

Задачи группы 0

0-1-1. Вследствие повышения температуры положение максимума спектральной энергетической светимости абсолютно черного тела переместилось с 2 мкм на 1 мкм. Во сколько раз изменилась его интегральная энергетическая светимость?

0-1-2. Оценить давление теплового излучения во внутренней области Солнца, где температура равна $1,3 \cdot 10^7$ К.

0-2-1. В опытах П. Н. Лебедева, доказавшего существование светового давления, падающий световой поток составлял $6 \text{ Вт}/\text{см}^2$. Вычислить давление, которое испытывали зачернённые и зеркальные лепестки его измерительной установки.

0-2-2. Монохроматическое гамма-излучение рассеивается на покоящихся электронах. Найти частоту излучения, рассеиваемого назад, если энергия налетающего фотона равна энергии покоя электрона.

0-3-1. Определить кинетическую энергию электрона, при которой его добройлевская и комптоновская длины волн равны между собой.

0-3-2. Исходя из соотношения неопределенностей, оцените минимальную энергию осциллятора с частотой ω .

0-4-1. Найти минимальную кинетическую энергию электрона, при которой он без отражения пройдёт над одномерной прямоугольной потенциальной ямой глубиной $U = 2,5$ эВ размером $a = 2r_B$, r_B — боровский радиус.

0-4-2. Электрон с энергией 3 эВ проходит через прямоугольный потенциальный барьер высотой 5 эВ и шириной 3 Å. Во сколько раз должна возрасти высота барьера, чтобы вероятность прохождения через барьер упала в 10 раз?

0-5-1. Частица массы m заключена в одномерном потенциальном ящике шириной l с непроницаемыми стенками. Найти работу, которую надо затратить на квазистатическое сжатие ящика вдвое, если частица находится в основном состоянии.

0-5-2. Частица массы m заключена в одномерном потенциальном ящике с непроницаемыми стенками. Какова масса частицы, если при ширине ящика 3 \AA расстояние между первым и третьим уровнями частицы в яме составляет 5 эВ ?

0-6-1. При какой температуре средняя энергия поступательного движения молекулы O_2 равна энергии, необходимой для возбуждения ее на первый вращательный уровень? Межъядерное расстояние в молекуле равно $1,2 \text{ \AA}$.

0-6-2. Электрон с энергией $12,5 \text{ эВ}$ сталкивается с неподвижным атомом водорода, находящимся в основном состоянии. Найдите минимально возможную энергию рассеянного электрона. Энергию отдачи атома не учитывать.

0-7-1. Найти возможные значения полного спина атома водорода в основном состоянии.

0-7-2. Оценить энергетическое расщепление состояний, найденных в предыдущей задаче, при учете магнитного взаимодействия протона и электрона, рассматриваемых, как точечные магнитные диполи.

0-10-1. Определить возможные значения полного углового момента электрона и его проекции на выделенную ось в атоме водорода, находящемся в возбужденном состоянии с главным квантовым числом $n = 3$.

0-10-2. Атом водорода находится в $2p$ -состоянии. Определить возможные значения полного момента количества движения.

0-11-1. Для получения тепловых нейтронов (с максвелловским распределением скоростей, отвечающим температуре $T = 300 \text{ К}$) поток нейтронов из реактора направляют в сосуд с тяжелой водой (модератор), размер которого много больше длины пробега нейтрона в воде. Избавляясь от избытка энергии в столкновениях с ядрами дейтерия, нейтроны термализуются после нескольких десятков столкновений. Найти, чему будет равна относительная разность чисел тепловых нейтронов, магнитные моменты которых направлены по полю или против поля, если модератор поместить в магнитное поле индукцией $B = 10 \text{ Тл}$. g -фактор нейтрона равен $-3,8$.

0-11-2. При какой температуре абсолютно черного тела вероятность индуцированного излучения в видимой области превосходит вероятность спонтанного излучения?

0-12-1. Свободное покоившееся ядро ^{191}Ir с энергией возбуждения 129 кэВ перешло в основное состояние, испустив γ -квант. Вычислить относительное изменение энергии γ -кванта, возникающее в результате отдачи ядра.

