

Sorpční vývěvy

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 sorbujiícím povrchu, nebo ve vrstvách pod povrchem

čerpací rychlost je úměrná velikosti sorbujiícího povrchu

Typy vývěv

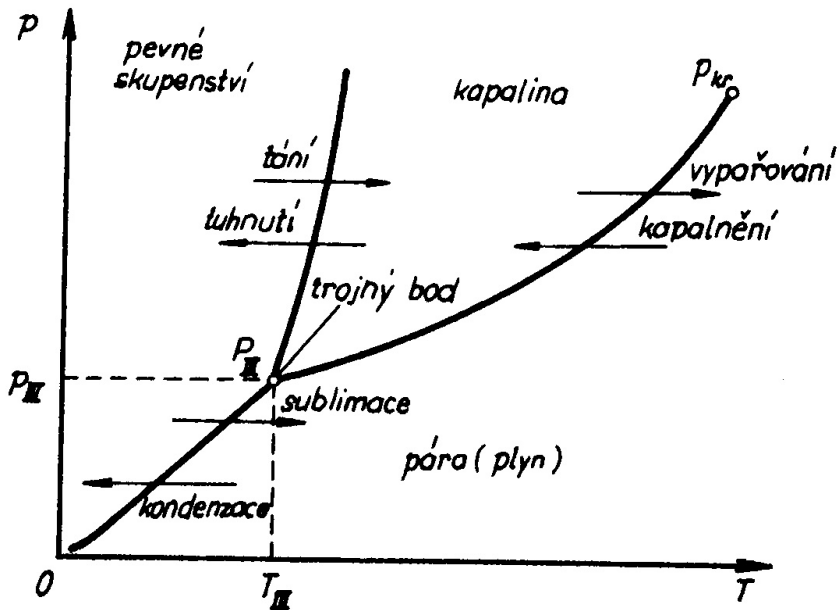
- kryogenní
- zeolitové
- sublimační
- iontové
- vypařované getry
- nevypařované getry (NEG)

Kryogenní (kryosorpční) vývěvy

Princip: adsorbování a kondenzace plynů a par
kryogenní vývěva - teplota $< 30\text{ K}$

