

## **Часть 1. Качественные задачи.**

- 1.1. Чем обусловлена способность теплового излучения находится в равновесии с излучающими телами?
- 1.2. Объясните появление резкой границы излучения в области малых длин волн в спектре тормозного рентгеновского излучения.
- 1.3. Чем обусловлено появление одновременно смещённой и несмещённой компонент в спектре рассеяния рентгеновского излучения веществом (эффект Комптона)?
- 1.4. Как зависит интенсивность смещённой и несмещённой компонент в спектре рассеяния рентгеновского излучения веществом (эффект Комптона) от атомного номера рассеивающего вещества?
- 1.5. Почему спектральная плотность энергетической светимости в области рентгеновских лучей уменьшается до нуля?
- 1.6. Объясните, почему солнечным днём окна домов со стороны улицы кажутся чёрными?
- 1.7. Фарфоровая чашка, имеющая на светлом фоне тёмный рисунок, нагревается в печи до высокой температуры. Объясните, почему при рассмотрении чашки в темноте наблюдается светлый рисунок на тёмном фоне?
- 1.8. Имеются два одинаковых чайника, в которых до одинаковой температуры нагрели одинаковое количество воды. Один чайник закопчён, другой чистый. Объясните, какой из чайников остынет быстрее и почему?
- 1.9. Поясните экспериментальный результат: если в спектре излучения атомарного водорода наблюдается серия Лаймана, то наблюдаются и все прочие спектральные серии: Бальмера, Пашена и пр. Напротив, в спектре поглощения неосвещённого атомарного водорода наблюдается только серия Лаймана, а все прочие серии не наблюдаются.
- 1.10. Объясните, почему спектр атома водорода не обрывается на границе серии, а продолжается в сторону более коротких волн, где он становится сплошным?
- 1.11. Чем обусловлено изотопическое смещение спектральных линий?
- 1.12. Освещая поочерёдно фотокатод двумя разными монохроматическими источниками, находящихся на одинаковом расстоянии от катода, получили две зависимости фототока от напряжения между катодом и анодом (рис. 1). Объясните, в чём отличие этих источников.
- 1.13. На рисунке 2 схематически представлены вольт-амперные характеристики (кривые 1, 2 и 3) фотоэффекта для одного и того же металла. Объясните причину отличия этих кривых.
- 1.14. Проявляются ли волновые свойства фотонов в явлениях фотоэффекта?
- 1.15. При эффекте Комптона длина волны смещённой компоненты увеличивается. А возможно ли обратное (уменьшение длины волны)?

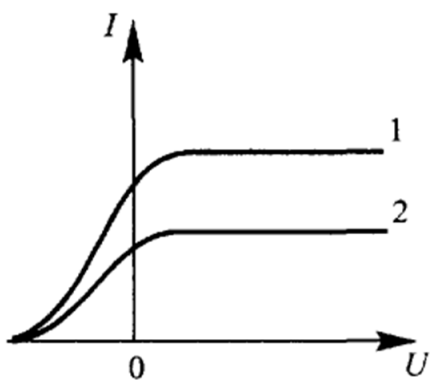


Рис. 1. К задаче 1.12

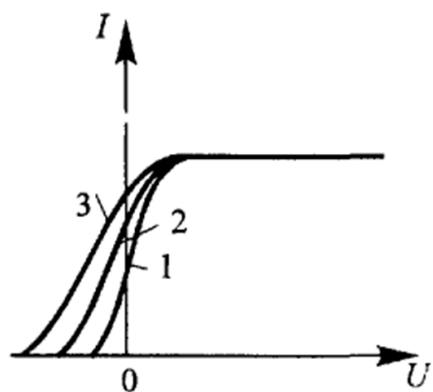


Рис. 2. К задаче 1.13

- 1.16. Как меняется интенсивность смещённой и несмещённой компонент в эффекте Комптона при изменении угла рассеяния?
- 1.17. Как изменится график зависимости спектральной плотности энергетической зависимости абсолютно чёрного тела при изменении температуры?

