

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра теоретической физики**



УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ
академик РАН А. Е. Бондарь
« 04 » 10 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины
ТЮТОРИАЛ ПО КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ 1**

направление подготовки: **03.03.02 Физика, Курс 3, семестр 5**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения: **Очная**

Семестр	Общий объём	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачёт	Дифференцированный зачёт	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	36		16		20					
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - в интерактивных формах 16 часов (практические занятия)										
Компетенции: ОПК-3										

Разработчики:

д.ф.-м.н., проф.

д.ф.-м.н., проф.

д.ф.-м.н., проф.

к.ф.-м.н.

И. Ф. Гинзбург

В. Г. Сербо

Г. Н. Шестаков

С. Г. Сальников

И. о. зав. кафедрой ТФ ФФ НГУ

к.ф.-м.н., доцент

А. И. Черных

Ответственный за образовательную программу,

д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2020

Содержание	
Аннотация	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	6
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	6
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	7

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Тьюториал по квантовой механике 1»

Направление: **03.03.02 Физика**

Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Программа дисциплины «Тьюториал по квантовой механике 1» составлена в соответствии с требованиями СУОС по направлению подготовки **03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ.

Дисциплина относится к вариативной части образовательной программы и предлагается студентам третьего курса физического факультета в качестве одной из факультативных дисциплин кафедрой теоретической физики.

Дисциплина ведется параллельно с дисциплиной по выбору из вариативной части программы «Квантовая механика 1» и предоставляет возможность обучающимся получать дополнительные разъяснения и развить навыки по решению тех же типов задач, которые рассматриваются в рамках курса «Квантовая механика 1».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общепрофессиональной компетенции:

ОПК-3 Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

- **Владеть:** навыками решения задач по квантовой механике.

Дисциплина рассчитана на один семестр. Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: проверка решения задач, заданных на самостоятельную подготовку.

Промежуточная аттестация: не предусмотрена.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет **36** академических часов / **1** зачётная единица.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Учебная дисциплина «Тьюториал по квантовой механике 1» предназначена для развития навыков решения задач по квантовой механике.

Дисциплина является факультативной и способствует развитию общепрофессиональной компетенции:

ОПК-3 Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

Дисциплина проводится в форме практических занятий, на которых решаются типовые задачи по квантовой механике, проводится разбор заданий, выполняемых обучающимися в рамках самостоятельной работы. Существенным элементом образовательных технологий является не только умение студента найти решение задачи, но и способность доходчиво донести его до всей аудитории. Умение ответить на вопросы сокурсников и преподавателя развивает навыки, которые будут необходимы в дальнейшей профессиональной деятельности студента.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Владеть:** навыками решения задач по квантовой механике (ОПК-3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Тьюториал по квантовой механике 1» реализуется в осеннем семестре 3 курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Общая и фундаментальная физика. Для восприятия дисциплины требуется предварительная подготовка студентов по электродинамике, математике (дифференциальное и интегральное исчисления). Дисциплина является факультативной. Она ведётся параллельно с дисциплиной по выбору вариативной части программы «Квантовая механика 1» и предоставляет обучающимся возможность получать дополнительные разъяснения и приобрести дополнительные навыки по решению тех же типов задач, которые рассматриваются в рамках курса «Квантовая механика 1».

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объём	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачёт	Дифференцированный зачёт	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	36		16		20					
Всего 36 часов / 1 зачётная единица										
Компетенции: ОПК-3										

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её текущий контроль преподавателями во время практических занятий. Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: проверка решения задач, выполненных студентами в рамках самостоятельной работы, разбор обучающимися у доски решения задач, предлагаемых непосредственно во время практических занятий.

- промежуточная аттестация: не предусмотрена.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачётную единицу.

- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 20 часов;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (практические занятия) составляет 16 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 16 часов (практические занятия).

