

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

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

$$b = b_1 - b_2 E$$

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

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

**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  $50 \text{ кВ}$ . Определите установившуюся температуру  $T_l$  острия платиновой иглолочки. Основание иглолочки поддерживается при температуре  $T_0 = 300 \text{ K}$ , вся остальная иглолочка теплоизолирована (потери на излучение можно пренебречь). Считайте, что эмиссия электронов происходит только с полусферического острия иглолочки.

**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.

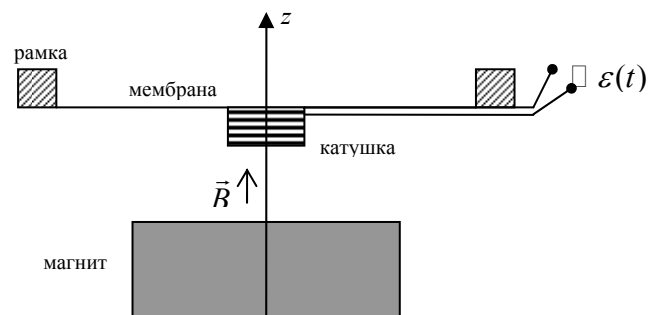
**4.4.** К катоду приложили отрицательный потенциал, по величине равный  $\varphi = 130 \text{ кВ}$ . Чему равна плотность тока сразу после включения? Найдите время после включения, через которое произойдет взрыв иглолочки.

## Задача 2 «Динамик»

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  $\gamma = 7/5$  - 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  $\eta_{\text{max}}$  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),  
 $\omega$  - угловая частота (измеряется в  $\text{с}^{-1}$ ).  
 $\omega = 2\pi f$
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  $20 \text{ Гц}$  до  $20000 \text{ Гц}$ .