

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра физики
Ю.В.Тихомиров

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

(содержание тестовых заданий)

Часть 3. Квантовая физика. Атомы. Ядра

МОСКВА - 2011

НАЗВАНИЯ РАЗДЕЛОВ

[РАЗДЕЛ 11. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ](#)

[РАЗДЕЛ 12. ЭЛЕКТРОНЫ В АТОМАХ](#)

[РАЗДЕЛ 13. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ С ЭМИ. ЯДРА](#)

Раздел 11. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Тема 1. Квантовые явления и их описание

- П.1. ФОТОЭФФЕКТ. УРАВНЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНА
- П.2. ЭФФЕКТ КОМПТОНА. КОМПТОНОВСКАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ
- П.3. ДЛИНА ВОЛНЫ ДЕ-БРОЙЛЯ
- П.4. ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ
- П.5. УСЛОВИЕ НОРМИРОВКИ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ
- П.6. ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ

Тема 2. Частица в потенциальной яме

- П.1. ОДНОМЕРНОЕ УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА
- П.2. СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ о ЧАСТИЦЕ в ЯМЕ
- П.3. ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ ЧАСТИЦЫ в ОДНОМЕРНОЙ ЯМЕ
- П.4. УРОВНИ ЭНЕРГИИ ЧАСТИЦЫ в ОДНОМЕРНОЙ ЯМЕ
- П.5. ЧАСТИЦА в ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПОТЕНЦИАЛЬНОМ ЯЩИКЕ
- П.6. КВАНТОВЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР

Тема 3. Частица и потенциальный барьер

- П.1. СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ о ЧАСТИЦЕ и ПОТЕНЦИАЛЬНОМ БАРЬЕРЕ.
- П.2. ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ ЧАСТИЦЫ СЛЕВА, ВНУТРИ и СПРАВА от БАРЬЕРА
- П.3. ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ

Тема 1. Квантовые явления и их описание

ЗАКОН ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ФОТОЭФФЕКТА : $\frac{m_e V^2}{2} = h \nu - A_{\text{вых}}$.

ФОРМУЛА ЭФФЕКТА КОМПТОНА : $\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos\vartheta)$.

СООТНОШЕНИЕ де БРОЙЛЯ ДЛЯ ВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ:
 $\lambda = h / mV$.

ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ:
КВАДРАТ МОДУЛЯ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ ОПРЕДЕЛЯЕТ ПЛОТНОСТЬ
ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ВБЛИЗИ ДАННОЙ ТОЧКИ .

УСЛОВИЕ НОРМИРОВКИ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ: $\int_V |\Psi|^2 dV = 1$.

ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ:
 $\Psi(x,t) = A \exp\{-i (E t - p x) / \hbar\}$.

Тема 2. Частица в потенциальной яме

СТАЦИОНАРНОЕ УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА:

$$\frac{d^2}{dx^2} \Psi(x) + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \Psi(x) = 0 .$$

ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ ЧАСТИЦЫ В ОДНОМЕРНОЙ БЕСКОНЕЧНО ГЛУБОКОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЯМЕ ШИРИНОЙ L:

$$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin (n \pi x / L) .$$

ЭНЕРГИЯ ЧАСТИЦЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ЯМЕ В СОСТОЯНИИ с НОМЕРОМ n , РАВНА $E_n = h^2 n^2 / (8 m L^2)$.

ФОРМУЛА для НИЗШЕГО УРОВНЯ ЭНЕРГИИ КВАНТОВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА: $E_0 = h \nu_0 / 2$.

ФОРМУЛА для УРОВНЯ ЭНЕРГИИ КВАНТОВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА с НОМЕРОМ n :

$$E_n = h \nu_0 (n + 1/2) .$$

ЭЛЕКТРОН, ПРОШЕДШИЙ УСКОРЯЮЩУЮ РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ 144 В, ИМЕЕТ ДЕБРОЙЛЕВСКУЮ ДЛИНУ ВОЛНЫ ____ нм.

СООТНОШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ДЛЯ ПРОЕКЦИИ НА ОСЬ X :

$$(\Delta p)_x \cdot \Delta X \geq \hbar .$$

Тема 3. Частица и потенциальный барьер

ВЕРОЯТНОСТЬ ОБНАРУЖИТЬ ЧАСТИЦУ, НАХОДЯЩУЮСЯ В ТРЕТЬЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ, В СРЕДНЕЙ ТРЕТИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЯМЫ РАВНА ____.