kapalný dusík (77K) - vymrazovačka

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

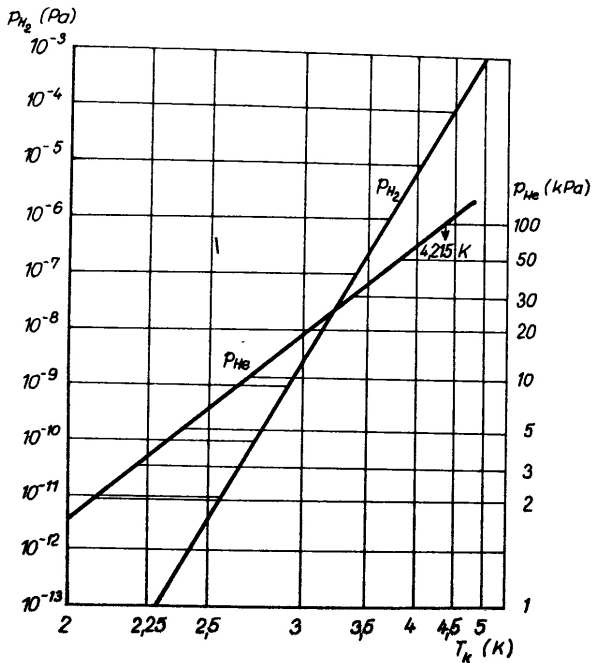


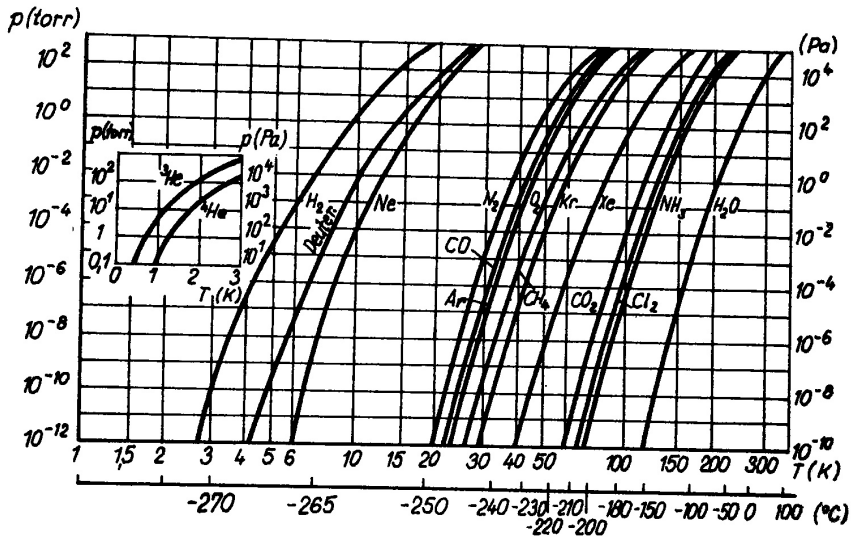
Tab. 4.9. Hodnoty trojného bodu

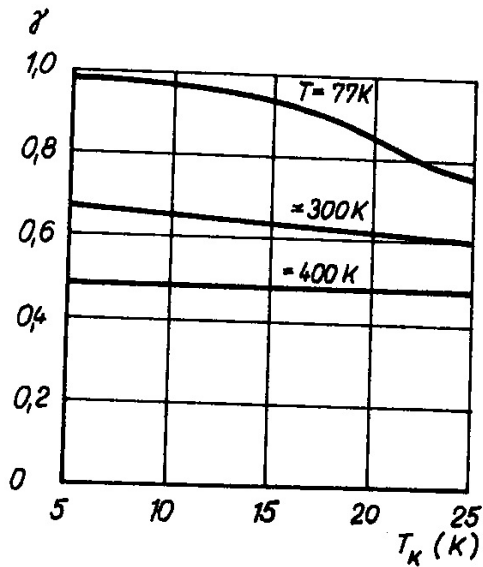
| Plyn (pára) | $T_{\text{tr}} \text{ (K)}$ | $p_{\text{tr}} \text{ (Pa)}$ | $T_{\text{kr}} \text{ (K)}$ | $p_{\text{kr}} \text{ (Pa)}$ |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| He | 2,2 | 3 000 | 5,3 | 228 000 |
| H ₂ | 14,0 | 7 100 | 33,3 | 1 290 000 |
| O ₂ | 54,4 | 150 | 154,4 | 5 010 000 |
| N ₂ | 63,2 | 12 500 | 126,1 | 3 380 000 |
| Ne | 24,5 | 44 500 | 34,5 | 2 610 000 |
| Ar | 83,9 | 68 700 | 150,8 | 4 840 000 |
| vzduch | | | 132,6 | 3 630 000 |

Tab. 4.10. Body varu a tání některých plynů a par a kapalného vzduchu
(při atmosférickém tlaku)

| Plyn (pára) | Bod varu | | Bod tání | |
|---|---------------------|--------|----------|-------|
| | (K) | (°C) | (K) | (°C) |
| He | 4,2 | -269,9 | 1,2 | -272 |
| H ₂ | 20,4 | -252,8 | 14,2 | -259 |
| Ne | 27,2 | -245,9 | 24,2 | -249 |
| N ₂ | 77,3 | -195,8 | 63,2 | -210 |
| CO | 81,6 | -191,5 | 66,2 | -207 |
| Ar | 87,3 | -185,9 | 83,9 | 189 |
| O ₂ | 90,2 | -183 | 54,2 | 219 |
| CH ₄ | 11,8 | -161,4 | 89,1 | -184 |
| Kr | 121,0 | -152,1 | 116,2 | -157 |
| NH ₃ | 139,7 | -33,4 | 196,1 | -77 |
| Xe | 165,1 | -108 | 161,2 | -112 |
| CO ₂ | 194,7 ¹⁾ | -78,5 | - | - |
| H ₂ O | 373,1 | 100 | 273,2 | 0 |
| Hg | 630 | 357 | 234,2 | -38,9 |
| kapalný vzduch ²⁾ ihned po zkapalnění (22 % O ₂ , 78 % N ₂) | ~80 | ~-193 | ~60 | ~-213 |
| po odpaření dusíku 100 % O ₂ | 90,2 | -183 | 54,2 | -219 |



