

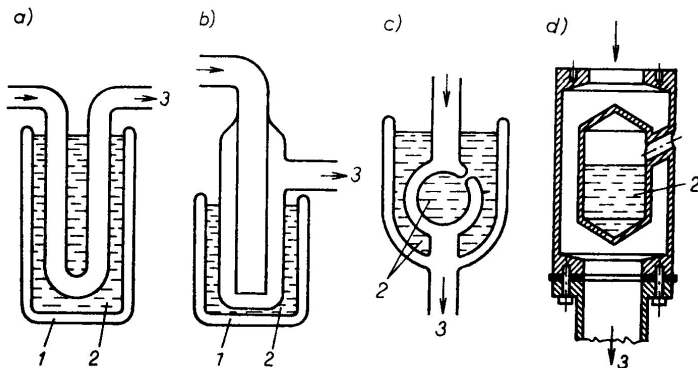
Aplikace fyziky nízkých teplot

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

Vakuová fyzika

- Vymrazovačky
- Sorpční vývěvy

Vymrazovačky



J. 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

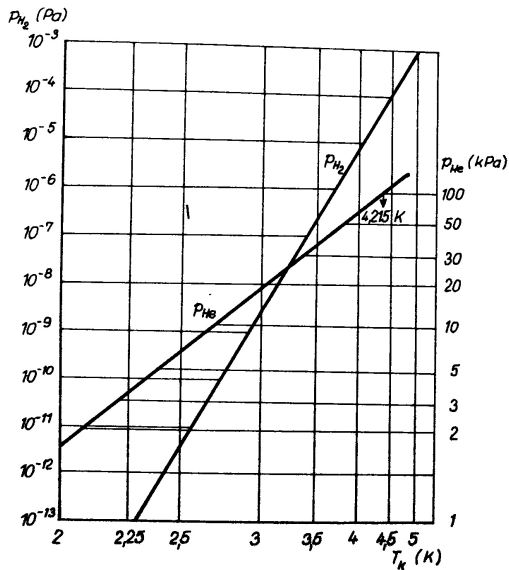
koeficient ulpění blízký jedné, doba pobytu co největší
plyn zůstává uvnitř vývěvy (čerpaného prostoru) ve vázaném stavu na sorbujícím povrchu, nebo ve vrstvách pod povrchem
čerpací rychlost je úměrná velikosti sorbujícího povrchu

Kryogenní (kryosorpční) vývěvy

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

kapalný dusík (77 K) - vymrazovačka

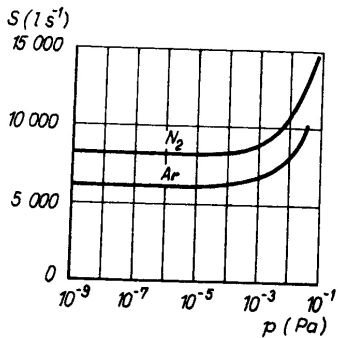
Kryogenní vývěvy se zpravidla používají na získání ultravakua, uvádí se do činnosti až po získání nízkého vakua jiným typem vývěv (difuzní, turbomolekulární,...)



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

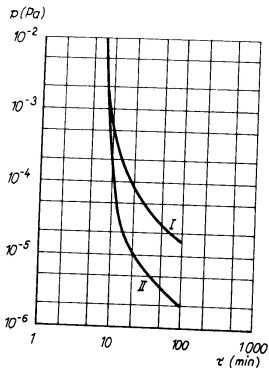
Tab. 4.11. Tlak některých plynů čerpaných kryogenními vývěvami nebo vymrazovačkami

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}

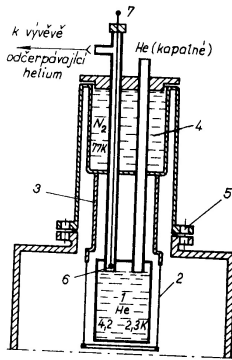


Obr. 4.89. Čerpací charakteristiky kryogenní vývěvy s plochou chlazené stěny $2\,000\text{ cm}^2$ při teplotě 15 K pro dusík a argon

