

# *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  $n_i = \gamma n$  ;  $\gamma < 1$ .

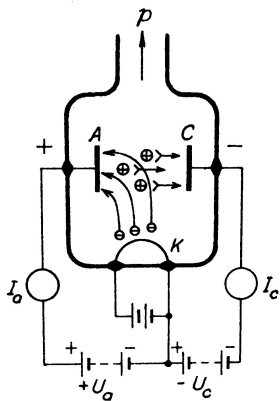
## Podmínky činnosti:

- je nutné pracovat při stejné teplotě, při které byl manometr cejchován.
- koeficient  $\gamma$  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*



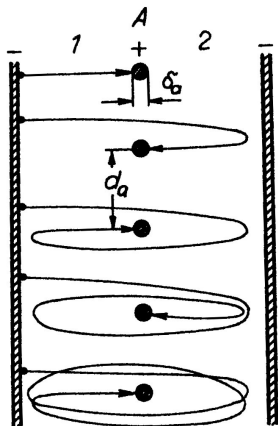
Katoda vytváří elektronový proud  $I_e$ , který ionizuje plyn. Kolektor sbírá kladné ionty.  $I_p$  - proud kladných iontů na kolektor,  $I_e$  - emisní elektronový proud na anodu,  $p$  - tlak plynu

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

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

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

	He	Ne	$H_2$	$N_2$	CO	$O_2$	Ar	Hg
$\epsilon_{max}$	1.2	3	3.7	10	11	12	13	19
$U_{max} [V]$	110	170	65	95	100	120	90	85



Kmity elektronů při použití mřížkové anody.

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.

$$I_c = I_p = K_0 I_e p$$

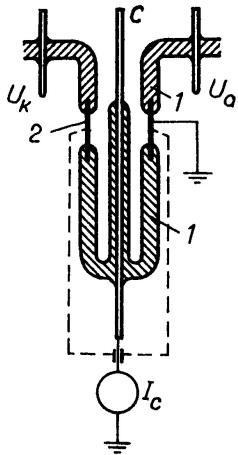
Ve skutečnosti se mohou v obvodu kolektoru projevit parazitní proudy.

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

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 desorpcí - 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.



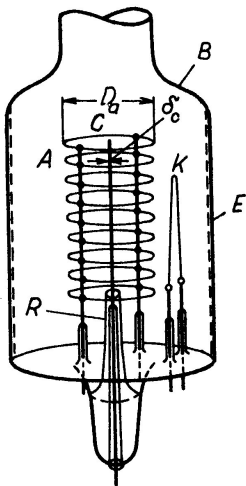
Při činnosti ionizačního manometru dochází k zachycování iontů kolektorem a tím k čerpacímu efektu.

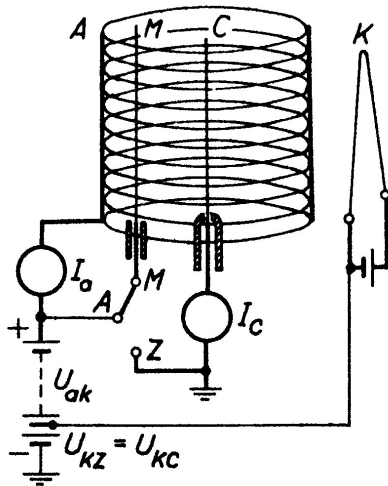
### Konstrukce manometru

- 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

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

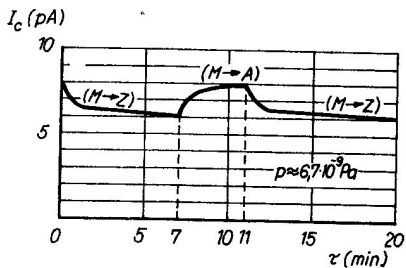
$$M \rightarrow A ; I'_c = S'p + I'_x$$

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

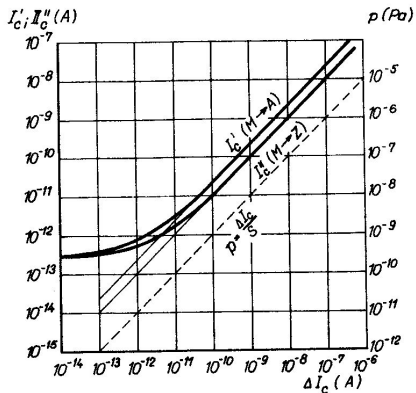
$$S'' < S' \Rightarrow I'_c - I''_c = (S' - S'')p + (I'_x - I''_x)$$

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

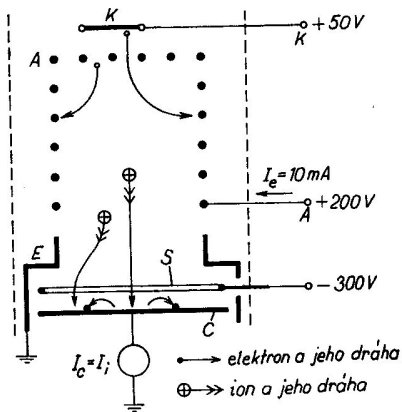
můžeme měřit tlaky  $\sim 10^{-10} Pa$  (tenze par W při  $T=2000K$   
 $P_p \sim 10^{-10} Pa$ ) Ionizační manometry mění složení i tlak měřeného plynu. Chyba měření  $\sim 15\%$ . Speciální modifikace vnořený manometr.



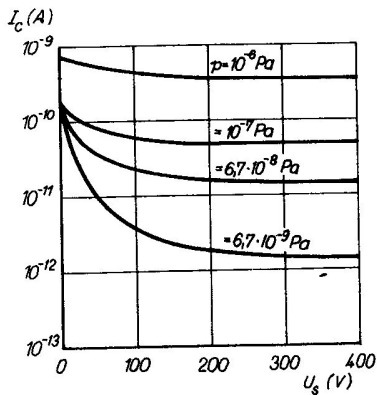
Obr. 5.49. Změny kolektorového proudu  $I_c$  při modulaci v Bayardově–Alpertově–Redheadově vakuometru. Zpomalené ustalování proudu  $I_c$  je způsobeno mezi jiným sorpčními a desorpčními procesy na modulátoru



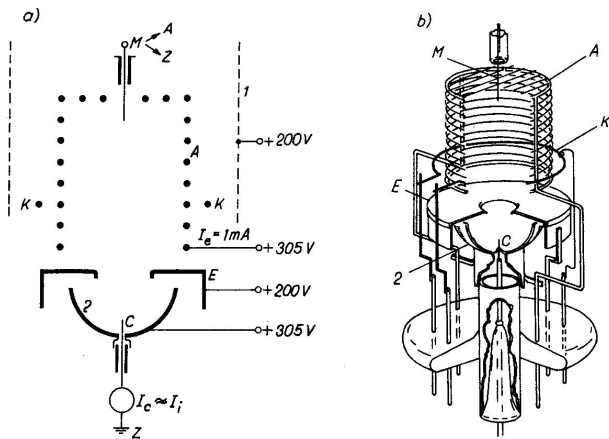
Obr. 5.48. Charakteristiky modulátorového vakuometru. Kolektorový proud:  $I'_c$  – při spojení modulátoru  $M$  s anodou ( $M \rightarrow A$ );  $I''_c$  – při spojení modulátoru se zemí ( $M \rightarrow Z$ ); závislost tlaku na rozdílovém modulačním proudu  $\Delta I_c$  je vyznačena čárkovaně



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



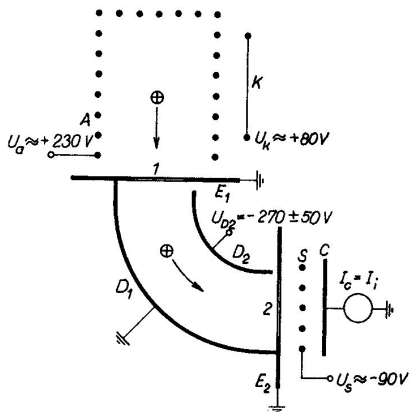
Obr. 5.52. Závislost kolektorového proudu  $I_c$  na potenciálu (záporném) supresoru  $U_s$  a tlaku  $p$



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)

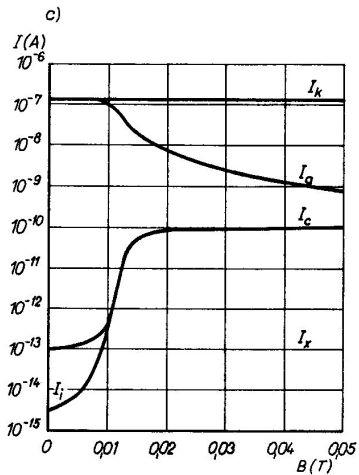
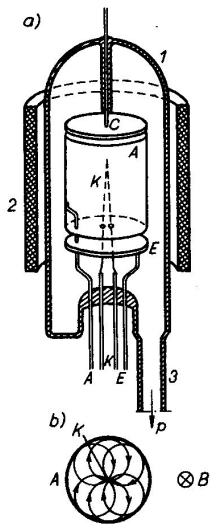
*A* – mřížková anoda jedné strany otevřená; *E* – stínění; *K* – prstencová katoda (thoriovaný wolfram); *C* – kolektor; *M* – modulátor; *1* – baňka s pokoveným vnitřním povrchem; *2* – reflektor iontů

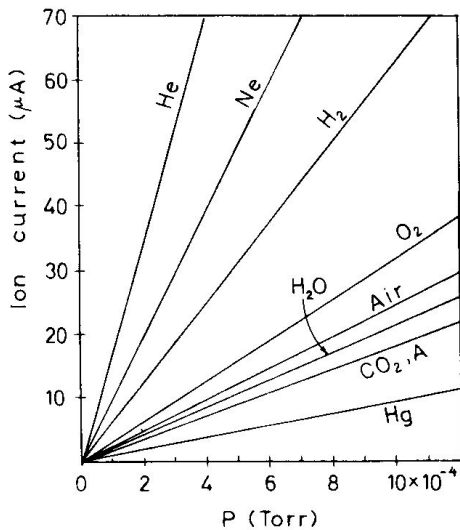




Obr. 5.56. Helmerův–Haywardův vakuometr se zakřiveným svazkem iontů

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





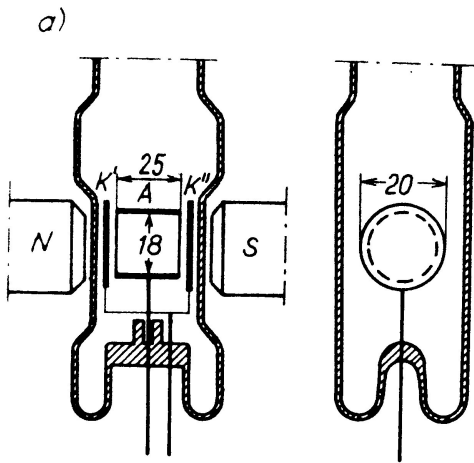
## *Ionizační manometr se studenou katodou (Výbojový manometr)*

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  $I = f(p)$ .

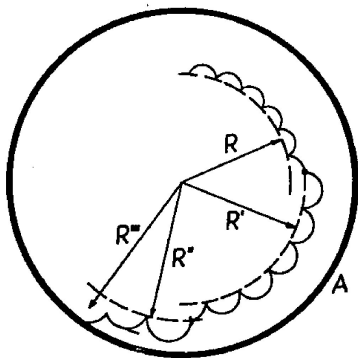
$$I \sim N_e L_i d_0^2 p e^{-\frac{U_i d_0}{k T E}}$$

- $N_e$  - 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

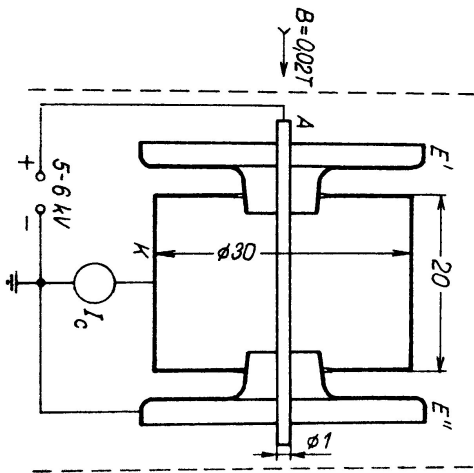
$$I = Sp$$



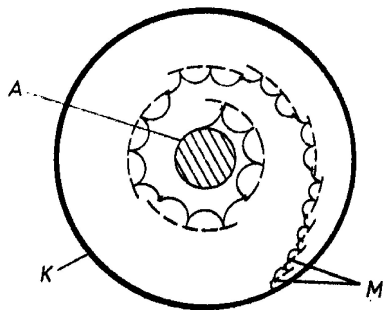
Výbojový manometr - Penning



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



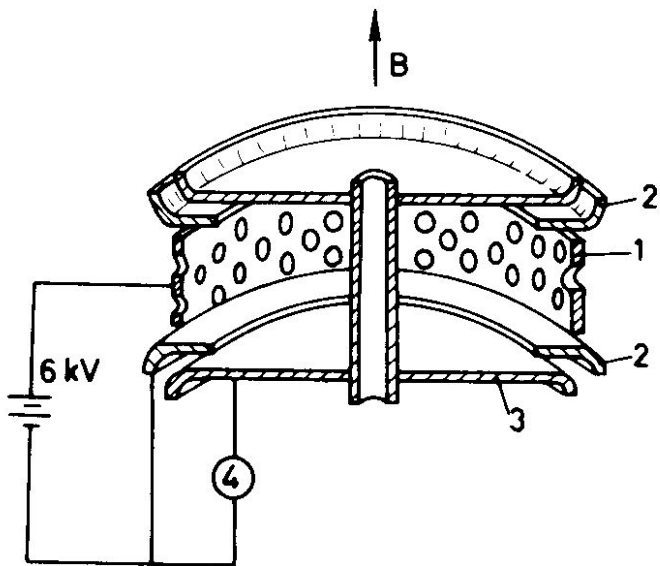
Výbojový manometr - inverzní magnetron



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

## *Ionizační manometr s radioaktivním zářičem (Alfatron)*

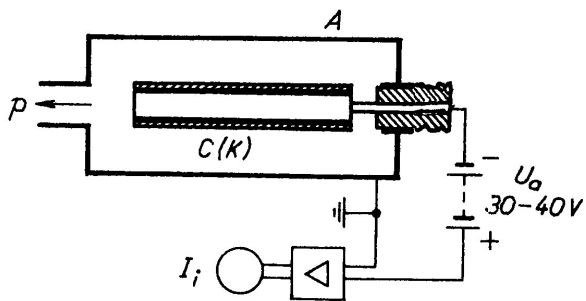
Ionizace se uskutečňuje pomocí  $\alpha$  - zářiče, zářič s velkým poločasem rozpadu (radium, 1600let) Iontový proud je úměrný tlaku

$$I_p = Sp$$

$S$  - závisí na druhu plynu, nepřímá metoda

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

Horní hranice měřeného tlaku  $10^3 Pa$ .



## Sorpční měřicí metoda

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

$$n_s = \nu \tau$$

$\tau$  - je doba pobytu molekul na stěně,  $n_s$  - je povrchová koncentrace

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

Dokonale odplyněný povrch části systému (povrch vlákna, který se žhavl průchodem proudy) se uvede do styku s molekulami měřeného objemu za normální teploty. Po době  $\Delta t$  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  $\Delta t$ . Měření je nespojitě. Horní hranice pro měřený tlak je dána podmínkou, že na konci doby  $\Delta t$  není ještě vytvořena monomolekulární vrstva adsorbovaných molekul  $\sim 10^{-7} Pa$ . Zdola není měřený tlak omezen.

## Indikace tlaku podle výboje

Pouze přibližná metoda.

P[Pa]	Tvar výboje
$5 \times 10^3 - 10^3$	hadovitý výboj
$10^3 - 5 \times 10^2$	elektrody se pokryjí doutnavým světlem
$10^2$	kladný sloupec vyplní 2/3 trubice
$5 \times 10^1$	vrstvy v kladném sloupci
10	vrstvy mizí, záporné světlo 1/2 trubice
5	záporné světlo v celé trubici, fluorescence skla
1	fluorescence mizí

Manometr	metoda	min [Pa]	max [Pa]
ionizační se žhavenou katodou	nepřímá	$10^{-10}$	$10^0$
ionizační se studenou katodou	nepřímá	$10^{-9}$	$10^0$
ionizační s radioaktivním zářičem	nepřímá	$10^{-2}$	$10^3$
sorpční metoda	nepřímá		$10^{-7}$



## Manometr na principu dynamické expanze

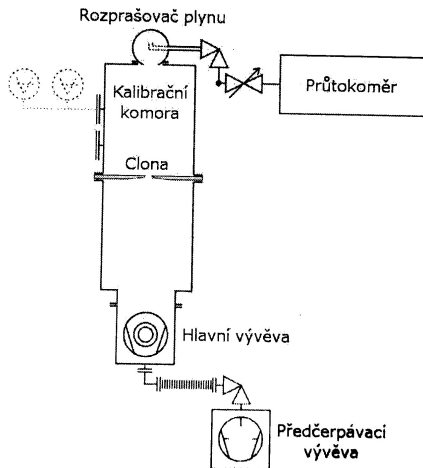
Do kalibrační komory vpouštíme známý proud plynu a komoru čerpáme známou čerpací rychlostí. Pak platí

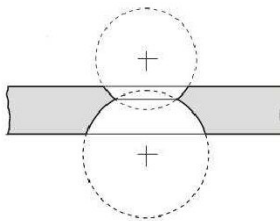
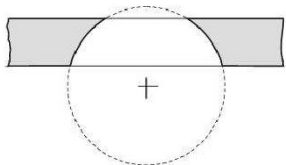
$$p = \frac{I}{S}$$

Mezi vývěvu a kalibrační komoru se zařazuje kruhová clona se známou vodivostí. Vodivost clony je řádově menší než čerpací rychlost (eliminace fluktuací čerpací rychlosti). Nutno zajistit izotermičnost měření. Je nutné udržet konstantní proud plynu  $I$ , konstantní čerpací rychlost vývěvy, molekulární režim proudění clonou.

$$p = I \left( \frac{1}{S} + \frac{1}{C} \right)$$

Měřicí rozsah  $10^{-1} - 10^{-5} Pa$ , v daném rozsahu nejpřesnější.





Speciální clony NPL (vyrábí National Physical Laboratory)