

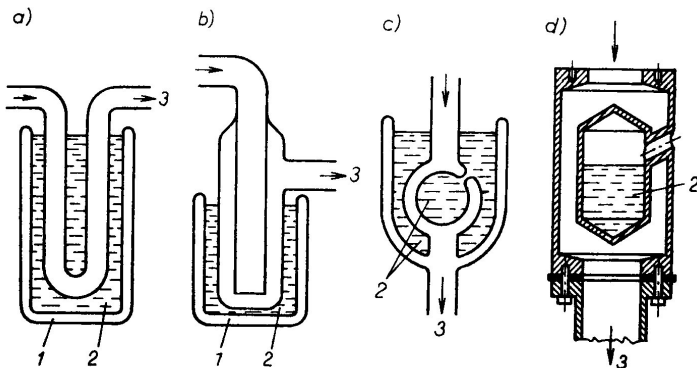
Aplikace fyziky nízkých teplot

- Vakuová fyzika
- Vědecké přístroje
- Biologie a medicína
- Supravodiče
- Raketová technika
- Doprava
- Ostatní aplikace

Vakuová fyzika

- Vymrazovačky
- Sorpční vývěvy

Vymrazovačky



1

¹J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

Sorpční vývěvy

- kryogenní
- zeolitové
- sublimační

princip: vázání plynů a par na povrch a v materiálech k tomu zvláště připravených

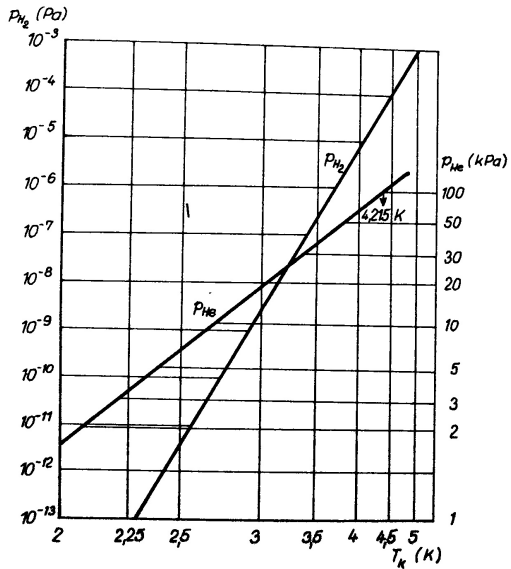
koeficient ulpění blízky jedné, doba pobytu co největší
plyn zůstává uvnitř vývěvy (čerpaného prostoru) ve vázaném stavu na sorbujícím povrchu, nebo ve vrstvách pod povrchem
čerpací rychlost je úměrná velikosti sorbujícího povrchu

Kryogenní (kryosorpční) vývěvy

Princip: adsorbování a kondenzace plynů a par
kryogenní vývěva - teplota < 30 K

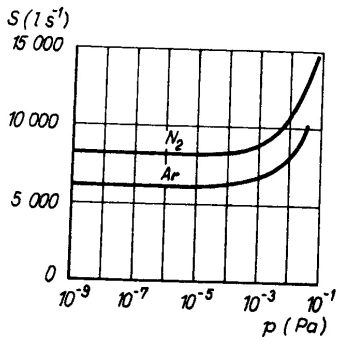
kapalný dusík (77 K) - vymrazovačka

Kryogenní vývěvy se zpravidla používají na získání ultravakua, uvádí se do činnosti až po získání nízkého vakua jiným typem vývěv (difuzní, turbomolekulární,...)