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

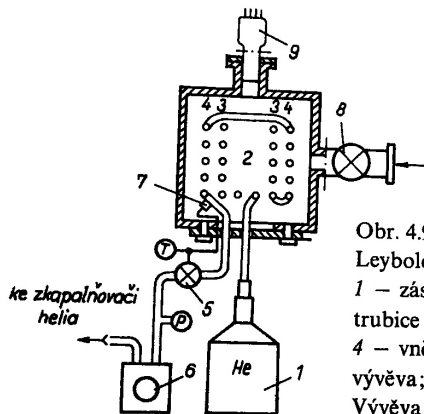


Obr. 4.94. Pokles tlaku ve vakuovém systému při čerpání difúzní vývěvou (I) a čerpací soustavou skládající se z difúzní a kryogenní vývěvy (II)



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 – příruby; 6 – detektor výšky hladiny helia; 7 – průchodka detektoru

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



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

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

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

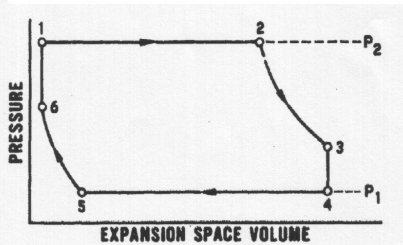
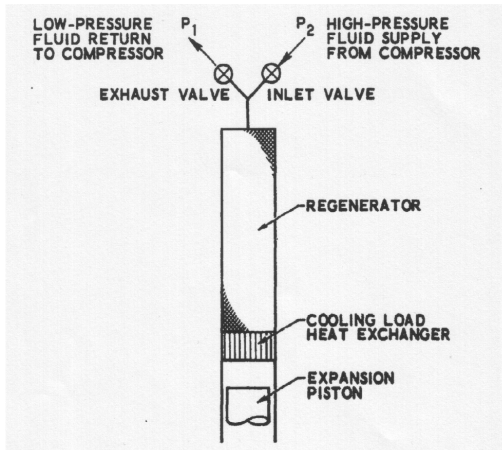
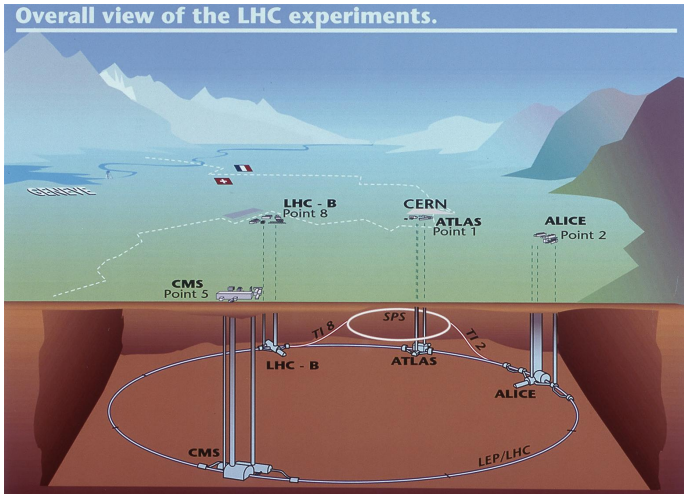


Fig. 2-7. Solvay Refrigeration Cycle

Survey of Cryogenic Cooling Techniques, Aerospace Corp. 1972

- 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

Vakuový systém urychlovače LHC



50 – 150 m pod zemí, délka 27 km

home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider

LHC

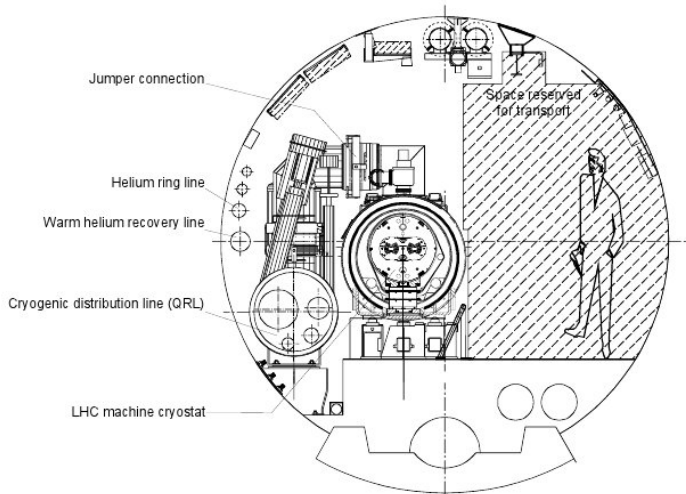
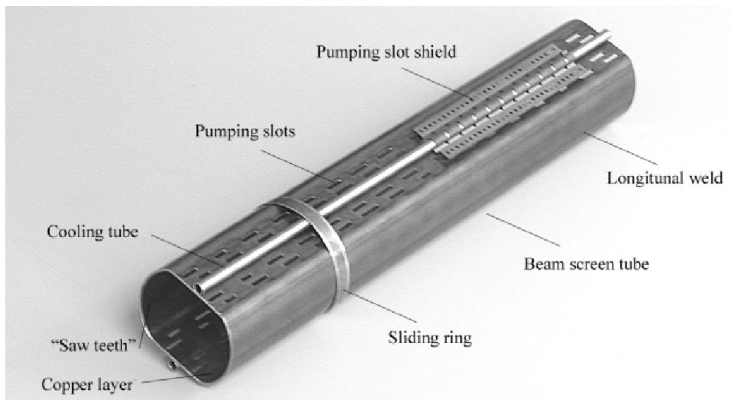


