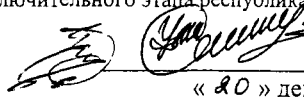


УТВЕРЖДЕНО

Заместитель председателя оргкомитета
заключительного этапа республиканской олимпиады


К.С. Фарино.
« 20 » декабря 2006 года



**Республиканская физическая
олимпиада (III этап)
2007 год
Теоретический тур**

11 класс.

Задача 1. «Взрывная эмиссия»

В данной задаче Вам предстоит исследовать явления, происходящие при эмиссии (по-русски «испускании») электронов поверхностью металла (в данном случае платины) Вам понадобятся некоторые характеристики платины, представленные в таблице

Характеристики платины.

Обозначение	Pt
Молярная масса μ , г/моль	195
Плотность ρ , кг/м ³	21450
Удельная теплоемкость c , Дж/(кг К)	134
Теплопроводность K , Вт/(м К)	71,6
Температура плавления, К	2045
Удельное электрическое сопротивление γ , Ом м	$1,1 \cdot 10^{-7}$

1. Концентрация электронов. (2)

Основными носителями заряда в металлах являются электроны. Оцените концентрацию электронов проводимости в платине, считая, что от каждого атома в зону проводимости перешел один электрон.

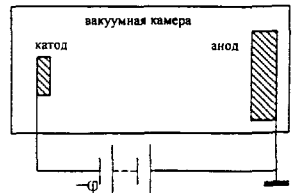
Число Авогадро $N_A = 6,023 \text{ моль}^{-1} \cdot 10^{23}$

2. Электрическое поле

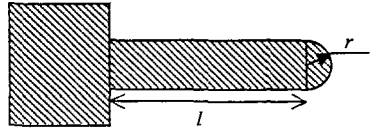
Для того чтобы электрон смог покинуть металл, необходимо ему «помочь», создав, например, электрическое поле у поверхности и/или повысив температуру металла. В частности, это может быть электрическое поле, создаваемое самим металлом, если у него есть какой-то электрический потенциал

Рассмотрим установку, работу которой Вам предстоит исследовать. Она представляет собой металлический анод и платиновый образец-катод, находящиеся в глубоком вакууме. Анод заземлен. Потенциал катода отрицательный и равен $-\phi$

Будем считать, что электроны, вылетевшие с поверхности металла, сразу же уносятся электрическим полем к аноду и никакого влияния на происходящие в установке процессы не оказывают.



На поверхности платинового катода, как бы хорошо она ни была отшлифована, всегда имеются шероховатости, неровности, микровыступы. В случае необходимости, микроострия могут быть созданы специально. Рассмотрим одно такое острие. Оно представляет собой тонкую цилиндрическую иглоточку длиной $l = 500 \mu\text{м}$ и радиусом $r = 10 \mu\text{м}$, заканчивающуюся полусферическим острием такого же радиуса $r = 10 \mu\text{м}$.



К катоду приложен потенциал $-\varphi$. Покажите, что модуль напряженности вблизи острия равен $E \approx \frac{\varphi}{r}$, где r - радиус кривизны острия.

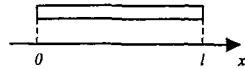
3. Теплопроводность.

Если тело нагрето неравномерно, то возникает перенос тепла из более горячих частей в более холодные, при этом поток теплоты (то есть теплота, переносимая через единичную площадь за единицу времени $q = \frac{\Delta Q}{\Delta S \Delta t}$) определяется законом Фурье

$q = -\kappa \frac{\Delta T}{\Delta x}$, где ΔT - разность температур в близких точках, расстояние между которыми Δx , а коэффициент κ - так называемая теплопроводность вещества. Знак минус подчеркивает, что тепло переносится от частей с большей температурой к частям с меньшей температурой.

Рассмотрим однородный стержень длиной l , площадью поперечного сечения S и теплопроводностью κ .

3.1. Боковая поверхность стержня теплоизолирована. На первом торце ($x=0$) температура поддерживается равной T_0 , на втором ($x=l$) T_1 . Найдите распределение температуры $T(x)$ вдоль стержня. Изобразите примерный график распределения температуры.



3.2. Весь стержень теплоизолирован, кроме торца $x=0$, на котором поддерживается температура T_0 . Найдите распределение температуры вдоль стержня. Изобразите примерный график этой зависимости.

3.3. Пусть в единицу объема стержня в единицу времени выделяется теплота w (ещё её можно назвать плотностью мощности тепловыделения). Весь стержень теплоизолирован, кроме торца $x=0$, который поддерживается при постоянной температуре T_0 . Покажите, что распределение температуры вдоль стержня $T(x) = T_0 + \frac{w}{\kappa} x(l - \frac{x}{2})$. Чему равна температура торца ($x=l$) T_1 ?

3.4. Стержень сделан из металла с удельным сопротивлением γ и по нему течет ток плотностью j . Весь стержень теплоизолирован, кроме торца $x=0$, который поддерживается при постоянной температуре T_0 . Найдите температуру торца ($x=l$) T_1 .

4. Эмиссия электронов.

