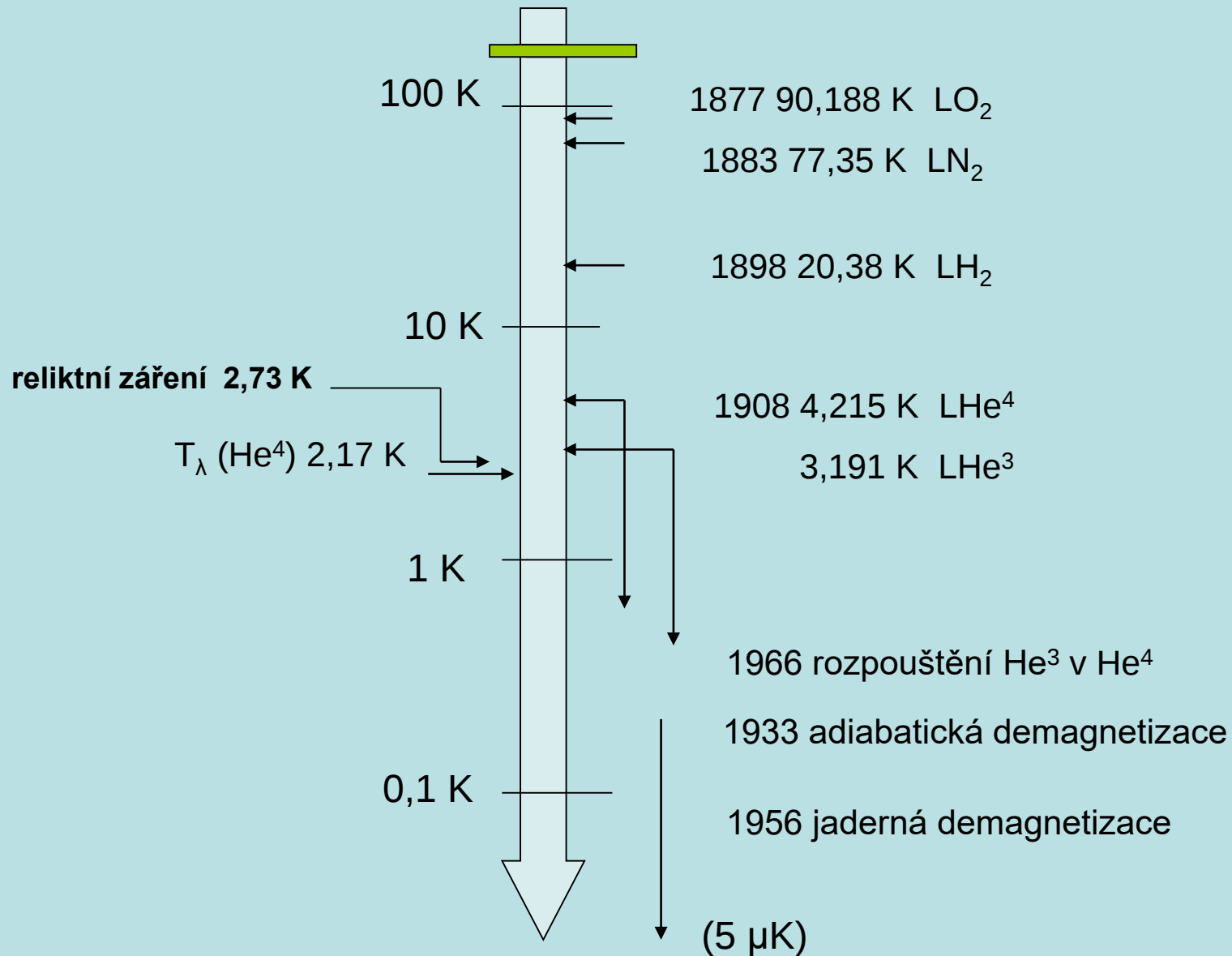


Supratekutost a supravodivost

U3V
3. 11. 2014

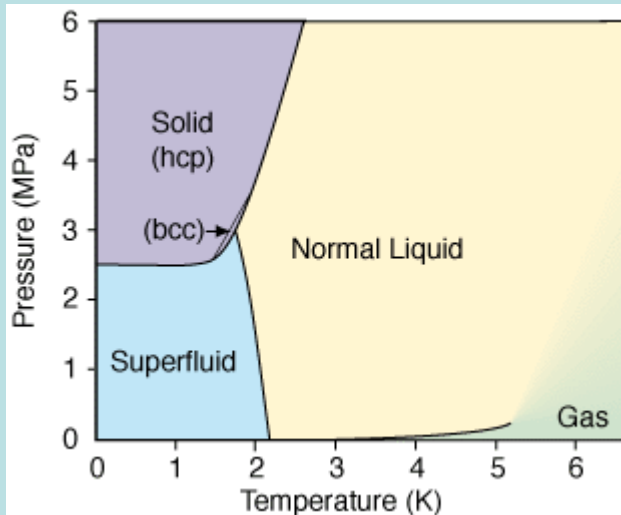
Miloš Rotter
KFNT

Historický teploměr

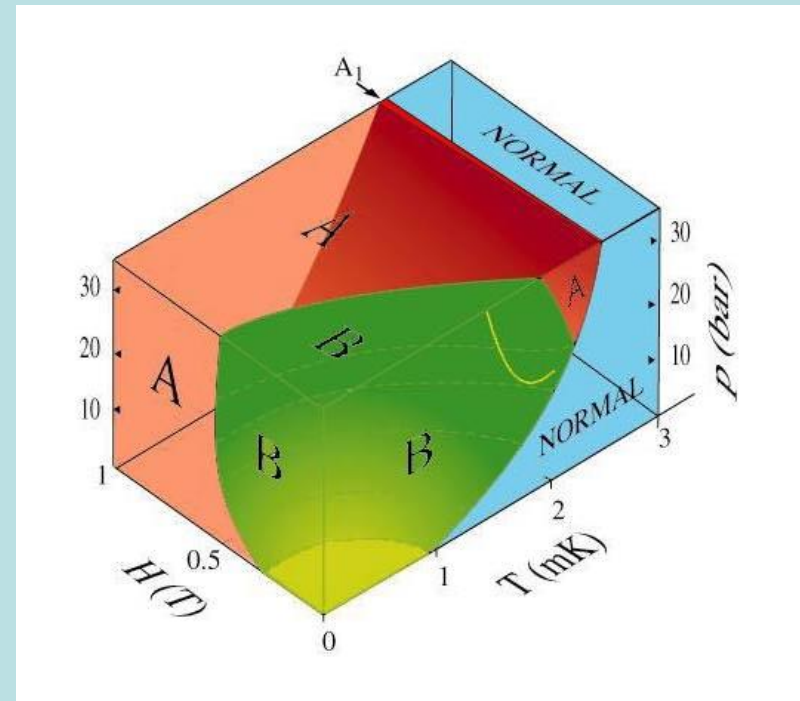


Supratekutost

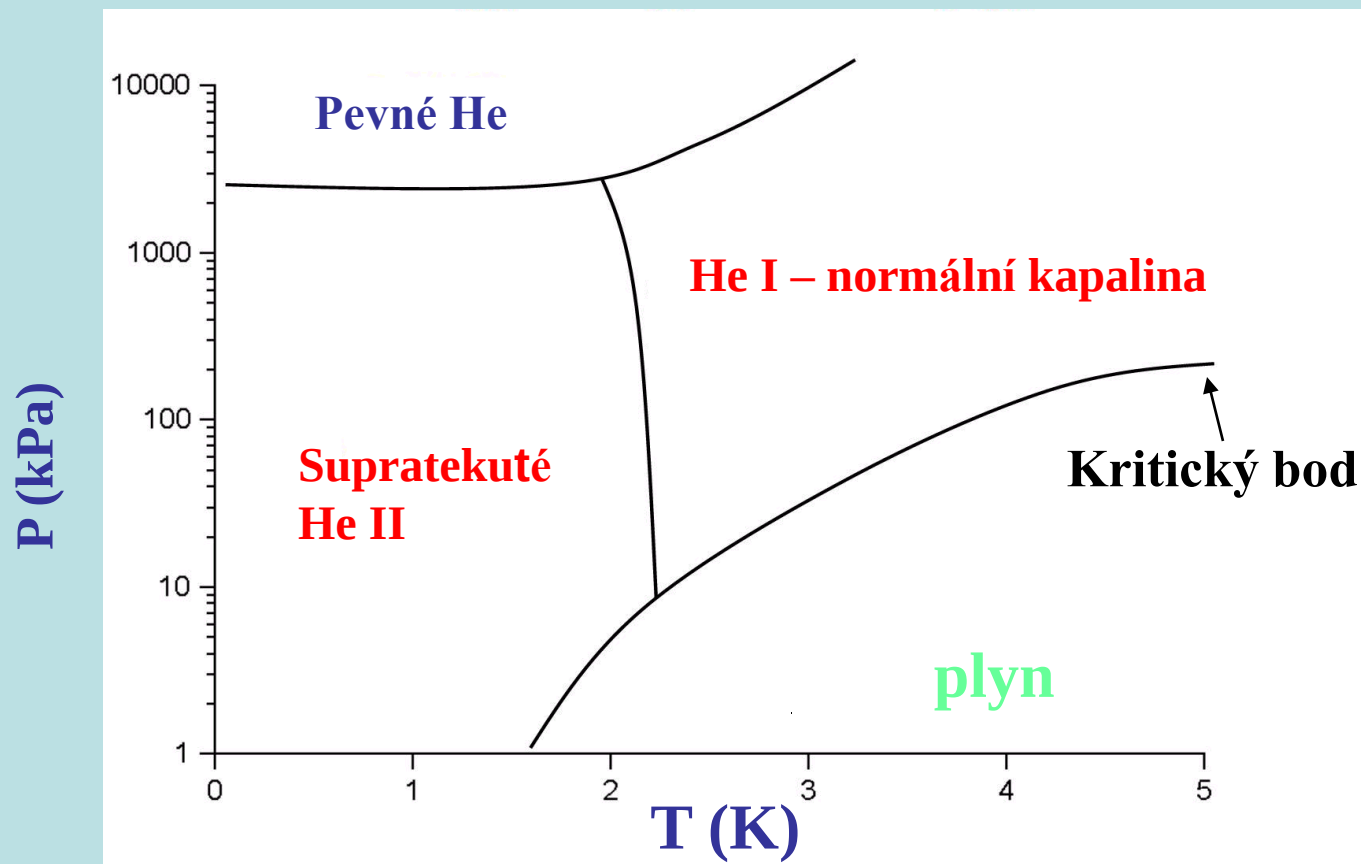