Figure 11.1: Transverse cross-section of the LHC tunnel

LHC

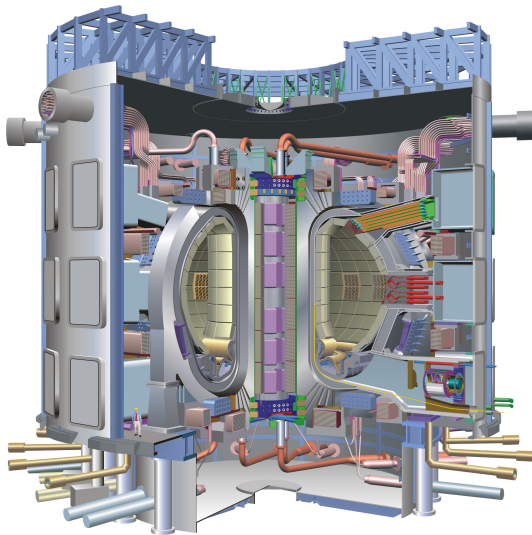


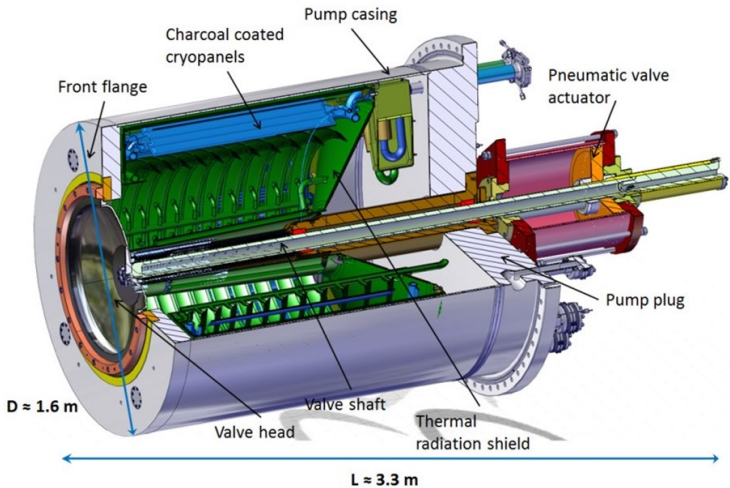
průměr asi 45 mm, 1 mm nerez ocel + $75 \mu\text{m}$ Cu, 5 – 20 K

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

ITER

plazma: 840 m³, vakuová komora: 1400 m³, celkem vakuum: 8500 m³



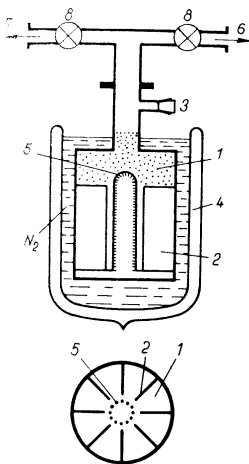


www.iter.org

ITER

- potřebný tlak $\sim 10^{-6}$ Pa,
- komora: 840 m³ plazma, objem 1400 m³ ,
kryostat, celkem ~ 8500 m³
- na komoře 6 kryo-vývěv (4,5 K), 4 čerpají,
2 regenerace - 10 min., 100 K
- na kryostatu a pom. zařízeních dalších 6 vývěv
- sorbent: aktivní uhlí, 20 let výzkum - kokosové ořechy,
Indonésie (2002)
- největší celokovový ventil
- první plazma 2025 ?, původní plán 2016

