

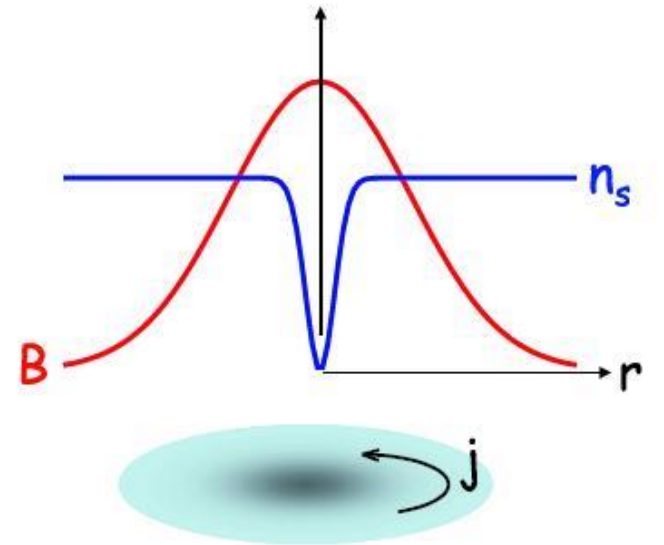
Consequências tecnológicas importantes da existência da “super onda” e sua fase única

Quantização de fluxo

Estado Misto

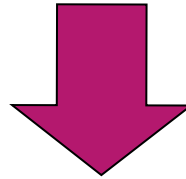
- Um quantum de fluxo magnético passa por cada vórtice (linha de fluxo, fluxóide)
- Para qualquer que seja a composição química do supercondutor e seja qual for o valor preciso da temperatura e do campo magnético.

