

# Атомная физика

## Индивидуальное задание №3

### Вариант № 1

1. Максимальная длина волны спектральной водородной линии серии Лаймана равна 0,12 мкм. Предполагая, что постоянная Ридберга неизвестна, определите максимальную длину волны серии Бальмера. [0,648 мкм]
2. Покоящийся ион  $\text{He}^+$  испустил фотон, соответствующий головной серии Лаймана. Этот фотон вырвал фотоэлектрон из покоящегося атома водорода, который находился в основном состоянии. Найдите скорость фотоэлектрона. [3,1 Мм/с]
3. Квант света, возникающий при резонансном переходе в однократно ионизированном атоме гелия, вырывает фотоэлектрон из атома водорода, который находится в основном состоянии. Найдите скорость этого электрона вдали от ядра атома. [ $v = 2\sqrt{\hbar R/m_e} = 3,1 \text{ Мм/с}$ ]
4. Определите (в длинах волн) спектральные диапазоны, соответствующие серии Лаймана. [ $9,1 \cdot 10^{-8} \dots 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ]

## Вариант № 2

1. Возбужденный атом водорода при переходе в основное состояние испустил последовательно два кванта с длиной волны  $40510 \text{ \AA}$  и  $972,5 \text{ \AA}$ . Определите энергию первоначального состояния данного атома и соответствующее ему квантовое число. [ $-0,545 \text{ эВ}$ ; 5]
2. Квант света с энергией  $\varepsilon = 15 \text{ эВ}$  выбивает электрон из атома водорода, находящегося в нормальном состоянии. С какой скоростью будет двигаться электрон вдали от ядра? [ $v = \sqrt{2(\varepsilon - \hbar R)/m} = 7 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ ]
3. Однократно ионизированный атом гелия находится в основном состоянии. Определите, сможет ли квант света, соответствующий резонансному переходу в двукратно ионизированном атоме лития, вырвать электрон из данного иона гелия. [Сможет]
4. В инфракрасной области излучения водорода обнаружено четыре серии – Пашена, Брэкета, Пфунда и Хэмфри. Запишите сериальные формулы для них и определите самую длинноволновую линию: 1) в серии Пашена; 2) в серии Хэмфри. [1)  $1,87 \text{ мкм}$ ; 2)  $12,3 \text{ мкм}$ ]

### Вариант № 3

1. Определите максимальную и минимальную энергию фотона в серии Пашена спектра излучения водорода. [10,2 эВ; 13,6 эВ]
2. Определите частоту  $\nu$  света, излучаемого водородоподобным ионом при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом  $n$ , если радиус орбиты изменился в  $k$  раз. [ $\nu = (1-k)RcZ^2/n^2$ ]
3. Вычислите постоянную Ридберга  $R$ , если известно, что для ионов  $\text{He}^+$  разность длин волн  $\Delta\lambda$  между головными линиями серий Бальмера и Лаймана равна 133,4 нм? [ $R = 176\pi c/(15Z^2\Delta\lambda) = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$ ]
4. С какой минимальной кинетической энергией должен двигаться атом водорода, чтобы при неупругом соударении с другим, покоящимся атомом водорода один из них оказался способным испустить фотон? Предполагается, что до соударения оба атома находятся в основном состоянии. [ $T_{\min} = (3/2)\hbar R = 20,5 \text{ эВ}$ ]

### Вариант № 4

1. На атом водорода падает фотон и выбивает из атома электрон с кинетической энергией 4 эВ. Вычислите энергию падающего фотона, если атом находился в возбужденном состоянии с квантовым числом  $n = 2$ . [7,39 эВ]
2. Длина волны головной линии серии Лаймана атома водорода равна 0,122 мкм. Найдите длину волны той же линии для иона  $\text{He}^+$ . [0,0135 мкм]
3. Определите длины волн, соответствующие: 1) границе серии Лаймана; 2) границе серии Бальмера; 3) границе серии Пашена. Проанализируйте результаты. [91 нм (УФ); 364 нм (вблизи УФ); 820 нм (ИК)]
4. Электрон в атоме водорода может находиться на круговых орбитах радиусом  $0,5 \cdot 10^{-8}$  м и  $4,5 \cdot 10^{-8}$  м. Во сколько раз различаются угловые скорости электрона на этих орбитах? [9,54]

