

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

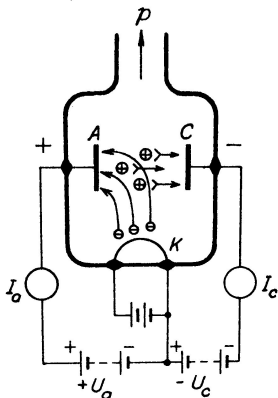
## Podmínky činnosti:

- 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

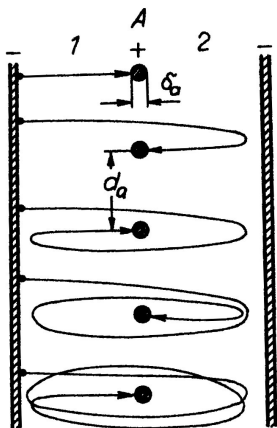
Katoda vytváří elektronový proud  $I_e$ , který ionizuje plyn. Kolektor sbírá kladné ionty.  $I_p$  - proud kladných iontů na kolektor,  $I_e$  - emisní elektronový proud na anodu,  $p$  - tlak plynu

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

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

$\epsilon$  - 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 <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	Ar	Hg
$\epsilon_{max}$	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.

$$I_c = I_p = K_0 I_e p$$

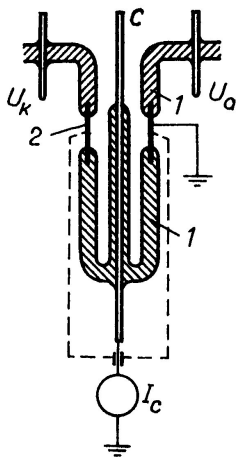
Ve skutečnosti se mohou v obvodu kolektoru projevit parazitní proudy.

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

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



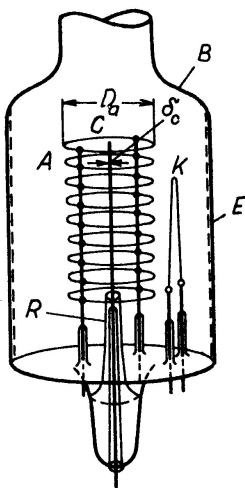
Při činnosti ionizačního manometru dochází k zachycování iontů kolektorem a tím k čerpacímu efektu.

### 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.

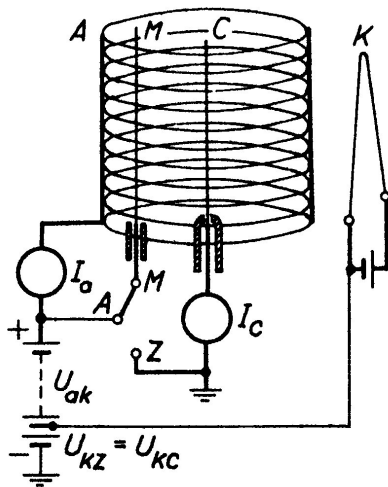
Maximální měřitelný tlak  $10^0$  Pa.



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

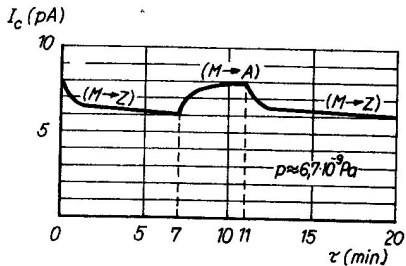
$$M \rightarrow A ; I'_c = S'p + I'_x$$

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

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

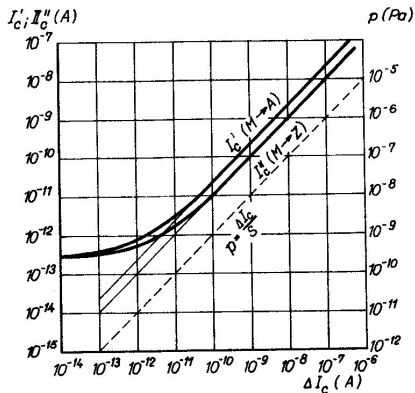
$$I'_x = I''_x \Rightarrow p = \frac{I'_c - I''_c}{S' - S''}$$

