

## *Sorpční vývěvy*

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

koefficient 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

# Typy vývěv

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

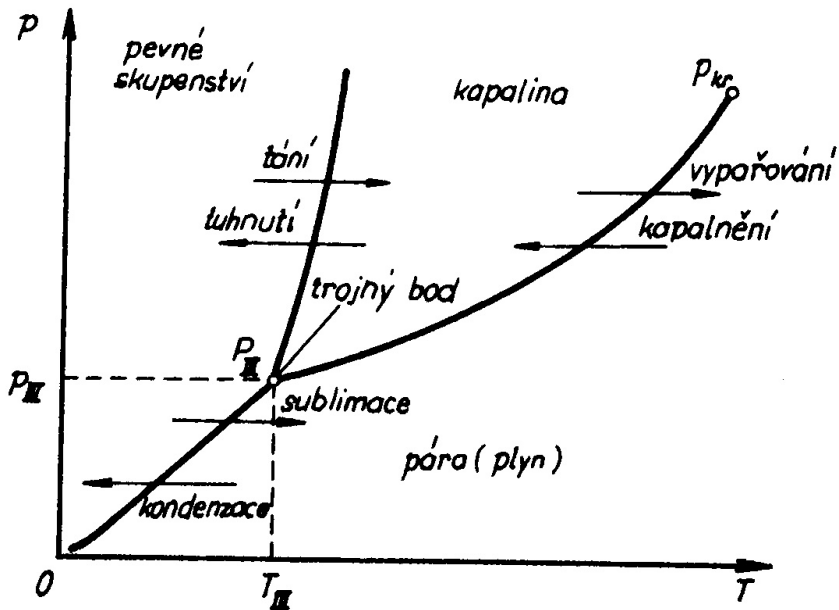
## *Kryogenní (kryosorpční) vývěvy*

Princip: adsorbování a kondenzace plynů a par

kryogenní vývěva - teplota  $< 30$  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,...)

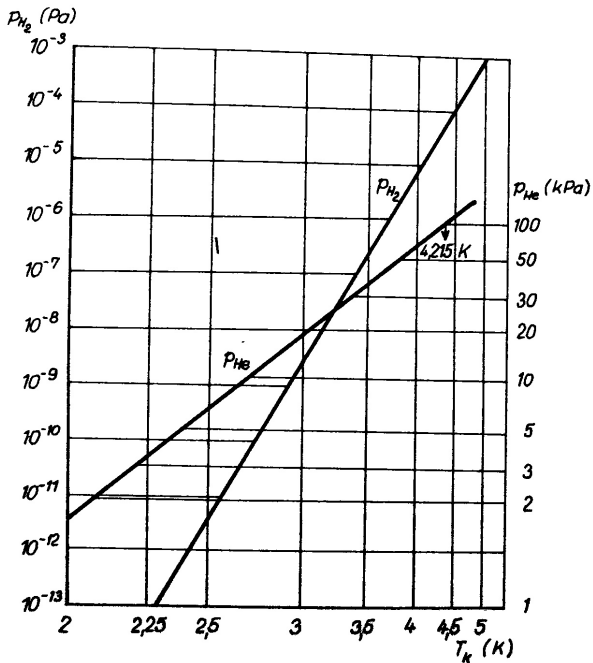


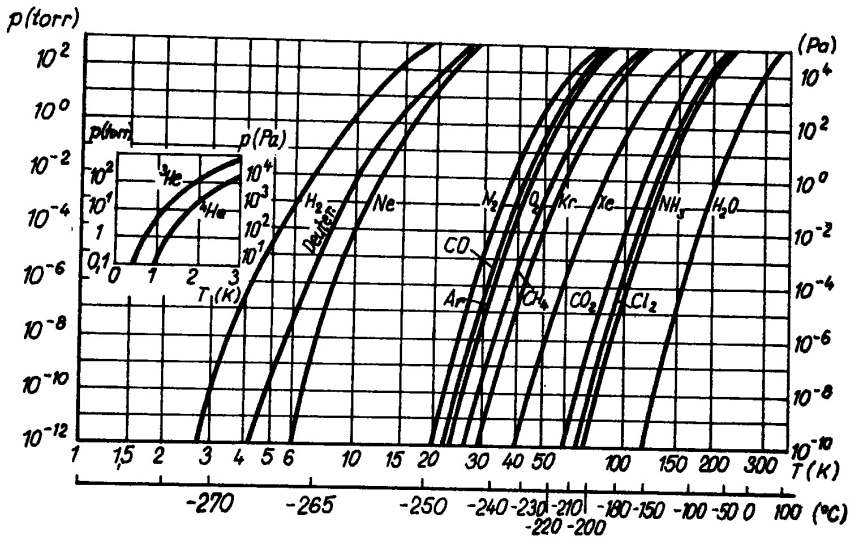
**Tab. 4.9. Hodnoty trojného bodu**

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 <sub>2</sub>	14,0	7 100	33,3	1 290 000
O <sub>2</sub>	54,4	150	154,4	5 010 000
N <sub>2</sub>	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