Zeolitové vývěvy

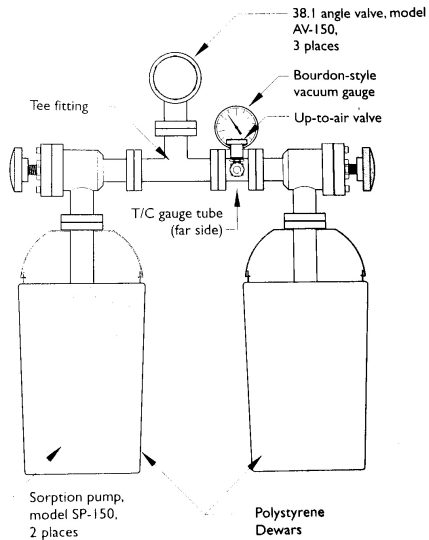


Obr. 4.108. Zeolitová vývěva

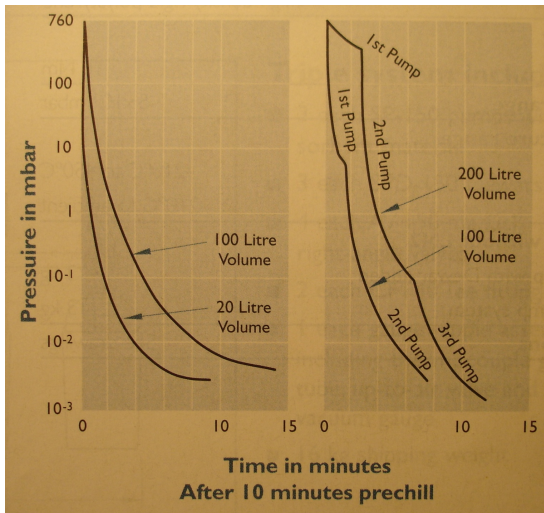
1 – zeolit; 2 – přepážky; 3 – přetlakový ventil; 4 – Dewarova nádoba; 5 – sífka; 6 – potrubí k rotační vývěvě; 7 – potrubí k vakuovému systému; 8 – ventily; 9 – hrdlo vývěvy z materiálu s malou tepelnou vodivostí (např. z nerezavějící oceli)

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

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



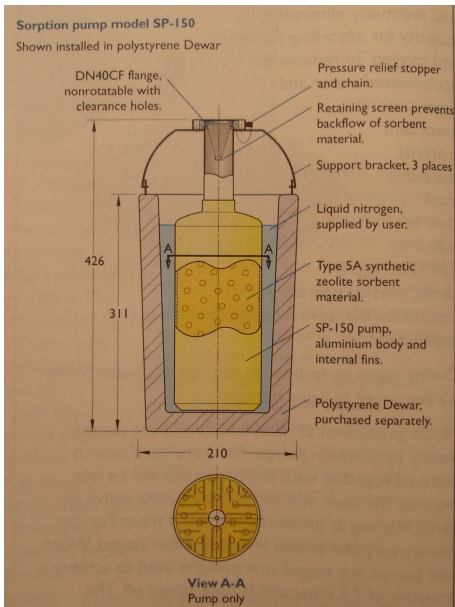
katalog firmy Caburn



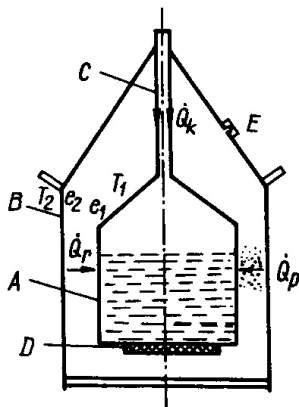
katalog firmy Caburn



katalog firmy Caburn



Tepelná izolace - Dewarova nádoba

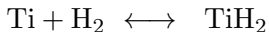
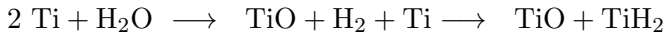
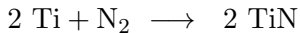
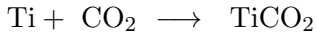
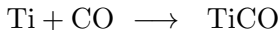
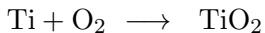


