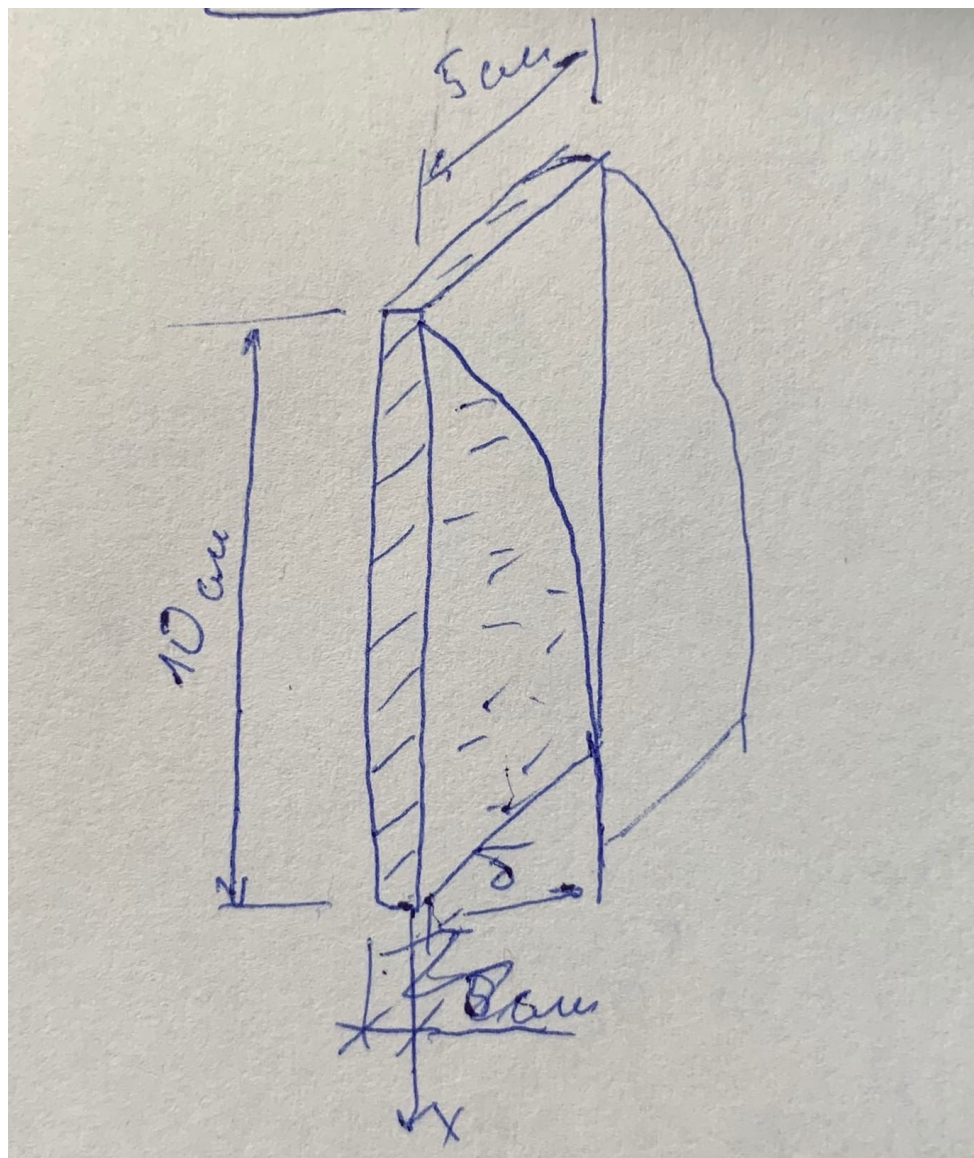


Условие задачи

На вертикальной поверхности тонкой медной пластины длиной 10 см и шириной 5 см криогенной холодильной машиной поддерживается режим постоянства отводимого теплового потока. Производительность машины – 50 Вт. На внешней поверхности пластины осуществляется пленочная ламинарная конденсация аргона при атмосферном давлении. Определите толщину пленки конденсата в нижней части пластины и распределение температуры вдоль нее. Найдите скорости движения пара и жидкости вблизи границы раздела фаз.



при 1 атм

$$T = 87 \text{ K}$$

$$\rho_n = 5,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_m = 1391 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\tau = 159,6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^2}$$

$$\lambda_n = 5,78 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_m = 0,1752 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\nu_n = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}$$

$$\nu_m = 8,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{с}$$

$$Q = q F$$

$$q = \lambda \Delta t = z \cdot j$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta T$$

$$\frac{d\delta}{\delta x} = \frac{\lambda \Delta T \nu}{z g \delta^3 \rho} \Rightarrow \frac{\delta^4}{4} = \frac{\lambda \Delta T \nu}{z g \rho} + C$$

$\text{при } \delta_{x=0} = 0 \Rightarrow C = 0$

$$\Rightarrow \delta = \sqrt[4]{\frac{4 \lambda \Delta T \nu}{z g \rho} x}$$

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{50}{100,1 \cdot 0,05} = 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$j = \frac{q}{z} = \frac{10^4}{160 \cdot 10^3} = 0,0625 \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

