Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Факультет электроники и вычислительной техники
Кафедра физики

Семестровая работа по дисциплине «Физика атомов»

Вариант №17

Выполнила
студентка группы Ф-369
Слоква В. И.

Проверил
доцент Еремин А. В.

Волгоград, 2014

ИОФ 6.230. Имеется два абсолютно черных источника теплового излучения. Температура одного из них $T_1 = 2500$ К. Найти температуру другого источника, если длина волны, отвечающая максимуму его испускательной способности, на $\Delta\lambda = 0,50$ мкм больше длины волны, соответствующей максимуму испускательной способности первого источника.

Решение:

По закону смещения Вина, длина волны, соответствующая максимуму испускательной способности абсолютно черного тела, равна:

$$\lambda = \frac{b}{T},$$

где $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К – постоянная Вина, T – абсолютная температура тела.

Тогда:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{b}{T_2} - \frac{b}{T_1}.$$

Откуда получим

$$T_2 = \frac{bT_1}{\Delta\lambda T_1 + b} \approx 1750 \text{ К}.$$

Ответ: $T_2 \approx 1750$ К.

ИАЯФ 1.63. При столкновении с релятивистским электроном фотон рассеялся на угол $\vartheta = 60^\circ$, а электрон остановился. Найти:

а) комптоновское смещение длины волны рассеяного фотона;

б) кинетическую энергию электрона до столкновения, если энергия налетающего фотона составляет $\eta = 1{,}0$ энергии покоя электрона.

Решение:

а) Рассеяние фотона с длиной волны λ на движущемся электроне можно рассматривать как рассеяние фотона с длиной волны λ' на покоящемся электроне. Тогда комптоновское смещение:

$$\lambda - \lambda' = \Lambda(1 - \cos^2\vartheta) = 2\Lambda \sin^2\frac{\vartheta}{2} = 1,2 \text{ пм}.$$

б) Закон сохранения энергии:

$$\hbar\omega' = T + \hbar\omega.$$

Комптоновское смещение длины волны:

$$\lambda - \lambda' = \frac{2\pi c}{\omega} - \frac{2\pi c}{\omega'} = 2\pi c\left(\frac{1}{\omega} - \frac{1}{\omega'}\right) = 2\Lambda\sin^2\frac{\vartheta}{2};$$

откуда, учитывая что $\hbar\omega = \eta mc^2$ по условию, $\Lambda = 2\pi\hbar/mc$ – комптоновская длина волны:

$$\hbar\omega' = \frac{\eta mc^2}{1 - 2\eta\sin^2\frac{\vartheta}{2}}.$$

Подставляя в закон сохранения энергии, получим:

$$T = \eta mc^2\left(\frac{1}{1 - 2\eta\sin^2\frac{\vartheta}{2}} - 1\right) = mc^2\frac{2\eta^2\sin^2\frac{\vartheta}{2}}{1 - 2\eta\sin^2\frac{\vartheta}{2}} = mc^2.$$

Ответ: а) $\lambda - \lambda' = 2\Lambda(1 - \cos\vartheta) = 1{,}2$ пм; б) $T = mc^2 = 8{,}19$ Дж.

ИОФ 5.45. Узкий пучок альфа-частиц с кинетической энергией $T = 1{,}0$ МэВ падает нормально на платиновую фольгу толщины $h = 1{,}0$ мкм. Наблюдение рассеянных частиц ведется под углом $\vartheta = 60^\circ$ к направлению падающего пучка при помощи счетчика с круглым отверстием площади $s = 1{,}0$ см^2, которое расположено на расстоянии $l = 10$ см от рассеивающего участка фольги. Какая доля η рассеянных альфа-частиц падает на отверстие счетчика?

Решение:

Телесный угол, под которым видно отверстие счетчика из точки рассеяния

$$\Delta\Omega = \frac{s}{l^2}.$$

Воспользуемся формулой Резерфорда. Число частиц, рассеянных в элементарном телесном угле

$$\delta N = N \cdot n \left(\frac{k\, q_\alpha\, q_{\textit{ядра}}}{4T} \right)^2 \cdot \frac{\delta\Omega}{\sin^4\left(\frac{\vartheta}{2}\right)};$$

$$\delta N = N \cdot n \left(\frac{kZe^2}{2T} \right)^2 \cdot \frac{\delta\Omega}{\sin^4\left(\frac{\vartheta}{2}\right)}.$$