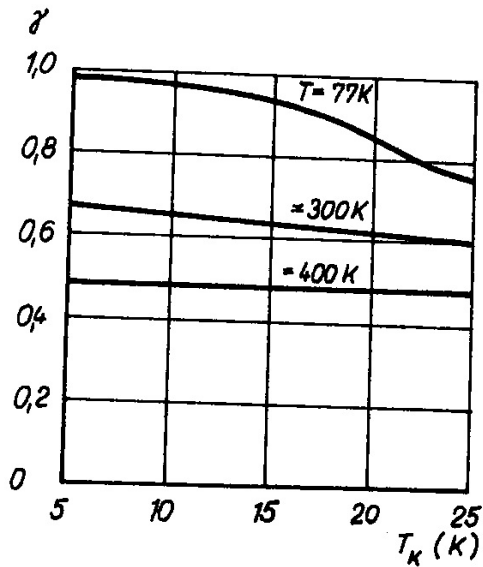
Tab. 4.10. Body varu a tání některých plynů a par a kapalného vzduchu  
(při atmosférickém tlaku)

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





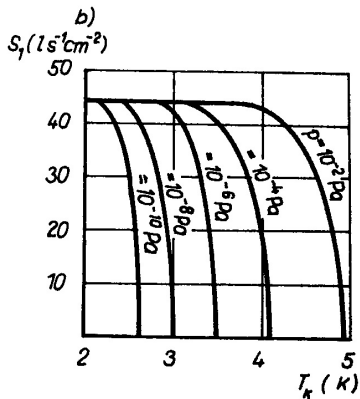
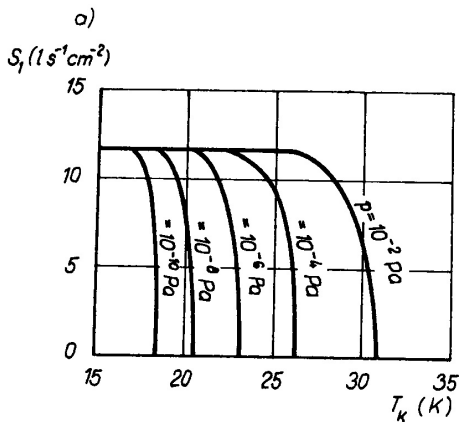




koef.ulpění pro dusík

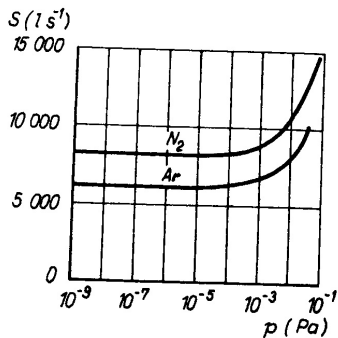
Tab. 4.11. Tlak některých plynů čerpaných kryogenními vývěvami nebo vymrazovačkami

Čerpaný plyn	Bod varu (K)	Tlak plynu (Pa) čerpaného vývěvou chlazenou kapalným				tuhým
		He 4,2 K	H <sub>2</sub> 20,4 K	Ne 27,2 K	N <sub>2</sub> 77,3 K	CO <sub>2</sub> 195 K
He	4.2	101 000	> 101 000	> 101 000	> 101 000	> 101 000
H <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	90.2	—	$1,3 \cdot 10^{-11}$	$10^{-6}$	24 000	> 101 000
CH <sub>4</sub>	112	—	—	$10^{-8}$	$10^3$	> 101 000
Kr	121	—	—	—	133	> 101 000
NH <sub>3</sub>	140	—	—	—	$10^3$	> 101 000
Xe	165	—	—	—	$10^{-1}$	> 101 000
CO <sub>2</sub>	195	—	—	—	$10^{-6}$	101 000
H <sub>2</sub> O	373	—	—	—	—	< $10^{-1}$
Hg	630	—	—	—	—	< $10^{-6}$