^4He – kondenzát bosonů



supratekuté fáze ^3He
- párování fermionů



Fázový diagram ^4He



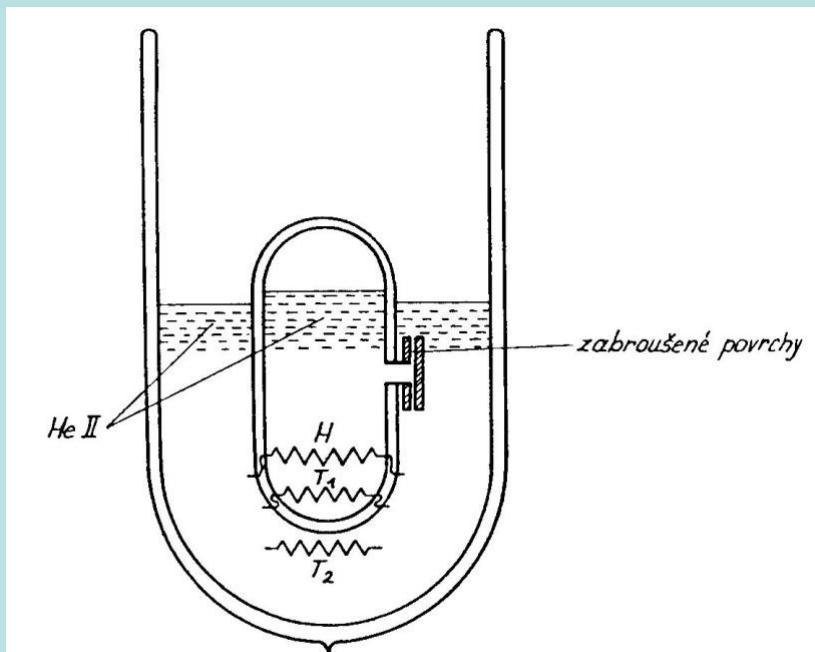
Mezi oblastmi I a II neexistuje skupenské teplo – nemohou existovat současně
- fázový přechod 2. druhu

