

Fyzikální praktikum 3 - úloha 6

Vakuová technika a výboje v plynech

Teorie: V tomto praktiku se setkáváme s měřením tlaků a získáváním vakua. Rozsah tlaků, se kterým se pracuje ve vakuové technice, je příliš velký na to, aby stačil jen jeden typ manometru. Zde se setkáme se dvěma typy, otevřenou a uzavřenou U-trubicí. Tlak plynu můžeme také určit z tvaru doutnavého výboje. Stejně jako nemůžeme použít jeden typ manometru na měření tlaku, nemůžeme použít jeden typ vývěvy na získání nízkého tlaku. V praxi se používají většinou difuzní, turbomolekulární a rotační vývěvy, poslední jmenovaná bude použita v této úloze.

Pomocí otevřené U-trubice můžeme měřit objem měřeného prostoru. K trubici je připojen zásobník se rtutí, se kterým je možné pohybovat. Jeden konec je stále na atmosférickém tlaku, druhý je připojen k měřenému prostoru. Při zvedání zásobníku dochází ke kompresi plynu v měřeném prostoru, zároveň se zmenšuje objem plynu. Předpokládáme stálou teplotu, takže k výpočtu můžeme použít Boyle-Mariottův zákon

$$p_{atm}V_x = (p_{atm} + p_1)(V_x - V_1) \Rightarrow V_x = V_1 \frac{p_{atm} + p_1}{p_1},$$

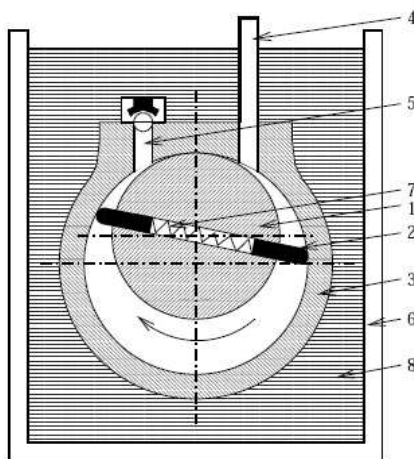
kde p_{atm} je atmosférický tlak, p_1 tlak určený z rozdílu hladin v trubici, V_x objem měřeného prostoru a V_1 objem, o který se zmenšil měřený prostor. Nevýhodou této metody je, že měříme i parazitní objem, tedy objem mezi hladinou rtuti a skutečným měřeným prostorem.

Uzavřená U-trubice pracuje na podobném principu. Opět použitím Boyle-Mariottova zákona můžeme určit objem měřeného prostoru, ale zde musíme předpokládat znalost jiného objemu. Objem V_1 vyčerpáme a druhý necháme na atmosférickém tlaku. Po spojení obou objemů získáme tlak p_1 . Totéž provedeme s objemem V_2 a získáme tlak p_2 . Poměr objemů je dán vztahem

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}.$$

Odtud již jeden z objemů snadno zjistíme.

Princip rotační vývěvy je patrný z obrázku.



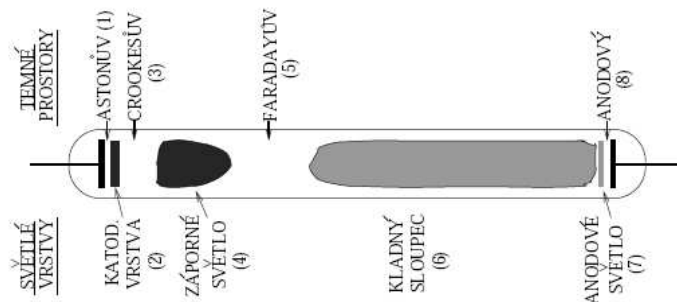
Obrázek 1: **Princip rotační vývěvy.** (1) excentricky umístěný rotační válec, (2) těsnící křídélka, (3) těleso vývěvy, (4) sací hrdlo, (5) výfukový otvor, (6) skříň vývěvy, (7) pružina, (8) olejová náplň.

Díky těsnícím křídélkům je zajištěno oddělení vstupu a výstupu, takže se okolní plyn nemůže dostat do měřeného prostoru. Nevýhodou této vývěvy je, že se páry oleje můžou dostat do

měřeného prostoru. Olej má vyplňovat netěsnosti a nerovnosti uvnitř vývěvy, takže se páry můžou dostat i do sacího hrdla.

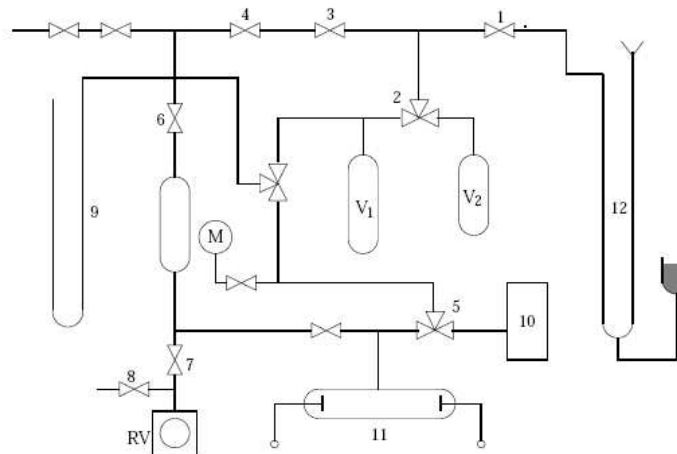
Tlak v měřeném prostoru můžeme měřit i z tvaru doutnavého výboje, jehož schématický obrázek je níže. V tabulce je uvedena závislost tvaru výboje na tlaku v měřeném prostoru.

Tlak plynu [Pa]	Tvar výboje
$5 \cdot 10^3 - 10^3$	Hadovitý
$10^3 - 5 \cdot 10^2$	Elektrody jsou pokryté doutnavým světlem
10^2	Kladný sloupec vyplňuje asi $\frac{2}{3}$ trubice
50	V kladném sloupci se tvoří vrstvy
10	Vrstvy mizí, záporné světlo je v $\frac{1}{2}$ trubice
5	Záporné světlo v celé trubici, je pozorována fluorescence skla
1	Fluorescence skla mizí, výboj zhasíná



Obrázek 3: **Doutnavý výboj.** Astonův katodový tmavý prostor, (2) katodová svítící plocha (vrstva), (3) Crookesův tmavý prostor, (4) záporné doutnavé světlo, (5) Faradayův tmavý prostor, (6) kladný sloupec, (7) anodové světlo, (8) anodový tmavý prostor.

Popis měření:



Obrázek 4: **Schema vakuové aparatury.** RV - rotační vývěva, 1 - 8 - vakuové ventily, 9 - rtuťový manometr (uzavřená U - trubice), M - termočlánekový manometr, 10 - Mac Leodův kompresní manometr, V_1 , V_2 - pracovní objemy, 11 - výbojová trubice, 12 - plynová byreta.

Prvním úkolem bylo zjistit objemy V_1 a V_2 pomocí plynové byrety, což je vlastně otevřená U-trubice. Na jednom rameni je stupnice v cm^3 , mezi rameny je milimetrová stupnice, pomocí které odečteme rozdíl tlaků. V zásobníku je rtuť, takže není potřeba převádět výpočty na Pa , můžeme počítat v jednotkách $Torr$. Podle toho, do jaké výšky zvedneme zásobník se rtutí, se mění tlak v měřeném prostoru.

Dále se má ověřit Boyle-Mariottův zákon. Je nutné oddělit plynovou byretu, jinak by se rtuť dostala do aparatury, protože bude zapojena i rotační vývěva kvůli vyčerpání objemů. Popis tohoto měření je uveden výše. Můžeme buď předpokládat znalost jednoho objemu a spočítat druhý, anebo porovnat podíly objemů z první úlohy a podíly tlaků odtud.

Posledním úkolem bylo odhadnout tlak podle tvaru doutnavého výboje. Tento úkol byl spíše ukázkový.

Měření a výsledky:

$$p_{atm} = 760 \text{ Torr}$$

Měření objemů

$\Delta V [cm^3]$	$\Delta p [Torr]$	$V_1 + V_{parazit}$	$\Delta V [cm^3]$	$\Delta p [Torr]$	$V_2 + V_{parazit}$
23,1	46	404,8	20,8	60	284,6
25,3	48	425,9	24,1	71	282,0
26,5	52	413,8	18,8	55	278,6
19,4	39	397,5	25,6	77	278,3
28,6	58	403,4	21,9	66	274,1
29,5	62	391,1	28,0	85	278,4

$\Delta V [cm^3]$	$\Delta p [Torr]$	$V_{parazit}$
17,7	115	134,7
20,7	163	117,2
20,8	174	111,7
15,6	116	117,8
13,2	97	116,6
19,3	149	116,4

$$\overline{V_1 + V_{parazit}} = 406,1 cm^3$$

$$\overline{\Delta V_1 + V_{parazit}} = 5,0 cm^3$$

$$\overline{V_2 + V_{parazit}} = 279,3 cm^3$$

$$\overline{\Delta V_2 + V_{parazit}} = 1,5 cm^3$$

$$\overline{V_{parazit}} = 119,1 cm^3$$

$$\overline{\Delta V_{parazit}} = 3,2 cm^3$$

$$V_1 = (287,0 \pm 5,9) cm^3$$

$$V_2 = (160,2 \pm 3,5) cm^3$$

Ověření Boyle-Mariottova zákona

Podle předchozího úkolu vychází

$$\frac{V_1}{V_2} = 1,79 \pm 0,02.$$

Tlak při vyčerpaném objemu V_1 : $p_1 = (239 \pm 2) \text{ Torr}$

Tlak při vyčerpaném objemu V_2 : $p_2 = (398 \pm 2) \text{ Torr}$

$$\frac{p_2}{p_1} = 1,67 \pm 0,02$$

Závěr: V prvním úkolu se měly zjistit objemy V_1 a V_2 , výsledky tohoto měření jsou uvedeny výše. Chyby vznikaly nejspíše netěsnostmi v aparatuře a nepřesností odečítání polohy hladiny rtuti. Větší význam přikládám odečítání hladiny.

V druhém úkolu se jinou metodou měl zjistit jeden objem za předpokladu, že druhý objem známe. Tato úloha se dala přeformulovat také tak, že porovnávám podíl objemů, které znám z prvního úkolu, s podílem tlaků. Tím mohu určit, zda platí Boyle-Mariottův zákon. Měření ukázalo, že podíl tlaků je jiný než podíl objemů, a to i v rámci chyby. Vysvětlení může být takové, že objemy nebyly vyčerpány dostatečně anebo trubice nebyla napojena přímo na měřený prostor, takže měřila tlak i v přírodních trubičkách. Pokud by se tyto chyby ošetřily, nejspíše by se zjistilo, že zákon platí.