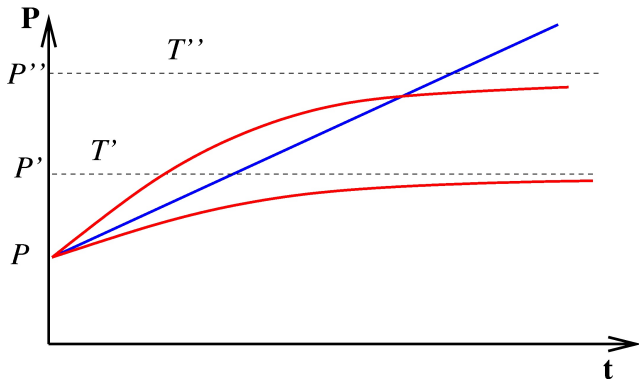


# Zjišťování netěsností vakuového systému

- skutečná netěsnost – modře
- virtuální netěsnost(desorpce) – červeně



# Typická místa netěsností:

- v místech svarů
- v místech kovových vývodů přes sklo
- v elektrických a optických průchodkách
- ve ventilech, ve spojích (KF, ISO – K, CF,...)
- u kovových částí - pórovitost materiálu

Netěsnost se lépe hledá u skleněných aparatur. Dnes je většina aparatur kovových. Problém hledání netěsností ulehčuje prověrka jednotlivých dílů před montáží.

# Hledače netěsností

Zpravidla využívají měření parciálních tlaků zkušebních plynů

Zkušební plyn:

- plyn málo obsažený v atmosféře
- co nejmenší molekulová hmotnost (snadno proniká netěsností)

Nejčastěji se používá He, H<sub>2</sub>.

Hledače:

- vodíkový
- halogenový
- heliový

## Na přesnost určení netěsnosti má vliv:

- množství zkušebního plynu přivedeného do systému
- poměr čerpací rychlosti systému a jeho objemu
- citlivost hledače netěsností
- vzájemná poloha netěsnosti a hledače

# Závislost na poměru čerpací rychlosti systému a jeho objemu

Proud plynu netěsností do aparatury za čas  $dt$  je dán  $I_N dt$ , množství odčerpaného plynu  $pSdt$ . Pak změna tlaku zkušebního plynu je dána rovnicí

$$V dp = (I_N - Sp) dt$$

$$\frac{V dp}{I_N - Sp} = dt$$

$$- \frac{V}{S} \ln(I_N - Sp) = t + konst$$

$$konst = - \frac{V}{S} \ln(I_N)$$

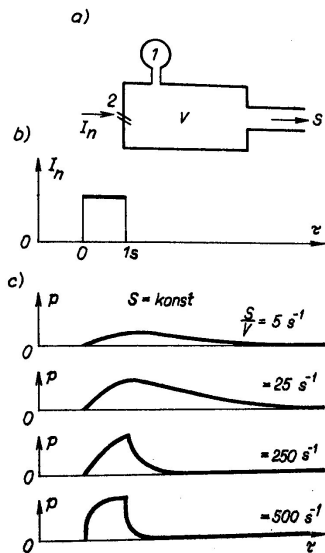
$$\ln\left(\frac{I_N - Sp}{I_N}\right) = -\frac{S}{V}t$$

$$\frac{I_N - Sp}{I_N} = e^{-\frac{S}{V}t}$$

$$p = \frac{I_N}{S}[1 - e^{-\frac{S}{V}t}]$$

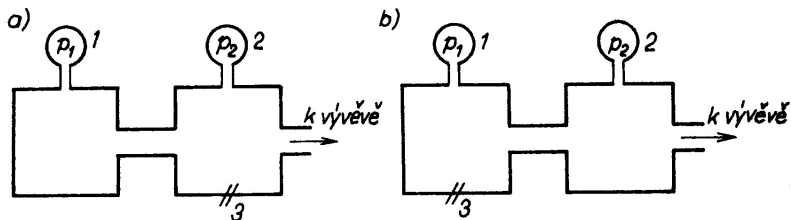
Jestliže v čase  $t_1$  přerušíme přítok zkušebního plynu začne tlak klesat

