

**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  
2020 г.



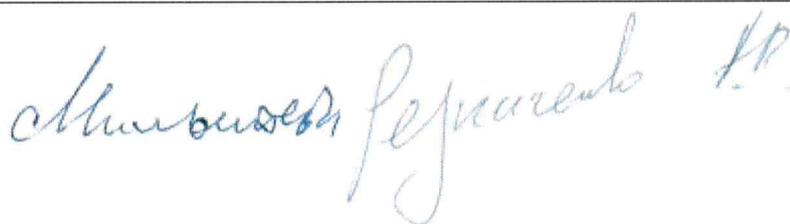
**Рабочая программа дисциплины  
Тьюториал по квантовой теории 1**

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.  
к.ф.-м.н., доцент



А. И. Мильштейн  
А. В. Резниченко

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. ....	5
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	7
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 теории 1»

Направление: **03.03.02 Физика**

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

Программа дисциплины «Тьюториал по квантовой теории 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 теория 1» и предоставляет возможность обучающимся получать дополнительные разъяснения и развить навыки по решению тех же типов задач, которые рассматриваются в рамках курса «Квантовая теория 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 теории.

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 теории 1» предназначена для развития навыков решения задач по квантовой теории.

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 теории, 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 теории (ОПК-3).

### 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Тьюториал по квантовой теории 1» реализуется в осеннем 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 теория 1» и предоставляет возможность обучающимся получать дополнительные разъяснения и приобрести дополнительные навыки по решению тех же типов задач, которые рассматриваются в рамках курса «Квантовая теория 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 18 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. Математические основы квантовой механики. Одномерное движение.
2. Мелкая яма. Точные решения в одномерных потенциалах.
3. Свойства уравнения Шрёдингера.
4. Прохождение через потенциальный барьер в одномерном случае.
5. Осциллятор. Системы с несколькими степенями свободы. Периодический потенциал.
6. Гайзенберговское представление. Унитарные преобразования. Представление взаимодействия.
7. Движение в магнитном поле.
8. Момент импульса. Спин. Сложение моментов.
9. Движение в центральном поле.

##### **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. Зелевинский В.Г. Лекции по квантовой механике. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. — 498 с.: ил.

3. Сербо В.Г., Хриплович И.Б. Квантовая механика: учебное пособие. — 2-е изд., испр. — Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2010. — 273 с.: ил.
4. 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.

## 5.2. Дополнительная литература

1. Борн М. Атомная физика. — 3-е изд. — М.: Мир, 1970. — 484 с.
2. Бете Г.А. Квантовая механика. — М.: Мир, 1965. — 333 с.
3. Гольдман И.И., Кривченков В.Д. Сборник задач по квантовой механике. — М.: УНЦ ДО, 2001. — 275 с.: ил. — Репринт. воспроизведение изд. 1957 г.
4. Фейнман Р.Ф., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. — М.: Мир, 1968. — 382 с.
5. Флюгге З. Задачи по квантовой механике [в 2 томах]. — М.: Мир, 1974.
6. Мессиа А. Квантовая механика, том 1. — Москва: Наука, 1978. — 478 с.: ил.
7. Базь А.И., Зельдович Я.Б., Переломов А.М. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике. — Изд. 2-е, испр. и доп. — Москва: Наука, 1971. — 544 с.

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

### 6.1. Видеолекции по курсу квантовой теории:

1. Лекции проф. В.Ф. Дмитриева, НГУ, 2012 г.:  
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLE61A955CA34AD967>
2. Лекции ак. Герштейна С.С., лекторий МФТИ, 2013 г.:  
<https://lectoriy.mipt.ru/course/TheoreticalPhysics-QuantumMechanics-13L>
3. Lectures by Dr. Barton Zwiebach, Quantum Physics 1, MIT, 2016:  
<https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-04-quantum-physics-i-spring-2016/>

### 6.2. Дополнительное информационное обеспечение:

1. Доступ к информационным ресурсам, выложенным на сайте  
<http://www.inp.nsk.su/students/theor/>  
(в частности, пример программы в системе Mathematica для численного решения уравнения Шрёдингера:  
[http://wwwold.inp.nsk.su/students/theor/postgraduate\\_courses-3/Lee-0.nb](http://wwwold.inp.nsk.su/students/theor/postgraduate_courses-3/Lee-0.nb))
2. Программа bound-states\_en визуализации решений уравнения Шрёдингера:  
<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/bound-states>
3. Программа quantx численного решения уравнения Шрёдингера:  
<http://sourceforge.net/projects/quantx>  
Описание работы программы quantx дано в пособии:  
Коткин Г.Л., Ткаченко В.А., Ткаченко О.А. Компьютерный практикум по квантовой механике. Новосибирск, НГУ, 1996.

