

**Вариант №1**

1. Вычислить истинную температуру  $T$  вольфрамовой раскаленной ленты, если радиационный пирометр показывает температуру  $T_{\text{рад}} = 2,5$  кК. Принять, что поглощательная способность для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна  $a_i = 0,35$ .
2. Красная граница фотоэффекта для цинка  $\lambda_0 = 310$  нм. Определить максимальную кинетическую энергию  $T_{\text{max}}$  фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падает свет с длиной волны  $\lambda = 200$  нм.
3. Невозбужденный атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны  $\lambda = 102,6$  нм. Вычислить, пользуясь теорией Бора, радиус  $r$  электронной орбиты возбужденного атома водорода.
4. При какой скорости дебройлевская длина волны микрочастицы равна ее комптоновской длине волны?
5. Чему равна минимальная неопределенность координаты покоящегося электрона?
6. Электрон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $0,1$  нм. Вычислить в электрон-вольтах энергию основного состояния электрона.
7. Определить долю свободных электронов в металле при температуре  $T = 0$  К. энергии которых заключены в интервале значений от  $1/2\varepsilon_{\text{max}}$  до  $\varepsilon_{\text{max}}$ .
8. Определить теплоту  $Q$ , необходимую для нагревания кристалла калия массой  $m = 200$  г от температуры  $T_1 = 4$  К до температуры  $T_2 = 5$  К. Принять характеристическую температуру Дебая для калия во  $\Theta_D = 100$  К и считать условие  $T \ll \Theta_D$  выполненным.
9. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи альфа-частицы.

## Вариант №2

1. Черное тело имеет температуру  $T_1 = 500$  К. Какова будет температура  $T_2$  тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в  $n = 5$  раз?
2. На поверхность калия падает свет с длиной волны  $\lambda = 150$  нм. Определить максимальную кинетическую энергию  $T_{\max}$  фотоэлектронов.
3. Вычислить по теории Бора радиус  $r_2$  второй стационарной орбиты и скорость  $v_2$  электрона на этой орбите для атома водорода.
4. Какой кинетической энергией должен обладать электрон, чтобы дебройлевская длина волны была равна его комптоновской длине волны?
5. Вычислить минимальную неопределенность координаты покоящегося протона.
6. Протон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,01 пм. Вычислить в мегаэлектрон-вольтах энергию основного состояния протона.
7. Германиевый кристалл, ширина  $\Delta E$  запрещенной зоны в котором равна 0,72 эВ, нагревают от температуры  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  до температуры  $t_2 = 15^\circ\text{C}$ . Во сколько раз возрастет его удельная проводимость?
8. Вычислить характеристическую температуру  $\Theta_D$  Дебая для железа, если при температуре  $T = 20$  К молярная теплоемкость железа  $C_\mu = 0,226$  Дж/К·моль. Условие  $T \ll \Theta_D$  считать выполненным.
9. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра  ${}^{48}_{20}\text{Ca}$ .

**Вариант №3**

1. Температура абсолютно черного тела  $T=2\text{К}$ . Определить длину волны  $\lambda_m$ , на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности)  $(r_{\lambda,T})_{\max}$  для этой длины волны.
2. Фотон с энергией  $\varepsilon = 10$  эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить импульс  $p$ , полученный пластиной, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластин.
3. Вычислить по теории Бора период  $T$  вращения электрона в атоме водорода, находящегося в возбужденном состоянии, определяемом главным квантовым числом  $n = 2$ .
4. Чему должна быть равна кинетическая энергия протона, чтобы дебройлевская длина волны совпадала с его комптоновской длиной волны?
5. Кинетическая энергия электрона равна его энергии покоя. Чему равна при этом минимальная неопределенность координаты электрона?
6. Альфа-частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. Чему равна ширина ямы, если минимальная энергия частицы составляет 6 МэВ?
7. При нагревании кремниевого кристалла от температуры  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  до температуры  $t_2 = 10^\circ\text{C}$  его удельная проводимость возрастает в 2,28 раза. По приведенным данным определить ширину  $\Delta E$  запрещенной зоны кристалла кремния.
8. Система, состоящая из  $N = 10^{20}$  трехмерных квантовых осцилляторов, находится при температуре  $T = \Theta_E$  ( $\Theta_E = 250$  К). Определить энергию  $E$  системы.
9. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра  ${}_{92}^{238}\text{U}$ .