$$p = \frac{I_N}{S}[1 - e^{-\frac{S}{V}t_1}] e^{-\frac{S}{V}(t-t_1)}$$



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

## Poloha hledače a netěsnosti



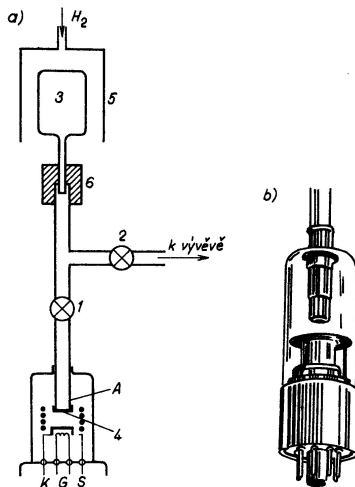
J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



# Vodíkový hledač netěsností

- detektor: ionizační manometr s paladiovou přepážkou (1100 K), hmotnostní spektrometr, elektronické čidlo
- zkušební plyn:  $\text{H}_2$
- pracovní tlak:  $10^{-6} - 0,1 \text{ Pa}$  pro ionizační manometr s paladiovou přepážkou
- minimální netěsnost:  $10^{-8} \text{ Pam}^3\text{s}^{-1}$

# Vodíkový hledač netěsností

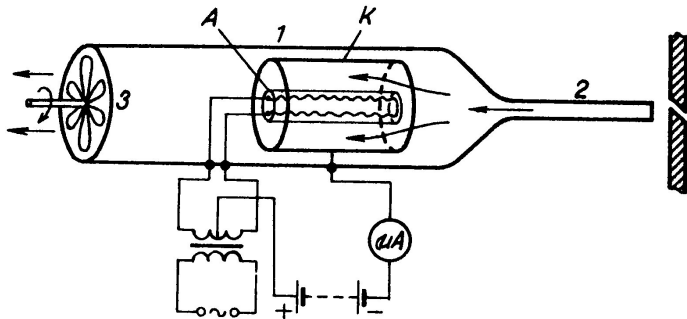


J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

# Halogenový hledač netěsností

- platinový válec (1200 K) - emituje kladné ionty
- zvýšení emise v přítomnosti Cl
- zkušební plyn: freon
- pracovní tlak:  $10^{-4} - 10^5$  Pa
- minimální netěsnost:  $10^{-8}$  Pam<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>
- může pracovat i metodou přetlaku

# Halogenový hledač netěsností

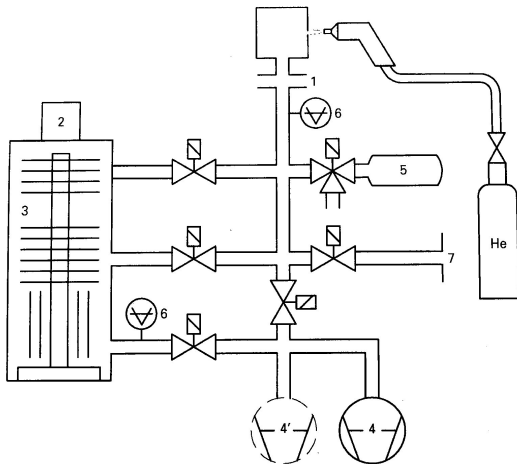


J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

# Heliový hledač netěsností

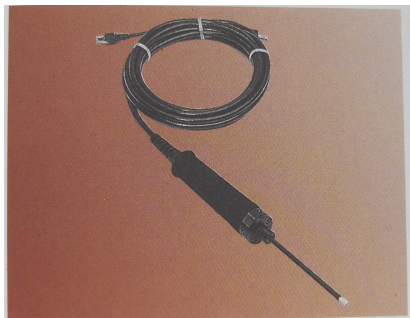
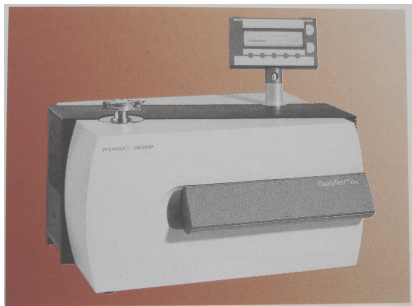
- hmotnostní spektrometr
- zkušební plyn: He
- pracovní tlak:  $< 10^{-2}$  Pa
- minimální netěsnost:  $10^{-13}$  Pam<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>
- může pracovat i metodou přetlaku

