

**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**



**Рабочая программа дисциплины
КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА 2**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения: **Очная**

Семестр	Общий объем	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	Прием заданий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	180	48	48	16	44	18	4			2
Всего 180 часов / 5 зачётных единиц, из них: - контактная работа 118 часов										
Компетенции: ОПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

Аннотация	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	5
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	5
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.	6
4. Структура и содержание дисциплины	7
5. Перечень учебной литературы	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине	10

Аннотация

к рабочей программе дисциплины курса «Квантовая механика 2»

Направление: **03.03.02 Физика**

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

Программа курса «Квантовая механика 2» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню бакалавриата 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 реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой теоретической физики. Дисциплина изучается студентами третьего курса физического факультета.

Целью курса является обучение студентов-физиков основам квантово-механического подхода в решении задач, применяемым в квантовой физике. В курсе излагается материал, знание которого необходимо как для выполнения теоретических работ, так и прикладных вычислений в фундаментальной физике. В процессе освоения дисциплины студенты знакомятся с операторным представлением физических величин, понятием спина, строением атомов, квантовым описанием рассеяния и взаимодействия света с атомами и т.д.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Применяет математический аппарат, теоретические и методологические основы математических дисциплин для решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях. ОПК-1.2. Использует теоретические основы базовых разделов математических и естественнонаучных дисциплин при решении профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.	Знать: основные понятия квантовой механики, свойства коммутирующих операторов, сферические функции, правило сложения моментов, правила отбора. Уметь: делать оценки на основе размерных величин, составлять и разрешать уравнение Шрёдингера для простых квантовых систем, вычислять сечения рассеяния и вероятности излучения в различных процессах. Владеть: математическими приемами при решении уравнения Шрёдингера, операторным формализмом, техникой лестничных операторов.

Курс рассчитан на один семестр (6-й). Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, задачи для самостоятельного решения, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: решение задач из задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **180** академических часов / **5** зачетных единиц.

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

Дисциплина «Квантовая механика 2» представляет собой продолжение начального курса квантовой физики и предназначена для обучения студентов-физиков всех специальностей.

Целью курса является обучение студентов-физиков основам квантово-механического подхода в решении задач, применяемым в квантовой физике. В курсе излагается материал, знание которого необходимо как для выполнения теоретических работ, так и прикладных вычислений в фундаментальной физике. В процессе освоения дисциплины студенты знакомятся с операторным представлением физических величин, понятием спина, строением атомов, квантовым описанием рассеяния и взаимодействия света с атомами и т.д.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Применяет математический аппарат, теоретические и методологические основы математических дисциплин для решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях. ОПК-1.2. Использует теоретические основы базовых разделов математических и естественнонаучных дисциплин при решении профессиональных задач в области физики и смежных с ней областях.	Знать: основные понятия квантовой механики, свойства коммутирующих операторов, сферические функции, правило сложения моментов, правила отбора. Уметь: делать оценки на основе размерных величин, составлять и разрешать уравнение Шрёдингера для простых квантовых систем, вычислять сечения рассеяния и вероятности излучения в различных процессах. Владеть: математическими приемами при решении уравнения Шрёдингера, операторным формализмом, техникой лестничных операторов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Квантовая механика 2» изучается в весеннем семестре студентами третьего курса бакалавриата физического факультета, обучающимися по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является обязательной дисциплиной, реализуемой кафедрой теоретической физики. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, аналитическая механика, а также по математике (линейная алгебра, дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений и др.).

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.

Семестр	Общий объем	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	Прием заданий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	180	48	48	16	44	18	4			2
Всего 180 часов / 5 зачётных единиц, из них: - контактная работа 118 часов										
Компетенции: ОПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: домашние задания, контрольные работы, задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет **180** академических часов / **5** зачетных единиц:

- занятия лекционного типа – 48 часов;
- практические занятия – 48 часов;
- прием заданий – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 44 часа;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультация и экзамен) – 24 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 118 часов.

4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Квантовая механика 2» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 3-м курсе физического факультета НГУ в 6 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачётных единиц, 180 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины, основное содержание лекций	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции (кол-во часов)	Практические занятия (кол-во часов)	Прием заданий				
1	Уравнение Шрёдингера в электромагнитном поле.	1	6	2	2	1	1			
2	Спин. Сложение моментов. Тожественные частицы.	2	12	4	4	1	3			
3	Атом гелия. Модели атомов.	3	8	2	2	1	3			
4	Тонкая, сверхтонкая структура.	4	12	4	4	1	3			
5	Таблица Менделеева.	5	8	2	2	1	3			
6	Атом во внешнем поле.	6	12	4	4	1	3			
7	Нестационарная теория возмущений. Фотозффект.	7	8	2	2	1	3			
8	Трёхмерное рассеяние. Борновское приближение.	8	12	4	4	1	3			
9	Оптическая теорема. Фазовая теория рассеяния.	9	8	2	2	1	3			
10	Рассеяние медленных и быстрых частиц.	10	12	4	4	1	3			
11	Резонансное рассеяние.	11	8	2	2	1	3			
12	Рассеяние частиц со спином.	12	12	4	4	1	3			
13	Квантование электромагнитного поля.	13	8	2	2	1	3			
14	Электродипольное, магнитодипольное и квадрупольное излучение.	14	12	4	4	1	3			
15	Рассеяние света.	15	12	4	4	1	3			
16	Структура молекул.	16	6	2	2	1	1			
17	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18					18		
18	Консультации		4						4	
19	Экзамен		2						2	
	Всего		180	48	48	16	44	18	4	2