**Вариант №4**

1. Определить температуру  $T$  и энергетическую светимость (излучательность)  $R_e$  абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda_m = 600$  нм.
2. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны  $\lambda = 200$  нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов  $U_{\min}$ , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.
3. Определить изменение энергии  $\Delta E$  электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с частотой  $\nu = 6,28 \cdot 10^{14}$  Гц.
4. Кинетическая энергия электрона равна его энергии покоя. Вычислить дебройлевскую длину волны электрона.
5. Масса движущегося протона в два раза больше его массы покоя. Вычислить минимальную неопределенность координаты протона.
6. Электрон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,1 нм. Вычислить длину волны излучения при переходе электрона со второго на первый энергетический уровень.
7.  $p$ - $n$ -переход находится под обратным напряжением  $U = 0,1$  В. Его сопротивление  $R_1 = 692$  Ом. Каково сопротивление  $R_2$  перехода при прямом напряжении?
8. Медный образец массой  $m = 100$  г находится при температуре  $T_1 = 10$  К. Определить теплоту  $Q$ , необходимую для нагревания образца до температуры  $T_2 = 20$  К. Можно принять характеристическую температуру  $\Theta_D$  для меди равной 300 К, а условие  $T \ll \Theta_D$  считать выполненным.
9. Определить максимальную кинетическую энергию электрона, испускаемого при распаде нейтрона. Написать уравнение распада.

**Вариант №5**

1. Из смотрового окошечка печи излучается поток  $\Phi_e = 4$  кДж/мин. Определить температуру  $T$  печи, если площадь окошечка  $S = 8$  см<sup>2</sup>.
2. Какова должна быть длина волны  $\gamma$ -излучения, падающего на платиновую пластину, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была  $v_{max} = 3$  Мм/с?
3. Во сколько раз изменится период  $T$  вращения электрона в атоме водорода, если при переходе в невозбужденное состояние атом излучил фотон с длиной волны  $\lambda = 97,5$  нм?
4. Кинетическая энергия протона в два раза меньше его энергии покоя. Чему равна дебройлевская длина волны протона?
5. Чему равна минимальная неопределенность координаты фотона, соответствующего: а) видимому излучению с длиной волны 0,63 мкм; б) рентгеновскому излучению с длиной волны 25 пм?
6. Протон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,01 пс. Вычислить длину волны излучения при переходе протона со второго на первый энергетический уровень.
7. Металлы лития и цинк приводят в соприкосновение друг с другом при температуре  $T = 0$  К. На сколько изменится концентрация электронов проводимости в цинке? Какой из этих металлов будет иметь более высокий потенциал?
8. Используя квантовую теорию теплоемкости Эйнштейна, определить коэффициент упругости  $\beta$  связи атомов в кристалле алюминия. Принять для алюминия  $\Theta_E = 300$  К.
9. При аннигиляции электрона и позитрона образуются два гамма-фотона. Найти энергию и длину волны каждого из фотонов, если кинетическая энергия электрона и позитрона была много меньше их энергии покоя.

