

**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 | |
| <i>ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;</i> | <i>ОПК-1.1: Знания: ОПК-1.2: Умения: ОПК-1.3: Навыки:</i> | <i>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.</i> | <i>Собеседование и задачи (практические задания)</i> |
| <i>ОПК-3: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.</i> | <i>ОПК-3.1: Знания: ОПК-3.2: Умения: ОПК-3.3: Навыки:</i> | <i>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</i> | <i>Собеседование и задачи (практические задания)</i> |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | 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 | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|---|--------------------------|--|----------------------------|-------|-------|-------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | Всего | |
| | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | | | | |
| | очная | 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 несущественных 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 | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несуществе | Продемонстрированы 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) Тождественность 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.