ВИД ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ ЧАСТИЦЫ ВНЕ БАРЬЕРА:

$$\Phi_1(X) = A_1 e^{i\alpha X} + B_1 e^{-i\alpha X} .$$

ВИД ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ ЧАСТИЦЫ ВНУТРИ БАРЬЕРА:

$$\Phi_2(X) = A_2 e^{\beta X} + B_2 e^{-\beta X} .$$

ТУННЕЛЬНЫМ ЭФФЕКТОМ НАЗЫВАЕТСЯ ЯВЛЕНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БАРЬЕР, ВЫСОТА КОТОРОГО БОЛЬШЕ ЭНЕРГИИ ЧАСТИЦЫ.

ФОТОН С ЭНЕРГИЕЙ $E_f = 0.75$ МэВ РАССЕЯЛСЯ НА СВОБОДНОМ ЭЛЕКТРОНЕ (масса покоя 0.51 МэВ). ЭНЕРГИЯ РАССЕЙАННОГО ПОД УГЛОМ 60° ФОТОНА РАВНА ____ МэВ.

ЕСЛИ КРАСНАЯ ГРАНИЦА ФОТОЭФФЕКТА ДЛЯ ВЕЩЕСТВА 0.5 мкм, ТО РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ НЕГО РАВНА ____ эВ.

Раздел 12 . Э Л Е К Т Р О Н Ы в А Т О М А Х

Тема 1.Уравнение Шредингера для атома водорода

- П.1.ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОНА В ПОЛЕ ЯДРА
- П.2.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПЕРАТОРА ФИЗ.ВЕЛИЧИНЫ
- П.3.ОПЕРАТОРЫ КООРДИНАТЫ,ИМПУЛЬСА,ЭНЕРГИИ
- П.4.УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА в ОПЕРАТОРНОМ виде
- П.5.ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ ЭЛЕКТРОНА В ПОЛЕ ЯДРА
- П.6.ВИД УГЛОВОЙ ЧАСТИ ВОЛНОЙ ФУНКЦИИ

Тема 2.Квантовые числа электрона в атоме

- П.1.ГЛАВНОЕ квантовое число (что определяет и чему равно)
- П.2.ОРБИТАЛЬНОЕ квантовое число (что определяет и чему равно)
- П.3.МАГНИТНОЕ квантовое число (что определяет и чему равно)
- П.4.СПИН и СПИНОВОЕ квантовое число
- П.5.МАГНИТНОЕ СПИНОВОЕ квантовое число
- П.6.МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ электрона

Тема 3.Электроны в многоэлектронных атомах

- П.1.Принцип ПАУЛИ (определение)
- П.2.Определение электронных ОБОЛОЧЕК и ПОДОБОЛОЧЕК
- П.3.Запись ЭЛЕКТРОННОЙ КОНФИГУРАЦИИ атома

Тема 1. Уравнение Шредингера для атома водорода

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОНА, НАХОДЯЩЕГОСЯ НА РАССТОЯНИИ r ОТ ЯДРА, ИМЕЮЩЕГО ЗАРЯД Z , РАВНА: $U =$

$$\frac{Z e^4}{4\pi \epsilon_0 r} .$$

ФОРМУЛА, ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ДЕЙСТВИЕ ОПЕРАТОРА \hat{A} (скобки $\langle \dots \rangle$ говорят о среднем):

$$\langle A \rangle = \int_V \Psi^* \hat{A} \Psi dV .$$

ФОРМУЛА ОПЕРАТОРА ПРОЕКЦИИ ИМПУЛЬСА НА X:

$$\hat{P}_x = -i \hbar \frac{d}{dx} .$$

ФОРМУЛА ОПЕРАТОРА ЭНЕРГИИ: $\hat{E} = i \hbar \frac{d}{dt} .$

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ОПЕРАТОРНОЕ УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА:

$$\hat{E} \Psi = \hat{H} \Psi .$$

СТАЦИОНАРНОЕ ОПЕРАТОРНОЕ УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА :

$$\hat{H} \Psi = E \Psi .$$

ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ, ПОДСТАВЛЯЕМОЕ В УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА: $\Psi(r, \vartheta, \varphi) = R(r) \Theta(\vartheta) \Phi(\varphi) .$

ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ УГЛОВОЙ ЧАСТИ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ:

$$\Psi(\varphi) = \exp(i \varphi L_z / \hbar) .$$

Тема 2. Квантовые числа электрона в атоме

ГЛАВНОЕ КВАНТОВОЕ ЧИСЛО
ОПРЕДЕЛЯЕТ ЭНЕРГИЮ ЭЛЕКТРОНА
ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЯ 1,2,3....

