

VAKUOVÁ FYZIKA 1

Měření nízkých tlaků

Jana Hanusová

Měření vakua

- Měření celkových tlaků
- Měření parciálních tlaků
- Hledání netěsností ve vakuových systémech
 - Získávání vakua → vývěvy

- Vakuum = stav systému, který obsahuje plyny nebo páry, pokud je jejich tlak menší než tlak atmosférický
- Jednotky: Pa, bar, torr, atm
- Využití
 - Věda a výzkum
 - Průmyslové aplikace

Rozdělení vakua

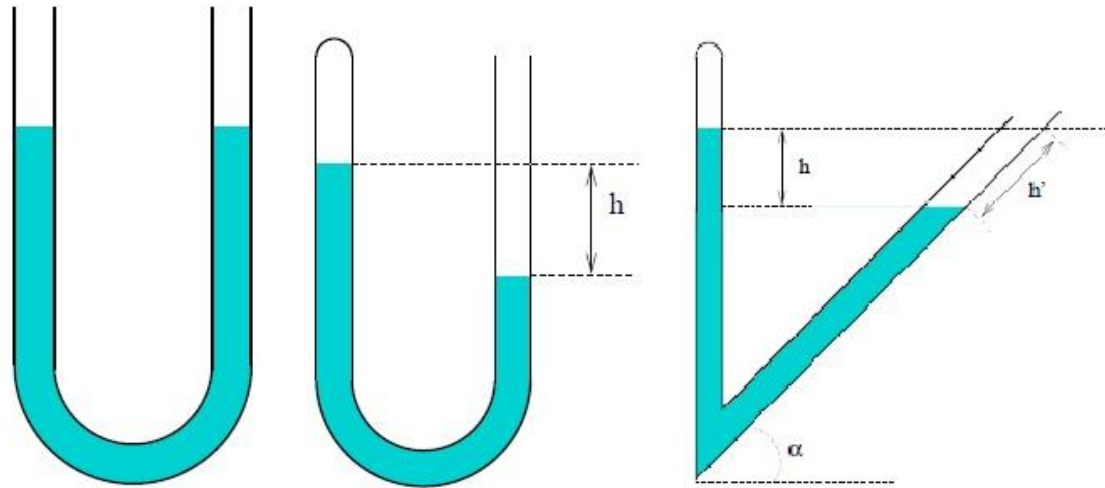
vakuum	nízké	střední	vysoké	extrémně vysoké
tlak $[Pa]$	$10^5 - 10^2$	$10^2 - 10^{-1}$	$10^{-1} - 10^{-5}$	$< 10^{-5}$
koncentrace $[cm^{-3}]$	$10^{19} - 10^{16}$	$10^{16} - 10^{13}$	$10^{13} - 10^9$	$< 10^9$
střední dráha $\lambda[cm]$	$< 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^1$	$10^1 - 10^5$	$> 10^5$
monovrstva $\tau[s]$	$< 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^2$	$> 10^2$
typ proudění	viskózní	Knudsenovo	molekulární	molekulární

Měření tlaku

- Hlavní veličina, která charakterizuje vakuový systém je koncentrace molekul
 - $p=nkT$
- Absolutní metody
- Nepřímé metody

