

# Krystalový manometr

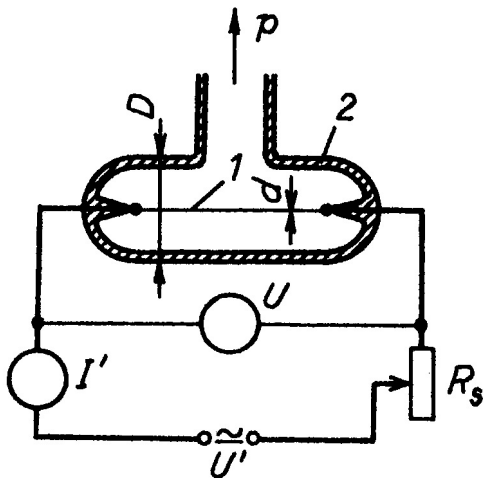
- princip: změna frekvence kmitů krystalu
- rozsah:  $0.1 \text{ Pa} - 10^5 \text{ Pa}$
- přesnost:  $\sim 15\%$
- na podobném principu velmi přesné barometry  $\sim 0.01\%$

# Tepelné manometry

Princip je založen na závislosti tepelné vodivosti plynu na tlaku.  
Podstatnou částí manometru je nějaký citlivý element, který je elektrickým příkonem  $P$  vyhříván na teplotu  $T$ , vyšší než je teplota okolí  $T_0$ .  
Nejčastěji měříme teplotu  $T$ :

- z velikosti odporu - odporové manometry
- pomocí termočlánku - termočláňkové manometry
- z deformace bimetalu - dilatační manometry

# Odporové manometry - Pirani



1

<sup>1</sup>J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

Odpor vlákna  $R = f(T)$

$$P_e = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} ; \quad R = R_0(1 + \beta(T - T_0))$$

$$P_e = P_c + P_z + P_p$$

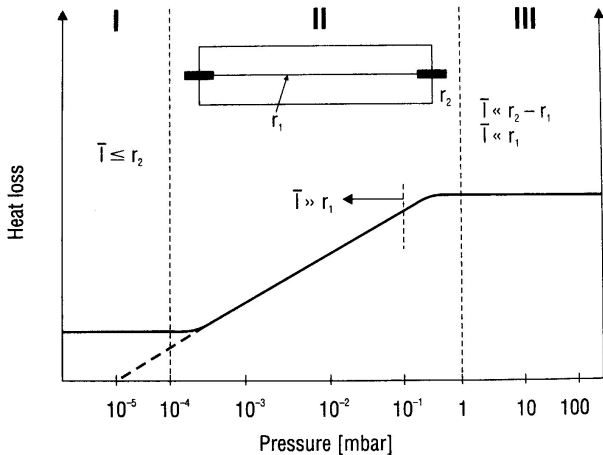
- $P_c$  - výkon odváděný molekulami plynu
- $P_z$  - výkon odváděný zářením vlákna
- $P_p$  - výkon odváděný přírůdky vlákna

$$P_z = S_0\sigma\varepsilon(T^4 - T_0^4)$$

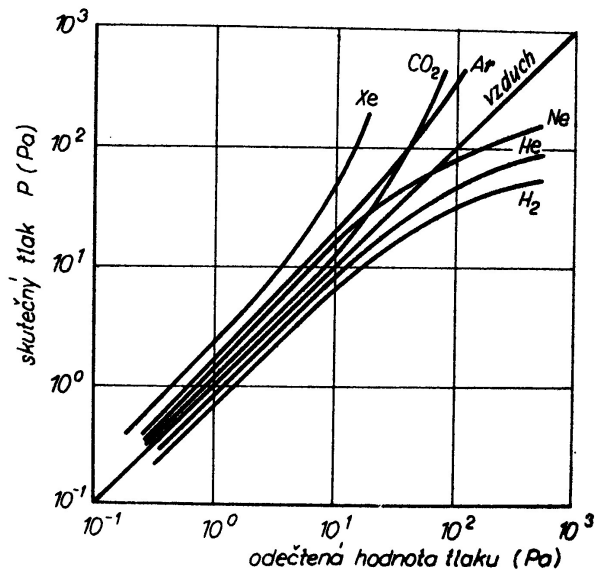
$$P_c = [\alpha\lambda_T(p)]S_0(T - T_0)$$

$\alpha$  - akomodační koeficient

$\lambda_T(p)$  - tepelná vodivost



- I Thermal dissipation due to radiation and conduction in the metallic ends
- II Thermal dissipation due to the gas, pressure-dependent
- III Thermal dissipation due to radiation and convection



