МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

и.о. декана _____ Малышев А.И.

« 30 » августа 2017 г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовая механика
(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
«Физика конденсированного состояния»
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

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

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

Год набора
2016
(для обучающихся какого года набора разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород – 2017

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Квантовая механика» относится к базовой части Б1.Б блока Б1 «Дисциплины (модули)», является обязательной для освоения, преподается на четвертом году обучения, в седьмом и восьмом семестрах. Освоению дисциплины предшествует освоение дисциплин (модулей) «Математика», «Теоретическая механика», «Атомная физика», «Электродинамика», «Методы математической физики».

Целями освоения дисциплины «Квантовая механика» являются:

- формирование у студентов современного представления о методах квантового описания явлений, происходящих на атомных или субатомных масштабах;
- освоение студентами практически важных методов решения основных типов задач квантовой механики, актуальных для последующей специализации в рамках выбранного направления подготовки.

2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единиц, всего 216 часов, из которых 4 зачетных единицы, всего 144 часа, приходится на седьмой семестр и 2 зачетных единицы, всего 72 часа, приходится на восьмой семестр.

В седьмом семестре 51 час составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (3 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 93 часа составляет самостоятельная работа обучающегося (57 часов самостоятельная работа в течение семестра, 36 часов самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

В восьмом семестре 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (1 час – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 39 часов составляет самостоятельная работа обучающегося в течение семестра.

Содержание дисциплины «Квантовая механика»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	**Всего (часы)**	**В том числе**				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				**Самостоятельная работа в течение семестра, часы**
		Занятия лекционного типа	**Занятия семинарского типа**	**Занятия лабораторного типа**	**Всего**	
7 семестр						
1. Предмет квантовой механики. Пределы применимости классической механики. Переход к квантовому описанию.	3	1	1	–	2	1
2. Матаппарат квантовой механики. Основные понятия теории линейных операторов в гильбертовом пространстве. Постулаты квантовой механики.	4	1	1	–	2	2
3. Уравнение Шредингера.	6	1	2	–	3	3

Уравнение Шредингера. Сохранение вероятности. Интегралы движения.						
4. Законы сохранения в квантовой механике. Законы сохранения и операторы физических величин. Операторы импульса и момента импульса.	8	2	4	–	6	2
5. Одномерное движение. Решение стационарного уравнения Шредингера в одномерных потенциалах. Общие свойства одномерного движения.	7	1	4	–	5	2
6. Эволюция состояний во времени. Изменение квантовых состояний во времени. Функция Грина нестационарного уравнения Шредингера.	8	2	4	–	6	2
7. Центральное поле. Движение в центральном поле. Интегралы движения. Вырождение. Атом водорода.	9	2	4	–	6	3
8. Магнитное поле. Движение заряженной бесспиновой частицы в магнитном поле. Эффект Ааронова-Бома.	8	2	4	–	6	2
9. Теорема Блоха. Движение в периодическом поле. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пенни.	8	2	4	–	6	2
10. Теория представлений. Импульсное представление. Матричная формулировка квантовой механики.	8	2	4	–	6	2
В т.ч. текущий контроль	2	–	2	–	2	–
Промежуточная аттестация – **зачет и экзамен**						
8 семестр						
11. Приближенные методы квантовой механики. Теория стационарных и нестационарных возмущений, квазиклассическое приближение, вариационный метод Рэлея-Ритца.	12	3	3	–	6	6
12. Атом во внешнем поле. Эффект Штарка для атома водорода. Основное состояние атома гелия (расчет вариационным методом).	12	3	3	–	6	6
13. Фотоны. Квантование электромагнитного поля. Фотоны. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. Фотоэффект.	12	3	3	–	6	6
14. Спин. Понятие спина частицы. Процессии спина в постоянном однородном магнитном поле. Спиновый резонанс.	9	2	2	–	4	5
15. Многоэлектронные системы. Тождественность частиц. Фермионы и бозоны. Обменное взаимодействие.	9	2	2	–	4	5
16. Задача рассеяния. Теория рассеяния. Борновское приближение.	9	2	2	–	4	5
17. Основы релятивистской квантовой механики. Уравнение Дирака. Решение уравнения Дирака для свободной частицы. Позитроны.	8	1	1	–	2	6
В т.ч. текущий контроль	2	–	2	–	2	–
Промежуточная аттестация – **зачет**						

3. Образовательные технологии

1) Чтение лекций;

2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;

3) методика «вопросы и ответы»;

4) выполнение практического задания у доски;

5) индивидуальная работа над практическим заданием;

6 работа в парах над практическим заданием;

7) работа в малых группах над практическим заданием;

8) методика «мозговой штурм».