Přehled manometrů pro měření celkových tlaků

- Kapalinové



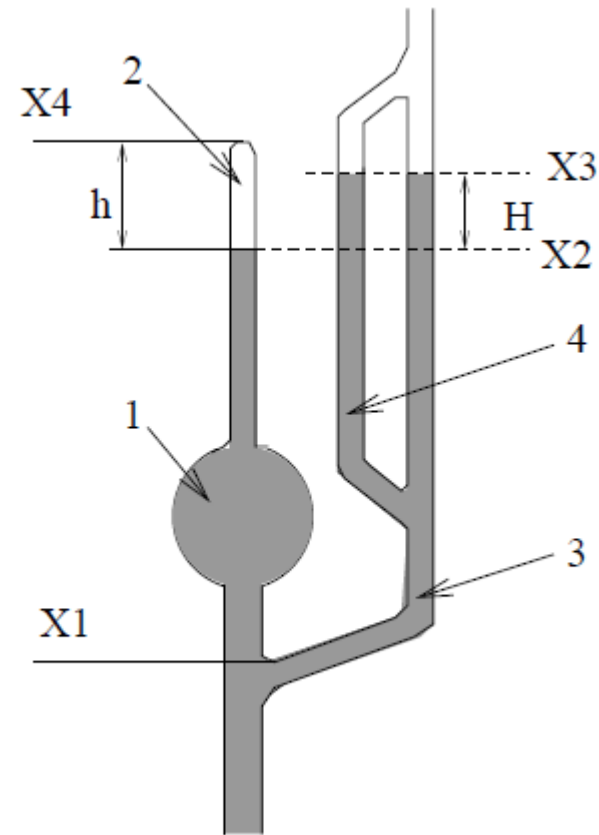
- měří pouze rozdíl tlaků ($\Delta p = h\rho g$)
rozsah 10^{-1} - 10^5 Pa
 - + jednoduchá konstrukce
 - páry pracovní kapaliny

- Kompresní

- McLeodův: přesnější a výhodnější než kapalinové

rozsah 10^{-4} - 10^5 Pa

- + jednoduchá konstrukce, absolutní metoda, kalibrace
- páry pracovní kapaliny, neměří spojitě



$$P_2 = P_1 + H [\text{torr}] \quad \Rightarrow \quad P_1 = \frac{KhH}{1 - Kh}$$

- Mechanické

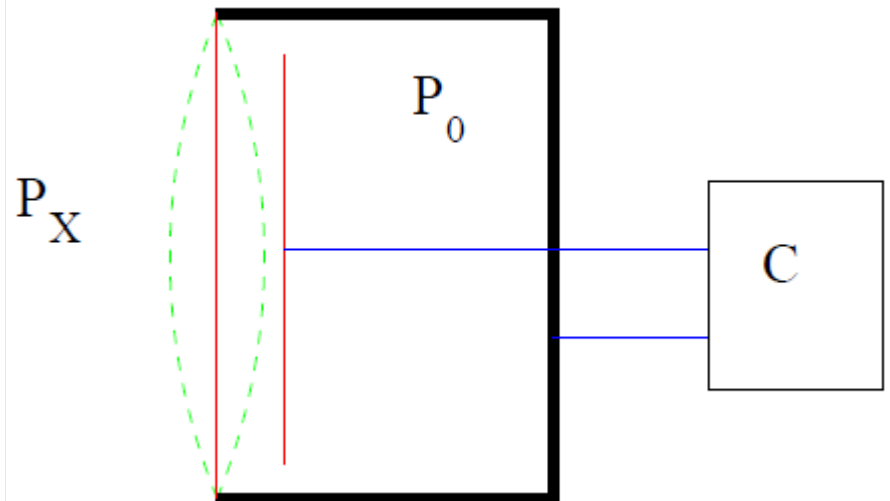
- tlak se určuje z deformace pružného elementu