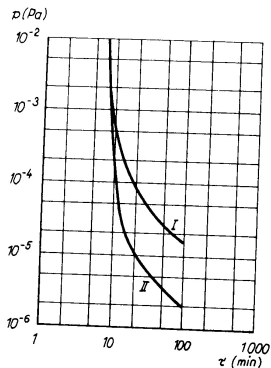


Tab. 4.11. Tlak některých plynů čerpaných kryogenními vývěvami nebo vymrazovačkami

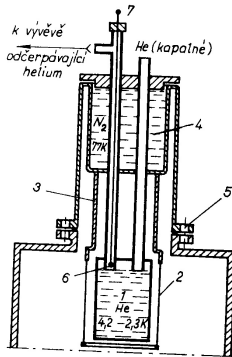
Čerpaný plyn	Bod varu (K)	Tlak plynu (Pa) čerpaného vývěvou chlazenou kapalným				tuhým
		He 4,2 K	H ₂ 20,4 K	Ne 27,2 K	N ₂ 77,3 K	CO ₂ 195 K
He	4,2	101 000	> 101 000	> 101 000	> 101 000	> 101 000
H ₂	20,4	$4,6 \cdot 10^{-5}$	101 000	> 101 000	> 101 000	> 101 000
Ne	27,2	—	60 000	101 000	> 101 000	> 101 000
N ₂	77,3	—	$3 \cdot 10^{-9}$	10^{-4}	101 000	> 101 000
CO	81,6	—	$5 \cdot 10^{-11}$	10^{-5}	68 000	> 101 000
Ar	87,3	—	$7 \cdot 10^{-11}$	10^{-5}	31 000	> 101 000
O ₂	90,2	—	$1,3 \cdot 10^{-11}$	10^{-6}	24 000	> 101 000
CH ₄	112	—	—	10^{-8}	10^3	> 101 000
Kr	121	—	—	—	133	> 101 000
NH ₃	140	—	—	—	10^3	> 101 000
Xe	165	—	—	—	10^{-1}	> 101 000
CO ₂	195	—	—	—	10^{-6}	101 000
H ₂ O	373	—	—	—	—	< 10^{-1}
Hg	630	—	—	—	—	< 10^{-6}



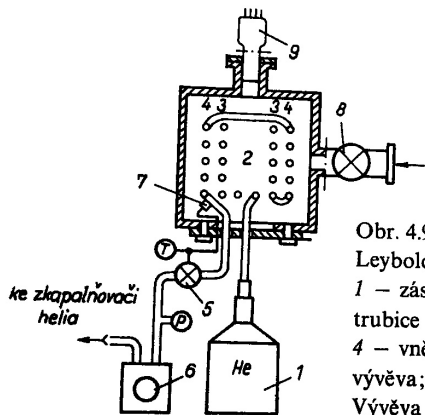
Obr. 4.89. Čerpací charakteristiky kryogenní vývěvy s plochou chlazené stěny $2\,000\text{ cm}^2$ při teplotě 15 K pro dusík a argon



Obr. 4.94. Pokles tlaku ve vakuovém systému při čerpání difúzní vývěvou (I) a čerpací soustavou skládající se z difúzní a kryogenní vývěvy (II)



Obr. 4.95. Heliem chlazená kryogenní vývěva se stíněním chlazeným dusíkem
 1 – zásobník kapalného helia; 2 – válec;
 3 – válcová spojovací součást s velkou tepelnou vodivostí; 4 – zásobník kapalného dusíku; 5 – příruba; 6 – detektor výšky hladiny helia; 7 – průchodka detektoru



Obr. 4.96. Heliem chlazená kryogenní vývěva (firma Leybold)
 1 – zásobník kapalného helia; 2 – dvojitá šroubovicová trubice chlazená kapalným heliém; 3 – vnitřní závit; 4 – vnější závit; 5, 8 – ventily; 6 – rotační olejová vývěva; 7 – termočlánek; 9 – ionizační vakuometry.
 Vývěva 6 čerpá páry kapalného helia a snižuje tak jeho teplotu

Moderní kryogenní vývěvy

- plynné He
- uzavřený okruh He
- nejnižší teploty 10 - 20 K
- není potřeba LN₂
- mezní tlak $< 10^{-11}$ hPa
- chlazení - Gifford-McMahon/Solvay cyklus,...