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
ОПК-3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	(ОПК-3) **Знать** основные положения, точно решаемые модели, а также приближенные методы квантовой механики. (ОПК-3) **Уметь** применять полученную теоретическую базу в области квантовой физики для решения профессиональных задач. (ОПК-3) **Владеть** навыками решения основных типов задач, требующих привлечения методов квантовой механики.
ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	(ПК-1) **Знать** основные разделы квантовой механики, формирующие фундаментальную научно-образовательную базу физики. (ПК-1) **Уметь** решать типовые и нестандартные задачи по физике, требующие применения аппарата квантовой механики. (ПК-1) **Владеть** навыками постановки и решения основных типов задач квантовой механики, требующимися для моделирования профильных задач физики.
ПК-4 способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	(ПК-4) **Знать** принципы применения аппарата квантовой механики в приложении к практическим задачам в рамках профессиональной деятельности. (ПК-4) **Уметь** понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию. Пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями квантовой механики. (ПК-4) **Владеть** методиками планирования и разработки экспериментов в области квантовой физики.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Квантовая механика» в 7 семестре является **зачет и экзамен.**

По итогам зачета выставляются оценки «Не зачтено» (означает отсутствие аттестации) или «Зачтено» (означает прохождение первого этапа промежуточной аттестации – зачета). В случае прохождения зачета обучающийся допускается ко второму этапу промежуточной аттестации – экзамену.

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.

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Квантовая механика» в 8 семестре является **зачет.**

По итогам зачета выставляется оценка «Зачтено» или «Не зачтено». Оценка «Не зачтено» означает отсутствие аттестации, оценка «Зачтено» выставляется 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.

В **7 семестре** критериями оценивания на зачете являются наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины. Критериями оценивания на экзамене являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Не зачтено» – обучающийся не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Зачтено» – обучающийся успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

«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.

В **8 семестре** критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

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

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

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

6.3.1. При проведении экзамена в 7 семестре обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Квантовая механика»:

1. Операторы физических величин в квантовой механике. Основные свойства операторов. Операторы координаты и импульса.
2. Законы сохранения в квантовой механике (интегралы движения).
3. Соотношение неопределенностей.
4. Оператор момента импульса.
5. Стационарное и нестационарное уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности.
6. Прямоугольная потенциальная яма. Стационарные состояния.
7. Прямоугольная потенциальная яма и барьер. Коэффициент прозрачности.
8. Гармонический осциллятор. Волновая функция и спектр.
9. Гармонический осциллятор. Операторы рождения и уничтожения.
10. Общие свойства одномерного движения.

11. Изменение квантовых состояний во времени. Функция Грина свободной частицы.
12. Движение в центральном поле. Интегралы движения.
13. Атом водорода. Спектр энергий. Классификация состояний.
14. Движение бесспиновой частицы в постоянном однородном магнитном поле.
15. Импульсное представление. Матричная формулировка квантовой механики.

6.3.2. При проведении зачета в 8 семестре обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Квантовая механика»:

1. Стационарная теория возмущений для невырожденных уровней.
2. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения.
3. Возмущения, зависящие от времени.
4. Вероятность перехода в непрерывный спектр под влиянием периодического возмущения.
5. Взаимодействие поля с веществом. Понятие о спонтанном и вынужденном излучении. Правила отбора.
6. Квазиклассическое приближение. Волновые функции. Правила квантования Бора-Зоммерфельда.
7. Вариационный метод в квантовой механике.
8. Движение в периодическом поле. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пенни.
9. Спин. Операторы спина. Собственные функции операторов проекций спина. Матрица поворота.
10. Прецессия спина в магнитном поле. Спиновый резонанс.
11. Тождественность частиц. Волновые функции фермионов и бозонов.
12. Теория рассеяния. Борновское приближение.
13. Уравнение Дирака. Решение уравнения Дирака для свободной частицы. Позитрон.

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

1. Найти частное решение временного уравнения Шредингера для свободно движущейся частицы массы m.
2. В некоторый момент времени частица находится в состоянии, описываемом волновой функцией, координатная часть которой имеет вид $\psi(x) = A\exp\left(-\frac{x^2}{a^2} + ikx\right)$, где A и a - некоторые постоянные, а k - заданный параметр, имеющий размерность обратной длины. Найдите для данного состояния средние значения координаты $< x >$ и проекции импульса частицы $< p_x >$.
3. Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной a с бесконечно высокими стенками. В каких точках интервала $0 < x < a$ плотность вероятности обнаружения частицы одинакова для основного и второго возбуждённого состояний?
4. Найти уровни энергии частицы в поле:

$$U(x) = \begin{cases} \infty, & x < 0, x. > a \\ -U_0\delta(x - a/2), & a > x > 0 \end{cases}$$

Изобразить волновую функцию основного и первого возбужденного состояний.

5. Какие значения энергии и с какой вероятностью можно получить при измерении у частицы, находящейся в бесконечно-глубокой яме шириной *a* в состоянии

$\Psi(x, t=0) = C \sin^3(8\pi x/a)$? Найти волновую функцию в произвольный момент времени.

6. Волновая функция линейного гармонического осциллятора с массой *m* и частотой ω имеет вид: $\Psi(x,t=0)=C(\varphi_2(x)+2\varphi_3(x))$,

где $\varphi_n(x)$ – собственные функции гамильтониана. Найти среднее значение потенциальной энергии в момент времени *t* в этом состоянии. Является ли это состояние стационарным?