## Часть 2. Тепловое излучение.

- 2.1. На поверхность с поглотительной способностью  $\alpha = 0,5$ , находящуюся в равновесии с излучением, падает поток лучистой энергии  $\Phi$ . Какой поток  $\Phi$  распространяется от поверхности по всем направлениям в пределах телесного угла  $2\pi$ ? За счёт чего образуется этот поток?

*Решение:*

- 2.2. При переходе от температуры  $T_1$  к температуре  $T_2$  площадь, ограниченная графиком функции распределения плотности энергии равновесного излучения по длинам волн, увеличивается в 16 раз. Как изменяется при этом длина волны  $\lambda_m$ , на которую приходится максимум испускательной способности абсолютно чёрного тела?

*Решение:*

2.3. Энергетическая светимость абсолютно чёрного тела  $R^* = 250 \text{ кВт/м}^2$ . На какую длину волны  $\lambda_m$  приходится максимум испускательной способности этого тела?

*Решение:*

2.4. Найти среднюю энергию  $\langle \varepsilon \rangle$  квантового осциллятора при температуре  $T$ . Частота осциллятора равна  $\omega$ . Вычислить среднюю энергию  $\langle \varepsilon \rangle$  квантового осциллятора для:

а) частоты  $\omega_1$ , отвечающей условию  $\hbar\omega_1 = kT$ ;

б) частоты  $\omega_2 = 0,1 \omega_1$ ;

в) частоты  $\omega_3 = 10 \omega_1$ .

Выразить  $\langle \varepsilon \rangle$  через  $kT$ . Сравнить найденные значения со средней энергией  $\langle \varepsilon \rangle_{кл}$  классического осциллятора.

*Решение:*

2.5. Найти:

- а) температурную зависимость частоты  $\omega_m$ , на которую приходится максимум функции  $f(\omega, T)$  определяющей испускательную способность абсолютно чёрного тела;
- б) значение произведения  $\lambda_m \omega_m$ , где  $\lambda_m$  – длина волны, отвечающая максимуму функции  $\varphi(\omega, T)$ . Сравнить это значение с  $2\pi c$ .

*Решение:*

2.6. Поверхность Солнца близка по своим свойствам к абсолютно чёрному телу. Максимум излучательной способности приходится на длину волны  $\lambda_m = 0,50$  мкм (в излучении Солнца, прошедшем через атмосферу и достигшем поверхности Земли, максимум приходится на  $\lambda = 0,55$  мкм). Определить:

- а) температуру  $T$  солнечной поверхности;
- б) энергию  $E$ , излучаемую Солнцем за 1 секунду за счёт излучения;
- в) массу  $m$ , теряемую Солнцем в 1 секунду за счёт излучения;
- г) примерное время  $\tau$ , за которое масса Солнца уменьшилась бы за счёт излучения на 1%, если бы температура Солнца оставалась постоянной.

*Решение:*



- 2.7. Полагая, что Солнце обладает свойствами абсолютно чёрного тела, определить интенсивность  $I$  солнечного излучения вблизи Земли за пределами её атмосферы (эта интенсивность называется солнечной постоянной). Температура солнечной поверхности  $T = 5785 \text{ K}$ .

*Решение:*

- 2.8. На корпусе космической лаборатории, летящей вокруг Солнца по круговой орбите, радиус которой  $R$  равен среднему расстоянию от Земли до Солнца, установлено устройство, моделирующее абсолютно чёрное тело. Наружная поверхность оболочки этого устройства является идеально отражающей. Отверстие в оболочке всё время обращено к Солнцу. Пренебрегая теплообменом через крепление устройства к корпусу лаборатории, определить равновесную температуру  $T$ , которая установится внутри устройства. Температуру солнечной поверхности  $T_C$  принять равной 5800 К.

*Решение:*

2.9. Начальная температура теплового излучения  $T = 2000$  К. На сколько кельвинов изменилась эта температура, если наиболее вероятная длина волны в его спектре увеличилась на  $\Delta\lambda = 0,25$  мкм?

*Решение:*

2.10. Найти наиболее вероятную длину волны в спектре теплового излучения с энергетической светимостью  $M = 5,7 \text{ Вт/см}^2$ .

