

**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.



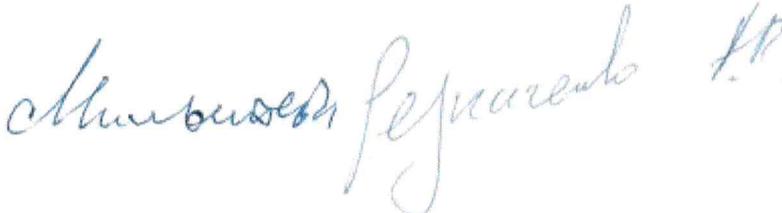
**Рабочая программа дисциплины
ТьюториаЛ ПО КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ 2**

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.
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

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. | 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. | 8 |
| 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. | 8 |
| 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. | 8 |

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Тьюториал по квантовой теории 2»

Направление: **03.03.02 Физика**

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

Программа дисциплины «Тьюториал по квантовой теории 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 теория 2» и предоставляет возможность обучающимся получать дополнительные разъяснения и развить навыки по решению тех же типов задач, которые рассматриваются в рамках курса «Квантовая теория 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 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 2» 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 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 теория 2» и предоставляет возможность обучающимся получать дополнительные разъяснения и приобрести дополнительные навыки по решению тех же типов задач, которые рассматриваются в рамках курса «Квантовая теория 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 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. Релятивистские уравнения. Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака.
2. Теория рассеяния. Борновское приближение.
3. Тождественность частиц. Стационарная теория возмущений.
4. Квазиклассическое приближение. Квантование спектра. Прохождение через барьер. Рассеяние.
5. Приближение Томаса-Ферми. Вариационный метод. Атом гелия.
6. Тонкая структура атомных уровней. Атомы и молекулы. Правила Хунда.
7. Нестационарная теория возмущений.
8. Квантовая теория излучения.
9. Фотоэффект, спонтанное и вынужденное излучение. Правила отбора.

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. Зелевинский В.Г. Квантовая физика: [учебное пособие для студентов физических и физико-технических вузов: в 3т.: пер. с англ.]. — Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2014-2015.
4. Сербо В.Г., Хрипович И.Б. Квантовая механика: учебное пособие. — 2-е изд., испр. — Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2010. — 273 с.: ил.
5. 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. Флюгге З. Задачи по квантовой механике [в 2 томах]. — М.: Мир, 1974.
5. Мессиа А. Квантовая механика, том 1. — Москва: Наука, 1978. — 478 с.: ил.
6. 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>

6.2. Дополнительное информационное обеспечение:

1. Материалы (скан. конспекта практических занятий) по курсу Квантовая теория-2 на сайте <https://et.nsu.ru/>
2. Видеосеминары (Резниченко А.В.) по курсу Квантовая теория-2 (2020 год):

Видеосемinar № 1: <https://youtu.be/6BenxsTtjVc>
 Квазиклассическое и эйконоальное рассеяние. Рассеяние тождественных частиц.

Видеосемinar № 2: <https://youtu.be/jNMniKbJ2Gg>
 Квазиклассическое приближение (продолжение). Вариационный принцип.

Видеосемinar № 3: <https://youtu.be/LTsHVу-DHGY>
 Вариационный метод.

Видеосемinar № 4: <https://youtu.be/MpzKxMnjAEc>
 Модель атома Томаса-Ферми.

Видеосемinar № 5: <https://youtu.be/FXSHXaRCUeg>
 Тонкая структура (часть 1).

Видеосеминар № 6: <https://youtu.be/TMgBBpGNkKY>
Тонкая структура (часть 2).

Видеосеминар № 7: <https://youtu.be/5tWegfuv15g>
Многоэлектронные атомы.

Видеосеминар № 8: <https://youtu.be/1GSbm3X1qaM>
Сверхтонкое расщепление. Изотопический сдвиг.

Видеосеминар № 9: <https://youtu.be/PRmkhry0Gn4>
Эффект Штарка.

Видеосеминар № 10: <https://youtu.be/prunYX5DHwI>
Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана.

Видеосеминар № 11: https://youtu.be/ir_1CIA_6CQ
Нестационарная теория возмущений (часть 1).

Видеосеминар № 12: <https://youtu.be/7kt8EuElZvc>
Нестационарная теория возмущений. Золотое правило Ферми.

Видеосеминар № 13: <https://youtu.be/54YgNfqQ9Z8>
Нестационарная теория возмущений. Квантование электромагнитного поля.

Видеосеминар № 14: <https://youtu.be/nf7TVpnp8JI>
Излучение света. E1 переходы.

