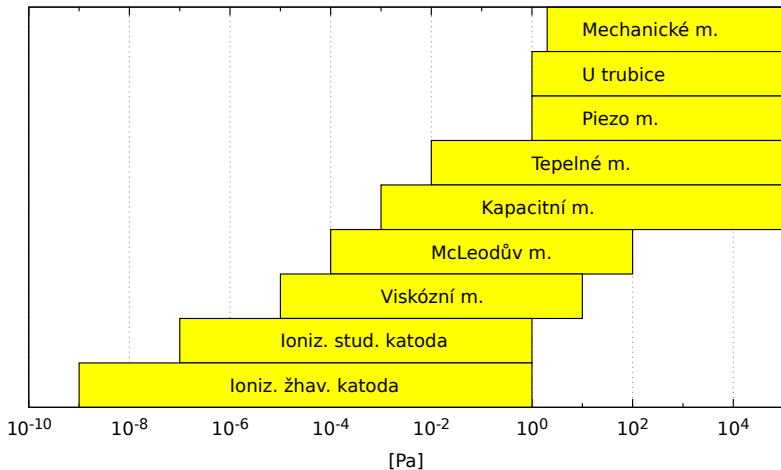


# Manometry

- Ionizační manometry
  - Konstrukce
  - Parametry
  - Provoz a použití
  - Výhody a nevýhody
- Kalibrace manometrů - etalony
- Speciální typy manometrů

# Úvod

Proč používáme ionizační manometry?



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

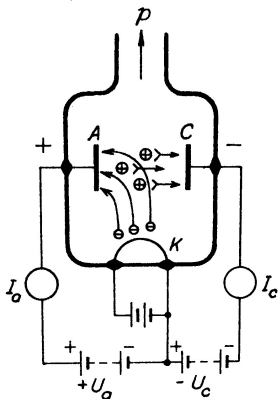
## Podmínky činnosti:

- 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

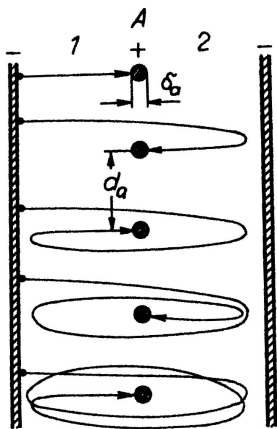
## Nevýhody:

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

# Ionizační manometr se žhavenou katodou



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



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.

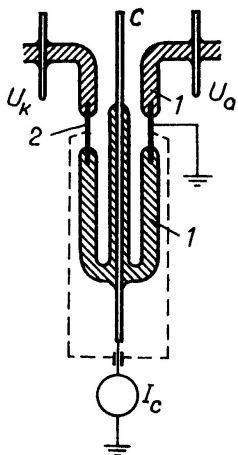
$$I_c = I_p + \sum_i I_i = K_0 I_e p + \sum_i I_i$$

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

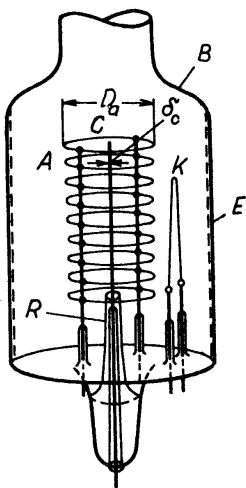
Při činnosti ionizačního manometru dochází k zachycování iontů kolektorem a tím k čerpacímu efektu.

### Konstrukce manometru

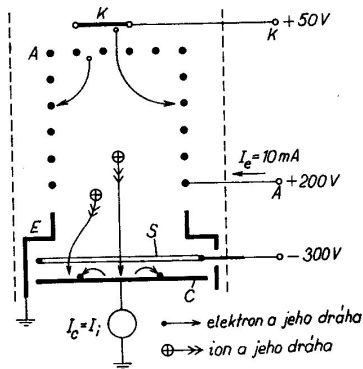
- s vnějším kolektorem - kolektor válcový, anoda válcová mřížka, katoda uvnitř anody
- s vnitřním kolektorem Bayard-Alpert - kolektor tenký drátek uprostřed, anoda válcová mřížka, katoda vně mřížky

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.