- kapacitní
- piezo-manometr
- trubičkové

rozsah 10^{-3} - 10^5 Pa

+ kalibrace, velká přesnost

- nutnost kalibrovat nulu

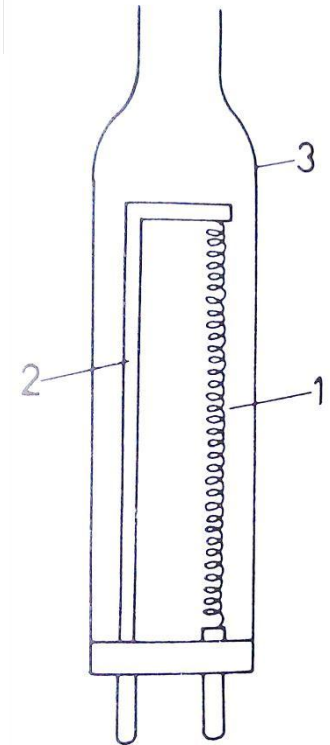
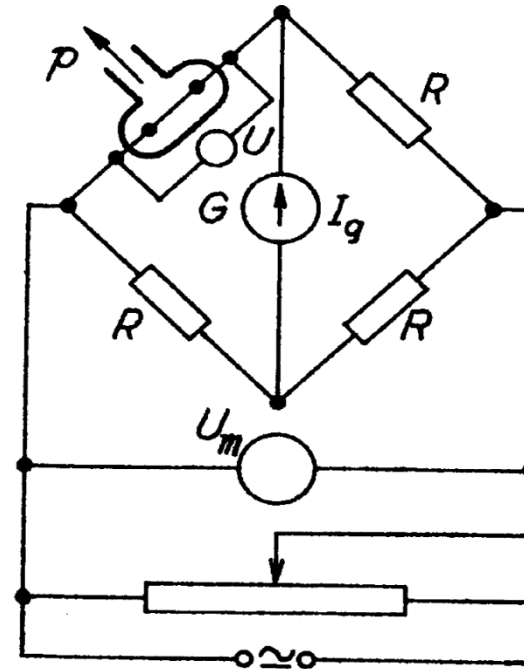


- Odporové – Piraniho
 - patří mezi nejpoužívanější vak. součástky
 - typicky jako kontrolní obvod se používá Wheatstoneův můstek

rozsah 10^{-2} - 10^5 Pa

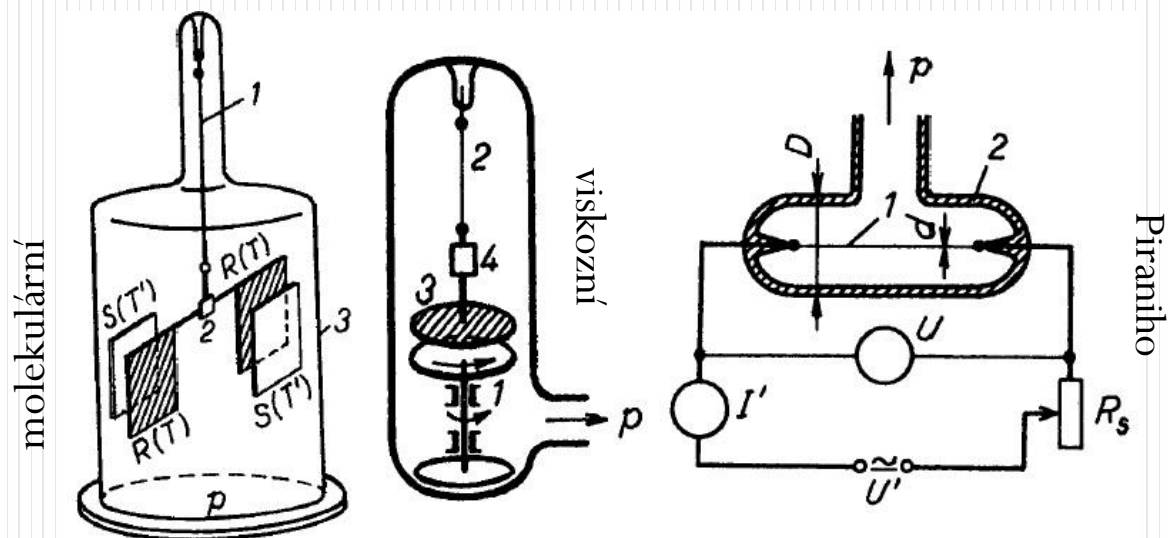
+ jednoduchá konstrukce

- chyba měření 15%



1-Piraniho filament
2-držák
3-skleněná obálka

Manometr	metoda	dolní hranice [Pa]	horní hranice [Pa]
Kapalinové U-trubice	absolutní	10^{-1}	10^5
McLeodův	absolutní	10^{-4}	10^5
Mechanické	absolutní	10^2	10^5
Kapacitní	absolutní	10^{-3}	10^5
Piezo	absolutní	10^1	10^5
Molekulární	nepřímá	10^{-5}	10^1
Viskozní	nepřímá	10^{-5}	10^1
Odporové	nepřímá	10^{-2}	10^5



