

1. Spočítejte vakuovou vodivost dlouhé trubice s průměrem $D = 40$ mm a délkou $L = 1$ m, pro vzduch a teplotu 293 K. Na koncích trubice jsou tlaky
- a) $P_1 = 1$ kPa , $P_2 = 2$ kPa;
 - b) $P_1 = 1 \times 10^{-2}$ Pa , $P_2 = 1 \times 10^{-1}$ Pa.

Řešení:

a) $P_S D = 0,04 \times 1500$ [m \times Pa] = 60 > 0,662 [m \times Pa] \Rightarrow proudění laminární, vakuová vodivost pro dlouhou trubici pro vzduch a teplotu 293 K je

$$G_L = 1358 P_S \frac{D^4}{L}$$

Výsledek $G_L \doteq 5,2$ m³/s

b) $P_S D = 0,04 \times 0,055$ [m \times Pa] = 0,0022 < 0,0066 [m \times Pa] \Rightarrow proudění molekulární, vakuová vodivost pro dlouhou trubici pro vzduch a teplotu 293 K je

$$G_T = 121 \frac{D^3}{L}$$

Výsledek $G_T \doteq 0,0077$ m³/s

vakuová vodivost vstupního otvoru pro vzduch a teplotu 293 K je

$$G_O = 115,6A$$

Výsledek $G_O \doteq 0,145$ m³/s

Celková vakuová vodivost $G = \frac{G_O G_T}{G_O + G_T} \doteq 0,0073$ m³/s

2. Spočítejte vakuovou vodivost krátké trubice s průměrem $D = 0,15$ m a délkou $L = 0,2$ m, pro vzduch a teplotu 293 K, pro molekulární proudění.

Řešení:

Vakuová vodivost pro trubici pro vzduch a teplotu 293 K je

$$G_T = 121 \frac{D^3}{L}$$

Výsledek $G_T \doteq 2,04 \text{ m}^3/\text{s}$

Vakuová vodivost vstupního otvoru pro vzduch a teplotu 293 K je

$$G_O = 115,6A$$

Výsledek $G_O \doteq 2,04 \text{ m}^3/\text{s}$

Celková vakuová vodivost $G = \frac{G_O G_T}{G_O + G_T} \doteq 1,02 \text{ m}^3/\text{s}$

3. Turbomolekulární vývěva s čerpací rychlostí $S_1 = 300$ L/s pro vzduch, má hrdlo DN 100 ISO-K s průměrem 100 mm, připojíme ji pomocí trubice s průměrem $D = 100$ mm a délkou $L_0 = 200$ mm k vakuové komoře. Jakou efektivní čerpací rychlostí S_2 budeme čerpat vakuovou komoru? Předpokládáme molekulární proudění plynu, vzduch a teplotu 293 K.

Řešení:

Vakuová vodivost krátké trubice pro molekulární proudění je $G \doteq 363$ L/s.

Na koncích trubice mějme tlaky p_1, p_2 ; $p_2 > p_1$ a objemové rychlosti S_1, S_2 . Pak pro proud plynu platí:

$$I = G(p_2 - p_1), \quad I = p_1 S_1, \quad I = p_2 S_2$$

$$p_2 - p_1 = \frac{I}{G}, \quad p_2 = \frac{I}{S_2}, \quad p_1 = \frac{I}{S_1}$$

$$\frac{1}{G} = \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1}$$

$$S_2 = S_1 \frac{1}{1 + \frac{S_1}{G}} \Rightarrow S_2 < S_1$$

Výsledek: efektivní čerpací rychlost komory je $S_2 \doteq 164$ L/s

4. Ve vakuové komoře chceme udržet tlak $p_2 = 10^{-1}$ Pa. Komoru čerpáme vývěvami řazenými do série. Sekundární vývěva má čerpací rychlost $S_2 = 2000 \text{ Ls}^{-1}$ a potřebuje předčerpat na tlak $p_1 = 10$ Pa. Jakou minimální čerpací rychlost S_1 musí mít primární vývěva?

Řešení:

Pro proud plynu platí: $I = p_1 S_1$, $I = p_2 S_2$

$$p_1 S_1 = p_2 S_2$$

Výsledek: $S_1 = 20 \text{ Ls}^{-1} = 72 \text{ m}^3/\text{h}$

5. Vakuová komora má tvar koule s průměrem $D = 75$ cm. Určete efektivní čerpací rychlost komory, když měříme manometrem změnu tlaku a v čase $t_1 = 0,66$ min je tlak v komoře $p_1 = 491,6$ mbar a v čase $t_2 = 4,95$ min je tlak v komoře $p_2 = 0,52$ mbar.

Řešení:

Pro efektivní čerpací rychlost v časovém intervalu $\Delta t = t_2 - t_1$ platí vztah:

$$S = \frac{V}{\Delta t} \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right)$$

kde V je objem aparatury.

Výsledek: $S \doteq 21,2$ m³/h

6. Vakuová komora má objem $V = 1 \text{ m}^3$, vnitřní povrch $A = 6 \text{ m}^2$, čerpáme ji pomocí rotační olejové vývěvy s čerpací rychlostí $S_1 = 16 \text{ m}^3/\text{h}$ a turbomolekulární vývěvy s čerpací rychlostí $S_2 = 200 \text{ L/s}$. Jak dlouho bude trvat než komoru vyčerpáme z atmosférického tlaku 1013 hPa na tlak 10^{-6} hPa ?