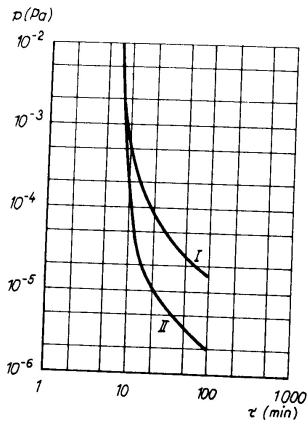


Obr. 4.88. Závislost měrné čerpací rychlosti  $S_1$  na teplotě:

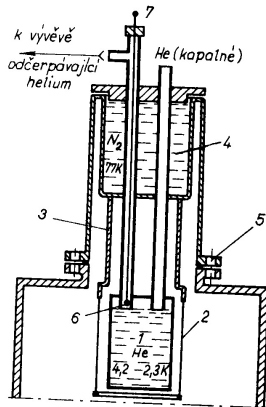
- a) na povrchu chlazeném kapalným  $H_2$  při různých tlacích dusíku ( $\gamma = 1$ ),  
 b) na povrchu chlazeném kapalným  $He$  při různých tlacích  $H_2$  (pro  $\gamma = 1$ )



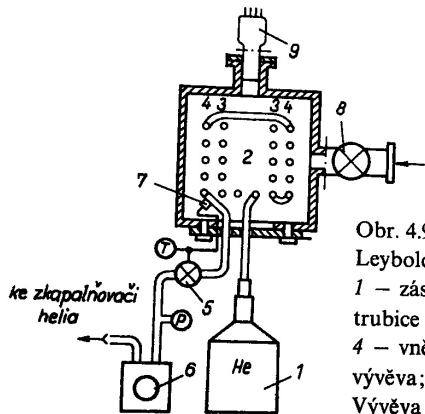
Obr. 4.89. Čerpací charakteristiky kryogenní vývěvy s plochou chlazené stěny  $2\,000\text{ cm}^2$  při teplotě  $15\text{ K}$  pro dusík a argon



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 – příruby; 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 LN<sub>2</sub>
- mezní tlak  $< 10^{-11}$  mbar

- kryokondenzace (většina plynů)
- kryosorbce (Ne, H<sub>2</sub>, He)
- kryotrapping efekt (porézní vrstva kondenzovaného plynu)
- může pracovat od atmosférického tlaku
- chlazení typicky He, H<sub>2</sub>
- 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:

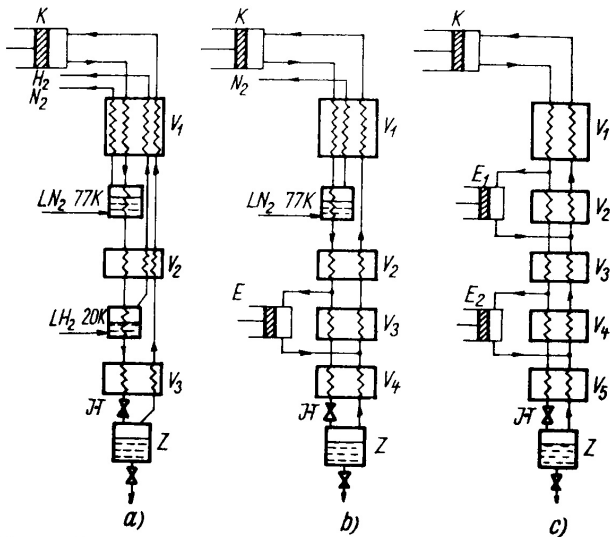
- internet
- J.Jelínek, Z. Málek: Kryogenní technika, SNTL, Praha, 1982

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

Plyn	O <sub>2</sub>	Ar	N <sub>2</sub>	Ne	D	H <sub>2</sub>	<sup>4</sup> He	<sup>3</sup> 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  $\text{LN}_2$  a  $\text{LH}_2$ , b) zkvalňovač s předchlazením He lázni  $\text{LN}_2$  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:

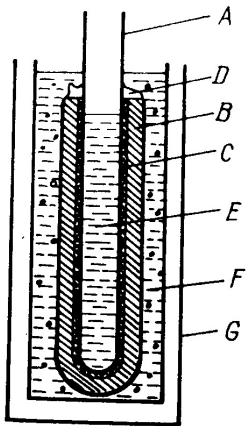
Pro každý systém existuje jistá intenzivní stavová veličina - teplota, mající stejnou hodnotu ve všech systémech, které jsou navzájem v rovnováze

Mezinárodní praktická teplotní stupnice ITS-90, [www.ITS-90.com](http://www.ITS-90.com).  
17 pevných teplotních bodů 3 - 1357.77 K

