмм Юнга.
57. Разложить электронную конфигурацию $3d^3$ на термы с помощью диаграмм Юнга.
58. Найти явный вид волновых функций термов в конфигурации $2p^3$.
59. Найти явный вид волновых функций термов в конфигурации $2p^2$.
60. Найти явный вид волновых функций термов в конфигурации $2p^4$.
61. Найти явный вид волновых функций старших векторов термов в конфигурации $3d^2$.
62. Пользуясь правилами Хунда, найти квантовые числа S, L, J состояния с наименьшей энергией для конфигурации nl^k .
63. Найти поправки к уровням энергии многоэлектронного атома в слабом однородном магнитном поле.
64. Найти поправки к уровням энергии многоэлектронного атома в сильном однородном магнитном поле.
65. Найти поправки к уровням энергии многоэлектронного атома в слабом однородном электрическом поле.
66. На атоме водорода, находящемся в основном состоянии, рассеиваются μ -мезоны. Найти формфактор и дифференциальное сечение упругого рассеяния.
67. Источник потенциала Юкавы равномерно распределен по шару радиуса R с плотностью заряда ρ_0 . Найти формфактор и дифференциальное сечение упругого рассеяния.
68. Определить полное сечение упругого рассеяния непроницаемой сферой радиуса a для быстрых частиц, де-бройлевская длина волны которых $\lambda \ll a$. Проанализировать классический предел задачи.
69. Определить полное сечение упругого рассеяния непроницаемой сферой радиуса a для медленных частиц, де-бройлевская длина волны которых $\lambda \gg a$.
70. Найти энергию и время жизни метастабильных s -уровней в потенциале $V(r) = V_0 \delta(r-a)$.
71. Найти энергию и время жизни метастабильных уровней в одномерном потенциале $V(x) = V_0 \delta(x-a) + V_0 \delta(x+a)$.
72. Найти энергию и время жизни метастабильных уровней в одномерном потенциале $V(x < -a) = 0, V(x > a) = 0, V(-a < x < a) = U_0 - V_0 \delta(x)$.
73. Найти парциальное сечение рассеяния s -волны на потенциале $V(r) = V_0 \delta(r-a)$. Указать положение резонансов.
74. Вычислить сечение упругого рассеяния медленной частицы на потенциальной яме $V(r < a) = -V_0, V(r > a) = 0$. Указать условие резонанса.
75. В приближении эйконала найти фазы рассеяния на потенциале A/r^2 . Сравнить с точным ответом.
76. Найти фазы рассеяния при упругом рассеянии на потенциале $V(r < a) = A/r^2, V(r > a) = 0$.
77. Найти фазы рассеяния при упругом рассеянии на потенциале $V(r > a) = A/r^2, V(r < a) = 0$.
78. Найти фазы рассеяния при упругом рассеянии на потенциале $V(r < a) = -U_0 + V_0 \delta(r-a), V(r > a) = 0$.
79. Найти дифференциальное сечение упругого кулоновского рассеяния электрона на электроне для синглетного и триплетного состояний в системе центра масс.
80. Найти вероятность того, что электрон в атоме трития H^3 , находящийся в основном состоянии, перейдет в $1s$ состояние иона He^{3+} при β -распаде одного из нейтронов ядра.
81. Частица находится на дискретном уровне в потенциальной яме $V(x) = -V_0 \delta(x)$. Найти время жизни частицы в яме, если она подвергается действию возмущения $H_I = 2U_0 \cos(\Omega t)$.
82. Частица находится на дискретном уровне в потенциальной яме $V(x) = -V_0 \delta(x)$. Найти время жизни частицы в яме, если она подвергается действию возмущения $H_I = 2U_0 \cos(\Omega t - \Pi x)$.

