

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.

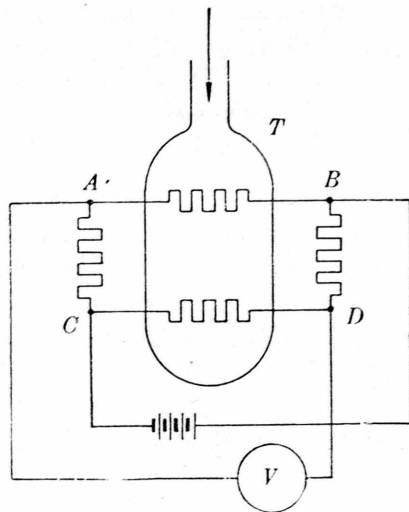
Na meranie malých tlakov plynov slúži aj Piraniho *odporový vákuometer*, ktorý sa hodí aj na registráciu zmien malých tlakov s časom. V tomto vákuometri je využitá závislosť tepelnej vodivosti plynu od tlaku v oblasti veľmi nízkych tlakov. Prístroj pozostáva zo štyroch rovnakých elektrických odporov 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.

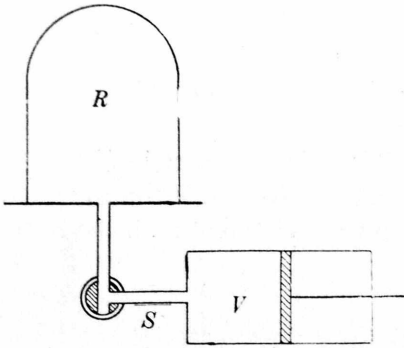
Veľmi rýchle sa meniace tlaky sa sledujú pomocou piezoelektrických snímačov.

**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



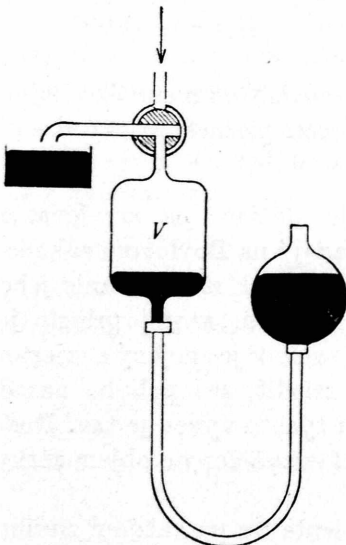
Obr. 7.45

$= p_0 \left( \frac{R}{R+V} \right)^n = p_0 k^n$ , teda po dostatočne veľkom počte zdvihov mohol by byť ľubovoľne malý. Škodlivý priestor však spôsobuje, že pri jednoduchej piestovej výveve jestvuje určitý najmenší tlak  $p_n > 0$ , ktorý už nemožno znížiť. Zriedovanie plynu v recipiente prestáva, keď tlak v ňom sa práve rovná tlaku vo valci vyplnenom plynom zo škodlivého priestoru, ktorý bol predtým v spojení s vonkajším priestorom. Tlak  $p_m$  je preto

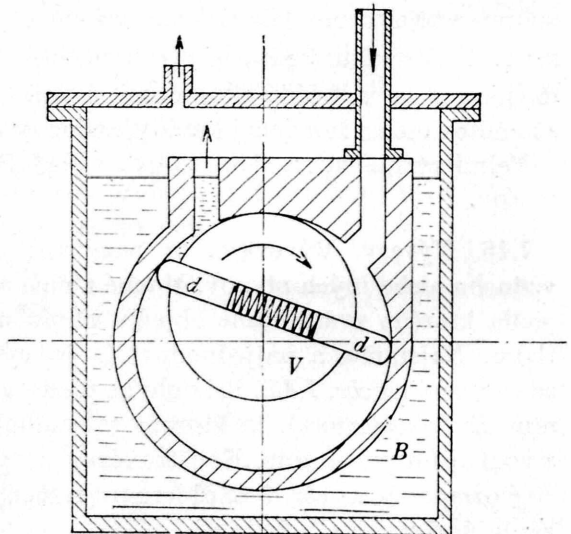
$$p_m = b - \frac{S}{V+S} \doteq b \frac{S}{V}$$