$$\phi_0 = \frac{h}{2e}$$



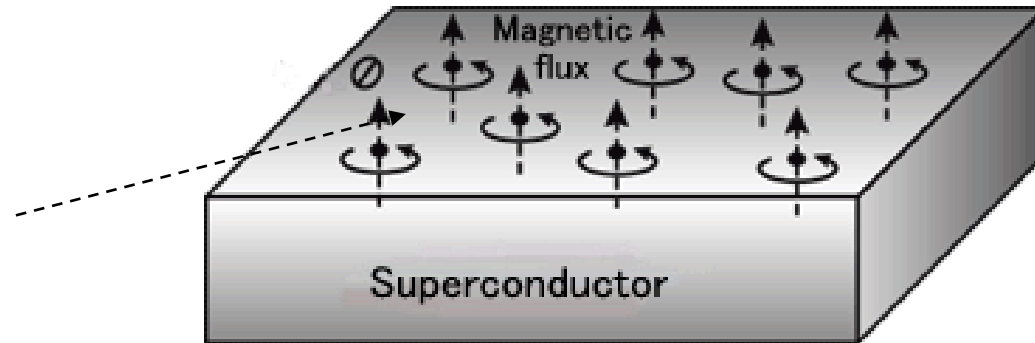
Penetração parcial de campo

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



Estado misto
Tipo II

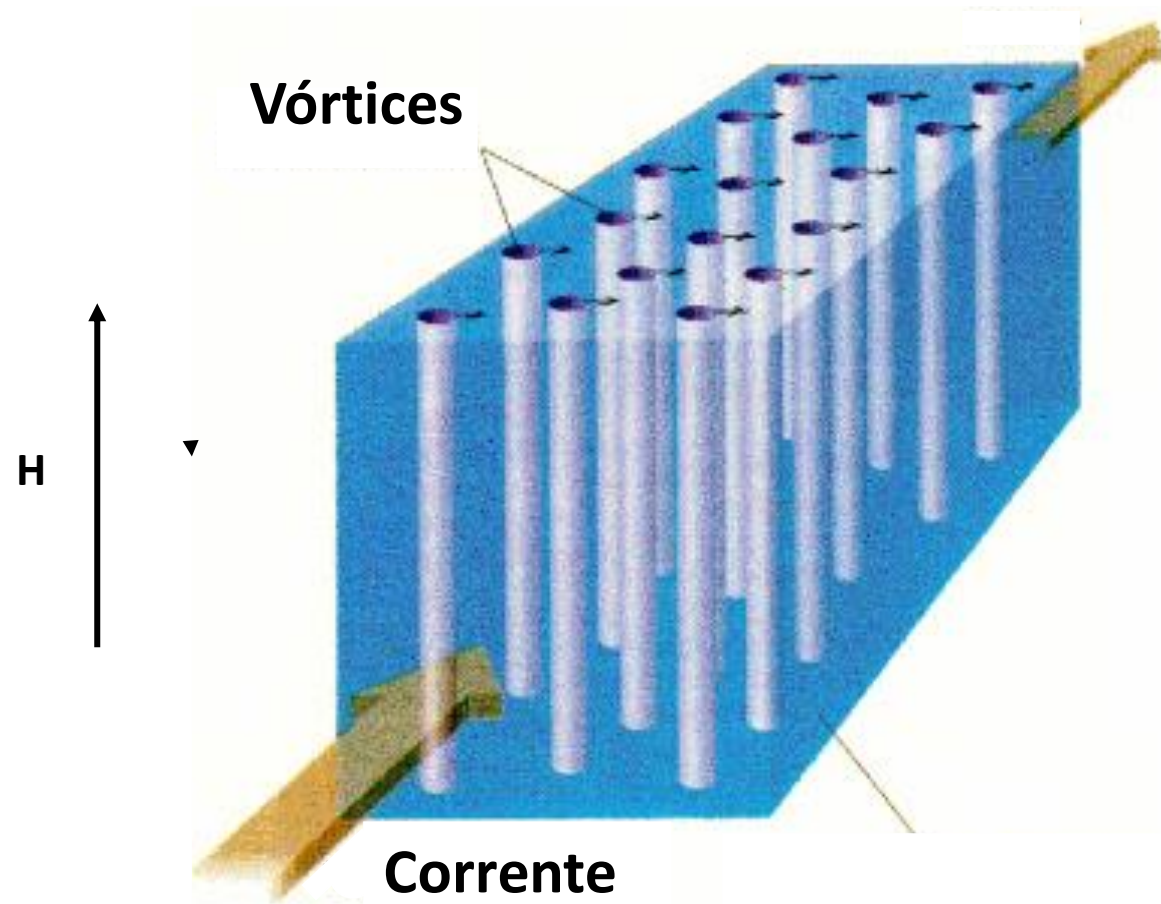
Vórtices
ou
Linhas de fluxo



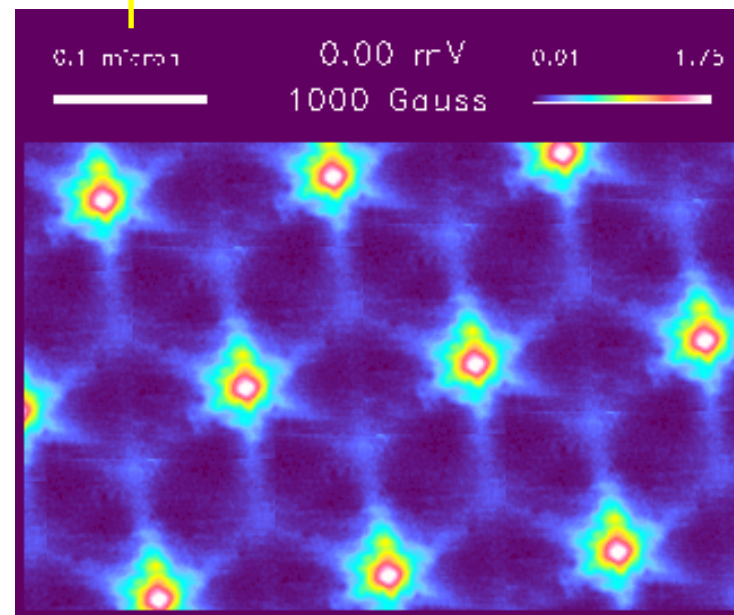
IMPORTANTE PARA DENSIDADE DE CORRENTE CRÍTICA J_c

