

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Квантовая физика

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

09.03.02 - Информационные системы и технологии

---

Направленность образовательной программы

Информационные системы и технологии в физических исследованиях

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.07.06 Квантовая физика относится к обязательной части образовательной программы.

## 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;	ОПК-1.1: Знать основы высшей математики, общей физики, теории вероятности и технологий программирования ОПК-1.2: Уметь решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования ОПК-1.3: Иметь навыки теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности	ОПК-1.1: Знать основные принципы и законы квантовой физики  ОПК-1.2: Уметь решать стандартные задачи квантовой физики  ОПК-1.3: Владеть навыками применения теоретических основ квантовой физики к решению практических задач	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>58</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b>

	Экзамен
--	---------

### 3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование 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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Тема 1. Введение в волновую механику	13	4	2	6	7
Тема 2. Гильбертово пространство	13	4	2	6	7
Тема 3. Уравнение Шредингера	14	4	2	6	8
Тема 4. Волновые свойства вещества	13	4	2	6	7
Тема 5. Теория возмущений	13	4	2	6	7
Тема 6. Спин электрона	13	4	2	6	7
Тема 7. Многоэлектронные атомы и молекулы	13	4	2	6	7
Тема 8. Введение в квантовую теорию твердого тела	14	4	2	6	8
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	144	32	16	50	58

#### Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Введение в волновую механику  
Тема 2. Гильбертово пространство  
Тема 3. Уравнение Шредингера  
Тема 4. Волновые свойства вещества  
Тема 5. Теория возмущений.  
Тема 6. Спин электрона  
Тема 7. Многоэлектронные атомы и молекулы  
Тема 8. Введение в квантовую теорию твердого тела

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. А.С. Васин. Задачи по атомной и квантовой физике, ч.1 (Практикум). Нижний Новгород.: изд. ННГУ, 2016, 22 экз.
2. Д. Е. Бурланков. Практикум по квантовой физике. Нижний Новгород., изд. ННГУ, 2016, 32 экз.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

Типовые задачи для текущего контроля

1. Найти закон преобразования волновой функции при преобразовании Галилея.
2. Определить давление, оказываемое на стенки прямоугольного «потенциального ящика» находящейся в нем частицей.

Решение индивидуальной задачи .

Для различных видов ямы/барьера при заданных параметрах (задается каждому индивидуально по вариантам):

1. Получить стационарные уровни энергии электрона в одномерной потенциальной яме.
2. Для полученных состояний построить графики волновых функций в относительных единицах.
3. Для полученных состояний построить графики плотности вероятности.
4. Для состояния с минимальной энергией найти вероятность нахождения электрона вне потенциальной ямы.
5. Записать матрицы перехода между границами раздела 2-х сред и участков между границами.
6. Получить выражение для коэффициента отражения или прохождения для налетающего на барьер электрона.
7. Построить графики зависимости этого коэффициента от ширины барьера ( $a < a_{\max}$ ) при 3-х значениях энергии и от энергии при 3-х значениях ширины  $a$ .

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме.
не	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	грубые ошибки.

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения 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. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания 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».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Законы теплового излучения.
2. Формула Планка.
3. Определение  $e/m$  электрона.
4. Распределение Максвелла.
5. Лазеры.
6. Спектр атома водорода.
7. Квантовая теория Бора.
8. Уравнение Шредингера.
9. Квантовый осциллятор.
10. Полный набор базисных функций.
11. Квантовая теория момента количества движения.
12. Уравнение Шредингера для атома водорода.
13. Теоремы Эренфеста.
14. Потенциальные ямы и барьеры.
15. Спин электрона.
16. Многоэлектронные атомы. Принцип запрета Паули.
17. Периодические структуры. Теорема Блоха

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Студент отвечает полностью на вопросы билета, при ответе на дополнительные вопросы (задания) допускаются незначительные неточности
очень хорошо	Студент показывает хороший уровень знания вопросов с небольшими неточностями.
хорошо	Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя.
удовлетворительно	Студент показывает удовлетворительный уровень знания вопросов билета, отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя, допускает неточности.
неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Не ставится.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной  $a$  с бесконечно высокими стенками. Найти нормированные волновые функции стационарных состояний частицы, взяв начало отсчета координаты  $x$  в середине ямы.

