

**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  
А. Е. Бондарь  
« 09 » 10 2020 г.

академик РАН



**Рабочая программа дисциплины  
Тьюториал по квантовой механике 2**

направление подготовки: **03.03.02 Физика, Курс 3, семестр 6**  
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
6	36		16		20					

Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них:  
- в интерактивных формах 16 часов (практические занятия)

Компетенции: ОПК-3

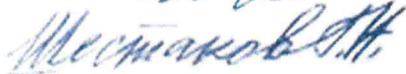
Разработчики:

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

<b>Содержание</b>	
<b>Аннотация</b> .....	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. ....	7
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 2»

Направление: **03.03.02 Физика**

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

Программа дисциплины «Тьюториал по квантовой механике 2» 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 2» и предоставляет возможность обучающимся получать дополнительные разъяснения и развить навыки по решению тех же типов задач, которые рассматриваются в рамках курса «Квантовая механика 2».

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 2» 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 2» реализуется в весеннем семестре 3 курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика, направленность «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 2» и предоставляет возможность обучающимся получать дополнительные разъяснения и приобрести дополнительные навыки по решению тех же типов задач, которые рассматриваются в рамках курса «Квантовая механика 2».

## 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
6	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. Уравнение Шрёдингера в электромагнитном поле. Спин. Матрицы Паули, уравнение Паули в электромагнитном поле. Движение спина  $1/2$  в магнитном поле.
2. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана. Уравнение Хартри-Фока. Приближение Томаса-Ферми.
3. Тонкая структура уровней. Сверхтонкая структура. Изотопический сдвиг. Таблица Менделеева. LS и JJ связь. Правила Хунда.
4. Атом в постоянном внешнем поле. Эффекты Зеемана, Пашена-Бака и Штарка. Нестационарная теория возмущений.
5. Периодическое возмущение. Фотоэффект. Борновское приближение. Резерфордовское рассеяние.
6. Кристаллический и атомный формфакторы. Фазовая теория рассеяния. Рассеяние медленных частиц.
7. Упругое рассеяние быстрых частиц. Резонансное рассеяние. Рассеяние частиц со спином. Спиновая матрица плотности.
8. Электродипольное, магнитодипольное излучение. Правила отбора.
9. Рассеяние света. Рэлеевское и томсоновское рассеяние. Структура молекул.

##### **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. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. — 3-е изд., испр. — Москва: Наука, 1989. — 723 с.: ил. — (Теоретическая физика, т. IV).
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Краткий курс теоретической физики. Кн. 2: Квантовая механика. — Москва: Наука, 1972. — 368 с.: ил.
4. Зелевинский В.Г. Лекции по квантовой механике. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. — 498 с.: ил.
5. 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 2» 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.**

### **10.1 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. Нейтральная частица со спином  $1/2$  и гиромагнитным отношением  $g$  помещена в постоянное магнитное поле  $\vec{B} = (0, 0, B)$ . Её гамильтониан взаимодействия с полем имеет вид  $\hat{H} = -g\mu_B B \hat{S}_z$ . В начальный момент времени частица поляризована в направлении  $\vec{n}$ . Показать, что дальнейшее изменение средних значений компонент  $\vec{S}$  отвечает классической картине прецессии вектора спина вокруг внешнего поля. Чему равна частота прецессии?

2. Ядро со спином  $s=1$  находится в состоянии с проекцией спина  $+1$  на ось  $z$ . Найти вероятности проекций  $+1, 0, -1$  на ось  $z'$ , направленную под углом  $\beta$  к оси  $z$  в плоскости  $xz$ . Эту задачу можно решить многими способами (см., например, задачу 8 из задания прошлого семестра). Предлагается представить указанную систему как состоящую из двух подсистем со спином  $1/2$  у каждой и воспользоваться известным законом преобразования волновых функций со спином  $1/2$  при поворотах.

3. Построить волновые функции, возникающие при сложении моментов  $j=1$  и  $j=2$ . Используя векторную модель, а также непосредственно, используя полученные волновые функции, найти средние значения операторов  $\hat{J}_1$  и  $\hat{J}_2$ , например, в состоянии с полным моментом  $J=3$  и его проекцией.