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

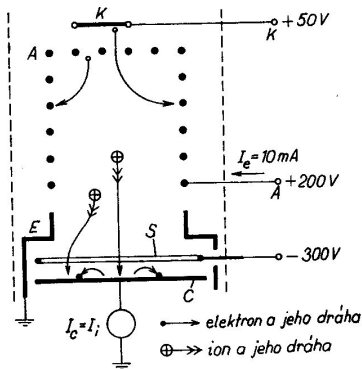


Obr. 5.49. Změny kolektorového proudu  $I_c$  při modulaci v Bayardově–Alpertově–Redheadově vakuometru. Zpomalené ustalování proudu  $I_c$  je způsobeno mezi jiným sorpčními a desorpčními procesy na modulátoru

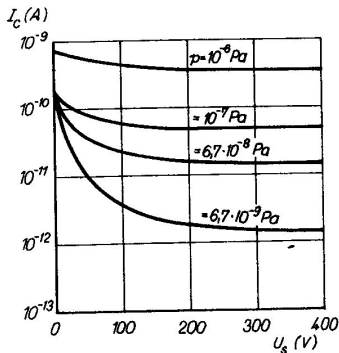
J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



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

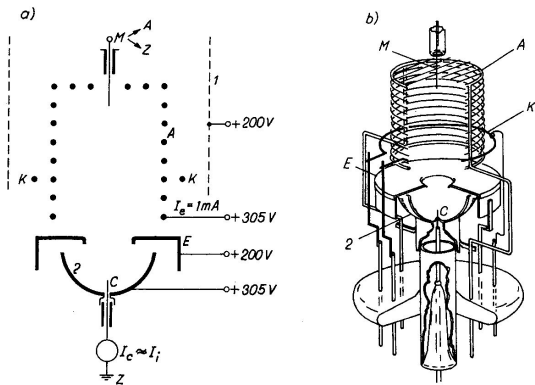


Obr. 5.51. Schuemannův vakuometr s potenciálovou bariérou  
 A – mřížková anoda; K – katoda;  
 C – kolektor; E – stínění; S – prstencová elektroda (supresor)

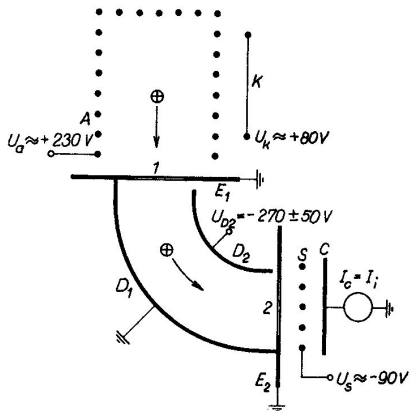


Obr. 5.52. Závislost kolektorového proudu  $I_c$  na potenciálu (záporném) supresoru  $U_s$  a tlaku  $p$





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

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

# Ionizační manometr se studenou katodou (Výbojový manometr)

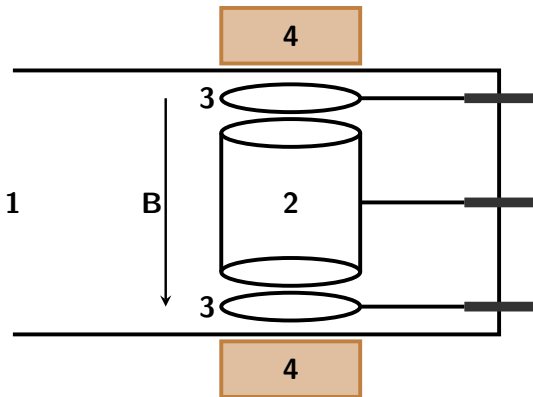
Princip: samostatný výboj

Výbojové manometry s magnetickým polem

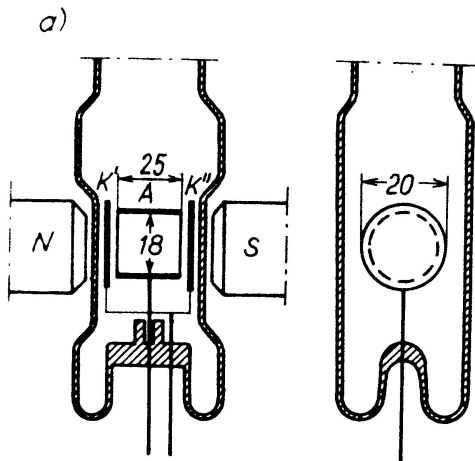
Existují dvě základní konstrukce:

- 1936 – Penningův manometr
- 1958 – Inverzní magnetron

# Penningův manometr

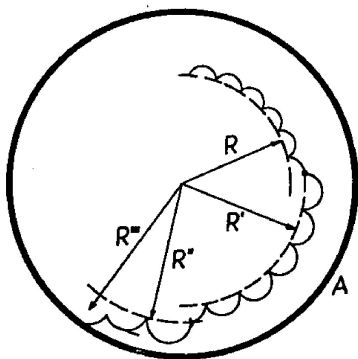


- 1 – připojení měřeného tlaku, 2 – válcová anoda, 3 – katoda,  
4 – permanentní magnet



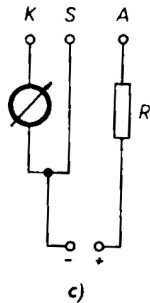
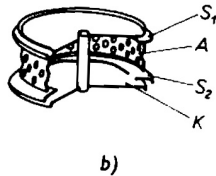
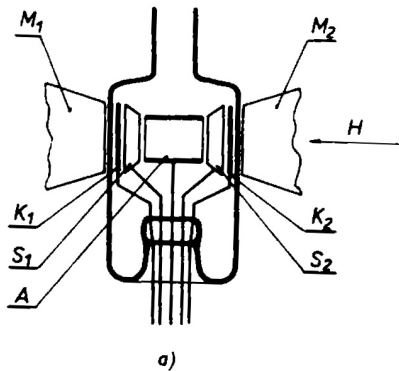
## Výbojový manometr - Penning

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



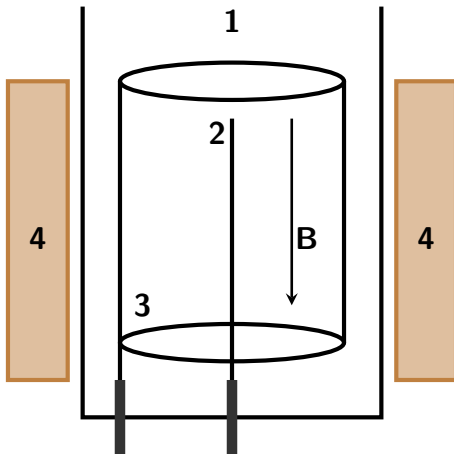
**Obr. 7-26. Dráhy elektronu ve výbojovém manometru s magnetickým polem.**

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



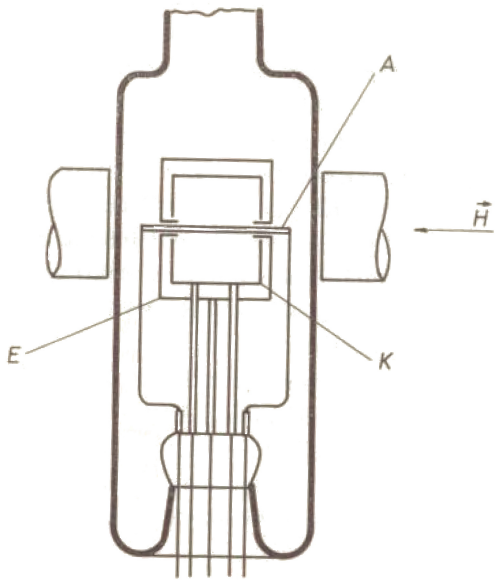
L. Pátý: Fyzika nízkých tlaků, Academia, Praha 1968