# Heliový hledač netěsností



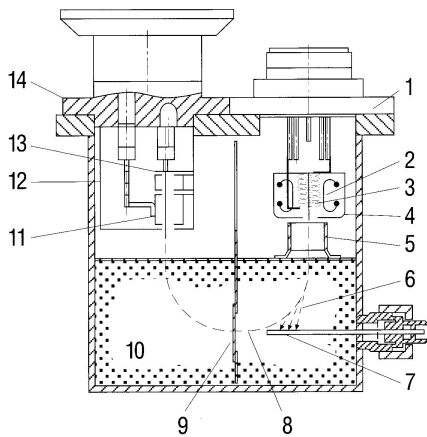
firemní materiály firmy Pfeiffer

# Heliový hledač netěsností



firemní materiály firmy Pfeiffer

# Malý hmotnostní spektrometr jako detektor He



- |  |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| 1 Ion source flange  | 5 Extractor                  | 10 Magnetic field                        |
| 2 Cathode<br>(2 cathodes, Ir + Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 6 Ion traces for M > 4       | 11 Suppressor                            |
| 3 Anode  | 7 Total pressure electrode   | 12 Shielding of the ion trap             |
| 4 Shielding of the ion source with discharge orifice           | 8 Ion traces for M = 4       | 13 Ion trap                              |
|  | 9 Intermediate orifice plate | 14 Flange for ion trap with preamplifier |

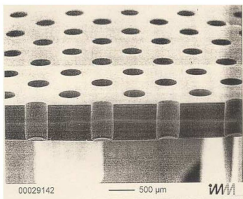


# Heliový hledač netěsností s přepážkou

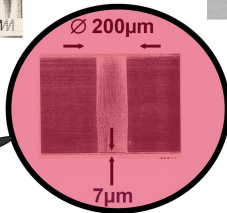
- přepážka z  $\text{SiO}_2$  7  $\mu\text{m}$  propouští jen He + Penningův manometr
- jednoduchá konstrukce
- detekční limit  $5 \times 10^{-8} \text{ Pam}^3/\text{s}$
- vysoký vstupní tlak až 200 hPa

# Quartz Window Technology

## Silicium-Wafer with Quartz Window



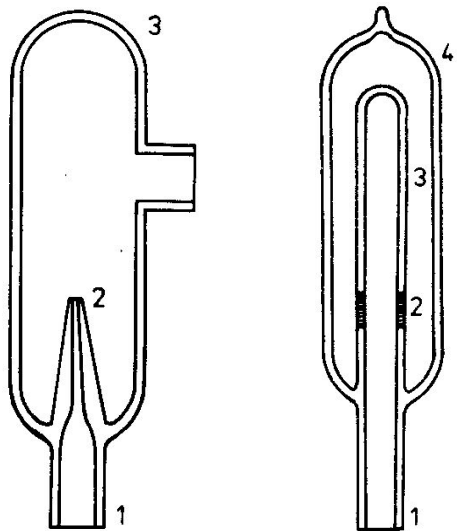
SiO<sub>2</sub>-Wafer



# Kalibrovaná netěsnost

Bývá součástí He hledačů netěsností, slouží ke kalibraci detektoru He.

- vakuový prvek s definovanou vodivostí
- úzká skleněná kapilára
- difúzní netěsnost - křemenná přepážka - difúze He
- při proudu plynu  $10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$  a tlaku testovacího plynu v zásobníku 0,2 MPa, nastane pokles proudu plynu o 10% za 10 let

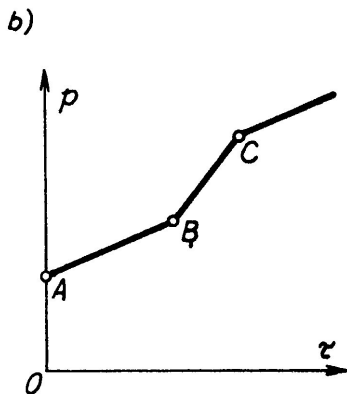
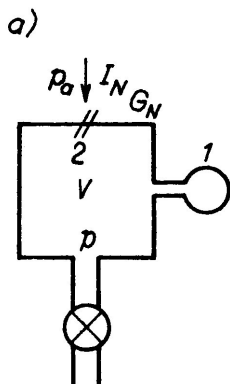