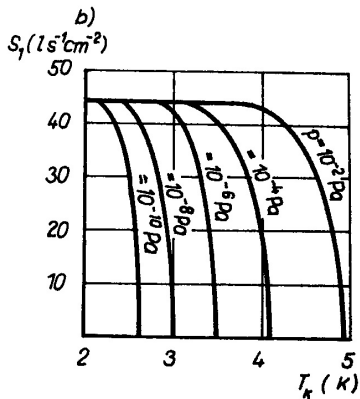
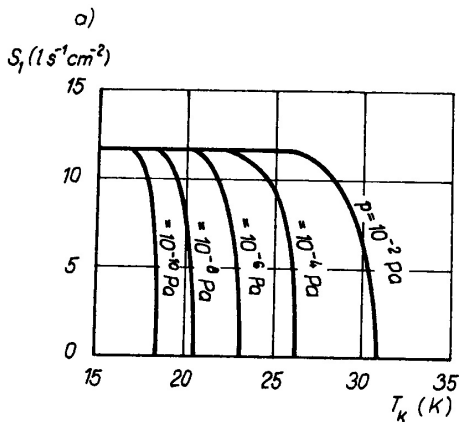




koef. ulpění pro dusík

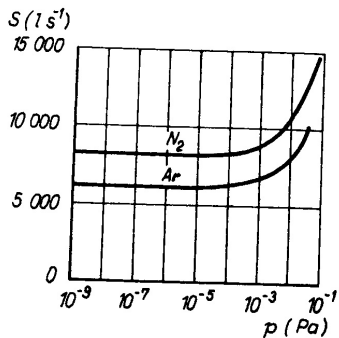
Tab. 4.11. Tlak některých plynů čerpaných kryogenními vývěvami nebo vymrazovačkami

| 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} |

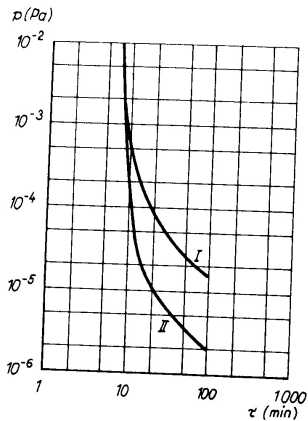


Obr. 4.88. Závislost měrné čerpací rychlosti S_1 na teplotě:

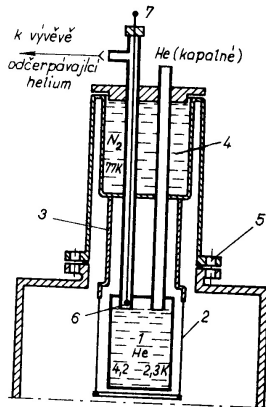
- a) na povrchu chlazeném kapalným H_2 při různých tlacích dusíku ($\gamma = 1$),
 b) na povrchu chlazeném kapalným He při různých tlacích H_2 (pro $\gamma = 1$)



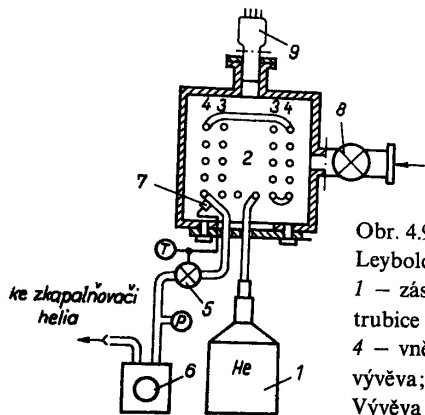
Obr. 4.89. Čerpací charakteristiky kryogenní vývěvy s plochou chlazené stěny $2\,000\text{ cm}^2$ při teplotě 15 K pro dusík a argon



