

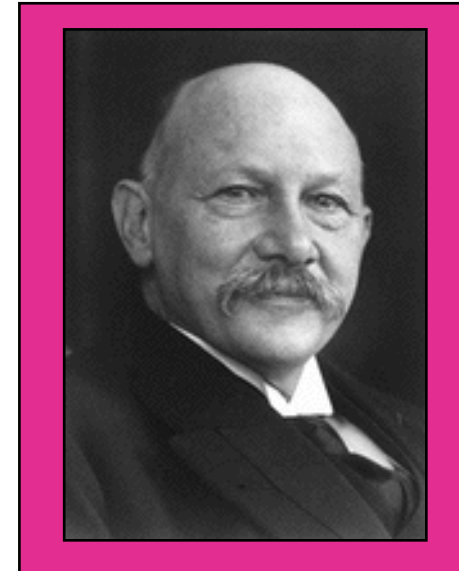
Supercondutividade

Conceitos básicos

A descoberta da supercondutividade

1911

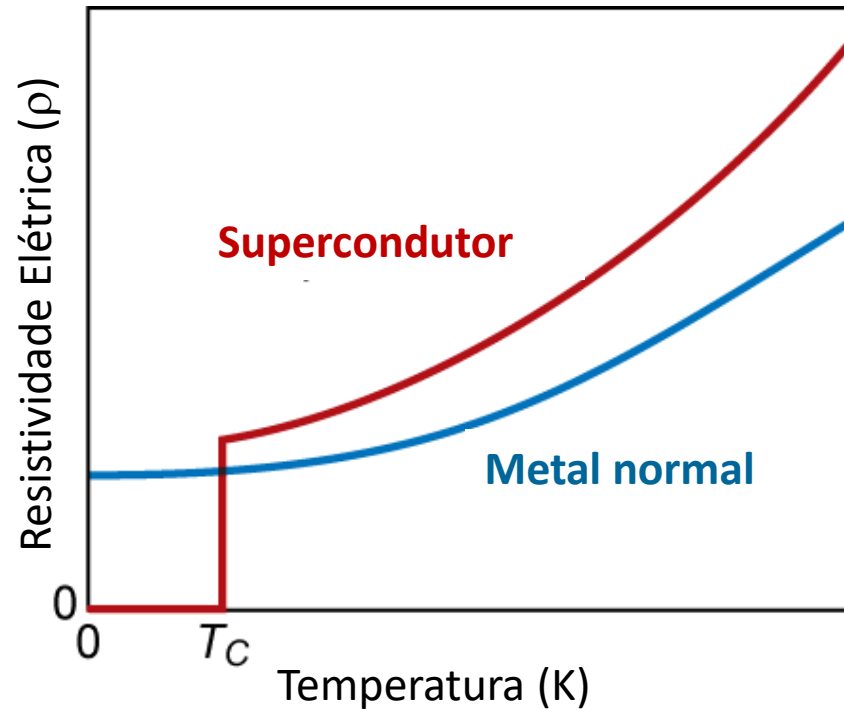
- 1908 – Liquefez o He
- 1911 - Descobriu a supercondutividade em Hg
- 1913 – Recebeu o Prêmio Nobel



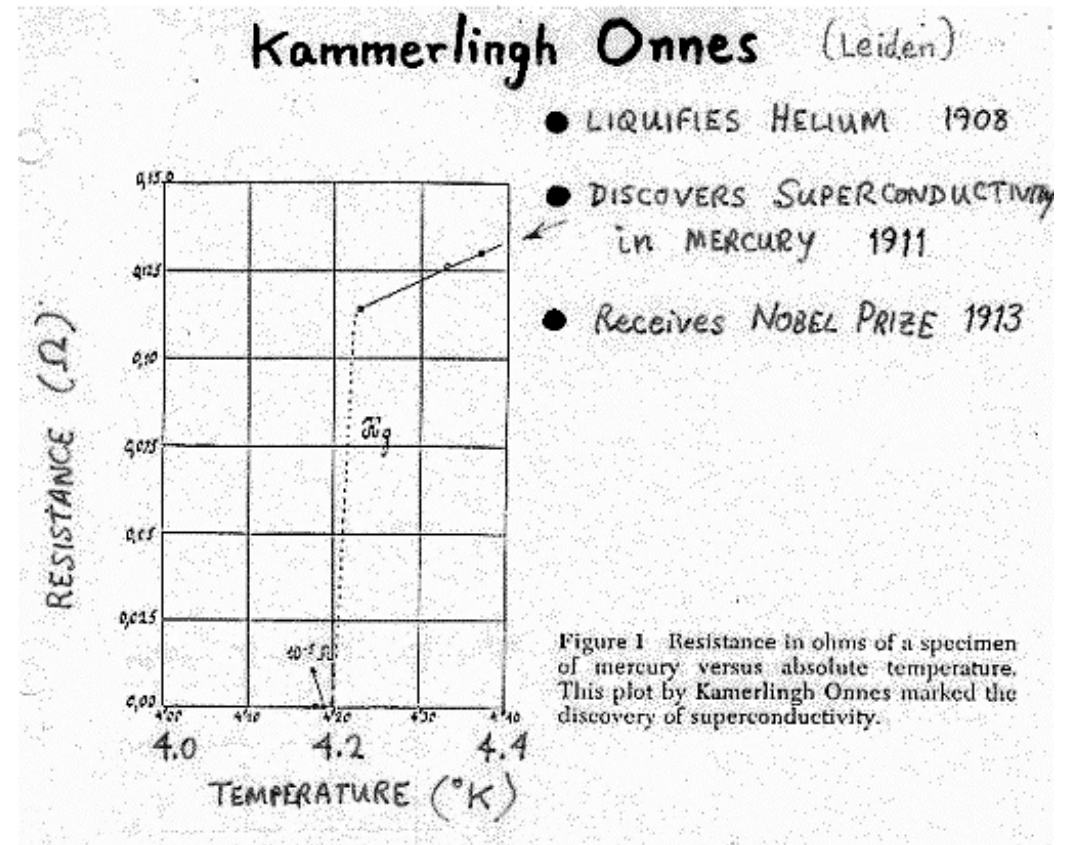
Kammerlingh Onnes
(1853 – 1926)

Temperatura Crítica - T_c

Resistividade elétrica nula

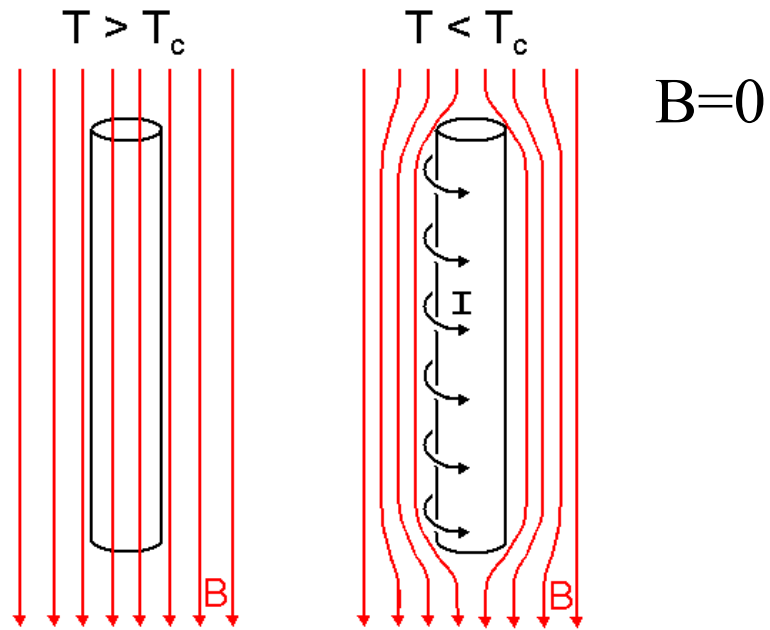


- $T < T_c$ - estado supercondutor
- $T > T_c$ - estado normal



Efeito Meissner - Ochsenfeld

Supercondutor “expele” o campo magnético do seu interior



Estado normal

Estado supercondutor



Efeito Meissner = Diamagnetismo Perfeito

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M$$

$$M = -H$$

A magnetização em supercondutores **não** ocorre devido a momentos magnéticos dos elétrons!!!!

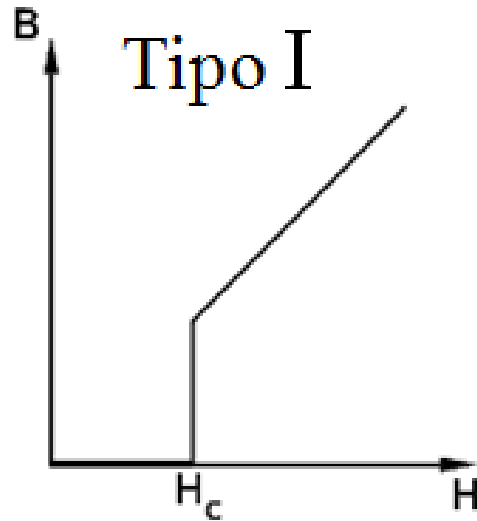
- A magnetização é devido à corrente superficial que é induzida na superfície do material → induz um campo contrário ao campo aplicado, que **não deixa** o campo externo penetrar ($B=0$).
- A **resistência nula** permite que estes **valores de corrente sejam extremamente altos**, mas limitados por um valor chamado de corrente crítica I_c .



Tipos de Supercondutores

$$T < T_c$$

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M$$

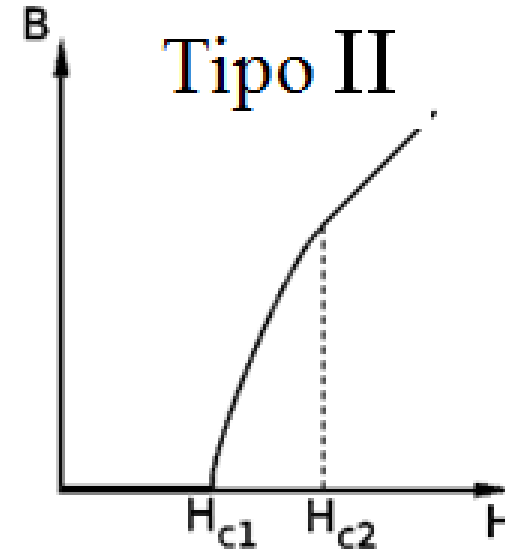


Tipo I

Tipo I

$M = -H$ para $H < H_c$

$M \cong 0$ para $H > H_c$



Tipo II

Tipo II

$M = -H$ para $H < H_{c1}$

$M \cong 0$ para $H > H_{c2}$

$H > H_c$ ou $T > T_c \rightarrow$ paramagnético

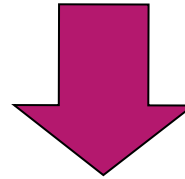


E como seriam as curvas M vs H?



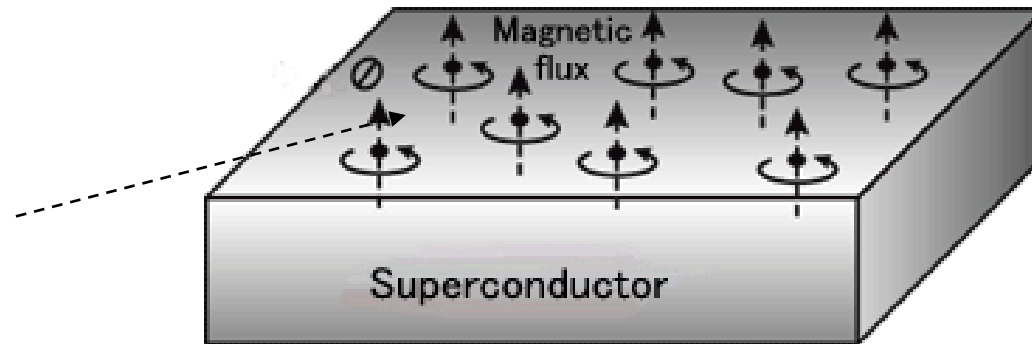
Penetração parcial de campo

$$H_{c1} < H < H_{c2}$$



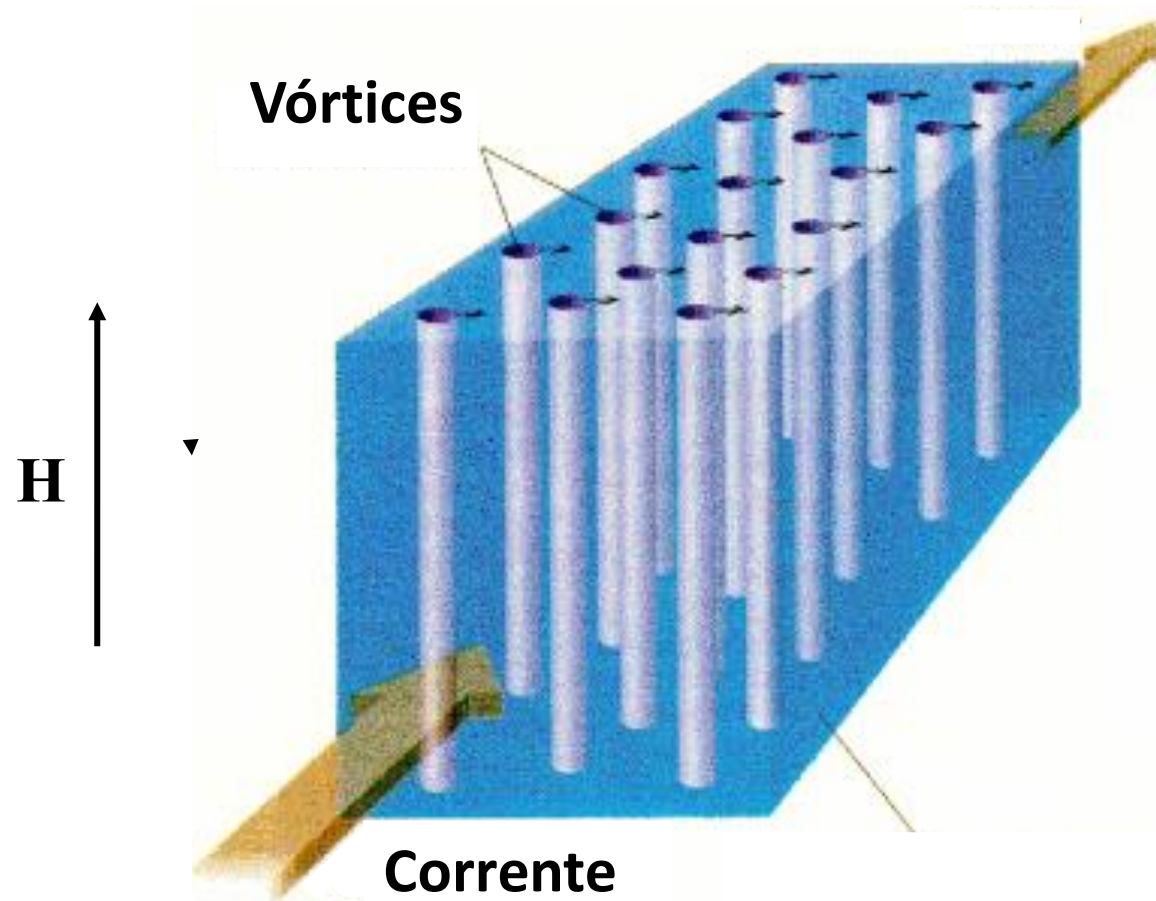
Estado misto
Tipo II

Vórtices
ou
Linhas de fluxo

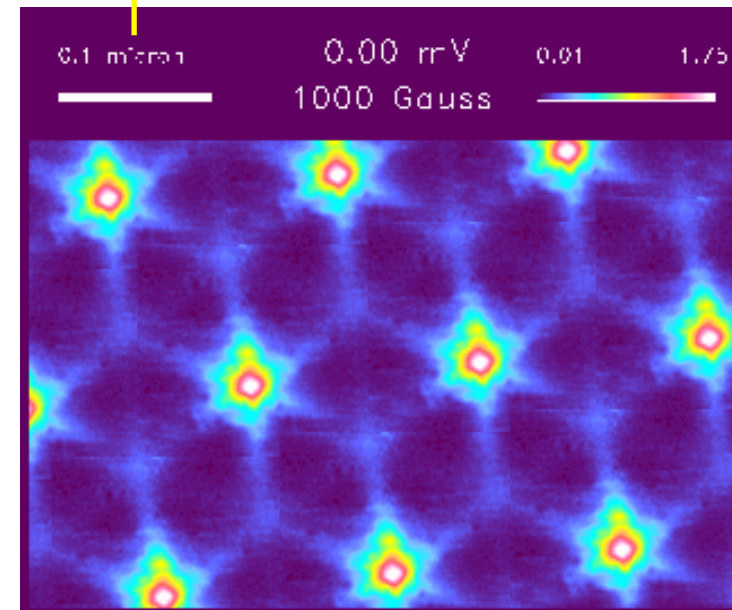


Supercondutores tipo II

VÓRTICES



0.1 micron = 1×10^{-4} mm



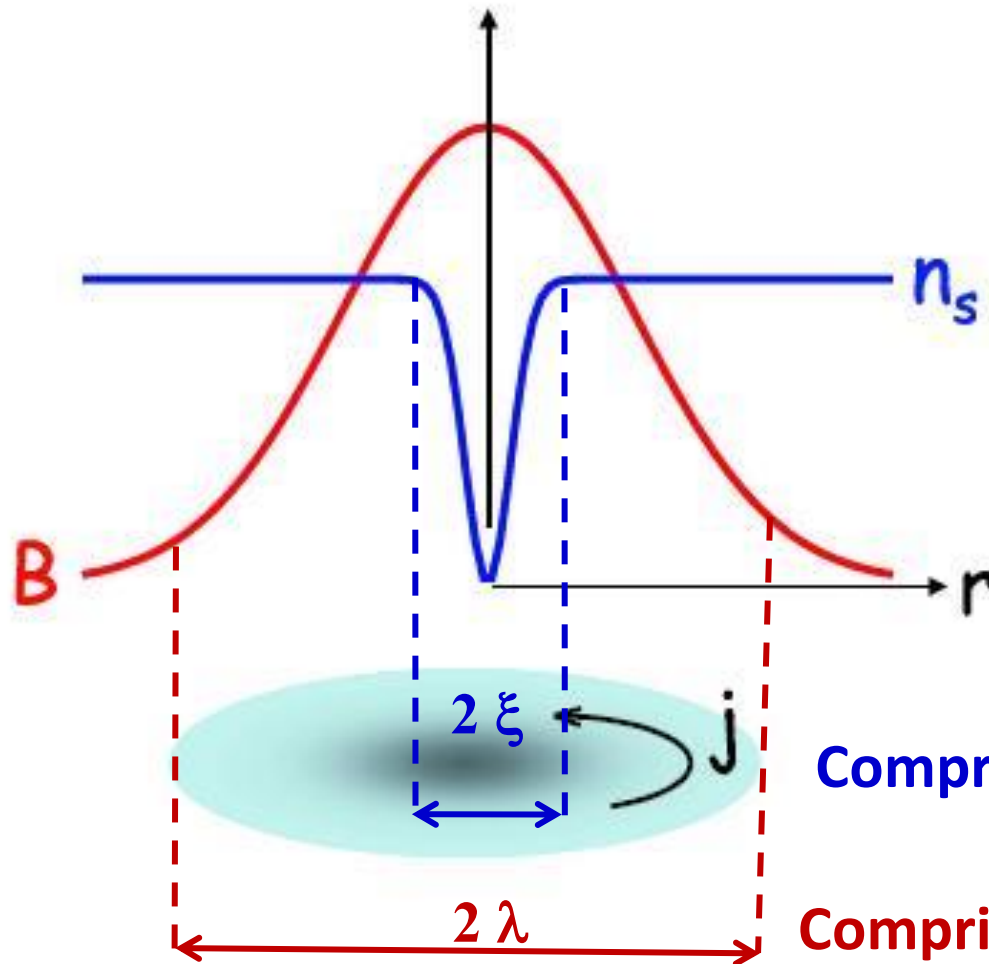
Rede bidimensional hexagonal



Vórtices – Linhas de Fluxo - Fluxóides

Núcleo no estado “normal”: **diâmetro** = 2ξ

$$n_s = |\psi|^2$$



Parâmetro de ordem,
densidade de elétrons
supercondutores

Comprimento de coerência = 2ξ

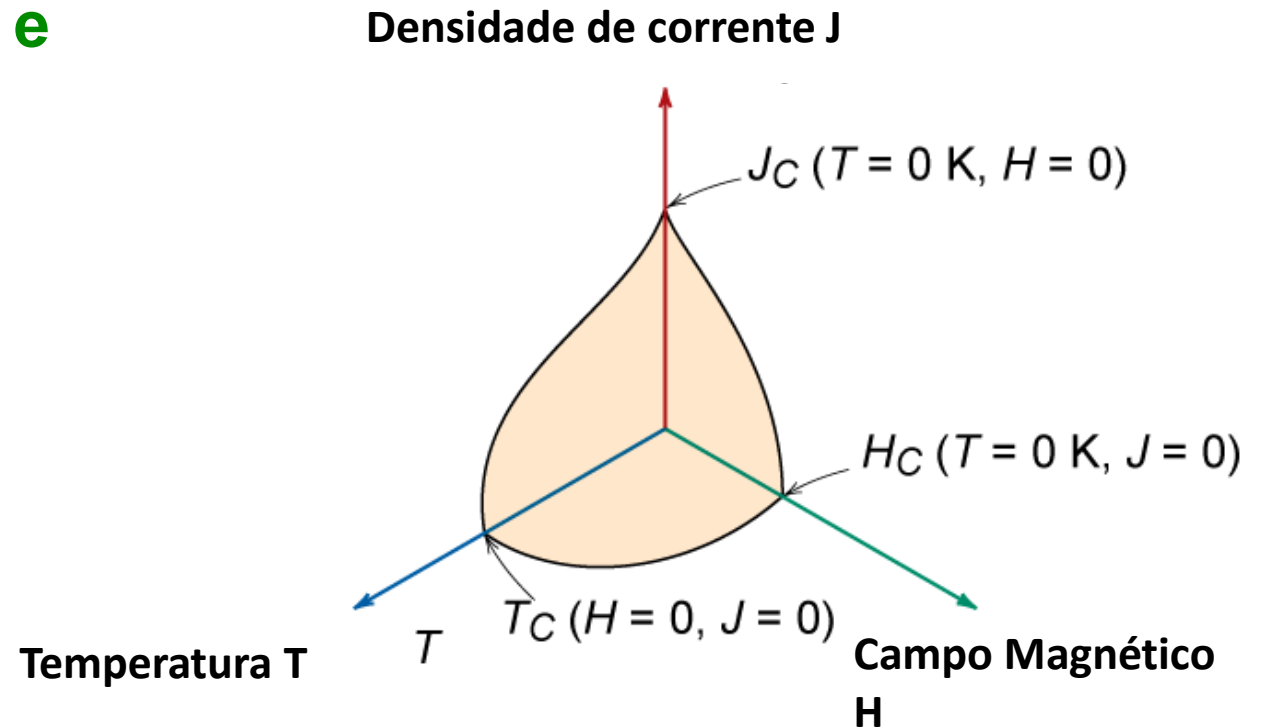
Comprimento de penetração do campo = 2λ

Limites da Supercondutividade

- **Parâmetros Críticos**

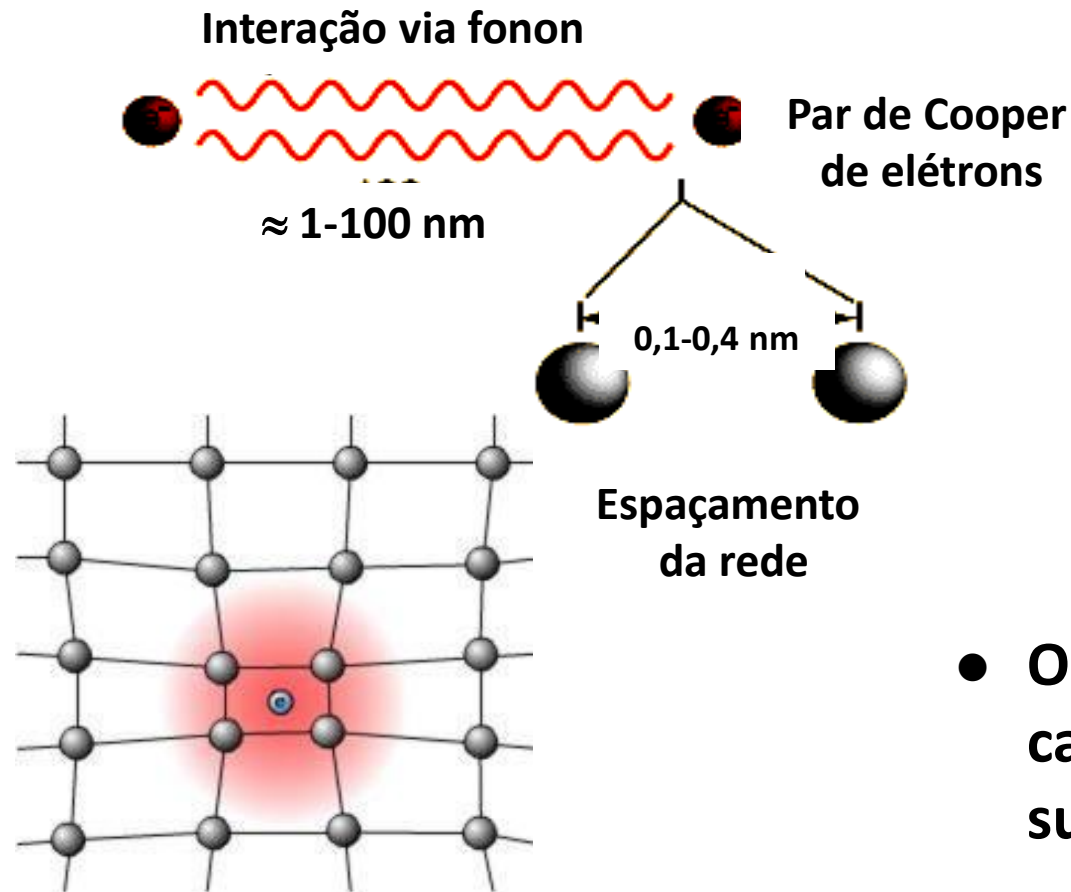
- **Temperatura Crítica: T_c**
- **Campo Crítico: H_c (tipo I), H_{c1} e H_{c2} (tipo II)**
- **Densidade de Corrente Crítica: J_c**

$$H_{c2} = H_{c2}^0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right]$$



Origem Quântica da Supercondutividade

- Interação **atractiva** elétron-elétron mediada por fônons
- Pares de Cooper - Teoria BCS (1957)



J. Bardeen, L. Cooper e R. Schrieffer

- Os pares de elétrons são os portadores de carga nestes materiais no estado supercondutor.

Elemento **T_c (K)**

Al	1.18
Ga	1.09
Hg	4.15
In	3.4
La	5.9
Mo	0.92
Nb	9.2
Pb	7.2
Ru	0.49
Sn	3.7
Ta	4.39
Ti	0.39
V	5.3
Zn	0.85
Zr	0.55

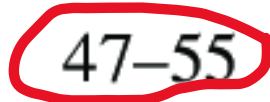


Material	T_c [K]
Nb-Ti alloys	~ 9.6
Nb ₃ Sn	18.1
Nb ₃ Ge	23.2
Y ₁ Ba ₂ Cu ₃ O _{7-x} (YBCO)	90
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₁ Cu ₂ O (Bi2212)	80
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O (Bi2223)	125



High T_c superconductors

Material	T_c (K)
<i>R</i> FeAs(O, F) (<i>R</i> =Nd, Sm)	47–55
(Ba, K)Fe ₂ As ₂	37–38
Ba(Fe, Co) ₂ As ₂	22–25
BaFe ₂ (As, P) ₂	30–31
Fe(Se, Te)	14–16



BCS prevê máximas $T_c \approx 30-40\text{K}$

Para $T > 30 - 40 \text{ K}$ a energia térmica bloquearia a interação elétron-fônon.

Qual o mecanismo que resulta em supercondutividade nos High T_c ??

Ainda há muita controvérsia

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ e $\text{La}_{(2-x)}\text{Sr}_x\text{CuO}_4 \rightarrow$ Excesso de cargas positivas \rightarrow *supercondutor tipo-p*;

$\text{La}_2\text{CuO}_{(4+x)} \rightarrow$ excesso de elétrons \rightarrow *supercondutor tipo-n*.



Teorias relacionadas com Supercondutores High T_c

1. Resonating valence bonds
2. Spin fluctuations
3. Stripes
4. Anisotropic phonons
5. Bipolarons
6. Excitons
7. Kinetic Energy lowering
8. d-density wave
9. Charge fluctuations
10. Flux phases
11. Gossamer
superconductivity
12. Spin bags
13. SO(5)
14. BCS/BEC crossover
15. Plasmons
16. Spin liquids

Para não citar ...

Interlayer tunneling

Marginal Fermi liquid

van Hove singularities

Quantum critical points

Anyon superconductivity

Slave bosons

Dynamical mean field theory

