


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
теоретической физики

 (Фролов М.В.)
02.07.2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.04 – Квантовая механика

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.03.02 Ядерная физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

" Физика атомного ядра и частиц "

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0802 – теоретической физики

6. Составители программы: Фролов Михаил Владимирович

ФИО

д.ф.-м.н.

доцент

ученая степень

ученое звание

frolov@phys.vsu.ru

физический

e-mail

факультет

теоретической физики

кафедра

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 27.06.2018 г., протокол № 6

(наименование recommending структуры, дата, номер протокола,

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2020-2021

Семестр(-ы): 5,6

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью курса является формирование представлений о квантовой теории и ее методах.

Задачи дисциплины: изучить основные положения и уравнения квантовой механики, освоить математический аппарат квантовой механики, изучить основные методы и подходы решения квантовомеханических задач, приобрести навыки решения типовых задач по квантовой механике.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Входит в модуль "Вариативная часть" Б1.В. Студенты должны обладать знаниями дисциплин «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика».

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1.1	Знать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<p>знать: основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;</p> <p>уметь: выделить конкретное «теоретико-физическое» содержание в прикладных задачах будущей специализации, проводить анализ полученных теоретических результатов, ставить и решать конкретные, с учётом особенностей специализации, задачи квантовой механики;</p>
ПКВ-1.3	Уметь проводить изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований	<p>владеть (иметь навык(и)): методами квантовой механики, основными принципами решения квантовомеханических задач, иметь навыки расчета сечений и вероятностей элементарных квантовомеханических процессов.</p>

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах (в соответствии с учебным планом) — 6 / 216.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) – зачет.

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)			
	Всего	По семестрам		
		5 сем.	6 сем.	
Аудиторные занятия	96	68	28	
в том числе: лекции	48	34	14	
практические	48	34	14	
Самостоятельная работа	120	40	80	
Форма промежуточной аттестации	Зачет, зачет с оценкой	зачет	Зачет с оценкой	
Итого:	216	108	108	

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Основные понятия квантовой механики	Вероятностное описание состояний физических систем. Волновая функция. Физические величины в квантовой механике. Операторы важнейших физических величин. Соотношение неопределённости. Понятие о «сжатых» (когерентных) состояниях. Совместная измеримость физических величин. Уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности. Изменение средних значений физических величин со временем. Интегралы движения. Стационарные состояния. Общее решение нестационарного уравнения Шредингера для гамильтонианов явно независимых от времени. Элементы теории представлений.
2	Простейшие применения квантовой механики	Частица в прямоугольной потенциальной яме. Линейный гармонический осциллятор. Прохождение и отражение частиц для одномерного движения. Движение частицы в постоянном электрическом поле.
3	Движение частицы в поле центральных сил	Движение частицы в сферически-симметричном поле (разделение переменных). Интегралы движения в центральном поле. Оператор углового момента (собственные значения). Свободная частица с определенным значением орбитального момента. Частица в бесконечно глубокой сферически-симметричной яме. Движение частицы в кулоновском поле.
4	Приближенные методы квантовой механики	Квазиклассическое решение 1-мерного уравнения Шредингера (метод Вентцеля–Крамерса–Бриллюэна). Условия применимости квазиклассического приближения. Правила сопряжения. Правило квантования Бора–Зоммерфельда. Туннельный эффект. Стационарная теория возмущений для изолированного уровня. Стационарная теория возмущений для вырожденных состояний. Вариационный принцип в квантовой теории. Вариационный метод Ритца.
5	Теория квантовых переходов под влиянием внешнего возмущения	Гамильтониан взаимодействия квантовой системы с электромагнитным полем. Вынужденное поглощение и излучение света. Нестационарная теория возмущений: квантовые переходы, золотое правило Ферми. Правила отбора для дипольного излучения.
6	Элементы квантовой теории рассеяния	Квантовая теория рассеяния: интегральное уравнение на волновую функцию, амплитуда рассеяния. Квантовая теория рассеяния: борновское приближение для амплитуды рассеяния. Условия применимости борновского приближения. Сечение рассеяния на кулоновском потенциале. Метод фаз рассеяния. Эффект Рамзауера. Резонанс на квазистационарном состоянии.
7	Квантовая теория систем, состоящих из одинаковых частиц	Принцип тождественности частиц. Симметризация и антисимметризация волновых функций. Принцип Паули. Теория основного состояния атома гелия. Возбужденные состояния атома гелия. Орто- и парагелий. Метод Хартри-Фока.
8	Основы релятивистской квантовой теории	Уравнение Клейна-Гордона и уравнение Дирака для свободного электрона. Решение уравнения Дирака для свободного электрона. Вывод уравнения Паули из уравнения Дирака. Спин. Спин-орбитальное взаимодействие.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоят. работа	Контроль самостоятельной работы	
1	Основные понятия квантовой механики	4	4		10		18