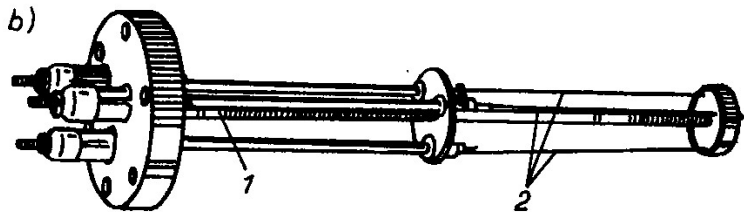
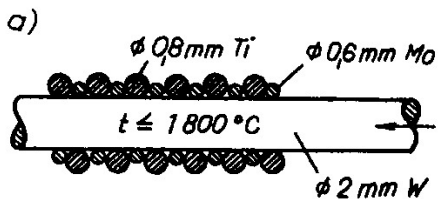
Obr. 67. Jednoduchá
Dewarova nádoba pro
přechovávání LN_2

Sublimační vývěvy

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

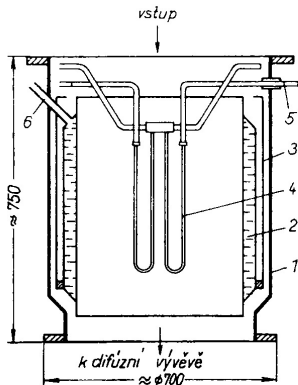
Teoreticky mohou pracovat od atmosférického tlaku, prakticky asi od 10^{-4} Pa.





Teploty tání: Mo: $2623 \text{ }^\circ\text{C}$, Ti: $1668 \text{ }^\circ\text{C}$, W: $3422 \text{ }^\circ\text{C}$

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



Obr. 4.122. Velká kryogenní sublimační vývěva s čerpací rychlostí $S_{H_2} = 150\,000\text{ l s}^{-1}$ (podle Prévota a Sledziowského, 1964)
 1 – plášť; 2 – chlazení kapalným dusíkem;
 3 – stínění pro tepelnou izolaci; 4 – zdroj par titanu; 5 – přívod proudu; 6 – otvor pro plnění dusíkem

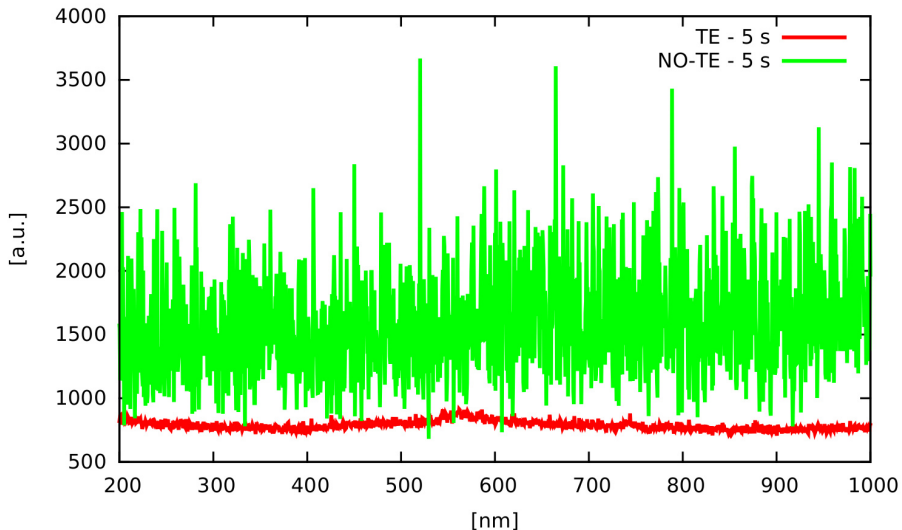
J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

