

Последнее обновление:

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)?

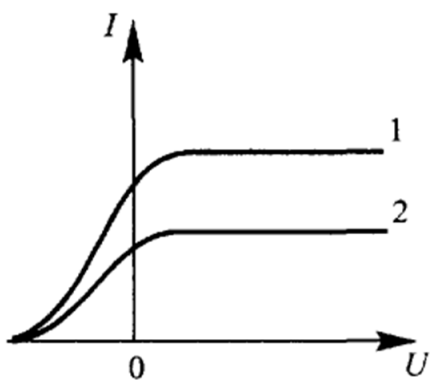


Рис. 1. К задаче 1.12

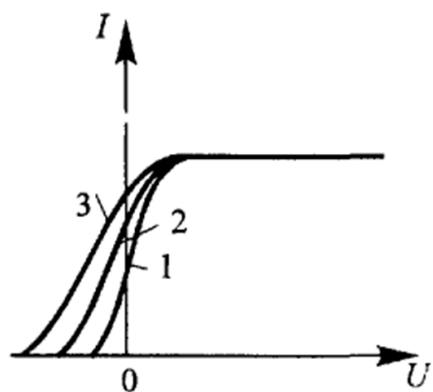


Рис. 2. К задаче 1.13

- 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 поглощательной способностью $\alpha = 0,5$, находящуюся в равновесии с излучением, падает поток лучистой энергии Φ . Какой поток Φ распространяется от поверхности по всем направлениям в пределах телесного угла 2π ? 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 λ_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 λ_m приходится максимум излучательной способности этого тела?

Решение:

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

а) частоты ω_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 ω_m , на которую приходится максимум функции $f(\omega, T)$ определяющей испускательную способность абсолютно чёрного тела;
- б) значение произведения $\lambda_m \omega_m$, где λ_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 испускательной 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 τ , 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/см³, 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.

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)

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

Откуда: $R = \frac{3ke^2}{2E_{ион}}.$

б)

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

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 α -частица с кинетической энергией $T = 40$ кэВ (при лобовом соударении):

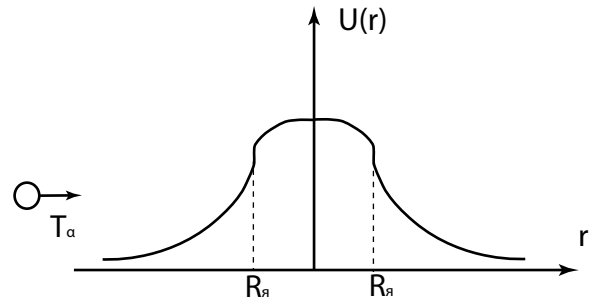
- а) к покоящемуся ядру атома свинца;
- б) к первоначально покоящемуся ядру ${}^7\text{Li}$?

Решение:

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

Таким образом для приближения α -частицы к ядру существует потенциальный барьер.

Условие отражения α -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 α -частицы, $q_2 = 82e$ – заряд ядра свинца.

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

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

4.3. α -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 α -частицы, если $T = 2,3$ МэВ;
- б) при каком значении T модуль приращения вектора импульса рассеяния α -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 α -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 ϑ 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. α -частица с кинетической энергией $T = 5,0$ кэВ упруго рассеялась в кулоновском поле покоящегося дейтрона. Найти прицельный параметр, соответствующий максимально возможному углу рассеяния α частицы в Л-системе.

Решение:

Часть 5. Теория Бора.