Gifford-McMahon

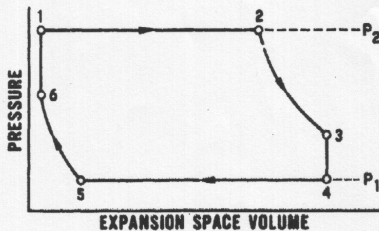
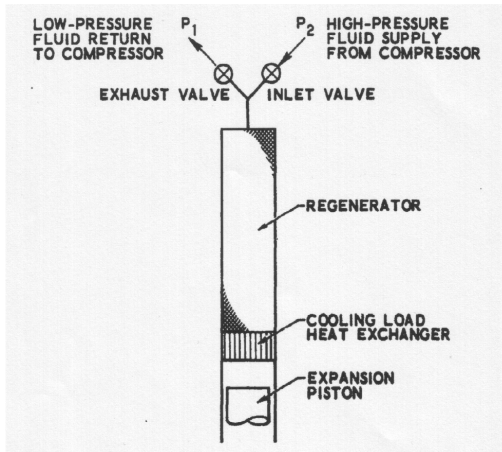
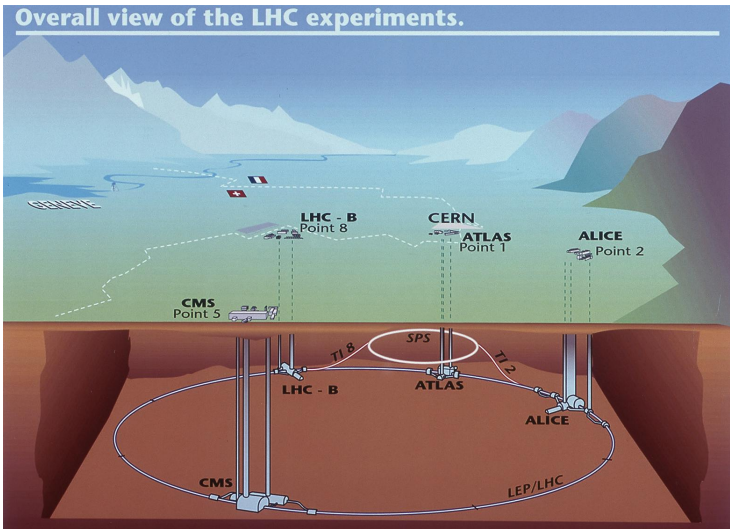


Fig. 2-7. Solvay Refrigeration Cycle

- kryokondenzace (většina plynů)
- kryosorpce (Ne, H₂, He)
- kryotrapping efekt (porézní vrstva kondenzovaného plynu)
- může pracovat od atmosférického tlaku
- chlazení typicky He
- získávání vysokého a extrémně vysokého vakua
- velká čerpací rychlost
- mezní tlak vývěvy je dán tenzí par čerpaného plynu při teplotě kondenzační stěny
- po určité době provozu nutná regenerace

LHC



8

<http://lhc.web.cern.ch/lhc/>

LHC

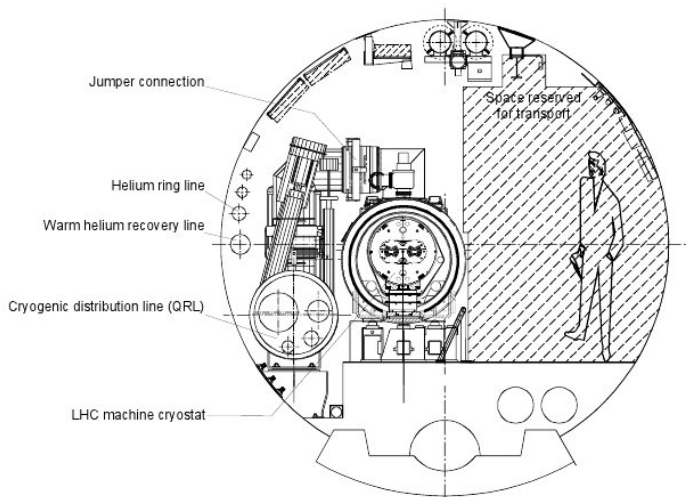
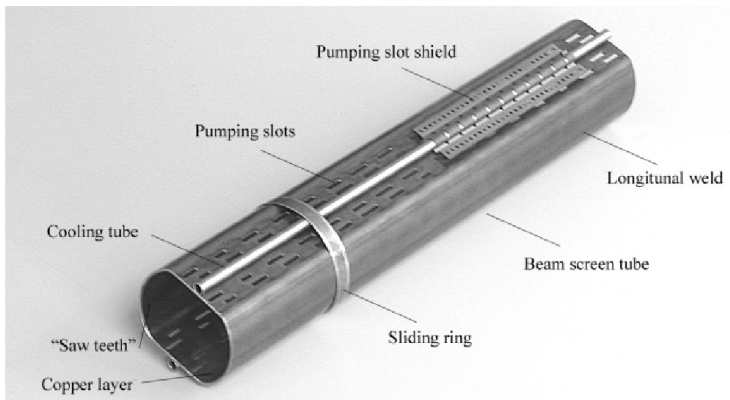


