KATEDRA FYZIKY VŠB-TU OSTRAVA		
Student	NÁZEV PRÁCE	Číslo práce
Skupina/Osob. číslo	**Měření Poissonovy konstanty**	Datum
Spolupracoval		Podpis studenta:

Cíle měření:
Ověřit si teorii adiabatického a izotermického děje v plynech. Seznámit se s kapalinovým manometrem. Určit Poissonovu konstantu pro vzduch Clément-Desormesovou metodou.

Měřicí prostředky:
skleněná nádoba s kohouty K1 a K2, spojovací hadice, kapalinový manometr

Kompendium teorie:
Pro ideální plyn platí Mayerův vztah: $C_{\mathrm{mp}} - C_{\mathrm{mV}} = R = 8{,}314\ \mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}}$

R	molární plynová konstanta (plynová konstanta)
C_{mp}	molární tepelná kapacita při stálém tlaku
C_{mV}	molární tepelná kapacita při stálém objemu

Poměr měrných nebo molárních tepelných kapacit při stálém tlaku a objemu je u ideálního plynu konstantní a je roven Poissonově konstantě κ:

$$\kappa = \frac{c_{\mathrm{p}}}{c_{\mathrm{v}}} = \frac{C_{\mathrm{mp}}}{C_{\mathrm{mV}}} \tag{1}$$

Protože $C_{\mathrm{mp}} > C_{\mathrm{mV}}$, je $\kappa > 1$. Na základě kinetické teorie plynů lze pro hodnoty molárních tepelných kapacit a Poissonových konstant dospět k závěrům:

$$C_{\mathrm{mV}} = \frac{i}{2}R,\ C_{\mathrm{mp}} = \frac{i+2}{2}R,\ \kappa = \frac{i+2}{i}, \tag{2}$$

kde i je počet stupňů volnosti molekuly daného ideálního plynu. Tento počet stupňů volnosti je u jednoatomových plynů (Ar, He, Ne,…) roven třem (κ = 5/3), u dvouatomových (N_2, O_2, H_2,…) pěti (κ = 7/5) a více než dvouatomových (CO_2, methan,…) šesti (κ = 4/3). Hodnotu c_{p} můžeme určit kalorimetricky celkem přesně, c_{V} nikoliv. Proto se neměří Poissonova konstanta

přímo na základě definičního vztahu (1), ale jinými metodami, např. Clément-Desormesovou. K měření použijeme skleněnou nádobu se dvěma kohouty K_1 a K_2 (obr. 1). Je-li kohout K_1 otevřen, je tlak vzduchu v nádobě rovný barometrickému tlaku b a hladiny kapaliny jsou v obou ramenech manometru ve stejné výši. Uzavřeme kohout K_1 a balónkem natlačíme do skleněné nádoby otevřeným kohoutem K_2 vzduch. V nádobě bude tlak

$$p_1 = b + h_1 \rho g, \tag{3}$$

h_1 je tlaku p_1 příslušející rozdíl hladin v ramenech manometru a ρ hustota kapaliny v manometru.

Stav 1 stlačeného plynu v nádobě (oba kohouty jsou uzavřeny) je jednoznačně určen tlakem p_1, objemem V_1 a teplotou T_1, kterou považujme rovnou teplotě v laboratoři. Kohout K_1 otevřeme jen na nezbytně krátkou dobu, aby se tlak v nádobě na okamžik vyrovnal barometrickému tlaku vzduchu v laboratoři, tzn. $p_1' = b$. Vzduch, původně v nádobě ve stavu 1, náhle expanduje na objem V_2, teplota klesne na T_2. Přechod plynu ze stavu 1 (p_1, V_1, T_1) do stavu 2 (b, V_2, T_2) považujme přibližně[1] za adiabatický, neboť probíhá velmi rychle a tudíž nestačí dojít k tepelné výměně mezi daným množstvím vzduchu a okolím. Platí Poissonova rovnice:

$$p_1 V_1^{\kappa} = b V_2^{\kappa} . \tag{4}$$

Za určitou dobu se vzduch, který v nádobě zbyl, od okolního prostředí opět ohřeje na teplotu T_1 a tlak postupně vzroste na

$$p_2 = b + h_2 \rho g, \tag{5}$$

kde h_2 je tlaku p_2 příslušející rozdíl hladin v ramenech manometru.

Protože je teplota na konci přechodu vzduchu ze stavu 1 do stavu 3 (p_2, V_2, T_1) stejná jako na začátku, jedná se přibližně[2] o děj izotermický a platí Boylův-Mariottův zákon

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 . \tag{6}$$

Ze vztahů (4) a (6) vyjádříme podíly $\frac{V_1}{V_2}$:

[1] Ve skutečnosti nepracujeme s ideálním plynem a k určité tepelné výměně jistě dochází.
[2] Ve skutečnosti nepracujeme s ideálním plynem, stavy 1 a 3 se netýkají stejného množství vzduchu.

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa} = \frac{b}{p_1}, \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}. \tag{7}$$

Odtud již logaritmováním dostaneme

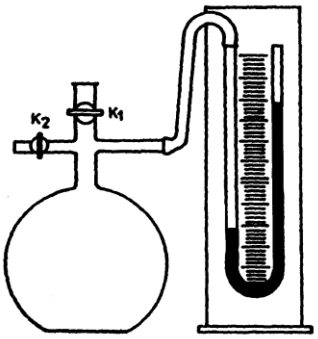
$$\kappa = \frac{\log p_1 - \log b}{\log p_1 - \log p_2} = \frac{\log\left(b + h_1 \rho g\right) - \log b}{\log\left(b + h_1 \rho g\right) - \log\left(b + h_2 \rho g\right)}. \tag{8}$$

Protože $h_1 \rho g \ll b$ a $h_2 \rho g \ll b$, dostaneme pro κ Taylorovým rozvojem logaritmů při zanedbání členů vyšších řádů přibližný vztah

$$\kappa = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \tag{9}$$

Pokyny k vlastnímu měření:

1) Kohout K_1 uzavřete, K_2 otevřete a pomocí gumového balónku zvyšte tlak vzduchu v nádobě tak, aby manometr ukázal přetlak 15-25 cm vodního sloupce.
2) Kohout K_2 uzavřete. Počkejte, až se teplota vzduchu v nádobě vyrovná s teplotou okolí (hladiny obarvené vody v dobře utěsněném manometru se ustálí).
3) Změřte rozdíl hladin h_1 v manometru.
4) Kohout K_1 otevřete jen na nezbytně krátkou dobu, aby se tlak v nádobě na okamžik vyrovnal barometrickému tlaku vzduchu v laboratoři. Po ustálení poloh hladin změřte rozdíl hladin h_2.
5) Z digitálního barometru na stěně v laboratoři a digitálního teploměru u barometru odečtěte aktuální tlak a teplotu vzduchu v laboratoři.
6) K výpočtu Poissonovy konstanty použijte přibližný vztah (9) a stanovte rozšířenou a relativní rozšířenou nejistotu jejího měření.
7) Stanovte relativní odchylku δ_r hodnoty Poissonovy konstanty κ spočtené podle vztahů (9) od tabelované hodnoty κ_{TAB} pro vzduch:

$$\delta_r = \frac{\left|\kappa_{TAB} - \kappa\right|}{\kappa_{TAB}} \cdot 100\%. \tag{10}$$

Obrázek 1