Программа и основное содержание лекций (48 часов)

1. Уравнение Шрёдингера в электромагнитном поле. Калибровочная инвариантность. Плотность тока. Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле, уровни Ландау. (2 часа)
2. Спин. Волновые функции частиц спина $1/2$. Матрицы Паули, уравнение Паули в электромагнитном поле. Ток для уравнения Паули. Движение спина $1/2$ в магнитном поле. (4 часа)
3. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана. Общий вид преобразований волновых функций и операторов при поворотах. Правила отбора для тензорных операторов. Векторная модель. (2 часа)
4. Тождественность частиц в квантовой механике. Волновые функции систем тождественных бозонов и фермионов. Принцип Паули. (2 часа)
5. Атом гелия. Вариационный метод. Обменное взаимодействие. (2 часа)
6. Уравнение Хартри-Фока. Приближение Томаса-Ферми. (2 часа)
7. Тонкая структура уровней. Сверхтонкая структура. Изотопический сдвиг. (2 часа)
8. Таблица Менделеева. LS и JJ связь. Правила Хунда. (2 часа)
9. Атом в постоянном внешнем поле. Эффекты Зеемана, Пашена-Бака и Штарка. (2 часа)
10. Нестационарная теория возмущений. Адиабатическое и внезапное возмущения. (2 часа)
11. Периодическое возмущение. Фотоэффект. (2 часа)
12. Трёхмерное рассеяние. Постановка задачи. Борновское приближение. Критерий применимости. Резерфордовское рассеяние. Кристаллический и атомный формфакторы. (4 часа)
13. Оптическая теорема. Фазовая теория рассеяния. Рассеяние медленных частиц. (2 часа)
14. Дифракционное рассеяние. Упругое рассеяние быстрых частиц. (2 часа)
15. Резонансное рассеяние. Формула Брейта-Вигнера. (2 часа)
16. Рассеяние частиц со спином. Спиновая матрица плотности. Рассеяние тождественных частиц. (2 часа)
17. Квантование электромагнитного поля. Лэмб-сдвиг. (4 часа)
18. Электродипольное, магнитодипольное и квадрупольное излучение. Правила отбора. (2 часа)
19. Вынужденное излучение. Двухфотонные процессы. (2 часа)
20. Рассеяние света. Рэлеевское и томсоновское рассеяние. (2 часа)
21. Структура молекул. (2 часа)

Программа практических занятий (48 часов)

1. Уравнение Шрёдингера в электромагнитном поле. (2 часа)
2. Спин. Матрицы Паули, уравнение Паули в электромагнитном поле. Движение спина $1/2$ в магнитном поле. (4 часа)
3. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана. (2 часа)
4. Уравнение Хартри-Фока. Приближение Томаса-Ферми. (2 часа)
5. Тонкая структура уровней. Сверхтонкая структура. Изотопический сдвиг. (4 часа)
6. Таблица Менделеева. LS и JJ связь. Правила Хунда. (2 часа)
7. Атом в постоянном внешнем поле. Эффекты Зеемана, Пашена-Бака и Штарка. (2 часа)
8. Нестационарная теория возмущений. (2 часа)
9. Периодическое возмущение. Фотоэффект. (2 часа)
10. Борновское приближение. Резерфордовское рассеяние. (4 часа)
11. Кристаллический и атомный формфакторы. (2 часа)
12. Фазовая теория рассеяния. Рассеяние медленных частиц. (2 часа)
13. Упругое рассеяние быстрых частиц. (2 часа)
14. Резонансное рассеяние. (2 часа)

15. Рассеяние частиц со спином. Спиновая матрица плотности. (4 часа)
16. Электродипольное, магнитодипольное излучение. (4 часа)
17. Правила отбора. (2 часа)
18. Рассеяние света. Рэлеевское и томсоновское рассеяние. (2 часа)
19. Структура молекул. (2 часа)

Самостоятельная работа студентов (62 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	10
Решение заданий	14
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	20
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

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., Хриплович И.Б. Квантовая механика: учебное пособие. — Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2008. — 273 с.: граф.
6. Гинзбург И.Ф. Основы квантовой механики (нерелятивистская теория). — Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. — 493 с.: ил.
7. Борн М. Атомная физика. — 3-е изд. — М.: Мир, 1970. — 484 с.