2	Простейшие применения квантовой механики	8	8	20	36
3	Движение частицы в поле центральных сил	6	6	15	27
4	Приближенные методы квантовой механики	6	6	15	27
5	Теория квантовых переходов под влиянием внешнего возмущения	4	4	10	18
6	Элементы квантовой теории рассеяния	8	8	20	36
7	Квантовая теория систем, состоящих из одинаковых частиц	6	6	15	27
8	Основы релятивистской квантовой теории	6	6	15	27
	Итого:	48	48	120	216

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

При освоении лекционного материала обучающимся необходимо понимать связь каждой лекции с предыдущими, ее место и роль в текущей главе; на занятиях рекомендуется задавать уточняющие вопросы преподавателю, домашние задания следует систематически выполнять.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернета, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	<i>Давыдов А.С. Квантовая механика : учебное пособие – 3 изд. / А.С. Давыдов .— СПб: БХВ-Петербург., 2014 .— 704 с.</i>
2	<i>Копытин И.В. Квантовая теория : курс лекций для вузов./ И.В. Копытин, А.С. Корнев, Н.Л. Манаков, М.В. Фролов— 2-е изд. — Москва, Берлин : Direct MEDIA, 2018 .— 263 с.</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	<i>Галицкий В. М. Задачи по квантовой механике : учебное пособие для студ. физ. специальностей вузов : в 2 ч. / В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган .— М. : Едиториал УРСС, 2001.</i>
4	<i>Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики : Учеб. пособие для вузов / Д. И. Блохинцев — 7-е изд., доп. — СПб. : Лань, 2004 .— 664 с,</i>
5	<i>Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике : В 9 вып. : пер. с англ. / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я.А. Смородинского .— М. : Эдиториал УРСС, 2004- 52с.</i>
6	<i>Ландау Л.Д. Квантовая механика: Нерелятивистская теория (5-е изд.) /</i>

	<i>Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М. : Физматлит, 2001 – 803 с.</i>
7	<i>Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике: Квантовая механика / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1966. – Т. 8. – 271 с.</i>
8	<i>Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике: Квантовая механика / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1967. – Т. 9. – 259 с.</i>
9	<i>Балашов В.В. Курс квантовой механики/ Балашов В.В., Долинов В.К. – Ижевск: РХД, 2001 – 336 с.</i>
10	<i>Базь А.И. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике / А.И. Базь, Я.Б. Зельдович, А.М. Переломов. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : Наука, 1971. — 544 с.</i>
11	<i>Флюгге З. Задачи по квантовой механике / З.Флюгге ; Пер. с англ. Б.А. Лысова; Под ред. А.А. Соколова. — Череповец : Меркурий-Пресс, 2000-Т. 1. — 2000. — 341 с.</i>
12	<i>Флюгге, З. Задачи по квантовой механике / З.Флюгге; Пер. с англ. Б.А.Лысова; Под ред. А.А.Соколова. — Череповец : Меркурий-Пресс, 2000-Т.2. — 2000. — 315 с.</i>
13	<i>Козн-Таннуджи К. Квантовая механика : В 2 т. : [Учебное пособие] / Клод Козн-Таннуджи, Бернар Диу, Франк Лалоз; Пер. с фр. Л.Н. Новикова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2000. —Т.1. — 2000. — 941с.</i>
14	<i>Козн-Таннуджи К. Квантовая механика : В 2 т. : [Учебное пособие] / Клод Козн-Таннуджи, Бернар Диу, Франк Лалоз; Пер. с англ. Л. Н. Новикова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2000. — Т.2. — 2000. — 798с.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
15	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1	<i>Копытин И.В. Задачи по квантовой механике/ И.В. Копытин, А.С. Корнев— Воронеж, 2004 (в трех частях).</i>

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)

Лекционная аудитория, аудитории для лабораторных работ, электронные средства для представления презентаций.

