

Атомная физика

Лекция 1

М.Ю. Рябиков

канд. физ.-мат. наук, в.н.с. ИПФ РАН

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ВШОПФ

2025

Введение

Предмет курса атомной физики

- изучение строения вещества и описание различных явлений на микроскопическом уровне

Макро- и микроскопический уровни описания

Микроскопические теории более глубокого уровня

Необходимость квантовых представлений для понимания физики объектов микромира

**Особенности курса атомной физики
и его соотношение с курсом квантовой механики**

Атомно-молекулярные масштабы

Модель атома Бора. Боровские орбиты. Первая боровская орбита

Атомная единица длины: $l_a = 5.29 \times 10^{-9}$ см

$$\text{Радиус 1-й боровской орбиты: } a_B = \frac{\hbar^2}{m_e e^2} = 5.29 \times 10^{-9} \text{ см}$$

Атомная единица времени: $t_a = 2.42 \times 10^{-17}$ с = 24.2 ас; 1 ас = 10^{-18} с

Период движения электрона по 1-й боровской орбите:

$$T_B = 2\pi t_a = 152 \text{ ас} \quad t_a = \frac{\hbar^3}{m_e e^4}$$

Атомная единица энергии: $E_a = 27.2$ эВ

Энергия электрона на 1-й боровской орбите (ридберг): $|E_0| = \frac{1}{2} E_a = \frac{1}{2} \frac{m_e e^4}{\hbar^2} = 13.6$ эВ

Замечания:

- Энергии связи валентного электрона для различных атомов

- Цезий: 3.89 эВ

- Гелий: 24.6 эВ

- Атомные масштабы для атомов в возбужденных (в том числе ридберговских) состояниях

Классическая физическая картина мира и ее противоречивость

Экспериментальная физика к концу 19 в.

Объяснимость основных наблюдений в рамках классической физики

Вещество

Ньютона – объяснение движения механических объектов (как земных, так и небесных).

Лапласов детерминизм. Детерминированная эволюция динамических переменных (в механике – координаты и импульсы частиц).

Кинетическая теория газов (применение классической механики к молекулярным движениям с использованием статистического описания).

Томсон – открытие электрона (1897). Электрон как ньютонова частица.

Классическая физическая картина мира и ее противоречивость

Экспериментальная физика к концу 19 в.

Объяснимость основных наблюдений в рамках классической физики

Свет

Опыты Юнга по дифракции света (1803) → волновая природа света.

Максвелл: теория электромагнитного (ЭМ) поля (1860-1865). ЭМ волны в свободном пространстве, распространяющиеся со скоростью света → ЭМ природа света → связь между оптическими и ЭМ явлениями → упрочнение основ волновой теории света.

Рентген – открытие х-лучей (1895). Лауэ (1912) – дифракция рентгеновских лучей → волновая природа рентгеновских лучей.

Попытки описания физических процессов на микроуровне в рамках классических представлений

Электронная теория Лоренца (конец 19 в.).

Электроны, входящие в состав атомов и совершающие гармонические колебания.

Объяснение многих эффектов, связанных с испусканием и поглощением света атомами; законов распространения света в веществе (дисперсия).

Кинетическая теория газов и твердых тел.

Электронная теория металлов (совместно с Друде).

Объяснение эффекта Зеемана (1896).

Сочетание (в целом успешное) теории с моделью атома Томсона (1903).

Некоторые трудности: описание ферромагнетизма; аномального эффекта Зеемана (число линий может быть не равно 3; величины расщепления могут быть другими, чем при нормальном эффекте); количественное описание спектров различных элементов.

Накопление экспериментальных фактов, не укладывающихся в классические представления, в том числе в теорию Лоренца.

Эксперименты и гипотезы, составившие основу квантовой физики

Неклассичность света

Излучение абсолютно черного тела

Формула Рэлея-Джинса (Рэлей, 1900; Джинс, 1905).
«Ультрафиолетовая катастрофа».

Гипотеза Планка (1900).

Фотоэлектрический эффект

Опыты Столетова (1888-1890) и Ленарда (1900).
Красная граница фотоэффекта.

Гипотеза Эйнштейна (1905).

Эффект Комптона (1923)

Изменение длины волны света, рассеянного на электроне.
Подтверждение фотонной теории.

Эксперименты и гипотезы, составившие основу квантовой физики

Неклассичность частиц вещества

Линейчатые спектры атомов

Бальмер (1885), Лайман (1906), Пащен (1908) и др. – спектральные серии атома водорода.

Комбинационный принцип [Ритц, Ридберг (1908)].

Опыты Резерфорда. Постулаты Бора (1913).

Модель атома Бора- Резерфорда.

Опыт Франка и Гера (1913)

Доказательство существования дискретных энергетических уровней атома.

Эксперименты и гипотезы, составившие основу квантовой физики

Неклассичность частиц вещества

Опыт Штерна и Герлаха (1922)

Доказательство квантования проекции магнитного момента.

Свидетельство наличия у электрона дополнительного момента, отличного от орбитального.

Гипотеза о спине электрона [Гаудсмит, Уленбек (1925)].

Гипотеза де Броиля (1923)

Гипотеза о наличии волновых свойств у материальных частиц.

Опыты Девиссона-Джермера (1927) и Джорджа Томсона (1928)

Открытие дифракции электронов на кристаллах.

Подтверждение гипотезы де Броиля

Открытие позитрона (К. Андерсон) (1932)

Развитие квантовой теории

Матричная механика Гейзенберга (1925).

Волновая механика Шрёдингера (1926).

Статистическая интерпретация волновой функции (Борн, 1926).

Принцип неопределенности (Гейзенберг, 1927).

Уравнение Паули (1927).

Уравнение Дирака (1928).

Создание математически строгого аппарата квантовой механики (фон Нейман, 1932).

Состояния квантовых систем как точки в гильбертовом пространстве.

Соответствие между физическими величинами и линейными самосопряженными операторами в гильбертовом пространстве.

Связь принципа неопределенности с некоммутативностью операторов физических величин.

Формулировки Гейзенберга, Шрёдингера и др. как частные случаи общей формулировки.

Рекомендуемая литература

Атомная физика

Сивухин Д.В. Курс общей физики, т. V, ч. 1, 2. М.: Наука, 1988.

Шпольский Э.В. Атомная физика, в 2х томах. М.: Наука, 1974.

Матвеев А.Н. Атомная физика. М.: Высшая школа, 1989.

Попов А.М., Тихонова О.В. Лекции по атомной физике (3-е изд.)
М.: Физфак МГУ, 2019.

Земцов Ю.К., Бычков К.В. Курс лекций по атомной физике.
М.: МГУ, 2005 (в эл. виде).

Фаддеев М.А., Чупрунов Е.В. Лекции по атомной физике.
М.: Физматлит, 2008.

Bransden B.H., Joachain C.J. Physics of atoms and molecules.
Longman Group Ltd., England, 1983.

Рекомендуемая литература

Квантовая механика

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика в 10 томах.
Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория).
М.: Наука, 1989.

Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мяmlin В.А. Курс теоретической физики.
Том II. Квантовая механика. Квантовая статистика и
физическая кинетика (2-е изд.). М.: Наука, 1971.

Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика.
М.: Наука, 1979.