83. Найти дифференциальное сечение неупругого рассеяния частицы на сферическом гармоническом осцилляторе. Осциллятор переходит из основного в первое возбужденное состояние $|001\rangle$. Потенциал взаимодействия между частицей и осциллятором $W(x, y) = W_0 \delta(x - y)$.
84. Найти дифференциальное сечение неупругого рассеяния μ -мезона на неподвижном атоме водорода. Атом переходит из состояния $1s$ в состояние $2s$.
85. Найти средние значения и дисперсию напряженностей электрического и магнитного полей в одномодовом когерентном состоянии $|\alpha_{k,p}\rangle$.
86. Вывести правила отбора и формулу для распределения интенсивности излучения по углам и поляризациям в электрическом дипольном приближении.
87. Вывести правила отбора и формулу для распределения интенсивности излучения по углам и поляризациям в электрическом квадрупольном приближении.
88. Вывести правила отбора и формулу для распределения интенсивности излучения по углам и поляризациям в магнитном дипольном приближении.
89. Указать, между какими уровнями заряженного сферического гармонического осциллятора возможны электромагнитные переходы в дипольном приближении. Вычислить время жизни первого возбужденного уровня осциллятора в этом приближении. Найти распределения интенсивности излучения по углам и поляризациям.
90. В дипольном приближении вычислить время жизни уровня $2p_{1/2}$ атома водорода (с учетом тонкой структуры).
91. В дипольном приближении вычислить время жизни уровня $2p_{3/2}$ атома водорода (с учетом тонкой структуры).
92. Атом водорода помещен в слабое однородное магнитное поле. Описать излучение при переходе $3d \rightarrow 2p$ (тонкой структурой пренебречь). Указать количество линий в спектре и описать распределение их интенсивности по углам и поляризациям.
93. Частица со спином $1/2$ находится в однородном магнитном поле напряженности H . Найти время жизни возбужденного состояния и распределение интенсивности излучения по углам и поляризациям.
94. Найти время жизни и распределение интенсивности излучения по углам и поляризациям при переходе между уровнями сверхтонкой структура атома водорода.
95. Доказать, что однофотонные переходы $S \rightarrow S$ запрещены во всех порядках мультипольности.
96. Найти парамагнитную составляющую магнитной восприимчивости свободного фермионного газа (спин частиц $3/2$) при нулевой температуре.
97. Найти флуктуации плотности свободного бозонного газа при нулевой температуре.

Контрольные вопросы и вопросы теоретического минимума

1. Матрица плотности:

Условие нормировки для матрицы плотности; среднее значение наблюдаемой, если система находится в состоянии с матрицей плотности ρ ; вероятность пребывания в чистом состоянии ψ , если система находится в состоянии с матрицей плотности ρ ; необходимое и достаточное условие чистоты состояния, связь между матрицей плотности и волновой функцией в этом случае.

2. Волновая функция:

Условие нормировки волновой функции; среднее значение наблюдаемой, если система находится в состоянии с волновой функцией ψ ; вероятность пребывания в чистом состоянии ψ , если система находится в состоянии с волновой функцией ψ .

3. Измерение наблюдаемой (чисто дискретный спектр)

Вероятность получить значение a_i , если система находится в состоянии с матрицей плотности ρ ; вероятность получить значение a_i , если система находится в состоянии с волновой функцией ψ .

4. Составные системы:

Выражение для матрицы плотности подсистемы.

5. Динамика:

Уравнение Гайзенберга для произвольного оператора A ; нестационарное уравнение Шредингера (общий случай); стационарное уравнение Шредингера (общий случай).

6. Одномерное движение материальной точки:

Каноническое коммутационное соотношение $[x, p]$; нестационарное уравнение Шредингера в координатном представлении; стационарное уравнение Шредингера в координатном представлении; уравнение непрерывности.

7. Гармонический осциллятор:

$[a, a^\dagger]=?$; $a|n\rangle=?$; $a^\dagger|n\rangle=?$; уровни энергии $E_n=?$; когерентное состояние $|\alpha\rangle$: $a|\alpha\rangle=?$ $\langle\alpha|a^\dagger=?$

8. Трехмерное движение материальной точки:

Канонические коммутационные соотношения $[x_i, p_j]$; нестационарное уравнение Шредингера в координатном представлении; уравнение непрерывности.

9. Момент:

Определение момента; $\langle l^2 \rangle |l m\rangle=?$; $l_z |l m\rangle=?$; $l_+ |l m\rangle=?$; $l_- |l m\rangle=?$; определение скалярного и векторного операторов; матричные элементы скалярного оператора A : $\langle l^2 | A | l m \rangle=?$

10. Формулы для операторов:

$\exp(A) B \exp(-A)=?$; если $[A, B]=\lambda$, то $[A, f(B)]=?$; явный вид матриц Паули;

11. Стационарная теория возмущений.

