

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ

протокол от
« » 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовая механика

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Фундаментальная физика

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2021 год

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.11.03, Квантовая механика относится к обязательной части ОПОП направления подготовки 03.03.02 Физика.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ОПК-1.1: Знания: ОПК-1.2: Умения: ОПК-1.3: Навыки:	ОПК-1.1: Знать основы квантовой механики микроскопических систем; операторы основных физических величин, уравнение Шредингера и основные приближения, используемые при его решении в различных физических ситуациях. ОПК-1.2: Уметь пользоваться Шредингеровским и Гейзенберговским подходами для решения стационарных квантовомеханических задач и вычисления измеримых величин. ОПК-1.3: Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Собеседование и задачи (практические задания)
ОПК-3: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.	ОПК-3.1: Знания: ОПК-3.2: Умения: ОПК-3.3: Навыки:	ОПК-3.1: Знать основные принципы современных информационных технологий ОПК-3.2: Уметь применять полученные знания о современных информационных технологиях для решения задач профессиональной деятельности. ОПК-3.3: Владеть навыками использования современных	Собеседование и задачи (практические задания)

		информационных технологий для решения задач профессиональной деятельности.	
--	--	---	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость	8
Часов по учебному плану	288
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	64
- КСР	4
самостоятельная работа	84
Промежуточная аттестация	72 экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Проблемы классической физики и необходимость квантовой теории	14	4	4	0	8	6
Волновая функция и операторы в квантовой механике	14	4	4	0	8	6
Представления в квантовой механике	14	4	4	0	8	6
Импульс и момент импульса	14	4	4	0	8	6

Квантовая механика одномерных систем	14	4	4	0	8	6
Гармонический осциллятор	14	4	4	0	8	6
Атом водорода	14	4	4	0	8	6
Теория возмущений в квантовой механике (стационарная и нестационарная)	14	4	4	0	8	6
Квазиклассическое приближение	14	4	4	0	8	6
Основы теории рассеяния	14	4	4	0	8	6
Калибровочная инвариантность. Взаимодействие электромагнитного поля с веществом	18	6	6	0	12	6
Спин	18	6	6	0	12	6
Тождественные частицы. Вторичное квантование	18	6	6	0	12	6
Уравнение Дирака	18	6	6	0	12	6
Аттестация	72					
КСР	4				4	
Итого	288	64	64	0	132	84

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 16 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;
ОПК-3: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания,

	обучающег ося от ответа	грубые ошибки.	все задания но не в полном объеме.	все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	объеме, но некоторые с недочетами.	нными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможн ость оценить наличие навыков вследствие отказа обучающег ося от ответа	При решении стандартны х задач не продемонст рированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальн ый набор навыков для решения стандартны х задач с некоторыми недочетами	Продемонстр ированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстр ированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонст рированы навыки при решении нестандартн ых задач без ошибок и недочетов.	Продемонст рирован творческий подход к решению нестандартн ых задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

(согласно оценочным средствам табл.2)

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

- 1) Уравнение Шредингера. Оператор Гамильтона. Физический смысл волновой функции.
- 2) Гармонический осциллятор.
- 3) Общие свойства одномерного движения в квантовой механике.
- 4) Атом водорода. Спектр и волновые функции.
- 5) Операторы импульса и момента импульса.
- 6) Электрон в магнитном поле.
- 7) Основы теории представлений в квантовой механике.
- 8) Представления Шредингера и Гейзенберга.
- 9) Соотношения неопределенности.
- 10) Законы сохранения в квантовой механике.
- 11) Матрица плотности.
- 12) Стационарная теория возмущений в невырожденном спектре.
- 13) Уравнение Дирака.
- 14) Стационарная теория возмущений в вырожденном спектре.
- 15) Обменное взаимодействие.
- 16) Нестационарная теория возмущений.
- 17) Квантование электромагнитного поля.
- 18) Квазиклассическое приближение.
- 19) Спин.
- 20) Вторичное квантование для бозонов.
- 21) Вариационный метод в квантовой механике.
- 22) Вторичное квантование для фермионов.
- 23) Борновское приближение в теории рассеяния.
- 24) Тожественность частиц. Фермионы и бозоны.
- 25) Переход к нерелятивистскому пределу в уравнении Дирака. Релятивистские поправки.
- 26) Теория рассеяния в квантовой механике. Постановка задачи, фазы рассеяния, сечение рассеяния.
- 27) Плотность энергетических уровней.
- 28) Взаимодействие электрона с полем излучения. Спонтанное и вынужденное излучение
- 29) Правило квантования Бора-Зоммерфельда.

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Задача 1.1

В квазиклассическом приближении найти коэффициент прохождения через потенциальный барьер произвольной формы.

Задача 1.2

Используя уравнение Дирака, найти спектр релятивистского электрона в однородном магнитном поле. Рассмотреть нерелятивистский предел.

Задача 2.1

Найти коэффициент прохождения через прямоугольный потенциальный барьер.

Задача 2.2

Найти энергию связанного состояния в мелкой одномерной потенциальной яме.

Задача 2.3

Найти оператор поворота в спиновом пространстве (оператор преобразования спиноров при конечных вращениях) для частицы со спином $\frac{1}{2}$.

Задача 3.1

Найти расщепление уровня в двух потенциальных ямах, расположенных на конечном расстоянии, считая известными энергию и волновую функцию состояния в одной яме.

Задача 3.2

С помощью квазиклассического приближения получить уравнение Гамильтона-Якоби из уравнения Шредингера.

Задача 3.3

В рамках теории возмущений найти поправку второго порядка к волновой функции и поправку третьего порядка к энергии состояния. Все уровни считать невырожденными.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

- 1) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика (нерелятивистская теория): Учебное пособие. в 10 т. Т. 3. Квантовая механика испр. М Физматлит, 2002. -808 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100572.html>
- 2) Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Тома 8, 9: Квантовая механика. М.: Мир, 1978. - 524 с. -24 экз.
- 3) Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики, изд. 5, Москва, Наука, 1976. -664 с. -90 экз.
- 4) Мигдал, А. Б. Качественные методы в квантовой теории, Москва : Наука, 1975 -335 с. -16 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) Мигдал А.Б., Крайнов В.П. Приближенные методы квантовой механики М.: Наука, 1966 - 152 с. -10 экз.
- 2) Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика М.: Наука, 1969. -623 с. -8 экз.
- 3) Елютин, Кривченков, Квантовая механика, М. Наука, 1976 -336с -54 экз.
- 4) В.В. Балашов, В.К. Долинов, Курс квантовой механики, изд МГУ, 1982г.-304 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100777.html>

5) Р.Фейнман, А.Хибс "Квантовая механика и интегралы по траекториям" Пер. с англ. Э.М. Барлита и Ю.Л. Обухова. Под ред. В.С. Барашенкова. М.: "Мир", 1968 -382 с. -12 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

Лекции по квантовой механике под авторством А.Л. Барабанов от МФТИ

https://mipt.ru/education/chair/theoretical_physics/biblio/qm-barabanov.php

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): А.С. Мельников, А.А. Беспалов

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии
ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.