0-12-2. Препарат полония активностью $3,7 \cdot 10^9$ распад/с помещен в калориметр теплоёмкостью 1 кал/К. Найти повышение температуры калориметра за 1 час, если известно, что полоний испускает α -частицы с энергией 5,3 МэВ. Считать период полураспада полония много большим времени эксперимента.

0-13-1. В реакции синтеза ядер дейтерия и трития $d + t \rightarrow \alpha + n + Q$ выделяется энергия $Q = 17,8$ МэВ. Какова энергия, уносимая нейтроном?

0-13-2. Сечение поглощения нейтрино с энергией более 5 МэВ ядром железа составляет $\sigma = 10^{-42} \text{ см}^2$. Какова вероятность поглотиться для такого нейтрино, двигающегося по диаметру в ядре Земли? Считать, что ядро состоит из железа ($A = 56$ а.е.м., $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$), его радиус $R = 3000 \text{ км}$.

0-14-1. Определите минимальную кинетическую энергию протона, налетающего на неподвижный протон, необходимую для рождения пары протон–антипротон.

0-14-2. Оценить среднюю длину свободного пробега и среднее время между двумя соударениями протонов в галактических космических лучах. Считать, что их концентрация $n = 10^5 \text{ м}^{-3}$, скорость хаотического движения $v \approx c$, радиус протона $R_p = 10^{-13} \text{ см}$.

0-15-1. Определить энергию релятивистского электрона, если радиус кривизны его следа в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле $B = 10^5 \text{ Гс}$, составляет 2 м.

0-15-2. Какой минимальной энергией должен обладать γ -квант, чтобы он смог родить электрон–позитронную пару? Возможен ли данный процесс в вакууме?

Текстовые задачи

T1. Средняя температура поверхности Земли составляет 15°C . В результате природных процессов или влияния промышленных выбросов прозрачность атмосферы может измениться. Оценить, как изменится равновесная температура земной поверхности если прозрачность атмосферы уменьшится на 5% для излучения: а) с длиной волны меньше $\lambda_0 = 20\,000 \text{ \AA}$ б) с длиной волны более $\lambda_0 = 20\,000 \text{ \AA}$. Под прозрачностью понимается доля излучения, преодолевающая расстояние от верхних слоёв атмосферы до поверхности. Считать для оценки, что прозрачность атмосферы постоянна для $\lambda > \lambda_0$ и $\lambda < \lambda_0$.

