

$$\kappa_t = -\frac{1}{V} \cdot \left( -\frac{V}{p} \right) = \frac{1}{p} \quad (4)$$

Pri počítaní adiabatického koeficientu stlačiteľnosti plynu diferencovaním rovnice  $pV^\kappa = p_0V_0^\kappa$  dostávame:  $\kappa pV^{\kappa-1} dV + V^\kappa dp = 0$ , takže

$$\kappa_a = -\frac{1}{V} \cdot \left( -\frac{V^\kappa}{\kappa p V^{\kappa-1}} \right) = \frac{1}{\kappa p} \quad (5)$$

**7.14. Daltonov zákon parciálnych tlakov.** Zo skúsenosti vieme, že plyny sa zmiešavajú v každom pomere. Dalton r. 1802 zo svojich pokusov odvodil poznatok, že v zmesi plynov, ktoré na seba chemicky neúčinkujú, každý plyn sa správa tak, ako keby sám vyplňoval celý priestor, takže jeho tlak na steny sa prítomnosťou ostatných zložiek zmesi nepozmení.

Predstavme si, že sa pri určitej teplote nachádza niekoľko plynov v objemoch  $v_1, v_2, \dots, v_n$  a ich tlaky sú  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . Podľa Boylovho zákona v nádobe s objemom  $V$  by tlaky týchto plynov boli:

$$P_1 = \frac{p_1 v_1}{V}, \quad P_2 = \frac{p_2 v_2}{V}, \quad \dots, \quad P_n = \frac{p_n v_n}{V}$$

Podľa Daltona, keď tieto plyny (za predpokladu, že na seba chemicky nepôsobia) dáme súčasne do tej istej nádoby s objemom  $V$ , výsledný tlak bude:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \frac{p_1 v_1}{V} + \frac{p_2 v_2}{V} + \dots + \frac{p_n v_n}{V} \quad (1)$$

alebo

$$PV = p_1 v_1 + p_2 v_2 + \dots + p_n v_n = \Sigma p_i v_i \quad (2)$$

Tlaky  $P_i$  sa nazývajú parciálnymi tlakmi zložiek plynnej zmesi. Rovnice (1) a (2) sú matematickým vyjadrením *Daltonovho zákona parciálnych tlakov*, podľa ktorých sa výsledný tlak plynnej zmesi rovná súčtu parciálnych tlakov zložiek.

**7.15. Jednotky a meranie tlaku.** Tlak sa vo fyzike a v technickej praxi vyjadruje pomocou rôznych jednotiek. Ich voľba závisí od veľkosti meraného tlaku a od toho, či tlak je vyvolaný vlastnou váhou kvapaliny alebo nejakou inou vonkajšou silou.

Základnou jednotkou tlaku v sústave SI je  $1 \frac{\text{newton}}{\text{m}^2}$ , vedľajšou jednotkou je  $1 \text{ at} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 0,9807 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ .

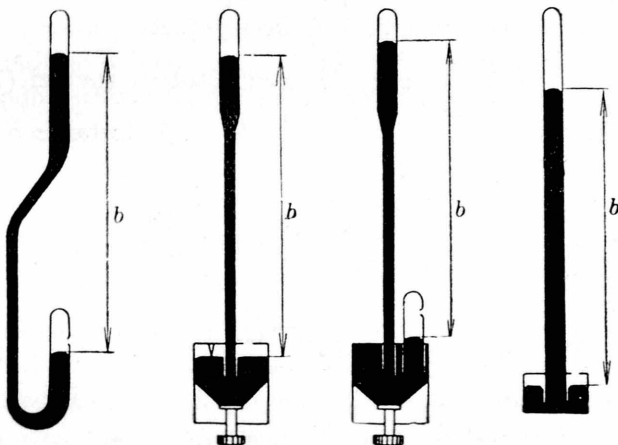
Popri týchto jednotkách tlaku sa vo fyzikálnej praxi používajú ešte aj iné jednotky:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \frac{\text{newton}}{\text{m}^2}$$

1 torr (podľa fyzika Torricelliho) bol definovaný ako tlak zodpovedajúci 1 mm ortuťového stĺpca za normálnych podmienok, teda

$$1 \text{ torr} = 133,32 \text{ N/m}^2$$

Prístroje na meranie tlakov plynov a kvapalín sa volajú *tlakomery* alebo *manometre*. Tlakomery určené na meranie tlaku v plynnom obale Zeme, tzv. tlaku atmosferického alebo barometrického, volajú sa *barometre*. Tlakomery



Obr. 7.40

na veľmi nízke tlaky sa nazývajú *vákuometre*. Ak tlakomer udáva rozdiel dvoch tlakov, volá sa *diferenčný*.

