

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

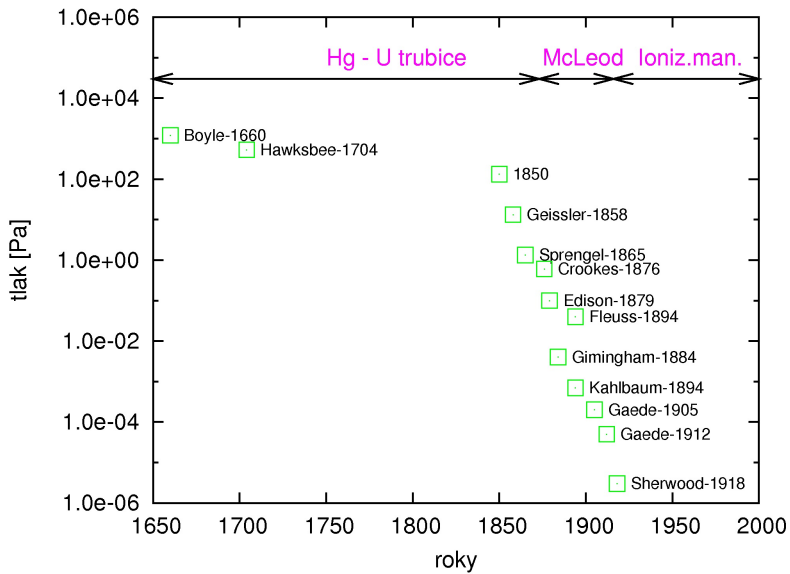
# Rozdělení vakua

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)	$10^{-7} - 10^{-10}$	$10^{-5} - 10^{-8}$
extremě vysoké (XHV)	$< 10^{-10}$	$< 10^{-8}$

# Rozdělení vakua

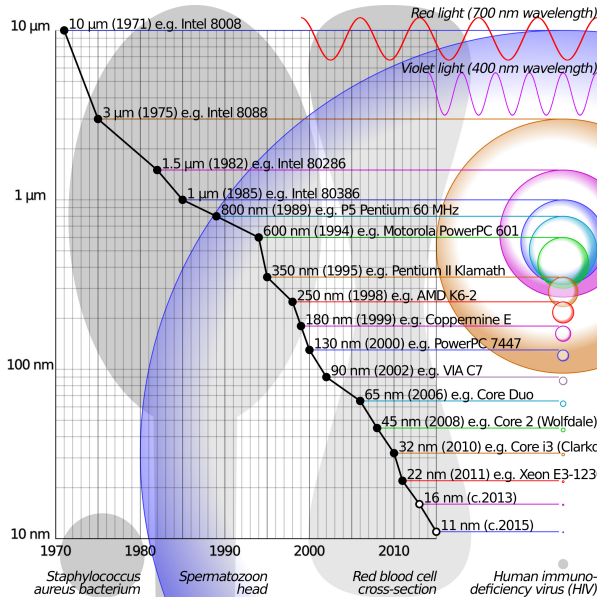
vakuum	střední (FV)	vysoké (HV)	(UHV) a (XHV)
tlak [ $Pa$ ]	$10^2 - 10^{-1}$	$10^{-1} - 10^{-5}$	$< 10^{-5}$
koncentrace [ $cm^{-3}$ ]	$10^{16} - 10^{13}$	$10^{13} - 10^9$	$< 10^9$
střední dráha $\lambda$ [ $cm$ ]	$10^{-2} - 10^1$	$10^1 - 10^5$	$> 10^5$
monovrstva $\tau$ [ $s$ ]	$10^{-5} - 10^{-2}$	$10^{-2}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

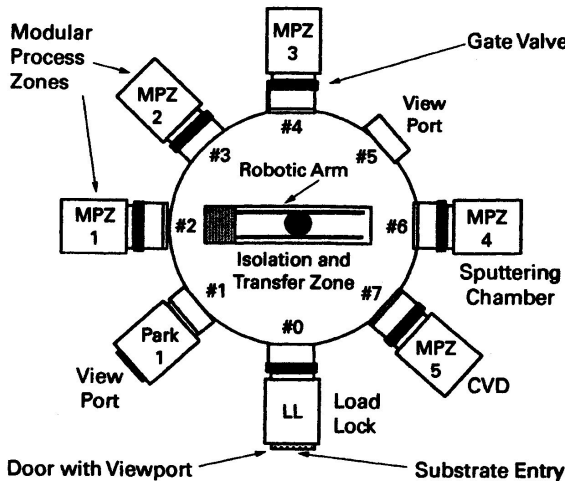
Proč UHV a XHV vakuum?