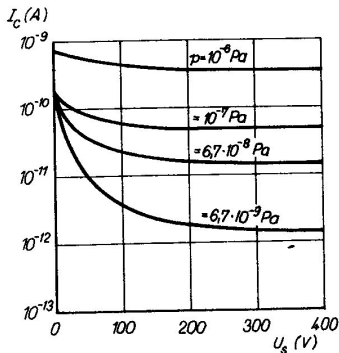
Maximální měřitelný tlak  $10^0$  Pa.



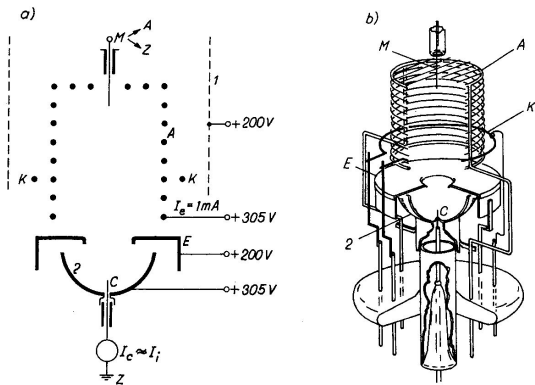
J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



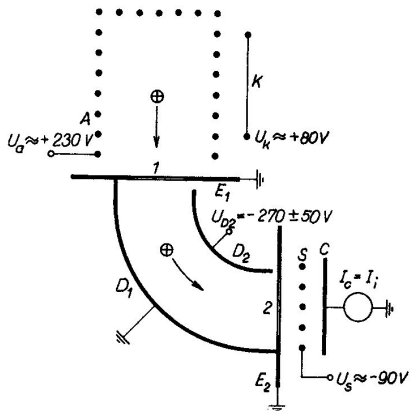
Obr. 5.51. Schuemannův vakuometr s potenciálovou bariérou  
 A – mřížková anoda; K – katoda;  
 C – kolektor; E – stínění; S – prstencová elektroda (supresor)



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



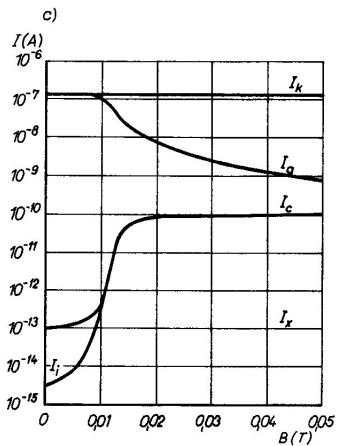
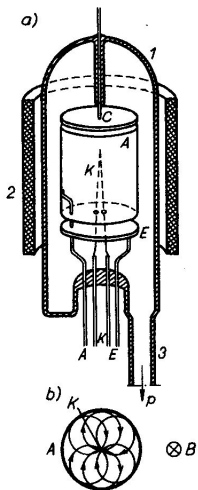
Obr. 5.53. Redheadův extraktorový vakuometr: a) schéma, b) konstrukční provedení. Stínění a baňka jsou na potenciálu katody (200 V), reflektor iontů je spojen s anodou (305 V)  
*A* – mřížková anoda jedné strany otevřená; *E* – stínění; *K* – prstencová katoda (thoriovaný wolfram); *C* – kolektor; *M* – modulátor; *1* – baňka s pokoveným vnitřním povrchem; *2* – reflektor iontů



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

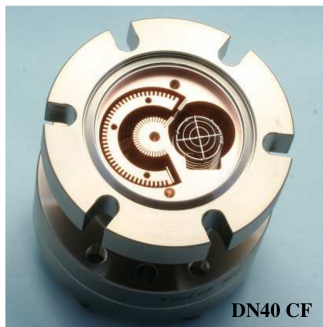
A – anoda; K – katoda;  
 $E_1, E_2$  – clony;  $D_1, D_2$  – elektrody  
 deflektoru; C – kolektor;  
 S – supresorová mřížka;  
 1, 2 – otvory v clonách