**Barometre.** Na presné meranie tlaku ovzdušia sa používajú výlučne tlakomery (barometre) ortuťové, založené na myšlienke Torricelliho pokusu (obr. 7.40-4). Ich hlavné druhy sú (obr. 7.40): 1. barometer *dvojramenný* alebo Gay-Lussacov, 2. barometer *nádobkový* alebo Fortinov, 3. barometer *normálny* alebo Wildov a 4. barometer *staničný* alebo *variáčny*. Najdokonalejší je barometer normálny. Pozostáva z nádoby s koženým dnom (ako

pri barometri Fortinovom), ktorá je však úplne naplnená ortuťou. Zasadujú do nej dve rovnako široké sklenené rúrky; dlhšia, barometrická, je hore zatavená, kratšia — otvorená. Barometrický tlak je určený výškovým rozdielom hladín ortuti v obidvoch trubiciach (ako pri barometri Gay-Lussacovom). Pred odčítaním tlaku možno však pri normálnom barometri obidve hladiny súčasne zvýšiť alebo znížiť, takže menisky vznikajú rovnakým spôsobom. Javia preto rovnakú kapilárnu depresiú, ktorá sa v rozdiel ruší.

Pre hrubé meranie atmosferického tlaku sa používajú kovové barometre deformačné, ktoré sa volajú *aneroidy*.

**Príklad 1.** Odvodíme závislosť barometrického tlaku  $p$  od výšky  $h$  nad povrchom zemským za predpokladu, že teplota vzduchu je všade rovnaká.

Za tohto predpokladu hmotnosť vzduchu závisí len od jeho tlaku a je daná vzorcom (7.13.2),  $s = \frac{p}{p_0} s_0$ , v ktorom  $s_0$  je napr. merná hmotnosť vzduchu tesne nad povrchom zemským a  $p_0$  tlak na tomto mieste. V rovnici (7.2.5),  $V + \Phi(p) = \text{const}$ , vystupujúca funkcia  $\Phi(p)$  je preto v našom prípade  $\Phi(p) = \int \frac{dp}{s} = \frac{p_0}{s_0} \int \frac{dp}{p} = \frac{p_0}{s_0} \ln p$ . Ak okrem toho v rovnici (7.2.5) za  $V$  napíšeme potenciál v silovom poli zemskom,  $V = gh$ , dostaneme rovnicu

$$gh + \frac{p_0}{s_0} \ln p = \frac{p_0}{s_0} \ln p_0$$

z ktorej vyplýva:

$$p = p_0 e^{-\frac{s_0 gh}{p_0}} \quad (1)$$

a

$$h = \frac{p_0}{s_0 g} \ln \frac{p_0}{p} = \frac{2,303 p_0}{s_0 g} \log \frac{p_0}{p} \quad (2)$$

Plynný obal Zeme sa volá *atmosféra*. Rozdeľuje sa na štyri sústredné vrstvy: *troposféru*, *stratosféru*, *ionosféru* a *exosféru*. Hmotnosť celej atmosféry sa odhaduje na jednu milióntinu hmotnosti Zeme.

Každá zo štyroch vrstiev atmosféry má svoje osobitné vlastnosti. Najviac je preskúmaná troposféra, v ktorej tlak a teplota sa s výškou znižujú a ktorá je miestom vzniku a priebehu všetkých meteorologických porúch. Rozhranie troposféry a stratosféry sa volá *tropopauza*. Výška *troposféry* závisí od zemepisnej šírky; najväčšia je na rovníku (asi 16 km) a najmenšia na pólach (asi 8 km). Teplota v tropopauze a v nasledujúcej izotermickej časti stra-

tosféry je najnižšia na rovníku (asi  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a najvyššia na póloch (asi  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). *Stratosféra*, v ktorej tlak sa s rastúcou výškou tiež znižuje, vyznačuje sa charakteristickým vertikálnym rozložením teploty. V stratosfére je teplota najprv konštantná, potom sa zväčšuje a nakoniec opäť klesá. Najväčšia je v oblasti ozónu ( $\text{O}_3$ ), kde sa pohlcuje veľká časť ultrafialových slnečných lúčov. Ďalšia vrstva, *ionosféra*, vyznačuje sa prítomnosťou iónov a elektrónov. Ionizácia sa s výškou zväčšuje. V poslednej vrstve atmosféry, v *exosfére*, ktorej dolná hranica podľa odhadu je vo výške 480 až 960 km, hustota vzduchu je už veľmi malá, takže tzv. voľná dráha molekúl je veľká. Pre túto okolnosť hornú hranicu atmosféry nemožno definovať.