Figure 11.1: Transverse cross-section of the LHC tunnel

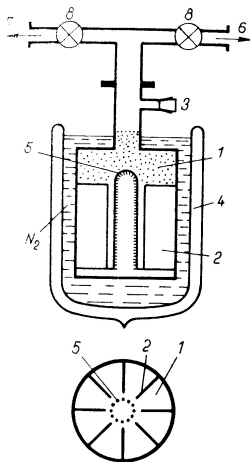
LHC



průměr asi 45 mm, 1 mm nerez ocel + $75\mu\text{m}$ Cu, 5-20 K,¹⁰

¹⁰<http://lhc.web.cern.ch/lhc/>

Zeolitové vývěvy



Obr. 4.108. Zeolitová vývěva

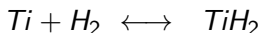
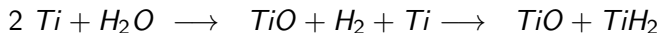
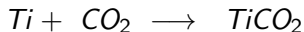
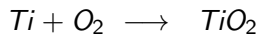
1 – zeolit; 2 – přepážky; 3 – přetlakový ventil; 4 – Dewarova nádoba; 5 – síťka; 6 – potrubí k rotační vývěvě; 7 – potrubí k vakuovému systému; 8 – ventily; 9 – hrdlo vývěvy z materiálu s malou tepelnou vodivostí (např. z nerezavějící oceli)

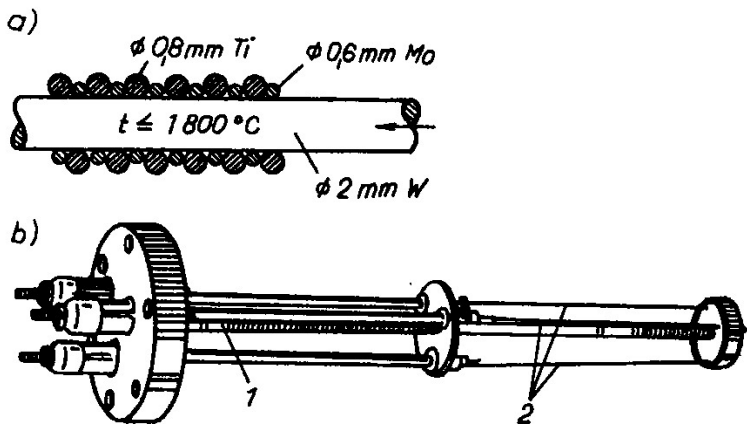
- dominantní proces je fyzisorpce
- dobře čerpá H_2O , N_2 , O_2 , uhlovodíky
- špatně čerpá Ne , He , H_2 , ...
- velký povrch, $1g \sim 1000 m^2$, pracuje od $\sim 10^5 Pa$
- dutiny a kanálky $\sim 1 nm$
- dá se regenerovat při vysoké teplotě
- zvětšení účinnosti snížením teploty zeolitu (tekutý dusík 77 K)
- žádné vibrace

Sublimační vývěvy

Princip - opakované vytváření povrchu čistého kovu (napařování, napařování,...), nejčastěji se používá Ti.