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

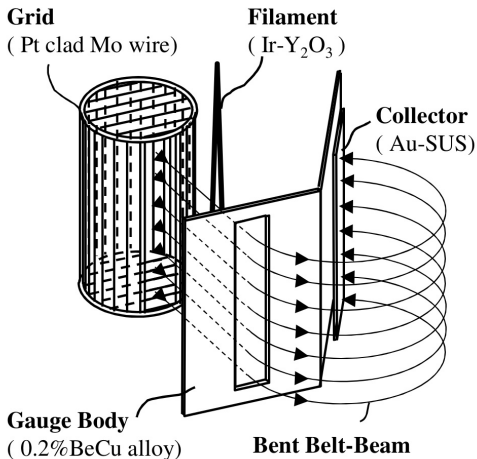


J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

# 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.



firční materiály VacLab Inc.



# Měřka 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

- rozsah měření  $5 \times 10^{-8} - 10^5 \text{ Pa}$

# Ionizační manometr se studenou katodou (Výbojový manometr)

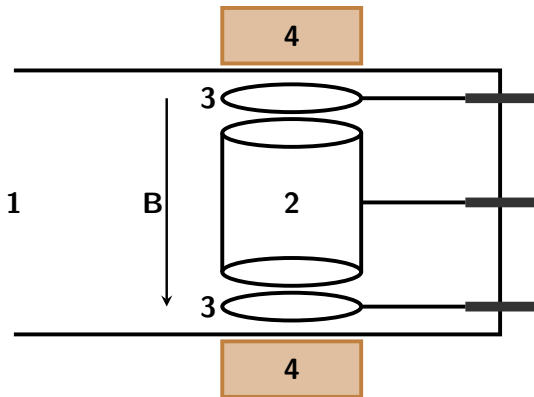
Princip: samostatný výboj

Výbojové manometry s magnetickým polem

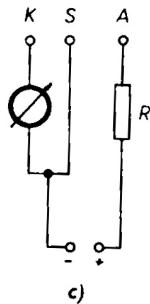
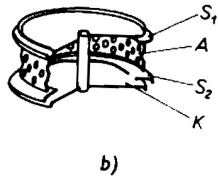
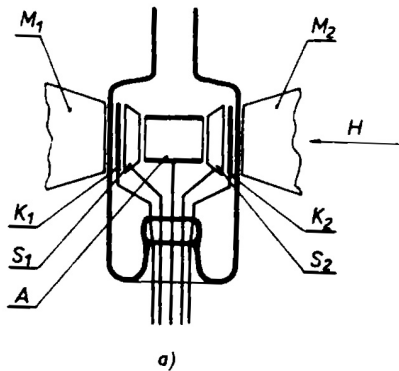
Existují dvě základní konstrukce:

- 1936 – Penningův manometr
- 1958 – Inverzní magnetron

# Penningův manometr

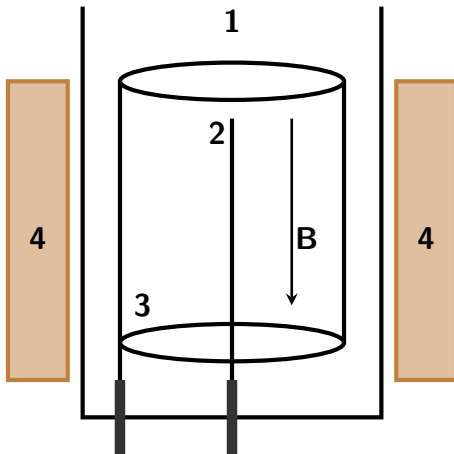


1 – připojení měřeného tlaku, 2 – válcová anoda, 3 – katoda,  
4 – permanentní magnet

