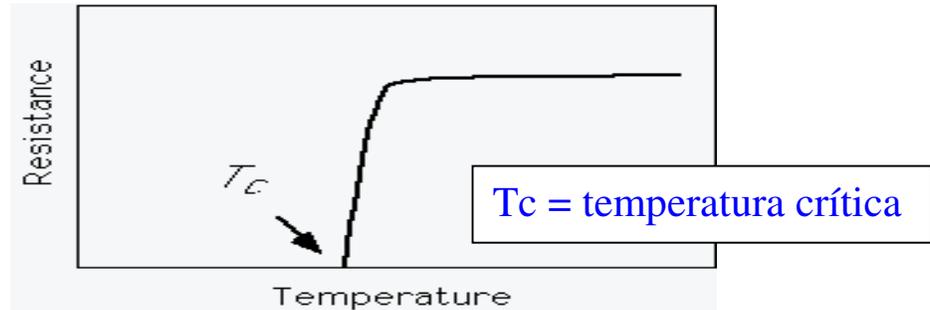




2.6 SUPERCONDUCTORES

2.6.1 SUPERCONDUCTIVIDAD



HEIKE
KAMERLINGH
ONNES



JOHN BARDEEN,
LEON COOPER, Y
JOHN SCHRIEFFER



ALEX MÜLLER Y
GEORG BEDNORZ

2.6.2 LA HISTORIA

- **Descubrimiento: fue resultado de estudio de propiedades de los gases**
 - 1845 solidificación CO_2 (Faraday) (195 K)
 - 1877 solidificación aire (Pictet, Cailletet) (O_2 : 90 K / N_2 : 77 K)
 - 1892 invención termo Dewar (James Dewar)
 - 1898 licuifacción H_2 (Dewar) (20 K)
 - 1907 cálculo de licuifacción del He (Onnes)

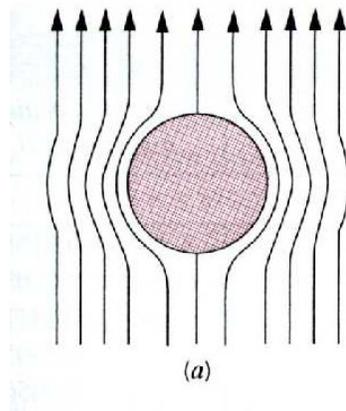
- 10/7/1908 primera muestra de He líquido (4K)
- Onnes continuó investigando $\rho=\rho(T)$
 - Existían 3 teorías para $\rho(T \rightarrow 0)$
 - Dewar: $\rho(T \rightarrow 0K) \rightarrow 0$
 - Lord Kelvin: ρ alcanza mínimo y luego \uparrow (e- se congelan al átomo)
 - Matthiesen: $\rho(T \rightarrow 0K) \rightarrow \rho_0$ (impurezas) (basado en teorías de Drude y Lorentz)
 - Confirmó teoría de Matthiesen: Au, Pt, ...
 - ... 1911 Hg ! $\rho(4 K) \rightarrow 0$
1913 Premio Nobel de Física !



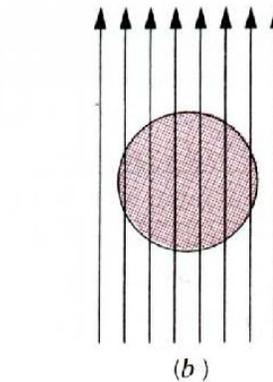
2.6.3 EFECTO MEISSNER (-OCHSENFELD)

- **Leyes de Maxwell en conductor perfecto con H (externo):** produce flujo opuesto para contrarrestar el flujo.
- Si superconductor fuera conductor perfecto:
 - $H=0$ para $T=T_{amb} \rightarrow T < T_c \Rightarrow$ se aplica $H > 0$
Efecto: repulsión del campo magnético

