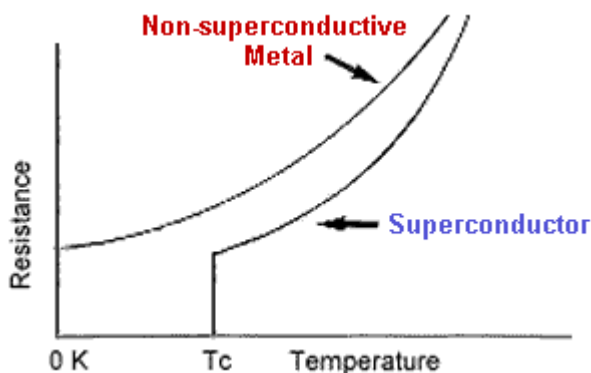


# Supravodivost

## Objev prvního supravodiče.

Supravodivost objevil v roce 1911 holandský fyzik Heike Kamerlingh Onnes tři roky poté, co se mu podařilo zkapalnit helium. Zabýval se měřením elektrického odporu rtuti a domníval se, že s poklesem teploty se bude odpor blížit nule. Ke svému překvapení zjistil, že měrný odpor vzorku rtuti klesnul na nulovou hodnotu již při teplotě 4,15K. Pod touto teplotou byl odpor skutečně neměřitelný.

Kamerlingh Onnes správně pochopil, že objevil zcela nový jev a nazval ho supravodivost. Látky, které tento jev vykazují, nazval supravodiči.



Graf závislosti odporu na teplotě

Teplota, pod kterou látka přechází do supravodivého stav, se nazývá kritická teplota  $T_c$ .

O tom, že odpor je opravdu nulový, se lze přesvědčit jednoduchým pokusem:

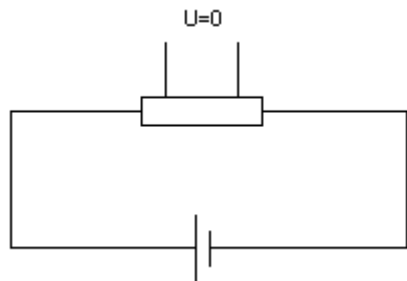
Do prstence ze supravodiče je změnou magnetického toku indukován proud.

V takovém prstenci obíhá elektrický proud po mnoho let a pokles je téměř neměřitelný.

Je-li odpor supravodiče nulový, platí, že intenzita elektrického pole uvnitř supravodiče je nulová.

$$E = 0. \quad (U=RI \quad R=0 \dots U=0 \dots E=0)$$

V tom se supravodič neliší od tzv. ideálního vodiče.



Supravodiče se dělí na dvě velké skupiny. Supravodiče I. typu (většina sv. prvků) a supravodiče II. typu (většina sv. slitin a sloučenin).

Supravodivost u látek I. typu se velmi snadno rozruší působením magnetického pole. Existuje hraniční hodnota vnějšího magnetického pole  $B_c$ , nad níž látka nemůže být v supravodivém stavu. To limituje schopnosti supravodičů I. typu přenášet větší hustoty elektrického proudu.

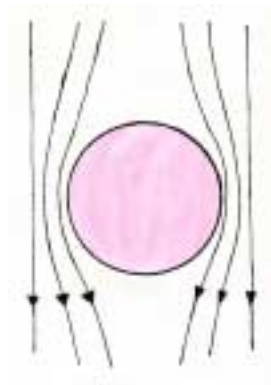
U supravodičů II. typu existují dvě hodnoty kritického pole. Dolní kritické pole  $B_{c1}$  a horní kritické pole  $B_{c2}$  (jde o hodnoty vnějšího pole!). Pro vnější pole  $B_{ext}$  menší než  $B_{c1}$  je chování stejné jako u supravodičů I. typu. Mezi  $B_{c1}$  a  $B_{c2}$  se nachází supravodič II. typu v tzv. smíšeném stavu, v němž může supravodič přenášet vysoké proudové hustoty. Magnetická pole větší než  $B_{c2}$  supravodivý stav rozrušují.

U supravodičů I. typu se pozoruje známý tzv. Meissnerův jev. (Meissner-Ochsenfeld jev 1933) spočívající ve vytlačování magnetického toku z objemu supravodiče.