Zloženie atmosféry sa stále ešte študuje, v poslednom čase aj pomocou umeľých družíc Zeme. Troposféra podľa objemu sa skladá približne z 80 %  $\text{N}_2$  a 19 %  $\text{O}_2$ . Ostávajúce 1 % tvoria vodné pary,  $\text{CO}_2$  a vzácne plyny.

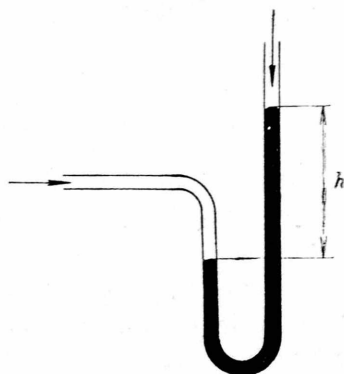
**Manometre.** Na meranie tlakov málo odlišných od tlaku barometrického slúžia kvapalinové *otvorené U-manometre* (obr. 7.41). Ako manometrická kvapalina sa používa ortuť (pri meraní väčších „nadtlakov“ alebo „podtlakov“), voda alebo vhodná organická kvapalina. Keď merná hmotnosť manometrickej kvapaliny je  $s$  a jej hladina vo voľnom ramene manometra je vo výške  $h$  nad hladinou v druhom ramene, za atmosferického tlaku  $b$  meraný tlak je:

$$p = b + sgh$$

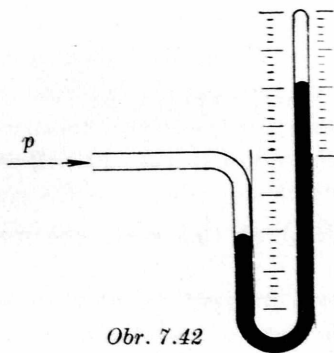
Na meranie tlakov niekoľko torrov sa používajú skrátene kvapalinové barometre. Sú to uzavreté U-manometre, v ktorých nad hladinou manometrickej kvapaliny v uzavretom ramene sú len jej nasýtené pary. Meraný tlak je daný vzorcom  $p = sgh = p'$ , kde  $p'$  je napätie nasýtených pár manometrickej kvapaliny pri teplote merania.

Väčšie tlaky možno merať pomocou uzavretého U-manometra, v ktorom nad hladinou manometrickej kvapaliny v uzavretom ramene je vzduch alebo iný plyn (obr. 7.42). Manometer má dve stupnice; jedna udáva objem plynu v uzavretom ramene, druhá umožňuje určiť rozdiel výšok hladín manometrickej kvapaliny (zvyčajne ortuti) v oboch ramenách.

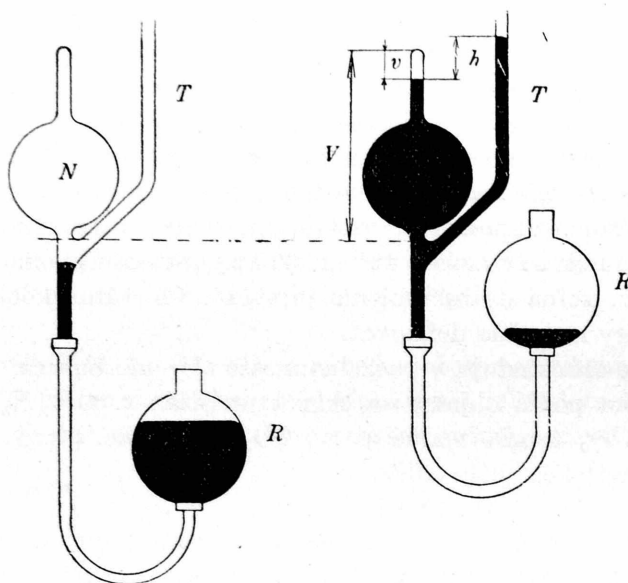
Pri tlaku 1 at rozdiel výšok hladín kvapaliny



Obr. 7.41



Obr. 7.42



Obr. 7.43

Veľmi nízke tlaky (od 1 torru nižšie) sa merajú pomocou *vákuometrov*. Obr. 7.43 znázorňuje kompresný vákuometer Mac Leodov. Vákuometer sa pripojí k priestoru, v ktorom sa má zmerať tam panujúci malý tlak  $p$ , pomocou trubice  $T$ , a otvorený rezervoár  $R$  s ortuťou sa zníži natoľko, aby trubica  $T$  bola spojená s nádobou  $N$ . Keď sa potom rezervoár  $R$  zdvihne, priestor  $N$  sa od trubice oddelí a všetok plyn, ktorý za tlaku  $p$  vyplňoval tento priestor, vtlačí sa do malej kapiláry. Pri vhodnej výške rezervoáru  $R$  hladina ortuti v kapiláre je práve pri značke na nej vynesenej.

