

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 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  $r, \varphi$  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  $\bar{n}_\omega$  с данным значением частоты  $\omega$ , 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  $\omega$  и  $\omega + d\omega$ . Используя полученные результаты, найдите среднюю энергию черного излучения  $dE_\omega$  в интервале частот  $\omega$  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.)