

Fyzikální praktikum pro nefyzikální obory

Úloha č. 8: Vakuum

jarní semestr 2012

- Vakuum je označení pro stav systému, který obsahuje plyny, nebo páry, pokud je jejich tlak menší než tlak atmosférický.
- Jednotky tlaku:
 - $Pa[Nm^{-2}]$ - jednotka v soustavě SI
 - $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
 - $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$
 - $1 \text{ torr} = 133,322 \text{ Pa}$
 - $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ torr}$ (fyzikální atmosféra)

1. Využití vakua

- Věda a výzkum: diagnostické metody, elektronový mikroskop, hmotový spektrometr, optický vakuový spektrometr, plazmochemické reaktory, urychlovače částic - CERN, termojaderné reaktory - ITER
- Průmyslové aplikace: vytváření tenkých vrstev, výroba elektronických součástek, osvětlovací technika - žárovky, zářivky, chemický průmysl - čisté látky, metalurgie
- přesně definované podmínky procesu, izolace studovaného procesu od okolí, velká střední volná dráha

2. Rozdělení vakua

vakuum	tlak [mbar]	tlak [Pa]
nízké (GV), hrubé, technické	$10^3 - 10^0$	$10^5 - 10^2$
střední (FV)	$10^0 - 10^{-3}$	$10^2 - 10^{-1}$
vysoké (HV)	$10^{-3} - 10^{-7}$	$10^{-1} - 10^{-5}$
velmi vysoké (UHV)	$10^{-7} - 10^{-10}$	$10^{-5} - 10^{-8}$
extremě vysoke (XHV)	$< 10^{-10}$	$< 10^{-8}$

3. Získávání a měření vakua

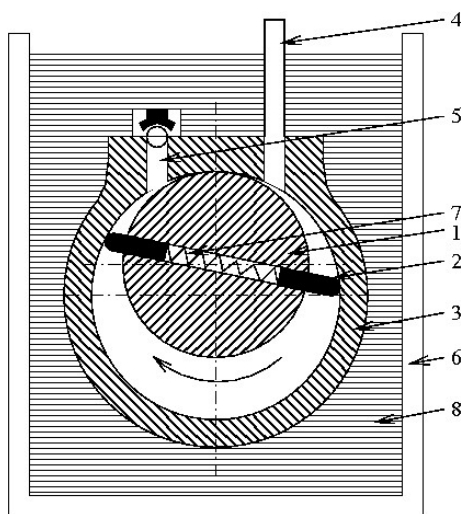
Celá řada plazmochemických aplikací využívá procesů probíhajících za tlaků nižších, než je tlak atmosférický. Proto je nutné se seznámit alespoň se základy získávání a měření nízkých tlaků.

K získávání nízkých tlaků slouží celá řada typů vývěv lišících se jak principem činnosti, tak i konstrukcí. V praktiku se stručně seznámíme s rotační olejovou vývěvou, membránovou vývěvou a turbomolekulární vývěvou.

Pro měření nízkých tlaků lze použít celou řadu různých manometrů, které se obdobně jako vývěvy liší principem činnosti, konstrukcí a použitím. V rámci této úlohy budeme pracovat s různými typy manometrů: s Mac-Leodovým, Piraniho, Baratronem a ionizačním manometrem.

3.1. Rotační olejová vývěva

Rotační olejová vývěva slouží k získávání nízkých tlaků v rozmezí cca $0,2 - 10^5$ Pa. Pracuje na principu periodického stlačování pracovního objemu. Schéma jednostupňové rotační olejové vývěvy je na obrázku 3.1.



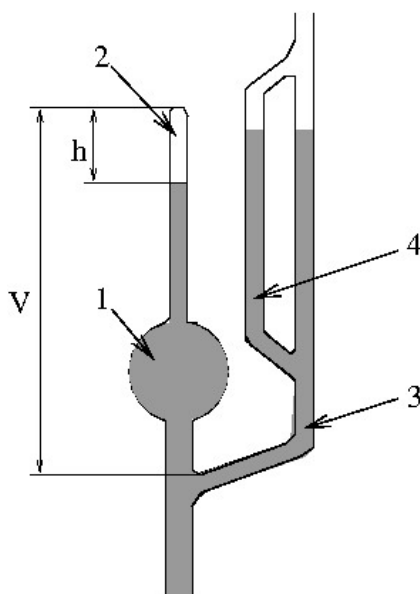
Obrázek 3.1: Konstrukce jednostupňové rotační olejové vývěvy. 1 – rotor; 2 – lopatka; 3 – stator; 4 – vstupní kanál; 5 – výstupní ventil; 6 – vnější stěna; 7 – pružina; 8 – olej.

Během otáčení rotoru s posuvnými lopatkami dochází k postupnému zvětšování objemu, který je připojen k čerpanému prostoru. V jisté poloze pak dojde k oddělení objemu uvnitř vývěvy od čerpaného prostoru. V zápětí se při dalším otáčení začíná objem uvnitř vývěvy stlačovat. V okamžiku, kdy tlak přesáhne tlak na výstupu vývěvy, otevře se ventil a plyn unikne do okolního prostředí.

Rotační olejová vývěva se obvykle používá ve dvoustupňovém provedení. Je vhodná pro čerpání větších objemů v případě, že nejsou kladeny přílišné požadavky na čistotu čerpaného objemu (vliv zpětného proudu olejových par). Velmi často je používána pro čerpání na výstupu vysokovakuových vývěv, u nichž není možné mít na výstupu atmosférický tlak.

3.2. Mac-Leodův manometr

Mac-Leodův manometr je jedním z mála absolutních měřičů tlaku (nezáleží na složení měřeného plynu). V praxi jej lze použít pro měření tlaků vyšších než 10^{-4} Pa. Nevýhodou jsou značné rozměry a vliv rtuti na čistotu měřeného objemu. Proto bývá užíván převážně pro účely kalibrací.



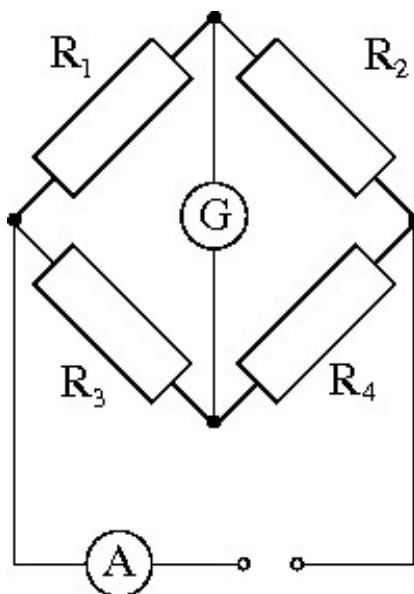
Obrázek 3.2: Konstrukce Mac-Leodova manometru: 1 – Mac-Leodův manometr, 2 – měřicí kapilára, 3 – připojení k čerpanému objemu, 4 – srovnávací kapilára.

Konstrukce manometru je zřejmá z 3.2. Obvyklý postup práce s tímto manometrem lze shrnout do následujících bodů:

Zásobní nádobku se rtutí velmi zvolna zvedáme vzhůru. Ve chvíli, kdy hladina rtuti dosáhne do místa rozvětvení trubice, levá část se hladinou rtuti uzavře. Dalším zvedáním zásobníku (a tím i hladiny rtuti) se zbytkový plyn v levém rameni stlačuje, zatímco v pravém rameni se udržuje stále stejný tlak. (Pozn: toto platí pouze tehdy, je-li objem, v němž měříme tlak, podstatně větší než objem levého ramene manometru.) Ve většině případů se používá kvadratická metoda měření. V tomto případě se v referenční kapiláře musí hladina rtuti dostat na úroveň zataveného konce měřicí kapiláry. Na stupnici pak přečteme údaj o tlaku v měřeném objemu. Stupnici lze stanovit výpočtem na základě stavové rovnice ideálního plynu a geometrických rozměrů manometru.

3.3. Piraniho manometr

Piraniho manometr lze zařadit mezi nepřímé manometry. Používá se obvykle pro rozmezí tlaků $0.1 - 10^5$ Pa. Ve svém principu využívá závislosti přenosu tepelné energie na koncentraci měřeného plynu. Konstrukčně si lze manometr představit jako tenké kovové vlákno vyhřívané konstantním výkonem. S měnícím se tlakem se mění odpor tohoto vlákna. Z praktického hlediska se zpravidla užívá klasického můstkového zapojení pro měření odporu, kde v jedné větvi je Piraniho manometr, ve druhé je proměnný odpor (odporová dekáda) a ve zbylých dvou jsou vhodně zvolené pevné odpory.



Obrázek 3.3: Elektrické zapojení můstku pro kalibraci Piraniho manometru

3.4. Ionizační manometr se žhavenou katodou

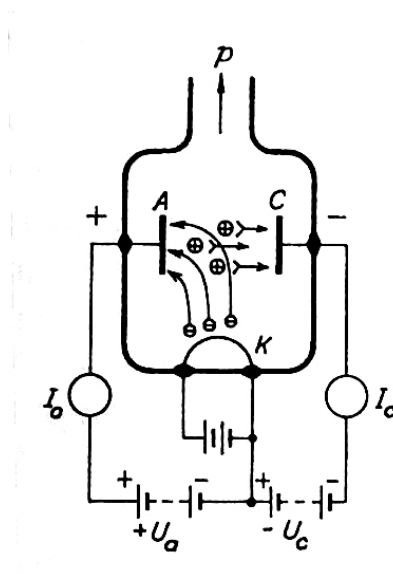
Ionizační manometr řadíme také mezi nepřímé manometry. Je využíván pro tlaky v rozmezí $10^{-10} - 0,1$ Pa, při vyšších tlacích již nefunguje a hrozí i jeho poškození. Měření pomocí tohoto typu manometru je založené na měření elektrického proudu tvořeného ionty vzniklými srážkami plynu s elektrony emitovanými ze žhavené katody. Je-li počet elektronů emitovaných z katody konstantní, bude iontový proud pouze funkcí tlaku plynu. Vzhledem k nutnosti ionizovat plyn je zřejmé, že kalibrační křivka pro tento typ manometru bude závislá na ionizačním potenciálu jednotlivých atomů a molekul, a tedy bude funkcí složení plynu v měřeném objemu. Základní rovnice ionizačního manometru se žhavenou katodou má tvar:

$$I_c = K I_a p,$$

kde I_c je proud iontů kolektorem, I_a je proud elektronů emitovaných katodou, p je měřený tlak, K je konstanta manometru. Schéma manometru je na obrázku 3.4.

Úkoly:

1. Seznamte se s konstrukcí a činností různých manometrů a vývěv.



Obrázek 3.4: Ionizační manometr se žhavenou katodou: A – anoda, K – katoda (zdroj elektronů), C – kolektor

2. Nakalibrujte Piraniho manometr (R_1) pomocí Mac-Leodova manometru a Baratronu. Schéma zapojení měřícího můstku je na obrázku 3.3. Velikosti pevných odporů jsou $R_2 = 10\Omega$, $R_4 = 4700\Omega$, platí $R_1 = \frac{R_3 R_2}{R_4}$.
3. Nakalibrujte ionizační manometr pomocí druhého ionizačního manometru.