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. Helium 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 heliem; 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 $< 10^{-11}$ *mbar*

- kryokondenzace (většina plynů)
- kryosorbce (Ne, H₂, He)
- kryotrapping efekt (porézní vrstva kondenzovaného plynu)
- může pracovat od atmosférického tlaku
- chlazení typicky He, H₂
- 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

Fyzika nízkých teplot

- 1876 zkapalnění vzduchu
- 1908 zkapalnění He

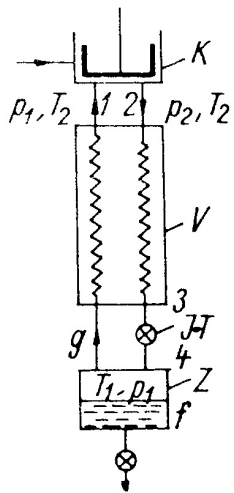
Literatura:

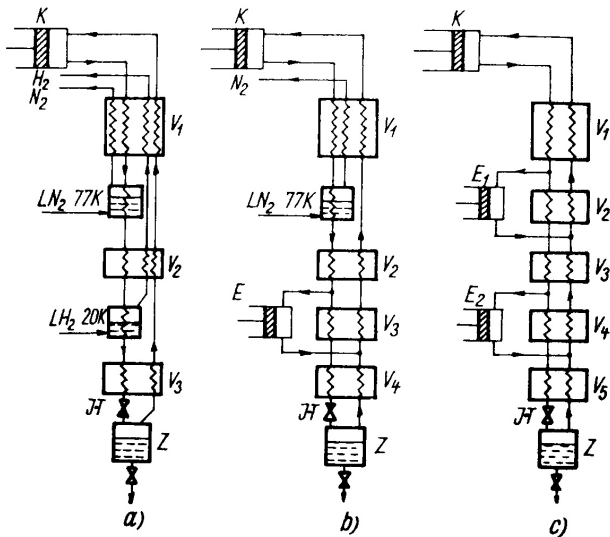
- internet
- J.Jelínek, Z. Málek: Kryogenní technika, SNTL, Praha, 1982

Tab. 4.3. Inverzní teploty T_i Jouleova–Thomsonova jevu pro kryogenní plyny

| Plyn | O ₂ | Ar | N ₂ | Ne | D | H ₂ | ⁴ He | ³ He |
|-----------|----------------|-----|----------------|-----|-----|----------------|-----------------|-----------------|
| T_i (K) | 770 | 725 | 620 | 250 | 215 | 204 | 46 | 39 |

teplota, kdy se plyn chová jako ideální plyn





Obr. 15. Schémata tří systémů využívaných pro zkvalňování He: a) Zkvalňovač s předchlazením He v lázni LN_2 a LH_2 , b) zkvalňovač s předchlazením He lázni LN_2 a s jedním expandérem, c) zkvalňovač pracující bez předchlazení – využívající dvou expandérů (K kompresor, V_1 až V_5 protiproudé tepelné výměníky, E expandéry, Z zásobník LHe, J–T Jouleův–Thomsonův ventil)

Měření nízkých teplot

Definice:

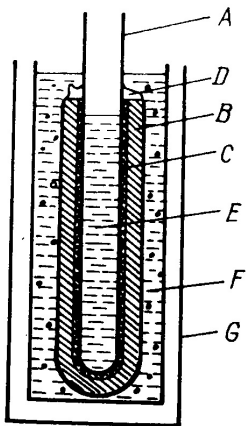
Pro každý systém existuje jistá intenzivní stavová veličina - teplota, mající stejnou hodnotu ve všech systémech, které jsou navzájem v rovnováze Mezinárodní praktická teplotní stupnice ITS-90, www.ITS-90.com.

17 pevných teplotních bodů 3 - 1357.77 K

- plynové teploměry
- polovodičové teploměry
- odporové teploměry
- ...

