

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 / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан / директор _____

Матросов В.В.

« 29 » _____ июня 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовая теория
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
специалитет
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)
специалист
(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2020

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Квантовая теория» относится к дисциплинам вариативной части (блок Б1.В) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» 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, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ОПК-1</i> способность анализировать физические явления и процессы для формализации и решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности (этап освоения: базовый)	31 (ОПК-1). Знать основные критерии проявления квантовомеханических закономерностей в физических системах. У1 (ОПК-1). Уметь проводить приближенную оценку при решении задач, связанных с обеспечением информационной безопасности в телекоммуникационных системах. В1 (ОПК-1). Владеть аппаратом квантовой механики в применении к вопросам обеспечения информационной безопасности в телекоммуникационных системах.
<i>ПК-2</i> способность формулировать задачи, планировать и проводить исследования, в том числе эксперименты и математическое моделирование, объектов, явлений и процессов телекоммуникационных систем, включая обработку и оценку достоверности их результатов (этап освоения: базовый)	32 (ПК-2). Знать основы, составляющие аппарат квантовой механики (определения, постулаты, математические методы). У2 (ПК-2). Уметь применять формульный аппарат квантовой механики для изучения квантовой криптографии и квантовой электроники. В2 (ПК-2). Владеть навыками использования математического аппарата квантовой механики.

3. Структура и содержание дисциплины «Квантовая теория»

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 49 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час – мероприятия промежуточной аттестации), 59 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

<div> <div>Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины</div> <div>форма промежуточной аттестации по дисциплине</div> </div>	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<div>Тема 1. Волновая функция.</div> <div>Принцип суперпозиции состояний, волновой пакет. Квантование свободной частицы в ограниченном объеме пространства, условие нормировки. Вычисление средних значений координаты и импульса.</div>	16	6	4		10	6
<div>Тема 2. Операторы.</div> <div>Операторы физических величин, их свойства, примеры. Собственные функции и собственные значения операторов, их физический смысл, кратность вырождения, квантовые числа. Свойства собственных функций операторов, имеющих дискретный спектр, особенность собствен-</div>	27	8	4		12	15

ных функций в случае вырождения, условие полноты.						
Тема 3. Одновременная измеримость величин. Условия, при которых несколько физических величин могут иметь определенные значения в одном состоянии, одновременная измеримость физических величин, полный набор физических величин. Соотношения неопределенностей для произвольных физических величин.	14	4	2		6	8
Тема 4. Момент импульса. Спин. Движение в центрально-симметричном поле. Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения между компонентами момента импульса, конус состояний. Собственные числа и собственные функции операторов квадрата момента и одной из его проекций. Матричное представление в квантовой теории, свойства матриц операторов физических величин. Спин электрона, матрицы Паули, их свойства, коммутационные соотношения между компонентами спина.	28	6	2		8	20
Тема 5. Уравнение Шредингера. Теория возмущений. Нестационарное уравнение Шредингера. Определение стационарного состояния, его зависимость от времени. Стационарная теория возмущений, условия применимости. Теория возмущений при наличии вырождения, секулярное уравнение. Возмущения, зависящие от времени. Переходы под влиянием возмущения, действующего в течение конечного времени.	22	8	4		12	10
В т.ч. текущий контроль	2		2		2	
Промежуточная аттестация: зачет						

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. Уровни энергии и волновые функции частицы, находящейся в потенциальной яме с бесконечными стенками.
4. Средние значения энергии, импульса, координаты частицы в различных состояниях.
5. Уровни энергии и волновые функции гармонического осциллятора.
6. Момент импульса частицы. Коммутационные соотношения различных проекций момента импульса. Сложение моментов.
7. Матричное представление операторов. Спин частицы.
8. Движение частиц в центрально-симметричном поле. Уровни энергии и волновые функции электрона в атоме водорода.
9. Теория возмущений. Эффект Штарка. Эффект Зеемана. Переходы под действием импульса электрического поля.

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. Свойства собственных функций операторов, имеющих непрерывный спектр.

- Условие нормировки.
2. Собственные функции и собственные числа операторов квадрата спина и одной из его проекций.
 3. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана.
 4. 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.
 5. 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. Запутанные состояния. Основы квантовой криптографии.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

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: способность анализировать физические явления и процессы для формализации и решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные критерии проявления квантовомеханических 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 обеспечением	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

нием информации безопасности в телекоммуникационных системах.							
<u>Навыки</u> Владеть аппаратом квантовой механики в применении к вопросам обеспечения информационной безопасности в телекоммуникационных системах.	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объёме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

- *ПК-2*: способность формулировать задачи, планировать и проводить исследования, в том числе эксперименты и математическое моделирование, объектов, явлений и процессов телекоммуникационных систем, включая обработку и оценку достоверности их результатов

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основы, составляющие аппарат квантовой механики (определения, постулаты, математические мето-	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

ды).							
<u>Умения</u> Уметь применять формульный аппарат квантовой механики для изучения квантовой криптографии и квантовой электроники.	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 математического аппарата квантовой механики.	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
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.

Критерии оценок.

Оценка	Уровень подготовки
Зачтено	В целом хорошая подготовка с возможными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы.
Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на дополнительные вопросы.

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

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются: индивидуальное собеседование (ОПК - 1), домашние задания (ПК-2) и тестовые контрольные задачи (ПК - 2).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используется индивидуальное собеседование (ОПК – 1) и практические контрольные задания (ПК-2).

Для оценивания результатов обучения в виде владений используется индивидуальное собеседование (ОПК – 1) и тестовые контрольные задачи (ПК - 2).

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций **ОПК-1, ПК-2**, 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

а) основная литература:

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. – М.: Наука, 1973. – 703 с.
2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. - М.: Наука, 1983. – 664 с.

б) дополнительная литература:

1. Мессиа А. - Квантовая механика. Т. 1. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. - 478с.
2. Мессиа А. - Квантовая механика: в 2 т. Т. 2. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. - 583 с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Автор (ы)

Шарков В.В.

Рецензент (ы)

Жуков С.Н.

Заведующий кафедрой

Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» июня 2020 года, протокол № 03/20 .