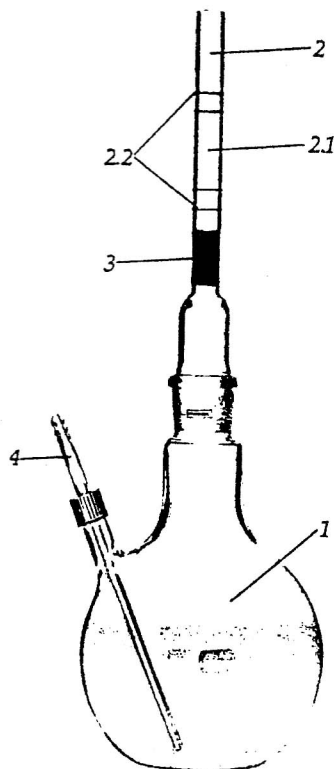


V plynovom oscilátore zmerajte dobu kmitu valčeka a výpočtom stanovte Poissonovu konštantu  $\kappa$  pre daný plyn.

### TEORETICKÝ ÚVOD



Plynový oscilátor pozostáva zo sklenenej nádoby 1, precíznej trubky 2, cylindrického kmitajúceho telieska 3 a z prívodnej trubky 4 (viď obr.).

Na dosiahnutie stabilných netlmených kmitov je potrebné, aby sa tlak plynu v trubici 2 (aj v nádobe 1) udržiaval na konštantnej úrovni (na úrovni atmosferického tlaku) tým, že straty cez netesnosti medzi valčekom a stenou trubky a cez otvor v trubke sa neustále dopĺňajú čerpadielkom alebo zo zásobníka plynu.

Nech sa valček najprv nachádza pod otvorom v stene trubky. Stálym prítokom plynu sa v banke vytvorí mierny pretlak, ktorý spôsobí pohyb valčeka smerom nahor. Akonáhle valček svojou spodnou hranou odkryje otvor v trubici, tlak plynu klesne a klesne aj valček. Pri kontinuálnom prívode plynu do banky stúpa a klesá valček periodicky. Týmto spôsobom sú vlastné kmity systému udržiavané vynútenými, fázovo synchronnými excitáciami.

Ak sa teliesko - valček výchýli z rovnovážnej polohy o vzdialenosť  $x$ , zmení sa tlak  $p$  o hodnotu  $\Delta p$  a platí pohybová rovnica

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \pi r^2 \Delta p \quad (1)$$

Takáto sila pôsobí na teliesko s hmotnosťou  $m$  a polomerom podstavy  $r$ .

Pretože kmitanie valčeka je pomerne rýchle, môžeme proces, ktorý prebieha pri úniku plynu cez otvor v trubke považovať za adiabatický dej a použiť rovnicu

$$p V^{\kappa} = \text{konšt}$$

Keď túto rovnicu derivujeme podľa  $V$ , dostaneme

$$\frac{dp}{dV} V^{\kappa} + p \kappa V^{\kappa-1} = 0$$

a z nej

$$dp = - \frac{p \kappa V^{\kappa-1}}{V} dV = - \frac{p \kappa}{V} dV$$

Pre konečné zmeny  $\Delta V$  a  $\Delta p$  dostaneme vzťah

$$\Delta p = - \frac{p \mathcal{H}}{V} \Delta V \quad (2)$$

kde

$$\Delta V = \pi r^2 x \quad (3)$$

Dosadením vzťahov (2) a (3) do (1) dostaneme

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\mathcal{H} \pi^2 r^4}{V} p x = 0 \quad (4)$$

čo je diferenciálna rovnica netlmeného harmonického oscilátora.  
Keď položíme

$$\frac{\mathcal{H} \pi^2 r^4}{V} p = k \quad (5)$$

prejde rovnica (4) na tvar

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k x = 0$$

Kruhová frekvencia kmitov je daná vzťahom

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

doba kmitu

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

z čoho pri použití vzťahu (5) pre Poissonovu konštantu vychádza vzťah

$$\mathcal{H} = \frac{4 m V}{T^2 p r^4} \quad (6)$$

Podľa kinetickej teórie plynov možno adiabatický koeficient - Poissonovu konštantu  $\mathcal{H}$  nezávisle od druhu plynu určiť na základe stupňa voľnosti molekúl plynu. Ten závisí od počtu atómov v molekule. Jednoatómové plyny majú 3 stupne voľnosti translácie, dvoatómové navyše 2 stupne voľnosti rotačného pohybu a trojatómové ešte navyše 3 stupne voľnosti rotačného pohybu.

