

Získávání vakua – Sorpční vývěvy

RICHARD ŠVEJKAR

*Katedra laserové fyziky a fotoniky
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
České vysoké učení technické v Praze*

richard.svejkar@fjfi.cvut.cz
www.richardsvejkar.cz

10. října 2025



- Ve vakuové aparatuře jsou vždy zdroje plynu způsobené netěsnostmi, desorpcí, nebo při extrémně nízkých tlacích i průnikem pevnou látkou

- Ve vakuové aparatuře jsou vždy zdroje plynu způsobené netěsnostmi, desorpcí, nebo při extrémně nízkých tlacích i průnikem pevnou látkou
- Čerpací rychlost vývěvy S je základní parametr definovaný výrobcem

- Ve vakuové aparatuře jsou vždy zdroje plynu způsobené netěsnostmi, desorpcí, nebo při extrémně nízkých tlacích i průnikem pevnou látkou
- Čerpací rychlost vývěvy S je základní parametr definovaný výrobcem
- Při připojení vývěvy potrubím k aparatuře se definuje efektivní čerpací rychlost S_{ef} na konci potrubí, ta je vždy menší než rychlost čerpací

- Ve vakuové aparatuře jsou vždy zdroje plynu způsobené netěsnostmi, desorpcí, nebo při extrémně nízkých tlacích i průnikem pevnou látkou
- Čerpací rychlost vývěvy S je základní parametr definovaný výrobcem
- Při připojení vývěvy potrubím k aparatuře se definuje efektivní čerpací rychlost S_{ef} na konci potrubí, ta je vždy menší než rychlost čerpací
- S_{ef} klesá s hodnotou vodivosti potrubí

- Ve vakuové aparatuře jsou vždy zdroje plynu způsobené netěsnostmi, desorpcí, nebo při extrémně nízkých tlacích i průnikem pevnou látkou
- Čerpací rychlost vývěvy S je základní parametr definovaný výrobcem
- Při připojení vývěvy potrubím k aparatuře se definuje efektivní čerpací rychlost S_{ef} na konci potrubí, ta je vždy menší než rychlost čerpací
- S_{ef} klesá s hodnotou vodivosti potrubí
- Transportní vývěvy – odvádějí molekuly plynu pryč z aparatury
 - ▶ Olejové vs. bezolejové

- Ve vakuové aparatuře jsou vždy zdroje plynu způsobené netěsnostmi, desorpcí, nebo při extrémně nízkých tlacích i průnikem pevnou látkou
- Čerpací rychlost vývěvy S je základní parametr definovaný výrobcem
- Při připojení vývěvy potrubím k aparatuře se definuje efektivní čerpací rychlost S_{ef} na konci potrubí, ta je vždy menší než rychlost čerpací
- S_{ef} klesá s hodnotou vodivosti potrubí
- Transportní vývěvy – odvádějí molekuly plynu pryč z aparatury
 - ▶ Olejové vs. bezolejové
- Sorpční vývěvy – vážou molekuly plynu na povrch uvnitř aparatury

- Ve vakuové aparatuře jsou vždy zdroje plynu způsobené netěsnostmi, desorpcí, nebo při extrémně nízkých tlacích i průnikem pevnou látkou
- Čerpací rychlost vývěvy S je základní parametr definovaný výrobcem
- Při připojení vývěvy potrubím k aparatuře se definuje efektivní čerpací rychlost S_{ef} na konci potrubí, ta je vždy menší než rychlost čerpací
- S_{ef} klesá s hodnotou vodivosti potrubí
- Transportní vývěvy – odvádějí molekuly plynu pryč z aparatury
 - ▶ Olejové vs. bezolejové
- Sorpční vývěvy – vážou molekuly plynu na povrch uvnitř aparatury
- Nejpoužívanější vývěvy rotační, membránová a turbomolekulární
 - ▶ Většinou pro vytvoření primárního vakua (pomocné vakuum)

Získávání vakua - Sorpční vývěvy

Kryogenní vývěvy

Kryosorpční vývěvy

Sublimační vývěvy

Iontové vývěvy

Getter

- Vazba plynu na/v k tomu připraveném materiálu

- Vazba plynu na/v k tomu připraveném materiálu
- Dva důležité parametry:
 - ▶ Velká pravděpodobnost ulpění $\gamma = \frac{\nu_{ef}}{\nu} \rightarrow 1$
 - ▶ Co nejdelší doba pobytu molekuly na povrchu

- Vazba plynu na/v k tomu připraveném materiálu
- Dva důležité parametry:
 - ▶ Velká pravděpodobnost ulpění $\gamma = \frac{\nu_{ef}}{\nu} \rightarrow 1$
 - ▶ Co nejdelší doba pobytu molekuly na povrchu
- Materiály s velkou energií vazby (titan, porézní látky – zeolity, aktivní uhlí)

- Vazba plynu na/v k tomu připraveném materiálu
- Dva důležité parametry:
 - ▶ Velká pravděpodobnost ulpění $\gamma = \frac{\nu_{ef}}{\nu} \rightarrow 1$
 - ▶ Co nejdelší doba pobytu molekuly na povrchu
- Materiály s velkou energií vazby (titan, porézní látky – zeolity, aktivní uhlí)
- Nízké teploty

- Vazba plynu na/v k tomu připraveném materiálu
- Dva důležité parametry:
 - ▶ Velká pravděpodobnost ulpění $\gamma = \frac{\nu_{ef}}{\nu} \rightarrow 1$
 - ▶ Co nejdelší doba pobytu molekuly na povrchu
- Materiály s velkou energií vazby (titan, porézní látky – zeolity, aktivní uhlí)
- Nízké teploty
- Aktivace plynu (urychlování molekul) – ionizace, silné elektrické pole

- Vazba plynu na/v k tomu připraveném materiálu
- Dva důležité parametry:
 - ▶ Velká pravděpodobnost ulpění $\gamma = \frac{v_{ef}}{v} \rightarrow 1$
 - ▶ Co nejdelší doba pobytu molekuly na povrchu
- Materiály s velkou energií vazby (titan, porézní látky – zeolity, aktivní uhlí)
- Nízké teploty
- Aktivace plynu (urychlování molekul) – ionizace, silné elektrické pole
- Překrývání adsorbované vrstvy plynu vrstvou kovu (napaření, naprášení)

KRYOGENNÍ

- ▶ Nízká teplota povrchu – kapalné He nebo H
- ▶ Vazba na chladném povrchu

KRYOGENNÍ

- ▶ Nízká teplota povrchu – kapalné He nebo H
- ▶ Vazba na chladném povrchu

KRYOSORPČNÍ

- ▶ Nízké teploty – kapalný N_2
- ▶ Vazba na členitém porézním povrchu

KRYOGENNÍ

- ▶ Nízká teplota povrchu – kapalné He nebo H
- ▶ Vazba na chladném povrchu

KRYOSORPČNÍ

- ▶ Nízké teploty – kapalný N_2
- ▶ Vazba na členitém porézním povrchu

SUBLIMAČNÍ

- ▶ Sorpce nebo překrytí usazených molekul

KRYOGENNÍ

- ▶ Nízká teplota povrchu – kapalné He nebo H
- ▶ Vazba na chladném povrchu

KRYOSORPČNÍ

- ▶ Nízké teploty – kapalný N_2
- ▶ Vazba na členitém porézním povrchu

SUBLIMAČNÍ

- ▶ Sorpce nebo překrytí usazených molekul

IONTOVÉ

- ▶ Ionizování plynu, urychlení a zachycení

KRYOGENNÍ

- ▶ Nízká teplota povrchu – kapalné He nebo H
- ▶ Vazba na chladném povrchu

KRYOSORPČNÍ

- ▶ Nízké teploty – kapalný N₂
- ▶ Vazba na členitém porézním povrchu

SUBLIMAČNÍ

- ▶ Sorpce nebo překrytí usazených molekul

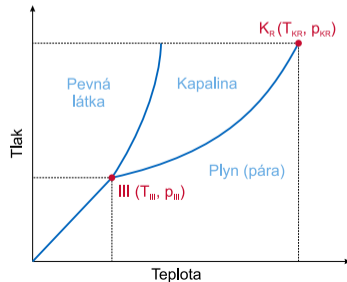
IONTOVÉ

- ▶ Ionizování plynu, urychlení a zachycení

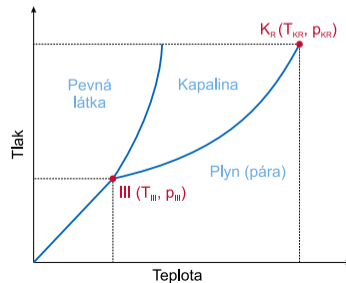
GETTRY

- ▶ Chemická vazba molekul
- ▶ Ultravakuové aparatury

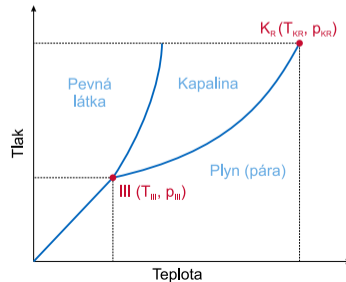
- Při dosti nízké teplotě dochází ke kondenzaci všech plynů