### Вариант № 5

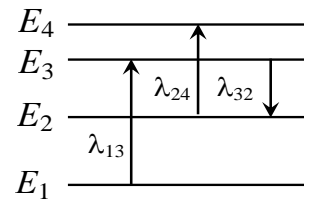
1. Какой длины волны спектральные линии появятся при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией 12,5 эВ? [ $1,214 \cdot 10^{-7}$  м;  $1,024 \cdot 10^{-7}$  м;  $6,556 \cdot 10^{-7}$  м]
2. Энергия связи электрона  $E_0$  в атоме He ( $Z = 2$ ) равна 24,6 эВ. Найдите энергию, необходимую для удаления обоих электронов из этого атома.  
 $[E = E_0 + \hbar R Z^2 = 79 \text{ эВ}]$
3. Какие спектральные линии появятся в видимой области спектра при возбуждении атомов водорода электронами с энергией 12,8 эВ?  
 $[656,3 \text{ нм}; 486,1 \text{ нм}]$
4. Определите (в длинах волн) спектральные диапазоны, соответствующие серии Бальмера. [ $3,67 \cdot 10^{-8} \dots 6,56 \cdot 10^{-7}$  м]

### Вариант № 6

1. Определите (в длинах волн) спектральные диапазоны, соответствующие границам серии Пашена. [ $8,2 \cdot 10^{-8} \dots 1,87 \cdot 10^{-6}$  м]
2. Атом мюония состоит из неподвижного протона и отрицательно заряженного мюона, масса которого в 206 раз больше массы электрона, и зарядом, равным заряду электрона. Для ближайшей к протону орбиты мюона выполняется условие квантования  $\pi r p = h/2$ , где  $r$  – радиус орбиты,  $p$  – импульс мюона. Определите кинетическую энергию  $T$  мюона на этой орбите.

$$[T = \frac{me^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} = 2,79 \text{ кэВ}]$$

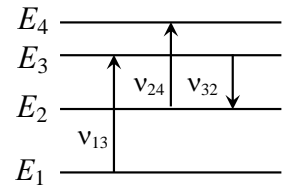
3. На рис. изображены несколько энергетических уровней атома и указаны длины волн для фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Минимальная длина световой волны для фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями, равна 200 нм. Какова величина  $\lambda_{23}$ , если  $\lambda_{13} = 250$  нм,  $\lambda_{24} = 400$  нм? [667 нм]



4. Сколько спектральных линий  $N$  будет испускать атомарный водород, который возбуждают на  $n$ -й энергетический уровень? [ $N = n(n - 1)/2$ ]

### Вариант № 7

1. На рис. изображены несколько энергетических уровней атома. Максимальная длина световой волны, испускаемой или поглощаемой атомом при всех возможных переходах между этими уровнями, равна 800 нм. Известно, что частоты переходов относятся друг к другу как  $\nu_{13} : \nu_{24} : \nu_{32} = 9 : 7 : 4$ . Какова длина волны фотона с частотой  $\nu_{13}$ ? [267 нм]



2. Вычислите постоянную Ридберга  $R$ , если известно, что для ионов  $\text{He}^+$  ( $Z = 2$ ) разность длин волн между головными линиями серий Бальмера и Лаймана  $\Delta\lambda = 133,7$  нм. [ $R = 176\pi c / (15Z^2\Delta\lambda) = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ c}^{-1}$ ]
3. Определите (в длинах волн) спектральные диапазоны, соответствующие серии Пфунда. [ $2,27 \cdot 10^{-6} \dots 7,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ]
4. Определите скорость, которую приобрел покоившийся атом водорода в результате излучения фотона при переходе из первого возбужденного состояния в основное. На сколько процентов отличается энергия испущенного фотона от энергии данного перехода? [ $v \approx 3\hbar R / (4Mc) = 3,25 \text{ м/с}$ ;  $\Delta\varepsilon/\varepsilon \approx 3\hbar R / (8Mc^2) = 5,5 \cdot 10^{-7} \%$ , где  $M$  – масса атома]