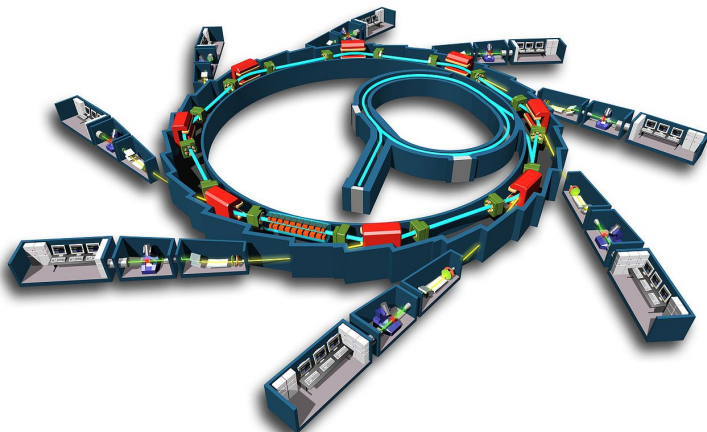




# Urychlovače částic

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

# Synchrotron



4

<sup>4</sup><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  $10\text{ cm}$  je pokryt na vnitřních stěnách mono-molekulární vrstvou plynu. Je v něm plyn o tlaku  $1 \times 10^{-4}\text{ Pa}$  a teplotě  $300\text{ K}$ . 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:

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

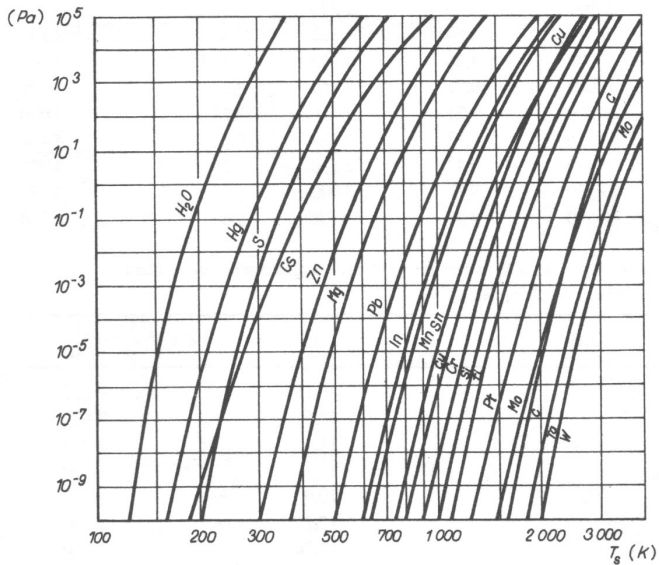
$$N_1 = 6 \times 100 \times 0.5 \times 10^{15} = 3 \times 10^{17}$$

tlak uvolněných molekul:

$$P_1 = n_1 kT = \frac{N_1}{V} kT = 1.24 \text{ Pa}$$

# Požadavky na materiály používané ve vakuové technice:

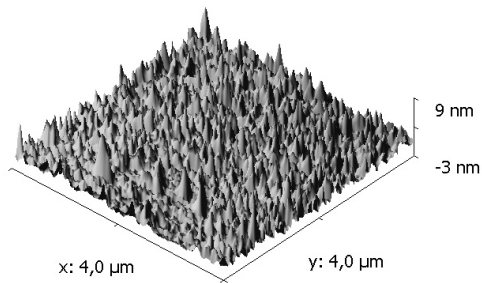
- co možná nejmenší uvolňování plynů a par, nízká tenze par při pracovní teplotě
- malá schopnost pohlcovat a propouštět plyny
- dobré tepelné vlastnosti (4 - 700 K)
- dobré mechanické vlastnosti (pnutí, způsob opracování)
- vhodné elektrické a chemické vlastnosti (podle dané aplikace)



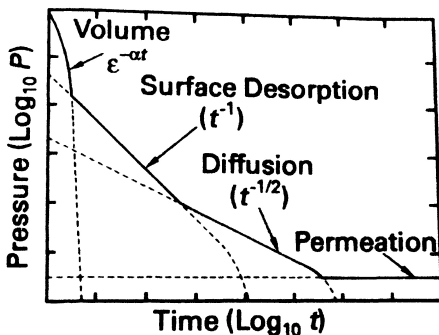
Material	Surface-quality	Surface condition	Desorption rates <sup>1)</sup>	
			$q_{Des}$ 1h	$\left[ \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \right]$ 4h
Stainless steel	blank	cleaned	$2.7 \cdot 10^{-7}$	$5.4 \cdot 10^{-8}$
Stainless steel	polished	cleaned	$2 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-9}$
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

# AFM - sklo



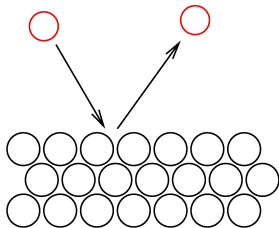
## Typická křivka čerpání vakuové komory



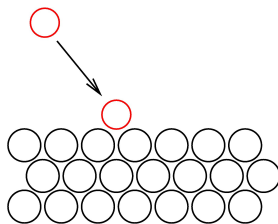
**Fig. 4.10** Rate limiting steps during the pumping of a vacuum chamber.