Řešení:

celkový čas čerpání je součtem tří časů $t = t_1 + t_2 + t_3$,

t_1 je čas kdy čerpá jen rotační olejová vývěva z tlaku $p_1 = 1013 \text{ hPa}$ na tlak $p_2 = 0,1 \text{ hPa}$

$$t_1 = \frac{V}{S_1} \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \doteq 35 \text{ min}$$

t_2 je čas kdy čerpá rotační olejová vývěva i turbomolekulární vývěva z tlaku $p_2 = 0,1 \text{ hPa}$ na tlak $p_3 = 10^{-4} \text{ hPa}$

$$t_2 = \frac{V}{S_2} \ln \left(\frac{p_2}{p_3} \right) \doteq 0,6 \text{ min}$$

t_3 je čas kdy čerpá rotační olejová vývěva i turbomolekulární vývěva z tlaku $p_3 = 10^{-4} \text{ hPa}$ na tlak $p_4 = 10^{-6} \text{ hPa}$, při těchto tlacích musíme zohlednit desorpci plynu z vnitřního povrchu vakuové komory:

$$t_3 = \frac{q_{des} A t_0}{S_2 p_4} \doteq 360 \text{ min}$$

$q_{des} = 2 \times 10^{-8} \frac{\text{hPaL}}{\text{scm}^2}$ je desorpční proud z 1 cm^2 pro nerezovou ocel, $t_0 = 1$ hodina, čas od začátku čerpání, q_{des} je závislý na čase, čím déle se čerpá tím je tento koeficient nižší.

Výsledek: Celkový čas čerpání je asi $t \doteq 6 \text{ h } 36 \text{ min}$.

7. Kolik gramů vody je ve 1 m^3 vzduchu při relativní vlhkosti 40% a teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$?

Řešení:

Tenze par vody při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ je $P_p = 2330 \text{ Pa}$. Parciální tlak vodní páry při relativní vlhkosti 40% je $p = 0,4 \times P_p = 932 \text{ Pa}$.

$$p = nkT \Rightarrow n = \frac{p}{kT}$$

hmotnost vody v 1 m^3 vzduchu je $m = nVM_0m_u$, $M_0 = 18$, m_u je hmotnostní jednotka

Výsledek: $m \doteq 6,9 \text{ g}$

8. Kdy bude docházet ke kondenzaci vodní páry v rotační olejové vývěvě? Pracovní teplota vývěvy je $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, vzduch ve vakuové komoře má teplotu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost 40%.

Řešení:

Ke kondenzaci ve vývěvě dochází pokud

$$P_p K > P_r$$

kde $P_p = 0,4 \times P_{r1}$ je parciální tlak vodní páry, $P_r = 21280\text{ Pa}$ tenze vodní páry při pracovní teplotě vývěvy, $P_{r1} = 2330\text{ Pa}$ tenze vodní páry při teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $K = \frac{P_{atm}}{P_{vstup}}$ kompresní poměr, $P_{atm} = 10^5\text{ Pa}$

$$P_p \frac{P_{atm}}{P_{vstup}} > P_r \Rightarrow P_{vstup} < \frac{P_{atm} P_p}{P_r}$$

Výsledek: Ke kondenzaci dochází při vstupním tlaku nižším než 4,4 kPa.

9. Jak velké urychlovací napětí potřebujeme pro měření He v statickém hmotnostním spektrometru s kruhovými drahami? Pokud poloměr dráhy je 10 mm, magnetické pole

$$B = 0,4 \text{ T}, M_{He} = 4; e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}; m_u = 1,660 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Řešení:

Vycházíme ze základních rovnic pro pohyb ionizované částice v magnetickém poli:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU$$

$$\frac{mv^2}{r} = evB$$

Pro napětí se dá odvodit vztah:

$$U = B^2 r^2 \frac{e}{2M_{He}m_u}$$

Výsledek: Urychlovací napětí je $U \doteq 193 \text{ V}$.

10. Máme hmotnostní spektrometr typu TOF, s délkou $L = 1$ m, urychlovacím napětím $U = 40$ V a chceme měřit Ar^+ a N^+ . Jaké zpoždění naměříme pro tyto ionty než proletí separátorem iontů? $M_{\text{Ar}} = 40$, $M_{\text{N}} = 14$

Řešení:

Vycházíme ze základní rovnice:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU$$

čas který iont potřebuje než urazí dráhu L :

$$t = \frac{L}{v}$$

Výsledek: Pro Ar^+ je zpoždění asi $7,1 \times 10^{-5}$ s,
pro N^+ je zpoždění asi $4,2 \times 10^{-5}$ s

11. Kalibrovaná heliová netěsnost dává proud plynu $I = 10^{-7} \text{ Pam}^3\text{s}^{-1}$, tlak v kalibrované netěsnosti je $P_1 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$, objem netěsnosti je $V = 1 \text{ L}$. Za jak dlouho poklesne tlak v netěsnosti na hodnotu $P_2 = 0,95 \times P_1$?

Řešení:

$$\Delta t = \frac{V}{S} \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

S můžeme odhadnout jako $S = \frac{I}{P_1}$

Výsledek: Tlak poklesne asi za 3,17 let.