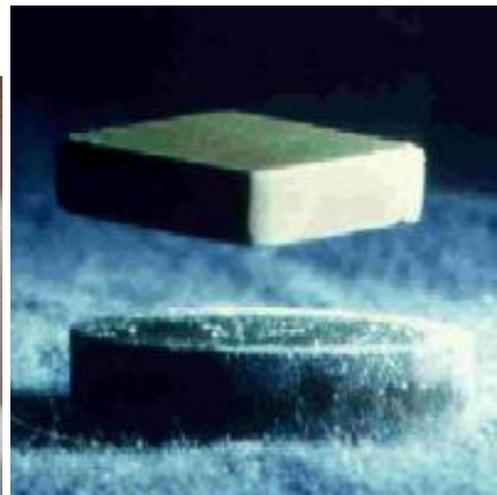
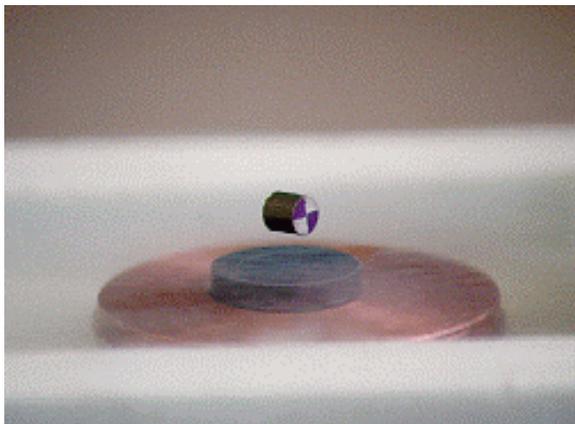
- $H > 0$ para $T = T_{\text{amb}} \rightarrow T < T_c \Rightarrow H$ penetra el material \Rightarrow flujo magnético atrapado
Efecto: no es posible levitar el material
- 1933, Berlín, Walther Meißner & Robert Ochsenfeld:
- Superconductor repele campo magnético sin importar si se aplica antes o después de T_c .
- Conocido como **efecto Meissner**.