- Ionizační manometry

Princip: ionizace molekul a měření počtu nabitých částic

- se žhavenou katodou

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

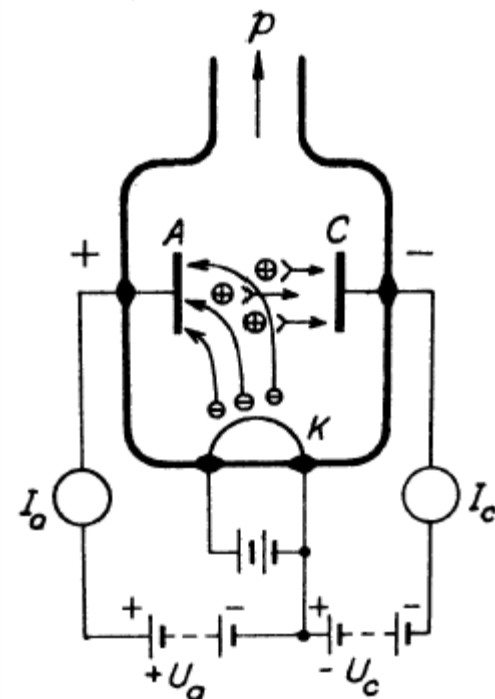
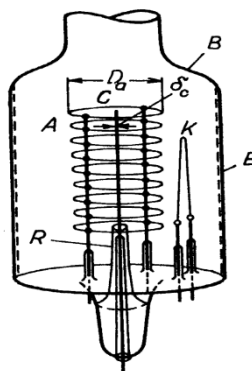
konstrukce:

s vnějším kolektorem

s vnitřním kolektorem (Bayard-Alpert)

