

1834	stavová rovnice ideálního plynu
1852	Joule-Thomsonův jev
1873	Van der Waalsova rovnice
1877	mlha O <sub>2</sub>
1883	kapalný N <sub>2</sub> i O <sub>2</sub>
1898	zkapalněn H <sub>2</sub> (Dewar)
1908	zkapalněno He (Heike Kamerlingh-Onnes)
1911	objev supravodivosti (Hg při 4,15 K)
1926	navržena adiabatická demagnetizace paramagnetických solí (uskutečněno 1933)
1934	navrženo magnetické chlazení jader (uskutečněno 1956)
30-tá léta	potvrzena supratekutost He
1949	zkapalněno <sup>3</sup> He
1951	navrženo chlazení rozpouštěním <sup>3</sup> He v <sup>4</sup> He
1957	BCS teorie
1962	spočítán Josephsonův přechod (slabá supravodivost)
1987	vysokoteplotní supravodivost
1995	Bose-Einsteinova kondenzace ve zředěných plynech (Rb, Li, Na)

Plyn	$T_v$ [K]	$T_3$ [K]	$T_k$ [K]	$p_k$ [MPa]	poznámka
vzduch	78,8				nebezpečný
O <sub>2</sub>	90,2	54	155	5,0	Nebezpečný. Paramagnetický
N <sub>2</sub>	77,4	63	126	3,4	
H <sub>2</sub>	20	13,8	33	1,3	ortho- a paravodík
D <sub>2</sub> / T <sub>2</sub>	23,7 / 25,0	18,73 / 20,6			
Xe	164	133	289,7	5,83	
Kr	121,3	116	210	5,4	
Ar	87,27	83,8	150,8	4,8	
Ne	27,1	25	44,4	2,6	
<sup>4</sup> He	4,215	neexistuje	5,2	0,226	pod 2,17 K supratekutost
<sup>3</sup> He	3,19	neexistuje	3,3	0,115	pod 2,6 mK (při 3,4 MPa) supratekutost

Literatura:

L. Skrbek: Fyzika nízkých teplot (*Matfyzpress 2011*)

M. Odehnal: Supravodivost a jiné kvantové jevy (*Academia 1992*)

J.F. Annett: Superconductivity, superfluids, and condensates (*Oxford University Press 2007*)

Š. Jánoš: Fyzika nízkých teplot (*Alfa 1980*)

J. Jelínek, Z. Málek: Kryogenní technika (*SNTL 1982*)

R.S. Šafrata: Fyzika nízkých teplot (*Matfyzpress 1998*)

V.S. Letokhov: Laser control of atoms and molecules (*Oxford University Press 2007*)

Š. Jánoš: Svet v blízkosti absolutnej nuly (*Alfa 1990*)

V.F. Petrenko, R.W. Whitworth: Physics of ice (*Oxford University Press 2006*)

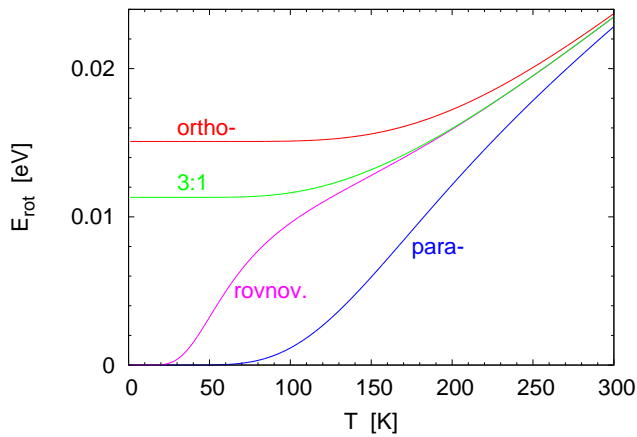
## Tepelná kapacita ortho- a paravodíku

Rotační energie ortho- a paravodíku:

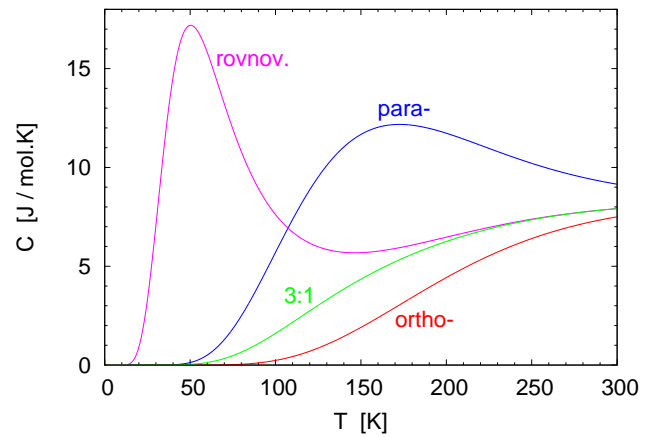
$$E(J) \approx B h c J(J+1) \quad J \geq 0$$

$$E_{\text{para}} = \frac{\sum_{\text{sudá } J} E(J) (2J+1) e^{-E(J)/kT}}{\sum_{\text{sudá } J} (2J+1) e^{-E(J)/kT}}$$

$$E_{\text{ortho}} = \frac{\sum_{\text{lichá } J} E(J) (2J+1) e^{-E(J)/kT}}{\sum_{\text{lichá } J} (2J+1) e^{-E(J)/kT}}$$



Obrázek 1: Průměrná rotační energie molekuly  $H_2$ .



Obrázek 2: Tepelná kapacita rotačního pohybu vodíkových molekul.