P.Lukáč, V.Martišovič: Netesnosti vákuových systémov, ALFA, 1980

# Jiné metody hledání netěsností

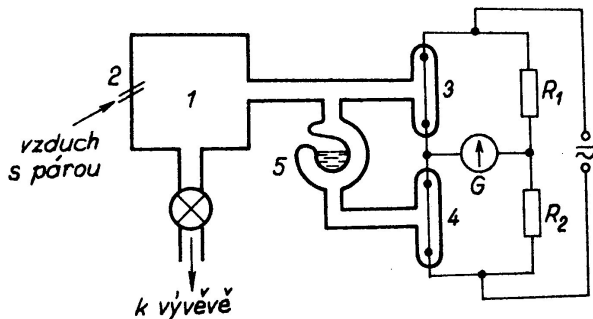
- manometr
- diferenciální manometr
- bublinky ve vodě
- mýdlové bubliny
- u skleněných aparatur - Ruhmkorffův induktor, nebo Teslův transformátor

# Hledání netěsností pomocí manometru



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

# Hledání netěsností pomocí diferenciálního manometru



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

# Manometr, diferenciální manometr

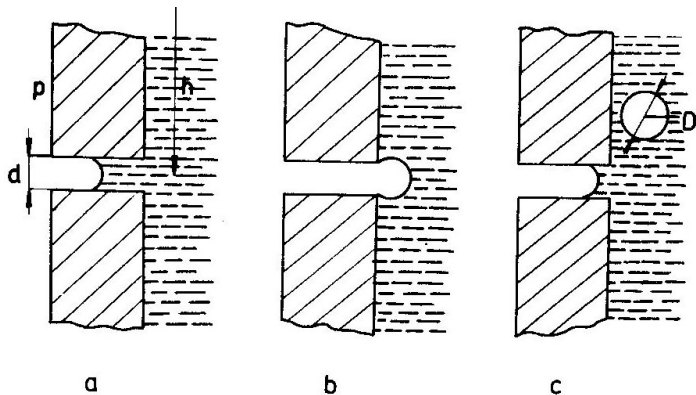
- ionizační, nebo odporový manometr
- zkušební plyn - CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, aceton, líh
- pracovní tlak - podle použitého manometru
- minimální netěsnost pro diferenciální zapojení ionizačních manometrů  
 $10^{-10} \text{ Pam}^3\text{s}^{-1}$



# Ruhmkorffův induktor a Teslův transformátor

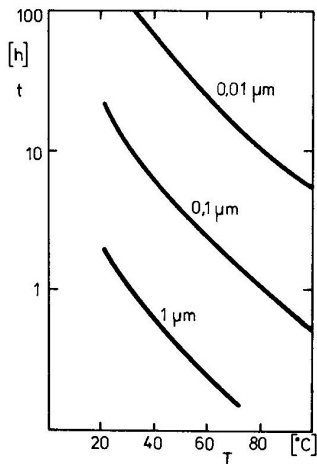
- princip - výboj v plynech
- pracovní tlak 1–100 Pa
- vhodná metoda pro skleněné aparatury
- Ruhmkorffův induktor - nízká frekvence ( $\sim 10^1$  Hz), vn transformátor (železné jádro)
- Teslův transformátor - vysoká frekvence ( $\sim 10^5$  Hz), vn transformátor se vzduchovým jádrem

Metoda bublinek, min.netěsnost  $D = 0,5 \text{ mm}$ ,  $t = 30 \text{ s}$



P.Lukáč, V.Martišovič: Netesnosti vákuových systémov, ALFA, 1980

## Odpaření vody z netěsnosti s délkou 1 cm



P.Lukáč, V.Martišovitš: Netesnosti vákuových systémov, ALFA, 1980

*Tabulka:* Citlivost metod hledání netěsností

Metoda	tlak [Pa]	min. netěsnost [ $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$ ]
Teslův transformátor	1 – 100	$10^{-3} - 10^{-4}$
bublínky ve vodě	$2 \times 10^5$	$10^{-7}$
	$4 \times 10^5$	$10^{-8}$
	$9 \times 10^5$	$10^{-9}$
halogenový hledač	$2 \times 10^5$	$3 \times 10^{-8}$
	$4 \times 10^5$	$7 \times 10^{-9}$
	$6 \times 10^5$	$3 \times 10^{-9}$
He hledač	$2 \times 10^5$	$5 \times 10^{-9}$