*Решение:*

2.11. Зная, что давление теплового излучения  $p = u/3$ , где  $u$  – плотность энергии излучения найти:

- а) давление теплового излучения во внутренних областях Солнца, где температура  $T \approx 1,6 \cdot 10^7$  К;
- б) температуру полностью ионизированной водородной плазмы плотностью  $\rho = 0,10$  г/см<sup>3</sup>, при которой давление излучения равно кинетическому давлению частиц плазмы (при высоких температурах вещества подчиняются уравнению состояния для идеальных газов).

*Решение:*

2.12. Медный шарик радиусом  $r = 10,0$  мм с абсолютно черной поверхностью поместили в откачанный сосуд, температура стенок которого поддерживается близкой к абсолютному нулю. Начальная температура шарика  $T_0 = 300$  К. Через сколько времени его температура уменьшится в  $n = 1,50$  раза? Удельная теплоёмкость меди  $c = 0,38$  Дж/(г·К).

*Решение:*

2.13. Вычислить с помощью формулы Планка мощность излучения единицы поверхности абсолютно черного тела в интервале длин волн, отличающихся не более чем на  $\eta = 0,50\%$  от наиболее вероятной длины волны при  $T = 2000$  К.

*Решение:*

2.14. Имеется два абсолютно чёрных 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:*



2.15. Температура поверхности Солнца  $T_0 = 5500$  К. Считая, что поглощательная способность Солнца и Земли равна единице и что Земля находится в состоянии теплового равновесия, оценить её температуру.

*Решение:*

2.16. Полость объёмом  $V = 1,0$  л заполнена тепловым излучением при температуре  $T = 1000$  К. Найти:

- а) теплоёмкость  $C_V$ ;
- б) энтропию  $S$  этого излучения.

*Решение:*

2.17. Найти уравнение адиабатического процесса (в переменных  $V, T$ ), проводимого с тепловым излучением, имея в виду, что между давлением и плотностью энергии теплового излучения существует связь  $p = u/3$ .

*Решение:*

### Часть 3. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения.

- 3.1. Короткий импульс света энергией  $E = 7,5$  Дж падает узким пучком на зеркальную пластинку с коэффициентом отражения  $\rho = 0,60$ . Угол падения  $\vartheta = 30^\circ$ . Найти импульс, переданный пластинке.

*Решение:*

- 3.2. Найти с помощью корпускулярных представлений силу светового давления, которую оказывает плоский световой поток с интенсивностью  $I = 1,0 \text{ Вт/см}^2$  на плоскую зеркальную поверхность, если угол падения  $\vartheta = 30^\circ$  и площадь освещаемой поверхности  $S = 10 \text{ см}^2$ .

*Решение:*

3.3. Плоский световой поток интенсивностью  $I$  Вт/см<sup>2</sup>, освещает одну половину шара с зеркальной поверхностью. Радиус шара  $R$ . Найти с помощью корпускулярных представлений силу светового давления, испытываемую шаром.

*Решение:*

- 3.4. Над центром круглой абсолютно зеркальной пластинки радиусом  $R$  находится точечный источник света мощностью  $P$ . Расстояние между источником и пластинкой  $l$ . Найти с помощью корпускулярных представлений силу светового давления, которую испытывает пластинка. Рассмотреть также случаи  $R \ll l$  и  $R \gg l$ .

*Решение:*

- 3.5. Найти длину волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра, если известно, что после увеличения напряжения на рентгеновской трубке в  $\eta = 2,0$  раза эта длина волны изменилась на  $\Delta\lambda = 50$  пм.

*Решение:*



- 3.6. Вычислить скорость электронов, подлетающих к антикатоде рентгеновской трубки, если длина волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра  $\lambda_{min} = 157$  пм.

*Решение:*

- 3.7. Найти работу выхода с поверхности некоторого металла, если при поочерёдном освещении его электромагнитным излучением с длинами волн  $\lambda_1 = 0,35$  мкм и  $\lambda_2 = 0,54$  мкм максимальные скорости фотоэлектронов отличаются в  $\eta = 2,0$  раза.