Tepelná vodivost při přechodu I – II vzroste $3 \cdot 10^6$ krát.

He II – kvantová kapalina, nezamrzá až do teploty absolutní nuly !

Objev supratekutosti – experimenty

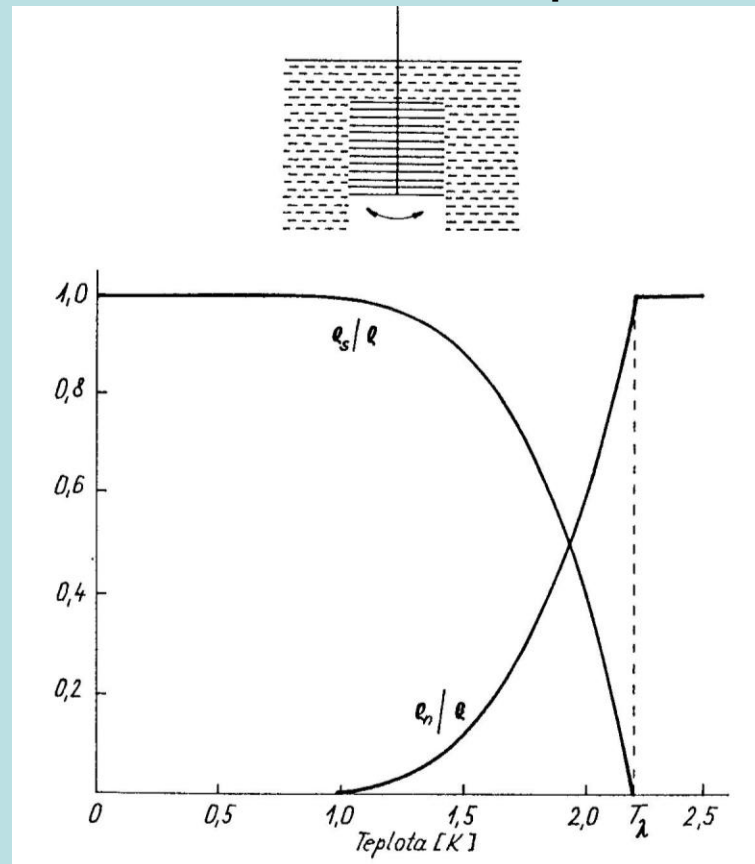
P. L. Kapica



Obr. 3.3. Schema Kapicova pokusu ke stanovení viskozity $He II$

H - odporový ohřivač, T_1 , T_2 - teploměry

Andronikašviliho pokus



Tisza - model dvousložkové kapaliny
Boseho – Einsteinova kondenzace

Dvě nezávislá rychlostní pole

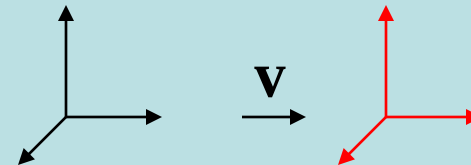
Fonony: $\varepsilon_{ph} = up$

Rotony: $\varepsilon_r = \Delta + \frac{(p - p_0)^2}{2\mu}$

$u = 238 \text{ m/s}; \Delta = 8.65 \text{ K};$

$p_0 = 1.92 \text{ Å}^{-1}; \mu = 0.16 m_4$

Landauovo kritérium supratekutosti



$(x, z, y): \varepsilon(p) \quad (x', y', z'): \varepsilon'(p) = \varepsilon(p) + \vec{p} \cdot \vec{v}$

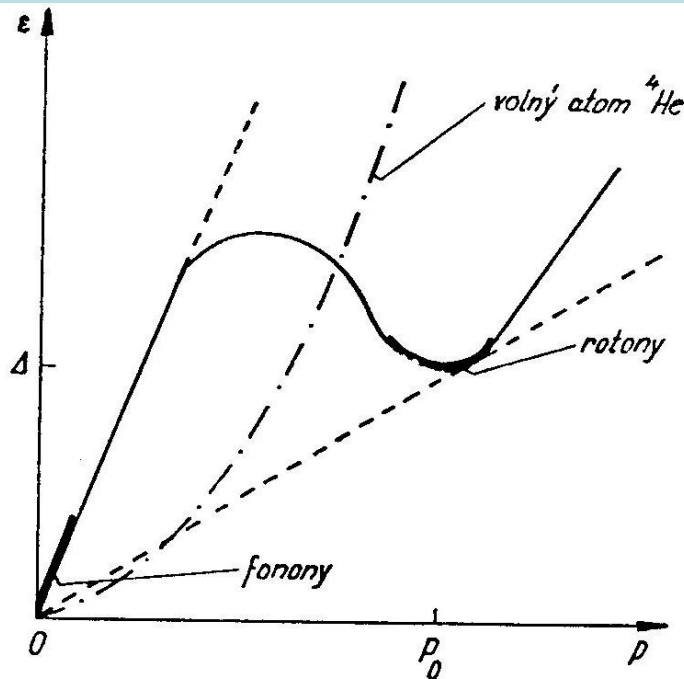
Excitace vznikne, je-li to energeticky výhodné, tj. při