ОРБИТАЛЬНОЕ (АЗИМУТАЛЬНОЕ) КВАНТОВОЕ ЧИСЛО
ОПРЕДЕЛЯЕТ ВЕЛИЧИНУ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА
ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЯ 0,1,2,...(n-1) .

МАГНИТНОЕ КВАНТОВОЕ ЧИСЛО
ОПРЕДЕЛЯЕТ ПРОЕКЦИЮ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА
ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЯ 0,±1,±2,...±(l) .

СПИНОВОЕ КВАНТОВОЕ ЧИСЛО ЭЛ-НА ПРИНИМАЕТ ЗНАЧЕНИЕ $\frac{1}{2}$.

МАГНИТНОЕ СПИНОВОЕ КВАНТОВОЕ ЧИСЛО
ОПРЕДЕЛЯЕТ ПРОЕКЦИЮ ВЕКТОРА СПИНА
ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЯ +1/2, -1/2 .

МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ЭЛЕКТРОНА, СВЯЗАННЫЙ С ЕГО ОРБИТАЛЬ-
НЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАВЕН: $\vec{M}_L = - (e / 2m_e) \vec{L}$.

МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ЭЛЕКТРОНА, СВЯЗАННЫЙ С ЕГО СПИНОВЫМ
ДВИЖЕНИЕМ РАВЕН: $\vec{M}_S = - (e / m_e) \vec{S}$.

Тема 3. Электроны в многоэлектронных атомах

ПРИНЦИП ПАУЛИ: В ДАННОЙ КВАНТОВОЙ СИСТЕМЕ В ОДНОМ КВАНТОВОМ СОСТОЯНИИ МОЖЕТ НАХОДИТЬСЯ ТОЛЬКО ОДНА ЧАСТИЦА С ПОЛУЦЕЛЫМ СПИНОМ.

ЭЛЕКТРОННАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ДЛЯ АТОМА С 11 ЭЛЕКТРОНАМИ:

--- - - - - - .

ЭЛЕКТРОННАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ДЛЯ АТОМА С 12 ЭЛ-НАМИ:

--- - - - - - .

ЭЛЕКТРОННАЯ ОБОЛОЧКА АТОМА ЕСТЬ СОВОКУПНОСТЬ ВСЕХ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ, КОТОРЫЕ ИМЕЮТ ОДНО И ТО ЖЕ ГЛАВНОЕ КВАНТОВОЕ ЧИСЛО .

ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДОБОЛОЧКА АТОМА ЕСТЬ СОВОКУПНОСТЬ ВСЕХ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ , У КОТОРЫХ ОДИНАКОВЫЕ ГЛАВНОЕ и ОРБИТАЛЬНОЕ КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА.

КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ И ИХ ЗНАЧЕНИЯ:

ГЛАВНОЕ 1,2,3,...

ОРБИТАЛЬНОЕ 0,1,2,...(n-1)

МАГНИТНОЕ 0,±1,±2,...,±(l)

СПИНОВОЕ 1/2

МАГНИТНОЕ СПИНОВОЕ +1/2, -1/2 .

Раздел 13. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ с ЭМИ. ЯДРА

Тема 1.Излучение и поглощение ЭМВ атомами

- П.1.Процессы в атомах, взаимодействующих с ЭМВ
- П.2.Тормозное рентгеновское излучение
- П.3.Характеристическое рентгеновское излучение
- П.4.Атомарные спектры
- П.5.Спины и магнитные моменты атомов
- П.6.Эффект Зеемана
- П.7.Спектры молекул

Тема 2.Строение ядер атомов. Ядерные реакции

- П.1.Законы сохранения в ядерных реакциях
- П.2.Самопроизвольный распад ядер
- П.3.Закон радиоактивного распада
- П.4.Энергия связи нуклонов в ядре

Тема 1.Излучение и поглощение ЭМВ атомами

ЭНЕРГИЯ ФОТОНА и РЕЗУЛЬТАТ ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ на ВЕЩЕСТВО:

менее 0.1 эВ Рассеяние излучения

0.1 - 1 эВ Возбуждение атомов

1 - 1000 эВ Разрушение атомов (ионизация)

1 - 100 кэВ Рентгеновское излучение

1 - 10 МэВ Возбуждение ядер

более 10 МэВ Разрушение ядер атом .

МИНИМАЛЬНАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ ТОРМОЗНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

$$\lambda_{\min} = h c / e U .$$

МАКСИМАЛЬНАЯ ЧАСТОТА ТОРМОЗНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

$$\omega_{\max} = e U / \hbar .$$

ЗАКОН МОЗЛИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО СПЕКТРА:

$$\omega^2 = \text{const} (z - \delta)^2 .$$

СЕРИЯ БАЛЬМЕРА : $n \Rightarrow m$; $n \Rightarrow m$ и $n \Rightarrow m$.

КВАДРАТ СУММАРНОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА АТОМА :

$$J_{\text{АТ}}^2 = \hbar^2 (j + 1) j .$$

МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ АТОМА : $M_{\text{АТ}} = g M_{\text{В}} [(j + 1)j]^{1/2} .$

СДВИГ ЧАСТОТ ДЛЯ НОРМАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ЗЕЕМАНА : $\Delta\omega = M_{\text{В}} B / \hbar$

ЭНЕРГИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЫ: $E_{\text{к}} = L^2 / 2 I .$

Тема 2.Строение ядер атомов. Ядерные реакции

ЕСЛИ СХЕМА ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР ${}_A X^B \Rightarrow {}_C Y^D + {}_E Z^F$, ТО ЗАКОН СОХРА-
НЕНИЯ НУКЛОНОВ: $A = C + E$.

ЕСЛИ СХЕМА ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР ${}_A X^B \Rightarrow {}_C Y^D + {}_E Z^F$, ТО ЗАКОН СОХРА-
НЕНИЯ ЗАРЯДА: $B = D + F$.

Альфа распад: ${}_Z X^A \Rightarrow {}_{Z-2} Y^{A-4} + {}_2 \text{He}^4$.

Бета-минус распад: ${}_Z X^A \Rightarrow {}_{Z+1} Y^A + {}_{-1} e^0 + \tilde{\nu}$.

Бета-плюс распад: ${}_Z X^A \Rightarrow {}_{Z-1} Y^A + {}_{+1} e^0 + \nu$.

ГАММА РАСПАД: $({}_Z X^A)^* \Rightarrow {}_Z X^A + \text{ФОТОН}$.

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$.

ФОРМУЛА ДЕФЕКТА МАССЫ: $\Delta m = E_{\text{св}} / c^2$.

ЕСЛИ В РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКЕ МИНИМАЛЬНАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ
РАВНА 40.697 пм, ТО НАПРЯЖЕНИЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ТРУБКИ
РАВНО _____ кВ.

ЕСЛИ ДЛИНА ВОЛНЫ К-серии (Ka) ДЛЯ МЕДИ (Z=29) 153.86 пм, ТО ДЛИ-
НА ВОЛНЫ ЭТОЙ ЖЕ СЕРИИ ДЛЯ КАЛЬЦИЯ (Z=20) РАВНА _____ нм.

СХЕМА ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ: ${}_{11} \text{Na}^{23} + p \Rightarrow {}_2 \text{He}^4 + {}_{10} \text{Ne}^{20}$.

ЕСЛИ ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА ПРЕПАРАТА 3 дня, ТО 60% ЯДЕР РАСПА-
ДЕТСЯ ЗА _____ ч. (ответ - 3 значащие цифры).

ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ СВОБОДНЫХ НУКЛОНОВ В ЯДРО ${}^3_1\text{H}$, ИМЕЮЩЕЕ МАССУ 3.01605 а.е.м., ВЫДЕЛИТСЯ ЭНЕРГИЯ $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ МэВ. (масса протона 1.007528 а.е.м., масса нейтрона 1.008732 а.е.м.; 1 а.е.м. = $1.6605 \cdot 10^{-27}$ кг = 931.4 МэВ).

ГЕОЛОГАМИ БЫЛ НАЙДЕН ПЛАСТ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ПОРОДЫ, СОДЕРЖАЩИЙ ИЗОТОП U^{235} (ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА $T=710$ млн.лет), АКТИВНОСТЬ КОТОРОГО СОСТАВЛЯЛА 0.75 ОТ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ. ЕСЛИ СЧИТАТЬ, ЧТО ИЗОТОП U^{235} ПОПАЛ И НАЧАЛ ДЕЛИТЬСЯ В МОМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАСТА, ТО ВОЗРАСТ ПЛАСТА $\underline{\hspace{2cm}}$ 10^8 лет.