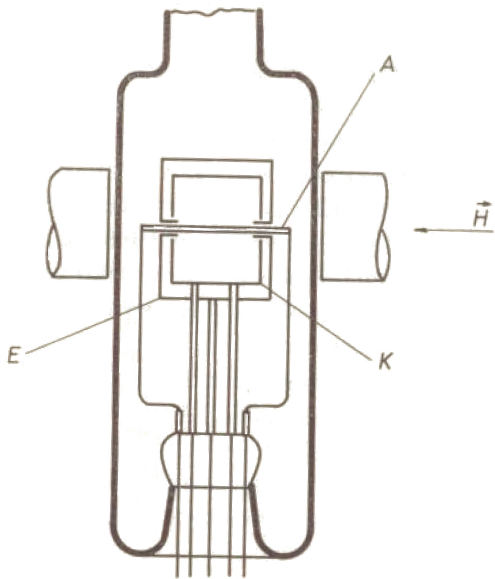


L. Pátý: Fyzika nízkých tlaků, Academia, Praha 1968

# Inverzní magnetron



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



# 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:

$$I = K_1 p^u$$

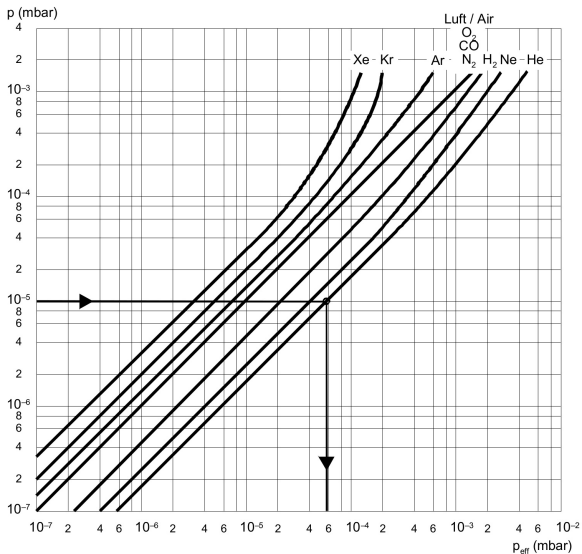
pro většinu plynu v oboru tlaků  $10^{-2}$  až  $10^{-7}$  Pa platí  $1,10 \leq u \leq 1,15$

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

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

plyn	C
vzduch (N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO)	1,0
Xe	0,4
Kr	0,5
Ar	0,8
H <sub>2</sub>	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 %

# Parametry ukázek

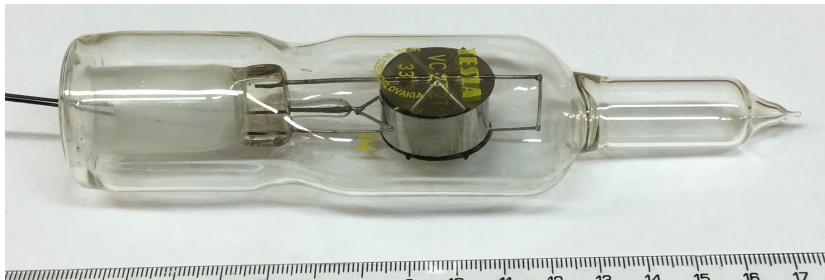
## VC2T - TESLA Rožnov

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

## IKR 020 - Balzers

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

# VC2T



# IKR 020



# IKR 020



# 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)



# 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 žhavlí průchodem proudem) 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  $\tau > \Delta t$  ;  $p' \gg p$

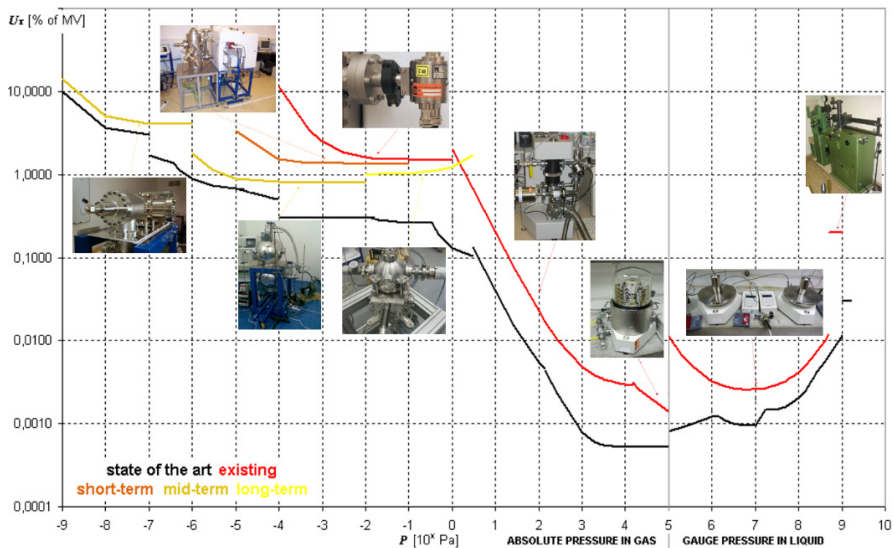
$$\nu = \frac{N'}{A\Delta t} ; p' = \frac{N'kT}{V} \Rightarrow N' = \frac{p'V}{kT}$$