$v > \varepsilon(p) / p$

$v_{\text{crit}} = \min \frac{\varepsilon(p)}{p}$

238 m/s fonony
60 m/s rotony

$$V_{\text{rot}} = \frac{\sqrt{p_0^2 + 2\mu\Delta} - p_0}{\mu} \approx \frac{\Delta}{\mu}$$

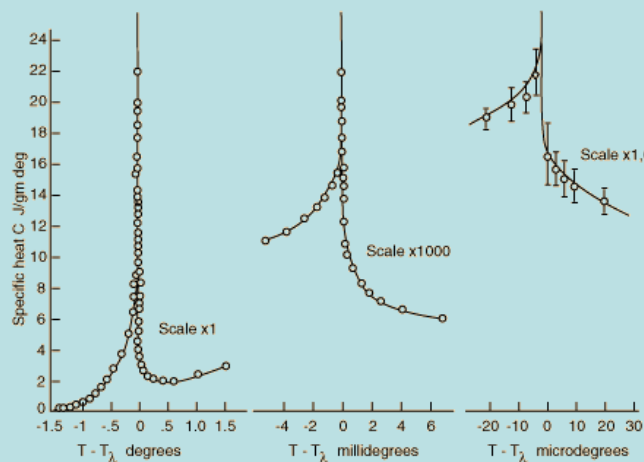


Obr. 3.8. Energetické spektrum HeII

Silně jsou označeny fononová a rotonová část spektra. Landauovo kritérium supratekutosti pro fonony a rotony je vyznačeno čárkovaně. Čerchovaná čára je energetické spektrum pro ideální plyn.

p - hybnost, ε - energie, p_0 , Δ - parametry spektra rotonů.

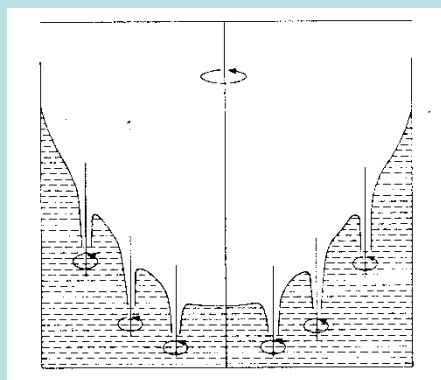
Projevy supratekutosti



přechod λ mezi supratekutou a normální kapalinou



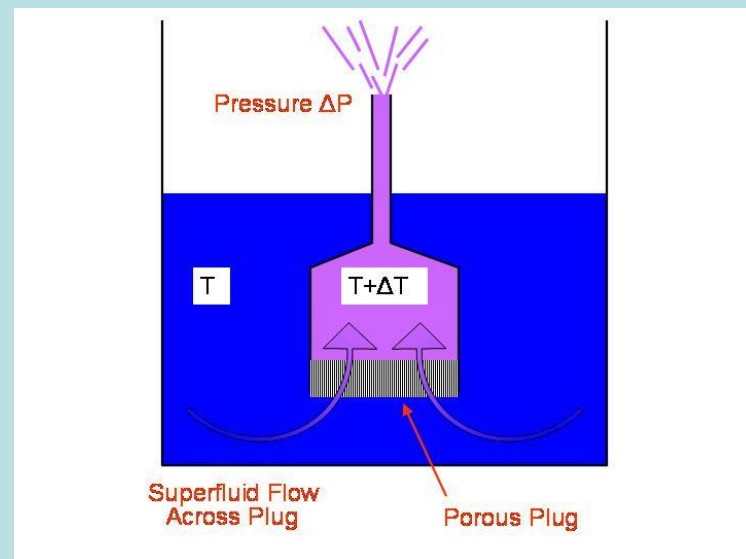
supratekutý film



$$\oint_L \vec{v} d\vec{l} = n \frac{h}{m_4}$$

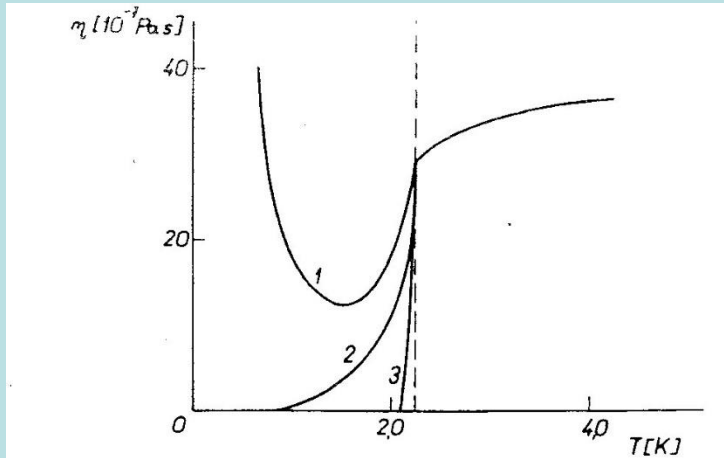
$$k_0 = \frac{h}{m_4} = 9,98 \cdot 10^{-8} m^2 s^{-1}$$