*Решение:*

3.8. Медный шарик, отделённый от других тел, облучают электромагнитным излучением с длиной волны  $\lambda = 0,200$  мкм. До какого максимального потенциала зарядится шарик?

*Решение:*

- 3.9. Фотон с длиной волны  $\lambda = 17,0$  пм вырывает из покоящегося атома электрон, энергия связи которого  $E = 69,3$  кэВ. Найти импульс, переданный атому в результате этого процесса, если электрон вылетел под прямым углом к направлению налетающего фотона.

*Решение:*

3.10. Показать, что свободный электрон не может излучить световой квант, так как если предположить, что электрон излучает световой квант, то не будут выполняться одновременно закон сохранения импульса и закон сохранения энергии.

*Решение:*

3.11. Фотон с длиной волны  $\lambda = 3,64$  пм рассеялся на покоящемся свободном электроне так, что кинетическая энергия электрона отдачи составила  $\eta = 25\%$  от энергии налетевшего фотона. Найти:

- а) комптоновское смещение длины волны рассеянного фотона;
- б) угол  $\vartheta$ , под которым рассеялся фотон.

*Решение:*

3.12. Фотон испытал рассеяние на покоящемся свободном электроне. Найти импульс налетевшего фотона, если энергия рассеянного фотона равна кинетической энергии электрона отдачи при угле  $90^\circ$  между направлениями их разлета.

*Решение:*

3.13. В результате столкновения фотона с покоящимся свободным электроном углы, под которыми рассеялся фотон и отлетел электрон отдачи, оказались одинаковыми и угол между направлениями их движения  $\vartheta = 100^\circ$ . Найти длину волны фотона до столкновения.

*Решение:*



3.14. Фотон с энергией  $\hbar\omega$  испытал столкновение с электроном, который двигался ему на встречу. В результате столкновения направление движения фотона изменилось на противоположное, а его энергия осталась прежней. Найти скорость электрона до и после столкновения.

*Решение:*

3.15. Средняя длина волны излучения лампочки накаливания с металлической спиралью равна 1200 нм. Найти число фотонов, испускаемых 200-ваттной лампочкой в единицу времени.

*Решение:*

3.16. Во сколько раз изменение длины волны фотона при комптоновском рассеянии на свободном электроне превосходит аналогичное изменение при рассеянии на свободном протоне при одинаковых углах рассеяния?

*Решение:*

3.17. Фотон с длиной волны  $\lambda = 0,0024$  нм после рассеяния на электроне движется в прямо противоположном направлении. С какой скоростью  $v$  должен двигаться электрон, чтобы частота фотона при рассеянии не изменилась?

*Решение:*

## Часть 4. Рассеяние частиц. Формула Резерфорда.

4.1. Исходя из томпсоновской модели атома, определить:

- а) радиус атома водорода, энергия ионизации которого 13,6 эВ;
- б) частоту колебаний электрона, если радиус атома водорода равен  $r$ . При каком значении  $r$  длина волны испускаемого света равна 0,6 мкм?

*Решение:*

Согласно томпсоновской модели атом представляет собой непрерывно положительно заряженный шар, внутри которого находятся электроны, колеблющиеся около своих положений равновесия.

а)

$$E_1 = kr \frac{e}{R^3}, \quad E_2 = k \frac{e^2}{r^2};$$
$$E_{\text{ион}} = \int_0^R E_1 e \, dr + \int_R^\infty E_2 e \, dr = \int_0^R kr \frac{e^2}{R^3} + \int_R^\infty kr \frac{e^2}{r^2} = \frac{ke^2}{2R} + \frac{ke^2}{R} = \frac{3ke^2}{2R}.$$

Откуда:  $R = \frac{3ke^2}{2E_{\text{ион}}}.$

б)

$$E_{\text{внут}} = kr \frac{e}{R^3}, \quad F = -e \cdot E = -kr \frac{e^2}{R^3}.$$

По второму закону Ньютона  $F = ma = m\ddot{r}$ , получаем:

$$\ddot{r} + \frac{ke^2}{mR^3}r = 0$$

Обозначим  $\omega^2 = \frac{ke^2}{mR^3}$  – частота колебаний.

