**План семинарских занятий**

**по атомной физике (Баку, 2024)**

*Семинар 1.*

*Модели атомов Томсона и Резерфорда*

**4.1.** Найти потенциал взаимодействия (потенциальную энергию) точечного заряда с однородно заряженным шаром радиуса *R*.

**4.2.** По Томсону атом водорода представляет собой однородно заряженный шар радиусом *R* ~ 10-8 см с общим зарядом ед. заряда СГСЭ, внутри которого находится один электрон (в центре шара, если атом не возбужден). Найти частоту излучения такого атома.

**4.3.** Влияние классического излучения на траекторию ускоренно движущегося электрона может быть описано действием силы радиационного трения - . Найти закон движения электрона. Оценить время излучения атома в рамках модели Томсона.

**4.10.** В опыте Резерфорда производилось облучение тонкой золотой фольги пучком частиц с энергией МэВ. Экспериментально было установлено, что небольшое число частиц отклоняется на углы . Пользуясь результатом опыта Резерфорда, оцените размер ядра атома.

*Семинар 2.*

*Атом Бора*

**Получить и напомнить формулы для радиусов орбит, скоростей на них и уровней энергии. Посчитать эти величины.**

**5.6.** Считая электрон релятивистским, вычислить (по Бору) его скорости, радиусы орбит и уровни энергии для водородоподобного иона. Массу ядра считать бесконечно большой.

**5.7.** Определить релятивистскую поправку к положению энергетических уровней водородоподобного иона с зарядом ядра . Считать . - постоянная тонкой структуры.

**5.17.** Найти изотопический сдвиг ( в Å ) для α - линий серии Лаймана (*L*α) двух изотопов водорода Н и D.

*Семинар 3-4.*

*Волны де Бройля и соотношения неопределенностей.*

**3.5.** Определить длины волн де Бройля для электронов и протонов с энергией МэВ.

**3.12.** В электронном микроскопе энергия пучка электронов кэВ. Определить его предельно возможную разрешающую способность.

**3.13.** На какую кинетическую энергию должен быть рассчитан ускоритель протонов, чтобы исследовать структуры с пространственным размером фм см.

**3.15.** Используя гипотезу де Бройля, найти фазовую и групповую скорости волнового пакета, характеризующего свободную частицу. Рассмотреть релятивистский и нерелятивистский случаи.

**3.19.** Используя соотношение неопределенности, оцените кинетическую энергию частицы, локализованной в пространственной области размером *L*. Оцените кинетическую энергию электрона, локализованного в области, имеющей размер атома ~ 10-8 см. Оцените также кинетическую энергию **макро**частицы (*m* ~ 1 г), локализованную в области размером *L* ~ 1 см.

**3.22.** Исходя из соотношения неопределенностей Гейзенберга, доказать невозможность существования электрона внутри атомного ядра (размер ядра см).

**3.23.** Используя соотношение неопределенностей, оценить величину минимальной энергии линейного гармонического осциллятора (энергию нулевых колебаний).

**3.26.** Исходя из соотношения неопределенностей, оценить энергию основного состояния атома водорода.

**3.37**. Длительность импульса излучения титан-сапфирового лазера (длина волны излучения нм) составляет с. Оценить степень монохроматичности излучения .

**3.39.** В мезонной теории ядерных сил предполагается, что взаимодействие между нуклонами осуществляется посредством испускания одним из нуклонов и последующим поглощением вторым нуклоном частицы, переносчика взаимодействия, нейтрального или заряженного пиона (). Исходя из соотношения неопределенностей, оцените массу пиона. Радиус действия ядерных сил порядка см.

*Семинар 5.*

*Контрольная работа на модель Бора и волны де Бройля*

*Семинар 6-7*.

*Основы формализма квантовой механики.*

**6.1**. В некоторый момент времени состояние электрона характеризуется волновой функцией

 .

Определить средние значения и дисперсии координаты и импульса электрона.

**6.3**. Волновая функция основного состояния атома водорода имеет вид , *A* - нормировочная константа, – боровский радиус.Определить средние значения потенциальной и кинетической энергии электрона этом состоянии.