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Программа практических занятий (16 часов)

Занятие 1-9. Решение задач по теме:

1. Волны де Бройля, потенциальный ящик, оценки энергии связи из соотношения неопределённостей. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорости.
2. Прямоугольные и дельта ямы.
3. Волновые функции непрерывного спектра, одномерное рассеяние, коэффициенты прохождения и отражения. Эрмитовы операторы, коммутаторы.
4. Эволюция волновой функции со временем. Задачи с начальными условиями. Гейзенберговское представление.
5. Линейный осциллятор. Осциллятор в операторном формализме; операторы \hat{a} , \hat{a}^+ .
6. Прямой вариационный метод. Оператор сдвига, движение в периодическом поле.
7. Момент импульса. Собственные значения и собственные функции.
8. Движение в центральном поле. Атом водорода.
9. Стационарная теория возмущений. Случаи невырожденного и вырожденного спектров. Квазиклассическое приближение. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Оценка времени жизни квазистационарного состояния.

Самостоятельная работа студентов (16 часов)

Перечень занятий на СРС	Объём, час
Подготовка к практическим занятиям (выполнение заданий)	16

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. — Изд. 4-е, испр. — Москва: Наука, 1989. — 767 с.: ил. — (Теоретическая физика, т. III).
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Краткий курс теоретической физики. Кн. 2: Квантовая механика. — Москва: Наука, 1972. — 368 с.: ил.
3. Зелевинский В.Г. Лекции по квантовой механике. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. — 498 с.: ил.
4. Сербо В.Г., Хрипович И.Б. Квантовая механика: учебное пособие. — Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2008. — 273 с.: граф.

5.2. Дополнительная литература

1. Гинзбург И.Ф. Основы квантовой механики (нерелятивистская теория). — Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. — 493 с.: ил.
2. Борн М. Атомная физика. — 3-е изд. — М.: Мир, 1970. — 484 с.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Галицкий В.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука 1992. — 879 с.: ил.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть «Интернет».

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Тьюториал по квантовой механике 1» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе практических занятий: проверка решения задач, выполненных студентами в рамках самостоятельной работы, разбор обучающимися у доски решения задач, предлагаемых непосредственно во время практических занятий.

Промежуточная аттестация

Не предусмотрена.

10.2. Типовые задания, предлагаемые для самостоятельной подготовки и разбираемые на практических занятиях

Задание №1

1. Абсолютно твёрдый шарик с массой $m = 1\text{г}$ подпрыгивает над идеально отражающей горизонтальной плитой в однородном поле тяжести g . Оценить с помощью соотношения неопределённостей минимальную энергию шарика и неопределённость в его положении по вертикали в этом состоянии. Провести такую же оценку для нейтрона. Ответы довести до чисел.

2. В момент времени $t = 0$ свободная частица массы m находится в состоянии, описываемом волновой функцией

$$\psi(x, 0) = A \exp\left(\frac{ip_0 x}{\hbar} - \frac{x^2}{2a^2}\right).$$

При $t > 0$ найти средние значения координаты $\overline{x(t)}$ и импульса $\overline{p(t)}$, их неопределённостей $\overline{(\Delta x(t))^2}$ и $\overline{(\Delta p(t))^2}$, а также распределения по координате $dW(x, t) / dx$, импульсу $dW(p, t) / dp$ и энергии $dW(E, t) / dE$. С чем связано расплывание пакета?

3. Частица движется в поле трёх дельта-ям $U(x) = -G[\delta(x + a) + \delta(x) + \delta(x - a)]$. При каком значении параметра a в этом поле появляется второе (третье) связанное состояние? Найти уровни энергии и волновые функции стационарных состояний при условии $mGa / \hbar^2 \gg 1$.

4. При $t = 0$ состояние линейного осциллятора с частотой ω задано волновой функцией $\psi(x, 0) = A(1 + x/a)e^{-x^2/2a^2}$, где $a = \sqrt{\hbar / m\omega}$. Определить средние значения координаты и импульса, а также распределения по координате, импульсу и энергии при $t > 0$. К чему сводится действие оператора $\exp(i\pi\hat{a}^{+d})$ на $\psi(x, t)$?

Задание №2

1. Найти вариационным методом энергию основного состояния частицы в однородном поле тяжести g , когда её движение ограничено снизу идеально отражающей плоскостью. Использовать пробную функцию вида $\psi(x, \lambda) = Ax e^{-\lambda x^2}$ при $x \geq 0$. Сравнить ответ с точным значением $E_0 = 1,856(mg^2 \hbar^2)^{1/3}$ и результатом задачи 1.