## **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 теории 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. Маятник, состоящий из частицы с массой  $m$ , прикрепленной к концу упругого невесомого стержня с длиной  $l$ , находится в основном состоянии в гравитационном поле. Оценить с помощью соотношения неопределенности неопределенность угла отклонения маятника от вертикали.
2. Доказать, что для потенциала, удовлетворяющего условиям  $U(-x)=U(x)$  и  $U(x) \rightarrow 0$  при  $x \rightarrow \pm \infty$ , выполняется соотношение  $A^*B+AB^* = 0$  между амплитудой прошедшей волны  $B$  и амплитудой отраженной волны  $A$ . Доказать, что для несимметричного потенциала,  $U(-x) \neq U(x)$ , коэффициент прохождения не зависит от направления падающей волны.
3. В узком цилиндре длины  $l$ , закрытом с обоих концов, находятся две частицы с массами  $m_1$  и  $m_2$ . Частицы разделены поршнем массы  $M \gg m_1, m_2$ . Поршень может двигаться без трения. Используя адиабатическое приближение (вспомните аналитическую механику), найти энергию основного и первого возбужденного состояния системы.
4. Найти энергии и ширины квазистационарных состояний частицы массы  $m$  в потенциале  $U(x)=g_1\delta(x-a)+g_2\delta(x+a)$  при условии  $mg_{1,2}a/\hbar^2 \gg 1$ . Найти отношение вероятностей вылететь частице налево и направо.
5. При  $t=0$  состояние линейного осциллятора с частотой  $\omega$  задано волновой функцией  $\psi(x, 0) = A e^{i q x}/(x^2 + a^2)$ . Определить средние значения координаты и импульса при  $t>0$ . Воспользоваться гайзенберговским представлением.
6. Заряженная частица находится в постоянном однородном магнитном поле  $\mathcal{H}$ , направленном по оси  $z$ . Найти коммутационные соотношения для компонент скорости. Показать, что операторы  $x_0=x+v_y/\omega$  и  $y_0=y-v_x/\omega$  коммутируют с гамильтонианом,  $\omega = e\mathcal{H}/(mc)$ . Найти коммутатор  $x_0$  и  $y_0$ .

### Задание №2

1. Частица имеет угловой момент  $L=1$  и проекцию  $m$  на ось  $z$ . Найти вероятности иметь проекции момента  $\pm 1$  и  $0$  на ось  $\vec{\lambda}$ , направленную под углом  $\theta$  к оси  $z$ . Указание: рассмотреть средние значения операторов  $\vec{\lambda}\vec{l}$  и  $(\vec{\lambda}\vec{l})^2$ .
2. Для двух частиц со спином  $1/2$  найти среднее значение оператора  $(s_1\mathbf{a})(s_2\mathbf{b})$  по состоянию  $\chi_{00}$  с полным спином  $S=0$  (здесь  $\mathbf{a}$  и  $\mathbf{b}$  – постоянные векторы).
3. Гамильтониан взаимодействия двух частиц со спином  $1/2$  имеет вид  $H=g\mathbf{S}_1\mathbf{S}_2$ , где  $g$  – константа. В момент времени  $t=0$  первая частица поляризована вдоль оси  $z$ , а вторая – вдоль оси  $x$ . Найти среднее значение спина  $\mathbf{S}_1$  первой частицы в ненулевой момент времени.
4. Волновая функция трехмерного ротатора ( $H=\vec{l}^2/(2I)$ ) в момент времени  $t=0$  равна  $\psi(\theta, \phi, t=0) = A (\sin \theta \cos \phi)^2$ . Найти  $\psi(\theta, \phi, t > 0)$ .
5. Взаимодействие протона и нейтрона, приводящее к образованию дейтона с энергией связи  $2.2$  МэВ, моделируется прямоугольной ямой с шириной  $1.2$  ферми. Определить глубину ямы.
6. Найти распределение плотности электрического заряда относительно центра инерции в атоме, состоящем из частицы  $\pi^+$  с массой  $140$  МэВ/ $c^2$  и частицы  $\mu^-$  с массой  $106$  МэВ/ $c^2$ . Частицы взаимодействуют по закону Кулона,  $U(r)=-e^2/r$ . Атом находится в основном состоянии.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Тьюториал по квантовой теории 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