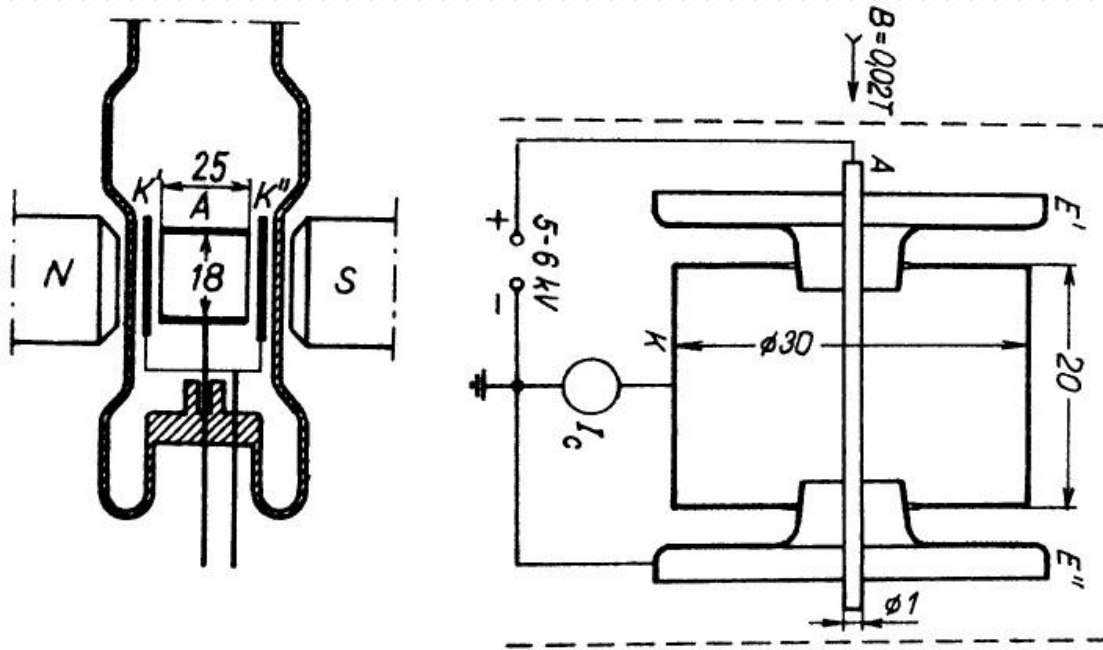
rozsah 10^{-9} - 10^0 Pa

- mění složení i tlak měřeného plynu



$K_0 [Pa^{-1}]$ citlivost manometru

- se studenou katodou (Penningův)



rozsah 10^{-7} - 10^0 Pa

+ velká dráha elektronů

- potíže se zapálením a udržením výboje při nízkých tlacích,
rozprašování elektrody

Přehled manometrů pro měření parciálních tlaků

- V měřeném prostoru se zpravidla nachází:
 - zbytkové plyny (H_2 , Ar, CO, N_2 , O_2 , ...)
 - vodní pára
 - páry organických materiálů nacházejících se ve vakuovém systému
 - plyny vzniklé rozkladem nebo syntézou těchto látek
- nutná analýza těchto plynů – měření parciálních tlaků

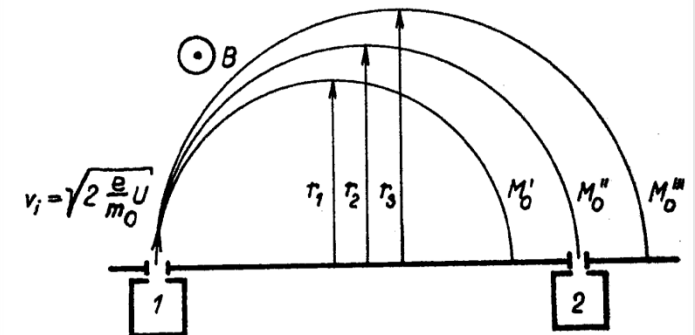
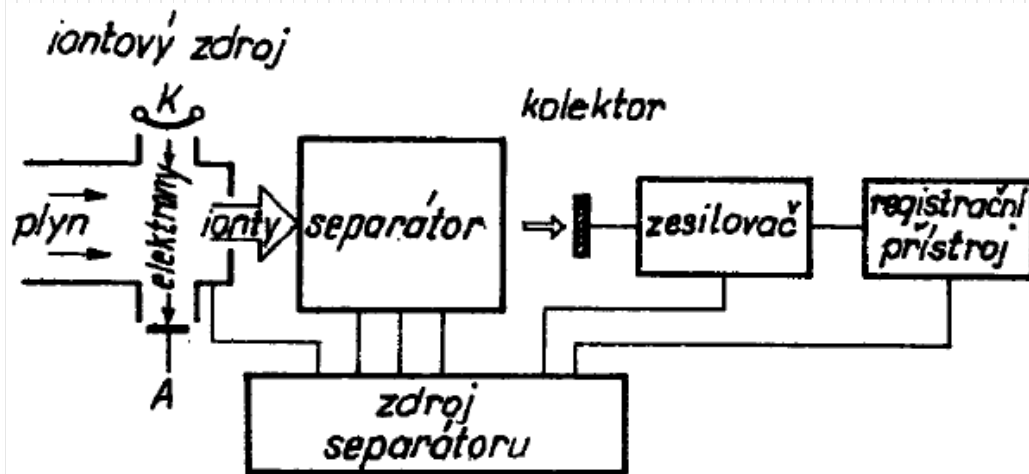
- Absolutní metody

- spojení některého absolutního manometru se zvláštní součástí systému, která propouští jen jednu nebo několik složek směsi
- např. přepážka
- přepážky jen pro určité plyny, zdlouhavé měření, nelze měřit rychlé změny tlaku