Tab. 5.3. Měrný odpor  $\rho$  a teplotní součinitel odporu  $\beta$  (orientační údaje)

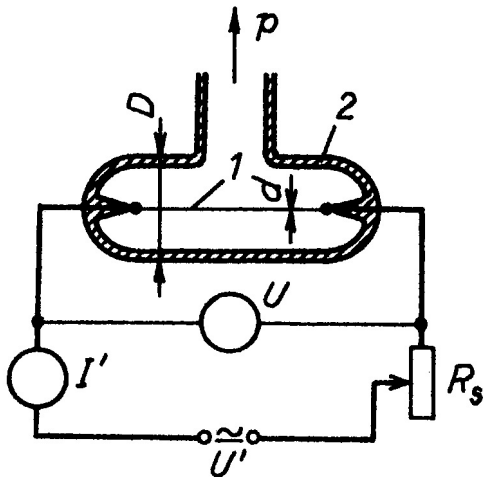
Kov	$\rho$ ( $t = 0^\circ\text{C}$ ) ( $\Omega \text{ cm}$ )	$\beta$ ( $t = 0$ až $100^\circ\text{C}$ ) ( $\text{K}^{-1}$ )
konstantan (60 % Cu, 40 % Ni)	$50 \cdot 10^{-6}$	$\sim 0$
měď (obyčejná, vyžíhaná)	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
molybden (vyžíhaný)	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
nikl (obyčejný)	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-3}$
platina	$10 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-3}$
slitina Pt-Rh (90 % Pt)	$21 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-3}$
stříbro elektrolytické	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-3}$
tantal	$15 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
wolfram (vyžíhaný)	$4,5 - 5,5 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
železo (čisté)	$9 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$

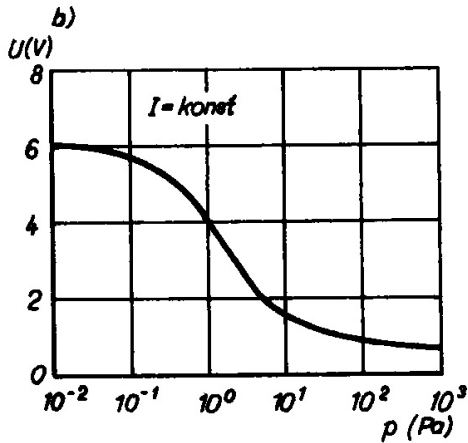
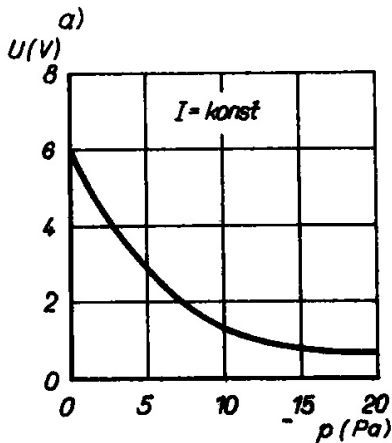
# Metody měření

- Metoda konstantního proudu
- Metoda konstantní teploty (odporu)