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

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 «Квантовая механика 2» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, 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

В течение семестра проводится прием заданий, а в середине семестра контрольная работа по группам. Результаты текущего контроля служат основанием для выставления оценок в ведомость контрольной недели на факультете, а решение, и сдача всех задач из задания является необходимым условием получения положительной оценки на экзамене.

Промежуточная аттестация.

Для контроля усвоения дисциплины учебным планом предусмотрен экзамен в конце семестра. Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

Освоение компетенции оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики сплошных сред в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенции принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда компетенция освоена не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Квантовая механика 2».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ОПК-1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ОПК-1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ОПК-1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

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 $\hat{H} = -gsB$. 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 β 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.

5. Определить квантовые числа основных термов элементов C, 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 C и Ne в основных состояниях?

6. 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)?

7. 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 τ , в которых применима теория возмущений.

8. 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 β -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.

9. 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.

10. 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 $\langle \hat{S} \rangle$ рассеянных нейтронов. *Указание.* Для нахождения амплитуды электромагнитного взаимодействия учесть, что в системе покоя нейтрона возникает магнитное поле от движущегося ядра.

11. Определить мультипольности и оценить вероятности переходов между первым возбужденным и основным состоянием атома водорода с учётом тонкой структуры уровней. Объяснить большую величину времени жизни, $\tau = 1/7\text{с}$, 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?

12. 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?

Примерные вопросы на экзамен

1. Открытие спина электрона. Волновые функции частиц со спином $1/2$, оператор спина, матрицы Паули.

2. Преобразование волновых функций со спином $1/2$ при поворотах. Уравнение Паули, движение спина в магнитном поле.

3. Движение заряженной частицы в постоянном однородном магнитном поле, уровни Ландау.

4. Сложение моментов двух слабо взаимодействующих подсистем — построение волновых функций с определённым полным моментом, коэффициенты Клебша-Гордана.

5. Приложение теории сложения моментов к оценке тонкого расщепления уровней в атоме водорода, обусловленного спин-орбитальным взаимодействием.

6. Правила отбора для скалярных и векторных операторов. Формула для вычисления среднего значения векторного оператора.

7. Тождественность частиц в квантовой механике. Волновые функции систем тождественных бозонов и фермионов. Принцип Паули. Обменное взаимодействие.

8. Атом гелия, спектр, орто- и парагелий. Расчёты энергии связи по теории возмущений и вариационным методом.

9. Многоэлектронные атомы, одноэлектронное приближение. Самосогласованное центрально-симметричное поле, структура гамильтониана атома.

10. Состояния электронов в атоме, атомные термы, случай LS-связи, тонкая структура уровней. Пример атома углерода.

11. Определение квантовых чисел $^{2S+1}L_J$ основного терма, правила Хунда и их физическое обоснование.

12. Периодическая система элементов Менделеева. Модель атома Томаса-Ферми.

13. Магнитный момент атома. Атом в слабом магнитном поле, эффект Зеемана. Парамагнетизм и диамагнетизм.

14. Магнитный момент атома. Атом в сильном магнитном поле, эффект Пашена-Бака, учёт LS-взаимодействия.

15. Влияние конечности массы и размера ядра на электронные уровни энергии атома - изотопический сдвиг.

16. Влияние спина ядра на электронные уровни энергии атома — сверхтонкая структура атомных уровней. Способы определения спина ядра.

17. Нестационарная теория возмущений. Вероятности переходов при адиабатических и внезапных возмущениях.
18. Периодическое возмущение, вероятность перехода в состояния непрерывного спектра, золотое правило Ферми.
19. Квантование электромагнитного поля. Гамильтониан взаимодействия квантового электромагнитного поля с атомом. Спонтанное и вынужденное излучение.
20. Вероятности электрических дипольных и квадрупольных переходов в атомах, правила отбора. Оценки по порядку величины.
21. Вероятности магнитных дипольных переходов в атомах, правила отбора. Оценки по порядку величины.
22. Трёхмерное рассеяние. Постановка задачи, амплитуда и сечение рассеяния. Оптическая теорема.
23. Амплитуда и сечение рассеяния в борновском — приближении, критерии применимости. Резерфордовское рассеяние.
24. Фазовая теория рассеяния. Рассеяние медленных частиц.
25. Резонансное рассеяние частиц на квазидискретном уровне.
26. Дифракционное рассеяние быстрых частиц.
27. Релеевское и томсоновское рассеяние света. Резонансная флуоресценция.
28. Двухатомные молекулы, адиабатическое приближение. Соотношения между электронными, колебательными и вращательными уровнями энергии.

Пример экзаменационного билета

1. Сложение моментов двух слабо взаимодействующих подсистем — построение волновых функций с определённым полным моментом, коэффициенты Клебша-Гордана.
2. Вероятности магнитных дипольных переходов в атомах, правила отбора. Оценки по порядку величины.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Квантовая механика 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