7. Частица находится в двумерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Координаты x и y частицы лежат в пределах 0 < x < a, 0 < y < b, где a и b – стороны ямы. Определите вероятность нахождения частицы с наименьшей энергией в области: а) $0 < x < \frac{a}{4}$; б) $0 < y < \frac{b}{4}$; в) $0 < x < \frac{a}{4}, 0 < y < \frac{b}{4}$
8. Пользуясь решением задачи о гармоническом осцилляторе, найдите энергетический спектр частицы массой m_0 в потенциальной яме вида $U(x) = \begin{cases} \infty, x < 0 \\ \frac{kx^2}{2}, x > 0 \end{cases}$ Здесь $k = m_0\omega_0^2$, а ω_0 - собственная частота гармонического осциллятора.
9. Волновая функция основного состояния электрона в атоме водорода имеет вид $\psi(r) = A\exp\left(-\frac{r}{a}\right)$, где r – расстояние электрона до ядра, a – боровский радиус. Определите наиболее вероятное расстояние $r_{вер}$ электрона от ядра.
10. Определите возможные результаты измерений квадрата модуля момента импульса L^2 для частицы, находящейся в состоянии, описываемой волновой функцией $\psi(\theta,\varphi) = A\sin\theta\cos\varphi$, где θ – полярный угол, φ – азимутальный угол, A – некоторая нормировочная постоянная.
11. Найти возможные значения энергии частицы m, находящейся в сферически-симметричной потенциальной яме $U(r) = 0$ при $r < r_0$ и $U(r_0) = \infty$, для случая, когда движение частицы описывается волновой функцией $\psi(r)$, зависящей только от радиуса r. Указание: При решении уравнения Шредингера воспользоваться подстановкой $\psi(r) = \frac{\chi(r)}{r}$.
12. Найти расщепление низшего вырожденного уровня атома водорода, обусловленное слабым возмущением вида $V(r)=k/r^2$ где r – переменная сферической системы координат.

13. Используя прямой вариационный метод, оценить энергию основного состояния частицы в поле $U(x) = U_0 |x|^3$ в классе пробных функций $\varphi(x,b) = A\exp(-b|x|)$, ($b$ -вариационный параметр).

14. Найти квазиклассические уровни энергии частицы в поле $U(x) = kx^{2/3}$.

15. Заряженная частица находится в основном состоянии в кубе со стороной a с непроницаемыми стенками. В момент времени $t = -\infty$ включается электрическое поле с напряженностью $E_x = E_0 / \left(1 + t^2 / \beta^2\right)$, $\beta = const$. Используя теорию возмущений, определить вероятность того, что при $t \to \infty$ частица окажется в первом возбужденном состоянии.

16. На плоский ротатор с моментом инерции I и дипольным моментом $\vec{d}$, находящийся в состоянии с $l_z = 4\hbar$, действует электрическое поле, лежащее в плоскости ротатора и изменяющееся со временем по закону $E = E_0 \exp(-\alpha t), t > 0$. Найти вероятности различных значений l_z к моменту окончания действия поля.

17. При измерении проекции спина на ось z для электрона, находящегося в магнитном поле $\vec{H} = (H_0, 0, 0)$, было получено значение $S_z = \hbar / 2$. Каков будет результат измерения этой проекции спустя время t?

18. Для электрона в состоянии с $S_x = \hbar / 2$ найти вероятности различных значений проекции спина на направление $\vec{n} = \left(\sqrt{8}/3, -1/3, 0\right)$.

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. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – Теоретическая физика. Т. 3. – М., 1989. – 767 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=466692&DB=1.
2. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. – Курс теоретической физики, Т. 2. – М.: Наука, 1971. – 936 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=72317.
3. Давыдов А.С. – Квантовая механика. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1963.- 748с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=43508.
4. Флюгге З. – Задачи по квантовой механике, т. 1 – М.: Мир, 1974. – 315 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=70158.
5. Флюгге З. – Задачи по квантовой механике, т. 2 – М.: Мир, 1974. – 315 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=70159.

б) дополнительная литература:

1. Шифф Л.И. – Квантовая механика. – М.: Изд-во иностр. лит.,1959. – 473 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=70608.
2. Блохинцев Д.И. – Основы квантовой механики. – СПб: «Лань». – 2004. – 672 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/619.

3. Демидович Б.П. – Математические основы квантовой механики. – СПб: «Лань». – 2005. – 200 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/604.
4. Елютин П.Б., Кривченков В.Д. – Квантовая механика (с задачами). – М.: Физматлит, 2000. – 304 с. – ЭБС «Консультант студента»: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100777.html.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:
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.

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 ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Автор:

доцент кафедры теоретической физики
физического факультета,
к. ф.-м. н., доцент _____ / Максимова Г.М. /

Рецензент:

И.о. 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 30 августа 2017 года, протокол № б/н.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ _____ / Сдобняков В.В. /