rotace supratekuté kapaliny

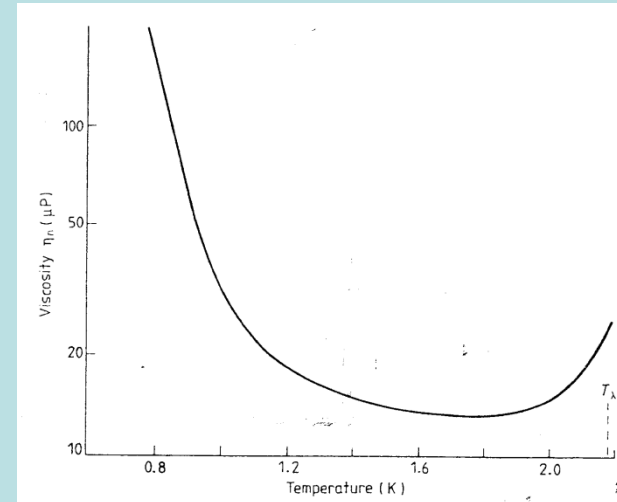


fontánový jev

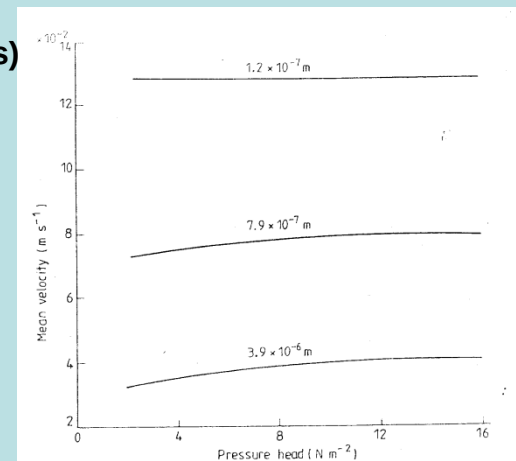
rotační viskozimetr



- 1 – rotační viskozimetr
- 2 – oscilující disk
- 3 - průtok kapilárou



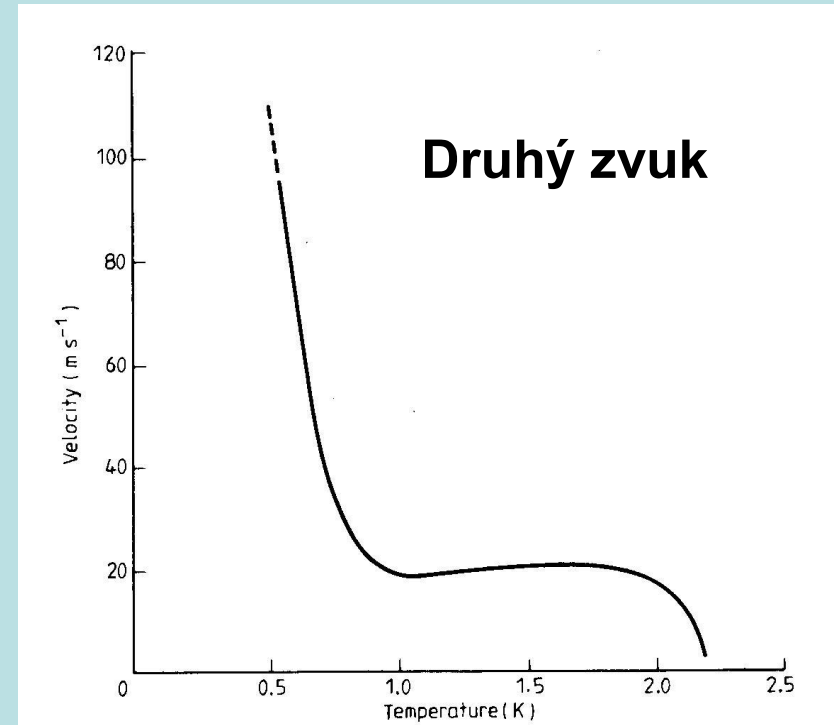
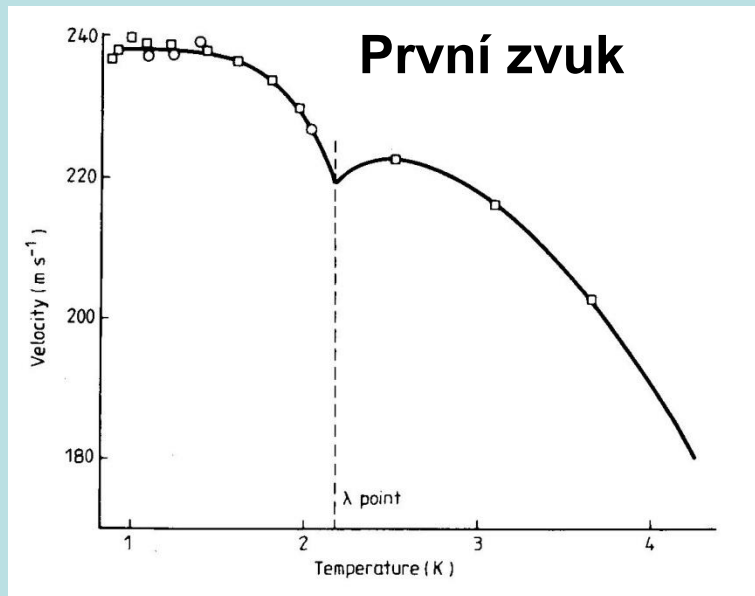
rychlost (m/s)



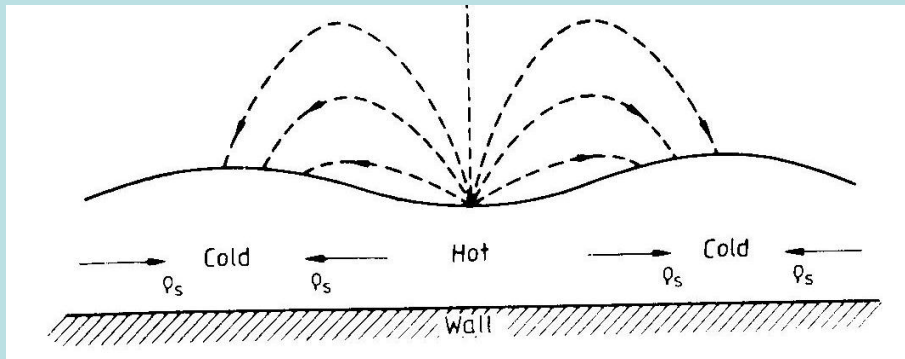
průměr
kapiláry

tlak (Pa)