4.2. На какое минимальное расстояние приблизится  $\alpha$ -частица с кинетической энергией  $T = 40$  кэВ (при лобовом соударении):

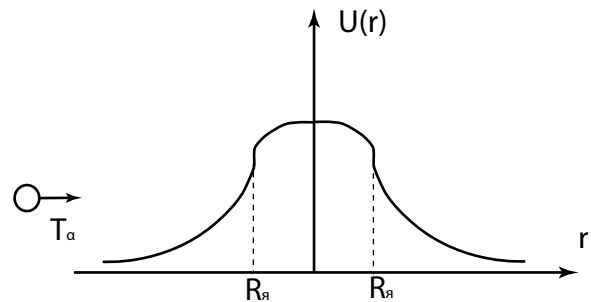
- а) к покоящемуся ядру атома свинца;
- б) к первоначально покоящемуся ядру  ${}^7\text{Li}$ ?

*Решение:*

Так как  $\alpha$ -частица и ядро атома свинца положительные частицы, то энергия их взаимодействия будет иметь вид, представленный на рисунке.

Таким образом для приближения  $\alpha$ -частицы к ядру существует потенциальный барьер.

Условие отражения  $\alpha$ -частиц от ядра атома свинца будет иметь вид:



$$T_{\alpha} \leq U_{\max} \approx \frac{3}{2} \frac{q_1 q_2}{r_{\min}},$$

где  $q_1 = 2e$  – заряд  $\alpha$ -частицы,  $q_2 = 82e$  – заряд ядра свинца.

Из формулы получим:  $r_{\min} \approx R_{\text{я}} \approx 9,6 \cdot 10^{-10}$  см.

Для более точного расчёта  $T = \frac{2ze^2}{r_{\min}}$ , где  $z = 82$ .

4.3.  $\alpha$ -частица с кинетической энергией  $T$  налетает с прицельным параметром  $0,9 \cdot 10^{-11}$  см на покоящееся ядро свинца. Найти:

- а) модуль приращения вектора импульса рассеянной  $\alpha$ -частицы, если  $T = 2,3$  МэВ;
- б) при каком значении  $T$  модуль приращения вектора импульса рассеяния  $\alpha$ -частицы будет максимальным для данного прицельного параметра. Каков при этом угол рассеяния?

*Решение:*

- 4.4. Нерелятивистская частица массой  $m$  и кинетической энергией  $T$  испытала упругое рассеяние на первоначально покоящемся ядре с массой  $M$ . Найти в Ц-системе импульс каждой частицы и их суммарную энергию.

*Решение:*

$$p = \mu v_{отн} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot p_1, \quad p_1 = \sqrt{2mT}.$$

$$\mu = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad m_1 = m, \quad m_2 = M;$$

$$p = \frac{\sqrt{2mT}}{1 + \frac{m}{M}}; \quad E = \frac{p^2}{2\mu} = \frac{T}{1 + \frac{m}{M}}.$$



4.5. Найти максимальное значение угла рассеяния  $\alpha$ -частицы на первоначально покоящемся дейтроне.

*Решение:*

- 4.6. В результате упругого рассеяния протона с кинетической энергией  $T = 13,0$  кэВ в кулоновском поле покоящегося ядра  ${}^4\text{He}$  последнее испытало отдачу под углом  $\vartheta = 60^\circ$  к направлению движения налетающего протона. Вычислить прицельный параметр.

*Решение:*

Прицельный параметр  $b$  можно найти, воспользовавшись формулой:

$$\operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} = \frac{q_1 q_2}{2bT_1},$$

откуда

$$b = \frac{q_1 q_2}{2T_1} \operatorname{ctg} \frac{\vartheta}{2}.$$

Так как  $\vartheta$  и  $T$  – это параметры в Ц-системе, необходимо перейти в Л-систему:

$$T_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = \frac{4}{5}T.$$

Следовательно

$$b = \frac{2e^2 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot T} \operatorname{ctg} 30^\circ \approx 2,4 \cdot 10^{-11} \text{ см}$$

- 4.7.  $\alpha$ -частица с кинетической энергией  $T = 5,0$  кэВ упруго рассеялась в кулоновском поле покоящегося дейтрона. Найти прицельный параметр, соответствующий максимально возможному углу рассеяния  $\alpha$  частицы в Л-системе.