Вернемся к платиновому образцу. Если потенциал металла отрицательный, то вблизи поверхности металла создается электрическое поле, которое помогает электронам покинуть металл. Плотность тока с поверхности металла зависит от

напряженности электрического поля E и температуры T , причем зависимость эта достаточно сложная, но в интересующем нас диапазоне напряженностей и температур её можно аппроксимировать следующим образом

$$j(T) = \begin{cases} a, & T < b \\ a + k(T - b), & T \geq b \end{cases}$$

причем сами коэффициенты a, b, k зависят от напряженности электрического поля

$$a = a_1 \exp(a_2 E)$$

$$b = b_1 - b_2 E$$

$$k = k_1 \exp(k_2 E)$$

$a_1 = 2,60 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2$	$b_1 = 1983 \text{ К}$	$k_1 = 319 \text{ А/м}^2 \text{ К}$
$a_2 = 1,01 \cdot 10^{-9} \text{ м/В}$	$b_2 = 1,67 \cdot 10^{-8} \text{ К} \cdot \text{м/В}$	$k_2 = 9,39 \cdot 10^{-10} \text{ м/В}$

4.1. Изобразите примерный график зависимости плотности тока от температуры $j(T)$ при отсутствии электрического поля. Как изменится этот график, при наличии электрического поля?

4.2. К катоду приложили отрицательный потенциал по абсолютной величине равный 50 кВ . Определите установившуюся температуру T_1 острия платиновой иглолочки. Основание иглолочки поддерживается при температуре $T_0 = 300 \text{ К}$, вся остальная иглолочка теплоизолирована (потери на излучение можно пренебречь). Считайте, что эмиссия электронов происходит только с полусферического острия иглолки.

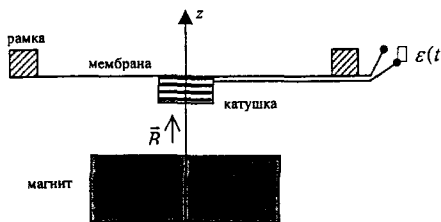
4.3. Если температура острия достигает температуры плавления, то происходит его разрушение – быстрое испарение в вакуум. Определите критический потенциал $\varphi_{кр}$, т.е. максимальный потенциал, который можно приложить к катоду, чтобы ещё не произошло разрушение острия иглолочки.

4.4. К катоду приложили отрицательный потенциал, по величине равный $\varphi = 130 \text{ кВ}$. Чему равна плотность тока сразу после включения? Найдите время после включения, через которое произойдет взрыв иглолочки.

Задача 2 «Динамику»

В данной задаче Вам предстоит рассмотреть работу простейшего динамического громкоговорителя (проще говоря, динамика).

Динамик представляет собой тонкую круглую упругую мембрану радиусом $r_d = 10,0 \text{ см}$, края которой жестко закреплены в круглой металлической рамке. К центру мембраны приклеена маленькая круглая проволочная катушка радиусом $r = 10,0 \text{ мм}$, числом витков $N = 100$, индуктивностью $L = 1,0 \text{ мкГн}$ и сопротивлением $R = 4,0 \text{ Ом}$. Масса катушки $m = 50,0 \text{ г}$ (масса мембраны гораздо меньше массы катушки). Катушка может совершать вместе с мембраной колебания в вертикальной плоскости, причем собственная частота колебаний (т.е. частота колебаний в вакууме) равна $f_0 = 30 \text{ Гц}$. При колебаниях в



воздухе мембрана создает звуковые волны, при этом на нее действует сила сопротивления, пропорциональная мгновенной скорости движения катушки $F_{\text{сопр}} = -\beta v$, Коэффициент $\beta = \frac{2\gamma P_0 S}{c}$, где $\gamma = \frac{7}{5}$ - показатель адиабаты, $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ - атмосферное давление, $c = 333 \text{ м/с}$ - скорость звука в воздухе, S - площадь мембраны Силы вязкого трения считайте пренебрежимо малыми

Проволочная катушка находится в магнитном поле постоянного магнита, при этом ось катушки и ось симметрии магнитного поля совпадают Вертикальная составляющая индукции магнитного поля вблизи катушки равна $B_z = B_0(1 - \alpha z)$, причем коэффициенты $B_0 = 1,0 \text{ Тл}$, $\alpha = 100 \text{ м}^{-1}$, а координата z отсчитывается от положения равновесия катушки

1. Через катушку протекает постоянный ток I Найдите силу F_A , действующую на катушку со стороны магнитного поля
2. К катушке приложили ЭДС, изменяющуюся по закону $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t$ Найдите амплитуду установившихся колебаний катушки A Изобразите примерный график зависимости $A(\omega)$ Определите амплитуду колебаний при частоте переменного напряжения $f = 30 \text{ Гц}$ и амплитуде $\varepsilon_0 = 1 \text{ В}$
3. К катушке приложили ЭДС, изменяющуюся по закону $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t$ Найдите среднюю звуковую мощность $P_{\text{зв}}$, излучаемую динамиком Определите максимальную звуковую мощность $P_{\text{зв max}}$, если амплитуда напряжения $\varepsilon_0 = 1 \text{ В}$ На какой частоте она достигается? Оцените максимальный КПД η_{max} динамика Определите рабочий диапазон динамика Изобразите примерный график зависимости звуковой мощности от частоты переменного напряжения $P_{\text{зв}}(\omega)$ (или $P_{\text{зв}}(f)$)

Примечания.

1 В данной задаче приняты следующие обозначения для частот

f - циклическая частота (измеряется в Гц),

ω - угловая частота (измеряется в с^{-1})

$$\omega = 2\pi f$$

2 КПД динамика – отношение излучаемой звуковой мощности к потребляемой электрической мощности

3 Рабочий диапазон динамика – интервал частот на границах которого мощность в 2 раза меньше максимальной мощности

4 Человеческое ухо способно воспринимать звук частотой от 20 Гц до 20000 Гц