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-1.1 Знать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знать: основные положения и методы квантовой механики	Разделы 1-2	Текущая аттестация №1 (собеседование)
	Уметь: выделить конкретное «теоретико-физическое» содержание в прикладных задачах будущей специализации, проводить анализ полученных теоретических результатов, ставить и решать конкретные, с учётом особенностей специализации, задачи квантовой механики	Разделы 3-4	Текущая аттестация №2 (собеседование)
	Владеть: методами квантовой механики, основными принципами решения квантовомеханических задач, иметь навыки расчета сечений и вероятностей элементарных квантовомеханических процессов.	Разделы 5-8	Практическое задание
ПКВ-1.3 Уметь проводить изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований			
Промежуточная аттестация			КИМ

* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

В результате изучения курса студенты должны знать фундаментальные понятия, физические модели, принципы и математические методы квантовой механики, а также границы их применимости и связь с прикладными науками. Уметь выделить конкретное «теоретико-физическое» содержание в прикладных задачах будущей специализации, проводить анализ полученных теоретических результатов, ставить и решать конкретные, с учётом особенностей специализации, задачи механики. Владеть методами квантовой механики.

Критерии оценок:

Отлично – Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя..

Хорошо – Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.

Удовлетворительно – Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.

Неудовлетворительно – Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Знание и понимание всех уравнений и доказательств теорем курса, безошибочные ответы на вопросы.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Понимание основных формул и определений курса, ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Понимание большинства уравнений курса, ответы на вопросы КИМа с подсказками преподавателя</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Непонимание уравнений и теорем курса, неспособность ответить на вопросы КИМа, используя конспекты</i>	–	<i>Неудовлетворительно</i>

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Вероятностное описание состояний физических систем. Волновая функция.
2. Физические величины в квантовой механике. Операторы важнейших физических величин.
3. Соотношение неопределённости. Понятие о «сжатых» (когерентных) состояниях. Совместная измеримость физических величин.
4. Уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности.
5. Изменение средних значений физических величин со временем. Интегралы движения.
6. Стационарные состояния. Общее решение нестационарного уравнения Шредингера для гамильтонианов явно независимых от времени.
7. Теории представлений: основные понятия.
8. Частица в прямоугольной потенциальной яме.
9. Линейный гармонический осциллятор.
10. Прохождение и отражение частиц для одномерного движения.
11. Движение частицы в постоянном электрическом поле.
12. Движение частицы в сферически-симметричном поле (разделение переменных). Интегралы движения в центральном поле.
13. Оператор углового момента (собственные значения).

14. Свободная частица с определенным значением орбитального момента. Частица в бесконечно глубокой сферически-симметричной яме.
15. Движение частицы в кулоновском поле (дискретный спектр).
16. Движение частицы в кулоновском поле (непрерывный спектр).
17. Квазиклассическое решение 1-мерного уравнения Шредингера (метод Вентцеля–Крамерса–Бриллюэна). Условия применимости квазиклассического приближения.
18. Правила сопряжения. Правило квантования Бора–Зоммерфельда.
19. Туннельный эффект.
20. Стационарная теория возмущений для изолированного уровня.
21. Стационарная теория возмущений для вырожденных состояний.
22. Вариационный принцип в квантовой теории. Вариационный метод Ритца.
23. Гамильтониан взаимодействия квантовой системы с электромагнитным полем. Вынужденное поглощение и излучение света.
24. Нестационарная теория возмущений: квантовые переходы, золотое правило Ферми. Правила отбора для дипольного излучения.
25. Квантовая теория рассеяния: интегральное уравнение на волновую функцию, амплитуда рассеяния.
26. Квантовая теория рассеяния: борновское приближение для амплитуды рассеяния. Условия применимости борновского приближения.
27. Сечение рассеяния на кулоновском потенциале.
28. Метод фаз рассеяния. Эффект Рамзауера.
29. Принцип тождественности частиц. Симметризация и антисимметризация волновых функций. Принцип Паули.
30. Теория основного состояния атома гелия.
31. Возбужденные состояния атома гелия. Орто- и парагелий.
32. Уравнение Клейна-Гордона и его решение для свободного электрона.
33. Уравнение Дирака для свободного электрона.
34. Решение уравнения Дирака для свободного электрона.
35. Уравнение Паули. Спин.
36. Спин-орбитальное взаимодействие.

