

F6450

Vakuová fyzika 2

Pavel Slavíček

email: ps94@sci.muni.cz

Osnova

- Vázané plyny
- Sorpční vývěvy
 - kryogenní
 - zeolitové
 - sublimační
 - iontové
 - getrové - vypařované, nevypařované (NEG)
- Měření ve vakuové fyzice
 - měření proudu plynu
 - měření tenze par plynu
- Konstrukční prvky vakuových zařízení - vhodné materiály, spoje (pevné, rozebíratelné), el.přechodky, přenos pohybu do vakua, ventily, ...
- Povlakování

Literatura

- J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981
- L. Pátý: Fyzika nízkých tlaků, Academia, Praha 1968
- V. Sítko: Vakuová technika, SNTL, Praha 1966
- J. Král: Cvičení z vakuové techniky, ČVUT Praha 1996
- V. Dubravcová: Vákuová a ultravákuová technika, Alfa, Bratislava 1992
- A. Roth: Vacuum technology, Elsevier, 1990
- W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, Slovenská akadémia vied, Bratislava 1960
- W.H.Kohl: Handbook of materials and techniques for vacuum devices, AIP Press, 1995

- T.A.Delchar: Vacuum Physics and Techniques, Chapman-Hall, 1993
- F.OHanlon: A Users Gaude to Vacuum Technology, Wiley (2003)
- J.Jelínek, Z. Málek: Kryogenní technika, SNTL, Praha, 1982
- Zpravodaje CVS
- Firemní katalogy

Literatura - internet

- www.vakspol.cz
- www.svc.org
- www.fzu.cz
- www.shm-cz.cz
- lhc.web.cern.ch/lhc/
- en.wikipedia.org/wiki/main_page
- [www](#) - stránky výrobců vakuové techniky

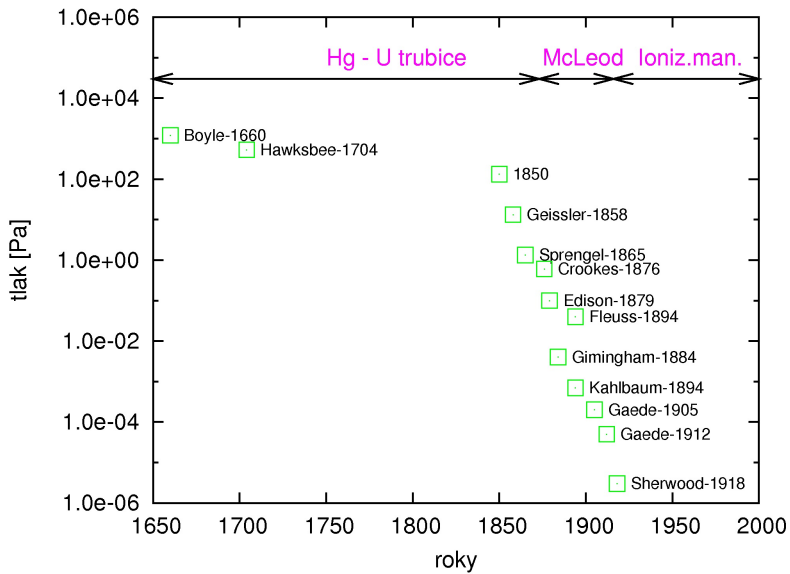
Rozdělení vakua

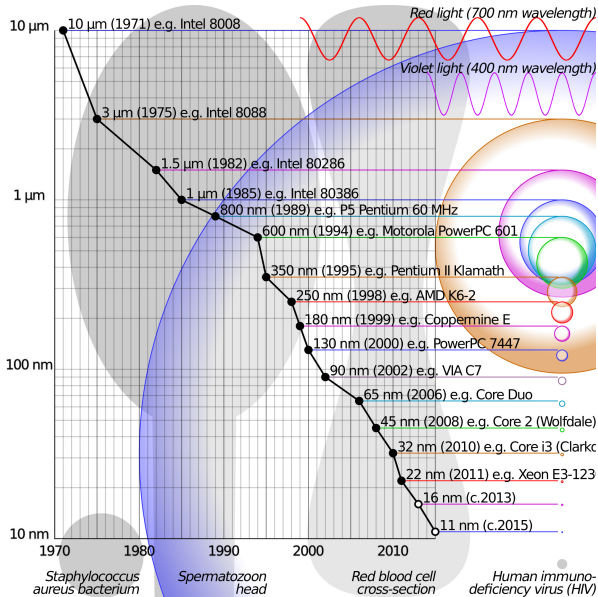
| vakuum | tlak [mbar] | tlak [Pa] |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| nízké (GV), hrubé, technické | $10^3 - 10^0$ | $10^5 - 10^2$ |
| střední (FV) | $10^0 - 10^{-3}$ | $10^2 - 10^{-1}$ |
| vysoké (HV) | $10^{-3} - 10^{-7}$ | $10^{-1} - 10^{-5}$ |
| velmi vysoké (UHV) | $10^{-7} - 10^{-10}$ | $10^{-5} - 10^{-8}$ |
| extrémně vysoké (XHV) | $< 10^{-10}$ | $< 10^{-8}$ |