Условие применимости; невырожденный уровень; поправка к энергии, 1-й и 2-й порядки; вырожденный уровень, поправка к энергии, 1-й порядок.

12. Потенциальное рассеяние.

Амплитуда рассеяния в 1-м Борновском приближении; условия применимости 1-го Борновского приближения; условие унитарности для парциальных амплитуд рассеяния; выражение для парциальной амплитуды рассеяния через фазу рассеяния; асимптотика для решения радиального уравнения Шредингера в задаче рассеяния.

13. Переходы.

Уравнение эволюции волновой функции в представлении взаимодействия (Дирака); золотое правило Ферми.

14. Вторичное квантование.

Канонические коммутационные соотношения для операторов рождения и уничтожения; оператор волновой функции; выражения для одночастичного и двухчастичного операторов.

15. Излучение.

Коммутационные соотношения для операторов рождения и уничтожения фотонов; энергия и импульс поля излучения; оператор вектор-потенциала; формула для электрического дипольного излучения.

16. Уравнение Дирака.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Квантовая теория» проводится в виде экзамена в конце 6-го и 7-го семестров. На экзамене студенту предлагается ответить на теоретический вопрос и решить задачу. Ниже приведены образцы экзаменационных вопросов.

Перечень экзаменационных вопросов

1. Гильбертово пространство. Базис. Унитарные, эрмитовы и проекционные операторы. Их физический смысл.
2. Спектральное разложение эрмитова оператора. Случай непрерывного спектра. Определение функции от оператора. Теоремы о коммутаторах эрмитовых операторов и их собственных векторах.
3. Результаты измерения наблюдаемой. Матрица плотности, ее свойства, условие нормировки.

4. Чистое состояние. Матрица плотности чистого состояния. Описание чистого состояния с помощью вектора гильбертова пространства. Принцип суперпозиции, его обоснование.
5. Совместимые и несовместимые наблюдаемые. Полный набор наблюдаемых. Соотношение неопределенностей.
6. Пространство состояний составной системы. Нахождение матрицы плотности подсистемы. Примеры всех возможных комбинаций чистых и смешанных состояний у системы и подсистем.
7. "Парадоксы" квантовой механики. "Парадокс" ЭПР (Эйнштейна, Подольского, Розена). "Парадокс" GHZ (Greenberger, Horne, Zeilinger).
8. "Парадоксы" квантовой механики. "Парадокс" Коэна-Шпекера. Неравенства Белла.
9. Представления Гайзенберга и Шредингера, связь между ними, формальные решения уравнений Гайзенберга и Шредингера.
10. Стационарные состояния. Симметрии и интегралы движения. Оператор эволюции и его свойства. Выражение для оператора эволюции в случае гамильтониана, зависящего от времени.
11. Координатное и импульсное представление. Их связь. Операторы трансляции в координатном и импульсном пространстве.
12. Общие свойства спектра при одномерном движении. Дискретный спектр, непрерывный спектр, кратность вырождения. Осцилляционная теорема. Четный потенциал.
13. Непрерывный спектр и одномерное рассеяние. Рассеяние волновых пакетов.
14. Периодический потенциал, спектр и волновые функции. Периодический потенциал и конечный отрезок периодического потенциала.
15. Квазиклассическое приближение. Условие применимости. Условие сшивания в точках поворота.
16. Правила квантования Бора-Зоммерфельда. Коэффициент туннелирования. Условия применимости.
17. Теория момента. Матричные элементы оператора момента. Спин. Орбитальный момент.
18. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордона. Старшие вектора.
19. Центральное-симметричное поле. Радиальное уравнение Шредингера, граничное условие.
20. Координатное и импульсное представление в 3-мерном случае. Поток вероятности, уравнение непрерывности. Падение на центр.
21. Стационарная теория возмущений, случай невырожденного уровня. Условия применимости.
22. Стационарная теория возмущений, случай вырожденного уровня. Теория возмущений для близких уровней.
23. Тождественные частицы. Принцип неразличимости. Бозоны и фермионы. Базис в пространстве состояний тождественных частиц. Операторы в пространстве состояний тождественных частиц. Принцип Паули.
24. Многоэлектронный атом, приближение центрального поля, интегралы движения, конфигурация, термы.
25. Построение явного вида волновых функций термов, старшие вектора.
26. Диаграммы Юнга. 1-е и 2-е правила Хунда, их объяснение.
27. Тонкая структура термов. 3-е правило Хунда, его доказательство.
28. Метод Хартри. Метод Хартри-Фока. Таблица Менделеева.
29. Упругое потенциальное рассеяние. Постановка задачи. Уравнение Липпмана-Швингера.
30. Борновский ряд, условие сходимости, условие применимости 1-го борновского приближения.
31. Парциальное разложение. Условие унитарности для парциальных амплитуд рассеяния, фаза рассеяния. Оптическая теорема, ее физический смысл.

