

Описание курса

1. Название: Физика. Атомная физика
2. Лектор: Александр Чирцов; Ассистенты: Екатерина Ефремова, Леонид Герчиков
3. Краткая аннотация (500-700 символов, на простом и доступном языке):
4. Название программы и семестр: «Прикладная и теоретическая физика», 4 семестр
5. Программа курса:

Предпосылки возникновения квантовой теории

Абсолютно черное тело. Излучение нагретых тел. Спектральные характеристики теплового излучения. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана и Вина. Формула Релея-Джинса. Равновесное излучение. Невозможность термодинамического равновесия между излучением и веществом. Ультрафиолетовая катастрофа.

Гипотеза Планка. Формула Планка. Фотоны. Световое давление. Рассеяние света на атоме Томсона. Модель фотонов. Световое давление в рамках фотонной модели. Эффект Комптона. Эффект Мёсбауэра. Опыт Юнга с точки зрения корпускулярной теории. Трудности фотонной модели. Кантование энергии монохроматического поля в закрытом резонаторе. Интерференция микрочастиц. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Длина волны Де-Бройля. Опыты Резерфорда и формула Резерфорда. Планетарная модель атома водорода. Постулаты Бора. Энергетический спектр атома водорода. Атомная система единиц. Поглощение света, вынужденное и спонтанное излучение. Коэффициенты Эйнштейна и связь между ними как следствие законов излучения черного тела. Инверсия. Лазеры и оптические усилители. Насыщение поглощения. Просветление сред. Инверсия. Нелинейная поляризуемость среды. Самофокусировка и самоканализация. Генерация второй гармоники. Параметрическое преобразование частоты. Параметрические усилители лазерного излучения. РМБ и БРМБ. Комбинационное преобразование частоты. (Классическое рассмотрение и описание в рамках корпускулярного подхода).

Основы нерелятивистской квантовой механики. Одноэлектронные системы. Фотон

Основные эксперименты, свидетельствующие о наличии волновых свойств у микрочастиц. Эмпирические закономерности в атомных спектрах. Формула Бальмера. Постулаты квантовой механики. Математический формализм квантовой механики. Состояния. Амплитуды вероятностей. Операторы. Собственные числа и собственные векторы. Коммутатор двух операторов. Соотношение неопределенности.

Оператор эволюции. Гамильтонова матрица. Изменение амплитуд во времени. Физический смысл диагональных элементов гамильтоновой матрицы. Системы с двумя эквивалентными состояниями: молекула аммиака, молекулярный ион водорода, молекула водорода. Системы с двумя состояниями в общем случае. Аммиачный мазер.

Уравнение Шредингера.

Квантовая частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Одномерный потенциальный порог и барьер. Туннельный эффект. Частица в яме конечной глубины.

Электрон

Сферически-симметричные состояния атома водорода (s-состояния)

Асимптотика волновых функций на больших расстояниях. Квантование энергий. Явный вид волновых функций для s-состояний водородоподобных атомов и ионов.

Спиновые состояния электрона

Опыт Штерна-Герлаха. Спиновые состояния электрона. Преобразования спиновых состояний электрона при поворотах системы координат.

Квантовая теория углового момента

Квантовые состояния частицы со спином $\frac{1}{2}$. Квантовые состояния системы из двух частиц со спином $\frac{1}{2}$.

Правила сложения угловых моментов. Коэффициенты Клебша-Гордона и $3j$ -символы. Оператор момента импульса. Шаровые функции. Спиновые состояния системы из двух частиц со спинами 1 и $\frac{1}{2}$ и со спинами 1 и 1. Вычисление соответствующих коэффициентов К-Г.

Уравнение Шредингера для состояний с ненулевым моментом. Центробежный потенциал. Энергетический спектр атома водорода. Волновые функции атома водорода и ридберговских атомов. Атомный остаток. Одноэлектронные функции многоэлектронных атомов.

Вторичное квантование. Фотоны

Разложение электромагнитного поля на осцилляторы. Операторы рождения и уничтожения. Энергия и импульс электромагнитного поля. О-колебания вакуум Электродинамическая трактовка фотонов. Спин фотона и поляризация. Теория возмущений: первый порядок. Спонтанное излучение. Оператор взаимодействия атома с электромагнитным полем. Вероятности вынужденного и спонтанного излучения. Вероятности переходов в первом порядке теории возмущений. Дипольное излучение. Правила отбора и диаграмма направленности для электрического дипольного излучения

Теория возмущений: второй и высшие порядки. Естественное уширение спектральных линий, многофотонные процессы. Методики учета высших порядков теории возмущений. Квазистационарные состояния. Спонтанный распад населенностей возбужденных уровней. Естественное уширение спектральных линий. Переходы через промежуточные («виртуальные») состояния. Квантовомеханическое описание многофотонных процессов.