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

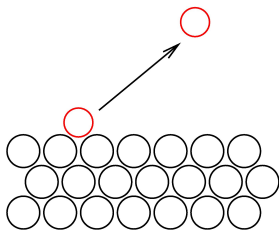
# Základní procesy probíhající mezi plynem a povrchem pevné látky



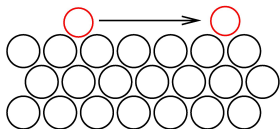
odraz molekuly



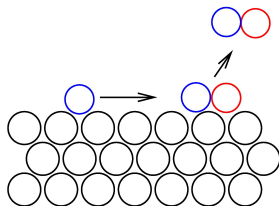
adsorpce



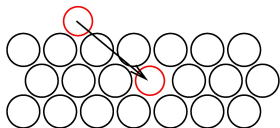
desorpce



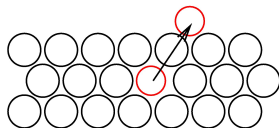
difuze po povrchu



chemická reakce na povrchu



difuze do objemu



difuze z objemu na povrch



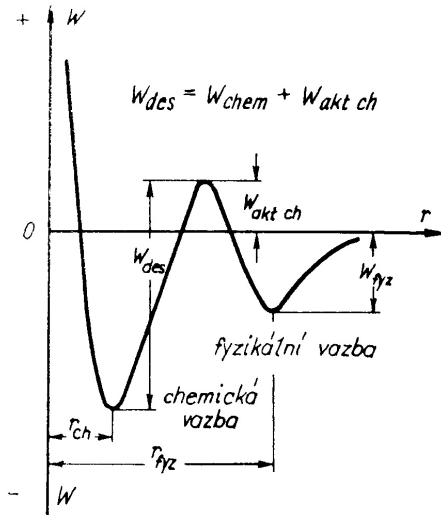
# Plyny adsorbované na povrchu

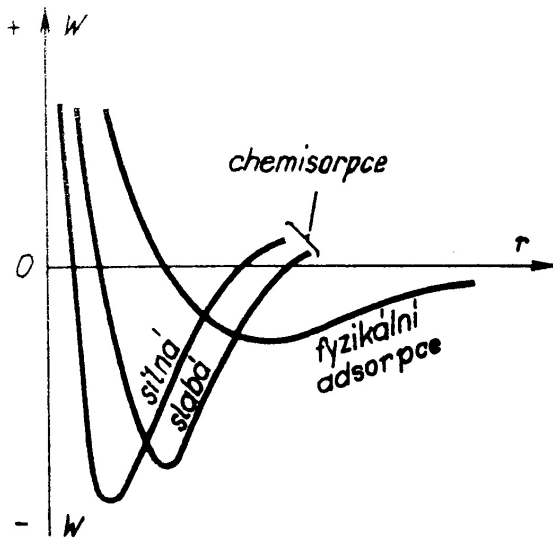
- fyzisorbce - slabá vazba, Van der Waalsova vazba, dlouhý dosah  
 $R_0 > 3 \times 10^{-10} m$ ,

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

- 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

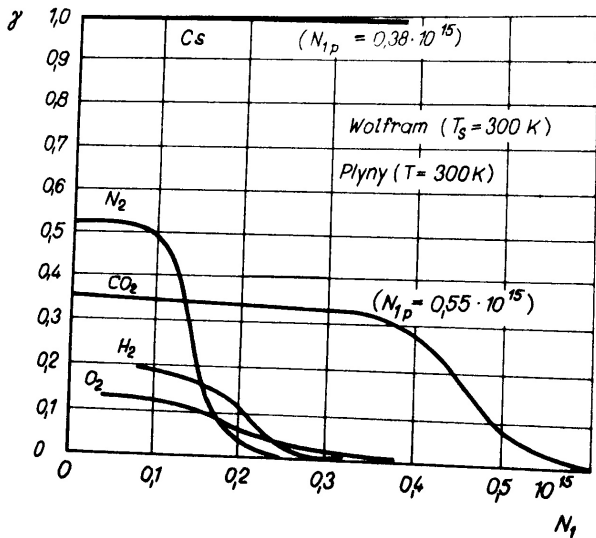
$$\vartheta = \frac{N_1}{N_{1p}}$$

$N_1$  - 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 <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar
$N_{1p}[10^{15} \text{ cm}^{-2}]$	2.42	1.72	1.52	0.87	0.85

plyn	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
$N_{1p}[10^{15} \text{ cm}^{-2}]$	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
$\gamma$	0.45	0.40	0.35	0.33	0.3

## wolfram, 300 K

plyn	$\gamma$	$N_{1p}[10^{15} \text{cm}^{-2}]$	$\vartheta$
N <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	0.2-0.3	-	0.7
H <sub>2</sub>	0.2-0.3	0.4-0.7	0.4-0.5
Cs	1	0.38	1