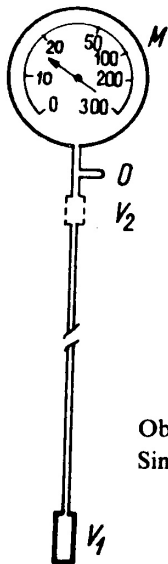
ITS90

| Number | Temperature T ₉₀ K | t ₉₀ °C | Substance a | State b |
|--------|----------------------------------|--------------------|--------------------------|---------|
| 1 | 3 to 5 | -270.15 to -268.15 | He | V |
| 2 | 13.8033 | -259.3467 | e-H ₂ | T |
| 3 | 17 | -256.15 | e-H ₂ (or He) | V |
| 4 | 20.3 | -252.85 | e-H ₂ (or He) | V |
| 5 | 24.5561 | -248.5939 | Ne | T |
| 6 | 54.3584 | -218.7916 | O ₂ | T |
| 7 | 83.8058 | -189.3442 | Ar | T |
| 8 | 234.3156 | -38.8344 | Hg | T |
| 9 | 273.16 | 0.01 | H ₂ O | T |
| 10 | 302.9146 | 29.7646 | Ga | M |
| 11 | 429.7485 | 156.5985 | In | F |
| 12 | 505.078 | 231.928 | Sn | F |



Obr. 53. Realizace trojného bodu vody ($273,16\text{ K}$)

B - odplyněná, redestilovaná voda, F - voda a tající led, C - led, D - vodní para, po několika hodinách, v části E teplota trojného bodu $273.16\text{ K} \pm 0.2\text{ mK}$

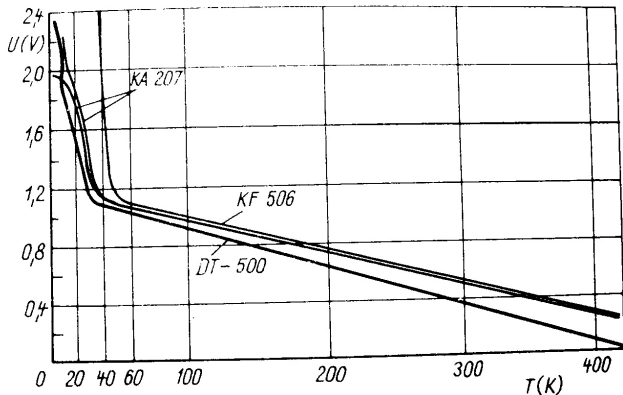


Obr. 36. Jednoduchý
Simonův plynový teploměr

plyn He (ideální plyn) referenční tlak a teplota T_0 , p_0

$$T = T_0 \frac{p}{p_0}$$

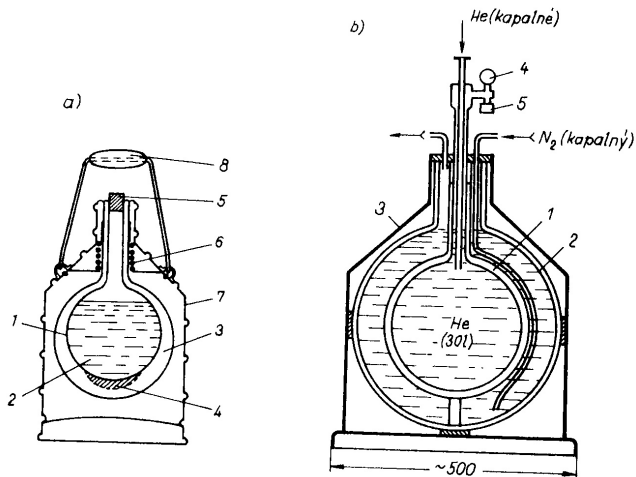
za předpokladu $V_2 \doteq 0$ rozsah měřených teplot 1-300 K



