

Ionizační manometry

Princip: ionizace molekul a měření počtu nabitých částic

Rozdělení podle způsobu ionizace:

- Manometry se žhavenou katodou
- Manometry se studenou katodou
- Manometry s radioaktivním zářičem

Při ionizaci plynu o koncentraci n nejsou ionizovány všechny molekuly, ale jenom část z nich $n_i = \gamma n$; $\gamma < 1$.

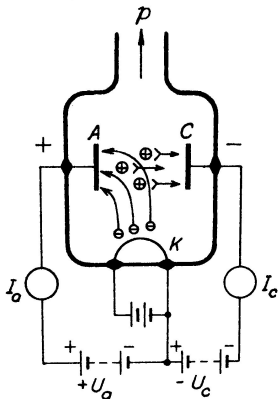
Podmínky činnosti:

- je nutné pracovat při stejné teplotě, při které byl manometr cejchován.
- koeficient γ musí být konstantní v celém oboru měřených tlaků
- měřený iontový proud musí být tvořen pouze ionty molekul plynu - vyloučit parazitní proudy
- měřit všechny vzniklé ionty

Nevýhody:

- čerpací efekt - sorpce plynů vlivem elektrického náboje
- desorpce plynů z elektrod vlivem velké teploty

Ionizační manometr se žhavenou katodou



1

¹J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

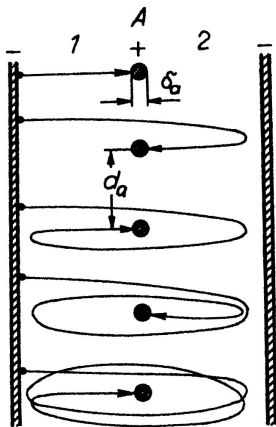
Katoda vytváří elektronový proud I_e , který ionizuje plyn. Kolektor sbírá kladné ionty. I_p - proud kladných iontů na kolektor, I_e - emisní elektronový proud na anodu, p - tlak plynu

$$I_p = K_0 I_e p \Rightarrow p = \frac{1}{K_0} \frac{I_p}{I_e}$$

$K_0[\text{Pa}^{-1}]$ citlivost manometru, liší se pro různé plyny, protože se plyny liší koeficientem specifické ionizace - ϵ

ϵ - množství iontů vytvořených jedním elektronem na dráze 1cm v daném plynu při tlaku 133 Pa a teplotě 273 K. Závisí na energii elektronů - tedy na urychlovacím napětí.

	He	Ne	H ₂	N ₂	CO	O ₂	Ar	Hg
ϵ_{max}	1,2	3	3,7	10	11	12	13	19
$U_{max}[\text{V}]$	110	170	65	95	100	120	90	85



Kmity elektronů při použití mřížkové anody. ²

²J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

Dopad iontů na kolektor závisí na

- potenciálu kolektoru
- na tvaru kolektoru
- na poloze kolektoru vzhledem k prostoru, kde dochází k ionizaci

Pravděpodobnost ohybu dráhy iontů se zvyšuje s rostoucí počáteční rychlostí iontů a se zmenšováním průměru kolektoru. Pokud nejsou v obvodu kolektoru žádné další proudy je iontový kolektorový proud mírou tlaku.

$$I_c = I_p = K_0 I_e p$$

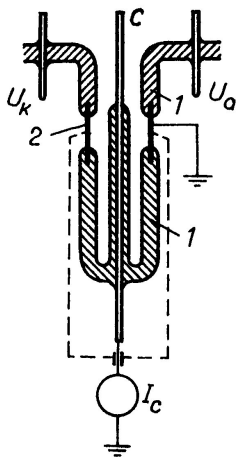
Ve skutečnosti se mohou v obvodu kolektoru projevit parazitní proudy.

$$I_c = I_p + \sum_i I_i = K_0 I_e p + \sum_i I_i$$

Parazitní proudy omezují možnost měření nízkých tlaků.

Parazitní proudy

- Proudy vyvolané rentgenovým a ultrafialovým zářením - Anoda se vlivem dopadu elektronů s velkou energií stává zdrojem měkkého rentgenového záření. V důsledku elektromagnetického ozáření povrchu kolektoru vzniká fotoemise z kolektoru. Je nutné pracovat s nízkou teplotou katody. Parazitní proud $I_1 \sim A_c I_e \frac{1}{D_{AC}}$, A_c - plocha kolektoru, I_e - anodový proud, D_{AC} - vzdálenost anoda-kolektor.
- Proudy vyvolané elektronovou desorcí - při bombardování povrchu elektrony se mohou uvolňovat neutrální atomy a molekuly, ionizované atomy a molekuly, disociované molekuly.
- Iontový proud ze žhavené katody - katoda může emitovat i ionty, používat nízkou teplotu katody, projevuje se pouze při velmi nízkých tlacích.
- Svodové proudy - nedokonalá izolace kolektoru od ostatních elektrod.



Odstranění svodových proudů.³

³J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

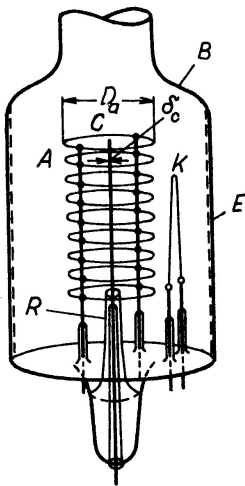
Při činnosti ionizačního manometru dochází k zachycování iontů kolektorem a tím k čerpacímu efektu.

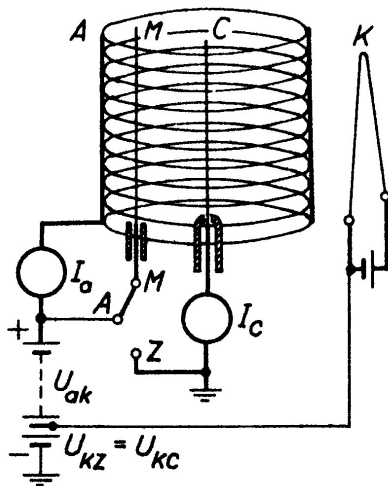
Konstrukce manometru

- s vnějším kolektorem - kolektor válcový, anoda válcová mřížka, katoda uvnitř anody
- s vnitřním kolektorem Bayard-Alpert - kolektor tenký drátek uprostřed, anoda válcová mřížka, katoda vně mřížky

Uspořádání Bayard-Alpert měří do nižších tlaků (10^{-9} Pa) než uspořádání s vnějším kolektorem. Spodní hranice měřitelného tlaku je dána zejména parazitním foto-proudem.

Maximální měřitelný tlak 10^0 Pa.





Modifikace Bayard-Alpert-Redhead, pro měření nízkých tlaků

5

⁵J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

Měření probíhá ve dvou krocích

- nejdříve spojíme modulátor s anodou ($M \rightarrow A$)
- pak ho spojíme s kolektorem ($M \rightarrow Z$), část iontů proudí na modulátor

$$M \rightarrow A ; I'_c = S'p + I'_x$$

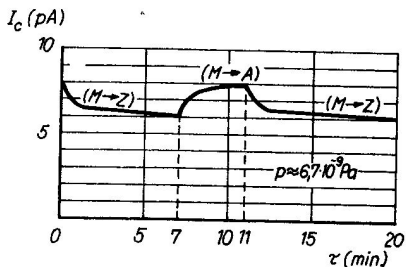
$$M \rightarrow Z ; I''_c = S''p + I''_x$$

$$S'' < S' \Rightarrow I'_c - I''_c = (S' - S'')p + (I'_x - I''_x)$$

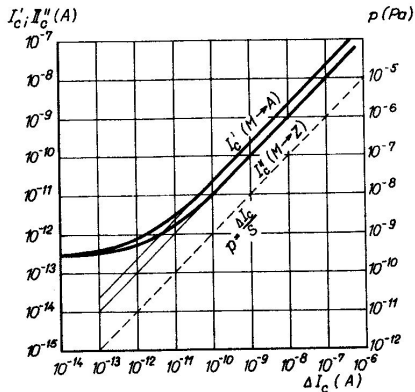
$$I'_x = I''_x \Rightarrow p = \frac{I'_c - I''_c}{S' - S''}$$

můžeme měřit tlaky $\sim 10^{-10}$ Pa (tenze par W při $T=2000$ K
 $P_p \sim 10^{-10}$ Pa) Ionizační manometry mění složení i tlak měřeného plynu.
Chyba měření $\sim 15\%$.

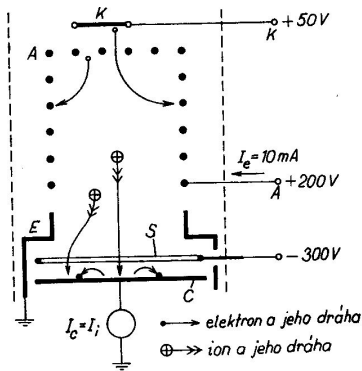
Speciální modifikace vnořený manometr.



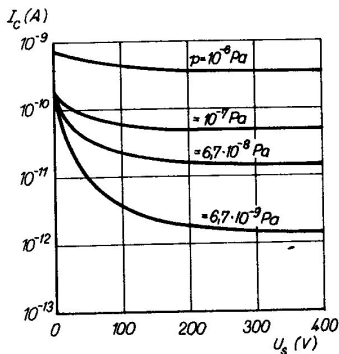
Obr. 5.49. Změny kolektorového proudu I_c při modulaci v Bayardově–Alpertově–Redheadově vakuometru. Zpomalené ustalování proudu I_c je způsobeno mezi jiným sorpčními a desorpčními procesy na modulatoru



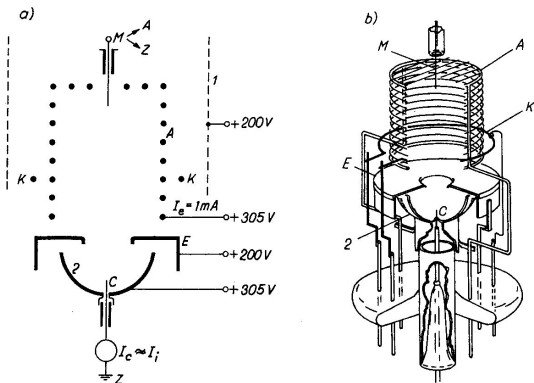
Obr. 5.48. Charakteristiky modulátorového vakuometru. Kolektorový proud: I'_c – při spojení modulátoru M s anodou ($M \rightarrow A$); I''_c – při spojení modulátoru se zemí ($M \rightarrow Z$); závislost tlaku na rozdílovém modulačním proudu ΔI_c je vyznačena čárkovane



Obr. 5.51. Schuemannův vakuometr s potenciálovou bariérou
 A – mřížková anoda; K – katoda;
 C – kolektor; E – stínění; S – prstencová elektroda (supresor)

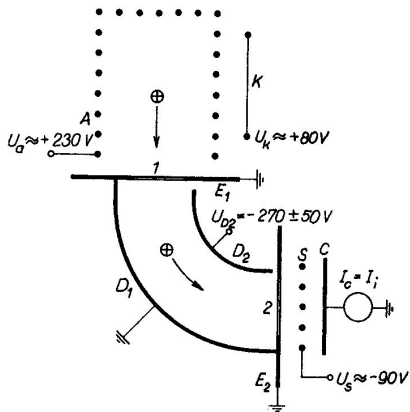


Obr. 5.52. Závislost kolektorového proudu I_c na potenciálu (záporném) supresoru U_s a tlaku p



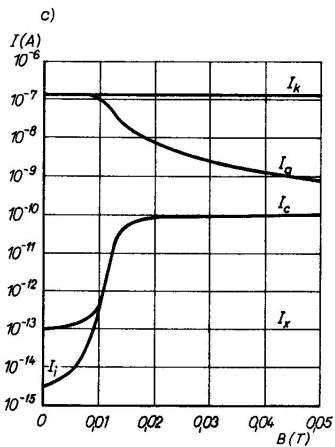
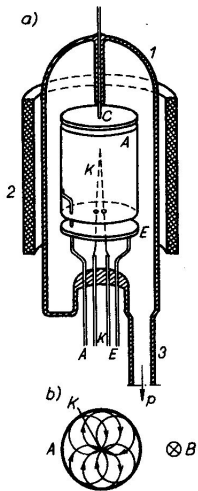
Obr. 5.53. Redheadův extraktorový vakuometr: a) schéma, b) konstrukční provedení. Stínění a baňka jsou na potenciálu katody (200 V), reflektor iontů je spojen s anodou (305 V)

A – mřížková anoda jedné strany otevřená; *E* – stínění; *K* – prstencová katoda (thoriovaný wolfram); *C* – kolektor; *M* – modulátor; *1* – baňka s pokoveným vnitřním povrchem; *2* – reflektor iontů



Obr. 5.56. Helmerův–Haywardův vakuometr se zakřiveným svazkem iontů

A – anoda; K – katoda;
 E_1, E_2 – clony; D_1, D_2 – elektrody deflektoru; C – kolektor;
 S – supresorová mřížka;
 $1, 2$ – otvory v clonách



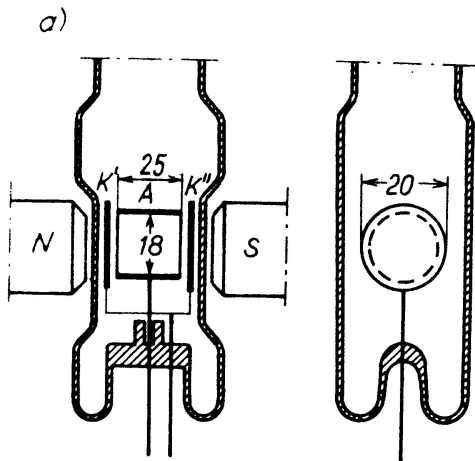
Ionizační manometr se studenou katodou (Výbojový manometr)

Měření využívá závislosti parametrů elektrického výboje za nízkého tlaku na tlaku. Princip je založen na samostatném výboji, který vzniká při vysokém napětí. Proud procházející výbojem je mírou tlaku $I = f(p)$.

$$I \sim N_e L_i d_0^2 p e^{-\frac{U_i d_0}{kTE}}$$

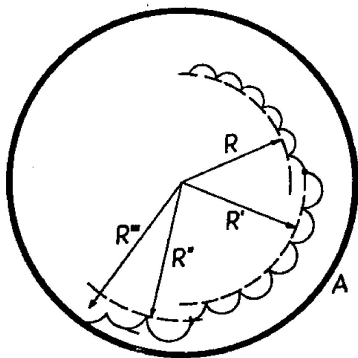
- N_e - počet elektronů emitovaných katodou za 1s
- L_i - dráha na které dochází k ionizaci
- d_0 - efektivní průměr molekuly plynu
- U_i - ionizační potenciál plynu
- E - intenzita elektrického pole mezi K-A
- p - tlak plynu

$$I = K_1 p$$

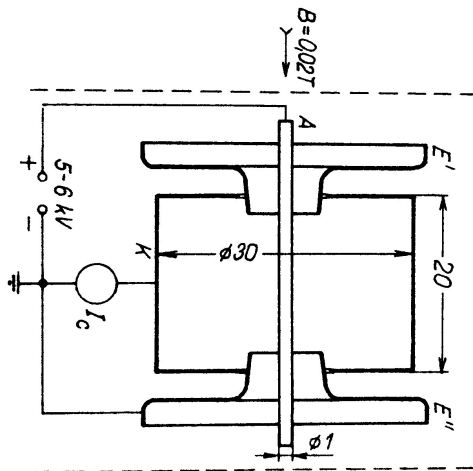


Výbojový manometr - Penning ¹²

¹²J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

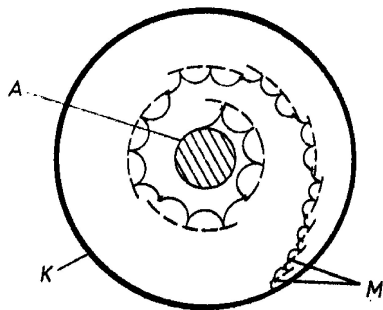


Obr. 7-26. Dráhy elektronu ve výbojovém manometru s magnetickým polem.



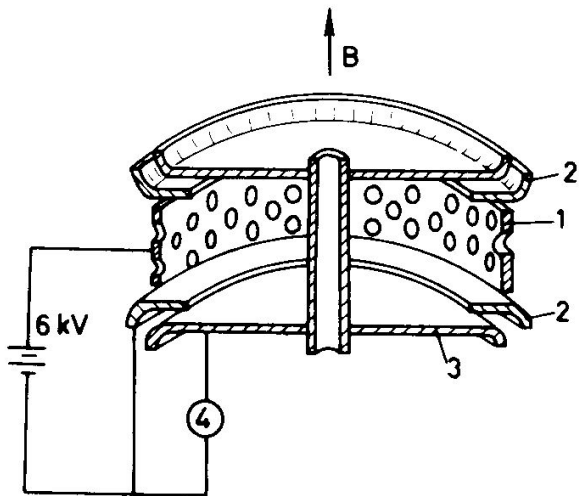
Výbojový manometr - inverzní magnetron ¹⁴

¹⁴J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



Obr. 7-30. Dráhy elektronu v inverzním výbojovém manometru

- A* — anoda
- K* — katoda
- M* — místa srážky.



- Penningův manometr - Anoda ve tvaru válce, dvě ploché katody, magnetické pole kolmé ke katodě
- Inverzní magnetron - Katoda ve tvaru válce, tyčová anoda, magnetické pole rovnoběžné s anodou

Dolní hranice měřeného tlaku 10^{-7} Pa.

Se stínící elektrodou dolní hranice tlaku 10^{-9} Pa.

Horní hranice měřeného tlaku 10^0 Pa.

Velká dráha elektronů vlivem geometrie elektrod a magnetického pole. Při nízkém tlaku potíže se zapálením a s udržení stabilního výboje.

Rozprašování elektrod. Chyba měření asi $\sim 15 - 30\%$.

Ionizační manometr s radioaktivním zářičem (Alfatron)

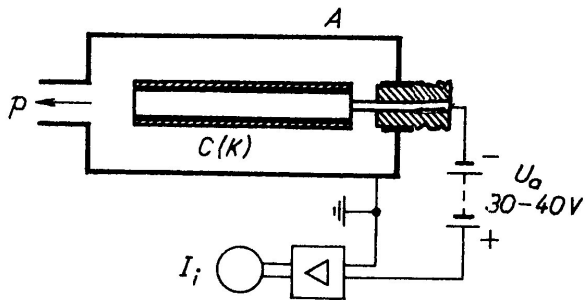
Ionizace se uskutečňuje pomocí α - zářiče, zářič s velkým poločasem rozpadu (radium, 1600 let) Iontový proud je úměrný tlaku

$$I_p = S p$$

S - závisí na druhu plynu, nepřímá metoda

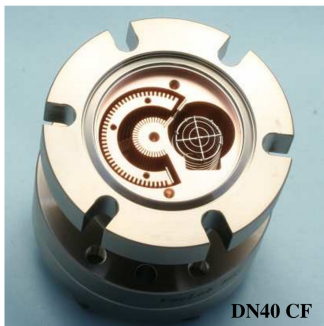
Dolní hranice měřeného tlaku 10^{-2} Pa, (fotoproud vyvolaný β - rozpadem)

Horní hranice měřeného tlaku 10^3 Pa.

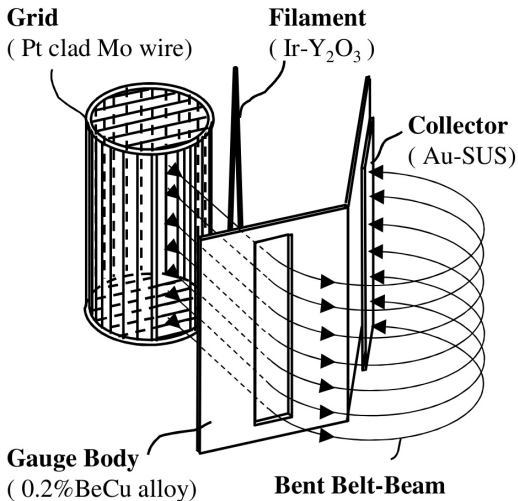


17

Měrka pro XHV vakuum



Top view of the 3BG-03, without the cover on the deflector and collector. The flanged mounting surface of the deflector can be seen in the picture, with its 3 mounting holes. Within the functional volume of the gauge, the deflector is an open array of bars and slots.



Měrka pro XHV vakuum

Bent Belt-Beam - ionizační manometr

- 3BG-03
- citlivost $5 \sim 8 \times 10^{-2} \text{ Pa}^{-1}$
- min. tlak $5 \times 10^{-12} \text{ Pa}$

pro porovnání ionizační manometr z vak. praktika
PBR 260 - Pirani + ionizační se žhavenou katodou

- rozsah měření $5 \times 10^{-10} - 1000 \text{ hPa}$

Sorpční měřící metoda

K měření tlaku můžeme využít závislosti objemové koncentrace na koncentraci povrchové.

$$n_s = \nu \tau$$

τ - je doba pobytu molekul na stěně, n_s - je povrchová koncentrace

$$\nu = \frac{1}{4} n v_a ; p = nkT \Rightarrow n_s = \frac{p}{\sqrt{2\pi kT m_0}} \quad \tau = \frac{N'}{A}$$

Dokonale odplyněný povrch části systému (povrch vlákna, který se žhavlí průchodem proudu) se uvede do styku s molekulami měřeného objemu za normální teploty. Po době Δt se vlákno zahřeje a tím se uvolní molekuly adsorbované během této doby. Jiným manometrem (nejčastěji ionizačním se žhavenou katodou) se změří tlak p' .

Předpoklady $\tau > \Delta t$; $p' \gg p$

$$\nu = \frac{N'}{A\Delta t} ; p' = \frac{N'kT}{V} \Rightarrow N' = \frac{p'V}{kT}$$

$$p = \nu\sqrt{2\pi kTm_0} \Rightarrow p = \frac{N'}{A\Delta t}\sqrt{2\pi kTm_0}$$

$$p = K \frac{p'}{\Delta t}$$

Měříme pouze průměrný tlak během doby Δt . Měření je nespojitě.
Horní hranice pro měřený tlak je dána podmínkou, že na konci doby Δt není ještě vytvořena monomolekulární vrstva adsorbovaných molekul $\sim 10^{-7}$ Pa . Zdola není měřený tlak omezen.

Manometr	metoda	min [Pa]	max [Pa]
kapalinové U-trubice	absolutní	10^{-1}	10^5
McLeodův	absolutní	10^{-4}	10^2
mechanické	absolutní	10^2	10^5
kapacitní	absolutní	10^{-3}	10^5
piezo	absolutní	10^1	10^5
viskózní s kuličkou	nepřímá	10^{-5}	10^1
Pirani	nepřímá	10^{-2}	10^5
ionizační se žhavenou katodou	nepřímá	10^{-9}	10^0
ionizační se studenou katodou	nepřímá	10^{-7}	10^0