Teplotní závislosti rychlosti šíření prvního a druhého zvuku v He II



**Třetí zvuk - vlny na povrchu
supratekutého filmu**

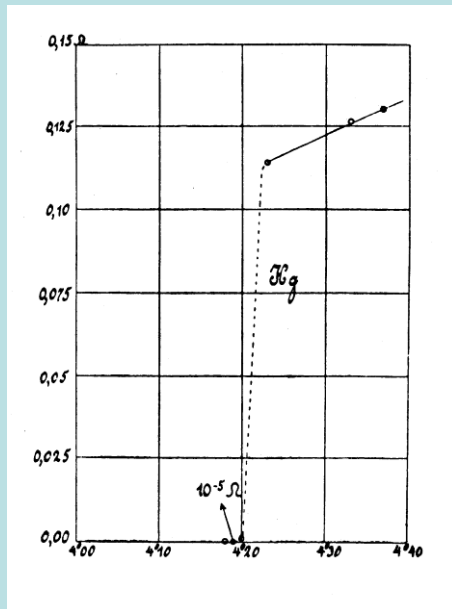


**Čtvrtý zvuk – v porézním prostředí,
kdy je normální složka díky konečné
vazkosti „přibita“ ke stěnám**

Supravodivost

1911 – Heike Kamerlingh Onnes

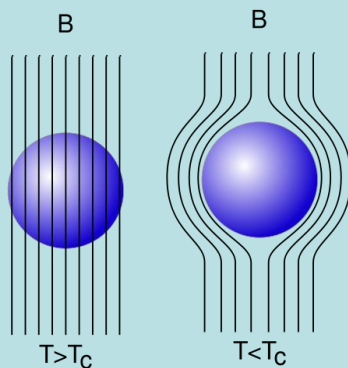
supravodivost rtuti $T_c = 4,22 \text{ K}$



supravodiče 1. typu

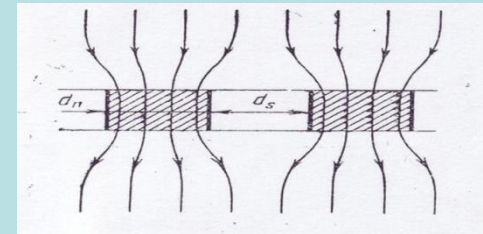
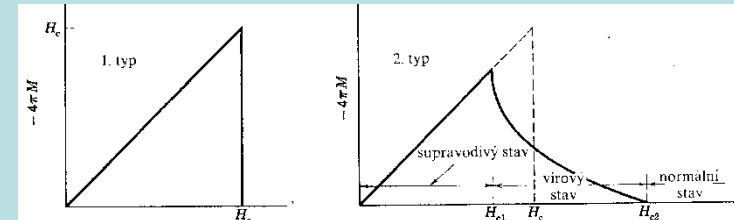
Látka	T_c [K]	Štruktúra	Látka	T_c [K]	Tlak [10 ⁶ MPa]
Al	1,19	k pl c	As	0,5	1,2
Be	0,026	hex	Ba	1,8	0,55
Cd	0,55	hex		5,1	1,4
Ga	1,09	ort	Bi II	3,9	0,26
Hg	4,15	romb	III	7,2	0,27
	3,95	tetr	V	8,5	0,78
In	3,4	tetr	Ce	1,7	0,5
In	0,14	k pl c	Cs	1,5	1
La	4,9	hex	Ge	5,4	1,1
	5,9	k pl c	Lu	0,1 až 0,7	0,8 až 1,3
Mo	0,92	k pr c	P	4,6 až 6,1	1
Nb	9,2	k pr c	Sb	3,6	0,85
Os	0,66	hex	Se	6,9	1,3
Pa	1,3		Si	6,7	1,2
Pb	7,2	k pl c	Te	4,5	0,43
Re	1,7	hex	Y	1,5 až 2,7	1,2 až 1,6
Ru	0,5	hex			
Sn	3,72	tetr			
	5,3	tetr			
Ta	4,48	k pl c			
Tc	8,22	hex			
Th	1,37	k pl c			
Ti	0,39	hex			
Tl	2,39	hex			
U	9,2	ort			
V	5,3	k pr c			
W	0,01	k pr c			
Zn	0,9	hex			
Zr	0,5	hex			

1933 – Meissnerův – Ochsenfeldův jev



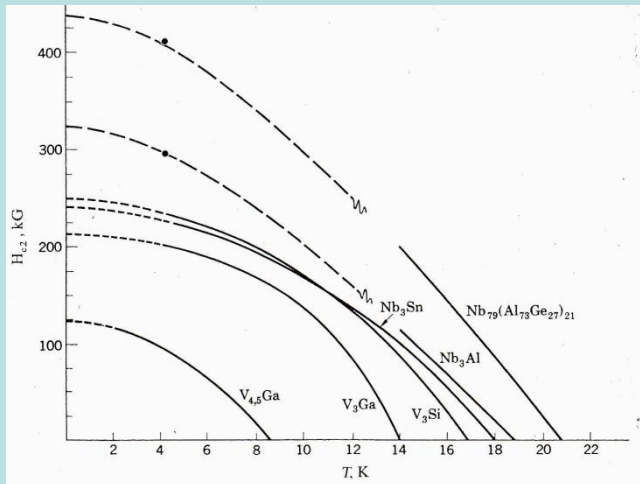
Supravodiče 2. druhu

materiál	T_c (K)	materiál	T_c (K)
Nb_3Sn	18,05	V_3Ga	16,5
Nb_3Ge	23,2	V_3Si	17,1
Nb_3Al	17,5	Nb-Ti	9
NbN	16,0	Ti_2Co	3,44
$(SN)_x$	0,26	La_3In	10,4



supravodiče 2. druhu
– smíšený stav
magnetické pole proniká
do supravodiče podél vírů