- 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

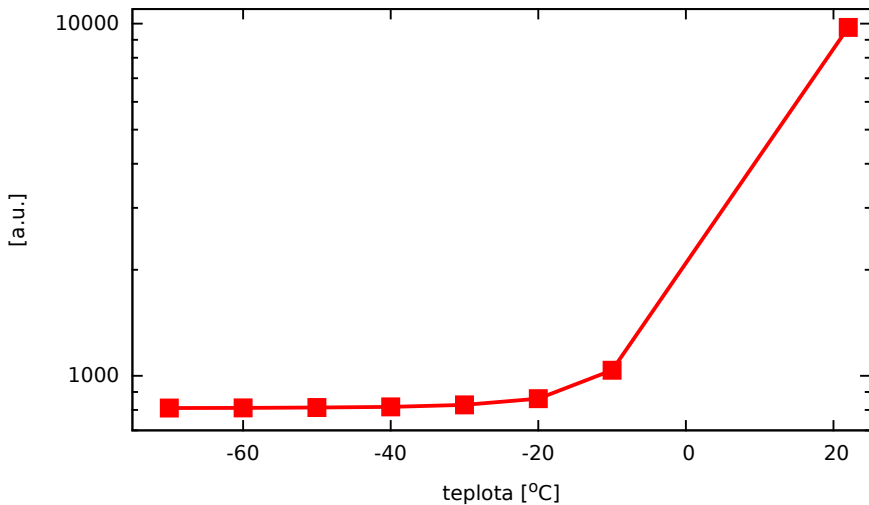
Vědecké přístroje

- chlazení detektorů CCD pro OES
- chlazení detektorů pro infračervenou spektrometrii
- chlazení výkonových laserů - HILASE
- supravodivé magnety
- kryostaty

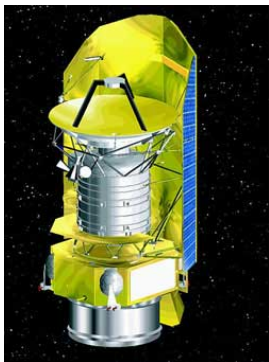
OES - chlazení CCD detektoru



Šum CCD detektoru Andor Newton 940



Herschel Space Observatory



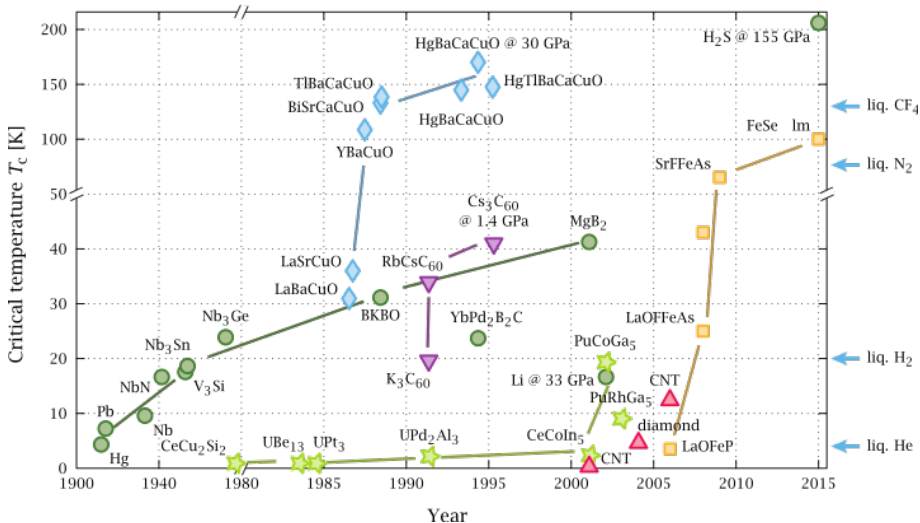
- start 14.5.2009, raketou Ariane 5
- váha 3,3 t
- umístění L2, soustavy Země – Slunce
- primární zrcadlo má průměr 3,5 m
- 2300 l LHe; 1,4K
- předpokládaná životnost 3 roky
- 29.4.2013 - mise ukončena