- Nepřímé metody

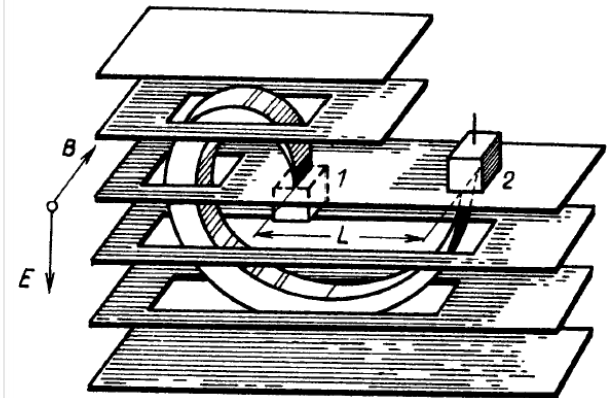
- nepřímé měření s manometry s filtrující přepážkou
- spektrometrická měření
- měření využívající desorpci plynu

- Spektrometrická měření
 - Optická spektrální analýza: srovnává optické spektrum směsi se známými spektry
 - možno použít jen při vyšších tlacích (100-1000Pa), nedává spojité údaje o složení směsi
 - Hmotové spektrometry: výhodnější
 - + vysoké citlivost, totální i parciální tlak



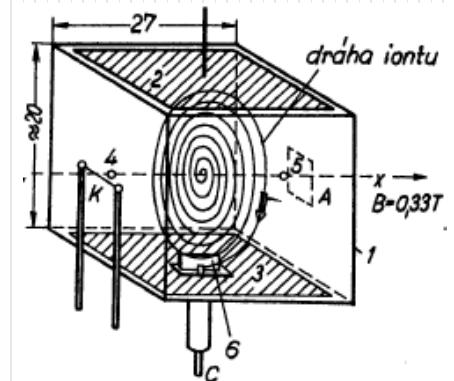
- Statické hmotové spektrometry

- s kruhovými drahami
- s cykloidní drahou (trochotron)



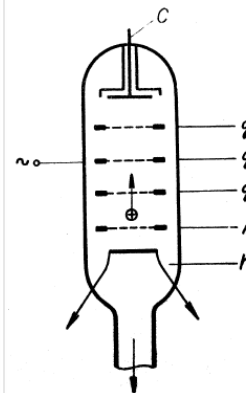
- Dynamické hmotové spektrometry

- se spirálovou drahou (omegatron)