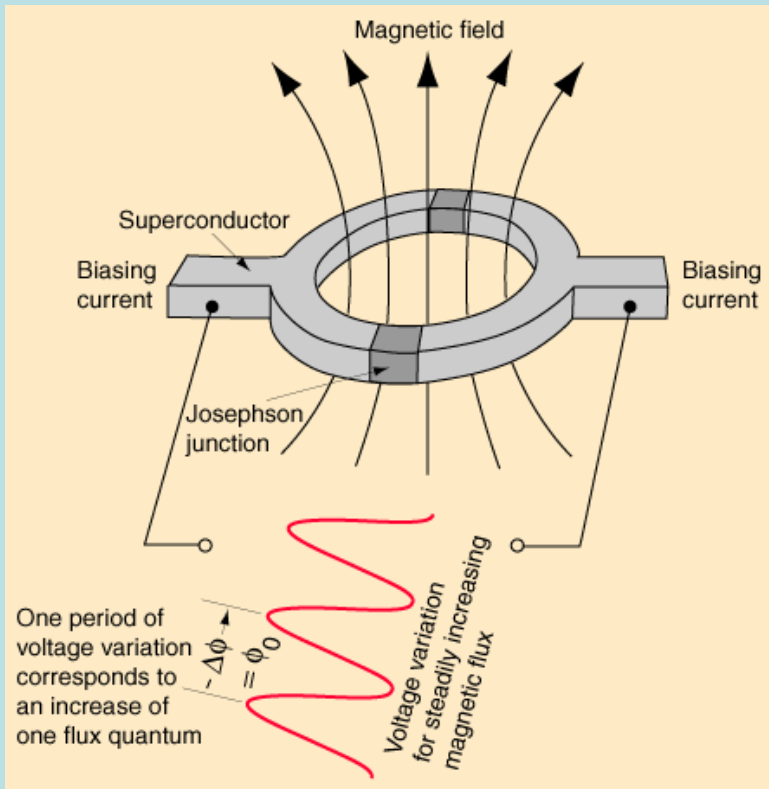
supravodič s dutinou
 - „zmrazení“ kvantovaného
 magnetického
 indukčního toku



supravodiče 2. druhu v magnetickém poli

Slabá supravodivost

Josephsonovy jevy



$$\Phi_0 = h/2.e = 2,07.10^{-15} \text{ Wb (T.m}^2\text{)}$$

$$f = 2.e.V/h$$

citlivost skvidu $\delta V/V \sim 10^{-10}$

$B \sim 10^{-14} \text{ T}$

(srdce $B \sim 10^{-10} \text{ T}$

mozek $B \sim 10^{-13} \text{ T}$)



SQUID

(Superconducting interference Device)

model hrotového skvidu

MCG - Magnetokardiografie

99 kanálů

– 33 jednotek skvidů
(2 ortogonální gradiometry + 1
magnetometr)

6 litrů LHe/den



Elekta Neuromag

MEG - Magnetoencefalografie

306 kanálů – 102 jednotky (2 ortogonální gradiometry + 1 magnetometr)