**Вариант №6**

1. Поток излучения абсолютно черного тела  $\Phi_e = 10$  кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda_m = 0,8$  мкм. Определить площадь  $S$  излучающей поверхности.
2. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетового излучения ( $\lambda = 0,25$  мкм). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов  $U_{\min} = 0,96$  В. Определить работу выхода  $A$  электронов из металла.
3. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны  $\lambda = 435$  нм?
4. Масса движущегося электрона в два раза больше его массы покоя. Вычислить дебройлевскую длину волны электрона.
5. Среднее расстояние электрона от ядра в невозбужденном атоме водорода равно 52,9 пм. Вычислить минимальную неопределенность скорости электрона в атоме.
6. Электрон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,1 м. Вычислить отношение разности энергий соседних уровней, соответствующих средней энергии теплового движения электрона при температуре 300 К, к этой энергии.
7. Сопротивление  $R_1$   $p$ - $n$ -перехода, находящегося под прямым напряжением  $U = 1$  В равно 10 Ом. Определить сопротивление  $R_2$  перехода при обратном напряжении.
8. Найти отношение средней энергии  $\langle \epsilon_{\text{кв}} \rangle$  линейного одномерного осциллятора, вычисленной по квантовой теории, к энергии  $\langle \epsilon_{\text{кл}} \rangle$  такого же осциллятора, вычисленной по классической теории. Вычисление произвести для двух температур: 1)  $T = 0,1\Theta_E$ , 2)  $T = \Theta_E$ , где  $\Theta_E$  — характеристическая температура Эйнштейна.
9. Вычислить энергию ядерной реакции  $n + {}^{10}_5\text{B} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$ .

**Вариант №7**

1. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ( $\lambda_{m1} = 780$  нм) на фиолетовую ( $\lambda_{m2} = 390$  нм)?
2. На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,1$  мкм. Красная граница фотоэффекта  $\lambda_0 = 0,3$  мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?
3. В каких пределах  $\Delta\lambda$ , должна лежать длина волн монохроматического света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого света радиус  $r_n$  орбиты электрона увеличился в 16 раз?
4. Чему равна дебройлевская длина волны протона, движущегося со скоростью: а)  $0,05$  с; б)  $0,5$  с ( $c$ —скорость света в вакууме).
5. Среднее время жизни возбужденного состояния атома равно  $12$  нс. Вычислить минимальную неопределенность длины волны  $\lambda=0,12$  мкм излучения при переходе атома в основное состояние.
6. Атом водорода находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $0,1$  м. Вычислить разность энергий соседних уровней, соответствующих средней энергии теплового движения атома при температуре  $300$  К.
7. Найти минимальную энергию  $W_{\min}$ , необходимую для образования пары электрон—дырка в кристалле CaAs, если его удельная проводимость  $\gamma$  изменяется в 10 раз при изменении температуры от  $20$  до  $3^\circ\text{C}$ .
8. Зная, что для алмаза  $\Theta_D = 2000$  К, вычислить его удельную теплоемкость при температуре  $T = 30$  К.
9. Вычислить энергию ядерной реакции  $p+{}^7_3\text{Li} \rightarrow 2{}^4_2\text{He}$ .

**Вариант №8**

1. Определить поглотительную способность  $a_T$  серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром,  $T_{рад} = 1,4$  кК, тогда как истинная температура  $T$  тела равна  $3,2$  кК.
2. На металл падает рентгеновское излучение с длиной волны  $\lambda = 1$  нм. Пренебрегая работой выхода, определить максимальную скорость  $v_{max}$  фотоэлектронов.
3. В однозарядном ионе лития электрон перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить длину волны  $\lambda$  излучения, испущенного ионом лития.
4. Вычислить дебройлевскую длину волны электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов; а)  $500$  В; б)  $500$  кВ.
5. Естественная ширина спектральной линии  $\lambda = 0,55$  мкм, соответствующей переходу атома в основное состояние, равна  $0,01$  пм. Определить среднее время жизни возбужденного состояния атома.
6. Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $l$  в основном состоянии. В каких точках ямы плотность вероятности обнаружения частицы совпадает с классической плотностью вероятности?
7. Сопротивление  $R_1$  кристалла PbS при температуре  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  равно  $10$  Ом. Определить его сопротивление  $R_2$  при температуре  $t_2 = 80^\circ\text{C}$ .
8. Молярная теплоемкость  $C_\mu$  серебра при температуре  $T = 20$  К оказалась равной  $1,65$  Дж/(моль·К). Вычислять по значению теплоемкости характеристическую температуру  $\Theta_D$ . Условие  $T \ll \Theta_D$  считать выполненным.
9. Вычислить энергию ядерной реакции  ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + p$ .

