

OLIMPIADA LA FIZICĂ
etapa raională/municipală/zonală
7-10 martie 2025

Proba teoretică

Timp de lucru: 240 minute

ЗАДАЧА 1

Плоский тонкий лист свинца толщиной $\delta = 2$ mm, окрашенный в черный цвет, постоянно подвергается действию солнечных лучей, падающих перпендикулярно плоскости листа на границе земной атмосферы. Солнечная постоянная, измеренная на границе земной атмосферы $C_0 = 1,4$ kW/m², - это количество энергии Солнца, падающее на единицу площади в единицу времени.

a) Определите промежуток времени t_1 , за который это тело полностью расплавится, предполагая, что оно не отдает тепло и что начальная температура $T_0 = 0$ °C. Как изменится выражение и значение t_1 , если принять коэффициент отражения пластины $R = 0,20$? Как изменится выражение и значение t_1 , если угол падения солнечных лучей на плоскость пластины составит $\alpha = 30^\circ$?

b) Однако пластина теряет тепло за счет излучения, что приведет к термодинамическому равновесию с постоянной температурой T_e . Определите эту температуру.

c) Вычислите электрическую мощность P_E , которую можно получить от Солнца, если обернуть его на уровне орбиты Земли сферой (ее еще называют сферой Дайсона) из фотоэлектрических панелей с КПД $\eta = 0,20$.

d) Зная, что радиус Солнца $R_S = 6,96 \cdot 10^8$ m, а температура его поверхности $T_S = 5770$ K, определите/назовите значение солнечной постоянной на границе земной атмосферы. Какой была бы солнечная постоянная на орбите Марса?

e) Солнечный парус с идеально отражающей поверхностью площадью $S = 5000$ m² выставлен на уровне земной орбиты, но далеко от Земли, так что падающее излучение перпендикулярно плоскости Земли. Выведите выражение и найдите численные значения давления P и силы F , действующих на парус под действием солнечной радиации. Каким должно быть отношение массы солнечного паруса к площади поверхности, подвергающейся воздействию излучения, чтобы солнечный парус, находящийся далеко от других тел или планет, можно было вытолкнуть наружу из любой точки Солнечной системы?

f) Как следует изменить выражения, полученные в пункте (e), чтобы учесть коэффициент отражения и угол падения излучения на солнечный парус?

g) Каким будет выражение для модуля силы, действующей под действием света на прозрачный твердый материал с показателем преломления n и нулевым коэффициентом отражения, помещенный в вакуум, на который под углом α падает излучение лазера с мощностью луча $P_{laser} = 5$ mW?

Во всех приведенных выше случаях получите аналитический ответ, выраженный в терминах соответствующих величин, а там, где это необходимо, и численные ответы с учетом приведенных ниже значений.

Плотность свинца $\rho_{Pb} = 11350$ kg m⁻³, удельная теплоемкость свинца $c_{Pb} = 136$ J kg⁻¹ K⁻¹, удельная теплота плавления свинца $\lambda_{Pb} = 24,3$ kJ kg⁻¹, температура плавления свинца $T_t = 328$ °C.

Средний радиус орбиты Земли $r_T = 150 \cdot 10^6$ km, средний радиус орбиты Марса $r_M = 228 \cdot 10^6$ km, скорость света в вакууме $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s, масса Солнца $M = 1,99 \cdot 10^{30}$ kg, гравитационная постоянная $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ N m⁻²kg⁻².

Это может быть полезно: мощность, излучаемая черным телом с температурой T на единицу площади, определяется законом Стефана Больцмана $P = \sigma T^4$ где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Wm⁻²K⁻⁴)

ЗАДАЧА 2

(10,0 p)

2a) Определите напряженность $\vec{E}(r)$ и потенциал $\varphi(r)$ электрического поля заряженного шара радиуса R . Плотность заряда шара постоянна $\rho = const, r \leq R$.

2b) В заряженном шаре вырезали шаровую полость. Центр шаровой полости O' отстоит от центра шара O на вектор $\vec{a} = OO'$. Ось Ox направлена вдоль вектора \vec{a} . Найдите напряженность поля \vec{E} внутри полости.

2c) Под действием силы F , направленной под углом α к горизонту, брусок массы m движется по горизонтальной плоскости с коэффициентом трения μ . Найдите экстремальное значение силы $F = F_m$, при которой ускорение бруска равно нулю.

Докажите, что при произвольном α модуль силы имеет вид $F(\alpha) = F_m + \Delta F(\text{tg}\alpha, \mu)$.

ЗАДАЧА 3**(10,0 р)**

Основу физики полупроводниковых приборов, являющихся составной частью интегральных схем, составляет теория р-п перехода Shockley, согласно которой плотность тока через р-п переход определяется уравнением плотностью тока

(отношение силы тока к площади поперечного сечения проводника) $j = j_s \left(\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right)$. Здесь e - абсолютная

величина заряда электрона, V - внешнее напряжение, k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, j_s - определяет плотность тока насыщения при обратном смещении $V < 0$. В прямом направлении $V > 0$ ток экспоненциально возрастает. В обратном направлении $V < 0$ ток выходит на насыщение j_s . Величину j_s можно определить из эксперимента.

В неоднородной среде электрический ток обусловлен, как дрейфом в поле $\vec{E}(x)$, так и диффузией носителей заряда. В соответствии с законом Ома и законом Фика электронная плотность тока равна $j_n = e\mu_n n(x)E(x) + eD_n dn/dx$. Здесь μ_n - подвижность электронов, концентрация электронов - $n(x)$. D_n - коэффициент диффузии. Дырки характеризуются параметрами μ_p , $p(x)$, D_p .

3а) Напишите уравнение для плотности тока электронов дырок.

3б). В термодинамическом равновесии для $n(x)$ и $p(x)$ выполняется распределение Больцмана $n(x) = ne^{\left(\frac{e\phi(x)}{kT}\right)}$.

Выведите соотношение Эйнштейна для коэффициентов диффузии для электронов и дырок D_n и D_p . (количественная характеристика скорости диффузии, равная количеству вещества (в массовых единицах), проходящего в единицу времени через участок единичной площади)

3с) Согласно молекулярно-кинетической теории поток электронов, падающий на единицу поверхности р-п перехода в

единицу времени равен $\frac{1}{4} n v_T$. Здесь средняя термодинамическая скорость электронов равна $\left(\frac{8kT}{\pi m_e}\right)^{1/2}$. Однако, эта формула

верна, если все электроны имеют энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера запирающего слоя. При соединении электронного полупроводника с дырочным образуется р-п переход. Электроны из n области диффундируют в p -область. В n области остаются ионизованные положительно заряженные доноры, а в p -области отрицательно заряженные акцепторы. В результате возникает запирающий слой, контактное поле которого направлено из n области в p -область. Контактная разность потенциалов V_0 препятствует потоку электронов.

Найдите плотность электронного тока.