Supercondutores tipo II

VÓRTICES

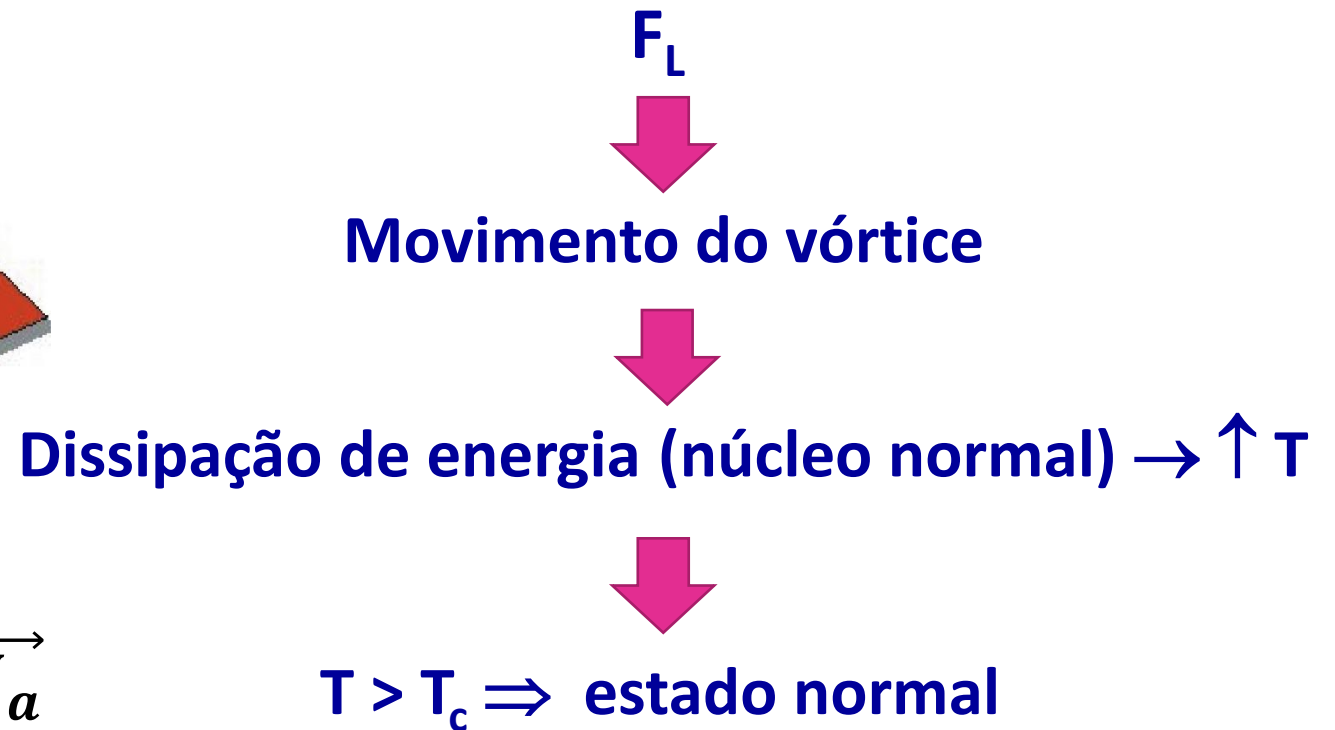
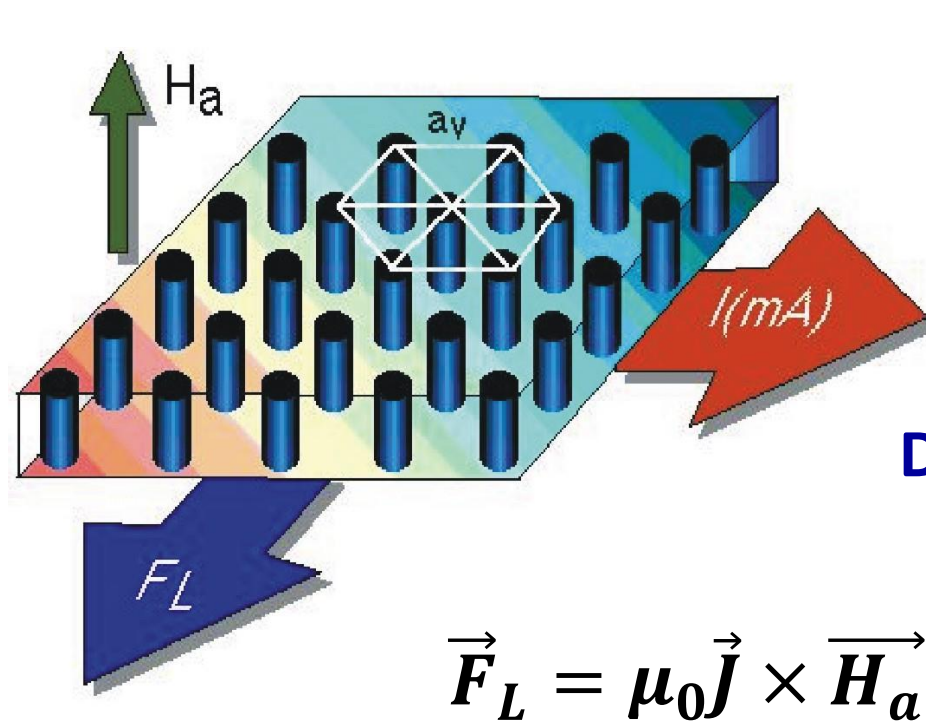