Видеосеминар № 15: <https://youtu.be/i9CpkHP-uR0>
Излучение света. E2 и M1 переходы.

Видеосеминар № 16: <https://youtu.be/HmBpLPUG8XE>
Рассеяние света (часть 1).

Видеосеминар № 17: <https://youtu.be/HSWvR8FN5uE>
Рассеяние света (часть 2). Радиационный захват.

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 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.

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. Используя борновское приближение, найти дифференциальное сечение рассеяния релятивистского поляризованного электрона в кулоновском поле и зависимость спина рассеянного электрона от угла рассеяния.

2. Частица находится в осцилляторном потенциале со слабой нелинейностью:

$$H = H_0 + V(x), \quad H_0 = \frac{p^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}, \quad V(x) = \alpha x^3, \quad \alpha \ll m \omega^2 \sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}}.$$

Найти среднее значение координаты $\langle \psi_n | x | \psi_n \rangle$ в зависимости от номера n возбужденного уровня. Здесь $\psi_n = \psi_n^{(0)} + \psi_n^{(1)}$ – волновая функция с учетом первой поправки по возмущению $V(x)$.

3. Используя квазиклассическое приближение, найти число состояний дискретного спектра в потенциале $U(r) = -\alpha/r + \alpha/b$ при $r < b$ и $U(r) = 0$ при $r > b$.

4. Водородоподобный ион, состоящий из ядра с зарядом $-Ze$ и частицы с зарядом e , массой m и нулевым спином, находится в основном состоянии. Ион поместили в постоянное магнитное поле \mathbf{B} , направленное вдоль оси z . Используя теорию возмущений, найти сдвиг энергии, связанный с магнитным полем, при калибровке $A_y = Bx$.

Указание: При суммировании ряда теории возмущений воспользоваться соотношением (которое надо доказать)

$$xp_y = \frac{im}{2\hbar} [H, xy] + \frac{\hbar}{2} l_z,$$

где H – гамильтониан системы при нулевом магнитном поле, l_z – оператор проекции орбитального момента на ось z .

Задание №2

1. Атом состоит из частицы π^+ (пион, спин $s_1=0$) с массой $m_1=140$ МэВ/ c^2 и частицы μ^- (мюон, спин $s_2=1/2$) с массой $m_2=106$ МэВ/ c^2 . Частицы взаимодействуют по закону Кулона, $U(r) = -e^2/r$. Найти магнитный момент атома, если он находится в состоянии $p_{1/2}, p_{3/2}$.

Указание: выразить оператор магнитного момента через оператор полного орбитального момента $\mathbf{L} = \mathbf{l}_1 + \mathbf{l}_2$ и оператор полного спина $\mathbf{S} = \mathbf{s}_2$, и усреднить его по соответствующей волновой функции, используя векторную теорему.

2. Две частицы со спинами $1/2$ и одинаковыми массами $m_{1,2}=m$ взаимодействуют по закону

$$V = g \mathbf{S}_1 \mathbf{S}_2 \delta(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2).$$

Частицы находятся в осцилляторном потенциале $U = m \omega^2 r^2 / 2$. Найти энергию основного и первого возбужденного состояния с учетом первой поправки по константе g ,

$$|g| \ll \hbar \omega \left(\frac{\hbar}{m\omega} \right)^{3/2}.$$

Рассмотреть случаи различимых и тождественных частиц.

3. Система состоит из Z «электронов», взаимодействие между которыми описывается потенциальной энергией

$$U_{ee}(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2) = g / |\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|^s,$$

где $g > 0$ и $s < 2$ – некоторые константы. «Электроны» находятся в поле «ядра», потенциальная энергия притяжения «электрона» к «ядру» равна $V(r) = -Zg/r^s$. Считая, что $Z \gg 1$, вывести в квазиклассическом приближении интегральное уравнение для плотности «электронов» $n(r)$ (аналог дифференциального уравнения Томаса-Ферми). Найти зависимость от Z среднего расстояния, на котором находятся «электроны», и среднего импульса «электронов». Масса «электрона» равна m .

4. Частица с массой m находится в связанном состоянии в потенциале $V(x) = -g\delta(x)$.

а) К системе прикладывают зависящее от времени t возмущение

$$U(x,t) = -Fxe^{-|t|/\tau}.$$

Здесь τ , F , g – некоторые константы. Найти в первом порядке теории возмущений по U вероятность перехода в состояние непрерывного спектра с энергией E .

б) К системе прикладывают периодическое возмущение

$$U(x,t) = -Fxcos(\omega t).$$

Найти в первом порядке теории возмущений по U вероятность в единицу времени перехода в состояние непрерывного спектра.

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