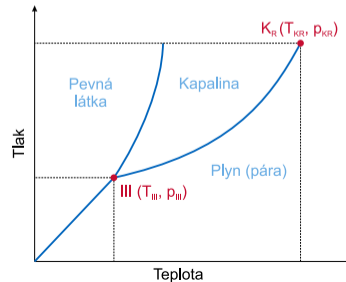
- Při dosti nízké teplotě dochází ke kondenzaci všech plynů
- Kondenzovaný plyn je zachycen na chladném povrchu



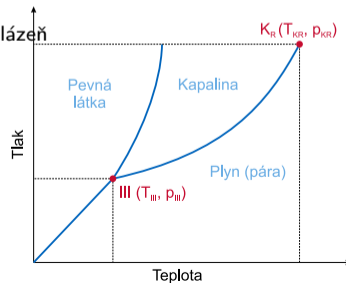
- Při dosti nízké teplotě dochází ke kondenzaci všech plynů
- Kondenzovaný plyn je zachycen na chladném povrchu
- Saturace čerpací rychlosti při zaplnění plochy chlazeného povrchu



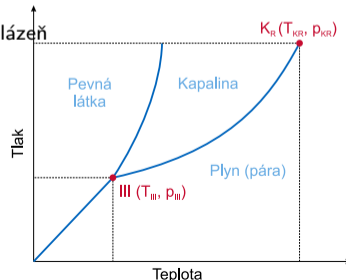
- Při dosti nízké teplotě dochází ke kondenzaci všech plynů
- Kondenzovaný plyn je zachycen na chladném povrchu
- Saturace čerpací rychlosti při zaplnění plochy chlazeného povrchu
- Jedná se o universální metodu získávání vakua



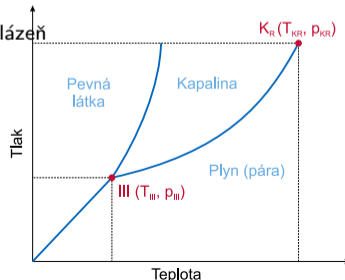
- Při dosti nízké teplotě dochází ke kondenzaci všech plynů
- Kondenzovaný plyn je zachycen na chladném povrchu
- Saturace čerpací rychlosti při zaplnění plochy chlazeného povrchu
- Jedná se o universální metodu získávání vakua
- Chlazení čerpacích povrchů
 - ▶ Chladicí jednotkou – zkapalňovač
 - ▶ Přímé strojní chlazení kondenzačních povrchů
 - ▶ Kapalné helium – v laboratorních podmínkách He lázeň



- Při dosti nízké teplotě dochází ke kondenzaci všech plynů
- Kondenzovaný plyn je zachycen na chladném povrchu
- Saturace čerpací rychlosti při zaplnění plochy chlazeného povrchu
- Jedná se o universální metodu získávání vakua
- Chlazení čerpacích povrchů
 - ▶ Chladicí jednotkou – zkapalňovač
 - ▶ Přímé strojní chlazení kondenzačních povrchů
 - ▶ Kapalné helium – v laboratorních podmínkách He lázeň
- Konec 50. let simulátory kosmického prostoru
 - ▶ Teploty < 20 K, čerpací rychlosti 10^7 l/s



- Při dosti nízké teplotě dochází ke kondenzaci všech plynů
- Kondenzovaný plyn je zachycen na chladném povrchu
- Saturace čerpací rychlosti při zaplnění plochy chlazeného povrchu
- Jedná se o universální metodu získávání vakua
- Chlazení čerpacích povrchů
 - ▶ Chladicí jednotkou – zkapalňovač
 - ▶ Přímé strojní chlazení kondenzačních povrchů
 - ▶ Kapalné helium – v laboratorních podmínkách He lázeň
- Konec 50. let simulátory kosmického prostoru
 - ▶ Teploty < 20 K, čerpací rychlosti 10^7 l/s
- Trojný bod (T_{III}) – rovnovážný stav látky
 - ▶ $T < T_{III}$ – tuhnutí plynu
 - ▶ $T > T_{III}$ – zkapalnění plynu



Sorpční vývěvy

Kryogenní vývěvy



ČERPACÍ RYCHLOST S_A

ČERPAČÍ RYCHLOST S_A

- Úměrná ploše A_K kryogenního povrchu
- Úměrná rozdílu toku (počtu) ad- a desorbovaných molekul

$$S_A = \frac{\gamma}{\sqrt{M}} \cdot \sqrt{T} \cdot \left(1 - \frac{p_\infty}{p}\right) \cdot A_K \stackrel{p \gg p_\infty}{\approx} \gamma \cdot \sqrt{\frac{T}{M}} \cdot A_K \quad (1)$$

ČERPACÍ RYCHLOST S_A

- Úměrná ploše A_K kryogenního povrchu
- Úměrná rozdílu toku (počtu) ad- a desorbovaných molekul

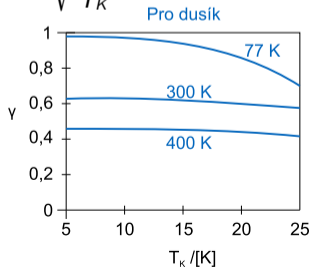
$$S_A = \frac{\gamma}{\sqrt{M}} \cdot \sqrt{T} \cdot \left(1 - \frac{p_\infty}{p}\right) \cdot A_K \stackrel{p \gg p_\infty}{\approx} \gamma \cdot \sqrt{\frac{T}{M}} \cdot A_K \quad (1)$$

kde mezní tlak

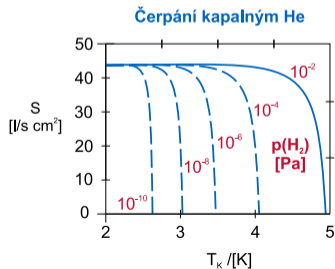
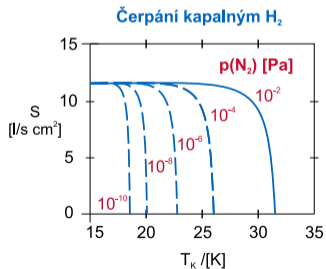
$$p_\infty = \frac{1}{\gamma} \cdot p_K \cdot \sqrt{\frac{T}{T_K}} \quad (2)$$

Pravděpodobnost ulpění γ roste když T a $T_K \rightarrow 0$

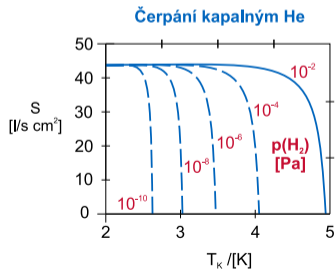
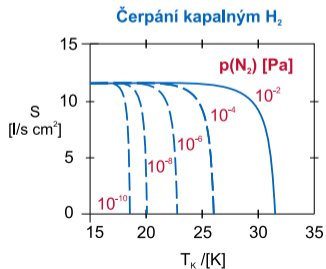
M – molekulová hmotnost plynu
 T – teplota plynu
 p_K – nasycený tlak plynu při T_K
 T_K – teplota kondenzační plochy



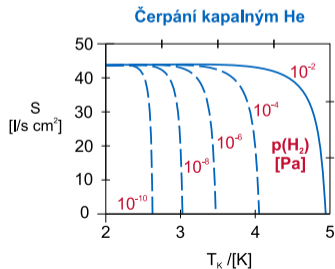
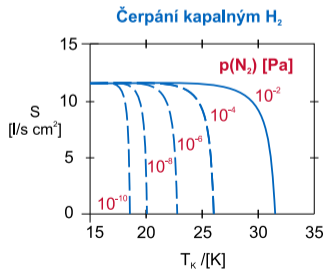
- Čerpací rychlost pro různé plyny různá



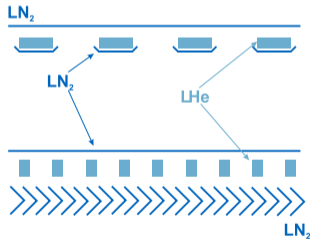
- Čerpací rychlost pro různé plyny různá
- Za předpokladu, že koeficient ulpění $\gamma \approx 1$