To znamená, že podľa kinetickej teórie plynov Poissonova konštantu sa dá určiť podľa vzťahu

$$\mathcal{H} = \frac{f + 2}{f}$$

kde  $f$  je stupeň voľnosti molekuly plynu.

Potom platí pre:

|                   |         |          |
|-------------------|---------|----------|
| jednoatómový plyn | $f = 3$ | $= 1,68$ |
| dvoatómový plyn   | $f = 5$ | $= 1,40$ |
| trojatómový plyn  | $f = 6$ | $= 1,33$ |

## METÓDA MERANIA

Metóda merania spočíva v čo najpresnejšom zmeraní veličín, ktoré vystupujú vo vzťahu (6).

Barometrický tlak zmeriame na začiatku aj na konci merania. Z technických príčin hodnoty  $r$ ,  $m$  a  $V$  sú zmerané pred skompletizovaním aparatury a sú uvedené pri meracom zariadení. Dobu kmitu meriame pomocou infračerveného snímača spojeného s vyhodnocovacím zariadením.

## OPIS APARATÚRY A POSTUP PRÁCE

Zostava aparatury je zrejma z obrázku. Ak sa meria len so vzduchom, zodpovedajúci tlak sa realizuje pomocou čerpadielka. Medzi plynovým oscilátorom a čerpadielkom sa nachádza vyrovnávací nádob, ktorá slúži ako zásobník (tlmič - nárazník). V privode vzduchu k oscilátoru je zabudovaná sklenená trubička naplnená vatou na pohltenie prípadnej vlhkosti vo vzduchu. Iné plyny sú pripojené cez redukčný ventil priamo na nádobu oscilátora. Sklenená rúrka - trubica oscilátora sa pred použitím starostlivo umyje alkoholom, v zvislej polohe sa zasunie do nádoby so zábrusom. Svetelný lúč snímača sa nastaví tak, aby prechádzal stredom trubky. Prietok vzduchu (plynu) sa nastaví tak, aby teliesko kmitalo medzi značkami na trubici. Ak rovnovážna poloha kmitov leží veľmi nad otvorom v trubici, značí to o prítomnosti prachu na stenách a treba ju znova umyť. Pohyb telieska z umelej hmoty môže spôsobiť vznik statickej elektriny, čím sa môžu skresliť výsledky. Aby sme tento efekt vylúčili, natrieme povrch valčeka práškovým grafitom. Je účelné sklenenú trubicu opláchnuť 3 % roztokom  $\text{CaCl}_2$ .

**Pozor!** Kmitajúce teliesko je precízne vyhotovený diel a treba s ním aj patrične starostlivo zaobchádzať.

Určenie objemu plynu  $V$  v plynovom oscilátore sa určí tak, že sa tento naplní vodou až po otvor v trubici a vyleje do presne očiachovaného odmerného valca.

Presná sklenená banka so zábrusom je upevnená v stabilnom stojane. Do zábrusu je vsunutá sklenená trubica všade rovnakého vnútorného prierezu. V nej sa nachádza teliesko valcového tvaru, ktoré pred meraním spočíva v spodnej časti trubice na teflónovom medzikružku. Na vrchnom otvore trubice je tiež nasunutý krúžok z teflónu, ktorý nedovolí, aby pri náhodnom väčšom pretlaku plynu valček z trubice vyletel. Infračervený snímač je upevnený tiež na stabilnom stojane a je nastavený v priestore medzi značkami na trubici tak, aby lúč prechádzal stredom trubice (priemerom). Signál zo snímača je spracovaný na digitálnom čítači. Pracovný postup pri spúšťaní aparatury je priložený k úlohe.

Výsledkom merania je doba kmitu  $T$ . Pomocou vzťahu (6) vypočítame hodnotu  $\mathcal{R}$  pre daný plyn. Na základe vzťahu pre relatívnu štandardnú neistotu merania veličiny  $\mathcal{R}$ , t.j.

$$\frac{u_{\mathcal{R}}}{\mathcal{R}} = \sqrt{\left(\frac{u_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{u_p}{p}\right)^2 + 4\left(\frac{u_T}{T}\right)^2 + 16\left(\frac{u_r}{r}\right)^2}$$

stanovíme jej odhad. Veličiny  $u_m$ ,  $u_V$ ,  $u_p$ ,  $u_T$ ,  $u_r$  sú neistoty merania (prípadne ich odhady) korešpondujúcich veličín.