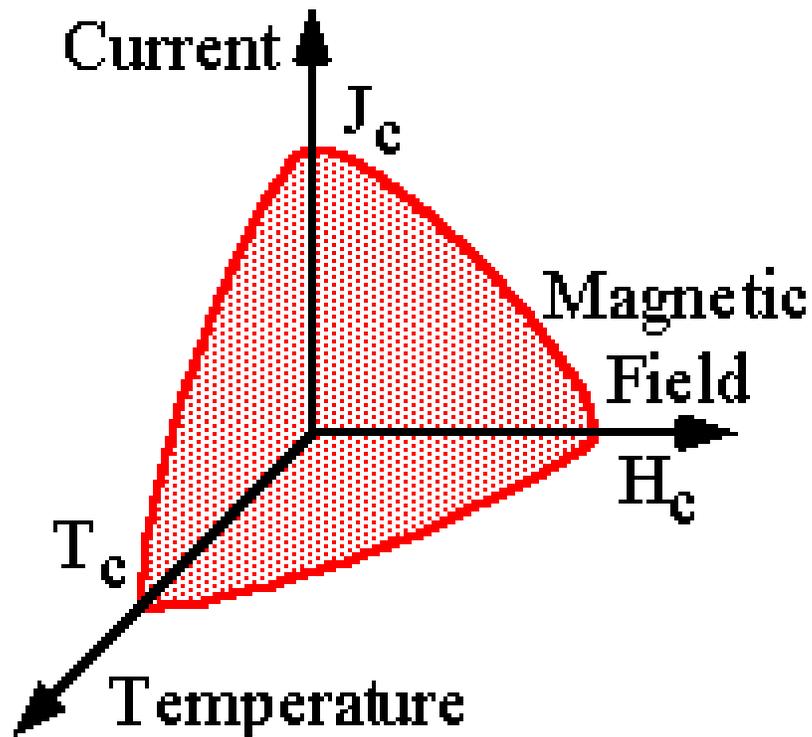
$T < T_c$



$T > T_c$



2.6.4 CAMPO MAGNÉTICO CRÍTICO

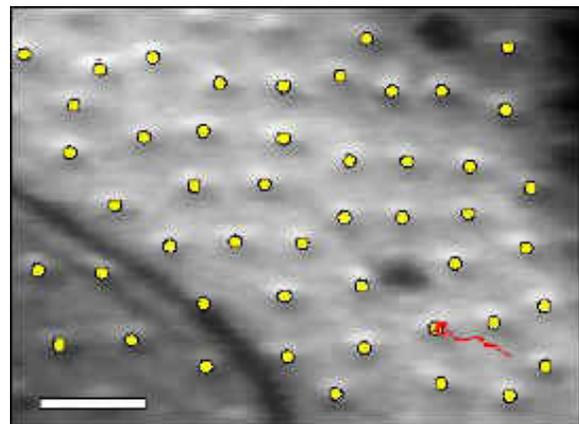
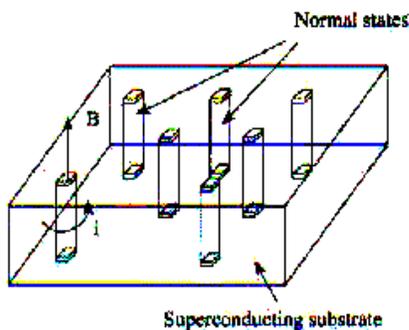


Material	H_c [$A\cdot m^{-1}$]	T_c [K]
Nb_3Ge	40	23
$(La,Sr)CuO_4$	130	39
$YBa_2Cu_3O_{7-x}$	320	93

2.6.5 SUPERCONDUCTORES TIPO II

- Superconductores originales son Tipo I:
Hg, Al, Zn
 - A $T < T_c$ y si $H < H_c$
 $\Rightarrow \rho = 0$ y diamagnetismo perfecto
 - A $T < T_c$ y si $H > H_c$
 $\Rightarrow \rho > 0$ y hay penetración del flujo

- **Superconductores Tipo II: 2 campos críticos** (H_{c1} y H_{c2})
 - $T < T_c$
 - Si $H < H_{c1}$
 - $\Rightarrow \rho = 0$ y diamagnetismo perfecto (**idem I**)
 - Si $H > H_{c2}$
 - $\Rightarrow \rho > 0$ y hay penetración del flujo (**idem I**)
 - Si $H_{c1} > H > H_{c2}$
 - $\Rightarrow \rho = 0$ y hay penetración de flujo parcial (**solo II**)
 - 1957, descubierto por físico soviético Abrikosov
 - Si $H_{c1} > H > H_{c2}$: estado de vórtices
 - Núcleos de material “normal” ($\rho > 0$)
 - Rodeados de material superconductor
 - Se crean corrientes cuantizadas alrededor de núcleos.
 - Si $H \uparrow \Rightarrow$ aumenta N° de núcleos “normales”
 - Si H crece hasta $H_{c2} \Rightarrow$ no caben más vórtices \Rightarrow desaparece SC



Vórtices en película de Nb a 4,5 K (1998)

2.6.6 TEORÍA BCS

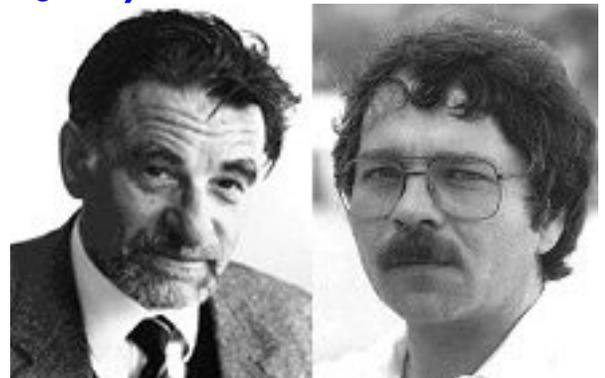
- 1957, establecen modelo para explicar la superconductividad.
- 1972, Premio Nóbel de Física.
- En SC electrones forman pares: pares de Cooper
- No puede predecir qué materiales si y cuales no



JOHN BARDEEN, LEON COOPER, Y JOHN SCHRIEFFER

2.6.6 SUPERCONDUCTORES DE ALTA Tc

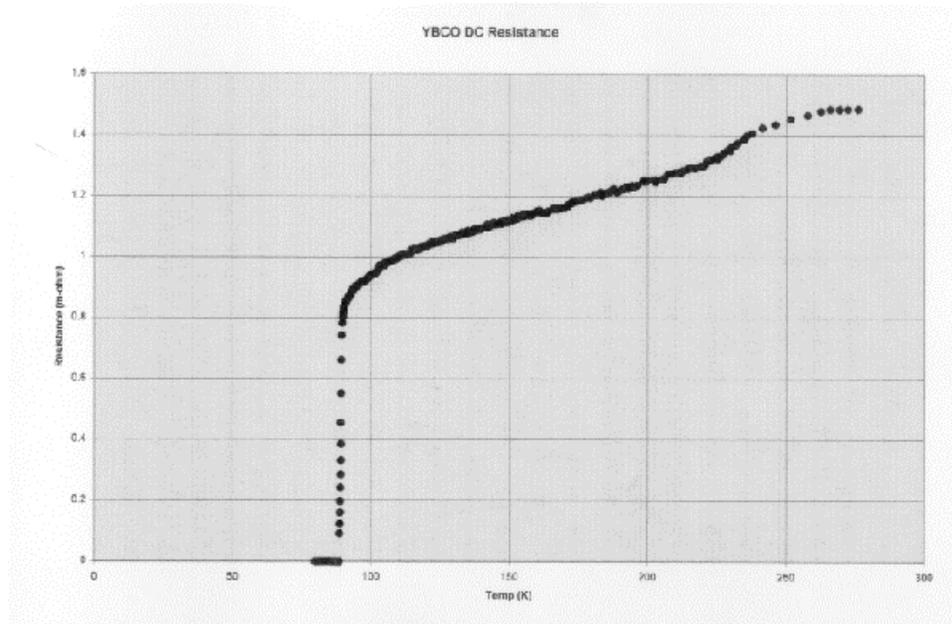
- Hasta 1986: $(T_c)_{\max}=23\text{ K}$ (Nb_3Ge)
- 1986, IBM, Suiza, Bednorz & Müller
- $\text{La}_{1,85}\text{Ba}_{0,15}\text{CuO}_4$, $T_c=30\text{K}$!
- Descubren nuevo tipo de superconductor
- 1987, Premio Nóbel de Física



ALEX MÜLLER Y GEORG BEDNORZ

- 1987, Paul Chu @ University of Alabama, Huntsville, descubre 123 (YBCO),

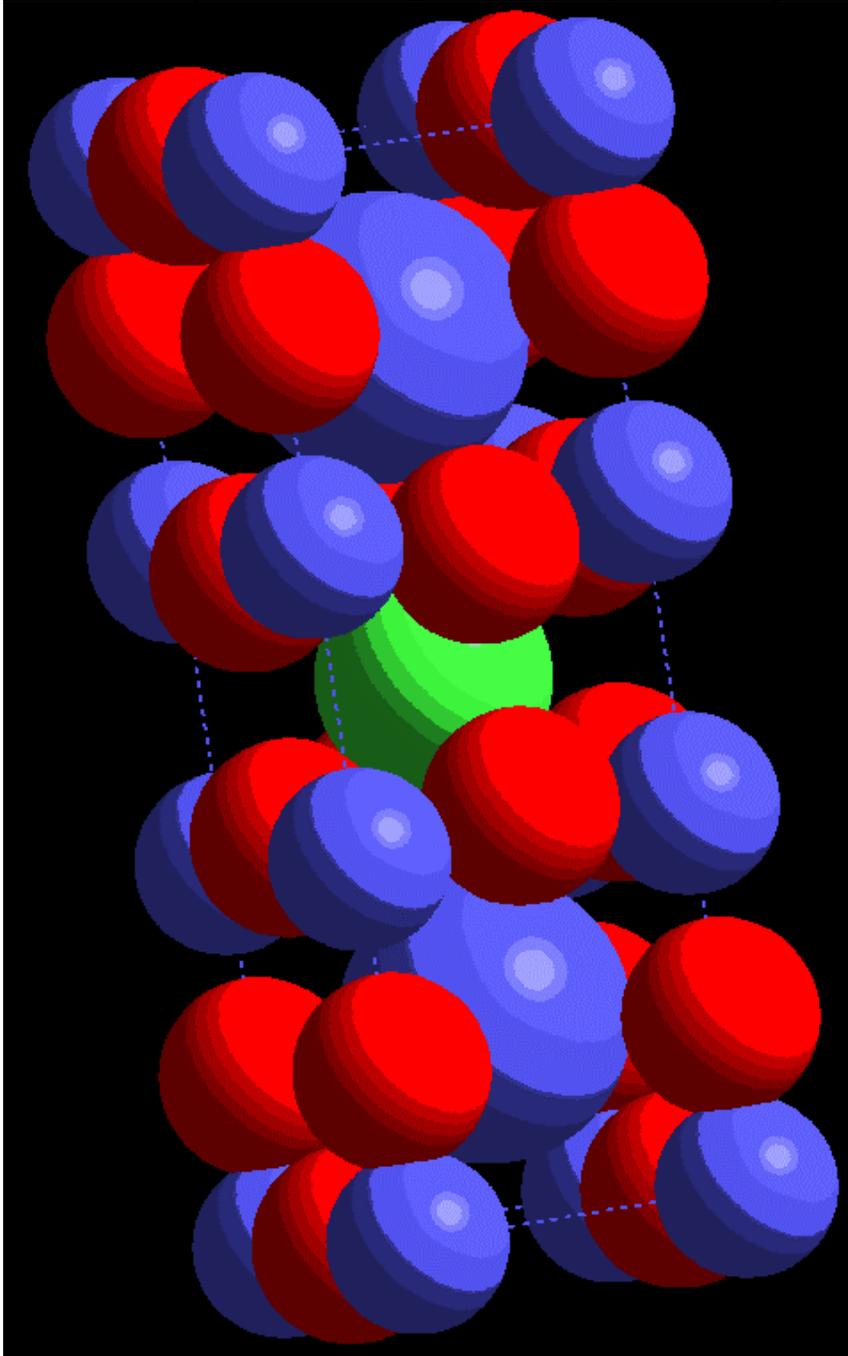
$T_c = 90\text{ K} > 77\text{K} !!!!!$



- >1987 REVOLUCION.
- Woodstock de la física ... etc.
- 1988 $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$, $T_c = 127$ K (ojo: Tl)
- 1993 $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$, $T_c = 133$ K (ojo Hg)
- \approx 1995: con $HgBaCaCuO$ $T_c=150$ K pero a $P=235\ 000$ atm ! ... poco práctico
- 1999 ... desilución ... pocas aplicaciones útiles

Superconductor 123: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ($x \approx 0,1$)

- A temperatura ambiente: ortorrómbico
- A alta temperatura ($>600^\circ\text{C}$): tetragonal



2.6.7 APLICACIONES

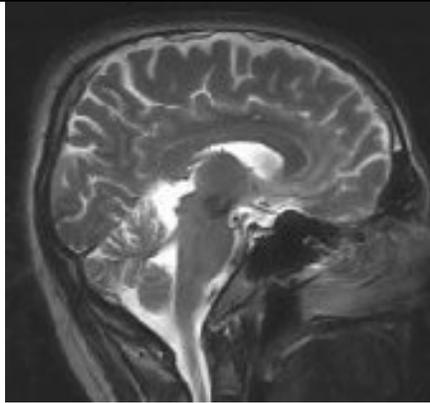


Maglev: tren de levitación magnética

- "Flota" sobre imanes superconductores
- Prácticamente elimina roce
- 1990. Japón financia Tecnología Maglev. Se autoriza construcción de línea de pruebas.
- Abril 1997, línea de pruebas Yamanichi Maglev se inaugura.
- Abril 14, 1999, prueba del MLX01 (foto) alcanzó velocidad de 550 kph.

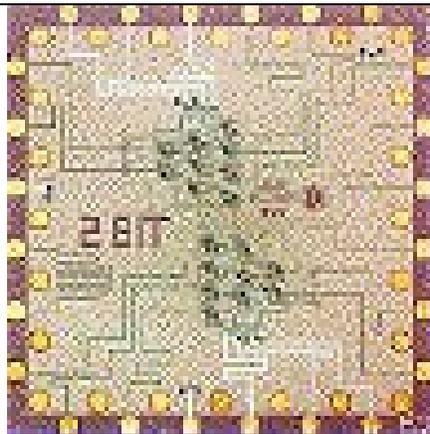


Cables superconductores



Resonancia magnética nuclear

- Imágenes del interior del cuerpo humano
- Usa campo magnético para alinear los núcleos de hidrógeno (protones) de acuerdo a su spin.
- $f=68$ kHz aplica torque al H y lo suelta \Rightarrow genera radiación electromagnética \Rightarrow imagen
- Se usa imán superconductor de Nb_3Sn (Tipo II, $T_c=18$ K, $H_{c2}=24,5$ T) con $I \sim 700$ A \Rightarrow He líq.
- (Dato: persona se desmaya con 3 T)
- (Otro Dato: campo magnético tierra: 0,5 gauss = $0,5 \times 10^{-5}$ T)



Chips son superconductores