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

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

Měříme pouze průměrný tlak během doby  $\Delta t$ . Měření je nespojité. 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.**

# Kalibrace manometrů - ČMI - etalony

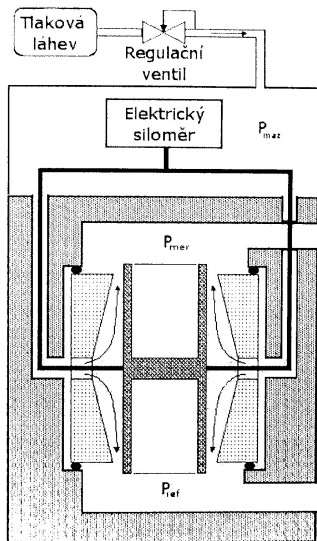


materiály ČMI

# Kónická tlaková měřka

Patří do kategorie pístových měřidel tlaku. Tlak se měří jako síla působící kolmo na efektivní plochu pístu. Tento manometr měří tlakovou diferenci mezi prostorem nad pístem a prostorem pod ním. Typ FPG8601 - měřící rozsah 0,5 Pa - 15 kPa. Nejpřesnější manometr pro tento tlakový rozsah (státní etalon), rozlišení 10 mPa, reprodukovatelnost 20 mPa. Nutno započítat opravy na vztlakovou a třecí sílu mazacího plynu, tepelnou roztažnost pístu, ... Je nutné provádět kalibrace pomocí přesných závaží a nulování manometru.

Tlak na referenční straně vlivem mazacího plynu neklesá pod 0,15 Pa. Pro přesná měření v oblasti nízkých tlaků nutno měřit jiným manometrem.



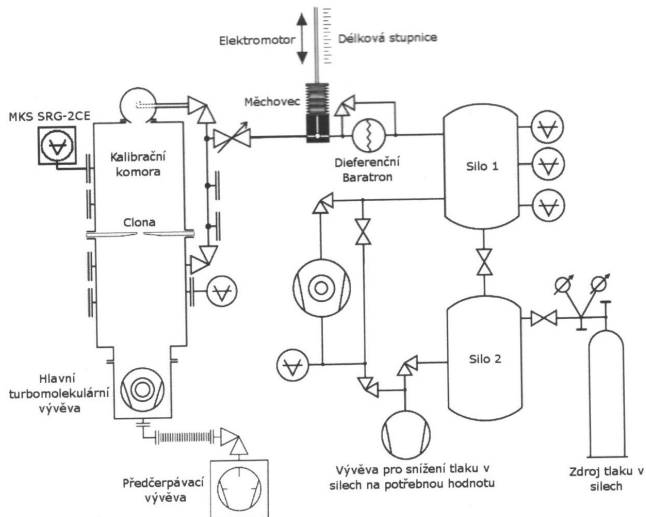
# Manometr na principu dynamické expanze

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

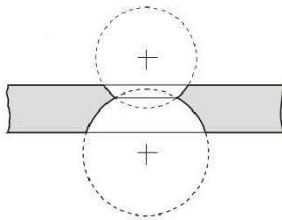
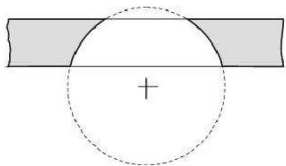
$$p = \frac{I}{S}$$

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 plynu clonou.

