

Praktikum z vakuové fyziky

Úloha 1: Měření vodivosti vakuových spojů

Úvod

Cílem této úlohy je naměřit vakuovou vodivost dlouhé trubičky a použít vhodný vztah pro výpočet vodivosti této trubice, dle typu proudění.

Aparatura je čerpána rotační olejovou vývěvou. Dále ji tvoří zařízení pro ovládání vývěvy a elektronika pro manometry. O měření tlaku se starají dva kapacitní manometry o různých rozsazích a jeden diferenciální kapacitní manometr. Součástí aparatury je olejová byreta a na ni připevněná dvě čidla, které pomocí vychýlení laserového paprsku zaznamenají pohyb oleje v trubici.

Vztah pro výpočet středního tlaku je následující

$$P_S = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad (1)$$

kde P_1 odpovídá tlaku na začátku a P_2 tlaku na konci.

Objemovou rychlost proudění můžeme určit pomocí vztahu

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2)$$

kde ΔV odpovídá rozdílu objemů na konci a na začátku a Δt odpovídá časovému rozdílu.

Vztah pro výpočet vodivosti při molekulárním proudění pro dlouhou trubici

$$G_M = 121 \frac{D^3}{L} \quad (3)$$

kde D je průměr trubičky a L je délka trubičky.

Vztah pro výpočet vodivosti při laminárním proudění pro dlouhou trubicí

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

kde P_S je střední tlak, D je průměr trubičky a L je délka trubičky.

Vztah pro výpočet měřené vodivosti, přes objemovou rychlost proudění a tlak

$$G = \frac{SP_{atm}}{P_1 - P_2}, \quad (5)$$

kde S je objemová rychlost proudění kapaliny, P_{atm} je atmosférický tlak.

Vztah pro výpočet Knudsenova čísla

$$K_n = \frac{\lambda}{D} = \frac{kT}{PD\sqrt{2}\pi d^2} \quad (6)$$

kde λ je střední volná dráha, P je tlak, D je průměr trubičky, d je průměr molekuly vzduchu, k je Boltzmannova konstanta a T je teplota plynu v Kelvinech.

Objem vakuové aparatury můžeme určit pomocí vztahu

$$R_e = \frac{D\rho u}{\eta} \quad (7)$$

kde D je průměr trubičky, ρ je hustota kapaliny, u je rychlost proudění kapaliny a η je dynamická viskozita kapaliny.

Knudsenovo číslo určuje hranici mezi laminárním a molekulárním prouděním:

- $K_n < 0.01$ turbulentní nebo laminární proudění
- $K_n > 1$ molekulární proudění
- $0.01 < K_n < 1$ přechodová oblast (Knudsenovo proudění)

Reynoldsovo číslo určuje hranici mezi turbulentním a laminárním prouděním:

- $R_e > 2200$ turbulentní proudění
- $R_e < 1200$ laminární proudění
- $1200 < R_e < 2200$ přechodová oblast

Kontrolní otázky

- Při jakém typu proudění je vakuová vodivost trubice nezávislá na tlaku?
- Proč při teoretickém výpočtu vakuové vodivosti trubice zanedbáváme vakuovou vodivost vstupního otvoru?
- Jaká je systematická chyba měření proudu plynu pomocí olejové byrety?

Úkoly a pracovní postup

- Prohlédněte si aparaturu a seznamte se s jejím ovládáním.
- Vypočítejte Knudsenovo číslo dle vztahu (6).
- Vypočítejte Reynoldsovo číslo dle vztahu (7).
- Pomocí jehlového ventilu nastavte rozdíl tlaků a počkejte na ustavení dynamické rovnováhy. Spusťte stisknutím a krátkým podržením červeného tlačítka měření objemové rychlosti proudění plynu pomocí olejové byrety.
- Toto opakujte pro každý rozdíl tlaků 5x. Tlačítko pro spuštění záznamu měření můžete spustit až poté, co se na displeji objeví OFF OFF. Změřte pro 5 různých rozdílů tlaků, takže výsledkem experimentu bude 25 hodnot času. Změřený čas odpovídá času, za který olej vyplní trubici (prostor od prvního čidla k druhému). Zavření a následné otevření elektroventilu řídí elektronika skládající se z modulu Arduino Uno. Modul Arduino Uno ovládá olejovou byretu a funguje jako stopky. Objem plynu, který proudí do aparatury, je $3,4 \text{ cm}^3$.
- Z naměřených hodnot spočítejte vodivost G , dle vztahu (5), G_L a G_M
- Porovnejte teoreticky vypočítané hodnoty vodivosti s těmi získanými experimentálně v tabulce a grafu.