0.1 micron = 1×10^{-4} mm



MOVIMENTO DOS VÓRTICES


- A passagem de corrente por um supercondutor tipo II pode causar a movimentação dos vórtices e a degradação da corrente crítica do material.



COMO PARAR O MOVIMENTO DO VÓRTICE?

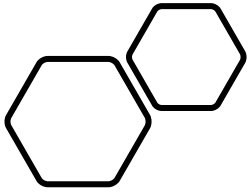
Qual o paralelo
com material o
ferromagnético?

Video –
Vortices em
Nb

A grayscale micrograph showing a dense array of small, bright, circular features (vortices) distributed across a darker, textured background. The vortices appear to be arranged in a somewhat regular pattern, though some are more prominent than others. The overall appearance is that of a complex, ordered structure.

When all the defects are occupied, vortices begin to enter interstices. The interstitial vortices hop from one interstice to another, as far as vacant interstices remain. Vortices are hopping from one interstices to another.

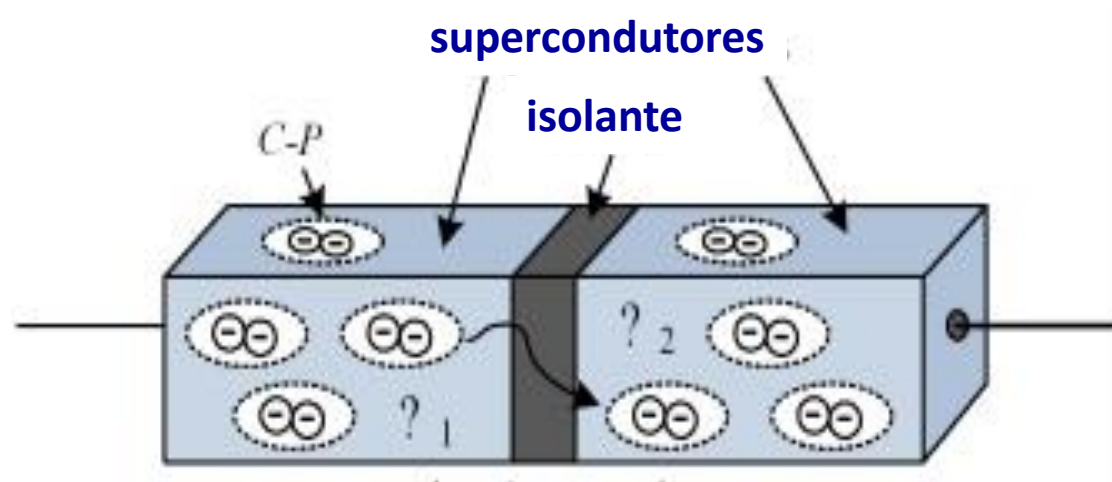
(C)Hitachi.,Ltd.