http://en.wikipedia.org/wiki/Herschel_Space_Observatory

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

Supravodiče

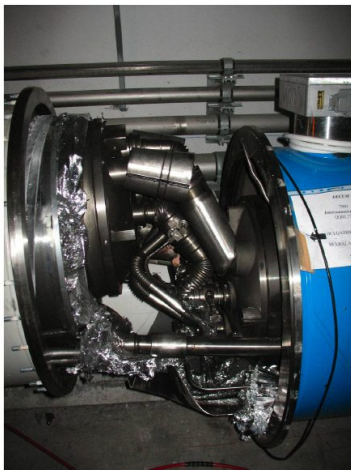


wikipedia.org

Supravodiče

- 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

<http://www.superconductors.org/>



www.osel.cz/index.php?clanek=4144



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

Raketová technika



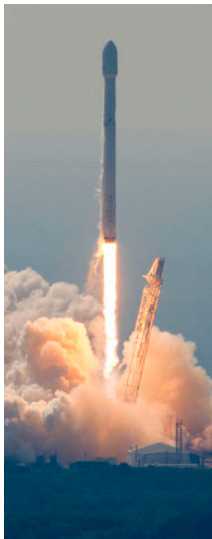
okysličovadlo - LO_2 , 90 K

palivo u některých raket - LH_2 , 20 K,
 CH_4 113 K

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

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

Raketová technika



SpaceX

SpaceX - Falcon 9 FT
okysličovadlo - LO_2 ,
palivo kerosin

- havarie 1.9.2016
- podchlazené palivo LO_2 - $\sim 66 \text{ K}$
- O_2 kapalný 90 K, bod tuhnutí 54 K
- pravděpodobná příčina
- reakce tuhého O_2 s kompozitní nádrží pro LHe

Doprava

- MAGLEV - první patent 1905
 - 2015 rychlostní rekord 603 km/h
 - 7 tras v provozu
 - 2 trasy ve výstavbě
- Vactrain
 - první zmínky 1910 - R.Goddard
 - Swissmetro - projekt zastaven
 - Transatlantic tunnel
 - StarTram

MAGLEV



<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 (2015),
Evropa - 25 přístavů pro příjem (2015),
typická délka cesty tankeru 20 dnů - odpar asi 2 - 6 % ,
LNG tanker Q-max - 14 lodí, délka 345 m, 266 000 m³
- LNG - jako palivo (železnice, silnice)
- letadla - bezpilotní Boeing Phantom Eye - LH₂
- LH₂ - doprava, energetika, vodíková ekonomika
- LNG - zemní plyn kapalný
- LPG - propan-butan
- CNG - zemní plyn, stlačený

Ostatní aplikace

- skladování potravin
- při záplavách - záchrana knih a dokumentů
- čištění povrchů suchým ledem CO_2 $-78\text{ }^\circ\text{C}$
- strojírenství - odolnost vůči opotřebení, otřepy
- detektory magnetického pole - SQUID
- kvantové počítače - supravodiče
- teleportace - Boseho-Einsteinův kondenzát - Rb, 170 nK
- získávání vody
- akumulace energie

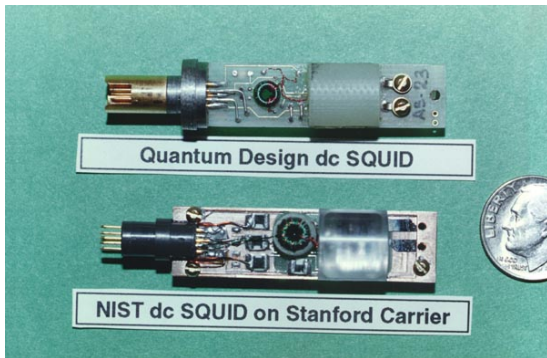
Strojírenství

- v polovině devatenáctého století švýcarskými hodináři
- obráběcí nástroje, motory, medicína, sport, letecký a kosmický průmysl
- odstranění zbytkových napětí
- odolnost proti opotřebení
- vyšší pevnosti a delší životnost
- chlazení 9 hodin, kryogenní teplota 24 hodin, ohřev 9 hodin



SQUID

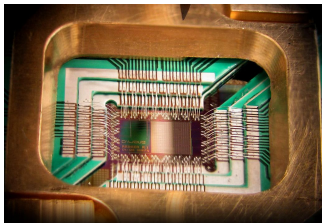
- Josephson jev - supravodič-izolátor-supravodič
- magnetometr 5×10^{-18} T, (mag. pole Země 25-65 μ T)



en.wikipedia.org

Kvantové počítače

- qubity
- 2011 - 128 qubitů
- 2013 - 512 qubitů
- 2015 - 1152 qubitů
- 2017 - 2048 qubitů
- 2020 - 5760 qubitů
- supravodiče
- NSA - lámání šifer



D-Wave - 128 qubit
en.wikipedia.org

Kvantová teleportace

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

Získávání vody ze vzduchu

Princip - kondenzace

Zařízení firmy Aqua Sciencis - vírová trubice,

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

4500 litrů denně



<http://www.osel.cz/index.php?clanek=2499>

Vojenské aplikace

- chlazení infra detektorů
- rakety - LO_2
- AIP pohon pro ponorky - palivové články
- magnetometry SQUID
- kvantové počítače