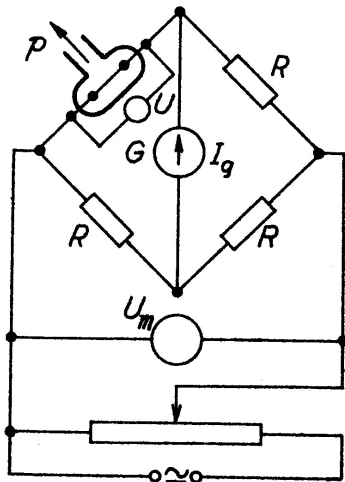
# Metoda konstantního proudu

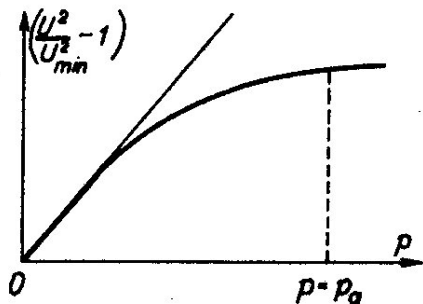




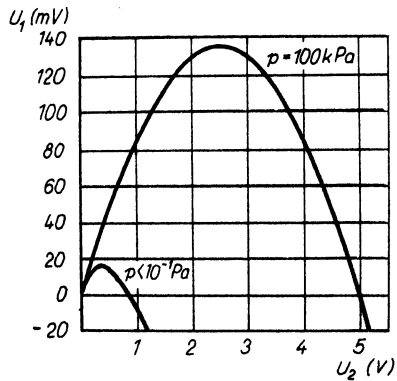
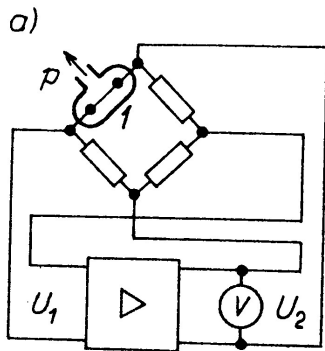
Obr. 5.19. Závislost  $U = f(p)$  u manometru měřicího při  $I = konst$   
 a) lineární stupnice, b) semilogaritmická stupnice

# Metoda konstantní teploty (odporu)



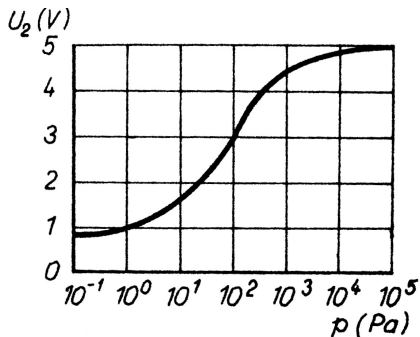


Obr. 5.18. Závislost  $\frac{U^2}{U_{min}^2} - 1 = f(p)$ .  
 Při nízkých tlacích je lineární



Tepelný vakuometr s konstantním odporem <sup>9</sup>

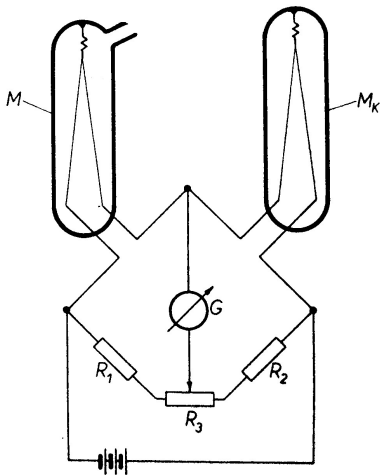
<sup>9</sup>J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



Vlákno  $d = 50 \mu m$ ,  $L = 50 mm$ , teplota  $T = 470 K$ ,  
 měřící obor  $10 - 5000 Pa$ <sup>10</sup>

<sup>10</sup>J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

# Kompenzace teploty

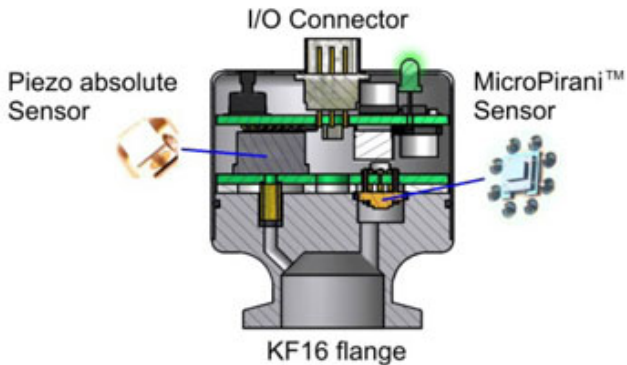


# Pirani manometr

- velmi jednoduchá konstrukce
- měřící rozsah  $10^{-2} - 10^5 Pa$
- chyba měření asi  $\sim 15\%$
- závisí na druhu plynu a na okolní teplotě