32. Дискретные уровни, виртуальные уровни, метастабильные уровни. Метастабильный уровень и резонанс в рассеянии.
33. Метастабильный уровень и эволюция частицы в неидеальной потенциальной ловушке.
34. Время жизни метастабильного уровня.
35. Рассеяние при низких энергиях, резонансы в рассеянии при низких энергиях.
36. Рассеяние при высоких энергиях. Фаза рассеяния в приближении эйконала.
37. Формула для амплитуды рассеяния в приближении эйконала как формула парциального разложения.
38. Представление Дирака. Нестационарная теория возмущений. Переходы мгновенные и адиабатические.
39. Переходы под действием периодического возмущения. Золотое правило Ферми.
40. Функция Грина системы и эволюция состояния. Дискретный и непрерывный спектр системы и функция Грина. Уравнения для функции Грина системы при наличии возмущения.
41. Приближенное решение уравнений для функции Грина системы при наличии возмущения. Превращение дискретного уровня в метастабильный. Закон распада метастабильного уровня и форма линии.
42. Уравнение Липпмана-Швингера в теории переходов. S-матрица, ее свойства. T-матрица. Оптическая теорема для T-матрицы.
43. Вторичное квантование. Коммутационные соотношения для операторов рождения-уничтожения. Фоковское пространство. Базис в Фоковском пространстве.
44. Оператор волновой функции, его физический смысл. Операторы в представлении вторичного квантования. Гамильтониан и оператор числа частиц.
45. Квантование электромагнитного поля. Коммутационные соотношения для операторов рождения-уничтожения фотонов. Энергия и импульс поля.
46. Когерентное состояние как описание классической электромагнитной волны. Дисперсия компонент электромагнитного поля в когерентном состоянии. Нулевой шум.
47. Излучение фотонов квантовомеханической системой. Спонтанные и вынужденные переходы.
48. Мультипольное разложение в задаче излучения. Электрическое дипольное излучение.
49. Уравнение Дирака. Решения свободного уравнения Дирака с определенным импульсом и спиральностью, их интерпретация.
50. Невозможность локализации частицы Дирака. Скорость частицы Дирака. Спин частицы Дирака.
51. Нерелятивистский предел уравнения Дирака, уравнение Паули. Квазирелятивистское разложение уравнения Дирака.

10. Ресурсное обеспечение

• Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная учебная литература

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : Учебное пособие для вузов в 10 т. Т.3 : Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л.П.Питаевского. - 6-е изд.,испр. - Москва : Физматлит, 2017. - 800с. : ил. - ISBN 978-5-9221-0530-9.
2. Медведев, Б. В. Начала теоретической физики. Механика, теория поля, элементы квантовой механики : учебное пособие / Б. В. Медведев. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 600 с. - ISBN 978-5-9221-0770-9. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". - URL: <https://znanium.com/catalog/product/544710> (дата обращения: 11.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю

3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т. Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарные частицы: учебное пособие / И.В. Савельев; под общ. ред. В.И. Савельева. – М.: КНОРУС, 2009. – 368 с.: ил.