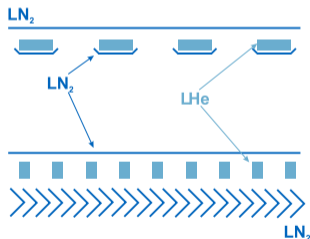
- Čerpací rychlost pro různé plyny různá
- Za předpokladu, že koeficient ulpění $\gamma \approx 1$
- Čerpací rychlost 1 cm^2 při chlazení:



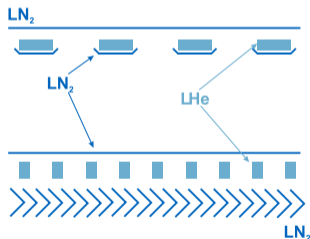
- Stínění kondenzačních ploch pomocí LN₂
 - ▶ Omezení ohřevu (sáláním) z teploty okolí
 - ▶ Na kryopanel dopadá již ochlazený a suchý plyn



- Stínění kondenzačních ploch pomocí LN₂
 - ▶ Omezení ohřevu (sáláním) z teploty okolí
 - ▶ Na kryopanel dopadá již ochlazený a suchý plyn
- $T_K \approx 20$ K stačí pro UHV u většiny plynů
 - ▶ Pro dosažení tlaku 10^{-9} Pa
 - ▶ Ne (6 K), H₂ (2,5 K), He (0,3 K)



- Stínění kondenzačních ploch pomocí LN₂
 - ▶ Omezení ohřevu (sáláním) z teploty okolí
 - ▶ Na kryopanel dopadá již ochlazený a suchý plyn
- $T_K \approx 20$ K stačí pro UHV u většiny plynů
 - ▶ Pro dosažení tlaku 10^{-9} Pa
 - ▶ Ne (6 K), H₂ (2,5 K), He (0,3 K)
- Čerpání H₂ lze za použití kryosorpce
 - ▶ Pevný CO₂, Zeolity, nebo aktivní uhlí



Sorpční vývěvy

Kryogenní vývěvy – Význačné vlastnosti



- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát

Sorpční vývěvy

Kryogenní vývěvy – Význačné vlastnosti



- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv

Sorpční vývěvy

Kryogenní vývěvy – Význačné vlastnosti



- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie

Sorpční vývěvy

Kryogenní vývěvy – Význačné vlastnosti



- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie
- Vysoké specifické čerpací rychlosti

- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie
- Vysoké specifické čerpací rychlosti
- Extrémní čerpací rychlosti – "relativně" levně
 - ▶ S He lázní – $S \approx 100 - 1000 \text{ l/s}$
 - ▶ Strojně chlazené – $S \approx 1000 \text{ l/s}$

- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie
- Vysoké specifické čerpací rychlosti
- Extrémní čerpací rychlosti – "relativně" levně
 - ▶ S He lázní – $S \approx 100 - 1000 \text{ l/s}$
 - ▶ Strojně chlazené – $S \approx 1000 \text{ l/s}$
- Zcela čisté vakuum

- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie
- Vysoké specifické čerpací rychlosti
- Extrémní čerpací rychlosti – "relativně" levně
 - ▶ S He lázní – $S \approx 100 - 1000 \text{ l/s}$
 - ▶ Strojně chlazené – $S \approx 1000 \text{ l/s}$
- Zcela čisté vakuum
- p_∞ hluboko pod detekčním limitem $\approx 10^{-12} \text{ Pa}$

- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie
- Vysoké specifické čerpací rychlosti
- Extrémní čerpací rychlosti – "relativně" levně
 - ▶ S He lázní – $S \approx 100 - 1000 \text{ l/s}$
 - ▶ Strojně chlazené – $S \approx 1000 \text{ l/s}$
- Zcela čisté vakuum
- p_∞ hluboko pod detekčním limitem $\approx 10^{-12} \text{ Pa}$
- spolehlivost provozu – závisí na chlazení

- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie
- Vysoké specifické čerpací rychlosti
- Extrémní čerpací rychlosti – "relativně" levně
 - ▶ S He lázní – $S \approx 100 - 1000 \text{ l/s}$
 - ▶ Strojně chlazené – $S \approx 1000 \text{ l/s}$
- Zcela čisté vakuum
- p_∞ hluboko pod detekčním limitem $\approx 10^{-12} \text{ Pa}$
- spolehlivost provozu – závisí na chlazení

POZOR

Kryogenní vývěvy a aparatury nejsou izotermický systém \Rightarrow

- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie
- Vysoké specifické čerpací rychlosti
- Extrémní čerpací rychlosti – "relativně" levně
 - ▶ S He lázní – $S \approx 100 - 1000 \text{ l/s}$
 - ▶ Strojně chlazené – $S \approx 1000 \text{ l/s}$
- Zcela čisté vakuum
- p_∞ hluboko pod detekčním limitem $\approx 10^{-12} \text{ Pa}$
- spolehlivost provozu – závisí na chlazení

POZOR

Kryogenní vývěvy a aparatury nejsou izotermický systém \Rightarrow

- Velmi rozdílné teploty → značné teplotní gradienty

- Nemohou pracovat nepřetržitě → po překročení kapacity nutno opět vyhřát
- Kombinace více vývěv
- Variabilní geometrie
- Vysoké specifické čerpací rychlosti
- Extrémní čerpací rychlosti – "relativně" levně
 - ▶ S He lázní – $S \approx 100 - 1000 \text{ l/s}$
 - ▶ Strojně chlazené – $S \approx 1000 \text{ l/s}$
- Zcela čisté vakuum
- p_∞ hluboko pod detekčním limitem $\approx 10^{-12} \text{ Pa}$
- spolehlivost provozu – závisí na chlazení

POZOR

Kryogenní vývěvy a aparatury nejsou izotermický systém \Rightarrow

- Velmi rozdílné teploty → značné teplotní gradienty
- Nutno respektovat při rozboru proudění a měření tlaku

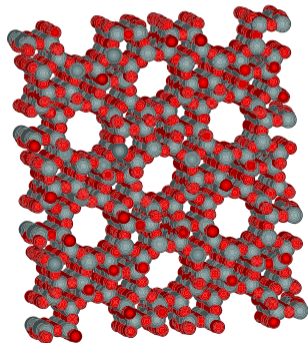
Sorpční vývěvy

Kryosorpční (zeolitové) vývěvy



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky

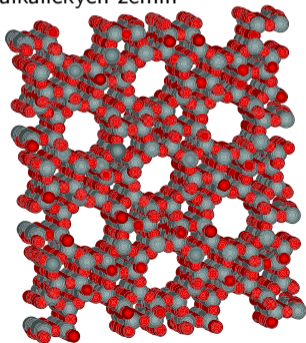
- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a aktivní uhlí



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a **aktivní uhlí**

ZEOLITY

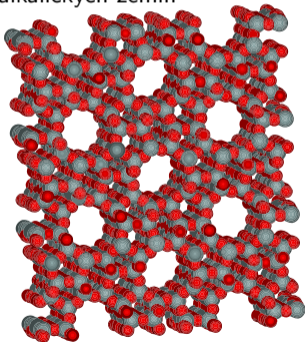
- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a aktivní uhlí

ZEOLITY

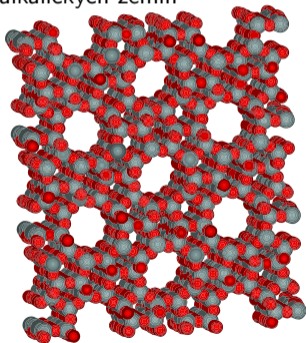
- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin
- Přírodní i výroba umělých
- Struktura AlO_4^- a SiO_4^-



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a aktivní uhlí

ZEOLITY

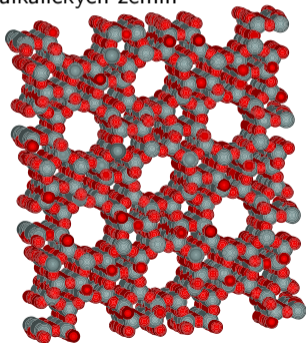
- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin
- Přírodní i výroba umělých
- Struktura AlO_4^- a SiO_4^-
- Dutiny s rozměry < 1 nm



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a aktivní uhlí

ZEOLITY

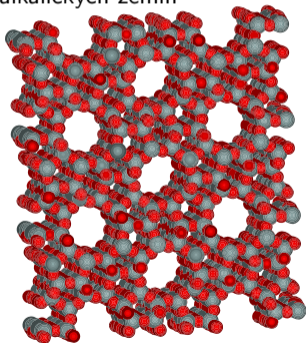
- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin
- Přírodní i výroba umělých
- Struktura AlO_4^- a SiO_4^-
- Dutiny s rozměry $< 1 \text{ nm}$
- 1 g zeolitu až 1000 m^2 vnitřní povrch