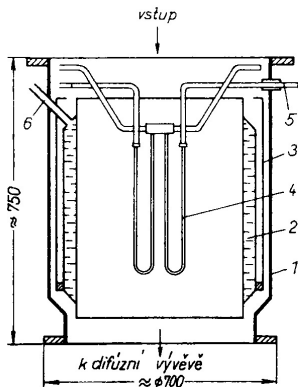
Teoreticky mohou pracovat od atmosférického tlaku, prakticky asi od $10^{-4} Pa$.





Teploty tání: Mo - 2623 °C, Ti - 1668 °C, W - 3422 °C ¹²

¹²J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



Obr. 4.122. Velká kryogenní sublimační vývěva s čerpací rychlostí $S_{\text{H}_2} = 150\,000\text{ l s}^{-1}$ (podle Prévota a Sledziewského, 1964)

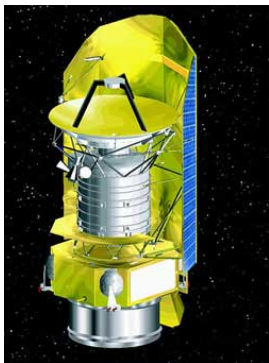
1 – plášť; 2 – chlazení kapalným dusíkem;
 3 – stínění pro tepelnou izolaci; 4 – zdroj par titanu; 5 – přívod proudu; 6 – otvor pro plnění dusíkem

- dominantní proces je chemisorpce
- dobře čerpá H_2 , H_2O , N_2 , CO , CO_2 , O_2
- nečerpá inertní plyny např. Ne , Ar , ...
- opakované vytváření čistého povrchu kovu, pracuje od $\sim 10^{-4} Pa$
- získávání vysokého a extrémně vysokého vakua
- zvětšení účinnosti snížením teploty pohlcujícího povrchu

Vědecké přístroje

- chlazení detektorů CCD pro OES
- chlazení detektorů pro infračervenou spektrometrii
- chlazení výkonových laserů - HILASE - 150 K - 30 m/s
- supravodivé magnety
- kryostaty

Herschel Space Observatory



14

- start 14.5.2009, raketou Ariane 5
- váha 3.3 t, umístění L2,
- primární zrcadlo má průměr 3.5 m
- 2300 l LHe, 1.4K
- předpokládaná životnost 3 roky
- 29.4.2013 - mise ukončena

Biologie a medicína

- dlouhodobé skladování virů a bakterií
- dlouhodobé skladování bio-preparátů
- dlouhodobé skladování semen
- kryoskalpel - chladící rychlost $1300\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$
- celotělová kryoterapie, $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, asi 3 minuty

- přenos energie - Holbrook Superconductor Project - 600 m, LN2 - 49 000 l
- supravodivé motory
- akumulace energie - stabilizace el.sítě
Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) - 1 MWh, testují se 20 MWh
- LHC - NbTi (9 K) - chlazen na 1.9 K, havárie 19.9.2008, při proudu 8.7 kA, provozní proud 9.3 kA, rekonstrukce 700 m, ztráta 6 t He, celkové množství asi 120 t

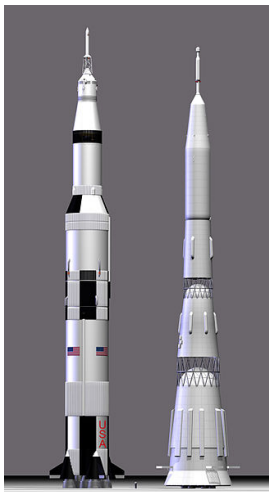
¹⁵<http://www.superconductors.org/>



16

¹⁶<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:CERN-cables-p1030764.jpg>

Raketová technika



okysličovadlo - LO_2 , 90 K

palivo u některých raket - LH_2 , 20 K

- vojenské rakety - V2 - LO_2 4910 kg, vyrobeno asi 5200 kusů;...
- civilní rakety - Saturn V, N1, Soyuz, ...