2. Частица налетает на потенциальный барьер  $U(x) = 0$  при  $x < -a/2$  и  $x > a/2$ ;  $U(x) = U_0$  при  $-a/2 < x < a/2$ . Записать стационарные уравнения Шредингера для 3-х областей и общие решения для волновой функции в них. Составить систему уравнений для определения амплитуд волновых функций.

3. Волновая функция электрона в основном состоянии атома водорода имеет вид  $\Psi(r) = (1/\sqrt{\pi r_1^3}) \cdot \exp(-r/r_1)$ , где  $r_1$  - первый боровский радиус. Найти среднее значение потенциальной энергии электрона.

4. Волновая функция электрона в основном состоянии атома водорода имеет вид  $\Psi(r) = (1/\sqrt{\pi r_1^3}) \cdot \exp(-r/r_1)$ , где  $r_1$  - первый боровский радиус. Найти среднее значение модуля кулоновской силы, действующей на электрон.

5. Записать электронные конфигурации атомов: а) алюминия ( $z=13$ ); б) марганца ( $z=25$ ).

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил в полном объёме на вопрос в билете, а также на дополнительный вопрос повышенной трудности.
отлично	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете, а также на дополнительный вопрос.
очень хорошо	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете, но не ответил в полном объёме на дополнительный вопрос.
хорошо	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете, демонстрируя навыки обоснования теоретических положений с помощью преподавателя.
удовлетворительно	Обучаемый применял правильные методы для решения задачи в билете и рассказал основные положения теоретического вопроса без обоснования, с помощью преподавателя.
неудовлетворительно	Обучаемый не смог применить правильные методы для решения задачи в билете и не рассказал основные положения теоретического вопроса.
плохо	Обучаемый не смог продемонстрировать какие-либо методы для решения задачи в билете и не рассказал никаких положений теоретического вопроса.

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

Основная литература:

1. Бурланков Дмитрий Евгеньевич. Конспект лекций по атомной и квантовой физике : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 09.03.02 "Информационные системы и технологии" : в 3 ч. Ч. 1 / Д. Е. Бурланков ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2016. - 60 с., 31 экз.
2. Бурланков Дмитрий Евгеньевич. Конспект лекций по атомной и квантовой физике : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 09.03.02 "Информационные системы и технологии" : в 3 ч. Ч. 2 / Д. Е. Бурланков ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2015. - 75 с., 26 экз.
3. Бурланков Дмитрий Евгеньевич. Конспект лекций по атомной и квантовой физике : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 09.03.02 "Информационные системы и технологии" : в 3 ч. Ч. 3 / Д. Е. Бурланков ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2016. - 71 с., 25 экз.
4. Фаддеев Михаил Андреевич. Лекции по атомной физике : учеб. для студентов вузов,

обучающихся по специальностям 010400 - физика и 010600 физика конденсир. состояния вещества и по направлению 510400 - физика. - М. : Физматлит, 2008. - 612 с. - ISBN 9785-94052-162-4 : 242.00., 97 экз.

5. Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов : [в 5 т.]. Т. 5. Атомная и ядерная физика. - Изд. 3-е, стер. - М. : Физматлит, 2008. - 784 с. - ISBN 978-5-9221-0645-0 : 454.00., 7 экз.

6. Шифф Леонард И. Квантовая механика / пер. с англ. Г. А. Зайцева. - 2-е изд. - М. : Изд-во иностр. лит., 1959. - 473 с. : черт. - 2.25., 17 экз.

7. Васин Александр Сергеевич. Задачи по атомной и квантовой физике : практикум для студентов физического факультета ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 09.03.02

"Информационные системы и технологии". Ч. 1. Атомная физика / А. С. Васин ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2016. - 43 с., 22 экз.

8. Бурланков Дмитрий Евгеньевич. Практикум по квантовой физике : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 09.03.02 "Информационные системы и технологии" / Д. Е. Бурланков ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2016. - 28 с., 32 экз.

Дополнительная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория) : Учебное пособие. - 6-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2016. - 800 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-0530-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741026&idb=0>.

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

Интернет-ресурсы по темам дисциплины

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 09.03.02 - Информационные системы и технологии.

Автор(ы): Вакс Владимир Лейбович, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Морозов Олег Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 09.01.2024, протокол № б/н.