*Tabulka:* Citlivost metod hledání netěsností - podtlak

Metoda	tlak [Pa]	min. netěs. [ $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$ ]
Odporový manometr	0,1 – 100	$10^{-6}$
ionizační manometr	$10^{-6}$ – 0,1	$10^{-7}$
ionizační manometr dif.zap.	$10^{-6}$ – 0,1	$10^{-10}$
ionizační manometr s paladiovou membránou	$10^{-6}$ – 0,1	$10^{-8}$
halogenový hledač	$10^{-4}$ – $10^5$	$10^{-8}$
He hledač	$< 10^{-2}$	$10^{-13}$

*Tabulka:* Kriteria těsností

Název kriteria	[Pam <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
vodotěsnost	10 <sup>-3</sup>
parotěsnost	10 <sup>-4</sup>
těsnost pro bakterie	10 <sup>-5</sup>
těsnost pro ropné produkty	10 <sup>-6</sup>
těsnost pro viry	10 <sup>-7</sup>
plynotěsnost	10 <sup>-8</sup>

1 Pam<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> = 10 mbarls<sup>-1</sup> ~ 43 gh<sup>-1</sup> pro vzduch, 20 °C

*Tabulka:* Kriteria těsností

Název kriteria podle objektu	[Pam <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
těsnost nádrží a potrubí	10 <sup>-1</sup> ~ 10 <sup>-3</sup>
těsnost výměníků tepla	10 <sup>-4</sup>
těsnost objektů pro zkapal. plyny	10 <sup>-6</sup>
těsnost elektronických součástek	10 <sup>-10</sup>
těsnost pouzder baterie kardiostimulátoru	min. 10 <sup>-10</sup>

10<sup>-10</sup> Pam<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> ~ 3,8 × 10<sup>-5</sup>g = 38 μg za rok pro vzduch, 20 °C

# Přehled metod

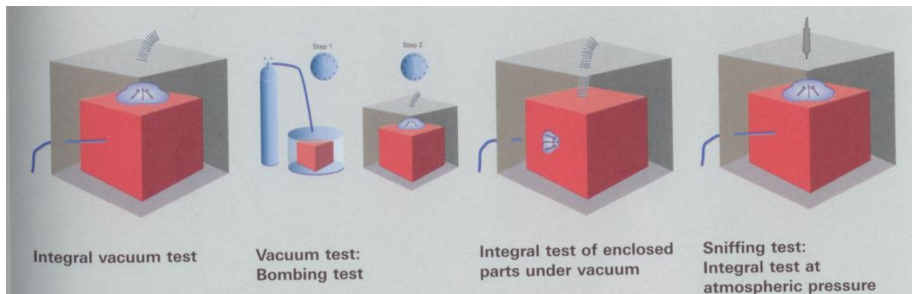
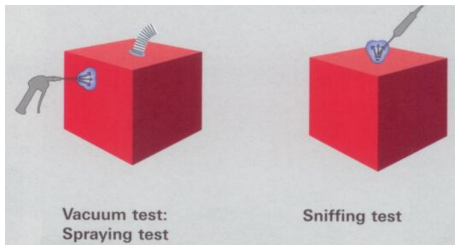
## Určení místa netěsnosti

- vakuový test
- čichací test

## Integrální průmyslové testy

- integrální vakuový test
- vakuový bombový test
- integrální test uzavřeného systému
- čichací test při atmosférickém tlaku





firemní materiály firmy Pfeiffer

# Další metody hledání netěsností v průmyslu

- ultrazvuk
- infračervené záření
- UV barviva

## Cvičení

- 46) Nabitá částice se pohybuje v magnetickém poli. Magnetické pole je kolmé ke směru pohybu. Nabitá částice byla urychlena napětím 1000 V, mag. indukce je  $B = 0,02$  T. Spočítejte poloměr dráhy pro elektron a pro  $\text{Ar}^+$  ( $M_0 = 40$ ).