Дополнительная учебная литература

1. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т. Т. 4. Сборник вопросов и задач по общей физике: учебное пособие / И.В. Савельев; под общ. ред. В.И. Савельева. – М.: КНОРУС, 2009. – 384 с.: ил.
2. Сергеев, Н. А. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - Москва : Логос, 2013. - 272 с. - ISBN 978-5-98704-754-5. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com".- URL: <https://znanium.com/catalog/product/469025> (дата обращения: 11.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
3. Хавруняк, В. Г. Курс физики : учеб. пособие / В.Г. Хавруняк. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 400 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/762. - ISBN 978-5-16-100320-6. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com" [сайт]. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/1012431> (дата обращения: 22.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю

• **Периодические издания**

1. Журнал экспериментальной и теоретической физики: / Учредитель: РАН, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН; гл. ред. академ. Андреев А.Ф. - М.: ФГБУ «Российская академия наук». – Журнал выходит 1 раз в мес. - Основан в 1931 году. - ISSN 0044-4510. – Текст : электронный. Полные тексты статей журнала доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=8682
2. Медицинская физика: научно-техническое издание / Учредитель: Ассоциация медицинских физиков России; гл. ред. Наркевич Б.Я, д.т.н., проф., в.н.с. – М.: Ассоциация медицинских физиков России. – журнал выходит 2 раза в полуг. - Основан в 1995 году. – ISSN: 1810-200X. – Текст : электронный. – Полные электронные версии статей журнала доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=42372751>
3. Ядерная физика: научный журнал / Учредитель: Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ "Курчатовский институт"; гл. ред.: Далькаров О.Д. – М.: ООО «ИКЦ «Академкнига». – Журнал выходит 6 раз в год. - Журнал основан в 1965 году. - ISSN 0044-0027. – Текст : электронный. Полные электронные версии статей журнала доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=8304
4. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: физика-математика: научный журнал / Учредитель: Московский государственный областной университет; гл. ред. Бугаев А.С. – М.: МГОУ. – Журнал выходит 6 раз в год. - Основан в 1998 году - ISSN 2310-7251. – Текст : электронный. – Полные электронные версии статей журнала доступны на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: https://elibrary.ru/title_about.asp?id=25657

• **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Электронно-библиотечные системы и базы данных

1. ЭБС «Znanium.com»: <http://znanium.com/>
2. ЭБС «Лань»: <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС «Юрайт»: <https://biblio-online.ru/>
4. ЭБС «Университетская библиотека онлайн»: <http://biblioclub.ru/>
5. Научная электронная библиотека (ПУНЭБ) «eLIBRARY.RU»: <http://elibrary.ru>
6. Национальная электронная библиотека (НЭБ): <http://нэб.рф/>
7. Базы данных российских журналов компании «East View»: <https://dlib.eastview.com/>

Научные поисковые системы

1. Math-Net.Ru - современная информационная система, предоставляющая российским и зарубежным математикам различные возможности поиска информации о математической жизни в России – <http://www.mathnet.ru/>
2. Google Scholar - поисковая система по научной литературе. Включает статьи крупных научных издательств, архивы препринтов, публикации на сайтах университетов, научных обществ и других научных организаций <https://scholar.google.ru/>
3. SciGuide - навигатор по зарубежным научным электронным ресурсам открытого доступа. <http://www.prometeus.nsc.ru/sciguide/page0601.ssi>
4. ArXiv.org - научно-поисковая система, специализируется в областях: компьютерных наук, астрофизики, физики, математики, квантовой биологии. <http://arxiv.org/>
5. WorldWideScience.org - глобальная научная поисковая система, которая осуществляет поиск информации по национальным и международным научным базам данных и порталам. <http://worldwidescience.org/>

Профессиональные ресурсы сети «Интернет»

1. Федеральная информационная система «Единое окно доступа к информационным ресурсам»: <http://window.edu.ru/>
2. Образовательный математический сайт EXPonenta.ru: <http://exponenta.ru/default.asp>
3. Математический сайт Math.ru: <http://math.ru/lib/>
4. Сайт РАН Институт Вычислительной математики: <http://www.inm.ras.ru/>

• Описание материально-технической базы

Лекционные и практические занятия со студентами проводятся в стандартно оборудованных аудиториях Филиала, имеющих все необходимые средства для проведения занятий. Для проведения численных расчётов при выполнении самостоятельных работ студентам предоставляется возможность работы в компьютерных классах на персональных компьютерах с использованием стандартного программного обеспечения. Дисциплина обеспечена необходимым программным обеспечением, которое находится в свободном доступе (программы Open office, Scilab, демо-версия POMforWIN).

11. Язык преподавания

Русский