**Вариант №9**

1. Муфельная печь, потребляющая мощность  $P = 1$  кВт, имеет отверстие площадью  $S = 100$  см<sup>2</sup>. Определить долю  $\eta$  мощности, рассеиваемой стенками печи, если температура ее внутренней поверхности равна 1 кК.
2. На металлическую пластину направлен монохроматический пучок света с частотой  $\nu = 7,3 \cdot 10^{14}$  Гц. Красная граница  $\lambda_0$  фотоэффекта для данного материала равна 560 нм. Определить максимальную скорость  $v_{\max}$  фотоэлектронов.
3. Электрон в атоме водорода находится на третьем энергетическом уровне. Определить кинетическую  $T$ , потенциальную  $U$  и полную  $E$  энергию электрона. Ответ выразить в электрон-вольтах.
4. Чему равна дебройлевская длина волны теплового нейтрона, обладающего энергией, равной средней энергии теплового движения при температуре 300 К.
5. Среднее время жизни пи-нуль-мезона составляет  $0,8 \cdot 10^{-16}$  с, а его энергия покоя равна 135 МэВ. Чему равна минимальная погрешность определения массы частицы?
6. Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $l$  в основном состоянии. Чему равно отношение плотности вероятности обнаружения частицы в центре ямы к классической плотности вероятности?
7. Каково значение энергии Ферми  $\epsilon_F$  у электронов проводимости двухвалентной меди? Выразить энергию Ферми в джоулях и электрон-вольтах.
8. Вычислить (по Дебаю) удельную теплоемкость хлористого натрия при температуре  $T = \Theta_D/20$ . Условие  $T \ll \Theta_D$  считать выполненным.
9. Вычислить энергию ядерной реакции  $p + {}^{11}_5B \rightarrow 3{}_2^4He$ .

**Вариант №10**

1. Средняя энергетическая светимость  $R$  поверхности Земли равна  $0,54 \text{ Дж}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Какова должна быть температура  $T$  поверхности Земли, если условно считать, что она излучает как серое тело с коэффициентом черноты  $a_T = 0,25$ ?
2. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроном был рассеян на угол  $\theta = \pi/2$ . Определить импульс  $p$  (в МэВ/с), приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была  $\varepsilon_1 = 1,02 \text{ МэВ}$ .
3. Фотон выбивает из атома водорода, находящегося в основном состоянии, электрон с кинетической энергией  $T = 10 \text{ эВ}$ . Определить энергию  $\varepsilon$  фотона.
4. Средняя кинетическая энергия электрона в невозбужденном атоме водорода равна  $13,6 \text{ эВ}$ . Вычислить дебройлевскую длину волны электрона.
5. Среднее время жизни эта-мезона составляет  $2,4 \cdot 10^{-19} \text{ с}$ , а его энергия покоя равна  $549 \text{ МэВ}$ . Вычислить минимальную неопределенность массы частицы.
6. Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $l$  в первом возбужденном состоянии. В каких точках ямы плотность вероятности обнаружения частицы максимальна, а в каких - минимальна?
7. Прямое напряжение  $U$ , приложенное к  $p$ - $n$ -переходу, равно  $2 \text{ В}$ . Во сколько раз возрастет сила тока через переход, если изменить температуру от  $T_1 = 300 \text{ К}$  до  $T_2 = 273 \text{ К}$ ?
8. Вычислить по теории Дебая теплоемкость цинка массой  $m = 100 \text{ г}$  при температуре  $T = 10 \text{ К}$ . Принять для цинка характеристическую температуру Дебая  $\Theta_D = 300 \text{ К}$ . Условие  $T \ll \Theta_D$  считать выполненным.
9. Вычислить энергию ядерной реакции  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$ .