Efeito Josephson

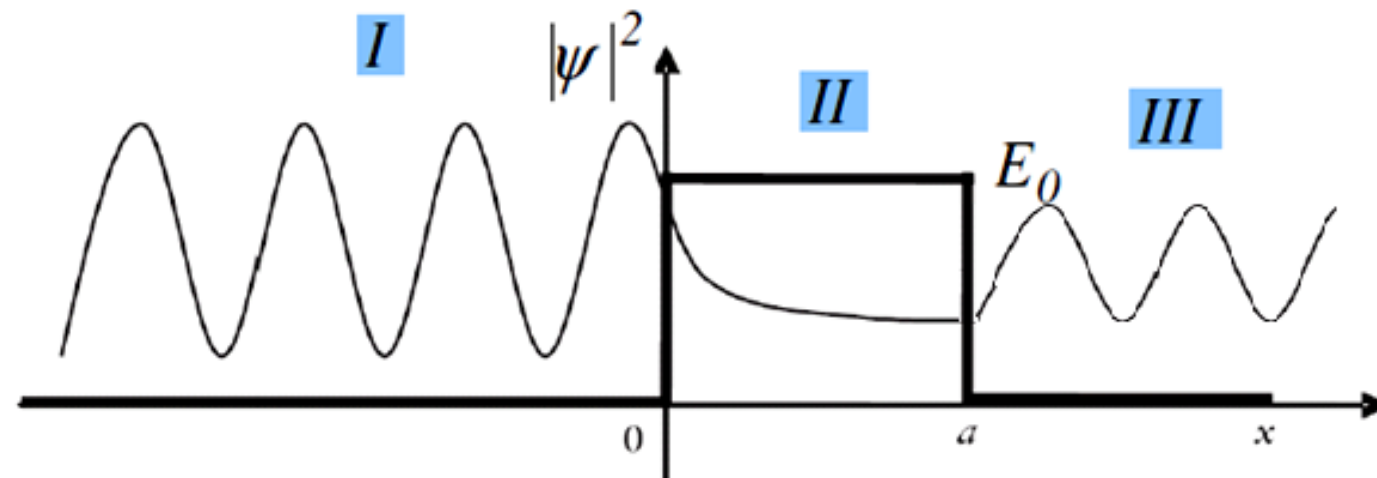


- Dois supercondutores diferentes separados por uma camada isolante muito fina.



- Surge uma **corrente elétrica na junção**.
- Efeito previsto em 1962 por Brian Josephson > junção Josephson.

Tunelamento - Origem da corrente Josephson



Resolução da equação de Schrödinger independente do tempo

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{2m}{\hbar^2} E \psi$$

Em I e III:

$$\psi(x) = A.\text{sen}kx + B.\text{cos}kx$$

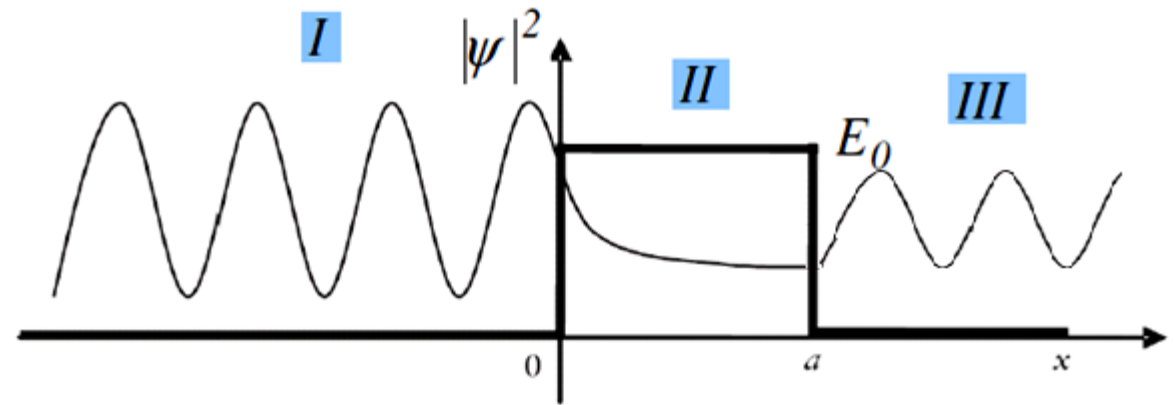
$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{2m}{\hbar^2} (E - E_0)\psi$$

Em II:

$$\psi(x) = C.e^{Kx} + D.e^{-Kx}$$

Tunelamento

Origem da corrente Josephson



Existe uma probabilidade não nula da partícula:

- Ser transmitida (T) através de II, chegando a III
- Ser refletida (R) na interface entre as regiões I e II

Coeficiente de transmissão: T

$$T \approx e^{-2Ka}$$

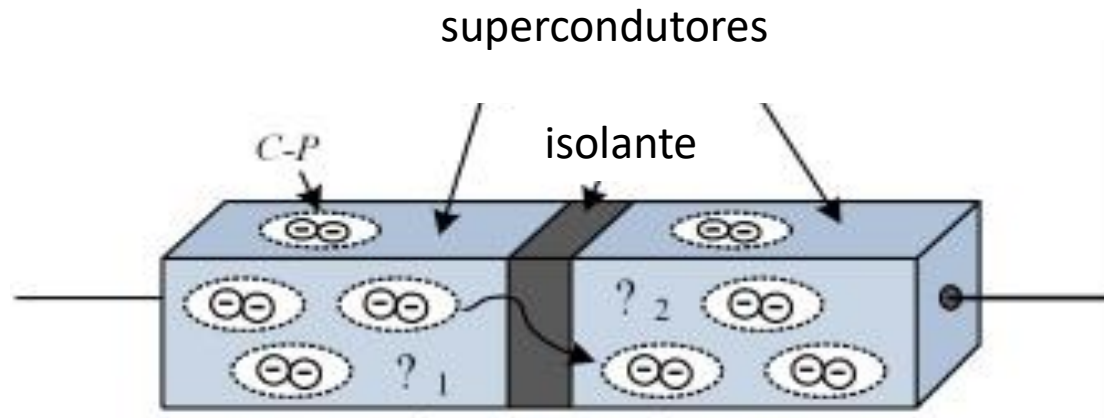
$$K = \sqrt{\frac{2m(E_0 - E)}{\hbar^2}}$$

Coeficiente de reflexão: R

$$T + R = 1$$

Longo alcance da “super” onda

- A onda se estende além do supercondutor, ou seja, os **pares de elétrons** atravessam o isolante devido ao efeito quântico de **tunelamento**.

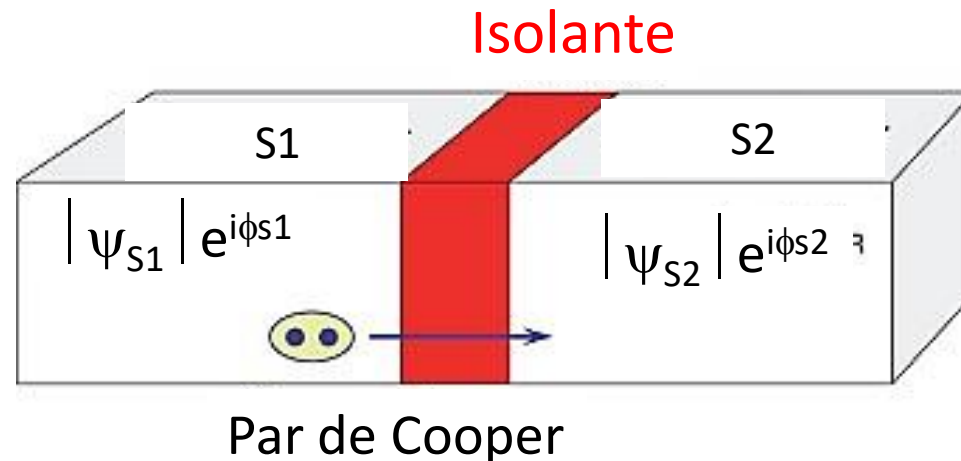


<http://postreh.com/vmichal/thesis/figures/figures.htm>

O estado quântico condensado macroscópico é descrito pela **função de onda** $|\psi| e^{i\phi}$, sendo $|\psi|^2$ a **densidade de pares supercondutores** e ϕ é a **fase**.