Toto najväčšie zriedenie možno pri piestových vývevách zvýšiť najmä tak, že sa zníži stále sa obnovujúci tlak v škodlivom priestore. Piestové vývevy sa preto spájajú niekedy za sebou. Prvá čerpá vzduch z recipientu a každá ďalšia zo škodlivého priestoru vývevy predchádzajúcej. Nedokonalá tesnosť piestov a rozvodných zariadení však spôsobuje, že pomocou piestových vývev tohto typu možno znížiť tlak najviac len asi na 1 torr.

Vplyv škodlivého priestoru je odstránený pri ortuťovej výveve Geisslerovej, v ktorej úlohu piesta zastáva hladina ortuti. Jej funkcia je zrejmä



Obr. 7.46



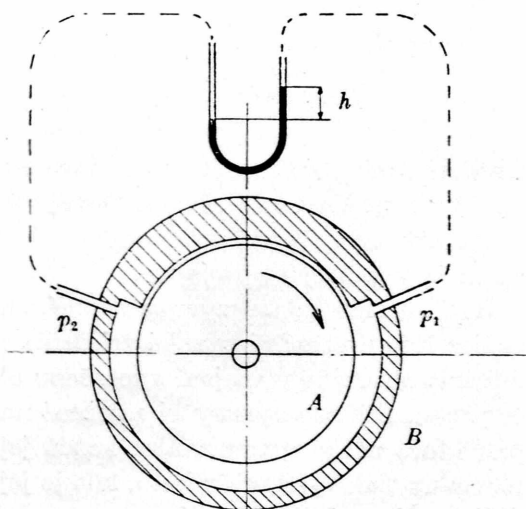
Obr. 7.47

z obr. 7.46 aj bez slovného vysvetlenia. Úplné vyčerpanie vzduchu znemožňuje pri tejto výveve iba netesnosť kohúta.

Pre trvalú prevádzku sú výhodné tzv. vývevy s rotujúcim piestom, pri ktorých počet pracovných cyklov za jednotku času môže byť podstatne väčší ako pri obyčajných vývevách piestových. Takou vývevou je napríklad *Gaedova výveva krídlová* (obr. 7.47). Pozostáva z bubna  $B$ , v ktorom sa otáča excentricky uložený valec  $V$  s menším polomerom, dotýkajúci sa vnútornej steny bubna pozdĺž jednej povrchovej priamky. Valec je rozdelený dvoma hlbokými a proti sebe sa nachádzajúcimi drážkami na dve polovice. V drážkach valca môžu sa radiálne pohybovať dve tesne priliehajúce krídla  $d$ , ktoré pomocou pružín sú pritláčané k vnútornej stene bubna. Po obidvoch stranách miesta, kde sa vnútornej steny bubna dotýka rotujúci valec s krídlami, ústia do bubna trubica sacia a výtláčna. Keď sa valec otáča, sací priestor sa najprv zväčšuje, potom je pomocou druhého krídla oddelený, aby sa nakoniec premenil na zmenšujúci sa výtláčny priestor. Výveva dáva zriedenie asi  $2 \cdot 10^{-3}$  torrov; ak je zhotovená ako dvojestupňová, až  $10^{-5}$  torrov.

Hoci niektoré z opísaných vývev alebo ich kombinácie, ktoré sú všetky založené na Boylovom zákone, dávajú zriedenie, ktoré postačuje pre vznik Röntgenových lúčov vo výbojkách plnených plynom (asi  $10^{-3}$  torrov), nedávajú vákuum potrebné pre elektrónky a podobné prístroje so žeravenou katódou. Na tento účel sa používajú vývevy založené na molekulových dejoch. Najlepšie sa osvedčili *Gaedova molekulová výveva* a rozličné *vývevy difúzne*.

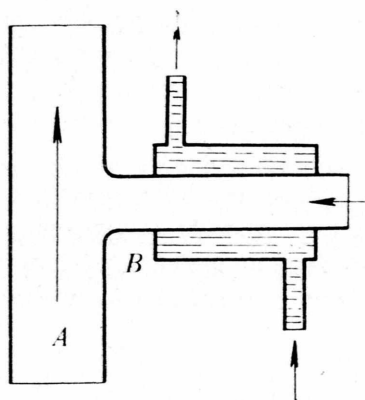
Princíp molekulovej vývevy vysvetľuje obr. 7.48. Vo vnútri bubna  $B$  sa veľkou rýchlosťou otáča plný valec  $A$ , ktorý k stenám bubna veľmi tesne prilieha, ale sa ich nedotýka. Medzi rotujúcim valcom a bubnom je o niečo širšia medzera len na úseku medzi sacou a výtláčnou trubicou. Pri nárazoch molekúl plynu v tejto medzere na rýchle sa otáčajúci valec uhol ich odrazu v zmysle pohybu valca sa zväčší. Preto je za rovnováhy tlak  $p_1$  na začiatku medzery, pri sacjej trubici, menší než tlak  $p_2$  na konci, kde ústi výtláčna trubica. Pri obvyklých tlakoch alebo pri



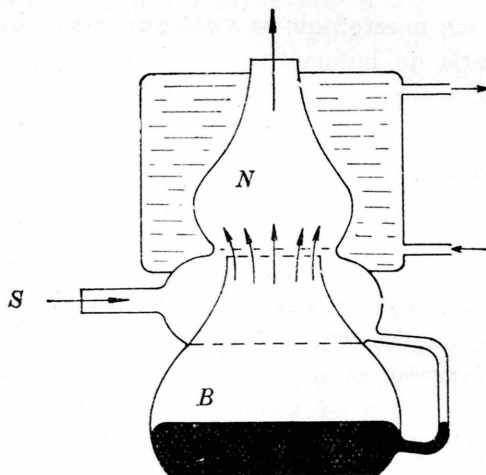
Obr. 7.48

miernom predčerpání rozdiel tlakov  $p_2 - p_1$  závisí len od rýchlosti, akou sa otáča valec, a od rozmerov medzery, no nezávisí od pôvodného tlaku. Pri väčšom zriedení, pri tlakoch asi 20 torrov, jav je zložitejší, ale pri veľmi značnom zriedení (pod 0,1 torrov), keď voľná dráha molekúl je už porovnateľná so šírkou medzery, jav je opäť jednoduchší, pričom teraz pomer tlakov  $p_2/p_1$  má určitú, od pôvodného tlaku plynu nezávislú hodnotu.

Valec molekulovej vývevy sa otáča obvykle rýchlosťou 8 000 otáčok za minútu a hodnota podielu  $k = p_2/p_1$  je potom približne  $k = 10$ . Pre túto pomerne malú hodnotu zriedovacieho pomeru sa molekulové vývevy konštruujú vždy ako niekoľkostupňové. Za použitia predčerpacj vývevy, ktorá



Obr. 7.49



Obr. 7.50

dáva zriedenie  $10^{-2}$  torr, štvorstupňová molekulová výveva poskytuje zriedenie asi  $10^{-6}$  torr. Prednosťou molekulovej vývevy je, že odčerpáva pary rovnako dobre ako plyny a vo vyčerpanom priestore neostávajú pary tej kvapaliny, ktorá je v každej inej výveve.

Hoci sú molekulové vývevy účinné, sú konštrukčne zložité a v prevádzke chúlостivé. Pre veľmi vysoké zriedenia používajú sa preto rozličné vývevy difúzne, obyčajne v spojení s rotačnou olejovou vývevou ako vývevou predčerpacou. Difúzne vývevy sú založené na poznatku, že v zmesi plynov alebo pár, ktorá nie je v rovnováhe, každá jej zložka putuje z miesta, kde je jej parciálny tlak vyšší, na miesto, kde je jej parciálny tlak nižší. Jav sa nazýva *difúzia*. Činnosť difúznej vývevy vysvetľuje zariadenie znázornené na obr. 7.49. Dostatočne širokou trubicou *A* prúdia pary ortuti alebo inej málo prchavej kvapaliny. Trubica *A* je spojená pomocou užšej trubice *B* s priestorom,

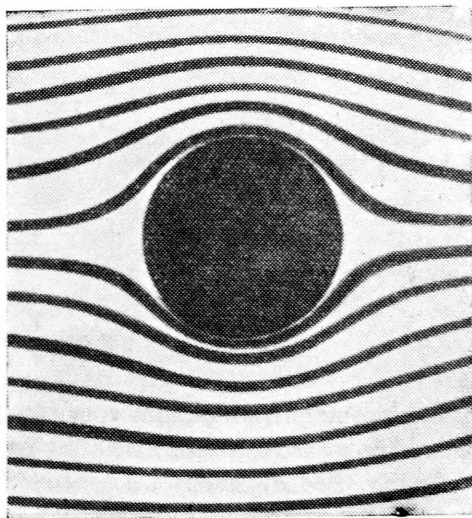
z ktorého má byť nejaký tam prítomný plyn vyčerpaný. Pretože jeho parciálny tlak v trubici  $A$  sa vplyvom prúdenia čerpacích pár udržiava na nule, difunduje do nich plyn, ktorý má byť odčerpávaný. Pary prúdiace trubicou  $A$  nevnikajú do vyčerpanej nádoby, lebo sa zrážajú na stenách trubice  $B$ , ktorá je účinne chladená.

Obr. 7.50 znázorňuje ortuťovú difúznú vývevu Langmuirovu. V nádobe  $B$  sa varí ortuť za nízkeho tlaku (teplota asi  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Pary ortuti prúdia cez hrdlo tejto nádoby do banky  $N$  a odnášajú so sebou odčerpávaný plyn, ktorý sem difunduje cez kruhovú štrbinu z priestoru  $S$ . Plyn, ktorý sa v banke  $N$  takto hromadí, je odčerpávaný ďalej pomocou predčerpacej vývevy. Ortuťové pary sa zrážajú na stenách banky, ktorá je kvôli tomu chladená vodou, a vznikajúca kvapalná ortuť odteká cez bočnú rúrku naspäť do nádoby  $B$ . Difúzna štrbina je široká niekoľko milimetrov. Prúdenie ortuťových pár do evakuovaného priestoru sa zabraňuje ich kondenzáciou vo filtroch, ktoré sú chladné pevným  $\text{CO}_2$  alebo kvapalným vzduchom. Pomocou dvojstupňovej ortuťovej difúznej vývevy možno dosiahnuť zriedenie až  $10^{-7}$  torrov. Pravda, čerpacia rýchlosť ortuťových difúzných vývev je malá.

Výkonnejšie než ortuťové difúzne vývevy sú olejové difúzne vývevy. Plnia sa špeciálnymi olejmi, ktorých nasýtené pary majú omnoho nižšie tlaky než nasýtené pary ortuti, takže používanie filtrov na ochranu vysokého vákuua často ani nie je potrebné, alebo namiesto filtrov kondenzačných postačujú aj filtre adsorpčné (drevné uhlie a pod.).

### 7.17. Pohyb pevných telies v kvapalinách a plynoch.

Keď chceme, aby sa pevné teleso pohybovalo vo vzduchu alebo v nejakej kvapaline translačne konštantnou rýchlosťou  $\mathbf{v}$ , musíme — ako vieme zo skúsenosti — na teleso účinkovať silou  $\mathbf{F}'$  vhodného smeru a veľkosti, ktorá je potrebná na prekonanie odporu prostredia  $\mathbf{F} = -\mathbf{F}'$ . Odpor  $\mathbf{F}$  môže byť závislý len od relatívnej rýchlosti  $\mathbf{v}$  daného pevného telesa vzhľadom na príslušné plynné alebo kvapalné prostredie. Pri jeho teoretickom počítaní alebo praktickom meraní môžeme si preto predstavovať, že teleso je v pokoji a kvapalina alebo plyn sa



Obr. 7.51