$$\frac{1}{2}m_0v^2 = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2e}{m_0}U}$$

$$\frac{m_0v^2}{r} = evB$$

- elektron:  $r_1 \doteq 5,3$  mm
- $\text{Ar}^+$  :  $r_2 = 1,44$  m

- 47) Jak velké urychlovací napětí potřebujeme pro měření argonu a vodíku  $H_2$  v statickém hmotnostním spektrometru s kruhovými drahami? Pokud poloměr dráhy je 10 mm, magnetické pole  $B = 0,4 \text{ T}$ ,  $M_{Ar} = 40$ ;  $M_{H_2} = 2$ ;  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m_u = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

$$\frac{1}{2}m_0v^2 = eU$$

$$\frac{m_0v^2}{r} = evB$$

- $H_2$ :  $U_1 \doteq 386 \text{ V}$
- Ar:  $U_2 \doteq 19,3 \text{ V}$

- 48) Jaká bude doba průletu iontu  $\text{Ar}^+$  a  $\text{N}^+$  v průletovém spektrometru TOF? Délka TOF  $L = 1$  m, urychlovací napětí 40 V.

$$\frac{1}{2}m_0v^2 = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m_0}}$$

$$t = \frac{L}{v}$$

- N:  $t_1 \doteq 4,2 \times 10^{-5}$  s
- Ar:  $t_2 \doteq 7,1 \times 10^{-5}$  s

- 49) Jaký potřebujeme získat tlak v spektrometru TOF v příkladu 48, aby střední volná dráha částic byla větší než  $L$ ? Efektivní průměr částic  $d = 3,7 \times 10^{-10} \text{ m}$ .

$$p = nkT ; \lambda = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2} = 1 \text{ m}$$

$$p \doteq 6,8 \times 10^{-3} \text{ Pa}$$

- 50) Z rovnice pro dráhu iontů v Omegatronu odvoďte vztah pro poloměr dráhy iontu s cyklotronovou frekvencí.

$$r = \frac{E_0}{B(\omega - \omega_c)} \sin\left(\frac{1}{2}(\omega - \omega_c)\tau\right)$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \omega_c} r = \frac{1}{2} \frac{E_0}{B} \tau$$

51) Aparatura má objem  $V = 1 \text{ L}$ , je v ní tlak  $1 \text{ Pa}$  a netěsnost kterou natéká vzduch proudem  $I = 10^{-6} \text{ mbarL/s}$ . Jak se změní tlak v komoře za 24 hodin?



- 52) Kalibrovaná netěsnost má objem 1 L počáteční tlak  $2 \times 10^5$  Pa a proud plynu  $I = 10^{-7} \text{ Pam}^3\text{s}^{-1}$ . Za jak dlouho se v ní sníží tlak o 5 %?

- 53) Mýdlová bublina, která detekuje vakuovou netěsnost vznikne za 4 s a má průměr 2 mm. Určete proud plynu netěsností a vakuovou vodivost netěsnosti.

- 54) Tlak v aparatuře v čase 0 s je  $6,3 \times 10^{-2}$  mbar, v čase 530 minut je  $8,2 \times 10^{-2}$  mbar. Aparatura má tvar koule s poloměrem 40 cm. Určete proud plynu netěsností?

- 55) Máme netěsnost o velikosti  $1 \times 10^{-10} \text{ Pam}^3\text{s}^{-1}$ . Jakému množství vzduchu o teplotě  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  v [g] to odpovídá za rok?

- 55) Ve vakuové komoře vznikne při montáži dutina s objemem  $1 \text{ cm}^3$ , která je s komorou spojena tenkou kapilárou s vakuovou vodivostí  $10^{-6} \text{ Ls}^{-1}$ . Za jak dlouho tuto dutinu vyčerpáme z tlaku  $10^5 \text{ Pa}$  na tlak  $1 \text{ Pa}$ ? Mezní tlak aparatury je  $\ll 1 \text{ Pa}$ .