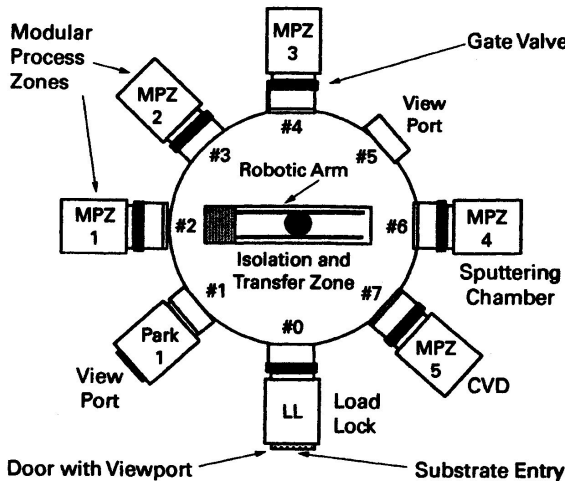
Rozdělení vakua

| vakuum | střední (FV) | vysoké (HV) | (UHV) a (XHV) |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| tlak [Pa] | $10^2 - 10^{-1}$ | $10^{-1} - 10^{-5}$ | $< 10^{-5}$ |
| koncentrace [cm^{-3}] | $10^{16} - 10^{13}$ | $10^{13} - 10^9$ | $< 10^9$ |
| střední dráha λ [cm] | $10^{-2} - 10^1$ | $10^1 - 10^5$ | $> 10^5$ |
| monovrstva τ [s] | $10^{-5} - 10^{-2}$ | $10^{-2} - 10^2$ | $> 10^2$ |
| typ proudění | Knudsenovo | molekulární | molekulární |

Proč UHV a XHV vakuum?



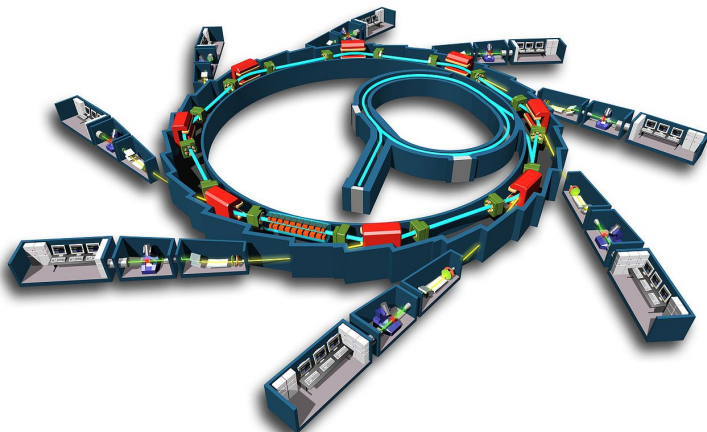




Urychlovače částic

- velká střední volná dráha
- LHC, synchrotrony, ...
- základní výzkum - částicová fyzika, materiály, biologie, medicína
- farmaceutický průmysl
- léčení rakoviny

Synchrotron



4

⁴<http://en.wikipedia.org/>

Elektronové mikroskopy

- katoda termoemisní $< 10^{-2} Pa$
- katoda autoemisní studená emise $< 10^{-8} Pa$
- Schottkyho katoda $< 10^{-6} Pa$
- prodloužení životnosti, vyšší stabilita, užší svazek elektronů
- výhody autoemise - nižší rozptyl energií elektronů \implies menší stopa, větší rozlišení

Vázané plyny

Plyny, které jsou na povrchu, nebo uvnitř pevné látky, nebo jsou uzavřeny v pórech a dutinách. Plyny se mohou v látkách rozpouštět a difundovat a tak pronikat z vnějšího prostředí stěnami do vakuového systému.