Obr. 50. Teplotní závislost spádu napětí na Si diodě DT-500 při proudu $10 \mu\text{A}$ v propustném směru [123], na dvou čs. Si diodách KA 207 a na čs. Si tranzistoru KF 506 (báze-emitor) při proudu $50 \mu\text{A}$ (diody) a $150 \mu\text{A}$ (tranzistor) v propustném směru [124]

Tepelná izolace

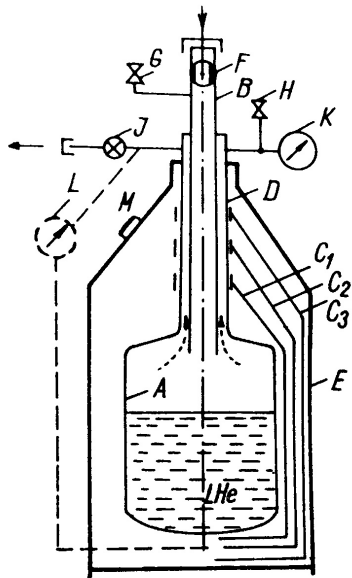
- Dewarovy nádoby
- super izolace
- pěnova izolace



Obr. 4.97. Dewarovy nádoby:

a) kovová (jednoduchá) nádoba na kapalný dusík; 1 – vnitřní stěna; 2 – vnější stěna; 3 – evakuovaný meziprostor; 4 – aktivní uhlí (přípevněno sítkou); 5 – zátka; 6 – pružný závěs; 7 – plášť; 8 – rukojeť

b) dvojitá nádoba na kapalné helium; 1 – vnitřní nádoba (s kapalným heliem); 2 – vnější nádoba (s kapalným dusíkem); 3 – plášť; 4 – heliový manometr; 5 – pojistný ventil helia



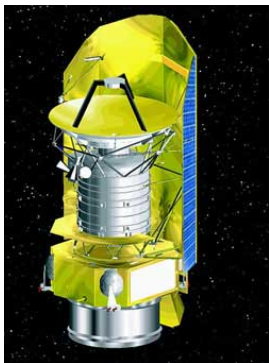
Aplikace

- vakuová technika
- věda a výzkum
- medicínské aplikace
- transport zemního plynu
- raketová technika
- supravodiče

Vědecké přístroje

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

Herschel Space Observatory



1

- 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 °C/min
- celotělová kryoterapie, -110 °C až -160 °C, asi 3 minuty

Supravodiče ²

- přenos energie
- supravodivé motory
- akumulace energie - stabilizace el.sítě
- LHC - NbTi(9K) - 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

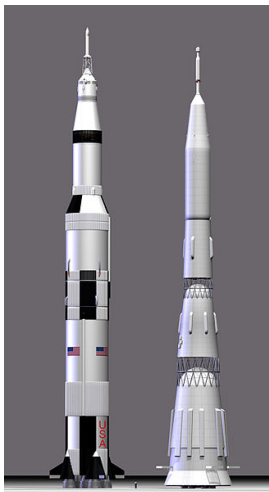
²<http://www.superconductors.org/>



3

³<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, ...

4

⁴<http://en.wikipedia.org/wiki/File:N1%2BSaturn5.jpg>

Doprava

- MAGLEV
 - 2003 rychlostní rekord 581 km/h
 - délka tras - Japonsko 8 km, Čína 30 km, Jižní Korea 1 km
- doprava zemního plynu LNG, teplota -160 °C, Evropa - 21 přístavů pro příjem
- letadla - bezpilotní Boeing Phantom Eye

MAGLEV



5

⁵<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:JR-Maglev-MLX01-2.jpg>

Ostatní aplikace

- skladování potravin
- při záplavách - záchrana knih a dokumentů
- detektory magnetického pole - SKVID
- výroba Braggovských mřížek - LH2, optické senzory, kompenzátory chromatické disperze
- získávání vody
- vojenské aplikace
- akumulace energie

Získávání vody ze vzduchu ⁶

Princip - kondenzace

Zařízení firmy Aqua Sciencis - virová trubice,

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

4500 litrů denně



⁶<http://www.osel.cz/index.php?clanek=2499>