*Решение:*

- 4.8. При рассеянии  $\alpha$ -частицы с кинетической энергией  $T = 29$  кэВ в кулоновском поле покоящегося ядра  ${}^6\text{Li}$  последнее испытало отдачу под углом  $\vartheta = 45^\circ$  к направлению движения налетающей частицы. На какое минимальное расстояние сблизилась обе частицы в процессе взаимодействия?

*Решение:*

4.9. Вычислить сечение ядра атома золота, отвечающее рассеянию протонов с кинетической энергией  $T = 1,20$  МэВ в интервале углов от  $\vartheta = \pi/3$  до  $\pi$ .

*Решение:*

- 4.10. Найти вероятность того, что  $\alpha$ -частица с энергией  $T = 3,0$  МэВ при прохождении свинцовой фольги толщиной 1,5 мкм испытает рассеяние в интервале углов:  
а)  $59 - 60^\circ$ ; б)  $60 - 90^\circ$ .

*Решение:*

4.11. Узкий пучок моноэнергетических  $\alpha$ -частиц падает нормально на свинцовую фольгу толщиной  $2,2 \text{ мг/см}^2$ . При этом  $\eta = 1,6 \cdot 10^{-3}$  – часть первоначального потока, рассеивающегося под углами  $\vartheta > 20^\circ$ . Найти дифференциальное сечение  $d\sigma/d\Omega$  ядра свинца, отвечающее углу рассеяния  $\vartheta_0 = 60^\circ$ .

*Решение:*

4.12. Сколько  $\alpha$ -частиц  $\Delta n$  рассеется в интервале углов между  $44^\circ$  и  $46^\circ$ , если на медную пластинку толщиной в  $0,005$  мм было выпущено  $n = 10^4$   $\alpha$ -частиц с энергией в  $1$  МэВ?

*Решение:*



4.13. Сколько спектральных линий может излучать модель атома Томсона с одним электроном? Каков должен быть радиус атома, чтобы он излучал волну  $\lambda = 500$  нм?

*Решение:*

4.14. Какой молярной теплоемкостью, согласно классической теории, должен обладать газ, состоящий из атомов Томсона с одним электроном, если не учитывать вращения атомов?

*Решение:*

- 4.15. Найти минимальное расстояние, на которое протон с кинетической энергией  $T = 0,87 \text{ МэВ}$  приблизился к покоящемуся ядру Hg при рассеянии на угол  $\vartheta = \pi/2$ . Сравнить это расстояние с соответствующим значением прицельного параметра.

*Решение:*

4.16. Узкий пучок  $\alpha$ -частиц с кинетической энергией  $T = 10$  МэВ падает нормально на золотую фольгу толщиной  $d = 1,0$  мкм. Поток  $\alpha$ -частиц  $I = 3,6 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>. Найти число  $\alpha$ -частиц, рассеянных фольгой в течение  $\tau = 10$  мин под углами:

- а) в интервале  $59 - 61^\circ$ ;
- б) превышающими  $\vartheta_0 = 60^\circ$ ;
- в) меньшими  $\vartheta_0 = 10^\circ$  (предполагается, что формула Резерфорда вблизи этого значения угла  $\vartheta_0$  справедлива).

*Решение:*

4.17. Узкий пучок  $\alpha$ -частиц с кинетической энергией  $T = 0,50$  МэВ и интенсивностью  $I = 5,0 \cdot 10^5$  частиц/с падает нормально на золотую фольгу. Найти её толщину, если на расстоянии  $r = 15$  см от рассеивающего участка под углом  $\vartheta = 60^\circ$  к направлению падающего пучка плотность потока рассеянных частиц  $J = 40$  частиц/(см<sup>2</sup> · с).