T.K $q = 10^4 \text{ st}$

$$\frac{\Delta T}{\delta} = \frac{q}{\lambda} = \frac{10^4}{0,18} = 5,5 \cdot 10^4 \frac{\text{K}}{\mu}$$

$$\Delta T = \frac{q \cdot \delta}{\lambda} = \frac{q}{\lambda} \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \lambda \Delta T D}{\alpha g \rho}}$$

$$\Rightarrow \Delta T^{3/4} = \frac{q}{\lambda} \sqrt[4]{\frac{4 \lambda D}{\alpha g \rho}} = \frac{10^4}{0,18} \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 0,18 \cdot 8,4 \cdot 10^{-5}}{160 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 1391}} = ~~22,0~~ 12,7 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \Delta T = 29,3 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \delta = \frac{\Delta T}{5,5 \cdot 10^4} = \frac{29,3}{5,5 \cdot 10^4} = 0,00053 = ~~5,3 \cdot 10^{-4}}~~ 0,53 \cdot 10^{-3} = 0,53 \text{ mm}$$

$$\text{ЗСМ: } \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial p w_k}{\partial x_k} = 0 \Rightarrow \rho \frac{\partial w_k}{\partial x_k} = 0, j = \rho'' w'$$

$$\text{ЗСЧ: } \mu \frac{\partial^2 y}{\partial y^2} + \rho g y = 0$$

$$u(y) = \frac{\rho g}{\mu} \cdot y \left(\delta - \frac{y}{2} \right) \Rightarrow u(\delta) = \frac{\rho g \delta^2}{2\mu}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{\delta} \int_0^\delta u dy = \frac{\rho g \delta^2}{3\mu}$$

Массовый расход в начале: $G_1 = \rho \bar{u} \delta$

в конце: $G_2 = j \cdot \Delta x$

$$G_1 = G_2 \Rightarrow dG_1 = dG_2 \Rightarrow \rho \bar{u} d\delta = j dx$$

$$\frac{\rho^2 g \delta^2}{3\mu} d\delta = j dx \Rightarrow \delta^2 d\delta = \frac{j \cdot 3\mu}{\rho^2 g} dx \Rightarrow$$

$$\int \delta^2 d\delta = \int \frac{j \cdot 3\mu}{\rho^2 g} dx \Rightarrow \frac{\delta^3}{3} = \frac{j \cdot 3\mu}{\rho^2 g} x \Rightarrow \delta = \sqrt[3]{\frac{3\mu j}{\rho^2 g} x}$$

$$\Rightarrow \delta(x) = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{\rho^2 g}} \cdot \sqrt[3]{x} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^4 \cdot 8,4 \cdot 10^{-5}}{160 \cdot 10^3 \cdot 1391^2 \cdot 10}} \cdot \sqrt[3]{x} = 1,04 \cdot \sqrt[3]{x} \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$\delta(0,1) = 1,04 \sqrt[3]{0,1} \cdot 10^{-5} = 6,96 \cdot 10^{-6} \text{ м} \quad 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{L} \int_0^L \delta dx = \frac{1}{L} \int_0^L \sqrt[3]{\frac{3\mu j}{\rho^2 g}} \cdot \sqrt[3]{x} dx = \frac{1}{L} \cdot \sqrt[3]{\frac{3\mu j}{\rho^2 g}} \cdot \frac{3}{4} \sqrt[3]{x^4} \Big|_0^L = \frac{3}{4} \sqrt[3]{\frac{3\mu j}{\rho^2 g} L} =$$

$$= \frac{3}{4} \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^4 \cdot 8,4 \cdot 10^{-5}}{160 \cdot 10^3 \cdot 1391^2 \cdot 10}} \cdot 0,1 = 3,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{q \cdot \delta}{\lambda} = \frac{q}{\lambda} \sqrt[3]{\frac{3\mu j}{\rho^2 g} x} = \frac{10^4}{0,18} \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^4 \cdot 8,4 \cdot 10^{-5}}{160 \cdot 10^3 \cdot 1391^2 \cdot 10}} \cdot x = \frac{2,4}{5,2} \cdot \sqrt[3]{x} \text{ К}$$

$$T_{\text{ра стемн}}: T_w = T_s - \Delta T = T_s - \frac{q}{\lambda} \sqrt[3]{\frac{3\mu j}{\rho^2 g} x} = 87 - \frac{2,4}{5,2} \cdot \sqrt[3]{x} \text{ К}$$

$$\Delta T(0,1) = \frac{1,1}{2,4} \text{ К}$$

$$T_w(0,1) = 84,6 \text{ К} \quad 85,9 \text{ К}$$

• Скорость движения границы раздела фаз:

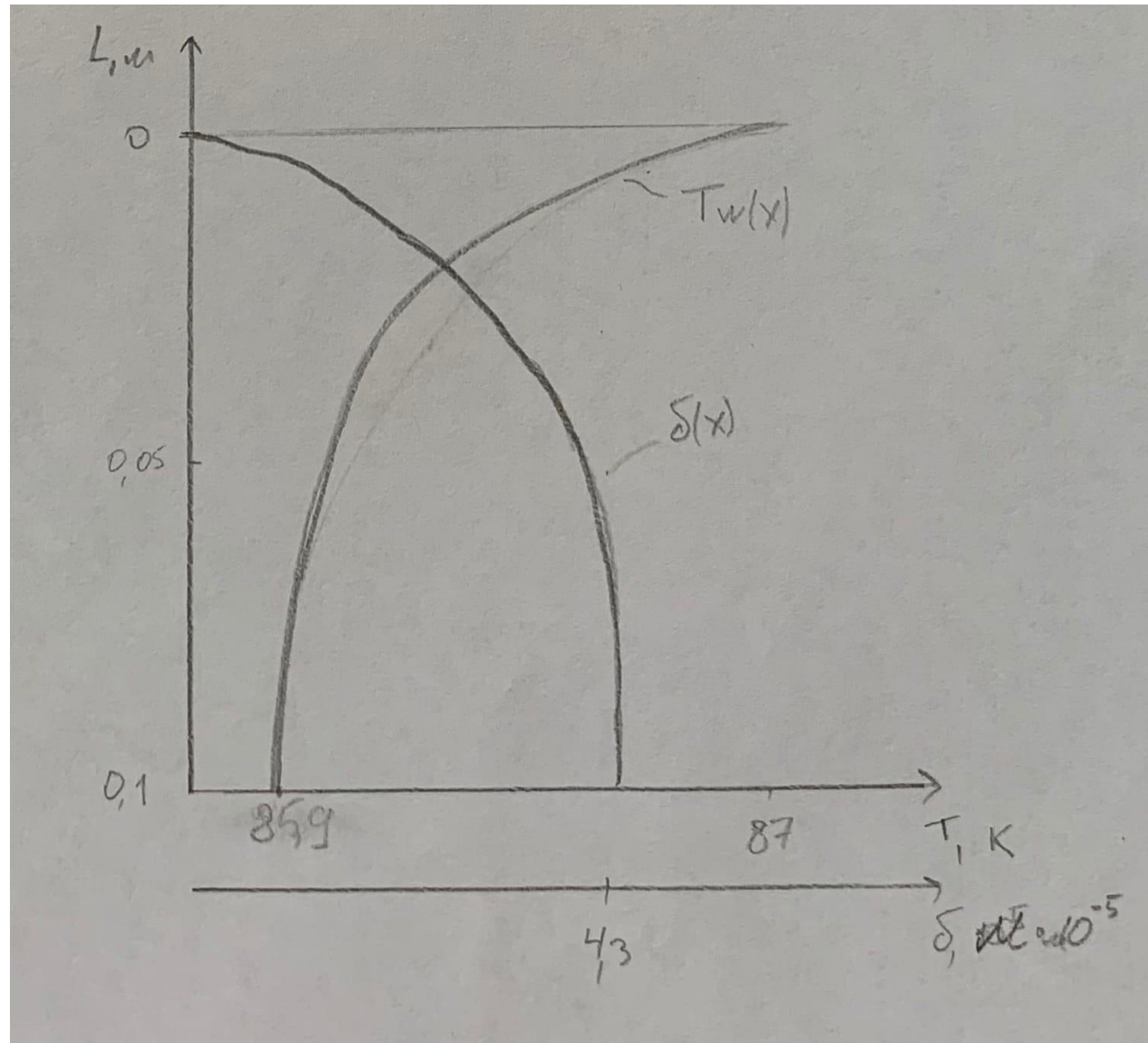
$$u(\bar{\delta}) = \frac{\rho g \bar{\delta}^2}{2\mu} = \frac{1391 \cdot 10 \cdot (3,25 \cdot 10^{-5})^2}{2 \cdot 84 \cdot 10^{-5}} = 0,09 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

В нижней части массовый

$$u(\delta) = \frac{\rho g \delta^2}{2\mu} = \frac{1391 \cdot 10 \cdot (4,3 \cdot 10^{-5})^2}{2 \cdot 8,4 \cdot 10^{-5}} = 1,9 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad 0,15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

• Скорость движения пара:

$$w'' = \frac{j}{\rho''} = \frac{0,0625}{5,8} = 0,011 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



Ответ:

- Толщина плёнки в нижней части машины $\delta = 4,3 \cdot 10^{-5}$ м
- Распределение T -ов вдоль стержня: $T_w(x) = 87 - 2,4 \cdot \sqrt{x}$ (от 85,9 K до 87 K)
- Скорости движения пара: $w'' = 0,011 \frac{м}{с}$; w''_{\perp}
- Скорости движения ж-тж: Внизу грани раздела фаз: $u = 0,09 \frac{м}{с}$
В нижней части машины: $u = 0,15 \frac{м}{с}$
В верхней части машины u очень мала, $u \approx 0 \frac{м}{с}$