



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/Н.М. Буднев

«02» апреля 2025 г



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.06.01 Квантовая теория излучения

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

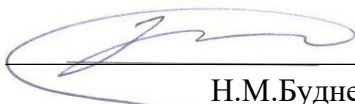
Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика и физика Космоса

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета
Протокол №49 от «26» марта 2025 г.

Председатель


Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №6

От «24» марта 2025 г.

Зав. кафедрой


С.В. Ловцов

Иркутск 2025 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины.....	3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	3
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	4
4.3. Содержание учебного материала.....	5
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	5
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	6
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
4.5. Примерная тематика курсовых работ.....	7
V. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....	7
а) список литературы.....	7
б) периодические издания.....	7
в) список авторских методических разработок.....	7
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	8
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	8
VII. Образовательные технологии:.....	8
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	8
Приложение: фонд оценочных средств	

I. Цели и задачи дисциплины

Целью курса «Квантовая теория излучения» является углубление и развитие представлений о квантовых процессах в атомных и ядерных системах при их взаимодействии с полем излучения; приобретение навыков вычисления атомных спектральных характеристик и релятивистских поправок к ним; вычисления вероятностей переходов в атомах и спектральных функций излучения; использования свойств симметрии возмущений для определения правил отбора; использования квазиклассических методов в квантовых расчетах; введение в релятивистскую теорию квантованных полей.

Данный курс призван решать следующие задачи:

- изучение тонкого и сверхтонкого расщепления уровней энергии в атомах;
- знакомство с нестационарной теорией возмущений;
- формирование умений и навыков самостоятельного вычисления вероятностей процессов испускания и поглощения света;
- изучение процессов рассеяния света атомными системами;
- знакомство с методами описания многоэлектронных систем.

Программа ориентирована на развитие у студентов интереса к самостоятельному изучению фундаментальных основ науки.

II. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательного процесса. При изучении курса «Квантовая теория излучения» используются знания, приобретенные при изучении основных физических и математических курсов, «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика», «Методы математической физики», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Релятивистская квантовая теория».

Данный курс представляет собой теоретическую основу для последующих разделов курса теоретической физики: «Введение в квантовую теорию поля», «Квантовая электродинамика», «Слабые взаимодействия», а также спецкурсов по физике частиц и астрофизике.

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики и астрофизики для освоения профильных физических дисциплин.
Индикаторы компетенции	ИДК _{ПК1.1} Способен проводить анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений, используя специализированные знания в области физики и астрофизики. ИДК _{ПК1.2} Способен проводить анализ новых направлений исследований и опытно-конструкторских разработок в соответствующей области знаний.
Результаты обучения	Знает: основные типы релятивистских поправок к спектру атомов, формулы и правила отбора для вычисления вероятностей переходов электронов в атомах с испусканием или поглощением одного и двух фотонов и фотоэффекта, или рассеяния света на атомах. Умеет: применять эти формулы для вычисления расщеплений уровней, сечений и вероятностей процессов излучения, поглощения и рассеяния различной мультипольности, Владеет: навыками точных и качественных, и квазиклассических вычислений, и оценок основных наблюдаемых характеристик этих процессов.

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 ч., в том числе 81 час контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 50 часов.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся , практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-3	7	108	50	16	50	1	27	Практическое задание; вопросы к экзамену
Итого:			108	50	16	50	1	27	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Тема 1-3	Задание в виде задачи	После пройденных тем	27	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.

4.3. Содержание учебного материала

Общее содержание

Тема 1. Расщепление уровней энергии в атомах

1. Теория возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Теорема Паули.
2. Сдвиги уровней атома за счет релятивистских поправок к кулоновскому потенциалу. Уравнение Паули. Эффекты Зеемана и Пашена–Бака.
3. Понятие о вакуумных флуктуациях. Лэмбовский сдвиг.

Тема 2. Излучение, поглощение и рассеяние света

1. Квантование ЭМ поля. Фотоны. Калибровочная инвариантность.
2. Полуклассическая теория поглощения света.
3. Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода. Сечение поглощения. Плотность состояний.
4. Связь процессов поглощения и вынужденного испускания света. Детальное равновесие.
5. Фотоэффект.
6. Спонтанное излучение. Вероятность перехода. Формула Планка.
7. Дипольное приближение. Расчеты дипольных переходов в атомах. Правила отбора. Силы осцилляторов. Правила сумм ТРК.
8. Магнитно-дипольное и электрическое квадрупольное излучение. Вероятности перехода. Правила отбора.
9. Излучение высших мультиполей. Правила отбора и Теорема Вигнера–Экарта.
10. Поляризация и угловое распределение дифференциальной вероятности излучения и операторы конечных вращений.
11. Дисперсия света. Тензор поляризуемости.
12. Рассеяние света. Тензор рассеяния. Когерентное и некогерентное рассеяние.
13. Двухфотонные переходы.
14. Резонансная флуоресценция.
15. Естественная форма и ширина линии. Различные причины уширения линий

Тема 3. Квазиклассические методы

1. Квазиклассические методы: Спектры и волновые функции связанных и резонансных состояний в квазиклассическом приближении.
2. Квазиклассические матричные элементы операторов.
3. Приближение Томаса–Ферми в многоэлектронных атомах. Дебаевское экранирование.
4. Приближения Хартри и Хартри–Фока. Обменная энергия.
5. Излучение мягких фотонов классическим током. Теорема Киношита–Ли.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№	№ раздела и темы дисциплины	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	<u>Тема 1</u>	Теория возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Теорема Паули. Сдвиги уровней атома за счет релятивистских поправок к кулоновскому потенциалу. Уравнение Паули. Эффекты Зеемана и Пашена–Бака. Понятие о вакуумных флуктуациях. Лэмбовский сдвиг.	20	Домашнее Контрольное задание	ПК-1
2.	<u>Тема 2</u>	Квантование ЭМ поля. Фотоны. Калибровочная инвариантность. Полуклассическая теория поглощения света. Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода. Сечение поглощения. Плотность состояний. Связь	20	Домашнее Контрольное задание ПК-1	ПК-1

		процессов поглощения и вынужденного испускания света. Детальное равновесие. Фотоэффект. Спонтанное излучение. Вероятность перехода. Формула Планка. Дипольное приближение. Расчеты дипольных переходов в атомах. Правила отбора. Силы осцилляторов. Правила сумм ТРК. Магнитно-дипольное и электрическое квадрупольное излучение. Вероятности перехода. Правила отбора. Излучение высших мультиполей. Правила отбора и Теорема Вигнера-Эккарта. Поляризация и угловое распределение дифференциальной вероятности излучения и операторы конечных вращений. Дисперсия света. Тензор поляризуемости. Рассеяние света. Тензор рассеяния. Когерентное и некогерентное рассеяние. Двухфотонные переходы. Резонансная флуоресценция. Естественные форма и ширина линии. Различные причины уширения линий. ОПК-2,3, ПК-1			
3.	Тема 3	Квазиклассические методы: Спектры и волновые функции связанных и резонансных состояний в квазиклассическом приближении. Квазиклассические матричные элементы операторов. Приближение Томаса-Ферми в многоэлектронных атомах. Дебаевское экранирование. Приближения Хартри и Хартри-Фока. Обменная энергия.	10	Домашнее Контрольное задание	ПК-1

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед .	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание: Текущие задачи на семинарах и 15 задач из семестрового задания	Рекомендуемая литература	Количество часов
	Тема 1	Внеаудиторная, решение задач	http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/zadan.pdf	Основная и дополнительная	10
	Тема 2	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	7
	Тема 3	Внеаудиторная, решение задач		Основная и дополнительная	10

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Своевременное решение 15 задач из семестрового задания.

4.5. Примерная тематика курсовых работ

Учебным планом написание курсовых работ не предусмотрено.

V. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.

а) список литературы

Основная литература

1. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика: учеб. пособие : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 4-е изд., испр. - М. : Наука. Физматлит, 2006.
Т.4 : Квантовая электродинамика [Электронный ресурс] / Б. В. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – 2006. - 720 с. : ил. - (Теоретическая физика ; том IV). – Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ.
2. Киселев, В. В. Квантовая механика [Текст] : курс лекций / В. В. Киселев. - М. : Изд-во МЦНМО, 2009. - 560 с. : ил. ; 24 см. - Библиогр.: с. 541-542. - Предм. указ.: с. 543-560. - ISBN 978-5-94057-497-2 (4)

Дополнительная литература

1. Давыдов А.С. Квантовая механика, 3-е изд. СПб-б: БХВ –Петербург, 2011. (1 экз), 2-е изд. 1973 (13)
2. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика: учеб. пособие : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 4-е изд., испр. - М. : Наука. Физматлит, 1980, 2001.
Т.4 : Квантовая электродинамика / Б. В. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – 1980, 2001- 720 с. : ил. - (Теоретическая физика ; том IV). – (35 экз)
3. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика: учеб. пособие для студ. физ. спец. ун-тов: В 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л. П. Питаевского. - 5-е изд., стер. - М.: Физматлит. Т. III : Квантовая механика. Нерелятивистская теория / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 5-е изд., стер. - 1989, 2001, - 808 с. (60 экз)
4. Галицкий А.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Сборник задач по квантовой механике. М: Наука, 1981, 2001. (54 экз)

б) периодические издания

- нет

в) список авторских методических разработок

Основные материалы по курсу доступны на персональной странице

http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/korenb.html
http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/radscet.htm
http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/zadan.pdf
http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/qm_ngu.pdf
http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/alfaro_redje.djvu

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Литература также доступна на <http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

- <https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;
- <http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;
- <http://rucont.ru> - ЭБС «Рукопонт» - межотраслевая научная библиотека.

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория минимум с двумя досками и мел. Доступ к ресурсам ИГУ из сети Интернет. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук.

VII. Образовательные технологии:

Лекция, практические занятия, индивидуальная работа при сдаче семестровых заданий.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Формы текущего контроля: контрольные вопросы на занятиях.

Форма промежуточного контроля – зачет с оценкой. Прием семестрового задания.

Варианты контрольных вопросов:

1. Калибровочная инвариантность и калибровочные преобразования ЭМП.
2. Вычисление квадратов МЭ магнитно-дипольного и квадрупольного переходов.
3. Поляризационная матрица плотности фотона.
4. Правила отбора для векторных операторов.
5. Спин и полный момент фотона.
6. Связь D -функций Вигнера с матричными элементами группы вращений
7. Нерелятивистский предел уравнения Дирака в кулоновском поле
8. Коэффициенты Клебша-Гордана для сложения моментов L и 1.
9. Суперпозиция лоренцевских спектральных линий для амплитуд и вероятностей.

Пример задачи из семестрового задания:

Уровни $2S1/2$ и $2P1/2$ расщеплены лишь за счет лэмбовского сдвига $\Delta E_L \propto mc^2 \alpha^5 \ln(1/\alpha)$.

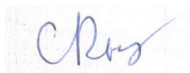
Оценить вероятность однофотонного перехода между ними.

Примерный список вопросов к зачету

1. Теория возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Теорема Паули.
2. Сдвиги уровней атома за счет релятивистских поправок к кулоновскому потенциалу. Уравнение Паули. Эффекты Зеемана и Пашена–Бака.
3. Понятие о вакуумных флуктуациях. Лэмбовский сдвиг.
4. Квантование ЭМ поля. Фотоны. Калибровочная инвариантность.
5. Полуклассическая теория поглощения света.
6. Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода. Сечение поглощения. Плотность состояний.
7. Связь процессов поглощения и вынужденного испускания света. Детальное равновесие.
8. Фотоэффект.
9. Спонтанное излучение. Вероятность перехода. Формула Планка.
10. Дипольное приближение. Расчеты дипольных переходов в атомах. Правила отбора. Силы осцилляторов. Правила сумм ТРК.
11. Магнитно-дипольное и электрическое квадрупольное излучение. Вероятности перехода. Правила отбора.
12. Излучение высших мультиполей. Правила отбора и Теорема Вигнера-Экарта.
13. Поляризация и угловое распределение дифференциальной вероятности излучения и операторы конечных вращений.
14. Дисперсия света. Тензор поляризуемости.
15. Рассеяние света. Тензор рассеяния. Когерентное и некогерентное рассеяние.
16. Двухфотонные переходы.
17. Резонансная флуоресценция.
18. Естественные форма и ширина линии. Различные причины уширения линий

19. Квазиклассические методы: Спектры и волновые функции связанных и резонансных состояний в квазиклассическом приближении.
20. Квазиклассические матричные элементы операторов.
21. Приближение Томаса-Ферми в многоэлектронных атомах. Дебаевское экранирование.
22. Приближения Хартри и Хартри-Фока.

Разработчик:



профессор кафедры теоретической физики

С. Э. Коренбит

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики «24» марта 2025 г.

Протокол №6

Зав. кафедрой



С.В. Ловцов

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.