17

¹⁷<http://en.wikipedia.org/wiki/File:N1%2BSaturn5.jpg>

Doprava

- MAGLEV - první patent 1905
 - 2015 rychlostní rekord 603 km/h
 - délka tras - Japonsko 9 km, Čína 30 km, Jižní Korea 1 km
 - 5 tras ve výstavbě
- Vactrain
 - první zmínky 1910 - R.Goddard
 - Swissmetro - projekt zastaven
 - Transatlantic tunnel
 - StarTram
 - Hyperloop - max. 1300 km/h, 100 Pa, vzduchový polštář, 35 min - 570 km, projekt 2012 nepoužívá nízké teploty

MAGLEV



18

¹⁸<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:JR-Maglev-MLX01-2.jpg>

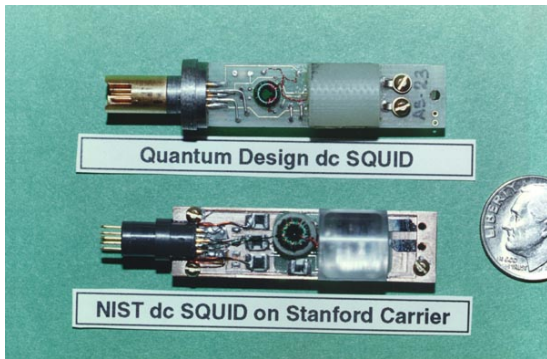
- doprava zemního plynu LNG, teplota $-160\text{ }^{\circ}\text{C} \doteq 113\text{ K}$ (CH_4),
počet zkapalňovacích stanic - 42
Evropa - 25 přístavů pro příjem,
typická délka cesty tankeru 20 dnů - odpar asi 2 - 6 %
- letadla - bezpilotní Boeing Phantom Eye - LH_2

Ostatní aplikace

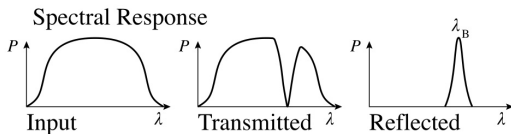
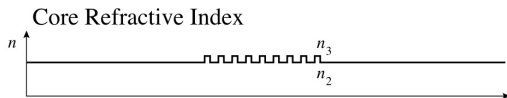
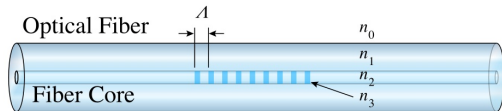
- skladování potravin
- při záplavách - záchrana knih a dokumentů
- čištění povrchů suchým ledem CO_2 ; $-78\text{ }^\circ\text{C}$
- detektory magnetického pole - SQUID
- výroba Braggovských mřížek - LH_2 , optické senzory, kompenzátory chromatické disperze
- kvantové počítače - supravodiče
- teleportace - Boseho-Einsteinův kondenzát - Rb, 170 nK
- získávání vody
- akumulace energie

SQUID

- Josephson jev - supravodič-izolátor-supravodič
- magnetometr 5×10^{-18} T, (mag. pole Země 25-65 μ T)

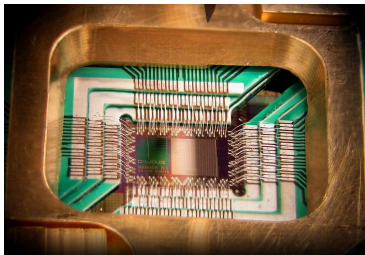


Braggovské mřížky



Kvantové počítače

- qubity
- 2011 - 128 qubitů
- 2013 - 512 qubitů
- supravodiče
- NSA - lámání šifer



D-Wave - 128 qubit ²¹

²¹en.wikipedia.org

Kvantová teleportace

- Boseho-Einsteinův kondenzát - Rb 170 nK, 2001 - Nobelova cena
- kvantové efekty na makroskopické úrovni
- atomy, fotony, ...
- změna kvantového stavu
- kvantová kryptografie, kvantové počítače

Získávání vody ze vzduchu

Princip - kondenzace

Zařízení firmy Aqua Sciencis - vírová trubice,

na výstupu teplota až $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$

4500 litrů denně



22

Vojenské aplikace

- chlazení infra detektorů
- rakety - LO_2
- AIP pohon pro ponorky - palivové články - Type 212,214,..
- magnetometry SQUID
- kvantové počítače