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a aktivní uhlí

ZEOLITY

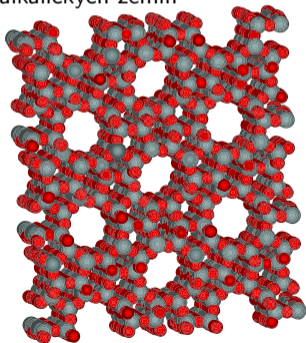
- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin
- Přírodní i výroba umělých
- Struktura AlO_4^- a SiO_4^-
- Dutiny s rozměry < 1 nm
- 1 g zeolitu až 1000 m^2 vnitřní povrch
- Zachytávání vody nebo plynů



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a aktivní uhlí

ZEOLITY

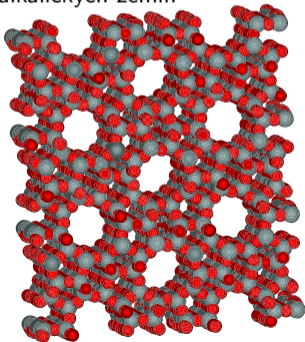
- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin
- Přírodní i výroba umělých
- Struktura AlO_4^- a SiO_4^-
- Dutiny s rozměry < 1 nm
- 1 g zeolitu až 1000 m^2 vnitřní povrch
- Zachytávání vody nebo plynů
- Sorpční vlastnosti závisí na teplotě



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a aktivní uhlí

ZEOLITY

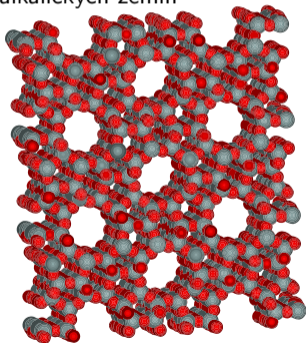
- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin
- Přírodní i výroba umělých
- Struktura AlO_4^- a SiO_4^-
- Dutiny s rozměry $< 1 \text{ nm}$
- 1 g zeolitu až 1000 m^2 vnitřní povrch
- Zachytávání vody nebo plynů
- Sorpční vlastnosti závisí na teplotě
- Nečerpají He a Ne



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a **aktivní uhlí**

ZEOLITY

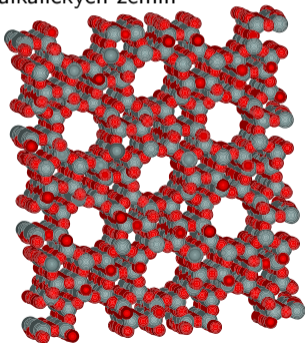
- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin
- Přírodní i výroba umělých
- Struktura AlO_4^- a SiO_4^-
- Dutiny s rozměry < 1 nm
- 1 g zeolitu až 1000 m^2 vnitřní povrch
- Zachytávání vody nebo plynů
- Sorpční vlastnosti závisí na teplotě
- Nečerpají He a Ne
- Mohou čerpat z atmosférického tlaku $p_\infty \approx 1 \text{ Pa}$



- Adsorpce plynu na studeném povrchu **porézní** látky
- Nejčastější sorbent – molekulová síta – **ZEOLITY** a **aktivní uhlí**

ZEOLITY

- Hydrogenované hlinitokřemičitany alkalických kovů a alkalických zemin
- Přírodní i výroba umělých
- Struktura AlO_4^- a SiO_4^-
- Dutiny s rozměry < 1 nm
- 1 g zeolitu až 1000 m^2 vnitřní povrch
- Zachytávání vody nebo plynů
- Sorpční vlastnosti závisí na teplotě
- Nečerpají He a Ne
- Mohou čerpat z atmosférického tlaku $p_\infty \approx 1 \text{ Pa}$
- S vícestupňovým systémem $p_\infty \approx 10^{-3} \text{ Pa}$



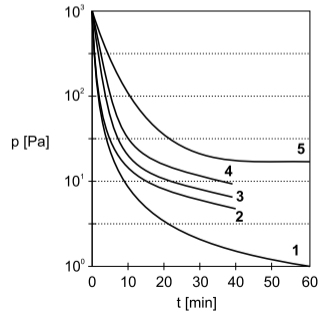
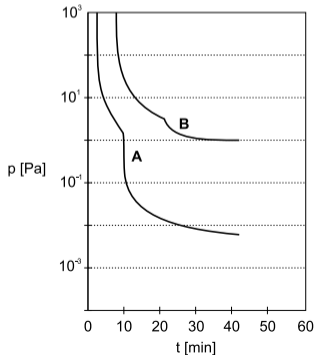
Sorpční vývěvy

Kryosorpční (zeolitové) vývěvy



- Tlak plynu nad zeolitem závisí na absorbovaném množství plynu

- Tlak plynu nad zeolitem závisí na absorbovaném množství plynu
- Čerpací vlastnosti se určují experimentálně

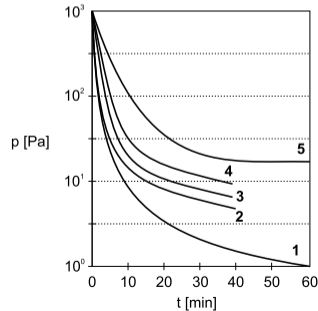
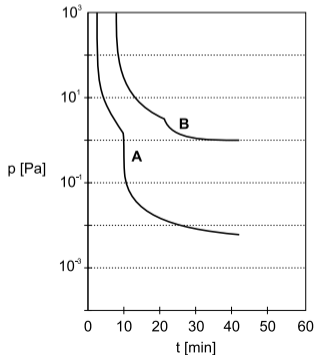


Sorpční vývěvy

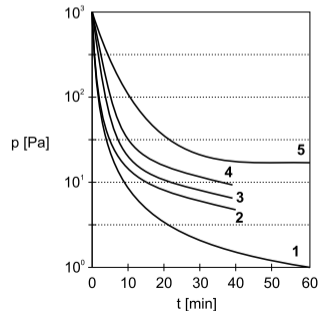
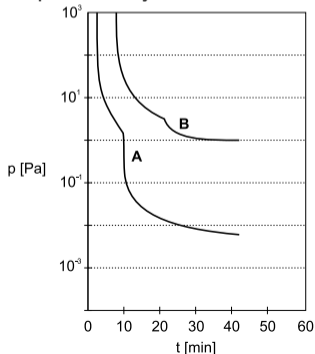
Kryosorpční (zeolitové) vývěvy



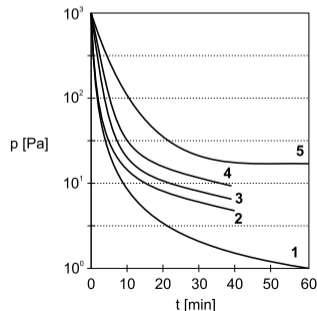
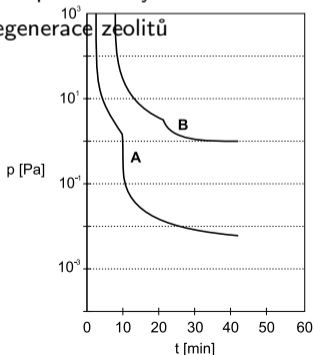
- Tlak plynu nad zeolitem závisí na absorbovaném množství plynu
- Čerpací vlastnosti se určují experimentálně
- A: 1. st.: předčerpání ROV, 2. st: čerpání zeolity



- Tlak plynu nad zeolitem závisí na absorbovaném množství plynu
- Čerpací vlastnosti se určují experimentálně
- A: 1. st.: předčerpání ROV, 2. st.: čerpání zeolity
- B: 1. a 2 st.: čerpání zeolity



- Tlak plynu nad zeolitem závisí na absorbovaném množství plynu
- Čerpací vlastnosti se určují experimentálně
- A: 1. st.: předčerpání ROV, 2. st.: čerpání zeolity
- B: 1. a 2 st.: čerpání zeolity
- Důležitá je regenerace zeolitů



- Vazba plynu na plochy (plášť vývěvy nebo speciální panely) na které byl kondenzací nebo naprášení nanesen čistý kov

- Vazba plynu na plochy (plášť vývěvy nebo speciální panely) na které byl kondenzací nebo naprášení nanesen čistý kov

TITAN

- ▶ Dobře váže obecné plyny s nimiž tvoří sloučeniny
- ▶ H_2O – disociace na H_2 a O , vznik TiO (vázaný na povrchu)
- ▶ H_2 – disociace a difuze do materiálu
- ▶ CO , O_2 , N_2 – vazba na povrch a vytvoření sloučeniny s Ti
- ▶ Špatně váže uhlovodíky
- ▶ Neváže inertní plyny a metan (CH_4)

- Vazba plynu na plochy (plášť vývěvy nebo speciální panely) na které byl kondenzací nebo naprášení nanosen čistý kov