# MicroPirani

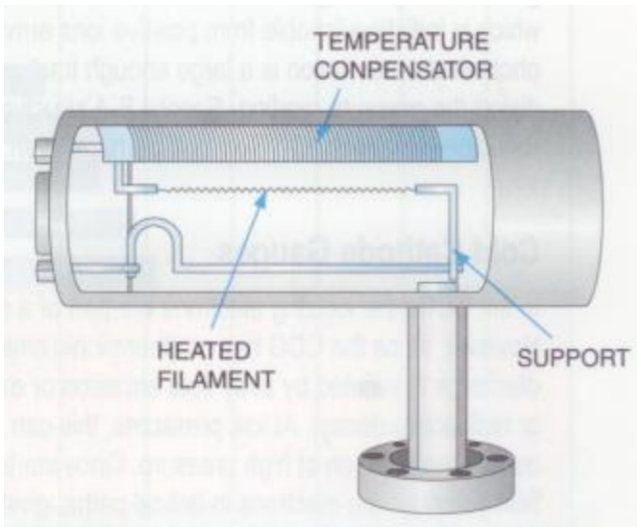


**MKS 910** <sup>12</sup>

<sup>12</sup>firemní materiály firmy MKS

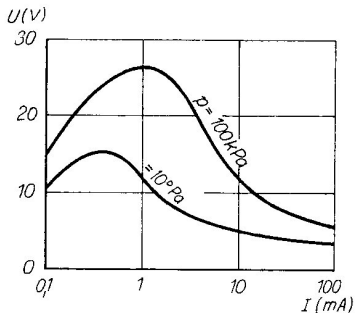
- **MKS 910**
- technologie MEMS - Micro-Electro-Mechanical Systems
- rozsah  $5 \times 10^{-4} \text{ Torr} - \text{atm}$
- přesnost
- $5 \times 10^{-4} - 10^{-3} \text{ Torr}$ ,  $\pm 10\%$
- $10^{-3} - 100 \text{ Torr}$ ,  $\pm 5\%$
- $100 \text{ Torr} - \text{atm}$ ,  $\pm 25\%$

# Convectron

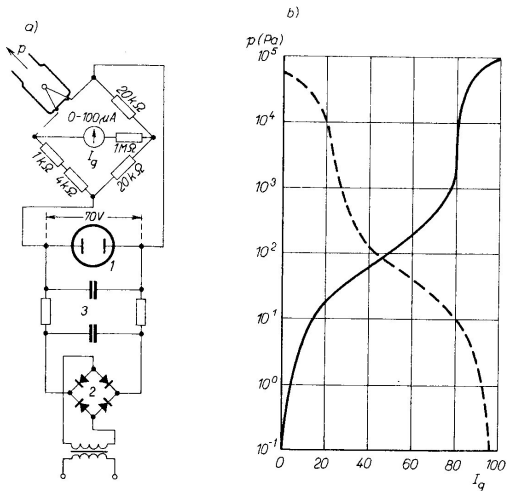


- využívá i tepelnou konvekci plynu
- předepsaná orientace
- měřicí rozsah  $10^{-2} - 10^5 Pa$
- chyba měření asi  $\sim 15\%$

# Termistorový manometr



Obr. 5.22. Voltampérová charakteristika termistorového měřicího elementu

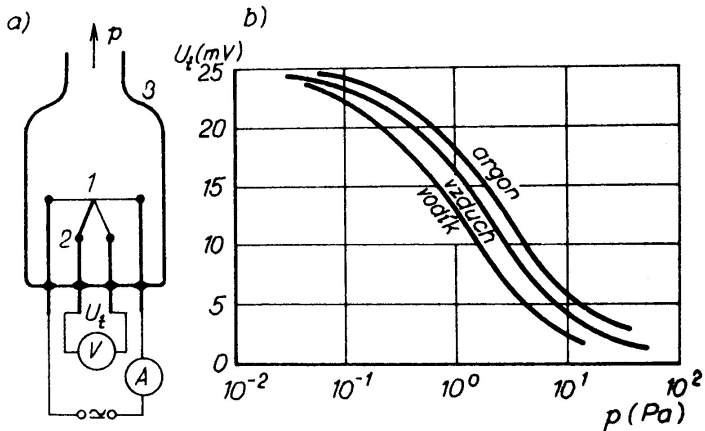


Obr. 5.23. Termistorový vakuometr (podle Pytkowského, 1955)

a) elektrické schéma: 1 – výbojový stabilizátor napětí; 2 – usměrňovač proudu; 3 – filtr;

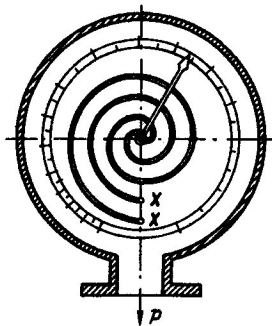
b) kalibrační křivky pro vzduch při můstku v rovnováze: můstek vyrovnán při tlaku  $p \ll 10^{-1}$  Pa (plně); můstek vyrovnán při atmosférickém tlaku (čárkovaně)