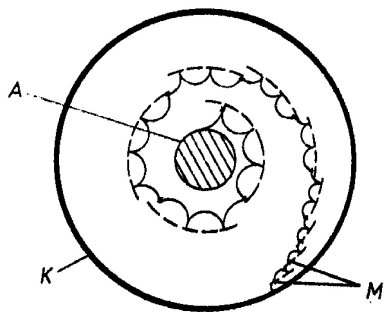
# Inverzní magnetron



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



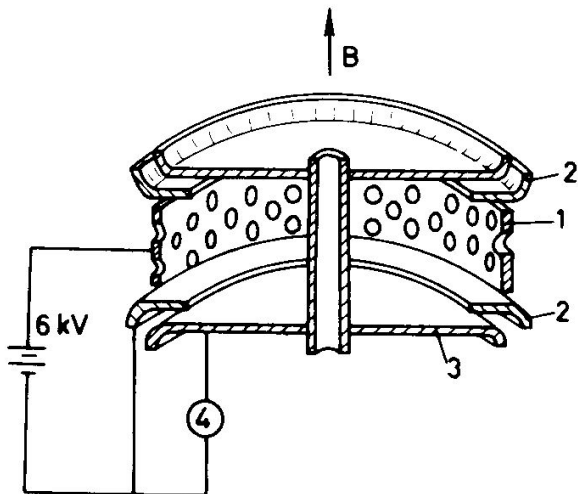




**Obr. 7-30. Dráhy elektronu v inverzním výbojovém manometru**

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

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



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:

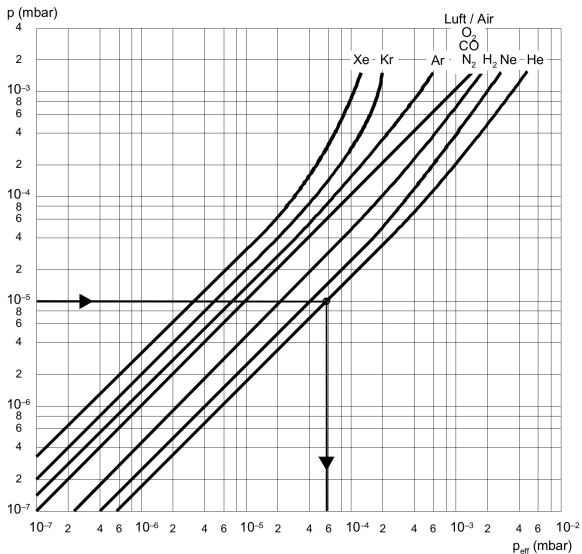
$$I = K_1 p^u$$

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 <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



manuál IKR050 - Pfeiffer

# 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

# 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  $\alpha$  - zářiče, zářič s velkým poločasem rozpadu (radium, 1600 let) iontový proud je úměrný tlaku

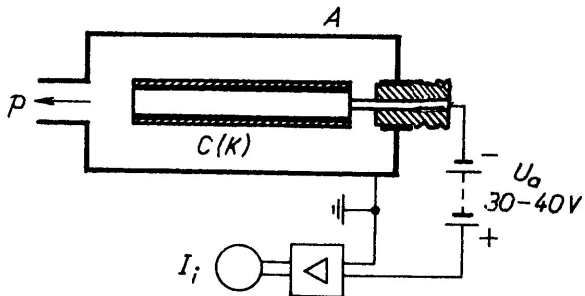
$$I_p = Sp$$

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.

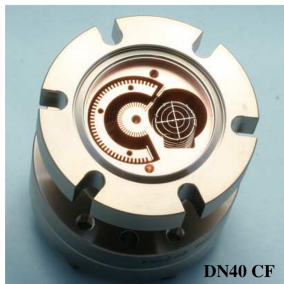
Tento typ měrky se dnes nepoužívá.



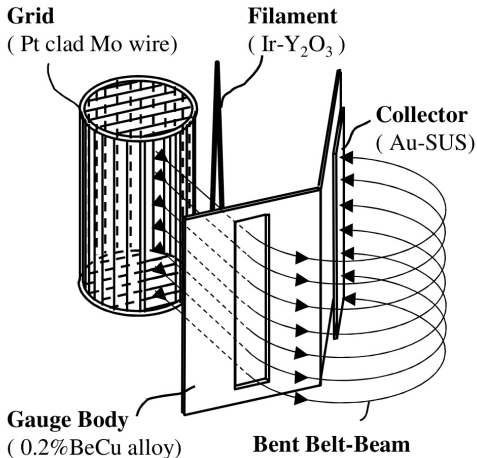
J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

# Měrka pro XHV vakuum

speciální typ ionizační měrky



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.



firemní materiály VacLab Inc.

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