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



P.Klenovský, bakalářská práce, MU, 2006



Speciální clony NPL (vyrábí National Physical Laboratory)

P.Klenovský, bakalářská práce, MU, 2006





P.Klenovsky, Bakalářská práce, Brno 2006

# Etalon na principu dynamické expanze

rozsah  $10^{-1} - 10^{-6}$  Pa , chyba měření 0,6% – 2%

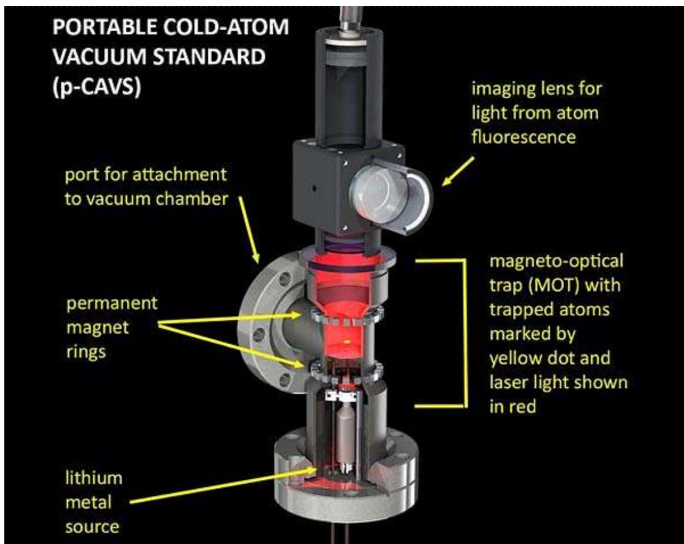
$$p_{\text{ref}} = I \left( \frac{1}{S} + \frac{1}{G} \right)$$

$$I = p \frac{V_1 - V_2}{t_1 - t_2}$$

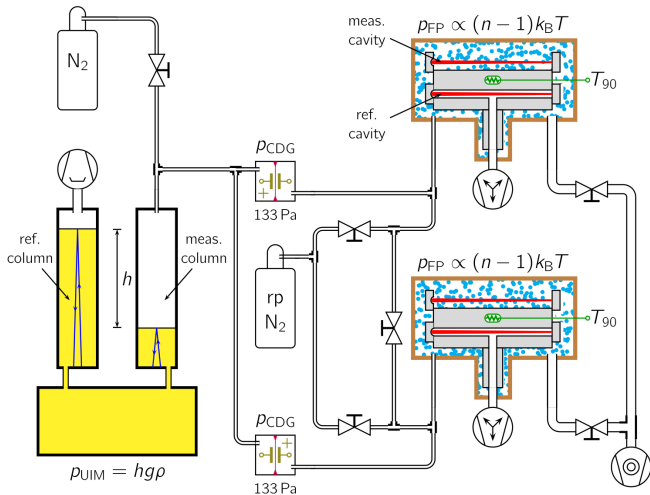
# Speciální typy manometrů

- MOT
- Interferometr
- U – trubice

# MOT

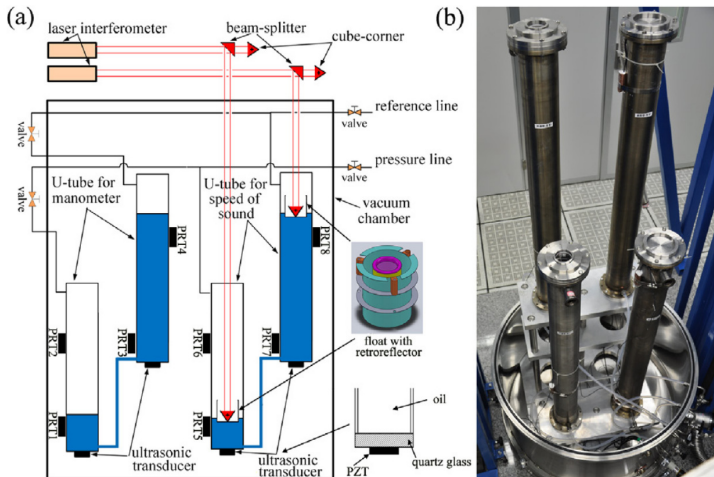


# Interferometr



Egan et al. Rev. Sci. Instrum. 87, 053113 (2016)

# U-trubice



100 Pa - 10 kPa, olej, teflonová úprava válců, teplotní stabilita 10 mK  
Yanhua Li et al 2015 Metrologia 52 111