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

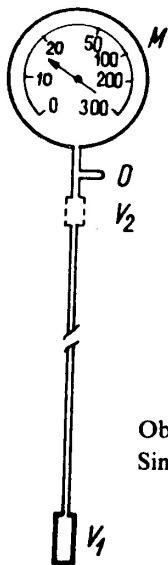
*ITS90*

Number	Temperature T <sub>90</sub> K	t <sub>90</sub> °C	Substance a	State b
1	3 to 5	-270.15 to -268.15	He	V
2	13.8033	-259.3467	e-H <sub>2</sub>	T
3	17	-256.15	e-H <sub>2</sub> (or He)	V
4	20.3	-252.85	e-H <sub>2</sub> (or He)	V
5	24.5561	-248.5939	Ne	T
6	54.3584	-218.7916	O <sub>2</sub>	T
7	83.8058	-189.3442	Ar	T
8	234.3156	-38.8344	Hg	T
9	273.16	0.01	H <sub>2</sub> 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  $273.16\text{ K} \pm 0.2\text{ mK}$



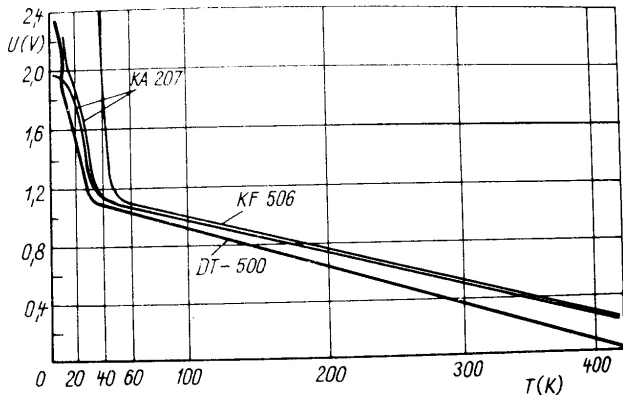
Obr. 36. Jednoduchý  
Simonův plynový teploměr



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

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

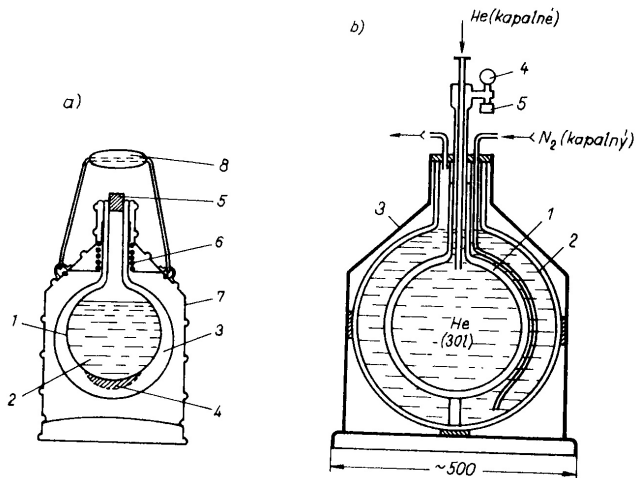
za předpokladu  $V_2 \doteq 0$  rozsah měřených teplot 1-300 K



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

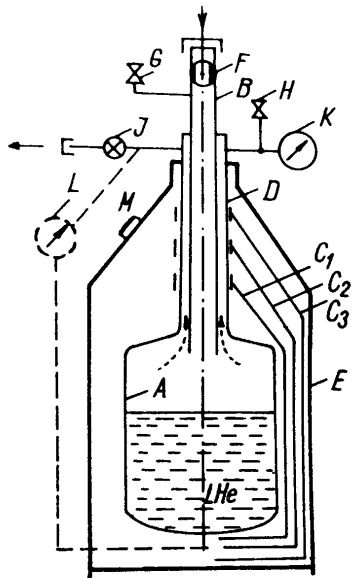


Obr. 4.97. Dewarovy nádoby:

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 - chlazení detektorů, základní výzkum,...
- medicínské aplikace - kryosauna ( $-160^{\circ}\text{C}$ , 3 min.)
- transport zemního plynu ( $-162^{\circ}\text{C}$ )
- raketová technika (V2 -LO<sub>2</sub> 4910 kg, vyrobeno asi 5200 kusů; Saturn V, Soyuz, ...)
- supravodiče
  - supravodivé magnety (ITER - 5.3 T)
  - Maglev ( 581 km/h)
  - detektory magnetického pole SKVID
  - přenos el.energie
  - elektrické motory