

Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova
Agenția Națională pentru Curriculum și Evaluare
OLIMPIADA REPUBLICANĂ LA FIZICĂ, EDIȚIA LVIII

CHIȘINĂU, 29 martie – 1 aprilie 2024

Теоретический тип ORF 2024,

12 класс

Задача 1

(10,0 б.)

1А. Сформулируйте правило квантования атома водорода Бора на языке волн Де Бройля. Вычислите спектр энергий электрона в одномерной квантовой яме с бесконечно высокими стенками. Расстояние между стенками равно l . Оцените силу давления на стенку ямы. - (4,0 б.)

1В. В модели атома Томсона, ядро имеет размер атома. Положительный заряд распределён внутри этого ядра с постоянной плотностью. Точечный электрон совершает колебания внутри ядра. Используя модель Томсона, оцените размеры атома водорода и длину волны испускаемого им света при колебаниях электрона с циклической частотой $\omega = 10^{15} \text{ s}^{-1}$. Энергия ионизации атома водорода равна $13,6 \text{ eV}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Для решения используйте обе величины, заданные в условии задачи. - (6,0 б.)

Задача 2 Теория Бора атома водорода

(10,0 б.)

Опыты Резерфорда привели к планетарной модели атома, которая была использована Нильсом Бором при анализе спектров атома водорода.

2А. Сформулируйте постулаты Бора и правило квантования момента импульса электрона при движении по боровским орбитам. Найдите квантованные значения радиусов орбит и скоростей. Докажите обобщенную формулу Бальмера. - (3,0 б.)

2В. Докажите, что правило квантования Бора можно представить в виде циркуляции импульса по траектории частицы в фазовом пространстве p, q в виде $\oint pdq = 2\pi\hbar, \hbar = h/2\pi$. В качестве обобщенной координаты q электрона выберите радиус орбиты $q = r$. Соответствующий обобщенный импульс $p = mv = m\dot{r}$. Определите интеграл по замкнутому контуру $\oint pdq$ (циркуляцию) для эллиптических орбит и вычислите $\oint pdq$ для S состояний. В общем случае электрон в атоме водорода можно характеризовать двумя координатами r, φ и двумя обобщенными импульсами $p_r = mv = m\dot{r}, p_\varphi = mr^2\dot{\varphi} = L$. Найдите квантованные значения L и E (энергия). Найдите точки поворота при движении электрона по эллиптическим траекториям и определите условие, при котором эллипс переходит в окружность. - (7,0 б.)

Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova
Agenția Națională pentru Curriculum și Evaluare
OLIMPIADA REPUBLICANĂ LA FIZICĂ, EDIȚIA LVIII

CHIȘINĂU, 29 martie – 1 aprilie 2024

Теоретический тур ORF 2024,

12 класс

Задача 3

(10,0 б.)

Черное излучение является тепловым излучением абсолютно черного тела, которое поглощает все падающее на него излучение непрерывного спектра. Черное излучение представляет собой идеальный газ фотонов, обладающий, как волновыми, так и корпускулярными свойствами.

3А. Перечислите эти свойства и приведите физические величины, характеризующие свет, как электромагнитные волны и как поток фотонов. Формула Планка $E_n = \hbar\omega n, n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ввела в физику фотон. Квантовое число n определяет число фотонов. Рассматривая колебания электромагнитного поля, как колебания гармонических осцилляторов, выведите формулу Планка для спектра энергий фотонов. Найдите среднее число фотонов черного излучения \bar{n}_ω с данным значением частоты ω , используя

распределение Больцмана $P_n = e^{-nx} / \sum_{n=0}^{\infty} e^{-nx}, x = \frac{\hbar\omega}{k_0 T}$. Рассмотрите предельные случаи низких и высоких температур. - (4,0 б.)

3В. Согласно правилу квантования Бора-Зоммерфельда интеграл $\oint p dq$ определяет площадь фазового пространства, которую охватывает замкнутая фазовая траектория частицы. Если эту площадь разделить на клетки площадью $\Delta p \Delta q = 2\pi\hbar$, то мы получим число состояний, так как интеграл $\oint p dq / 2\pi\hbar = n$.

Таким образом на одно состояние приходится клетка $\Delta p \Delta q = 2\pi\hbar$ в фазовом пространстве. Величина $d p d q / 2\pi\hbar$ определяет число состояний в элементе фазового пространства $d p d q$. Интегрируя по координатам, получим V - объем полости с черным излучением. Вычислите число состояний фотонов черного излучения в элементе объема фазового пространства $2V dp_x dp_y dp_z$. Здесь множитель 2 учитывает две независимые поляризации поперечных электромагнитных волн. Найдите число фотонов в интервале частот ω и $\omega + d\omega$. Используя полученные результаты, найдите среднюю энергию черного излучения dE_ω в интервале частот ω и $\omega + d\omega$ (Формула Планка). Рассмотрите случаи низких и высоких температур. С помощью формулы Планка, найдите среднюю плотность энергии черного излучения. Согласно формуле Планка распределение энергии черного излучения имеет максимум. Найдите уравнение для положения этого максимума в шкале частот и решите его приближенно. (6,0 б.)