2. Найти уровни энергии и волновые функции стационарных состояний частицы массы m , движущейся по окружности радиуса R в поле $U(\varphi) = G\delta(\varphi)$, $G > 0$. Соответствующее уравнение Шрёдингера имеет вид

$$\left(\frac{-\hbar^2}{2mR^2} \frac{d^2}{d\varphi^2} + G\delta(\varphi)\right)\psi(\varphi) = E\psi(\varphi).$$

Какова энергия основного состояния для случая, когда $mGR^2 / \hbar^2 \ll 1$?

3. Найти закон преобразования собственных функций оператора момента Y_{11} , Y_{10} , Y_{1-1} при повороте системы координат на угол α вокруг оси y . Указание: представить сферические функции в виде

$$Y_{11}(\theta, \varphi) = -\sqrt{\frac{3}{8\pi}} \frac{x+iy}{r}, \quad Y_{10}(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \frac{z}{r}, \quad Y_{1-1}(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{3}{8\pi}} \frac{x-iy}{r}.$$

Определить вероятности возможных значений проекции момента на повернутую ось z' и среднее значение l'_z для каждого из указанных состояний.

4. Трёхмерный ротатор описывается гамильтонианом $\hat{H} = \hbar^2 \hat{l}^2 / 2I$, где I — момент инерции тела. Его волновая функция в момент времени $t = 0$ имеет вид $\psi(\theta, \varphi, 0) = A \sin^2 \theta \cos^2 \varphi$. Найти реализующиеся в этом состоянии значения l , l_z , их вероятности и среднее значение \hat{l}^2 . Найти также $|\psi(\theta, \varphi, t)|^2$ при $t > 0$.

5. Определить среднее магнитное поле в центре атома водорода, создаваемое орбитальным движением электрона, находящегося в $2p$ -состоянии с определённым значением m проекции момента на ось z .

Задание №3

1. Для описания относительного движения ядер в двухатомной молекуле можно использовать модельный гамильтониан вида

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m_{\text{я}}} - Ze^2 \left(\frac{1}{r} - \frac{a}{2r^2} \right),$$

где $m_{\text{я}}$ — приведённая масса ядер, a — равновесное межатомное расстояние порядка $\hbar^2 / m_e e^2$, а $Ze^2 / 2a$ — энергия диссоциации молекулы. Найти энергии связанных состояний $E_{n,l}$ и при не слишком больших квантовых числах, т.е. при $n, l \ll m_{\text{я}} / m_e$, получить колебательный и вращательный спектр двухатомной молекулы.

2. Найти по теории возмущений главные поправки к трём нижним уровням энергии двумерного осциллятора, обусловленные наличием в его потенциальной энергии слабой нелинейности и слабого отклонения частот колебаний по x и y от соотношения 2: 1:

$$U(x, y) = \frac{m\omega^2}{2} [(4 + \varepsilon)x^2 + y^2] + \alpha xy^2.$$

Проанализировать результаты в двух предельных случаях: а) $\varepsilon \rightarrow 0$ и б) $\alpha(\hbar / m\omega)^{3/2} \ll \varepsilon \hbar \omega$.

3. Найти по теории возмущений поправки к двум нижним уровням энергии атома водорода, помещённого в поле $V(r) = \frac{e^2}{R^3} (x^2 + y^2 - z^2)$, считая $R \gg a_{\text{Б}}$.

4. Найти в квазиклассическом приближении уровни энергии и волновые функции стационарных состояний для частицы, двигающейся в однородном поле тяжести g над идеально

отражающей плоскостью. Нарисовать качественно $|\psi_n(x)|^2$ при $n \gg 1$ и сопоставить с классической плотностью вероятности $dW_{\text{кл}} / dx$. Сравнить результат расчёта энергии для $n = 0$ с оценками, полученными в задачах 1 и 5, и сделать вывод о справедливости квазиклассики для низших уровней.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Тьюториал по квантовой механике 1»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного