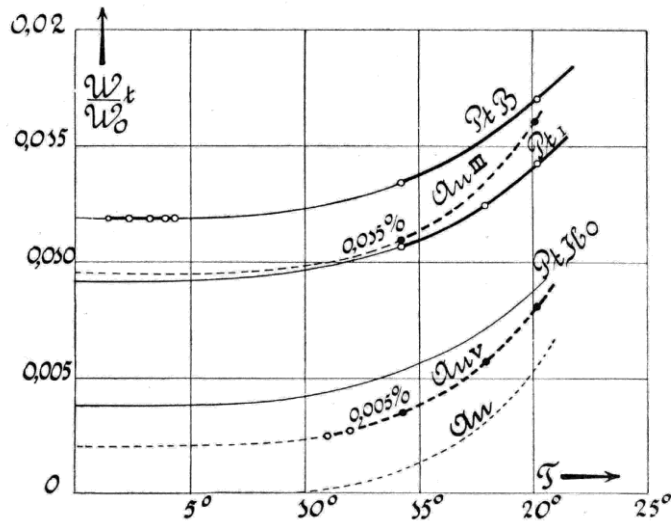


# Sto let supravodivosti

U3V

ZS 2017/2018

M. Rotter KFNT



**2 teorie teplotní závislosti odporu kovů v blízkosti absolutní nuly**

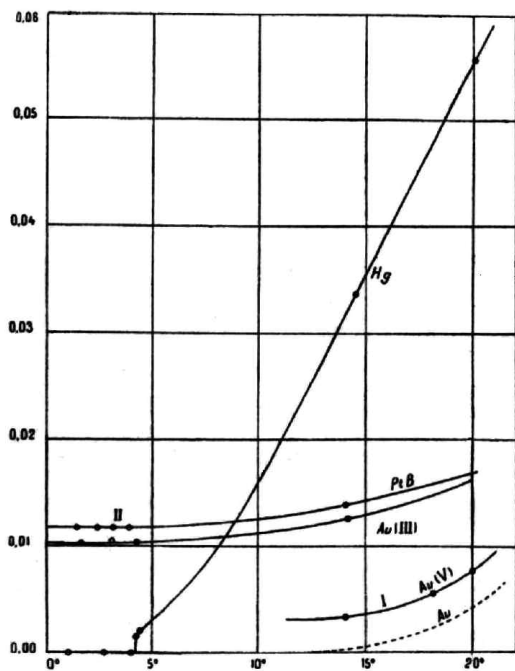
- Paul Drude – z kinetické teorie plynů
- lineární pokles odporu k nule
- lord Kelvin – zamrznání pohybu elektronů
- nekonečný odpor

potvrzuje  
Matthiessenovo pravidlo

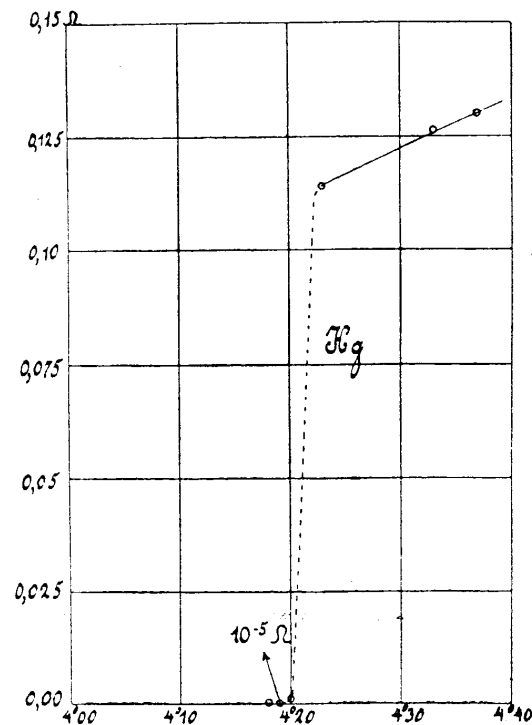
$$\rho = \rho_i + \rho(T)$$

$\rho_i$  – měrný odpor způsobený nečistotami, závisí na koncentraci příměsí

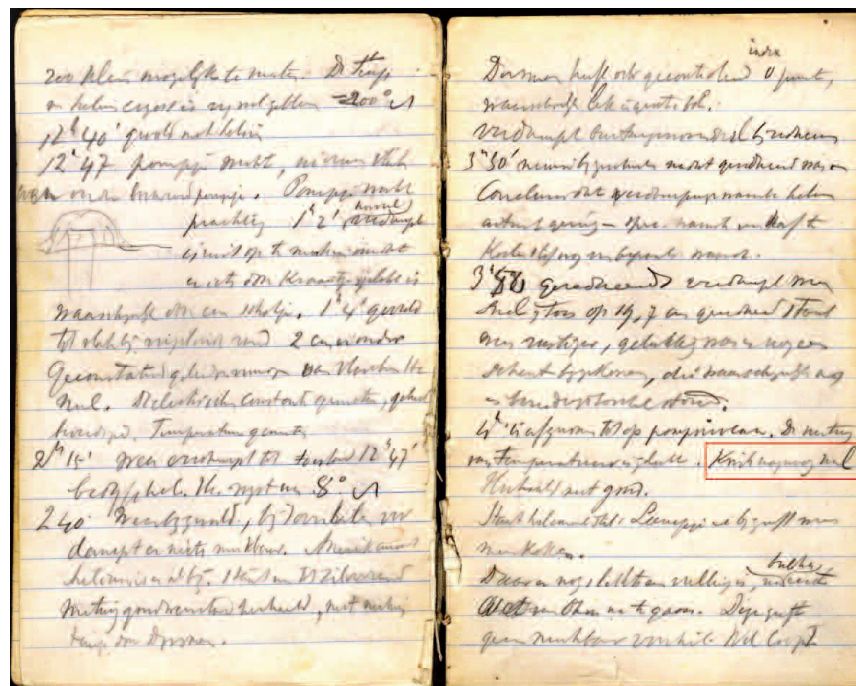
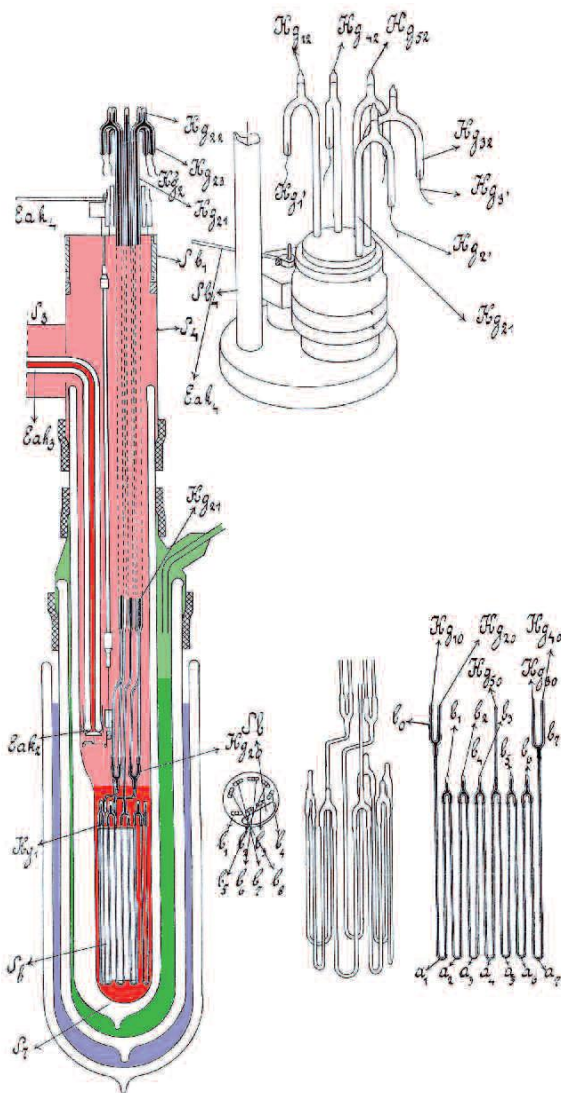
měření v čerpaném  $H_2$  do 14 K  
2. prosince 1910 – první měření  
odporu platiny v kapalném He pod 4,3 K



výjimečné chování Hg  
ve srovnání s Pt, Au a Ag



záznam měření z 26. 11. 1911  
potvrzení supravodivosti Hg



zápis v pracovním deníku  
ze dne 8. dubna 1911  
„Kwik nagenoeg nul“  
(Odpor rtuti je téměř  
nulový)

He – červená  
H<sub>2</sub> – zelená  
kap. vzduch - modrá

7 skleněných kapilár tvaru U – vrcholné dílo skláře Kesselinga  
zapojených do série - vnitřní ø 0,07 mm

# Supravodivost

1911 Heike Kamerlingh - Onnes

supravodiče 1. druhu

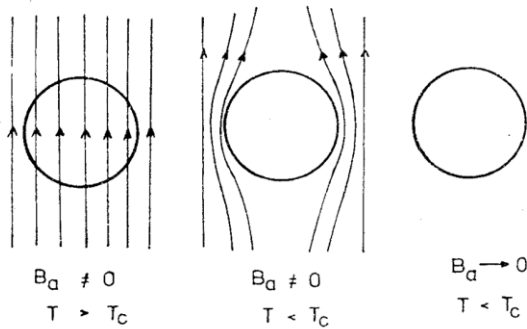
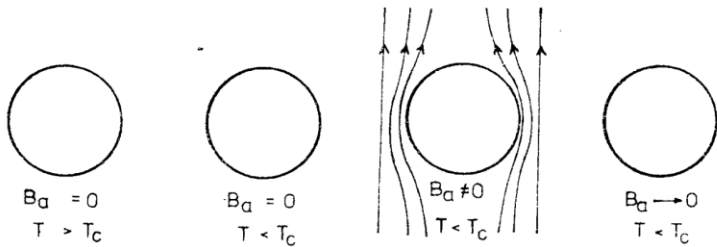
další supravodivé kovy – cín a olovo



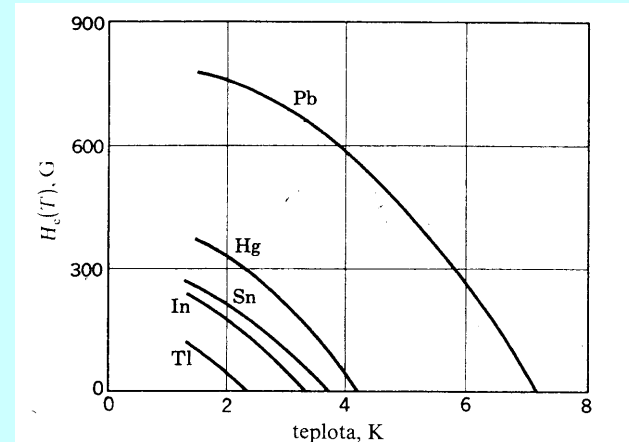
pásek odrýpnutý z válečku ( $1/70 \text{ mm}^2$ )  
spájený do délky 1,75 m, izolovaný hedvábím  
navinutý na skleněném válci  
kritický proud podstatně menší než  
u přímého vzorku

Látka	$T_c$ [K]	Štruktúra	Látka	$T_c$ [K]	Tlak [ $10^6 \text{ MPa}$ ]
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			

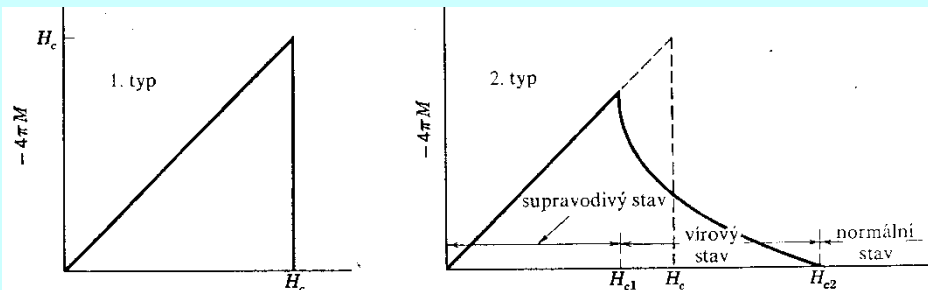
# 1933 Meissnerův – Ochsenfeldův jev



supravodič 1. druhu  
-ideální diamagnetikum  
-levitace



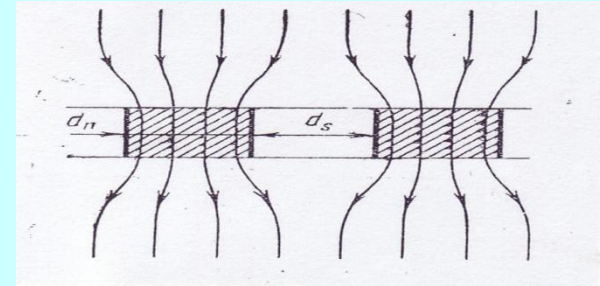
supravodivost v magnetickém poli



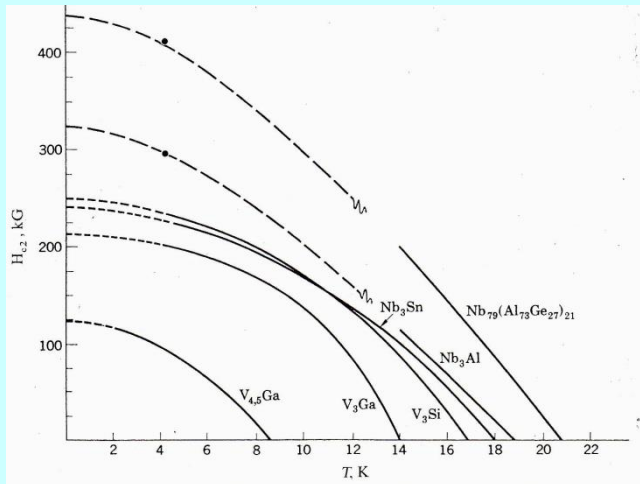
magnetizace supravodiče 1. a 2. druhu

# 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

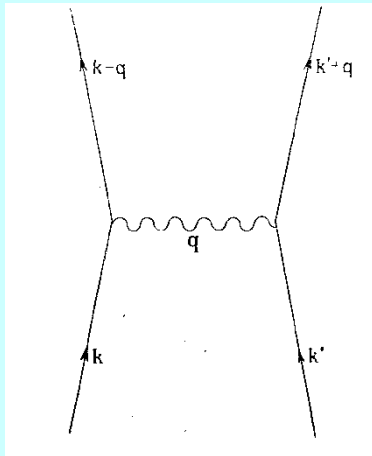


supravodiče 2. druhu v magnetickém poli

do otvoru v supravodiči  
 (vícenásobně souvislá oblast)  
 se zachytí magnetický indukční tok  
 v celočíselných násobcích  $\Phi_0$

# 1957 Bardeenova – Cooperova – Schriefferova teorie

párování elektronů prostřednictvím výměny virtuálního bozonu (kmitů mřížky)  
- Cooperovy páry – základní energetický stav

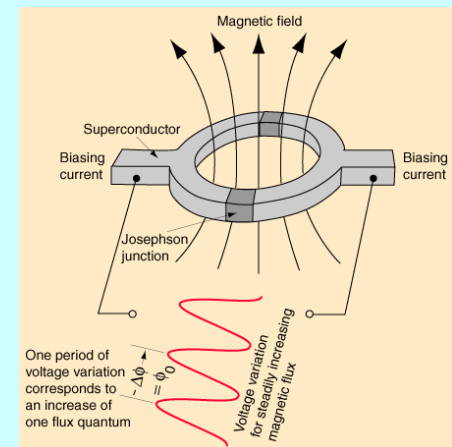


slabá supravodivost - Josephsonovy jevy  
 $\Phi_0 = 2,05 \cdot 10^{-15} \text{ Wb}$

## SQUID – Superconducting Quantum Interference Device

- čidlo magnetického pole s vysokou citlivostí  $< 10^{-2} \Phi_0$

magnetické pole srdce  $\sim 5 \cdot 10^{-11} \text{ T}$   
magnetické pole mozku  $\sim 10^{-12} \text{ T}$





# Využití slabé supravodivosti

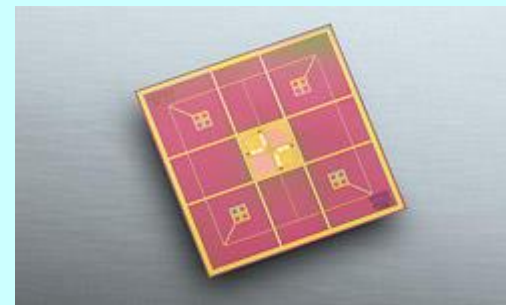


MEG - magnetoencefalograf

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



model vysokofrekvenčního skvidu

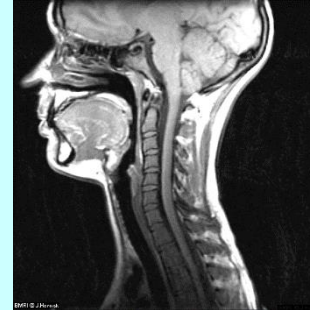


jednotka skvidů

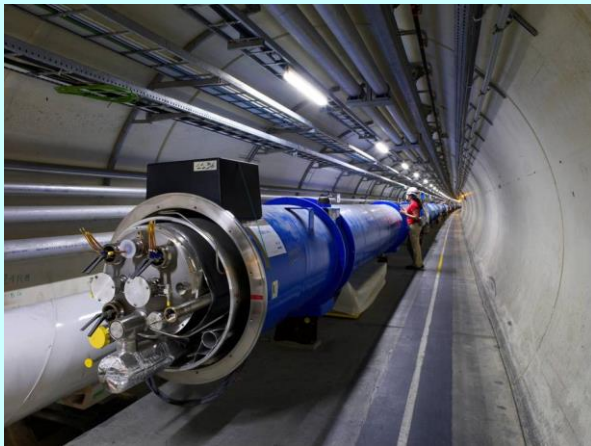
# Využití supravodivosti



**MRI – rezonanční tomografie**



**B = 0,5 – 1,5 T - perzistentní mód**  
uzavřený chladicí okruh, autonomie ~ 3 měsíce



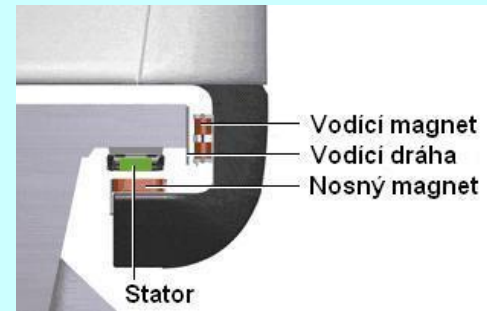
**CERN – LHC**

1296 dipólů (Nb-Ti) B = 8,36 T; T = 1,9 K



**supratekuté LHe**, chladicí výkon 140 kW / 4,5 K  
zásoba 700 m<sup>3</sup> LHe (87,5 t)

# Využití supravodivosti - levitační vlaky



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



**JR Maglev Japonsko**  
1996 zkušební provoz  
v Mayazaki

**1996 zkušební provoz v Mayazaki**  
trať 7 km v Yamanashi u Tokya rekord **581 km/h (2005)**<sub>1</sub>

# Vysokoteplotní supravodiče

1986 Müller, Bednorz, Chu

$\text{YBa}_3\text{Cu}_3\text{O}_7$  90 K

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

