

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет  
(факультет / институт / филиал)

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением президиума Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

**Рабочая программа дисциплины**

Квантовая теория

*(наименование дисциплины (модуля))*

---

Уровень высшего образования

Специалитет

*(бакалавриат / магистратура / специалитет)*

---

Направление подготовки / специальность

11.05.02 - Специальные радиотехнические системы

*(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)*

---

Направленность образовательной программы

Радиотехнические системы и комплексы специального назначения

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

---

Форма обучения

очная

*(очная / очно-заочная / заочная)*

---

Нижний Новгород

2022 год

### 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Квантовая теория» относится к дисциплинам вариативной части (блок Б1.В) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по специальности «Специальные радиотехнические системы» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина изучается в 6-м семестре.

#### Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление с методами теоретической физики на примере квантовой механики;
- формирование представлений о квантовомеханических закономерностях, лежащих в основе современной физики и ее фундаментальных приложений;
- получение базового образования для изучения дисциплин «Квантовая электроника», «Основы геометрической оптики и квазиоптики», «Введение в физику полупроводников».

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии  Этап освоения: начальный	З1 (ОПК-1). Знать основные разделы математических и естественнонаучных дисциплин. У1 (ОПК-1). Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин.

### 3. Структура и содержание дисциплины «Квантовая теория»

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 65 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 32 часа практические занятия, 1 час на текущий контроль успеваемости), 43 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	Всего (часы )	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы			Всего	
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа		
<b>Волновая функция.</b> Принцип суперпозиции состояний, волновой пакет. Квантование свободной частицы в ограниченном объеме пространства, условие нормировки. Вычисление средних значений	18	6	6		12	6

[illegible]

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках занятий семинарского типа. Итоговый контроль осуществляется на зачете.

#### **4. Образовательные технологии**

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме практических занятий.

**Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях лекционного типа:**

- лекции с проблемным изложением учебного материала.

**используемые на занятиях семинарского типа:**

- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;

- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

#### **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы.

5.1 Темы практических занятий, по которым дается домашнее задание:

1. Свойства операторов. Определение спектра собственных значений и собственных векторов некоторых операторов.
2. Вычисление вероятностей измерения физических величин в квантовых состояниях.
3. Прохождение частицы через потенциальный барьер.
4. Уровни энергии и волновые функции частицы, находящейся в потенциальной яме с бесконечными стенками.
5. Средние значения энергии, импульса, координаты частицы в различных состояниях.
6. Уровни энергии и волновые функции гармонического осциллятора.
7. Момент импульса частицы. Коммутационные соотношения различных проекций момента импульса. Сложение моментов.
8. Матричное представление операторов. Спин частицы.
9. Движение частиц в центрально-симметричном поле. Уровни энергии и волновые функции электрона в атоме водорода.
10. Теория возмущений. Эффект Штарка в атоме водорода и гармоническом осцилляторе. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана. Переходы под действием импульса электрического поля. Правила отбора.

Выполнение домашних заданий проверяется на занятиях. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

5.2 Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Собственные функции и собственные числа операторов квадрата спина и одной из его проекций.
2. Сложение двух моментов. Квантовые числа суммарного момента.
3. Движение частиц в центрально-симметричном поле. Интегралы движения. Полный набор физических величин и их общие собственные функции. Стационарное уравнение Шредингера для радиальной составляющей волновой функции. Асимптотика уравнения на малых и больших расстояниях. Движение электрона в кулоновском потенциале. Спектр энергии и свойства стационарных состояний. Вырождение уровней. Спектроскопические обозначения

для состояний в атоме водорода. Радиальные волновые функции. Полиномы Лагерра.

4. Переходы под воздействием периодического возмущения. Асимптотика вероятности перехода в единицу времени. Закон сохранения энергии при квантовых переходах. Квантовые переходы под влиянием постоянного во времени возмущения. Полная вероятность перехода в единицу времени. Плотность конечных состояний. “Золотое правило” Ферми.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, навыков), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

*ОПК-1:* Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основы квантовой механики (постулаты, математические методы) и основные критерии проявления квантовых закономерностей в физических системах.	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь проводить приближенную оценку при решении задач, связанных с теорией информации.	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть навыками использования	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком

математического аппарата квантовой механики в применении и к вопросам теории информации и информационных технологий							
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способность студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме и заключается в решении задач (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании по результатам решения задач в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ.

Результатом проверки усвоения студентом материала и правильности решения задачи является выставление студенту оценки «зачтено». При отсутствии соответствующего уровня знаний и навыков студент не аттестовывается с выставлением оценки «не зачтено».

## 6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих сформированность компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются: индивидуальное собеседование, домашние задания и тестовые контрольные задачи.

Для оценивания результатов обучения в виде умений используется индивидуальное собеседование и практические контрольные задания.

Для оценивания результатов обучения в виде владений используется индивидуальное собеседование и тестовые контрольные задачи.