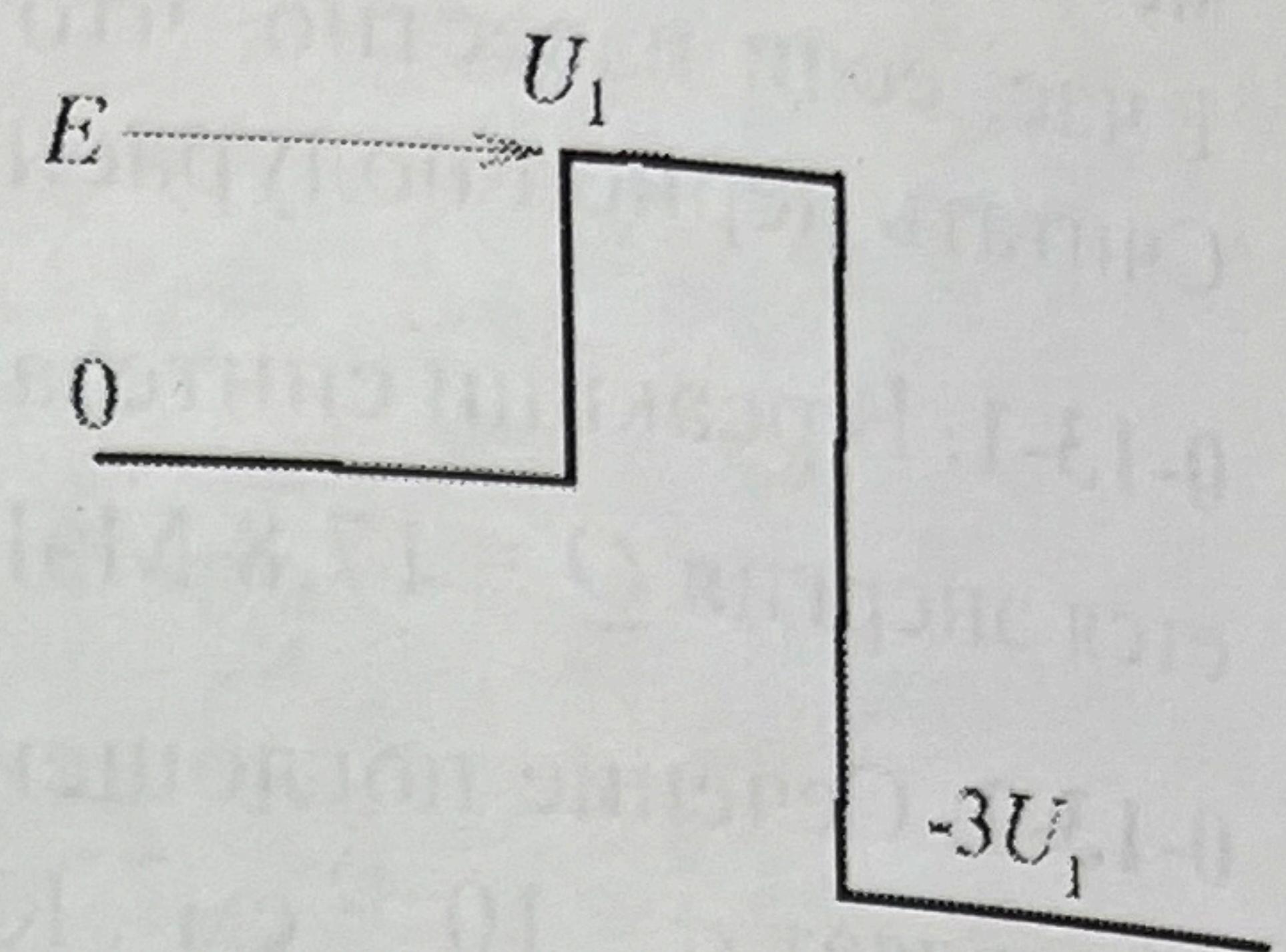
Ответ: случай а): «ядерная осень», температура понизится на 4°C ; случай б): «глобальное потепление», температура повысится на 4°C .

T2. На одномерную прямоугольную потенциальную ступеньку высотой $U_0 > 0$, расположенную в точке $x = 0$, из области $x < 0$ падают микрочастицы с энергией $E = U_0/4$. На каком наименьшем расстоянии слева от ступеньки (в длинах волн де Броиля) плотность вероятности обнаружения частицы будет максимальна и на каком — минимальна?

Ответ: $|x|_{\max} = \lambda/6$, $|x|_{\min} = 5\lambda/12$.

T3. Какая доля электронов с энергией $E = 1$ эВ, падающих слева на показанный на рисунке несимметричный потенциальный барьер, сможет его преодолеть? Ширина барьера $l = 7,8$ Å.

Ответ: 8/73.



T4. Найти все термы невозбужденного атома углерода, на внешней оболочке $2p$ оболочки которого находятся два электрона (электронная конфигурация $1s^2 2s^2 2p^2$).

Ответ: 1D , 3P , 1S .

T5. В спектре полярных сияний самая интенсивная желто-зеленая линия с $\lambda = 5577$ Å (aurora borealis) соответствует переходу между состояниями 1S_0 и 1D_2 нейтрального атома кислорода. Определить тип перехода и оценить время жизни возбужденного состояния, считая, что размер атома кислорода равен $a = 1,25$ Å, а время электрических дипольных переходов составляет порядка $\tau_1 \sim 10^{-7}$ с.