Jestliže je supravodič I. typu nejprve ochlazen pod kritickou teplotu a potom zapnuto vnější magnetické pole, indukují se, podle zákona elektromagnetické indukce, povrchové proudy, které způsobí, že magnetické pole do supravodiče nepronikne. Tak se chová ideální vodič. (Naindukuje se právě tak velký proud, aby magnetické pole uvnitř bylo nulové)

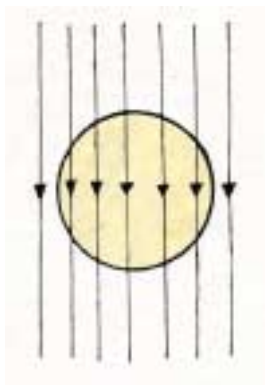


$T < T_c$   $B = 0$

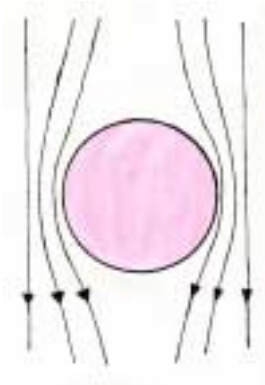


$T < T_c$   $B > 0$

Jestliže je supravodič I. typu napřed umístěn do magnetického pole a potom ochlazen, dojde k vytěsnění magnetického toku z objemu supravodiče. V tom se supravodič liší od ideálního vodiče, u kterého by po ochlazení pod kritickou teplotu magnetický tok dál procházel tělesem.



$T > T_c$   $B > 0$



$T < T_c$   $B > 0$

Uvnitř supravodiče I. typu je tedy vždy magnetická indukce  $B=0$ . (ideální diamagnet)

Další zajímavý jev u supravodičů je kvantování magnetického toku.

Uvnitř supravodivého prstence může existovat magnetický tok jenom jako násobek elementárního kvanta magnetického toku. (Vezme se prstenec, vloží se do vnějšího magnetického pole a ochladí)

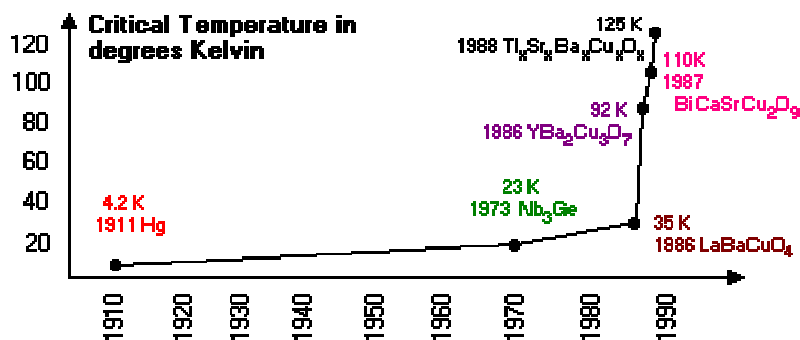
Z objemu prstence bude vytěsněno magnetické pole a v otvoru zůstane jen takový tok, který je násobkem elementárního kvanta toku.  $\Phi_0 = hc/2e$  (G\*cm<sup>2</sup>). Což je důkazem, že supravodivost je kvantový jev.

Supravodiče II typu. Ve smíšeném stavu magnetické pole proniká do objemu supravodiče ve formě vírových vláken, z nichž každé nese jedno kvantum magnetického toku. Takový supravodič může přenášet vysoké proudové hustoty, až 10<sup>6</sup> Acm<sup>-2</sup>. Nejvyšší proud, který může vodič přenášet se nazývá kritický proud I<sub>c</sub>. (Při vyšším proudu dojde k pohybu mřížky vírových vláken, vzniká napětí a supravodivost je rozrušena).

Cívka vyrobená z takového supravodiče může být zdrojem silného magnetického pole až 20T.

### Přehled supravodivých materiálů:

U nejlepších vodičů, jako je měď, stříbro a zlato, se supravodivost neprokázala, podobně u feromagnetických látek není supravodivost běžná.



Závislost nejvyšší dosažené kritické teploty supravodičů na letopočtu.

KNOWN SUPERCONDUCTIVE ELEMENTS

■ BLUE = AT AMBIENT PRESSURE  
■ GREEN = ONLY UNDER HIGH PRESSURE

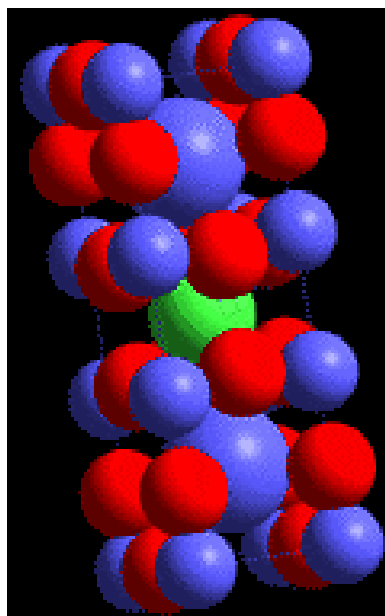
1	IA	1	H	2	0	2	He																														
2	IIA	3	Li	4	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																					
3		11	Na	12	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																					
4	IIIB	19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
5	IVB	37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
6		55	Cs	56	Ba	57	*La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn
7		87	Fr	88	Ra	89	+Ac	104	Rf	105	Ha	106	107	108	109	110	111	112																			