**6.4.** Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций **ОПК-1**, и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

1. При измерении проекции момента импульса  $L_z$  в некотором состоянии получили среднее значение  $\langle L_z \rangle = \hbar/2$ . Пользуясь шаровыми функциями  $Y_{lm}(\theta, \varphi)$ , напишите хотя бы одну волновую функцию, которая описывала бы такое состояние.

2. В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния электрона в атоме водорода  $\psi_{100}(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ , направленного вдоль оси  $z$ .

3. Найти дисперсию проекции спина на ось  $y$  в состоянии  $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} i \\ -1 \end{pmatrix}$ .

4. В первом состоянии гармонического осциллятора ( $n = 1$ ) вычислить наиболее вероятное значение координаты.

5. При измерении проекции момента импульса  $L_z$  в некотором состоянии получили среднее значение  $\langle L_z \rangle = 3\hbar/7$ . Пользуясь шаровыми функциями  $Y_{lm}(\theta, \varphi)$ , напишите хотя бы одну волновую функцию, которая описывала бы такое состояние.

6. В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния электрона в атоме водорода  $\psi_{100}(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ , направленного вдоль оси  $y$ .

7. Электрон в атоме водорода находится в состоянии  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$ . Вычислить среднее значение кинетической энергии электрона.

8. В одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками и шириной  $a$  находится электрон, состояние которого описывается волновой функцией  $\Psi(x) = \sqrt{\frac{8}{3a}} \sin^2 \frac{\pi x}{a}$ . Определить вероятность пребывания электрона в основном состоянии.

9. При измерении проекции момента импульса  $L_z$  в некотором состоянии получили среднее значение  $\langle L_z \rangle = -2\hbar$ . Пользуясь шаровыми функциями  $Y_{lm}(\theta, \varphi)$ , напишите хотя бы одну волновую функцию, которая описывала бы такое состояние.

10. В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния электрона в атоме водорода  $\psi_{100}(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ , направленного вдоль оси  $x$ .

11. Найти дисперсию проекции спина на ось  $x$  в состоянии  $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} i \\ 1 \end{pmatrix}$ .

12. Частица находится в одномерной потенциальной яме шириной  $a$  с бесконечными стенками в состоянии  $\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{\pi n x}{a}$ . Найти среднее значение и дисперсию импульса  $p_x$ .

13. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \sin \theta \cos \varphi$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r) r^2 dr = 1$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось  $z$  могут быть измерены в этом состоянии?

14. С помощью теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния  $\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{\pi x}{a}$  электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ .

15. Электрон в атоме водорода находится в состоянии  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$ . Вычислить среднее расстояние электрона от ядра.

16. В опыте Штерна-Герлаха (магнитное поле направлено вдоль оси  $Z$ ) электроны в пучке обладают спином, направленным по оси  $X$ . Сколько пучков будет на экране. Ответ обосновать.

17. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \sin \theta \cos \varphi$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Чему равно среднее значение проекции момента импульса  $L_z$  в этом состоянии?

18. С помощью теории возмущений найти сдвиг энергии первого состояния  $\psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{2\pi x}{a}$  электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ .

19. Электрон в атоме водорода находится в состоянии  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$ . Вычислить среднее значение потенциальной энергии электрона.

20. Найти дисперсию проекции спина на ось  $z$  в состоянии  $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ .

21. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \sin 2\theta \cos \varphi$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось  $z$  могут быть измерены в этом состоянии?

22. С помощью теории возмущений найти сдвиг энергии второго состояния  $\psi_3(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{3\pi x}{a}$  электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ .

23. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \sin 2\theta \cos \varphi$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Чему равно среднее значение проекции момента импульса  $L_z$  в этом состоянии?

24. На частицу в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  наложено возмущение вида  $V(x) = V_0 \cos^2\left(\frac{\pi x}{a}\right)$ . В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния  $\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{\pi x}{a}$ .

25. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \cos \theta (1 + \sin \theta \sin \varphi)$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось  $z$  могут быть измерены в этом состоянии?

26. На частицу в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  наложено возмущение вида  $V(x) = V_0 \cos^2\left(\frac{\pi x}{a}\right)$ . В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии первого состояния  $\psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{2\pi x}{a}$ .

27. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \cos \theta (1 + \sin \theta \sin \varphi)$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Чему равно среднее значение проекции момента импульса  $L_z$  в этом состоянии?



28. На частицу в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  наложено возмущение вида  $V(x) = V_0 \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right)$ . В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния  $\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{\pi x}{a}$ .

29. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r)(1 + \cos \theta)$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось  $z$  могут быть измерены в этом состоянии?

30. На частицу в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  наложено возмущение вида  $V(x) = V_0 \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right)$ . В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии второго состояния  $\psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{2\pi x}{a}$ .

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

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

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

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

а) основная литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - Теоретическая физика. Т. 3. - М., 1989. - 767 с. (200 экз.)

б) дополнительная литература:

1. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. - М.: Наука, 1983. – 664 с. (16 экз.)

2. Давыдов А.С. Квантовая механика. – М.: Наука, 1973. – 703 с. (10 экз.)

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа. Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы»

Автор Шарков В.В.

Рецензент (ы) Орлов И.Я

Заведующий кафедрой Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета