

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.



_____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и наноструктурами Б1.В.ДВ.4

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Физика атомов и молекул

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Гайнутдинов Р.Х.

Рецензент(ы):

Нефедьев Л.А.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Салахов М. Х.

Протокол заседания кафедры No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Регистрационный No 6152017

Казань
2017

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Гайнутдинов Р.Х.
Кафедра оптики и нанофотоники Отделение физики, Renat.Gainutdinov@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Взаимодействие электромагнитного поля с атомами и наноструктурами" являются: изучение самых современных методов описания взаимодействия атомов и наноструктур с собственным полем излучения и с внешним полем лазерного излучения.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.4 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.02 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1 курсе, 1, 2 семестры.

Дисциплина М2.Р.1 "Взаимодействие электромагнитного поля с атомами и наноструктурами" является базовой частью программы для магистратуры по направлению 510402 "Физика атомов и молекул" (блок М2)

Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке студентов по высшей математике, общей физике (разделы: "Атомная физика", "Квантовая теория"), по курсу М2.Ф.2 "Современные проблемы физики: квантовая физика".

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: Б3.Б.10 "Квантовая теория".

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
ОПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки
ОПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основные методы описания взаимодействия атомов и наноструктур с полем лазерного излучения; современные методы определения квантовоэлектродинамических поправок к энергетическим уровням, связанные с взаимодействием атомных систем с собственным полем излучения; явление резонансной интерференции на атомах и наноструктурах.

2. должен уметь:

определять лэмбовский сдвиг в атомах водорода и мюоном водороде; использовать формализм одетых состояний атомов, управляемых полем лазерного излучения; находить положение и относительные интенсивности компонент спектра резонансной флуоресценции на атомах и наноструктур.

3. должен владеть:

навыками использования базовых теоретических знаний в области атомной физики для решения профессиональных задач.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

решать задачи, связанные со взаимодействием электромагнитного поля с атомами и наноструктурами

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) 216 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует в 1 семестре; экзамен во 2 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Взаимодействие электромагнитного поля с атомами.	1	1	3	0	0	
2.	Тема 2. Квантовая электродинамика и квантовая теория поля.	1	2	3	0	0	
3.	Тема 3. Основные положения канонической квантовой теории поля.	1	3	3	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
4.	Тема 4. Метод функционального интегрирования в квантовой электродинамике.	1	4	3	0	0	
5.	Тема 5. Ультрафиолетовые расходимости в квантовой электродинамике.	1	5	3	0	0	Коллоквиум
6.	Тема 6. Подходы к описанию радиационных поправок к энергетическим уровням атомов.	1	6	3	0	0	
7.	Тема 7. Одноэлектронные ионы.	2	7	5	6	0	
8.	Тема 8. Взаимодействие атомов с внешними электромагнитными полями.	2	8,9	6	6	0	
9.	Тема 9. Взаимодействие атомов в одетых состояниях с собственным полем излучения.	2	10-12	7	6	0	Коллоквиум
	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	Экзамен
	Итого			36	18	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Взаимодействие электромагнитного поля с атомами.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Взаимодействие атомов с собственным полем излучения. Лэмбовский сдвиг. Значение открытия лэмбовского сдвига для современной физики. Новейшие эксперименты по определению лэмбовского сдвига в водороде и мюонном водороде. Расхождения в предсказаниях радиуса протона.

Тема 2. Квантовая электродинамика и квантовая теория поля.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака. Решения уравнения Дирака для свободной частицы. Решения с отрицательной энергией. Физический смысл решений в виде плоских волн и волновых пакетов. Энергетические уровни атома водорода.

Тема 3. Основные положения канонической квантовой теории поля.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Пространство Фока. Операторы рождения и уничтожения. Гамильтониан электромагнитного взаимодействия. S-матрица. Представление Дайсона. T-произведение. Ультрафиолетовые расходимости.

Тема 4. Метод функционального интегрирования в квантовой электродинамике.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Нерелятивистский пропагатор. Функция Грина. Функция распространения в теории позитрона. Диаграммы Фейнмана. Представление Фейнмана-Дайсона.

Тема 5. Ультрафиолетовые расходимости в квантовой электродинамике.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Теория перенормировок. Нелокальное взаимодействие. Обобщенное динамическое уравнение. Формализм обобщенной квантовой динамики. Оператор Грина. T-матрица.

Тема 6. Подходы к описанию радиационных поправок к энергетическим уровням атомов.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Метод адиабатической S-матрицы. Оператор эволюции в картине Фарри. Обобщенное уравнение Дирака с массовым оператором. Подход, основанный на обобщенном динамическом уравнении.

Тема 7. Одноэлектронные ионы.

лекционное занятие (5 часа(ов)):

Одноэлектронные уровни энергии. Радиационные поправки к одноэлектронным уровням энергии. Лэмбовский сдвиг в водородоподобных ионах. Мюонный атом. Потенциал Юлинга. Сдвиг энергетических уровней мюонных атомов.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Одноэлектронные уровни энергии. Радиационные поправки к одноэлектронным уровням энергии. Лэмбовский сдвиг в водородоподобных ионах. Мюонный атом. Потенциал Юлинга. Сдвиг энергетических уровней мюонных атомов.

Тема 8. Взаимодействие атомов с внешними электромагнитными полями.

лекционное занятие (6 часа(ов)):

Взаимодействие атомов с полем лазерного излучения. Дипольное приближение. Приближение вращающейся волны. Модель двухуровневого атома. Состояния, одетые лазерным полем.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Взаимодействие атомов с полем лазерного излучения. Дипольное приближение. Приближение вращающейся волны. Модель двухуровневого атома. Состояния, одетые лазерным полем.

Тема 9. Взаимодействие атомов в одетых состояниях с собственным полем излучения.

лекционное занятие (7 часа(ов)):

Лэмбовский сдвиг энергетических уровней одетых состояний. Резонансная флуоресценция.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Лэмбовский сдвиг энергетических уровней одетых состояний. Резонансная флуоресценция.

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Ультрафиолетовые расходимости в квантовой электродинамике.	1	5	подготовка к коллоквиуму	54	коллоквиум

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
9.	Тема 9. Взаимодействие атомов в одетых состояниях с собственным полем излучения.	2	10-12	подготовка к коллоквиуму	72	коллоквиум
	Итого				126	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции с использованием демонстрации опытов и ярких явлений в физике;
 проведение физического практикума;
 самостоятельная работа студентов;
 консультации.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Взаимодействие электромагнитного поля с атомами.

Тема 2. Квантовая электродинамика и квантовая теория поля.

Тема 3. Основные положения канонической квантовой теории поля.

Тема 4. Метод функционального интегрирования в квантовой электродинамике.

Тема 5. Ультрафиолетовые расходимости в квантовой электродинамике.

коллоквиум , примерные вопросы:

1. Явление квантовой интерференции. 2. Амплитуда вероятности. Принцип суперпозиции амплитуд вероятности. 3. Канонический и фейнмановский подходы к квантовой теории. 4. Основные принципы канонической формулировки квантовой теории. Пространство состояний. 5. Пространства состояний простой частицы и поляризации фотонов. 6. Связь векторов состояний с результатами экспериментов. Проекционный постулат. 7. Наблюдаемые. Операторный формализм. 8. Совместность наблюдаемых. 9. Полная система совместных наблюдаемых. 10. Формализм Дирака. Оснащенное гильбертово пространство состояний. 11. Динамический постулат. Оператор эволюции. Уравнение Шредингера. 12. Свойства непрерывности оператора эволюции. Теорема Стоуна. Возможность выхода за рамки гамильтоновой динамики. 13. Основные принципы фейнмановской формулировки квантовой механики. 14. Интегралы по траекториям. 15. Теория возмущений и S-матрица. 16. Интерпретация членов ряда теории возмущений. Правила Фейнмана.

Тема 6. Подходы к описанию радиационных поправок к энергетическим уровням атомов.

Тема 7. Одноэлектронные ионы.

Тема 8. Взаимодействие атомов с внешними электромагнитными полями.

Тема 9. Взаимодействие атомов в одетых состояниях с собственным полем излучения.

коллоквиум , примерные вопросы:

17. Интегральное уравнение для пропагатора. 18. Доказательство эквивалентности фейнмановской и канонической формулировок квантовой механики. 19. Проблема ультрафиолетовых (УФ) расходимостей в квантовой теории поля. 20. Локальность во времени уравнения Шредингера как причина УФ расходимостей. 21. Нелокальность во времени взаимодействия, генерирующего динамику открытых квантовых систем. 22. Проблемы квантовой механики ядерных явлений. 23. Программа Вайнберга построения теории ядерных сил. 24. Несовместность гамильтоновой динамики с симметриями квантовой хромодинамики. 25. Обобщенная квантовая динамика. 26. Нелокальное во времени взаимодействие и обобщенное динамическое уравнение. 27. Уравнение для T-матрицы. 28. Модель с сепарабельным взаимодействием. 29. Представление Фейнмана-Дайсона. 30. Физика квантовой информации. Кубиты. 31. Перепутывание и квантовая неразличимость. 32. Аргументы Эйнштейна Подольского и Розена. Неравенство Белла.

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

При подготовке к коллоквиумам обучающимся приобретаются следующие обязательные компетенции: ОК-1, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме письменных контрольных заданий и тестов и итоговый контроль в форме экзамена.

Контрольные вопросы:

1. Квантовоэлектродинамические эффекты в спектрах излучения многозарядных ионов.
2. Гамильтониан электромагнитного взаимодействия.
3. Основные методы расчета спектра многозарядных ионов.
4. S-матрица. Представление Дайсона. Ультрафиолетовые расходимости.
5. Метод функционального интегрирования в квантовой электродинамике.
6. Оператор Эволюции в картине Фарри.
7. Общие формулы для уровней энергии многозарядных ионов.
8. Формулировка релятивистской квантовой теории. Уравнение Клейна-Гордона.
9. Уравнение Дирака. Переход к нерелятивистской теории.
10. Одноэлектронные уровни энергии.
11. Решение уравнения Дирака для свободной частицы. Плоские волны и волновые пакеты.
12. Радиационные поправки к одноэлектронным уровням энергии.
13. Атом водорода. Проблема решений с отрицательной энергией.
14. Двухэлектронные ионы. Уровни энергии с учетом релятивистских и корреляционных эффектов.
15. Опыты Лэмба и Резерфорда. Лэмбовский сдвиг.
16. Мюонный атом. Потенциал Юлинга.
17. Лэмбовский сдвиг в водородоподобных ионах.
18. Основные положения канонической квантовой теории поля.
19. Вероятности радиационных переходов в водородоподобных ионах.
20. Пространство Фока. Операторы рождения и уничтожения.
21. Вероятности радиационных переходов в двухэлектронных ионах.
22. Динамика мюонов в поле ядра.
23. Теория перенормировок.
24. Обобщенное динамическое уравнение.
25. Мюонные молекулы и реакции ядерного синтеза в нанокластерах.
26. Локальность теории и ультрафиолетовые расходимости.
27. Функция Грина. Функция распространения в теории позитрона.
28. Адиабатическая S-матрица.

29. Диаграммы Фейнмана.
30. Нелокальные во времени взаимодействия.
31. Значение открытия лэмбовского сдвига для развития физики XX столетия.
32. Оператор Грина. Т-матрица.

7.1. Основная литература:

Кочелаев Б.И. Квантовая теория: конспект лекций / Б. И. Кочелаев; Казан. федер. ун-т, Ин-т физики, Каф теорет. физики. [2-е изд., перераб., доп. и испр.]. - Казань: [Казанский университет], 2013. ?222 с.

Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие для вузов: В 5 томах / Д. В. Сивухин. ? Москва: Физматлит, 2006 .? ; 22 см. Т. 5: Атомная и ядерная физика .? Издание 3-е, стереотипное .? Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006 .? 784 с.: ил.

Фейнман, Р. Дюжина лекций: шесть попроче и шесть посложнее: перевод с английского / Р. Фейнман; Пер. Е. В. Фалёва, В. А. Носенко. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 317 с.: ил. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=50540

7.2. Дополнительная литература:

Паршаков А.Н., Введение в квантовую физику. - М.: "Лань", 2010. - 352 с.; http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=297

Шпольский Э.В., Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. - "Лань", 2010. - 448 с.; http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=443

Давыдов А.С. Квантовая механика: учебное пособие. - СПб: БХВ Петербург, 2011. - 704 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=351130>

7.3. Интернет-ресурсы:

ГАЙНУТДИНОВ Р.Х., МУТЫГУЛЛИНА А.А. - http://old.kpfu.ru/f6/k4/bin_files/mollow%2114.doc

Нобелевская лекция Фейнмана - <http://nobelprize.org/physics/laureates/1965/feynman-lecture.html>

Программа и База данных - <http://spectra.at.tut.by/ru/page4.html>

Сайт, посвященный проблеме измерения радиуса протона - <http://www.mpg.de/~abeyer/hydrogen/index.php>

Статья, посвященная квантовой электродинамике - http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_electrodynamics

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и наноструктурами" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Лекции проводятся в аудитории, оснащенной современным мультимедийным оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Физика атомов и молекул .

Автор(ы):

Гайнутдинов Р.Х. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Нефедьев Л.А. _____

"__" _____ 201__ г.