4. Две частицы, взаимодействующие по закону  $U = g\delta(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)$ , заключены в непроницаемый параллелепипед с рёбрами  $a, b, c$ . Рассматривая указанное взаимодействие в качестве возмущения, найти поправку первого порядка к энергии основного и первого возбуждённого состояний системы, считая частицы:

- а) различными,
- б) тождественными со спином  $0$ ,
- в) тождественными со спином  $1/2$ .

В случае в) определить вероятность того, что обе частицы находятся в правой половине объёма при полном спине  $S$ .

### Задание №2

1. Определить квантовые числа основных термов элементов С, N, O, F, Ne и Fe. Для атома кислорода в основном состоянии найти его средний магнитный момент. Парамагнитные или диамагнитные свойства проявляют в слабом магнитном поле атомы С и Ne в основных состояниях?

2. Атом Бора ( $Z=5$ ) в основном состоянии имеет электронную конфигурацию. Оценить величину спин-орбитального расщепления в этом состоянии. Как выглядит здесь эффект Зеемана в слабом и в сильном магнитном поле (т.е. когда мало по сравнению с интервалом тонкой структуры и когда велико)?

3. Атом водорода подвергается воздействию однородного электрического поля, рассматриваемого как возмущение. Поле направлено по оси  $z$  и изменяется во времени по закону

$$E(t) = \frac{A}{\sqrt{\pi\tau}} \exp(-t/\tau^2)$$

где  $A$  — постоянная. Считая, что до включения поля (т.е. при  $t=-\infty$ ) атом находился в основном состоянии, вычислить в первом приближении вероятность возбуждения состояния с  $n=2$  в результате действия указанного возмущения (т.е. при  $t \rightarrow \infty$ ). Указать области значений параметров  $A$  и  $\tau$ , в которых применима теория возмущений.

4. Частица находится в основном состоянии в поле  $U(x) = -G\delta(x)$ . Внезапно параметр  $G$  изменяется и становится равным  $G'$  (подобная ситуация имеет место, например, при  $\beta$ -распаде трития). Найти вероятность вылета частицы в непрерывный спектр в интервал состояний с импульсами от  $p$  до  $p+dp$ , а также полную вероятность частице покинуть яму. Воспользоваться волновыми функциями задачи 6 из задания прошлого семестра.

### Задание №3

1. Найти амплитуду и дифференциальное сечение рассеяния частиц в поле  $U(r) = G\delta(r - a)$  в борновском приближении. Вычислить полное сечение рассеяния в предельном случае быстрых и медленных частиц. Указать критерии применимости.

2. Пучок нерелятивистских неполяризованных нейтронов рассеивается на тяжёлом ядре. Заряд ядра  $Ze$ , импульс нейтрона  $p$ . Кулоновское поле ядра предполагается точечным. Амплитуда рассеяния равна сумме вкладов от электромагнитного и ядерного взаимодействий нейтрона с ядром. Амплитуда ядерного взаимодействия описывается комплексным числом  $f_N$ . Найти средний спин  $\langle \vec{S} \rangle$  рассеянных нейтронов. *Указание.* Для нахождения амплитуды электромагнитного взаимодействия учесть, что в системе покоя нейтрона возникает магнитное поле от движущегося ядра.

3. Определить мультипольности и оценить вероятности переходов между первым возбужденным и основным состоянием атома водорода с учётом тонкой структуры уровней. Объяснить большую величину времени жизни,  $\tau = 1/7$ с, уровня, определяемую двухфотонным переходом. Как изменится это время жизни при включении слабого электрического поля (с учётом лэмбовского расщепления уровней  $2s_{1/2}$  и  $2p_{1/2}$ )? Найти величину поля, меняющего это время вдвое. Как влияет на ответ скорость включения поля?

4. Потенциал взаимодействия протона и нейтрона зависит от полного спина и характеризуется двумя длинами рассеяния:  $a_{S=0} = -23.7$  ферми и  $a_{S=1} = 5.39$  ферми. Предполагая, что дейтрон представляет собой слабосвязанное состояние протона и нейтрона с  $L = 0, S = 1$ , вычислить сечение фоторасщепления дейтрона  $\gamma + d \rightarrow p + n$ . Какова мультипольность перехода? Почему вблизи порога реакции нужен учёт магнитодипольного перехода?

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Тьюториал по квантовой механике 2»  
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