### Вариант № 8

1. Определите потенциальную  $U$ , кинетическую  $T$  и полную  $E$  энергию электрона, находящегося на первой орбите атома водорода.

$$[U = -2R\hbar = -27,2 \text{ эВ}; T = R\hbar = 13,6 \text{ эВ}; E = -R\hbar = -13,6 \text{ эВ}]$$

2. Определите (в длинах волн) спектральные диапазоны, соответствующие серии Брэкета.  $[1,46 \cdot 10^{-6} \dots 4,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}]$

3. Определите плотность тока, соответствующего движению электрона по  $n$ -й орбите атома водорода. Радиус орбиты  $r$ .  $[j = en\hbar/(mr)]$

4. Частица массой  $m$  движется по круговой орбите в центрально-симметричном поле, где ее потенциальная энергия зависит от расстояния  $r$  от центра поля как  $U = kr^2/2$ , где  $k$  – постоянная. Найдите с помощью боровского условия квантования возможные радиусы орбит и значения полной энергии частицы в этом поле.

$$[r_n = \sqrt{n\hbar/(m\omega)}; E_n = n\hbar\omega, \text{ где } n = 1, 2, \dots, \omega = \sqrt{k/m}]$$



### Вариант № 9

1. Определите энергию фотона, соответствующего второй спектральной линии в первой инфракрасной серии (серии Пашена) атома водорода. [0,97 эВ]
2. Атом позитрония образован электроном и позитроном ( $e^-/e^+$ ), которые вращаются относительно общего центра масс. Найдите: а) расстояние  $r$  между частицами в основном состоянии; б) постоянную Ридберга  $R$  и длину волны  $\lambda$  резонансной линии (обусловлена переходом из первого возбужденного состояния в основное).

$$[\text{а)} \quad r = \frac{8\pi\epsilon_0\hbar^2}{me^2} = 1,06 \cdot 10^{-10} \text{ м}; \quad \text{б)} \quad R = \frac{me^4}{64\pi^2\epsilon_0^2\hbar^3} = 1,03 \cdot 10^{16} \text{ рад/с};$$

$$[\lambda = \frac{312\pi^3\epsilon_0^2\hbar^3c}{3me^4} = 0,243 \text{ мкм}]$$

3. У какого водородоподобного иона разность длин волн между головными линиями серий Бальмера и Лаймана  $\Delta\lambda = 59,3 \text{ нм}$ ? [ $\text{Li}^{2+}$ ]
4. Будет ли атом водорода поглощать излучение с волновым числом  $1/\lambda = 3R$ ? [Такое поглощение происходит]

### Вариант № 10

1. Определите первый потенциал возбуждения атома водорода. [10,2 В]
2. Найдите длину волны головной линии той спектральной серии ионов  $\text{He}^+$ , у которой интервал частот между крайними линиями  $\Delta\omega = 5,18 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ .

$$[\lambda = (2\pi c / \Delta\omega) (Z\sqrt{R\Delta\omega} - 1) / (2Z(\sqrt{R\Delta\omega} - 1))] = 0,47 \text{ мкм}]$$

3. Определите длину волны спектральной линии, соответствующей переходу электрона в атоме водорода с шестой боровской орбиты на вторую. К какой серии относится эта линия?

[0,41 мкм; 4-я линия в серии Бальмера]

4. Покоившийся атом водорода испустил фотон, соответствующий головной линии серии Лаймана. Найдите: а) скорость отдачи, которую получил атом массой  $m_0$ ; б) отношение кинетической энергии  $T$  атома отдачи к энергии испущенного фотона  $\hbar\omega$ . [ $v \approx 3\hbar R / (4m_0c) = 3,27 \text{ м/с}$ ;  $T/\hbar\omega = v/(2c) = 5,5 \cdot 10^{-9}$ ]