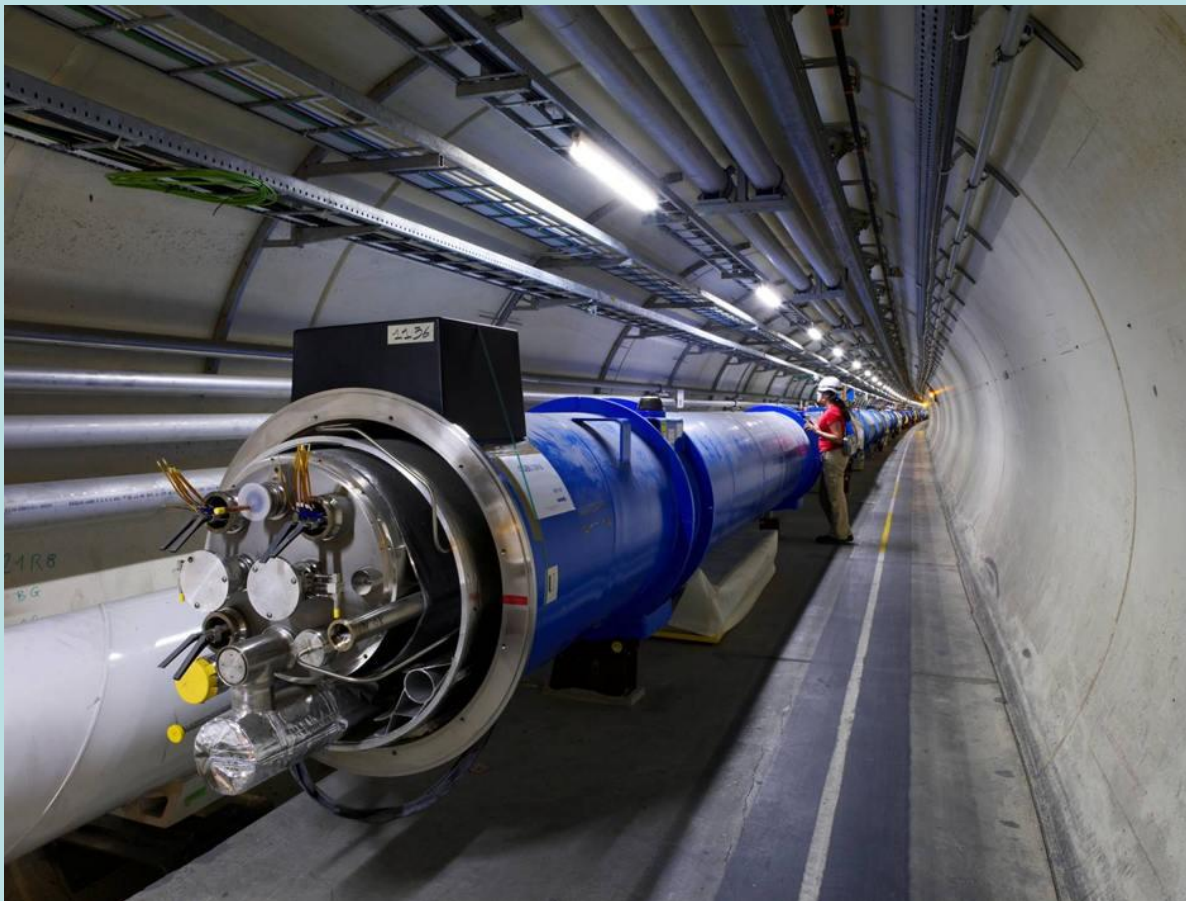
64 kanálů EEG



Elekta Neuromag



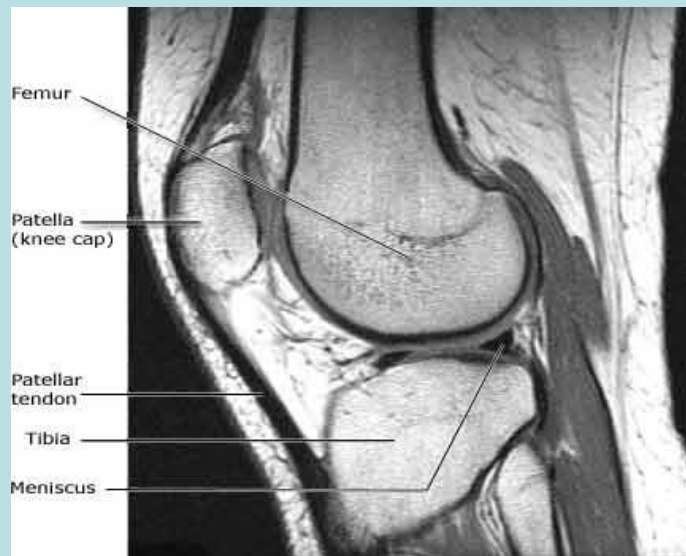
Supravodivodivé magnety



CERN LHC (obvod 27 km)
1296 dipólů (Nb-Ti) $B = 8,36 \text{ T}$; $T = 1,9 \text{ K}$



**LHC: supratekuté LHe, chladič výkon 140 kW / 4,5 K
zásoba 700 m³ LHe, 12 000 m³ LN₂ k prochlazení 31 000 t materiálu**



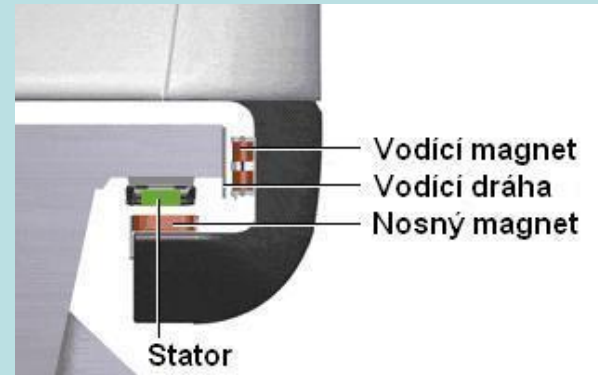
MRI – magnetická
rezonanční tomografie



Magnetické levitační vlaky

Transrapid – zkušební trať u Lathem
(BRD) – vývoj ukončen

2002 Šanghaj - komerční trať z
letišť (450 km/h)





Pudong International Airport - Shanghai



Changsha Maglev Express



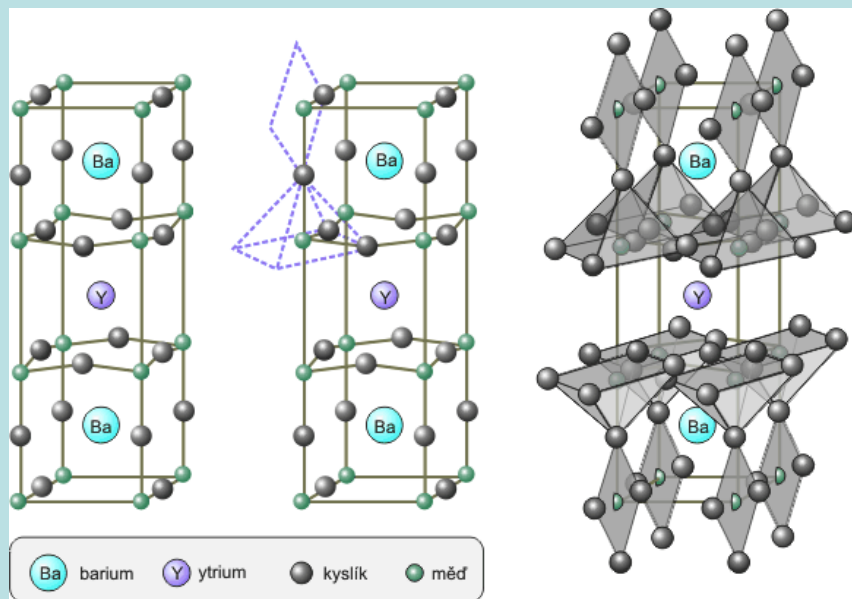
Japan Maglev 603 km/h

JR Maglev Japonsko
1996 zkušební provoz v Mayazaki
trať 7 km v Yamanashi u Tokya rekord 581 km/h (2005)



Vysokoteplotní supravodiče

1986 Muller, Bednorz, Chu
 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ $T_c = 90 \text{ K}$

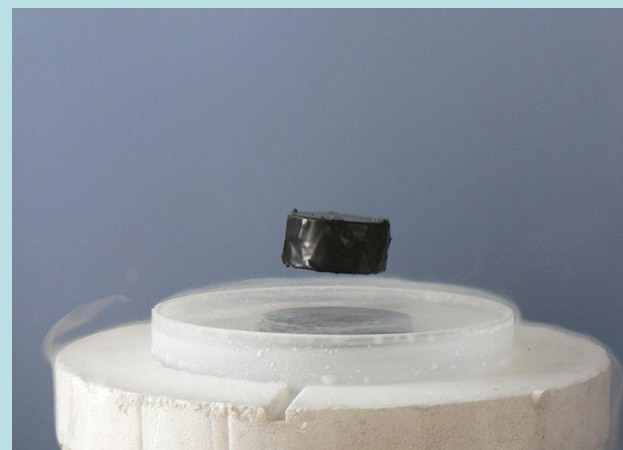


$\text{HgBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ $T_c = 134 \text{ K}$

$\text{SmO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$ $T_c = 55 \text{ K}$

$\text{PrO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$ $T_c = 52 \text{ K}$

MgB_2 $T_c = 39 \text{ K}$



levitace magnetu nad supravodičem

Děkuji vám za pozornost,