Sorpce:

- adsorpci - na povrchu
- absorpci - difuze do objemu

Příklad:

Vliv adsorbovaných plynů na vakuum.

Reaktor ve tvaru krychle o straně 10 cm je pokryt na vnitřních stěnách mono-molekulární vrstvou plynu. Je v něm plyn o tlaku $1 \times 10^{-4}\text{ Pa}$ a teplotě 300 K . Nějakým způsobem uvolníme všechen vázaný plyn ze stěn. Předpokládejme, že teplota plynu zůstane stejná. Jaký je výsledný tlak v reaktoru?

Řešení:

Počet molekul v objemu při tlaku $P = 1 \times 10^{-4} \text{ Pa}$:

$$N = nV = \frac{P}{kT} V = 2,4 \times 10^{13}$$

Počet molekul na stěnách:

$$N_1 = 6 \times S \times N_p$$

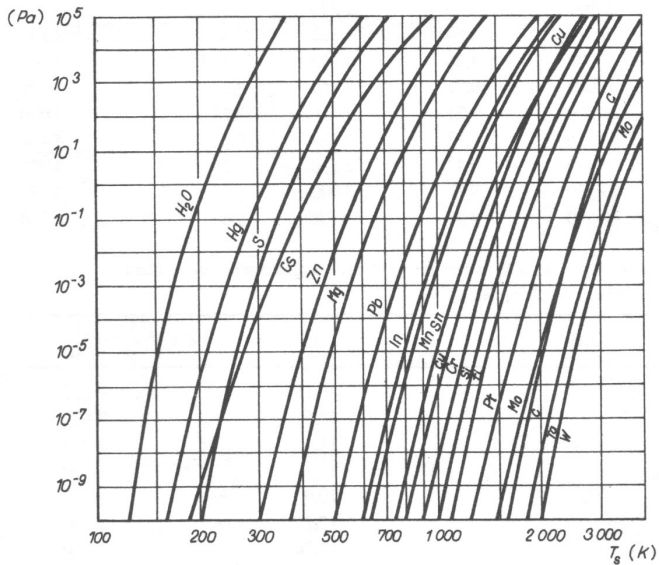
$$N_1 = 6 \times 100 \times 0,5 \times 10^{15} = 3 \times 10^{17}$$

tlak uvolněných molekul:

$$P_1 = n_1 kT = \frac{N_1}{V} kT = 1,24 \text{ Pa}$$

Požadavky na materiály používané ve vakuové technice:

- co možná nejmenší uvolňování plynů a par, nízká tenze par při pracovní teplotě
- malá schopnost pohlcovat a propouštět plyny
- dobré tepelné vlastnosti (4 - 700 K)
- dobré mechanické vlastnosti (pnutí, způsob opracování)
- vhodné elektrické a chemické vlastnosti (podle dané aplikace)

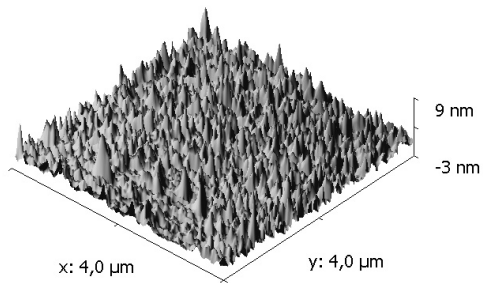


| Material | Surface-quality | Surface condition | Desorption rates ¹⁾ | |
|-----------------|-----------------|------------------------|--------------------------------|--|
| | | | q_{Des} 1h | $\left[\frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \right]$ 4h |
| Stainless steel | blank | cleaned | $2.7 \cdot 10^{-7}$ | $5.4 \cdot 10^{-8}$ |
| Stainless steel | polished | cleaned | $2 \cdot 10^{-8}$ | $4 \cdot 10^{-9}$ |
| Stainless steel | pickled | heated for 1 hour, | $1.4 \cdot 10^{-9}$ | $2.8 \cdot 10^{-10}$ |
| Stainless steel | bead blasted | vented with normal air | $3 \cdot 10^{-10}$ | $6.5 \cdot 10^{-11}$ |
| Steel Ni plated | polished | cleaned | $2 \cdot 10^{-7}$ | $1.5 \cdot 10^{-8}$ |
| Steel Cr plated | polished | cleaned | $1.3 \cdot 10^{-8}$ | $2.2 \cdot 10^{-9}$ |
| Steel | | rusted | $6 \cdot 10^{-7}$ | $1.6 \cdot 10^{-7}$ |
| Steel | blank | cleaned | $5 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-7}$ |
| Steel | bead blasted | cleaned | $4 \cdot 10^{-7}$ | $8 \cdot 10^{-8}$ |
| Aluminium | | cleaned | $6 \cdot 10^{-8}$ | $1.7 \cdot 10^{-8}$ |
| Brass | | cleaned | $1.6 \cdot 10^{-6}$ | $5.6 \cdot 10^{-7}$ |
| Copper | | cleaned | $3.5 \cdot 10^{-7}$ | $9.5 \cdot 10^{-8}$ |