Ответ: испускается фотон $E2$, время жизни состояния 1S_0 составляет примерно $\tau_2 \sim \tau_1/(ka)^2 = \tau_1 \lambda^2 / (2\pi a)^2 = 0,5 \cdot 10^6 \cdot 10^{-7}$ с = 0,05 с (точный ответ: $\tau_2 = 0,7$ с).

T6. Ион меди Cu^{2+} , входящий в состав многих магнитных солей, имеет электронную конфигурацию внешней незаполненной оболочки $3d^9$.

1) Определить квантовые числа свободного иона меди Cu^{2+} ; записать его спектроскопический символ и вычислить g -фактор.

2) В ионных кристаллах магнитный ион взаимодействует с электрическим полем своих соседей, поэтому его более нельзя считать свободным и формула Ланде становится неприменимой. В соли $CuGeO_3$ (магнитным моментом в этом соединении обладает только ион Cu^{2+}) в одной из ориентаций магнитного поля относительно кристалла резонансное поглощение наблюдается на частоте $v = 36,5$ ГГц в поле $H = 11,48$ кЭ. Определить по этим данным эффективный g -фактор иона меди в этом кристалле.

Ответ: 1) $L = 2$, $S = 1/2$, $J = L+S = 5/2$; ${}^2D_{5/2}$, $g = 6/5 = 1,2$.

2) $g_{\text{эфф}} = hv/(\mu_B B) = 2,27$.

Т7. В августе 2008 г. группа BABAR Collaboration сообщила о регистрации $\eta_b(1S)$ -мезона — основного состояния боттомониума, соответствующего антипараллельной ориентации спинов пары ($b\bar{b}$) (так называемый паработтомониум в состоянии 1^1S_0). На встречных (e^- , e^+)-пучках при суммарной энергии $E = 10355$ МэВ рождался $\Upsilon(3S)$ -мезон, соответствующий возбужденному состоянию пары ($b\bar{b}$) с параллельными спинами (так называемый ортоботтомониум в состоянии 3^3S_0). Рожденный мезон распадался на мезон $\eta_b(1S)$ и γ -квант: $\Upsilon(3S) \rightarrow \eta_b(1S) + \gamma$. Определить массу $\eta_b(1S)$ -мезона и тип испускаемого γ -кванта, если энергия γ -кванта $E_\gamma = 921,2$ МэВ. Какова разница в энергиях основных состояний орто- и паработтомониума, определяемая переворотом спинов одного из夸ков. Масса основного состояния ортоботтомония $m_{\Upsilon(1S)} = 9460,4$ МэВ/ c^2 .

$$\text{Ответ: } m_{\eta_b(1S)}c^2 = E\sqrt{1 - 2E_\gamma/E} = 9388,7 \text{ МэВ,}$$

$$\Delta mc^2 = (m_{\Upsilon(1S)} - m_{\eta_b(1S)})c^2 = 71,7 \text{ МэВ,}$$

испускается магнитный дипольный γ -квант ($M1$).

Т8. В экспериментах 2011–2012 гг. на Большом адронном коллайдере (ЦЕРН, Женева) в протон-протонных столкновениях была открыта частица, напоминающая по своим свойствам бозон Хиггса (хиггсон), предсказанный в 1964 г. В соответствии с выводами Стандартной модели был обнаружен распад предполагаемого бозона Хиггса на два фотона, причем энергии фотонов оказались равными $E_1 = 70$ ГэВ и $E_2 = 92$ ГэВ, а угол разлета фотонов — $\alpha = 103^\circ$. Найти массу распавшейся частицы.

$$\text{Ответ: } m_Hc^2 = [2E_1E_2(1-\cos\alpha)]^{1/2} = 130 \text{ ГэВ.}$$

Т9. Мюонное нейтрино, попав в жидколоводородную камеру, рождает промежуточный бозон W^+ ($m_Wc^2 = 81$ ГэВ). Найти минимальную энергию нейтрино.

$$\text{Ответ: } E \approx (m_W)^2c^2/(2m_p) = 3500 \text{ ГэВ.}$$