

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

**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**

---

Год начала подготовки

2022 год

Нижегород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Квантовая физика» (Б.) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана основной образовательной программы, является курсом по выбору.

Дисциплина преподается в 6 семестре.

## 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**	
ПК-12. Способен проводить сбор, анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в области применения информационных технологий в физических исследованиях	ПК-12.1. Уметь осуществлять сбор, анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования ПК-12.2. Иметь практический опыт анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.	УМЕТЬ: проводить сбор, анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в области физических исследований с использованием квантового подхода.  ВЛАДЕТЬ: навыками использования научно-технической информации, полученной из литературных источников в своей профессиональной деятельности.	<i>Задачи</i>  <i>Экзамен:</i> <i>Собеседование</i>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	48
- занятия лекционного типа, ч	32
- практические занятия, ч	16

- лабораторных, ч КСРиФ, ч	2
самостоятельная работа, ч	58
Промежуточная аттестация	экзамен

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Занятия лабораторного типа	Всего	
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
<b>Итого</b>	106	32	16	-	48	58

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме - экзамен.

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

Самостоятельная работа студентов включает изучение учебных и учебно-методических пособий, лекционного материала по соответствующим разделам дисциплины, в том числе с использованием систем компьютерной графики и электронных образовательных ресурсов. Самостоятельная внеаудиторная работа студентов осуществляется в следующих формах:

- Работа с компьютерными обучающими программами, электронными учебниками,

тестовыми системами.

- Использование профессиональных прикладных программ моделирования физических процессов и методов обработки данных.
- Работа со средствами телекоммуникации.
- Использование Интернет-ресурсов, электронных библиотек, распределенных и централизованных издательских систем.
- Использование открытых форм дистанционного обучения с использованием Интернета.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 6.2.

## 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 полностью знания 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 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 незначительными 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 владения	При решении стандартных	Имеется минимальны	Продemonстрированы	Продemonстрированы	Продemonстрированы	Продemonстрирован

	материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	задачи не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	и набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	творческий подход к решению нестандартных 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»
	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

### 5.2.1 Контрольные вопросы

№	Вопросы	Код формируемой компетенции
1.	Законы теплового излучения.	ПК-12
2.	Формула Планка.	ПК-12
3.	Определение $e/m$ электрона.	ПК-12
4.	Распределение Максвелла.	ПК-12
5.	Лазеры.	ПК-12
6.	Спектр атома водорода.	ПК-12
7.	Квантовая теория Бора.	ПК-12
8.	Уравнение Шредингера.	ПК-12
9.	Квантовый осциллятор.	ПК-12
10.	Полный набор базисных функций.	ПК-12
11.	Квантовая теория момента количества движения.	ПК-12
12.	Уравнение Шредингера для атома водорода.	ПК-12
13.	Теоремы Эренфеста.	ПК-12
14.	Потенциальные ямы и барьеры.	ПК-12
15.	Спин электрона.	ПК-12
16.	Многоэлектронные атомы. Принцип запрета Паули.	ПК-12
17.	Периодические структуры. Теорема Блоха	ПК-12

### 5.2.2. Типовые экзаменационные билеты

- 
1. Распределение Максвелла.
  2. Спектр атома водорода.
- 

1. Уравнение Шредингера.
  2. Многоэлектронные атомы. Принцип запрета Паули.
- 

### 5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции **ПК-12**

#### Задача1

Найти закон преобразования волновой функции при преобразовании Галилея.

#### **Решение**

Пусть система  $K'$  движется относительно  $K$  со скоростью  $V$ .

Произведем преобразование над волновой функцией свободного движения частицы (плоской волной). Поскольку всякая функция  $\Psi$  может быть разложена по плоским волнам, то тем самым будет найден закон преобразования и для произвольной волновой функции.

Плоские волны в системах отсчета  $K$  и  $K'$ :

$$\Psi(\mathbf{r},t)=\text{const}\cdot\exp\{t(\mathbf{p}\mathbf{r}-Et)/\hbar\}, \Psi'(\mathbf{r}',t)=\text{const}\cdot\exp\{t(\mathbf{p}'\mathbf{r}'-Et)/\hbar\},$$

причем  $\mathbf{r}=\mathbf{r}'+\mathbf{V}t$ , а импульсы и энергии частицы в обеих системах связаны друг с другом формулами

$$\mathbf{p}=\mathbf{p}'+m\mathbf{V}, E=E'+\mathbf{V}\mathbf{p}'+m\mathbf{V}^2/2.$$