TITAN

- ▶ Dobře váže obecné plyny s nimiž tvoří sloučeniny
 - ▶ H_2O – disociace na H_2 a O , vznik TiO (vázaný na povrchu)
 - ▶ H_2 – disociace a difuze do materiálu
 - ▶ CO , O_2 , N_2 – vazba na povrch a vytvoření sloučeniny s Ti
 - ▶ Špatně váže uhlovodíky
 - ▶ Neváže inertní plyny a metan (CH_4)
- Ideální začínat čerpat od 10^{-3} Pa

- Vazba plynu na plochy (plášť vývěvy nebo speciální panely) na které byl kondenzací nebo naprášení nanesen čistý kov

TITAN

- ▶ Dobře váže obecné plyny s nimiž tvoří sloučeniny
 - ▶ H_2O – disociace na H_2 a O , vznik TiO (vázaný na povrchu)
 - ▶ H_2 – disociace a difuze do materiálu
 - ▶ CO , O_2 , N_2 – vazba na povrch a vytvoření sloučeniny s Ti
 - ▶ Špatně váže uhlovodíky
 - ▶ Neváže inertní plyny a metan (CH_4)
- Ideální začínat čerpat od 10^{-3} Pa
 - Specifická čerpací rychlost Ti povrchu je přímo úměrná:
 - ▶ Hustotě toku dopadajících molekul
 - ▶ Pravděpodobnosti ulpění γ (závisí na teplotě)

- Vazba plynu na plochy (plášť vývěvy nebo speciální panely) na které byl kondenzací nebo naprášení nanesen čistý kov

TITAN

- ▶ Dobře váže obecné plyny s nimiž tvoří sloučeniny
 - ▶ H_2O – disociace na H_2 a O , vznik TiO (vázaný na povrchu)
 - ▶ H_2 – disociace a difuze do materiálu
 - ▶ CO , O_2 , N_2 – vazba na povrch a vytvoření sloučeniny s Ti
 - ▶ Špatně váže uhlovodíky
 - ▶ Neváže inertní plyny a metan (CH_4)
- Ideální začínat čerpat od 10^{-3} Pa
 - Specifická čerpací rychlost Ti povrchu je přímo úměrná:
 - ▶ Hustotě toku dopadajících molekul
 - ▶ Pravděpodobnosti ulpění γ (závisí na teplotě)

- Vazba plynu na plochy (plášť vývěvy nebo speciální panely) na které byl kondenzací nebo naprášení nanesen čistý kov

TITAN

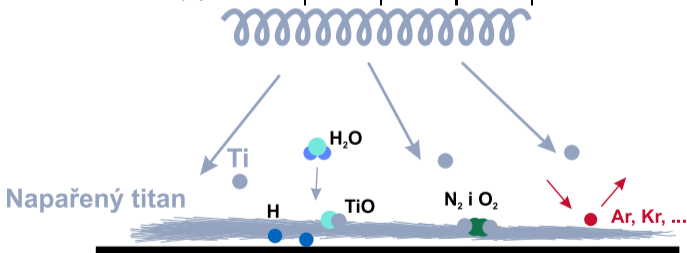
- ▶ Dobře váže obecné plyny s nimiž tvoří sloučeniny
 - ▶ H_2O – disociace na H_2 a O , vznik TiO (vázaný na povrchu)
 - ▶ H_2 – disociace a difuze do materiálu
 - ▶ CO , O_2 , N_2 – vazba na povrch a vytvoření sloučeniny s Ti
 - ▶ Špatně váže uhlovodíky
 - ▶ Neváže inertní plyny a metan (CH_4)
- Ideální začínat čerpat od 10^{-3} Pa
 - Specifická čerpací rychlost Ti povrchu je přímo úměrná:
 - ▶ Hustotě toku dopadajících molekul
 - ▶ Pravděpodobnosti ulpění γ (závisí na teplotě)

plyn	CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Inert.
při 300 K	6	5	3	3	2,5	1,5	0
při 77 K	11	10	6	15	6	6	0

Specifické čerpací rychlost pro různé plyny

Koeficient ulpění γ za podmínky nízkého toku dopadajících molekul:

plyny	N ₂	H ₂	CO	CO ₂
γ při 283 K	0,2	0,07	0,86	>0,5
γ při 77 K	0,55	0,14	–	–



Povrch pro napaření titanu

- Sorpce plynů na čerstvém kovovém povrchu (Ti)

- Sorpce plynů na čerstvém kovovém povrchu (Ti)
- Zesílení interakce plynu s povrchem – ionizace

- Sorpce plynů na čerstvém kovovém povrchu (Ti)
- Zesílení interakce plynu s povrchem – ionizace
- Zastřelování – implementace molekul plynu do povrchu

- Sorpce plynů na čerstvém kovovém povrchu (Ti)
- Zesílení interakce plynu s povrchem – ionizace
- Zastřelování – implementace molekul plynu do povrchu
- Překrytí vrstvy čerpaného plynu vrstvou kovu

- Sorpce plynů na čerstvém kovovém povrchu (Ti)
- Zesílení interakce plynu s povrchem – ionizace
- Zastřelování – implementace molekul plynu do povrchu
- Překrytí vrstvy čerpaného plynu vrstvou kovu
- Možné chlazení čerpané plochy \Rightarrow zvýšení sorpce

- Sorpce plynů na čerstvém kovovém povrchu (Ti)
- Zesílení interakce plynu s povrchem – ionizace
- Zastřelování – implementace molekul plynu do povrchu
- Překrytí vrstvy čerpaného plynu vrstvou kovu
- Možné chlazení čerpané plochy \Rightarrow zvýšení sorpce

IONTOVÉ VÝVĚVY

- se žhavou katodou
 - ▶ Triodový vakuometr částečně čerpá
 - ▶ Iontosorpční vývěva s radiálním elektrostatickým polem (Orbitron)

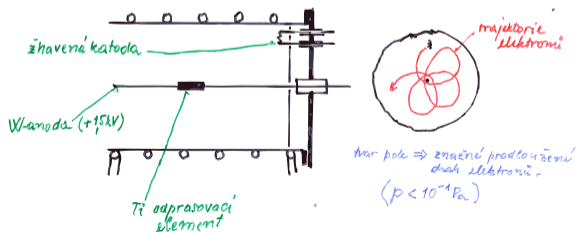
- Sorpce plynů na čerstvém kovovém povrchu (Ti)
- Zesílení interakce plynu s povrchem – ionizace
- Zastřelování – implementace molekul plynu do povrchu
- Překrytí vrstvy čerpaného plynu vrstvou kovu
- Možné chlazení čerpané plochy \Rightarrow zvýšení sorpce

IONTOVÉ VÝVĚVY

- se žhavou katodou
 - ▶ Triodový vakuometr částečně čerpá
 - ▶ Iontosorpční vývěva s radiálním elektrostatickým polem (Orbitron)
- se studenou katodou

Elektrony ionizují plyn

- Ionty jsou přitahovány ke stěně (zabudování)

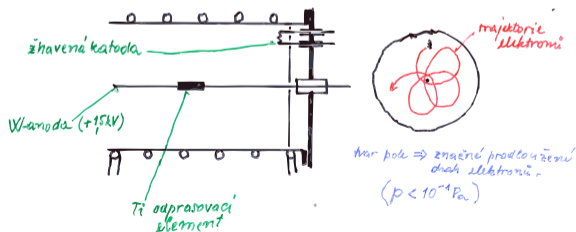


Elektrony ionizují plyn

- Ionty jsou přitahovány ke stěně (zabudování)

Část elektronů dopadá na Ti odpařovací element a ohřívá jej

- Sublimace titanu \Rightarrow napařování na chladnou stěnu a sorbce plyn



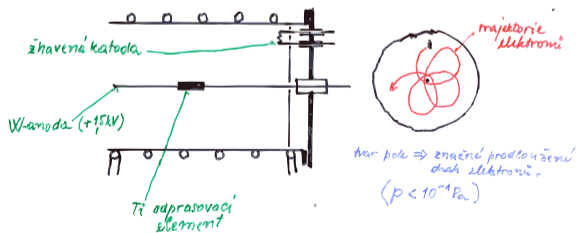
Elektrony ionizují plyn

- Ionty jsou přitahovány ke stěně (zabudování)

Část elektronů dopadá na Ti odpařovací element a ohřívá jej

- Sublimace titanu \Rightarrow napařování na chladnou stěnu a sorbce plyn

Čerstvě napařený titan překrývá povrch s absorbovaným plynem



Elektrony ionizují plyn

- Ionty jsou přitahovány ke stěně (zabudování)