19.3.2 Перечень тестовых заданий

1. Укажите основные свойства волновой функции.
2. Какой физический смысл имеет квадрат модуля волновой функции?
3. Напишите уравнение непрерывности.
4. Напишите нестационарное уравнение Шредингера.
5. Напишите оператор кинетической энергии и момента импульса.

6. Если задано состояние $\Psi(x; t)$, напишите определение среднего значения физической величины A в состоянии Ψ .
7. Напишите закон изменения среднего значения физической величины A . В каком случае A есть интеграл движения.
8. Дайте определение стационарного состояния.
9. Напишите спектр линейного гармонического осциллятора (одномерный случай).
10. Напишите условия применимости квазиклассического приближения.
11. Напишите правило квантования Бора-Зоммерфельда.
12. Напишите (с экспоненциальной точностью) вероятность туннелирования частицы через барьер.
13. Какие величины сохраняются в центральном поле.
14. Напишите спектр атома водорода.
15. Напишите выражения для поправок к энергии изолированного уровня в первом и втором порядках теории возмущения.
16. Напишите золотое правило Ферми.
17. Напишите точное выражение для амплитуды рассеяния.
18. В чем состоит борновское приближение в теории рассеяния.

19.3.4 Тестовые задания

19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ

Контрольная №1

1. Определить какие из нижеперечисленных операторов являются линейными эрмитовыми операторами:
 - (a) оператор сдвига: $T\varphi(x) = \varphi(x + a)$;
 - (b) оператор отражения: $I\varphi(x) = \varphi(-x)$;
 - (c) оператор сопряжения: $S\varphi(x) = \varphi^*(x)$;
 - (d) оператор дифференцирования: $D\varphi(x) = d\varphi(x)/dx$
2. Найти собственные функции оператора $f = \alpha x + \beta p$. Найти нормировку этих собственных функций.
3. Записать волновую функцию $\varphi(x) = C|x|\exp(-\alpha|x|)$ и оператор сдвига $T\varphi(x) = \varphi(x + a)$ в импульсном представлении.
4. Найти связанные состояния в потенциале $U(x) = -\alpha(\delta(x + a) + \delta(x - a))$, $\alpha > 0$.
5. Найти коэффициенты отражения и прохождения в потенциале: $U(x) = \begin{cases} U_0, & x > 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases}$ где $U_0 > 0$.
6. Вычислите следующие коммутаторы: $[L^2, r^2]$, $[L^2, p^2]$, $[L_i, r p]$.
7. Найти спектр и собственные функции плоского ротатора.
8. Частица в бесконечно глубокой яме шириной a в начальный момент времени $t = 0$ находится в состоянии $\varphi(x) = A \sin^3(x/a)$. Найти волновую функцию в произвольный момент времени $t > 0$. Является ли временная эволюция волновой функции периодической?

Контрольная №2

1. Используя вариационный принцип Ритца, определить энергию основного состояния частицы в потенциале $U(x) = -\alpha\delta(x)$, $\alpha > 0$. Пробную волновую функцию основного состояния взять в виде: $\varphi(x) = A \exp[-\beta|x|]$; где β – вариационный параметр.
2. Определить собственные значения и собственные функции оператора σ_x .

3. Найти в первом борновском приближении дифференциальное сечение рассеяния частиц с энергией E на потенциале $U(r) = U_0 \exp(-r/R)$, где U_0 и R – положительные константы.
4. На линейный гармонический осциллятор накладывают возмущение вида: $V(x; t) = \alpha x^2 |t/\tau|$, $|t| < \tau$; 0 , $|t| > \tau$. Определить вероятность перехода между основным и возбужденными состояниями.

19.3.5 Темы курсовых работ

19.3.6 Темы рефератов

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме(ах): **устного опроса (индивидуальный опрос); письменных работ (контрольные)**; Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень умения решать практические задачи. Критерии оценивания приведены выше.