**6.9.** Вычислить значения следующих коммутаторов: , .

**6.12.** Может ли так быть, что в одном и том же состоянии импульс и полная энергия имеют точно определенные значения?

**6.16**. Волновая функция состояния некоторой квантовой системы, как функция полярного угла, имеет вид ( - нормировочная константа):

а) ,

б) ,

Какие значения *z-*проекции момента количества движения *L*z могут быть измерены в этом состоянии? Каковы вероятности их измерения и среднее значение *L*z?

**6.20**. При измерении *Lz* в некотором состоянии получили средние значения a) ; б) ; Напишите хотя бы одну волновую функцию, которая описывала бы такое состояние системы.

*Семинар 8-9.*

*Стационарное и нестационарное уравнения Шредингера*

**7.4.** Определить уровни энергии и волновые функции стационарных состояний в одномерной прямоугольной потенциальной яме конечной глубины шириной *a*. Рассмотреть случай .

**7.5.** Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины глубины . Найти энергию основного состояния в случаях а) и б) .

**7.7.** Частица находится в одномерной симметричной потенциальной яме глубиной и шириной . Определить условие возникновения го стационарного состояния в таком потенциале. Нарисовать распределение для этого состояния.

**7.29**. Для одномерного гармонического осциллятора найти среднее значение кинетической и потенциальной энергии в нижнем стационарном состоянии с нечетной волновой функцией.

**11.1**. Частица массы находится в одномерной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме, шириной в основном состоянии. Записать выражение для волновой функции частицы в произвольный момент времени.

**11.10**. В начальный момент времени состояние частицы в одномерном гармоническом потенциале с частотой задается волновой функцией . Здесь и - волновые функции двух нижних стационарных состояний. Определить временные зависимости пространственного распределения плотности вероятности, а также среднего значения координаты и дисперсии координаты частицы.

*Семинар 10.*

*Одномерные задачи квантовой механики. Туннельный эффект.*

**8.1**. Определить плотность потока вероятности для частицы, характеризуемой волновой функцией . В чем физический смысл такой волновой функции?

**8.2**. Определить величину плотности тока вероятности для состояния .

**8.4**. Поток частиц с энергией рассеивается на прямоугольной потенциальной ступеньке Определить вероятности прохождения и отражения при раличных соотношениях и . Нарисовать графики зависимости для случаев «подбарьерного» и «надбарьерного» движения.

**8.18.** Определить зависимость тока холодной эмиссии с поверхности металла от величины электрического поля *E*.

*Семинар 11.*

*Атом водорода. Задача Кеплера*

**9.6**. Определить энергии s-состояний в трехмерной сферически симметричной прямоугольной яме конечной глубины.

**9.7**. Определить условие существования хотя бы одного связанного s – состояния частицы в сферически симметричной прямоугольной потенциальной яме радиусом и глубиной . Полученный результат сравнить с оценкой по соотношению неопределенностей (см. задачу (3.29)).

**9.20.** Какую минимальную энергию может иметь d- электрон в атоме водорода?

**9.22**. Определить среднее и наиболее вероятное удаление электрона от ядра в основном состоянии атома водорода.

**9.28**. Изобразить радиальную часть волновой функции *Rnl(r)* и плотность вероятности найти электрон на заданном удалении от ядра в атоме водорода в состояниях: a) 2*s 2p*…; б) 4*s*…4*f*; в) 3*s*…3*d*.

**9.30**. В сферической системе координат электрон в атоме водорода характеризуется волновой функцией

а) , б) , в) ,

 г) .

Какие и с какой вероятностью значения энергии z - проекции момента количества движения могут быть измерены в этом состоянии?

*Семинар 12.*

*Одноэлектронные атомы. Тонкая структура атома водорода, атомы щелочных металлов*

**Нарисовать диаграммы энергетических уровней атомов водорода и щелочных металлов с учетом тонкой структуры.**

**15.1.** Нарисовать диаграмму энергетических уровней водородоподобного иона Be3+ учетом тонкой структуры.

**15.3.** Вычислить величину тонкого расщепления резонансной линии атома водорода (переход ).

**15.7**. Потенциалы ионизации атомов цезия и натрия соответственно составляют 3.89 и 5.12 эВ. Определить квантовые дефекты основных состояний.