Objem nádoby  $N$  aj s kapilárou nech je  $V$ , objem kapiláry až po značku na nej vynesenu nech je  $v$ . Ak pri meraní rozdiel výšok hladín ortuti v trubici  $T$  a v kapiláre je  $h$ , meraný tlak  $p$  splňuje rovnicu

$$p + sgh = p \frac{V}{v}$$

z ktorej vyplýva, že

$$p = \frac{v}{V - v} sgh \doteq \frac{v}{V} sgh$$

alebo, ak tlak  $p$  chceme mať vyjadrený len výškou ortuťového stĺpca,

$$p = \frac{v}{V} h$$

v manometri nech je  $h_0$  a objem plynu nad hladinou v uzavretom ramene  $v_0$ . Jeho tlak je potom  $p_0 = 1 \text{ at} - sgh_0$ . Ak pri meraní tlaku  $p$  objem plynu v manometri je  $v$  a rozdiel výšok hladín  $h$ , meraný tlak je

$$p = sgh + \frac{v_0}{v} (1 \text{ at} - sgh_0)$$

Na meranie vysokých a veľmi vysokých tlakov slúžia kovové *deformačné manometre*, založené na podobných princípoch ako barometer Vidiho alebo Bourdonov.

MacLeodov vákuometer ľahko sa môže zhotoviť tak, aby podiel  $\frac{v}{V}$  bol asi  $10^{-3}$ . Pri presnosti odčítania výšky  $h$  na 1 mm vákuometer umožňuje potom merať tlaky až do  $10^{-3}$  torrov. Výšku  $h$  treba však opraviť vzhľadom na kapilárnu depresiu.

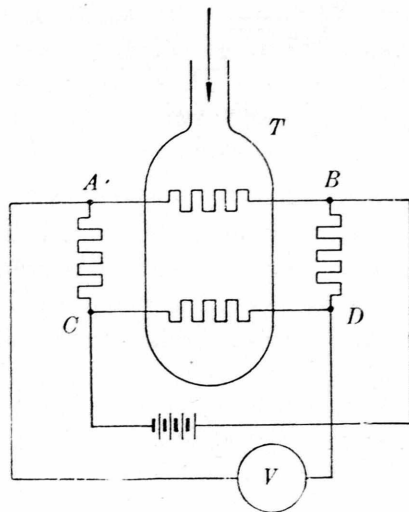
Na meranie malých tlakov plynov slúži aj Piraniho *odporový vákuometer*, ktorý sa hodí aj na registráciu zmien malých tlakov s časom. V tomto vákuometri je využitá závislosť tepelnej vodivosti plynu od tlaku v oblasti veľmi nízkych tlakov. Prístroj pozostáva zo štyroch rovnakých elektrických odporov v zapojení podľa obr. 7.44. Pokiaľ v trubici  $T$  je rovnaký tlak ako v jej okolí, medzi bodmi  $A$  a  $D$  nie je nijaké napätie. Pri značnom znížení tlaku v trubici odpory  $AB$  a  $CD$  sú menej chladené, ich hodnoty sú preto väčšie a elektrická rovnováha na mostíku je porušená. Meraný tlak udáva výchylka voltmetra  $V$  na stupnici skusmo zhotovenej.

Na meranie veľmi nízkych tlakov (až do  $10^{-9}$  torrov) slúži *ionizačný vákuometer*. Je to v podstate trióda, ktorej vnútro sa spojuje s priestorom, kde tlak má byť zmeraný. V dôsledku ionizácie plynu nachádzajúceho sa v trióde elektrónmi, ktoré sú emitované zo žeravej katódy, anódový prúd je závislý od meraného tlaku.

Veľmi rýchle sa meniace tlaky sa sledujú pomocou piezoelektrických snímačov.

**7.16. Vývevy.** Vývevami sa nazývajú prístroje slúžiace na zriedovanie vzduchu alebo iných plynov. Mnohé z nich sa zakladajú na Boylovom zákone, podľa ktorého zväčšovanie objemu plynu má za následok zmenšovanie jeho tlaku. Najstaršia a najjednoduchšia je výveva piestová, ktorej princíp je znázornený na obr. 7.45. Pri pohybe piestu vpravo valec  $V$  je spojený s priestorom  $R$  (*recipientom*), v ktorom sa vzduch má zriediť; pri pohybe nazad s vonkajším priestorom. Konštrukčnou nevýhodou týchto vývev je tzv. *škodlivý priestor S*, na obr. 7.45 objem trojcestného kohúta zväčšený o objem rúrky spájajúcej valec s kohútom.

Ak by nebolo škodlivého priestoru, tlak v recipiente by po každom zdvihu piesta klesol v pomere  $R : (R + V)$ , takže po  $n$  zdvihoch by bol  $p =$



Obr. 7.44