SUPERCONDUCTORS.ORG

*Lanthanide Series	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
+ Actinide Series	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

## Výskyt supravodivosti

Carbon (C)	15 K
Lead (Pb)	7.196 K
Lanthanum (La)	4.88 K
Tantalum (Ta)	4.47 K
Mercury (Hg)	4.15 K
Tin (Sn)	3.72 K
Indium (In)	3.41 K
$\text{Nb}_3\text{Ge}$	23.2 K
$\text{Nb}_3\text{Si}$	19 K
$\text{Nb}_3\text{Sn}$	18.1 K
$\text{Nb}_3\text{Al}$	18 K
$\text{V}_3\text{Si}$	17.1 K
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	127-128 K <sup>**</sup>
$\text{Tl}_{1.6}\text{Hg}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+}$	126 K
$\text{TlBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{9+}$	123 K
$\text{Hg}_{0.8}\text{Tl}_{0.2}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8.33}$	138 K <sup>*</sup> rekordní teplota
$\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$	133-135 K
$\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	94 K
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+}$	93 K
$\text{La}_{1.85}\text{Ba}_{1.5}\text{CuO}_4$	30 K První objevený vysokoteplotní supravodič Bednorz a Müller 1986



Krystalová struktura  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+}$

### Teorie supravodivosti.

Vznikla až v roce 1957 a na vysokoteplotní supravodiče se hodí jen z části.

Vytvořili ji Bardeen, Cooper a Schrieffer. Základní představou je párování elektronů vznikající ze vzájemného působení vodivostních elektronů a krystalové mřížky. Páry vodivostních elektronů se

nazývají Cooperovy páry a mohou se všechny nacházet v jednom základním stavu – makroskopický kvantový stav.

## Aplikace

1. Zdroje silného magnetického pole tzv. supravodivé magnety.

(kapalným heliem chlazené cívky vyrobené ze supravodivých kabelů ze slitiny NbTi niob-titan nebo ze sloučeniny Nb<sub>3</sub>Sn) – slouží jednak ke vědeckým účelům. např. Jako zdroje magnetického pole v prstencích urychlovačů. Ale zejména v lékařství, jako zdroje mag. pole u tomografů jaderné magnetické rezonance (MRI-magnetic resonance imaging)

MRI se využívá pro diagnostiku měkkých tkání na rozdíl od rentgenové tomografie, která je vhodná na diagnostiku tkání, které obsahují prvky s vyšším protonovým číslem.

(MR je absorpce vysokofrekvenčního záření způsobená precesí magnetického momentu jader ke které dochází pro určitou hodnotu magnetického pole a frekvence záření. Pomocí této metody se měří hustota protonů v určité rovině v těle pacienta.)

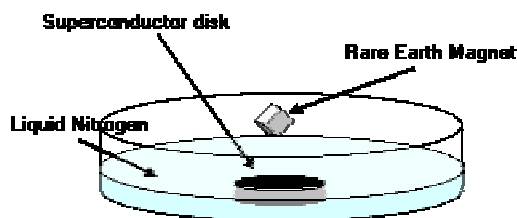
Přístroje MR se supravodivými magnety se používají také pro chemickou analýzu.

Každá látka má charakteristické spektrum.

2. Přesné přístroje na měření velmi slabých magnetických polí. Jde o tzv. supravodivé kvantové magnetometry(SQUID-superconducting quantum interference device) které využívají kvantování magnetického toku a další vlastnosti supravodičů (Josephsonův jev). Lze měřit magnetická pole řádově 1 fT( $10^{-15}$ T..o 10 řádů nižší, než zemské mag. pole), např.Magnetické pole, které vzniká při činnosti lidského mozku (Magnetoencefalograf) Touto metodou byla lokalizována centra určitých činností. A přispělo k výzkumu epilepsie.

Používá se rovněž k určování přesných hodnot fyzikálních konstant např. Planckovy.

3. Magneticky nadnášený vlak, Maglev, může konkurovat letecké dopravě na tratích do 800km.



**The Meissner Effect**