6

⁶firemní materiály firmy Pfeiffer

AFM - sklo



Typická křivka čerpání vakuové komory

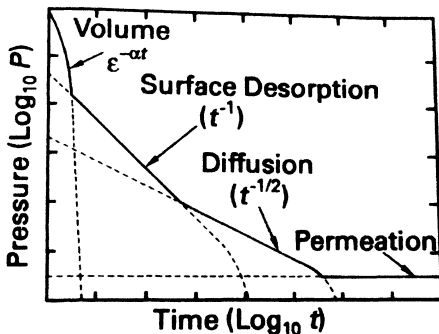
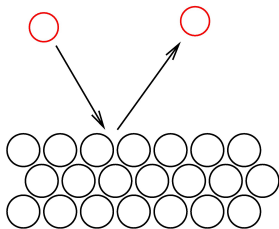


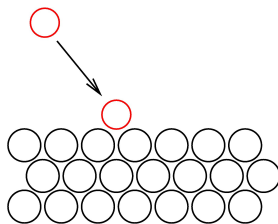
Fig. 4.10 Rate limiting steps during the pumping of a vacuum chamber.

$$P = P_o e^{-S t / V} + \frac{Q_o}{S} + \frac{Q_D}{S} + \frac{Q_k}{S}$$

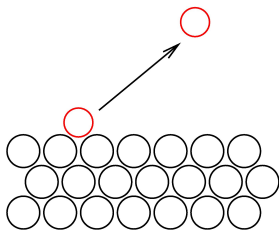
Základní procesy probíhající mezi plynem a povrchem pevné látky