**15.8**. Потенциал ионизации иона Be+ составляет эВ. Определить квантовый дефект основного состояния.

*Семинар 13-14.*

*Атомные оболочки и подоболочки. Правило Маделунга. Сложение моментов. Приближение LS связи. Терм. Правила Хунда. Тонкая и сверхтонкая структура атомных спектров. Правило Ланде. Правило интервалов Ланде.*

*Задачи из сборника задач по атомной физике:*

**13.1.**Найдите значения суммарного орбитального момента в следующих электронных конфигурациях ns n's, sp, sd, np n' p, pd, pf , df.

**13.2.** Найдите значения суммарного орбитального момента в трехэлектронной конфигурации pdf. Сравните различные последовательности сложения pd(L’)f, pf(L’)d, df(L’)p, L’ – квантовое число промежуточного момента, т. е. суммарного орбитального момента первых двух электронов.

**13.3.** Найдите термы двухэлектронной конфигурации pd; укажите четность термов.

**13.5.** Найдите термы двух неэквивалентных p-электронов; укажите четность термов.

**13.6.** Сколько эквивалентных p-электронов, d-электронов и fэлектронов могут находиться в одной оболочке? Каковы главные квантовые числа этих оболочек?

**13.7.** Определите термы заполненной подоболочки и заполненной оболочки.

**13.10.** Найдите термы конфигураций эквивалентных электронов p2 (атомы C, Si, Ge, Sn)

**13.15.** Найдите низший терм электронной конфигурации d3 (атомы ванадия V). (домашнее задание).

**14.4.** Напишите электронные конфигурации и низший терм элементов второго периода периодической системы, укажите четность терма и определите его расщепление – нормальное или обращенное

**Задача:** Найти основной терм, тонкую структуру атома серы, определить основное состояние. Для изотопа серы 35S (спин ядра=3/2) найти число компонент сверхтонкого расщепления.

*Семинар 15-16.*

*Спонтанные и вынужденные переходы в одноэлектроннных и многоэлектронных атомах. Правила отбора в дипольном приближении. Правило Лапорта.*

**Задача:** Найти число компонент тонкой структуры головной линии серии Лаймана (переход n=2 -> n=1), указать все возможные переходы. Найти число компонент тонкой структуры головной линии серии Бальмера (переход n=3 -> n=2), указать все возможные переходы.

**Задача:** Спектральные серии щелочных металлов. Найти число компонент тонкой структуры спектральных серий атома натрия (рассмотреть главную, резкую, диффузную и фундаментальную серии).

**16.26.** Какие переходы возможны при поглощении излучения из основного терма атома углерода? Укажите только конфигурации и термы.

**16.38.** Атом неона находится на терме 3P, принадлежащим электронной конфигурации 2p54s. В какие нижележащие термы каких конфигураций электромагнитные переходы разрешены в дипольном приближении? Сколько компонент имеет тонкая структура каждой из спектральных линий?

**16.24.** Являются ли нижеуказанные переходы разрешенными в электрическом дипольном приближении (указаны конфигурации и термы): s2 1S ↔ sp 1P; pd 1D ↔ sp 1P; np2 3D ↔npn’p 3D; p2 1D ↔ pd 1D; p2 1S ↔ ps 1P?

*Семинар 17.*

*Атом в магнитном поле. Эффекты Зеемана и Пашена – Бака. Опыт Штерна и Герлаха.*

**Задача:** Определить, на сколько компонент расщепится 2p уровень в атоме водорода в сильном магнитном поле.

**Задача:** Определить, на сколько компонент расщепится головная линия серии Лаймана в атоме водорода (переход с n=2 на n=1) в опыте Зеемана в слабом магнитном поле.

**Задача**: Определить, на сколько компонент расщепится головная линия серии Лаймана в атоме водорода (переход с n=2 на n=1) в опыте Пашена-Бака в сильном магнитном поле.

**18.19.** На сколько компонент расщепятся пучки атомов бора, азота и кислорода, находящихся в основном состоянии, в эксперименте Штерна и Герлаха в случае слабого и сильного магнитных полей. В сильном поле LS взаимодействием пренебречь.

*Семинар 18. Разбор задач домашних и контрольных работ. Подведение итогов.*