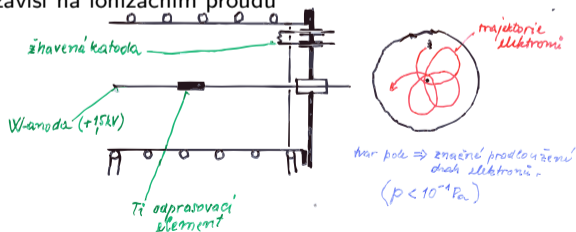
Část elektronů dopadá na Ti odpařovací element a ohřívá jej

- Sublimace titanu \Rightarrow napařování na chladnou stěnu a sorbce plyn

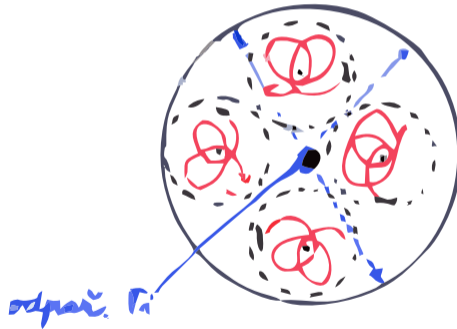
Čerstvě napařený titan překrývá povrch s absorbovaným plynem

Titan může být odpařován i ohřevem průchodu proudem

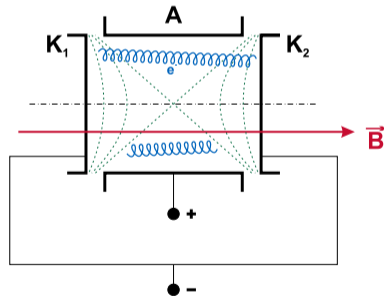
Napařování pak nezávisí na ionizačním proudu



Kombinace vypařovacího elementu se strukturami s radiálním polem
Vytvoří se větší čerpací plocha



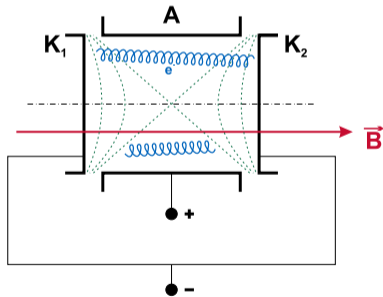
- Pohyb elektronu
 - ▶ Bez srážek po šroubovici
 - ▶ Osciluje mezi katodami



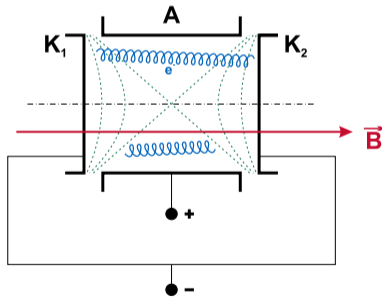
Sorpční vývěvy

Iontové vývěvy – se studenou katodou

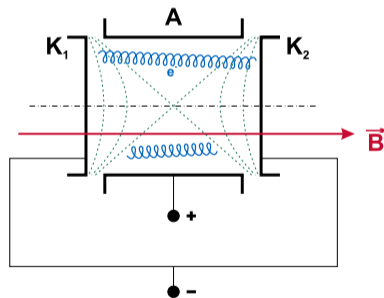
- Pohyb elektronu
 - ▶ Bez srážek po šroubovici
 - ▶ Osciluje mezi katodami
- Napětí katoda-anoda $U_{K-A} \approx 5 - 7 \text{ kV}$



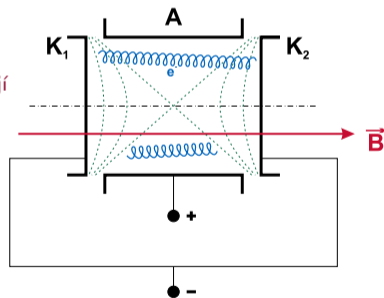
- Pohyb elektronu
 - ▶ Bez srážek po šroubovici
 - ▶ Osciluje mezi katodami
- Napětí katoda-anoda $U_{K-A} \approx 5 - 7$ kV
- Transport k anodě přes srážky s molekulami plynu



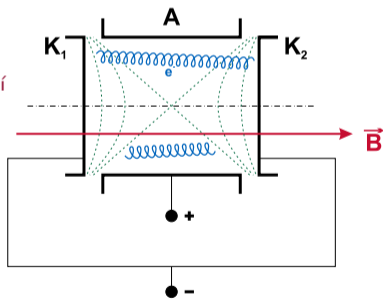
- Pohyb elektronu
 - ▶ Bez srážek po šroubovici
 - ▶ Osciluje mezi katodami
- Napětí katoda-anoda $U_{K-A} \approx 5 - 7$ kV
- Transport k anodě přes srážky s molekulami plynu
- Intenzivní ionizace plynu – vznik iontů



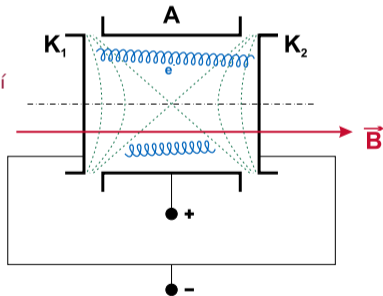
- Pohyb elektronu
 - ▶ Bez srážek po šroubovici
 - ▶ Osciluje mezi katodami
- Napětí katoda-anoda $U_{K-A} \approx 5 - 7$ kV
- Transport k anodě přes srážky s molekulami plynu
- Intenzivní ionizace plynu – vznik iontů
- Vzniklé ionty:
 - ▶ Urychlovány ke katodám jejichž povrch rozprašují
 - ▶ Sami se implantují



- Pohyb elektronu
 - ▶ Bez srážek po šroubovici
 - ▶ Osciluje mezi katodami
- Napětí katoda-anoda $U_{K-A} \approx 5 - 7$ kV
- Transport k anodě přes srážky s molekulami plynu
- Intenzivní ionizace plynu – vznik iontů
- Vzniklé ionty:
 - ▶ Urychlovány ke katodám jejichž povrch rozprašují
 - ▶ Sami se implantují
- Titanové katody

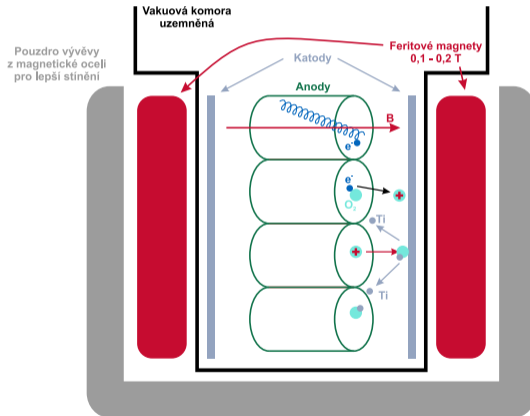


- Pohyb elektronu
 - ▶ Bez srážek po šroubovici
 - ▶ Osciluje mezi katodami
- Napětí katoda-anoda $U_{K-A} \approx 5 - 7$ kV
- Transport k anodě přes srážky s molekulami plynu
- Intenzivní ionizace plynu – vznik iontů
- Vzniklé ionty:
 - ▶ Urychlovány ke katodám jejichž povrch rozprašují
 - ▶ Sami se implantují
- Titanové katody
- Odprášený materiál se usazuje na anodě



Sorpční vývěvy

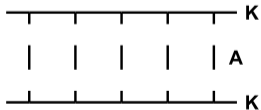
Iontové vývěvy – se studenou katodou



Sorpční vývěvy

Iontové vývěvy – se studenou katodou

- Magnetické pole desetiny T

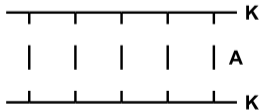


Sorpční vývěvy

Iontové vývěvy – se studenou katodou



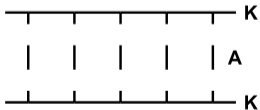
- Magnetické pole desetiny T
- Čerpací rychlosti $10 - 10^3$ l/s obecné plyny



Sorpční vývěvy

Iontové vývěvy – se studenou katodou

- Magnetické pole desítky T
- Čerpací rychlosti $10 - 10^3$ l/s obecné plyny
- Inertní plyny nejsou čerpány vůbec nebo špatně



- Magnetické pole desetin T
- Čerpací rychlosti $10 - 10^3$ l/s obecné plyny
- Inertní plyny nejsou čerpány vůbec nebo špatně
- Po čase dojde k uvolňování na implantovaných atomů z katod
 - ▶ Lze zlepšit žebrováním katod
 - ▶ Šikmé bombardování \Rightarrow větší odprašování
 - ▶ Překrytí adsorbované vrstvy plynu Ti



IONTOVÉ I SUBLIMAČNÍ VÝVĚVY

- Vazba plynu na čerstvě naprášený titan
- Další vrstva titanu překryje vázané molekuly
- Po čase nutná výměna katod – uvolňování plynu
- Životnost cca 50.000 hodin @ 10^{-3} Pa