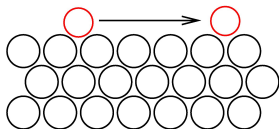
odraz molekuly



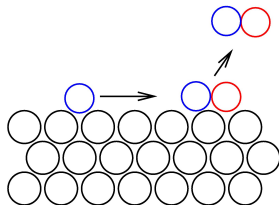
adsorpce



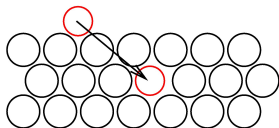
desorpce



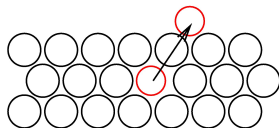
difuze po povrchu



chemická reakce na povrchu



difuze do objemu



difuze z objemu na povrch

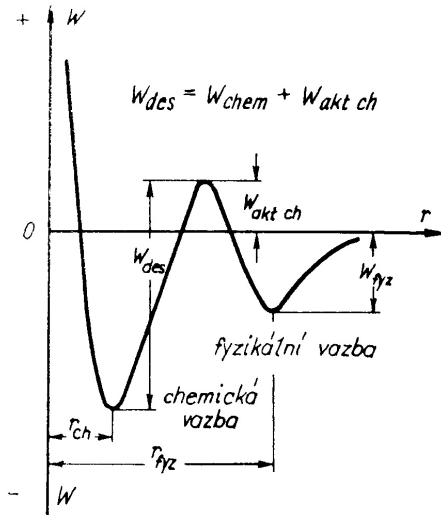
Plyny adsorbované na povrchu

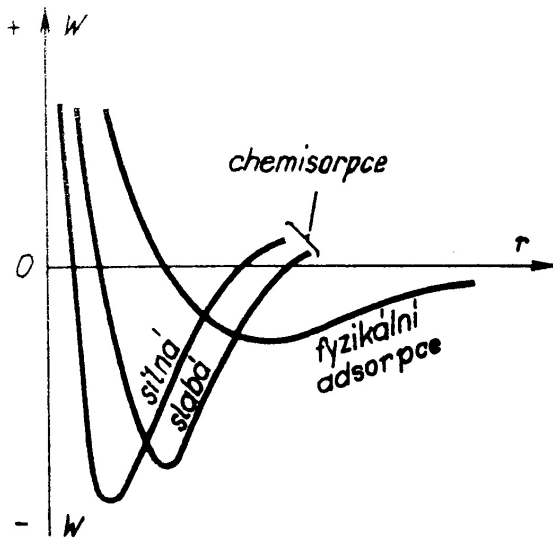
- fyzisorpce - slabá vazba, Van der Waalsova vazba, dlouhý dosah
 $R_0 > 3 \times 10^{-10} m$,

$$E = \frac{A}{R^9} - \frac{B}{R^3}$$

- chemisorpce - silné chemické vazby, krátký dosah,
 $1 \times 10^{-10} m < R_0 < 3 \times 10^{-10} m$

$$E = D_0(1 - \exp[-a(R - R_0)])^2$$





Koeficient ulpění

$$\nu_1 = \frac{1}{4} n v_a$$

$$\nu_{1ef} = \gamma \nu_1 \Rightarrow \gamma = \frac{\nu_{1ef}}{\nu_1}$$

- $\gamma = 1$, adsorpce každé molekuly, která dopadne na povrch
- $\gamma = 0$, všechny molekuly se odrazí

Stupeň pokrytí

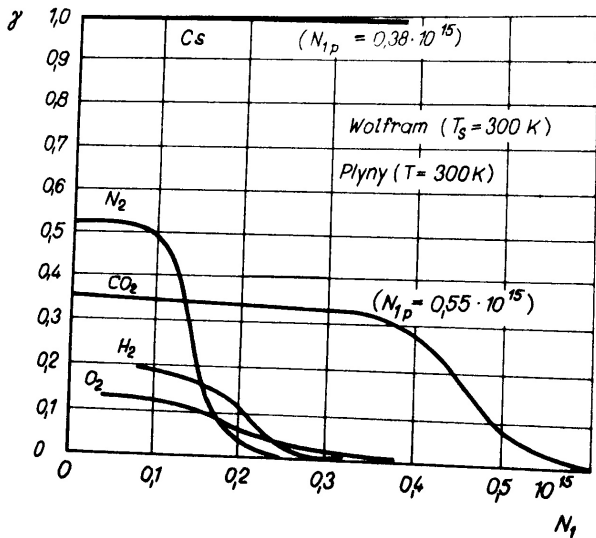
$$\vartheta = \frac{N_1}{N_{1p}}$$

N_1 - počet adsorbovaných atomů, N_{1p} - počet volných míst v mono-molekulární vrstvě, pro méně přesné výpočty se bere

$$N_{1p} = 0,5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$$

- $\vartheta = 0$, čistý povrch
- $\vartheta = 1$, zcela pokrytý povrch

Koeficient ulpění



Odhad na základě rozměrů molekul

| plyn | He | Ne | H ₂ | O ₂ | Ar |
|-----------------------------------|------|------|----------------|----------------|------|
| $N_{1p}[10^{15} \text{ cm}^{-2}]$ | 2,42 | 1,72 | 1,52 | 0,87 | 0,85 |

| plyn | N ₂ | CO | CO ₂ | H ₂ O | CH ₄ |
|-----------------------------------|----------------|------|-----------------|------------------|-----------------|
| $N_{1p}[10^{15} \text{ cm}^{-2}]$ | 0,81 | 0,81 | 0,53 | 0,53 | 0,52 |

CO na wolfram

| | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| T_s [K] | 300 | 500 | 700 | 900 | 1100 |
| $N_{1p}[10^{15} \text{cm}^{-2}]$ | 0,56 | 0,44 | 0,42 | 0,33 | 0,19 |
| γ | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,33 | 0,3 |

wolfram, 300 K

| plyn | γ | $N_{1p}[10^{15} \text{cm}^{-2}]$ | ϑ |
|----------------|----------|----------------------------------|-------------|
| N ₂ | 0,3-0,55 | 0,2-0,55 | 0,3-0,5 |
| CO | 0,2-0,6 | 0,5-0,65 | 0,3-0,6 |
| O ₂ | 0,2-0,3 | 0,87 | 0,7 |
| H ₂ | 0,2-0,3 | 0,4-0,7 | 0,4-0,5 |
| Cs | 1 | 0.38 | 1 |