Число n – количество ядер фольги на единицу поверхности:

$$n = \frac{\rho \cdot h}{M} = \frac{21,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \times 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{195,05 \text{ а.е.м.}} = 6,638 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-2}.$$

Полагая, что отверстие приемника мало, то в пределах телесного угла угол ϑ не меняется и

$$\frac{\Delta N}{N} = n \cdot \left(\frac{kZe^2}{2T} \right)^2 \cdot \frac{\Delta\Omega}{\sin^4\left(\frac{\vartheta}{2}\right)};$$

$$\eta = n \cdot \left(\frac{kZe^2}{2T} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\vartheta}{2}\right)} \cdot \frac{s}{l^2} = 3,35 \cdot 10^{-5}.$$

Ответ: $\eta = 3{,}35 \cdot 10^{-5}$.

ИАЯФ 2.46. Найти для легкого и тяжелого водорода разность:
а) энергий связи электронов в основных состояниях;
б) первых потенциалов возбуждения;
в) длин волн резонансных линий.

Решение:

а) Энергия связи в основном состоянии:

$$\hbar\omega_\infty = \hbar R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right) = \hbar R.$$

Отношение постоянных Ридберга тяжелого и легкого водорода: $\eta = 1{,}000272$. Тогда разница энергий связи:

$$E_D - E_H = \hbar(R_D - R_H) = \hbar R_H(\eta - 1) = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}.$$

б) Первый потенциал возбуждения:

$$V_1 = E_2 - E_1 = \hbar R\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{4}\right) = \frac{3}{4}\hbar R.$$

Для тяжелого и легкого водорода их разница:

$$V_D - V_H = \frac{3}{4}\hbar(R_D - R_H) = \frac{3}{4}\hbar R_H(\eta - 1) \approx 2,78 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 2,8 \text{ мВ}.$$

в) Длина волны резонансной линии:

$$\frac{2\pi c}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \frac{3R}{4};$$
$$\lambda = \frac{8\pi c}{3R}.$$

Разница между длинами волн резонансных линий:

$$\lambda_H - \lambda_D = \frac{8\pi c}{3}\left(\frac{1}{R_H} - \frac{1}{R_D}\right) = \frac{8\pi c}{3} \cdot \frac{\eta - 1}{\eta R_H} = 33 \text{ пм}.$$

Ответ: а) $E_D - E_H = 3{,}7$ мэВ; б) $V_D - V_H = 2{,}8$ мВ; в) $\lambda_H - \lambda_D = 33$ пм.

ИАЯФ 3.29. Частица находится в одномерном потенциальном ящике размером l с бесконечно высокими стенками. Оценить силу давления частицы на стенки ящика при минимально возможном значении ее энергии E_m.

Решение:

При сжатии ящика необходимо совершить работу $\delta A = -\delta E = F\delta l$, откуда сила давления:

$$F = -\frac{dE}{dl}.$$

Из соотношения неопределенностей Гейзенберга, полагая $\Delta p \sim p = \sqrt{2mE}$, $\Delta x \sim l/2$, получим:

$$E_m = \frac{2\hbar^2}{ml^2}.$$

Дифференцируя по l, получим силу давления:

$$F = \frac{4\hbar^2}{ml^3} = \frac{2}{l}E_m.$$

Ответ: $F = 2E_m/l$.

ИАЯФ 5.32. Найти кратность вырождения основного состояния атома, электронная конфигурация незаполненной подоболочки которого nd^6.

Решение:

Пользуясь правилами Хунда и принципом Паули, получим $S = 2$, $L = 2$. Так как подоболочка заполнена более, чем наполовину, то $J = L + S = 4$.

Кратность вырождения:

$$g = 2J + 1 = 9.$$

Ответ: $g = 9$.

ИОФ 5.194. Вычислить энергию связи K-электрона ванадия, для которого длина волны L-края поглощения $\lambda_L = 2{,}4$ нм.

Решение:
Энергия связи K-электрона:

$$E = \hbar\omega_K + \hbar\omega_L = \hbar R(Z-1)^2\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) + \hbar\omega_L = \frac{3\hbar R}{4}(Z-1)^2 + \hbar\omega_L.$$

Частота L-края поглощения:

$$\omega_L = \frac{2\pi c}{\lambda_L}.$$

Тогда энергия связи:

$$E = \frac{3\hbar R}{4}(Z-1)^2 + \frac{2\pi c\hbar}{\lambda_L} = 5,5\ \text{КэВ}.$$

Ответ: $E = 5{,}5$ КэВ.