- Aktivní materiál schopen adsorbovat a chemicky vázat molekuly plynu

- Aktivní materiál schopen adsorbovat a chemicky vázat molekuly plynu
- Akumulace plynu v důsledku:
 - ▶ Adsorpce – hromadění plynu na povrchu
 - ▶ Absorpce – chemisorpce – nevratná změna

- Aktivní materiál schopen adsorbovat a chemicky vázat molekuly plynu
- Akumulace plynu v důsledku:
 - ▶ Adsorpce – hromadění plynu na povrchu
 - ▶ Absorpce – chemisorpce – nevratná změna
- Oba procesy probíhají současně \Rightarrow těžko určit, který převládá

- Aktivní materiál schopen adsorbovat a chemicky vázat molekuly plynu
- Akumulace plynu v důsledku:
 - ▶ Adsorpce – hromadění plynu na povrchu
 - ▶ Absorpce – chemisorpce – nevratná změna
- Oba procesy probíhají současně \Rightarrow těžko určit, který převládá
- Getry dělíme na:
 - ▶ Vypařované – titanová sublimační vývěva
 - ▶ Nevypařované – aktivace ohřevem, slitiny kovů

- Aktivní materiál schopen adsorbovat a chemicky vázat molekuly plynu
- Akumulace plynu v důsledku:
 - ▶ Adsorpce – hromadění plynu na povrchu
 - ▶ Absorpce – chemisorpce – nevratná změna
- Oba procesy probíhají současně \Rightarrow těžko určit, který převládá
- Getry dělíme na:
 - ▶ Vypařované – titanová sublimační vývěva
 - ▶ Nevypařované – aktivace ohřevem, slitiny kovů
- Malá čerpací kapacita \Rightarrow typické vývěvy do vysokého vakua

- Aktivní materiál schopen adsorbovat a chemicky vázat molekuly plynu
- Akumulace plynu v důsledku:
 - ▶ Adsorpce – hromadění plynu na povrchu
 - ▶ Absorpce – chemisorpce – nevratná změna
- Oba procesy probíhají současně \Rightarrow těžko určit, který převládá
- Getry dělíme na:
 - ▶ Vypařované – titanová sublimační vývěva
 - ▶ Nevypařované – aktivace ohřevem, slitiny kovů
- Malá čerpací kapacita \Rightarrow typické vývěvy do vysokého vakua
- Nečerpají vzácné plyny

- Aktivní materiál schopen adsorbovat a chemicky vázat molekuly plynu
- Akumulace plynu v důsledku:
 - ▶ Adsorpce – hromadění plynu na povrchu
 - ▶ Absorpce – chemisorpce – nevratná změna
- Oba procesy probíhají současně \Rightarrow těžko určit, který převládá
- Getry dělíme na:
 - ▶ Vypařované – titanová sublimační vývěva
 - ▶ Nevypařované – aktivace ohřevem, slitiny kovů
- Malá čerpací kapacita \Rightarrow typické vývěvy do vysokého vakua
- Nečerpají vzácné plyny
- V kombinaci s "čistými" primárními vývěvami lze dosáhnout nekontaminovaného vakua

- Aktivní materiál schopen adsorbovat a chemicky vázat molekuly plynu
- Akumulace plynu v důsledku:
 - ▶ Adsorpce – hromadění plynu na povrchu
 - ▶ Absorpce – chemisorpce – nevratná změna
- Oba procesy probíhají současně \Rightarrow těžko určit, který převládá
- Getry dělíme na:
 - ▶ Vypařované – titanová sublimační vývěva
 - ▶ Nevypařované – aktivace ohřevem, slitiny kovů
- Malá čerpací kapacita \Rightarrow typické vývěvy do vysokého vakua
- Nečerpají vzácné plyny
- V kombinaci s "čistými" primárními vývěvami lze dosáhnout nekontaminovaného vakua
- Sorpční rychlost klesá s množstvím sorbovaného plynu

- Depozice tenké vrstvy sublimací z kompaktního zdroje

- Depozice tenké vrstvy sublimací z kompaktního zdroje
- Typicky pro čerpání malých objemů, které se minimálně zavzdušňují
 - ▶ Elektronky, sodíkové výbojky, vysílací elektronky

- Depozice tenké vrstvy sublimací z kompaktního zdroje
- Typicky pro čerpání malých objemů, které se minimálně zavzdušňují
 - ▶ Elektronky, sodíkové výbojky, vysílací elektronky
- Aktivní materiál je barium nebo titan

- Depozice tenké vrstvy sublimací z kompaktního zdroje
- Typicky pro čerpání malých objemů, které se minimálně zavzdušňují
 - ▶ Elektronky, sodíkové výbojky, vysílací elektronky
- Aktivní materiál je barium nebo titan
- Barium je velmi reaktivní \Rightarrow nehodí se pro často zavzdušňované systémy

- Depozice tenké vrstvy sublimací z kompaktního zdroje
- Typicky pro čerpání malých objemů, které se minimálně zavzdušňují
 - ▶ Elektronky, sodíkové výbojky, vysílací elektronky
- Aktivní materiál je barium nebo titan
- Barium je velmi reaktivní \Rightarrow nehodí se pro často zavzdušňované systémy
- V takových případech se využívá Ti sublimační vývěva

Sorpční vývěvy

Nevypařované getry (NEGy)



- Obecně se jedná o 2, 3 a více-složkové slitiny
 - ▶ Ti, Zr, Al, V, Ni, Fe
 - ▶ V různých poměrech

Sorpční vývěvy

Nevypařované getry (NEGy)



- Obecně se jedná o 2, 3 a více-složkové slitiny
 - ▶ Ti, Zr, Al, V, Ni, Fe
 - ▶ V různých poměrech
- Základní aplikace je dočerpávání vakuových systémů

- Obecně se jedná o 2, 3 a více-složkové slitiny
 - ▶ Ti, Zr, Al, V, Ni, Fe
 - ▶ V různých poměrech
- Základní aplikace je dočerpávání vakuových systémů
- Možné řešení jak dosáhnout extrémních vakuových podmínek ve složitých systémech

- Obecně se jedná o 2, 3 a více-složkové slitiny
 - ▶ Ti, Zr, Al, V, Ni, Fe
 - ▶ V různých poměrech
- Základní aplikace je dočerpávání vakuových systémů
- Možné řešení jak dosáhnout extrémních vakuových podmínek ve složitých systémech
- Jedná se o urychlovače a synchrotrony

- Obecně se jedná o 2, 3 a více-složkové slitiny
 - ▶ Ti, Zr, Al, V, Ni, Fe
 - ▶ V různých poměrech
- Základní aplikace je dočerpávání vakuových systémů
- Možné řešení jak dosáhnout extrémních vakuových podmínek ve složitých systémech
- Jedná se o urychlovače a synchrotrony
- Problém LEP (Large Electron Proton) a LHC v CERNu
 - ▶ Vznik gradientu tlaku mezi stanicemi vývěv
 - ▶ U LEP byl přidán pásek getru pro dosažení lepšího vakua

- Obecně se jedná o 2, 3 a více-složkové slitiny
 - ▶ Ti, Zr, Al, V, Ni, Fe
 - ▶ V různých poměrech
- Základní aplikace je dočerpávání vakuových systémů
- Možné řešení jak dosáhnout extrémních vakuových podmínek ve složitých systémech
- Jedná se o urychlovače a synchrotrony
- Problém LEP (Large Electron Proton) a LHC v CERNu
 - ▶ Vznik gradientu tlaku mezi stanicemi vývěv
 - ▶ U LEP byl přidán pásek getru pro dosažení lepšího vakua
- Menší rozměry trubic vedou k myšlence celoplošného čerpání
 - ▶ Vysoce efektivní čerpání
 - ▶ Snížení vlivu desorpce ze stěn trubice
 - ▶ Snížení vlivu difuze plynu skrze stěny

- Obecně se jedná o 2, 3 a více-složkové slitiny
 - ▶ Ti, Zr, Al, V, Ni, Fe
 - ▶ V různých poměrech
- Základní aplikace je dočerpávání vakuových systémů
- Možné řešení jak dosáhnout extrémních vakuových podmínek ve složitých systémech
- Jedná se o urychlovače a synchrotrony
- Problém LEP (Large Electron Proton) a LHC v CERNu
 - ▶ Vznik gradientu tlaku mezi stanicemi vývěv
 - ▶ U LEP byl přidán pásek getru pro dosažení lepšího vakua
- Menší rozměry trubic vedou k myšlence celoplošného čerpání
 - ▶ Vysoce efektivní čerpání
 - ▶ Snížení vlivu desorpce ze stěn trubice
 - ▶ Snížení vlivu difuze plynu skrze stěny
- Vyvinut getr na bázi slitiny Ti, Zr, V