Основы релятивистской квантовой механики. Основы квантовой механики сложных систем

Релятивистские обобщения уравнения Шредингера.

Спектр атома водорода. Недостаточность не релятивистской квантовой механики для описания особенностей тонкой структуры спектров атомов. Гиромагнитное отношение для электрона. Уравнение Ферми. Функция Гамильтона для релятивистской частицы во внешнем электромагнитном поле. Уравнение Фока-Клейна-Гордона. Уравнение Дирака. Античастицы.

Релятивистские поправки к энергетическим спектрам атомов

Разложение уравнения Дирака по степеням $1/c$. Релятивистские поправки к уравнению Шредингера для электрона в атоме и их физический смысл. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектральных линий атома водорода.

Оптические спектры многоэлектронных атомов.

Спектры щелочных атомов. Квантовый дефект. Спектры атомов второй группы. Обменное взаимодействие. Интеркомбинационные переходы. Спектры атомов третьей группы. Смещенные термы. Автоионизационные состояния. Радиационные переходы через промежуточные (виртуальные) уровни.

Периодическая система Менделеева и оптические спектры атомов

Типы связей в многоэлектронных атомах (LS и JJ). Спектры атомов IV-VI групп. Спектры галогенов. Спектры инертных газов. Сверхтонкое расщепление спектральных линий. Спин ядра. Сверхтонкое расщепление. СТС основного состояния атома водорода. Лэмбовский сдвиг. Эффекты Штарка и Зеемана. Естественное уширение спектральных линий. Квазистационарные состояния. Спонтанный распад. Атом во внешнем поле Эффект Штарка. Динамический эффект Штарка. Эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака.

Молекулы. Химическая связь. Оптические спектры молекул

Молекулярный ион водорода. Механизм возникновения ковалентной связи. Электронные, колебательные и вращательные энергетические спектры молекул. Оптические спектры молекул.

Основы физики низкотемпературной плазмы.

Электронейтральность плазмы. Радиус Дебая. Ленгмюровские колебания плазмы. Оптические свойства плазмы. Приближение амбиполярной диффузии. Элементарные процессы, а плазме. Уравнения баланса. Модель нелокальной плазмы.

Элементы физики твердого тела.

Электрон в одномерном периодическом потенциале. Функции Блоха. Элементы зонной теории кристаллов. Проводники и диэлектрики. Собственные полупроводники и их использование. Примесные полупроводники. Современная микроэлектроника

Элементы физики ядра

Основные свойства атомных ядер.

Модели атомных ядер. Радиоактивность.

Ядерные реакции. Законы сохранения в ядерных реакциях.

Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.

Тяжелые зараженные и легкие заряженные частицы. Гамма-кванты.

Деление ядер.

7. Рекомендованная литература:

1. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 1. Механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Савельев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 352 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/704> . — Загл. с экрана.
2. Бутиков, Е.И. Физика: Механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2008. — 352 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2128> . — Загл. с экрана.
3. Классическая электродинамика/ Беродов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н: Лань, 2003 <https://e.lanbook.com/reader/book/606/#1>
4. Механика. Основные законы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Иродов, И.Е.: Лань, 2017. — 312 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/94115> . — Загл. с экрана.
5. Физика макросистем. Основные законы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Иродов, И.Е.: Лань, 2015. — 210 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84090> — Загл. с экрана.
6. Карлов Н. В., Кириченко Н. А. Начальные главы квантовой механики. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 360 с — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2193> — Загл. с экрана.
7. Шпольский Э.В. Атомная физика. В 2-х тт. Учебник. 8-е изд. стер.- Том 1 Введение в атомную физику, - СПб.: Издательство «Лань», 2010 — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/442> —Загл. с экрана.
8. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики: Учебное пособие – М.: 2004. 672 с.— Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/619> — Загл. с экрана.
9. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. Пособие для вузов. В 10 т. Т III. Квантовая механика (нерелятивистская теория). – 5-е изд., исп. – М.: Наука. гл. ред. физ.-мат. лит., 2001, 808 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2380> —Загл. с экрана.
10. И.Е. Иродов. Задачи по общей физике: учебное пособие для вузов - 18-е изд., стереот. – М.: Лаборатория знаний, 2021. – 420с. . — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/152437> —Загл. с экрана.

8. Как оценивается успеваемость по курсу:

В течение семестра студенты решают задачи в аудитории во время практических занятий и в качестве домашних заданий. Дважды в семестр проходят письменные контрольные работы, оцениваемые максимально в 15 баллов

В течение семестра каждый студент должен пройти 7 лабораторных работ. Максимальный балл за выполнение - 21

В середине семестра студенты сдают устный коллоквиум стоимостью 10 баллов

По итогам семестра студенты сдают устный экзамен. Максимальный балл - 24