

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

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

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. №6

**Рабочая программа дисциплины**

Дополнительные главы квантовой механики

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

профиль "Теоретическая физика"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2022

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Дополнительные главы квантовой механики» относится к вариативной части Б1.В блока Б1 «Дисциплины (модули)», является элективной дисциплиной, преподается на четвертом году обучения, в седьмом семестре. Освоению дисциплины предшествует освоение дисциплин (модулей) «Математика», «Информационные технологии», «Применение численных методов в физике», «Атомная физика», «Квантовая механика».

Целями освоения дисциплины «Дополнительные главы квантовой механики» являются:

- освоение метода квазиклассического квантования;
- освоение численного решения спектральной задачи в квантовой механике;
- освоение алгоритма решения задачи рассеяния в квантовой механике;
- освоение квантовой динамики;
- освоение алгоритмов решения уравнения Шредингера и их компьютерная реализация.

## 2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Дополнительные главы квантовой механики» составляет 7 зачетных единицы, всего 252 часа, из которых 66 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 48 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 186 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (132 часа самостоятельная работа в течение семестра, 54 часа самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

Содержание дисциплины «Дополнительные главы квантовой механики»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>1. Квазиклассическое приближение. Метод квантования Бора-Зоммерфельда.</b> Квазиклассическое приближение. Вариационный принцип. Уравнение Шредингера на решетке. Аналитические методы решения дискретного уравнения Шредингера. Связанные состояния на решетке. Метод фазовых функций. Осцилляционная теорема.	49	4	12	–	16	33
<b>2. Численные методы решения уравнения Шредингера.</b> Алгоритм численного решения уравнения Шредингера методом фазовых функций. Метод Уилкинсона. Задача рассеяния в квантовой механике. S-матрица. Задача рассеяния на решетке. Метод численного решения задачи рассеяния.	49	4	12	–	16	33
<b>3. Квантовая динамика.</b> Динамика волновых пакетов на решетке. Алгоритм численного решения динамической задачи. Метод быстрого преобразования Фурье.	25	2	6	–	8	17
<b>4. Двумерное уравнение Шредингера.</b> Спектр двумерного уравнения Шредингера. Задача рассеяния в двумерной системе. Метод численного решения трехмерного уравнения Шредингера.	48	4	12	–	16	32
<b>5. Численное определение спектра блоховского электрона.</b> Электрон в периодическом поле. Вычисление функций Блоха и закона дисперсии электрона.	25	2	6	–	8	17

В т.ч. текущий контроль	2	2	—
Промежуточная аттестация – экзамен			

### 3. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) сопровождение лекций презентациями;
- 4) методика «вопросы и ответы»;
- 5) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 6) работа в парах над практическим заданием.

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	(ПК-1) <b>Знать</b> основные численные методы квантовой механики в приложении к профильным задачам физики. (ПК-1) <b>Уметь</b> формулировать и решать задачи в рамках профильных физических дисциплин, требующие применения численных методов квантовой механики. (ПК-1) <b>Владеть</b> численными методами квантовой механики в приложении к профильным физическим дисциплинам.

### 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

## 6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Дополнительные главы квантовой механики» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

## 6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

**«Плохо»** – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Неудовлетворительно»** – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Удовлетворительно»** – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

**«Хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Очень хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Отлично»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

**«Превосходно»** – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

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

6.3.1. При проведении промежуточной аттестации обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Дополнительные главы квантовой механики»:

1. Квазиклассическое приближение. Спектр. Численная реализация метода квантования Бора-Зоммерфельда.
2. Вариационный принцип. Уравнение Шредингера на решетке (дискретное уравнение Шредингера).
3. Аналитические методы решения дискретного уравнения Шредингера. Связанные состояния на решетке.
4. Метод фазовых функций. Осцилляционная теорема.
5. Алгоритм численного решения уравнения Шредингера методом фазовых функций.
6. Метод Уилкинсона.
7. Задача рассеяния в квантовой механике. S-матрица. Задача рассеяния на решетке. Метод численного решения задачи рассеяния.
8. Квантовая динамика. Динамика волновых пакетов на решетке. Алгоритм численного решения динамической задачи.
9. Электрон в периодическом поле. Вычисление функций Блоха и закона дисперсии электрона.

6.3.2. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Исследовать динамику волнового пакета в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме.
2. Численно рассчитать уровни энергии квантового ангармонического осциллятора с помощью метода Бора-Зоммерфельда.
3. Численно рассчитать уровни энергии квантового ангармонического осциллятора с помощью метода фазовых функций.
4. Численный расчет коэффициента прохождения через прямоугольный потенциальный барьер.
5. Численный расчет коэффициента прохождения над прямоугольной потенциальной ямой.

#### 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### а) основная литература:

1. *Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс.* – Фейнмановские лекции по физике, Вып. 9. – М.: Мир. – 1967.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 5 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=66982>.

#### б) дополнительная литература:

1. *Х. Гулд, Я. Тобочник.* – Компьютерное моделирование в физике. Т. 1. – М.: Мир. – 1990.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=276420>.  
Т. 2. – М.: Мир. – 1990.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=276421>.
2. *С. Кунин.* – Вычислительная физика. – М.: Мир. – 1992.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=66789>.
3. *Н.Н. Калиткин.* – Численные методы. – М.: Наука. – 1978.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 3 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=461915>.
4. *С.К. Годунов, В.С. Рябенкий.* – Введение в теорию разностных схем. – М.: Физматгиз. – 1962.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=64012>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- 1) пакеты символьной математики Wolfram Mathematica и MathWorks MATLAB;
- 2) Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ  
<http://www.lib.unn.ru/>.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Учебные аудитории могут быть при необходимости оснащены демонстрационным оборудованием для сопровождения учебных занятий презентациями.

Для практических занятий, связанных с работами на персональных компьютерах, используются терминал-классы, оборудованные в соответствии с требованиями охраны труда.

ННГУ обеспечен всем необходимым программным обеспечением для проведения практических занятий, связанных с работами на персональных компьютерах.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.



Программа составлена в соответствии с требованиями самостоятельно установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Автор:

д. ф.-м. н., профессор \_\_\_\_\_ / Сатанин А.М. /

Рецензент:

Зав. кафедрой теоретической физики  
физического факультета,

д. ф.-м. н., доцент \_\_\_\_\_ / Бурдов В.А. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ от «        » \_\_\_\_\_ 2021 года,  
протокол № б/н.

Председатель

Учебно-методической комиссии

физического факультета ННГУ \_\_\_\_\_ / Перов А.А. /