- Getr na bázi TiZrV je využit ve vysokoteplotních částech LHC

- Getr na bázi TiZrV je využit ve vysokoteplotních částech LHC
- Aktivační teplota 200° C

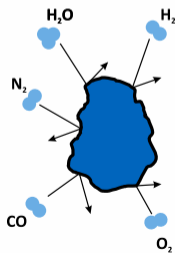
- Getr na bázi TiZrV je využit ve vysokoteplotních částech LHC
- Aktivační teplota 200° C
- Složení getrů závisí fázovém diagramu

- Getr na bázi TiZrV je využit ve vysokoteplotních částech LHC
- Aktivační teplota 200° C
- Složení getrů závisí fázovém diagramu
- Kvantitativně popisujeme getry:
 - ▶ Sorpční rychlostí – počet molekul plynu zachycených jednotku času
 - ▶ Kapacita getru – počet molekul zachycených getrem do jeho nasycení

- Povrch getru je pokryt pasivační vrstvou



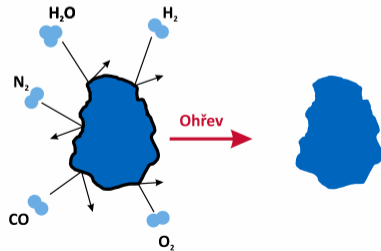
- Povrch getru je pokryt pasivační vrstvou



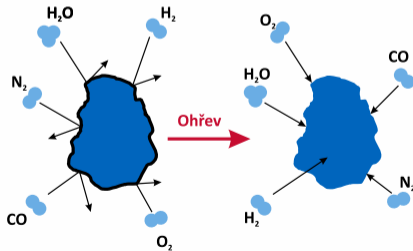
Sorpční vývěvy

Nevypařované getry – parametry

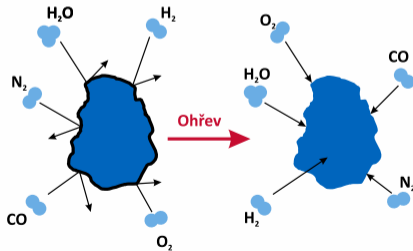
- Povrch getru je pokryt pasivační vrstvou
- Ta je odstraněna zahřátím



- Povrch getru je pokryt pasivační vrstvou
- Ta je odstraněna zahřátím
- S rostoucím počtem aktivací dochází ke stárnutí getru
- Počet čerpání je omezen



- Povrch getru je pokryt pasivační vrstvou
- Ta je odstraněna zahřátím
- S rostoucím počtem aktivací dochází ke stárnutí getru
- Počet čerpání je omezen
- Při saturaci getru vodíkem dojde k regeneraci (neomezený počet)



- Výroba magnetronovým naprašováním

- Výroba magnetronovým naprašováním
- Získávání čistého vakua bez uhlovodíků

- Výroba magnetronovým naprašováním
- Získávání čistého vakua bez uhlovodíků
- Cesta pro XHV a jeho aplikace v širokém měřítku

- Výroba magnetronovým naprašováním
- Získávání čistého vakua bez uhlovodíků
- Cesta pro XHV a jeho aplikace v širokém měřítku
- Nečerpají vzácné plyny

- Výroba magnetronovým naprašováním
- Získávání čistého vakua bez uhlovodíků
- Cesta pro XHV a jeho aplikace v širokém měřítku
- Nečerpají vzácné plyny
- Použití getrů je vhodné:
 - ▶ V uzavřených systémech s nepříliš častou expozicí vzduchu
 - ▶ V systémech s malým průřezem a různých tvarů

- Výroba magnetronovým naprašováním
- Získávání čistého vakua bez uhlovodíků
- Cesta pro XHV a jeho aplikace v širokém měřítku
- Nečerpají vzácné plyny
- Použití getrů je vhodné:
 - ▶ V uzavřených systémech s nepříliš častou expozicí vzduchu
 - ▶ V systémech s malým průřezem a různých tvarů
- Kombinace s TMV nebo iontovými vývěvami

- Výroba magnetronovým naprašováním
- Získávání čistého vakua bez uhlovodíků
- Cesta pro XHV a jeho aplikace v širokém měřítku
- Nečerpají vzácné plyny
- Použití getrů je vhodné:
 - ▶ V uzavřených systémech s nepříliš častou expozicí vzduchu
 - ▶ V systémech s malým průřezem a různých tvarů
- Kombinace s TMV nebo iontovými vývěvami
- Mezní tlaky až 10^{-11} Pa

- Výroba magnetronovým naprašováním
- Získávání čistého vakua bez uhlovodíků
- Cesta pro XHV a jeho aplikace v širokém měřítku
- Nečerpají vzácné plyny
- Použití getrů je vhodné:
 - ▶ V uzavřených systémech s nepřilíš častou expozicí vzduchu
 - ▶ V systémech s malým průřezem a různých tvarů
- Kombinace s TMV nebo iontovými vývěvami
- Mezní tlaky až 10^{-11} Pa
- Využití getrů v:
 - ▶ Urychlovačích a synchrotronech
 - ▶ Autoemisních a plazmových displejích
 - ▶ Solárních kolektorech
 - ▶ Čištění plynů

- Výroba magnetronovým naprašováním
- Získávání čistého vakua bez uhlovodíků
- Cesta pro XHV a jeho aplikace v širokém měřítku
- Nečerpají vzácné plyny
- Použití getrů je vhodné:
 - ▶ V uzavřených systémech s nepřilíš častou expozicí vzduchu
 - ▶ V systémech s malým průřezem a různých tvarů
- Kombinace s TMV nebo iontovými vývěvami
- Mezní tlaky až 10^{-11} Pa
- Využití getrů v:
 - ▶ Urychlovačích a synchrotronech
 - ▶ Autoemisních a plazmových displejích
 - ▶ Solárních kolektorech
 - ▶ Čištění plynů
- V budoucnu možné využití v tokamacích

KRYOGENNÍ VÝVĚVY

- (+) Čisté vakuum, velká kapacita, vysoké čerpací rychlosti pro všechny plyny
- (-) Cena a údržba, nutná regenerace, uvolnění plynu při výpadku proudu, špatně čerpá H_2

KRYOGENNÍ VÝVĚVY

- (+) Čisté vakuum, velká kapacita, vysoké čerpací rychlosti pro všechny plyny
- (-) Cena a údržba, nutná regenerace, uvolnění plynu při výpadku proudu, špatně čerpá H_2

KRYOSORBČNÍ VÝVĚVY

- (+) Bez vibrací, cena (LN je levnější než LHe), není potřeba dodatečný zdroj proudu, pracují z atmosférického tlaku
- (-) Nečerpají vzácné plyny, nutná regenerace, pojišťovací ventil

KRYOGENNÍ VÝVĚVY

- (+) Čisté vakuum, velká kapacita, vysoké čerpací rychlosti pro všechny plyny
- (-) Cena a údržba, nutná regenerace, uvolnění plynu při výpadku proudu, špatně čerpá H_2

KRYOSORBČNÍ VÝVĚVY

- (+) Bez vibrací, cena (LN je levnější než LHe), není potřeba dodatečný zdroj proudu, pracují z atmosférického tlaku
- (-) Nečerpají vzácné plyny, nutná regenerace, pojišťovací ventil

SUBLIMAČNÍ VÝVĚVY

- (+) Bez vibrací, jednoduchá konstrukce, libovolná orientace
- (-) Potřeba vysokého napětí, nečerpá vzácné plyny

KRYOGENNÍ VÝVĚVY

- (+) Čisté vakuum, velká kapacita, vysoké čerpací rychlosti pro všechny plyny
- (-) Cena a údržba, nutná regenerace, uvolnění plynu při výpadku proudu, špatně čerpá H_2

KRYOSORBČNÍ VÝVĚVY

- (+) Bez vibrací, cena (LN je levnější než LHe), není potřeba dodatečný zdroj proudu, pracují z atmosférického tlaku
- (-) Nečerpají vzácné plyny, nutná regenerace, pojišťovací ventil

SUBLIMAČNÍ VÝVĚVY

- (+) Bez vibrací, jednoduchá konstrukce, libovolná orientace
- (-) Potřeba vysokého napětí, nečerpá vzácné plyny

IONTOVĚ SORPČNÍ VÝVĚVY

- (+) Čisté čerpání, bezúdržbové, nulové vibrace, dlouhá životnost, cena, proud vývěvou udává tlak, libovolná orientace
- (-) Objem a hmotnost, rozptylové magnetické pole, vysoké napětí, paměťový efekt pro vzácné plyny, start při nižších tlacích