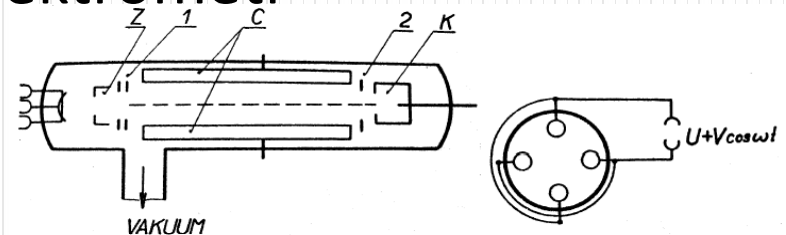


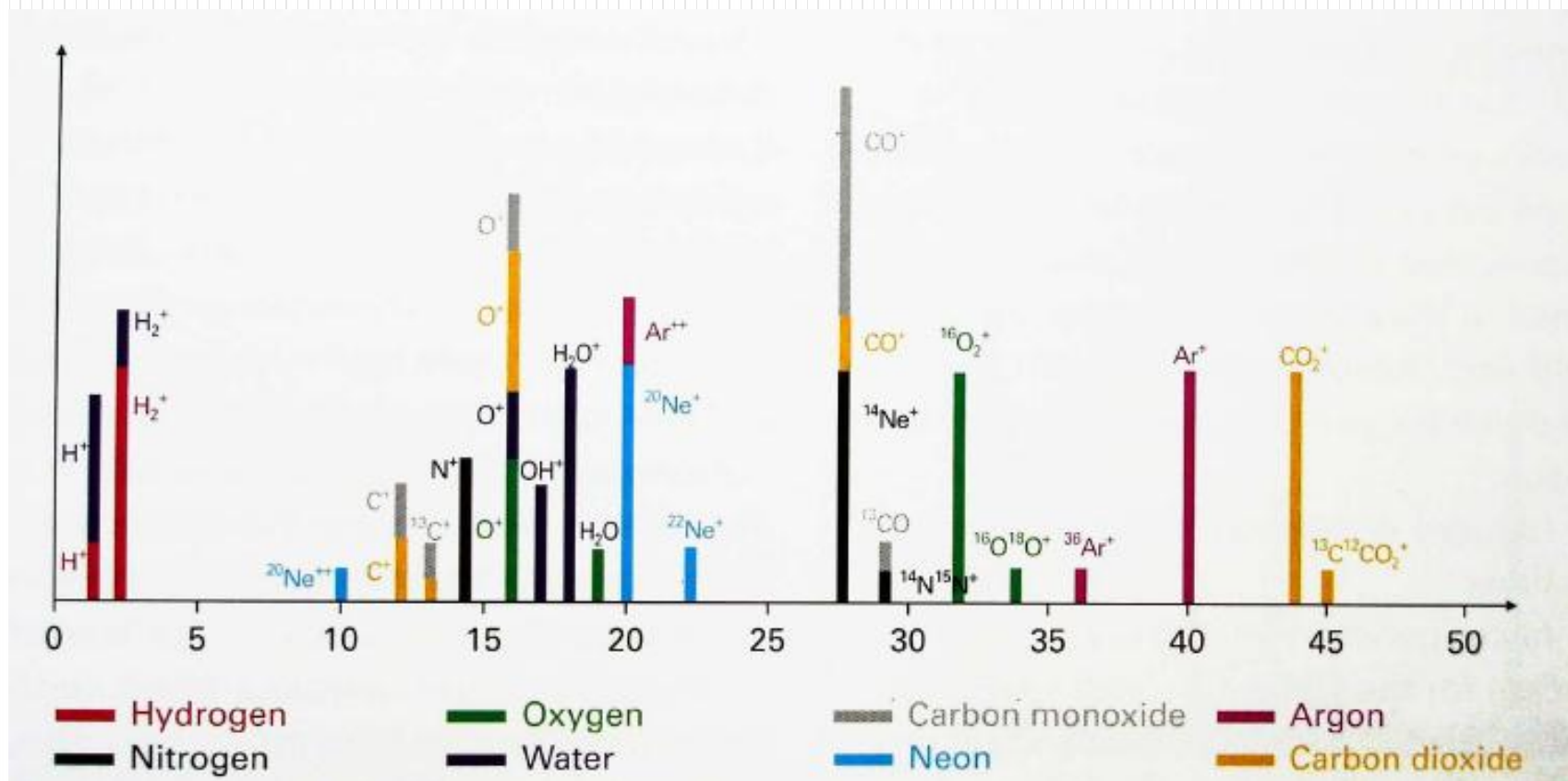
- Průletové spektrometry

- chronotron
- Benettův



- Kvadrupólový hmotový spektrometr





Hledání netěsností

- skutečná netěsnost
- virtuální netěsnost
- typická místa netěsností:
 - v místech svárů
 - v místech kovových vývodech přes sklo
 - v elektrických a optických průchodkách
 - ve ventilech, v zábrusech, ve spojích
 - u kovových částí – pórovitost materiálu

- Hledače netěsností
 - využívají měření parciálních tlaků zkušebních plynů (plyn málo obsažený v atmosféře či s co nejmenší molekulovou hmotností – snadno proniká netěsností)
 - vodíkový
 - halogenový
 - heliový

- Jiné metody:
 - manometr
 - diferenciální manometr
 - bublinky ve vodě
 - mýdlové bubliny

Metoda	tlak [Pa]	min. netěs. [$Pa m^3 s^{-1}$]
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}



Děkuji za pozornost