Подставив эти выражения в  $\Psi$ , получим:

$$\Psi(\mathbf{r},t)=\Psi'(\mathbf{r}',t)\cdot\exp\{i/\hbar\cdot(m\mathbf{V}\mathbf{r}'+m\mathbf{V}^2/2)\}=\Psi'(\mathbf{r}-\mathbf{V}t,t)\cdot\exp\{i/\hbar\cdot(m\mathbf{V}\mathbf{r}-m\mathbf{V}^2/2)\}. \quad (1)$$

В таком виде эта формула уже не содержит величин, характеризующих свободное движение частицы, и устанавливает общий закон преобразования волновой функции произвольного состояния частицы. Для системы частиц в показателе экспоненты в (1) должна стоять сумма по частицам.

### **Задача 2.**

Определить давление, оказываемое на стенки прямоугольного «потенциального ящика» находящейся в нем частицей.

### **Решение**

Сила, действующая на стенку, перпендикулярную к оси  $x$ , есть среднее значение производной  $-\partial H/\partial a$  от гамильтоновой функции частицы по длине ящика вдоль оси  $x$ ; давление же получается делением этой силы на площадь  $bc$  стенки. Согласно формуле:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial \lambda}\right)_{nn} = \frac{\partial E_n}{\partial \lambda},$$

где  $\lambda$  - некоторый параметр, от которого зависит гамильтониан  $\hat{H}$ , а с ним и собственные значения энергии  $E_n$ , искомое среднее значение находится дифференцированием собственного значения энергии, полученной для частицы в прямоугольном «потенциальном ящике», т.е. для трехмерного движения в поле с потенциальной энергией  $U=0$  при  $0<x<a, 0<y<b, 0<z<c$  и  $U=\infty$  вне этой области;

$$E_{n_1 n_2 n_3} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m} \left( \frac{n_1^2}{a^2} + \frac{n_2^2}{b^2} + \frac{n_3^2}{c^2} \right), n_1, n_2, n_3 = 1, 2, 3 \dots$$

В результате получим давление

$$p^{(x)} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{m a^3 b c} n_1$$

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Д.Е. Бурланков. Конспект лекций по атомной и квантовой физике. Часть 1. Нижний Новгород., изд. ННГУ, 2016, 31 экз.
2. Д.Е. Бурланков. Конспект лекций по атомной и квантовой физике. Часть 2. Нижний Новгород., изд. ННГУ, 2016, 26 экз.
3. Д.Е. Бурланков. Конспект лекций по атомной и квантовой физике. Часть 3. Нижний Новгород., изд. ННГУ, 2016, 25 экз.
4. М. А. Фаддеев, Е. В. Чупрунов. Лекции по атомной физике. М.: Физматгиз, 2008, 127 экз.
5. Сивухин, Д.В. Общий курс физики Том 5 Атомная и ядерная физика [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2002. — 784 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2315>.
6. Л. Шифф. Квантовая механика. М.: ИЛ, 1959, 22 экз.
7. В. А. Фок. Начала квантовой механики. М.: Наука, 1976, 25 экз.
8. А.С. Васин. Задачи по атомной и квантовой физике, ч.1 (Практикум). Нижний Новгород.: изд. ННГУ, 2016, 22 экз.
9. Д. Е. Бурланков. Практикум по квантовой физике. Нижний Новгород., изд. ННГУ, 2016, 32 экз.

---

б) дополнительная литература:

Л.Д.Ландау Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика. Т.3.Квантовая механика. Нерелятивистская теория[Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан – М.: Наука, 1989 г – 768 с. — Режим доступа: <http://decl.sinp.msu.ru/~panov/LibBooks/LANDAU/Landau3.pdf>

---

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

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

Материально-техническое обеспечение дисциплины «Квантовая физика» обусловлено наличием необходимого количества учебников и учебных пособий в библиотеке.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду. Для проведения занятий предназначены лекционные аудитории физического факультета ННГУ (ауд. №507, №509), аудитории, оборудованные персональными компьютерами, объединенными в сеть с выходом в Интернет (№516, №528). При проведении лекционных занятий может быть использована аудитория (№517), оснащенная мультимедийным проектором.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ с учетом рекомендаций и ООП ВПО по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии».

Автор (ы):

к.ф.-м.н, с.н.с. лаборатории мат. моделирования  
и цифровой обработки информации \_\_\_\_\_

В.Л.Вакс

Рецензент

Заведующий кафедрой ИТФИ  
д.т.н., профессор \_\_\_\_\_

Фидельман В.Р

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета