

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

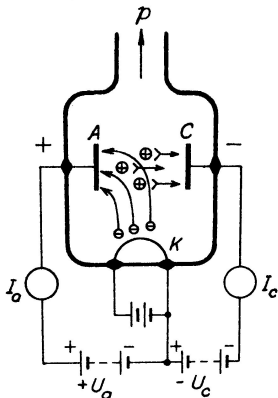
Podmínky činnosti:

- 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



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

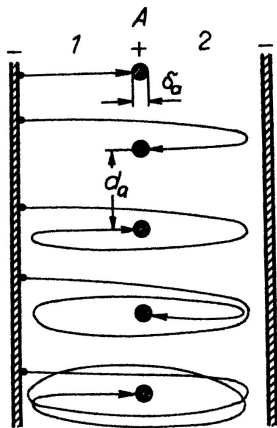
Katoda vytváří elektronový proud I_e , který ionizuje plyn. Kolektor sbírá kladné ionty. I_p - proud kladných iontů na kolektor, I_e - emisní elektronový proud na anodu, p - tlak plynu

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

$K_0[\text{Pa}^{-1}]$ 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. J. 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.

$$I_c = I_p = K_0 I_e p$$

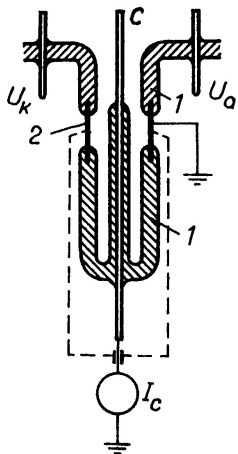
Ve skutečnosti se mohou v obvodu kolektoru projevit parazitní proudy.

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

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 desorpčí** - 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. J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

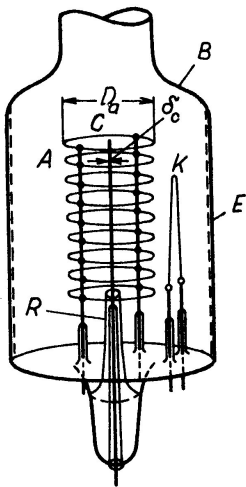
Při činnosti ionizačního manometru dochází k zachycování iontů kolektorem a tím k čerpacímu efektu.

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.

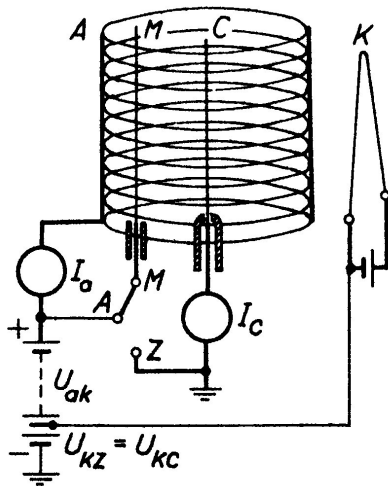
Maximální měřitelný tlak 10^0 Pa.



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

Ionizační manometry se žhavenou katodou

- Ionizační manometry mění složení i tlak měřeného plynu.
- chyba měření $\sim 15\%$.
- speciální modifikace vnořený manometr.
- řada konstrukčních modifikací



Modifikace Bayard-Alpert-Redhead, pro měření nízkých tlaků

J. 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

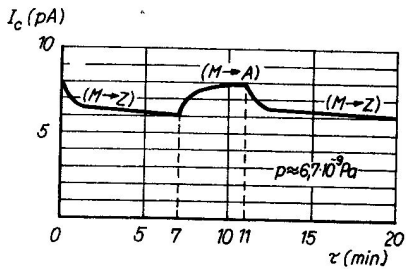
$$M \rightarrow A ; I'_c = S'p + I'_x$$

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

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

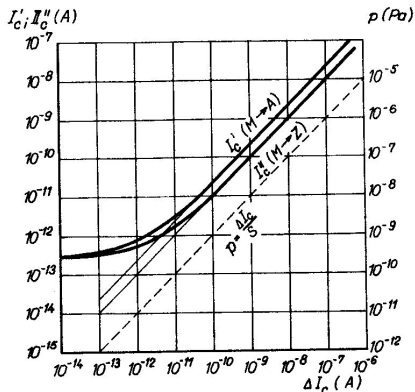
$$I'_x = I''_x \Rightarrow p = \frac{I'_c - I''_c}{S' - S''}$$

můžeme měřit tlaky $\sim 10^{-10}$ Pa (tenze par W při $T=2000$ K
 $P_p \sim 10^{-10}$ Pa)

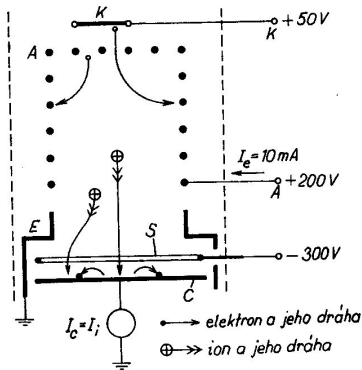


Obr. 5.49. Změny kolektorového proudu I_c při modulaci v Bayardově–Alpertově–Redheadově vakuometru. Zpomalené ustalování proudu I_c je způsobeno mezi jiným sorpčními a desorpčními procesy na modulátoru

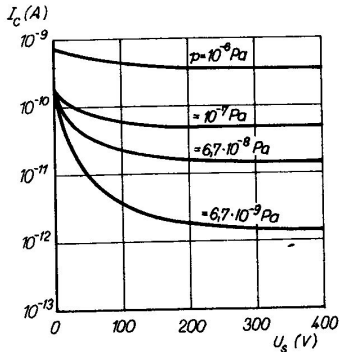
J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



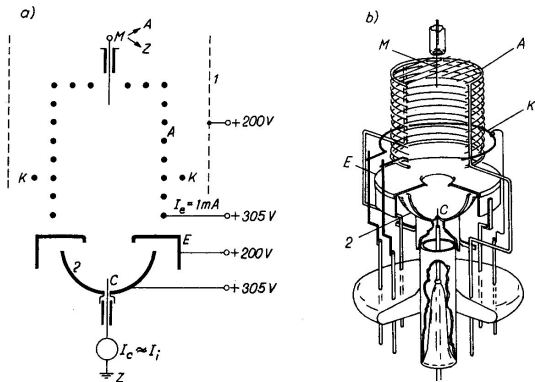
Obr. 5.48. Charakteristiky modulátorového vakuometru. Kolektorový proud: I_c' – při spojení modulátoru M s anodou ($M \rightarrow A$); I_c'' – při spojení modulátoru se zemí ($M \rightarrow Z$); závislost tlaku na rozdílovém modulačním proudu ΔI_c je vyznačena čárkovaně



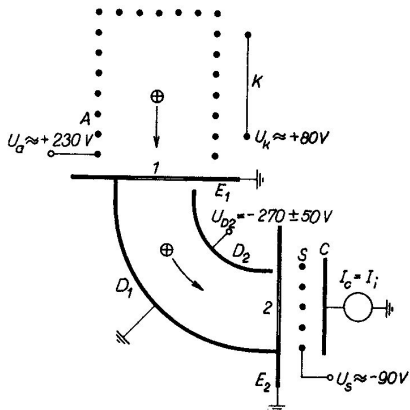
Obr. 5.51. Schumannův vakuometr s potenciálovou bariérou
 A – mřížková anoda; K – katoda;
 C – kolektor; E – stínění; S – prstencová elektroda (supresor)



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

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

Ionizační manometr se studenou katodou (Výbojový manometr)

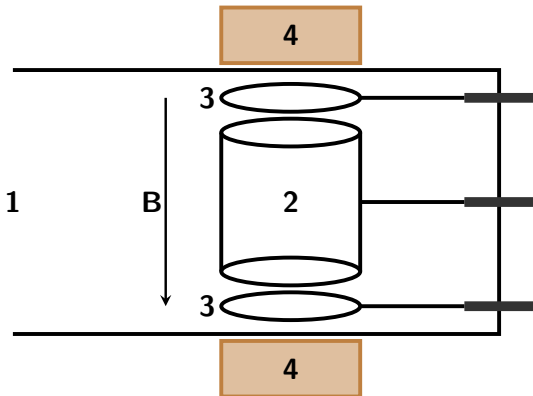
Princip: samostatný výboj

Výbojové manometry s magnetickým polem

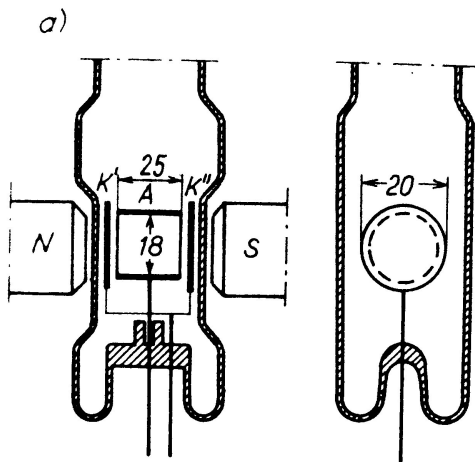
Existují dvě základní konstrukce:

- 1936 – Penningův manometr
- 1958 – Inverzní magnetron

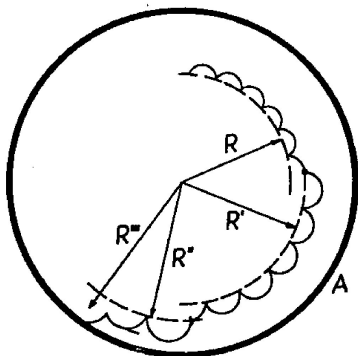
Penningův manometr



- 1 – připojení měřeného tlaku, 2 – válcová anoda, 3 – katoda,
4 – permanentní magnet

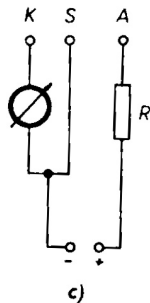
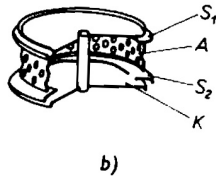
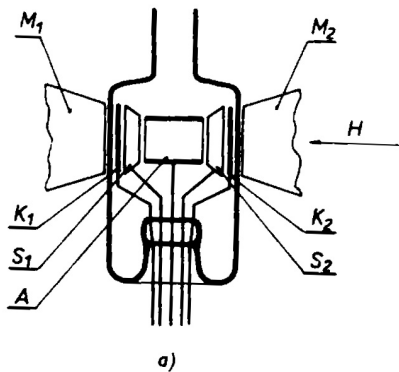


Výbojový manometr - Penning J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



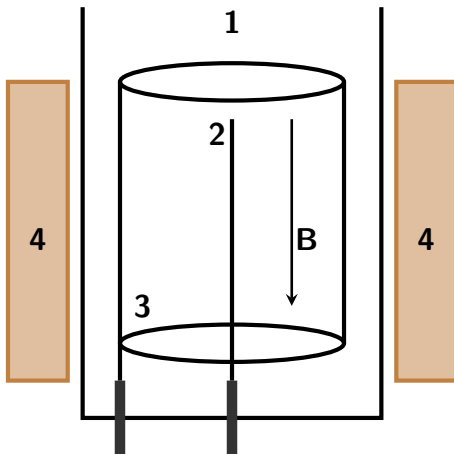
Obr. 7-26. Dráhy elektronu ve výbojovém manometru s magnetickým polem.

L. Pátý: Fyzika nízkých tlaků, Academia, Praha 1968

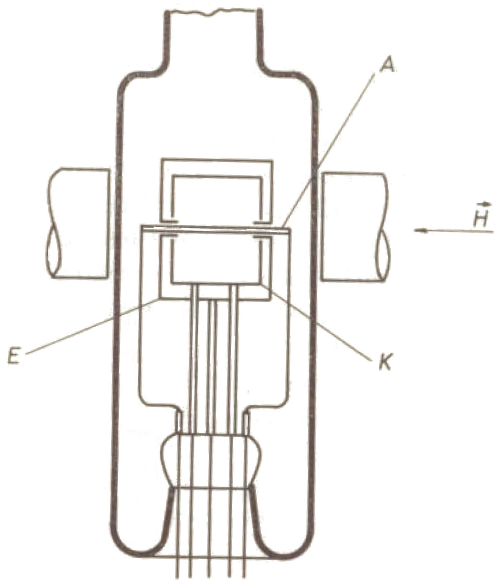


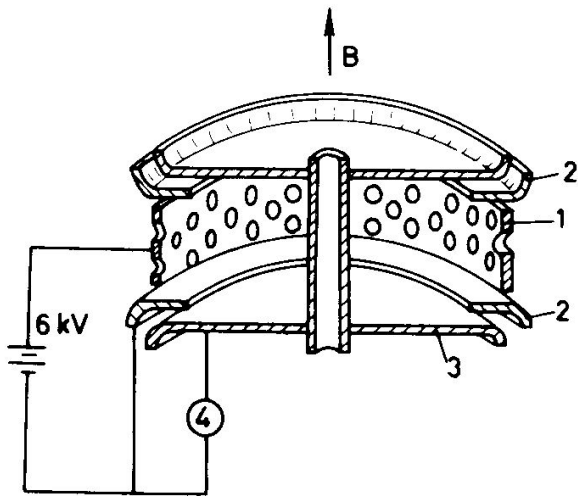
L. Pátý: Fyzika nízkých tlaků, Academia, Praha 1968

Inverzní magnetron



1 – připojení měřeného tlaku, 2 – anoda, 3 – válcová katoda,
4 – permanentní magnet





A. Roth: Vacuum technology, Elsevier, 1990

Parametry manometrů

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 1 s
- 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

výbojový proud můžeme aproximovat:

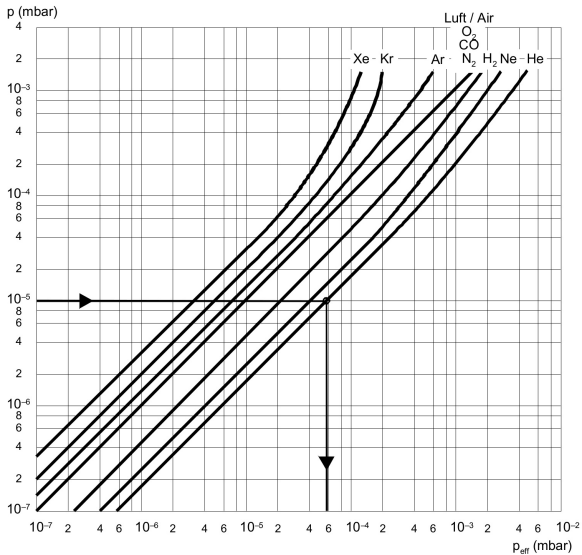
$$I = K_1 p^u$$

pro většinu plynu v oboru tlaků 10^{-2} až 10^{-7} Pa platí $1,10 \leq u \leq 1,15$

Manometry se studenou katodou jsou závislé na druhu plynu.
Například pro měrku IKR 050 (Pfeiffer) platí pro tlaky $< 10^{-3}$ Pa

$$p_{\text{eff}} = C \times p_r$$

plyn	C
vzduch (N ₂ , O ₂ , CO)	1,0
Xe	0,4
Kr	0,5
Ar	0,8
H ₂	2,4
Ne	4,1
He	5,9



Parametry

- velikost magnetického pole 0,02 – 0,1 T
- velikost napětí 2 – 6 kV
- výbojového proudu < 2 mA
- rozsah měřených tlaků $10^{-1} - 10^{-7}$ Pa (10^{-9} Pa)
- typická chyba měření 15 – 30 %

- **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

Parametry ukázek

VC2T - TESLA Rožnov

- rozsah měření: $1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-4}$ Pa
- napětí ~ 2 kV
- mag. pole: $\sim 0,04$ T

IKR 020 - Balzers

- rozsah měření: $5 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-7}$ Pa
- napětí ~ 3 kV
- mag. pole: $\sim 0,1$ T

Provoz a použití

- aktivní, nebo pasivní provedení
- libovolná orientace
- magnetické pole
- rozprašování elektrod
- čištění manometrů
- teplota odplynění 150 – 250 °C

Výhody a nevýhody

Výhody

- robustní konstrukce
- jednoduchý měřicí obvod
- rozsah měřených tlaků
- vydrží prudké zavzdušnění

Nevýhody

- čerpací efekt
- závislost na druhu plynu
- chyba měření
- špatně startuje při nízkých tlacích (10^{-7} Pa \sim 5 minut)

Ionizační manometr s radioaktivním zářičem (Alfatron)

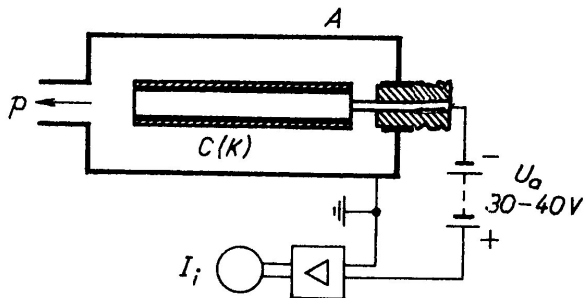
Ionizace se uskutečňuje pomocí α - zářiče, zářič s velkým poločasem rozpadu (radium, 1600 let) Iontový proud je úměrný tlaku

$$I_p = S p$$

S - závisí na druhu plynu, nepřímá metoda

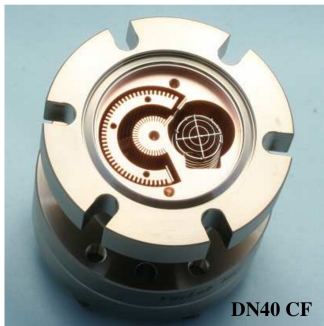
Dolní hranice měřeného tlaku 10^{-2} Pa, (fotoproud vyvolaný β - rozpadem)

Horní hranice měřeného tlaku 10^3 Pa.

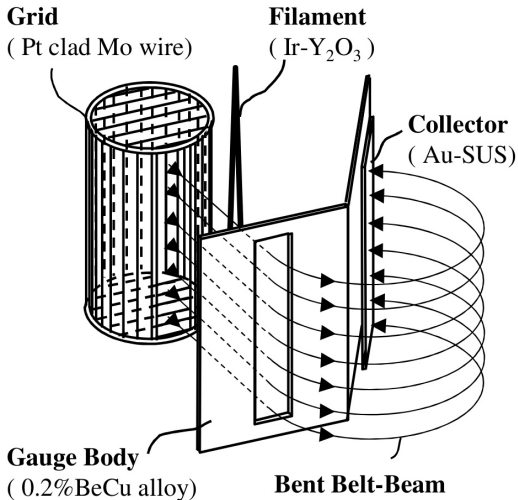


J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

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

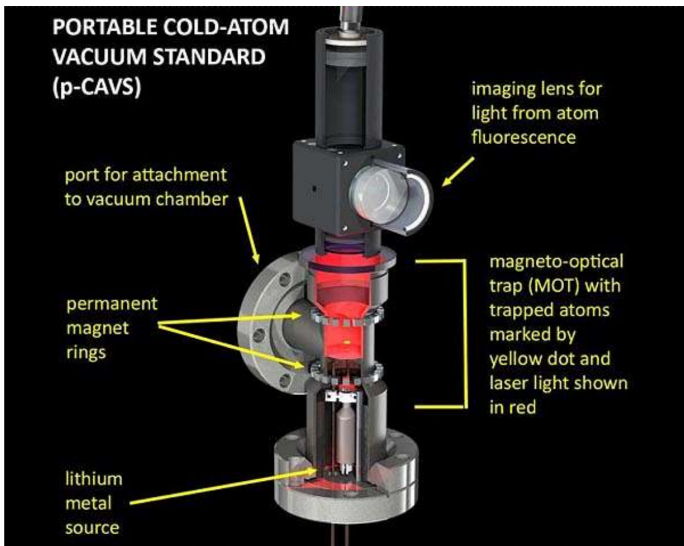
Bent Belt-Beam - ionizační manometr

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

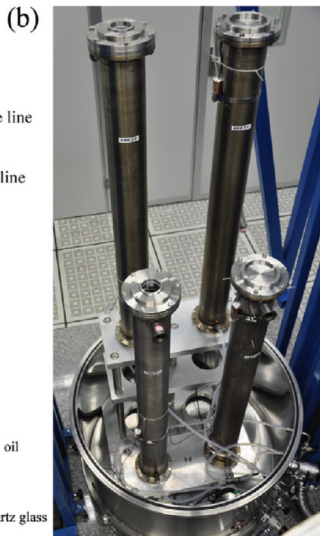
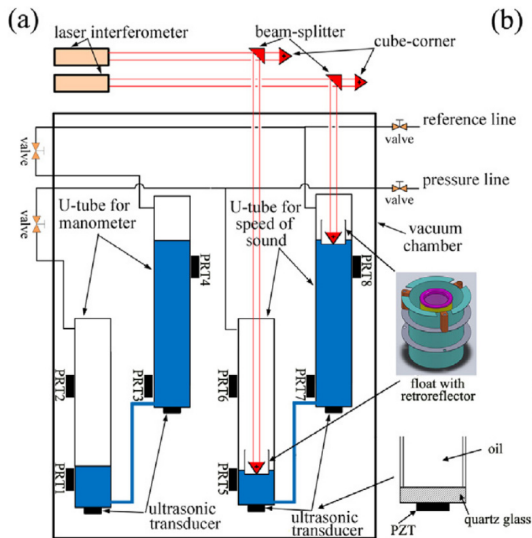
pro porovnání ionizační manometr z vak. praktika
PBR 260 - Pirani + ionizační se žhavenou katodou

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

MOT



U-trubice



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