# Termočlánkový-manometr



16

# Dilatační manometr



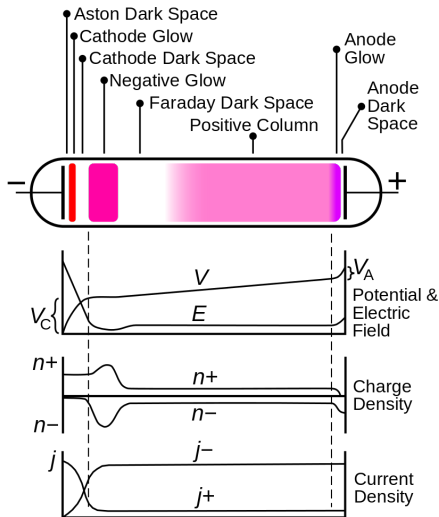
Obr. 5.26. Dvojkovový dilatační vakuometr (dle Klumba a Haase, 1936). Dvě dvojkovové (bimetalové) spirály jsou upevněny na svých koncích  $xx$  a jejich druhé konce jsou spojeny s ručičkou. Spirálami prochází proud, který je zahřívá. Ručička se otáčí v závislosti na tlaku

5W, 0.1-100Pa

17



# Indikace tlaku podle výboje



Pouze přibližná metoda.

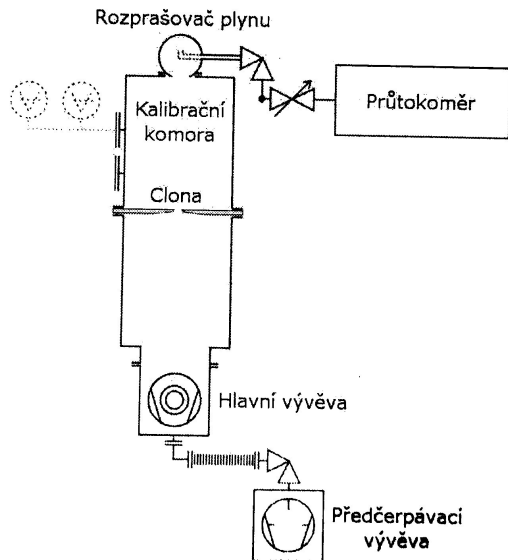
P[Pa]	Tvar výboje
$5 \times 10^3 - 10^3$	hadovitý výboj
$10^3 - 5 \times 10^2$	elektrody se pokryjí doutnavým světlem
$10^2$	kladný sloupec vyplní 2/3 trubice
$5 \times 10^1$	vrstvy v kladném sloupci
10	vrstvy mizí, záporné světlo 1/2 trubice
5	záporné světlo v celé trubici, fluorescence skla
1	fluorescence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

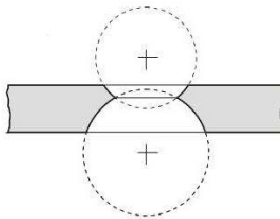
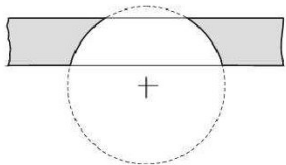
# Manometr na principu dynamické expanze

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

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

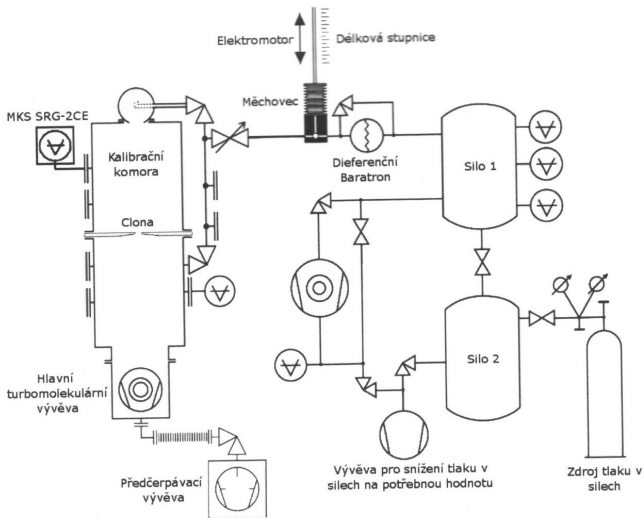
Mezi vývěvu a kalibrační komoru se zařazuje kruhová clona se známou vodivostí. Vodivost clony je řádově menší než čerpací rychlost (eliminace fluktuací čerpací rychlosti). Nutno zajistit izotermičnost měření. Je nutné udržet konstantní proud plynu  $I$ , konstantní čerpací rychlost vývěvy, molekulární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





Speciální clony NPL (vyrábí National Physical Laboratory)

20





22

# Etalon na principu dynamické expanze

rozsah  $1 \cdot 10^{-1} - 10^{-6}$  Pa chyba měření 0.6% – 2%

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

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