*Решение:*

## Часть 5. Теория Бора.

5.1. Оценить время, за которое электрон, движущийся вокруг ядра водорода по орбите радиусом  $0,5 \cdot 10^{-8}$  см, упал бы на ядро, если бы он терял энергию на излучение в соответствии с классической теорией:

$$\frac{dE}{dt} = -k \frac{2e^2}{3c^3} a^2,$$

где  $a$  – ускорение электрона. Считать, что вектор  $\vec{a}$  все время направлен к центру атома.

*Решение:*

5.2. Какие спектральные линии появятся при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией в 12,5 эВ?

*Решение:*

5.3. Вычислить энергию, которую надо сообщить атому водорода, чтобы его серия Бальмера содержала только одну спектральную линию.

*Решение:*



5.4. Какие спектральные линии появятся в спектре атомарного водорода при облучении его ультрафиолетовым светом с длиной волны 100 нм?

*Решение:*

5.5. Первоначально неподвижный атом водорода испустил фотон с частотой, соответствующей головной линии серии Лаймана. Найти скорость  $v$  атома после излучения фотона.

*Решение:*

- 5.6. Определить наименьшую энергию, которую надо сообщить в основном состоянии трижды ионизованному атому бериллия, чтобы возбудить полный спектр этого атома.

*Решение:*

5.7. Фотон головной серии Лаймана иона гелия  $\text{He}^+$  поглощается водородным атомом в основном состоянии и ионизует его. Определить кинетическую энергию  $\epsilon$ , которую получит электрон при такой ионизации.

*Решение:*

- 5.8. В спектрах некоторых звезд наблюдается  $m \approx 30$  линий водородной серии Бальмера. При каком наименьшем числе  $N$  штрихов дифракционной решетки можно разрешить эти линии в спектре первого порядка?

*Решение:*

5.9. На сколько вольт ионизационный потенциал дейтерия ( $D$ ) больше ионизационного потенциала водорода ( $H$ )? Выразить разность между энергиями ионизации  $D$  и  $H$  в джоулях на моль.

*Решение:*

5.10. Определить квантовое число  $n$  возбужденного состояния атома водорода, если известно, что при переходе в основное состояние атом излучил:

- а) фотон с длиной волны  $\lambda = 97,25$  нм;
- б) два фотона, с  $\lambda_1 = 656,3$  нм и  $\lambda_2 = 121,6$  нм.

*Решение:*

5.11. У какого водородоподобного иона разность длин волн головных линий серии Бальмера и Лаймана равна 59,3 нм?

*Решение:*



5.12. Вычислить для мезоатома водорода (в котором вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз больше):

- а) расстояние между мезоном и ядром в основном состоянии;
- б) длину волны резонансной линии;
- в) энергии связи основных состояний мезоатомов, ядра которых протон и дейтрон.

*Решение:*

5.13. Найти для позитрония (система из электрона и позитрона, вращающаяся вокруг центра инерции):

- а) расстояние между частицами в основном состоянии;
- б) ионизационный потенциал и первый потенциал возбуждения;
- в) постоянную Ридберга и длину волны резонансной линии.

*Решение:*

5.14. Вычислить отношение массы протона к массе электрона, если известно, что отношение постоянных Ридберга тяжелого и легкого водорода  $\eta = 1,000272$ , а отношение масс ядер  $n = 2,00$ .

*Решение:*

5.15. Энергия связи электрона в атоме He равно  $E_0 = 24,6$  эВ. Найти энергию, необходимую для удаления обоих электронов из этого атома.

*Решение:*

5.16. Атом водорода, двигающийся со скоростью  $v_0 = 3,26$  м/с, испустил фотон, соответствующий переходу из первого возбужденного состояния в основное. Найти угол  $\varphi$  между направлением движения атома, если кинетическая энергия атома осталась прежней.

*Решение:*

5.17. При наблюдении излучения пучка возбужденных атомов водорода под углом  $\vartheta = 45^\circ$  к направлению их движения длина волны резонансной линии оказалась смещенной на  $\Delta\lambda = 0,20$  нм. Найти скорость атомов водорода.

*Решение:*