

Условие

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.

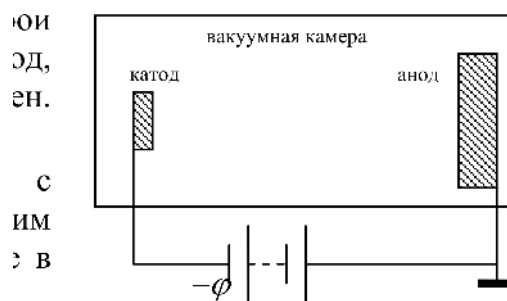
Обозначение	Pt
Молярная масса μ , г/моль	195
Плотность ρ , кг/м ³	21450
Удельная теплоемкость c , Дж/(кг К)	134
Теплопроводность κ , Вт/(м К)	71,6
Температура плавления, К	2045
Удельное электрическое сопротивление γ , Ом м	$1,1 \cdot 10^{-7}$

1. Концентрация электронов. 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 $N_A = 6,023 \text{ моль}^{-1}$.

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.

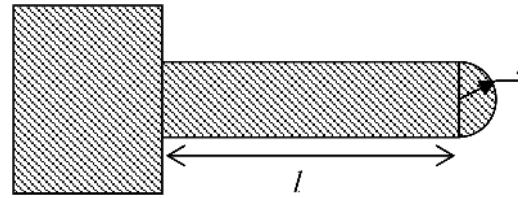


Рассмотрим установку, работу которой Вам предстоит исследовать. Она представляет собой металлический анод и платиновый образец-катод, находящиеся в глубоком вакууме. Анод заземлен. Потенциал катода отрицательный и равен $-\varphi$.

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.



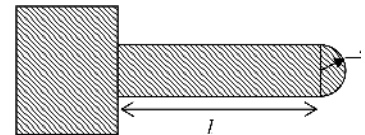
На поверхности платинового катода, как бы хорошо она ни была отшлифована, всегда имеются шероховатости, неровности, микровыступы. В случае необходимости, микроострия могут быть созданы специально. Рассмотрим одно такое острие. Оно представляет собой тонкую цилиндрическую иглочку длиной $l = 500$ мкм и радиусом $r = 10$ мкм, заканчивающуюся полусферическим острием такого же радиуса $r = 10$ мкм. 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 единице 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_l ? **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_l .

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_l 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.