Efeito Josephson DC

- Para $V = 0$, $I_{\text{apl}} = 0$ e $H_{\text{apl}} = 0$:
 - A fase ϕ é a mesma para todos os pares de Cooper em cada lado da junção, isto é, ϕ_{S1} no lado 1 e ϕ_{S2} no lado 2.
 - Mesmo assim aparece uma corrente contínua na junção

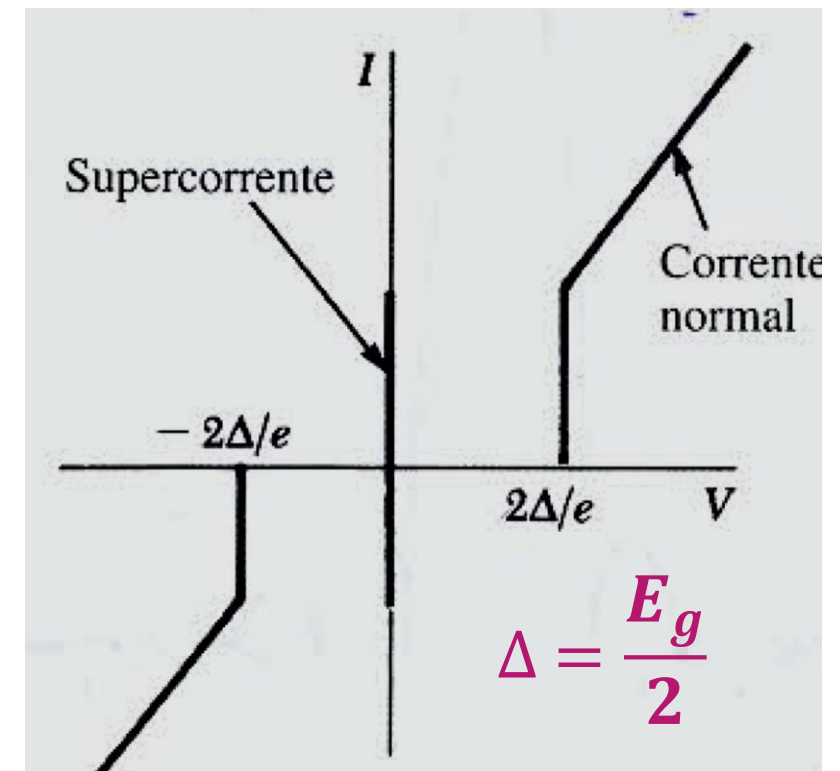


A supercorrente de tunelamento na junção é:

$$I = I_0 \text{sen}\delta$$

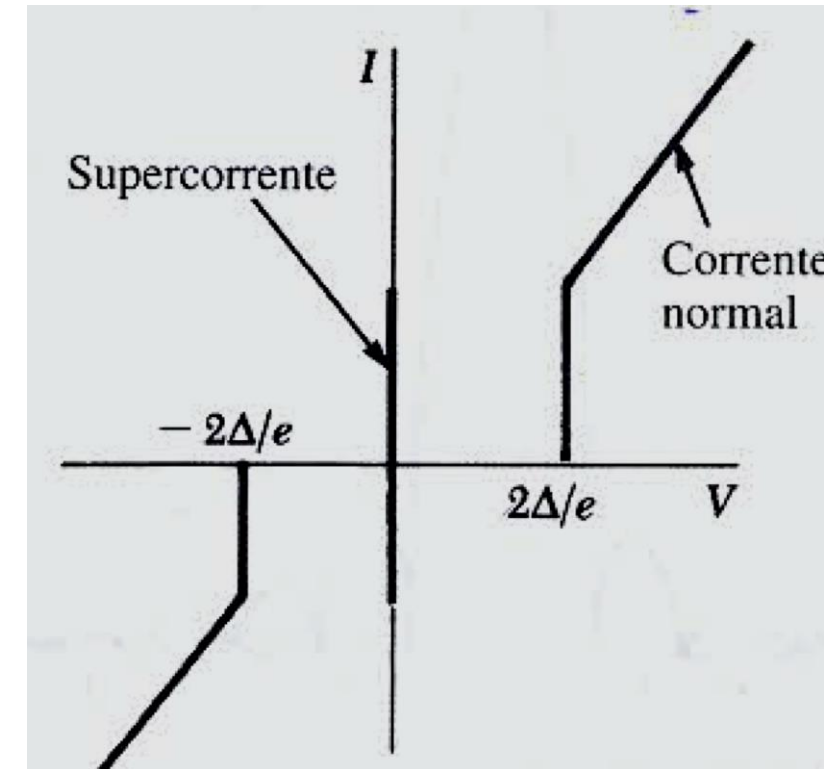
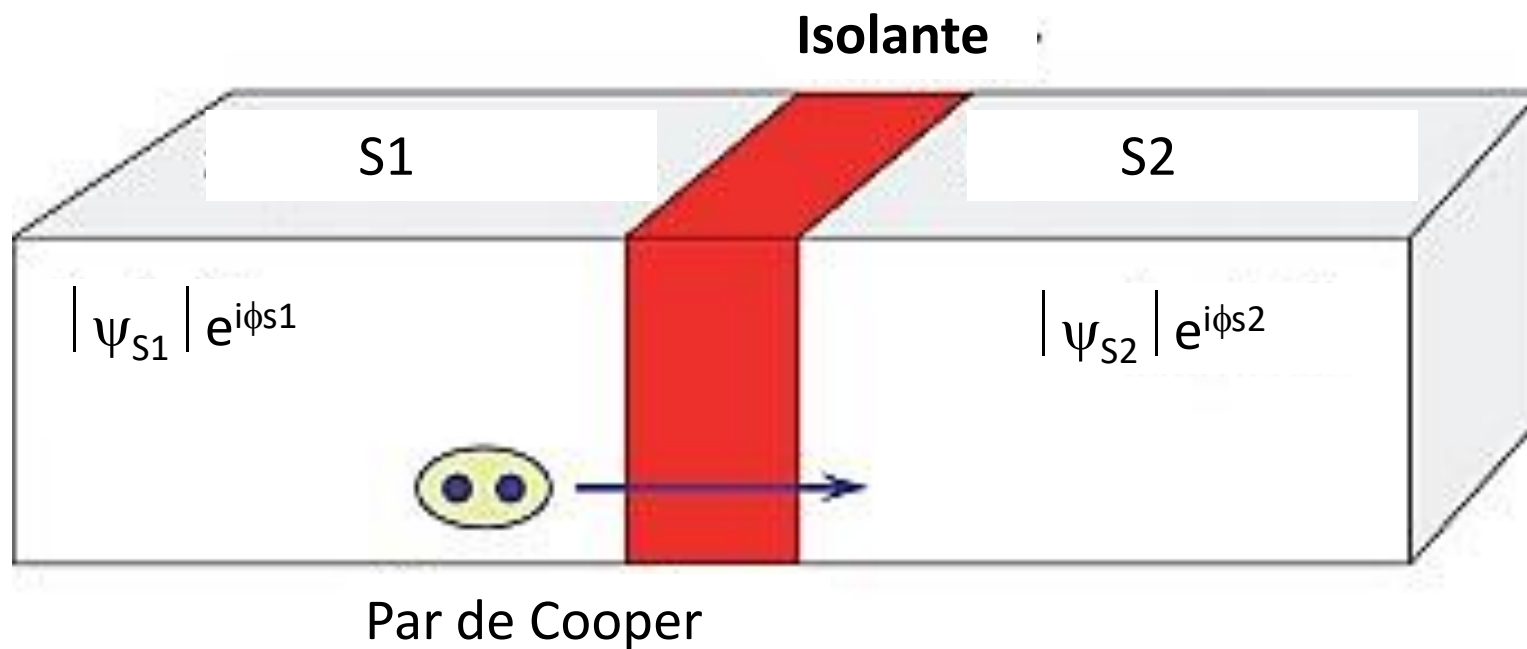
- $I_0 = I_c =$ corrente crítica: $I_c = \phi_0 \cdot E_J / 2\pi$
- E_J é a energia de acoplamento da junção Josephson
-
- $\delta = \phi_{s1} - \phi_{s2}$ é a diferença de fase entre os dois supercondutores na junção.

Efeito Josephson DC



Para $V > 0$

$V = (d\Phi / dt) / (2\pi / \phi_0) \rightarrow$ corrente alternada



Corrente Alternada

$$I = I_0 \text{sen}(\delta + 2\pi f t)$$

$$\delta = \phi_{s1} - \phi_{s2}$$

$$f = \frac{2eV}{h} \quad \phi_0 = \frac{h}{2e}$$

$$f = \frac{V}{\phi_0}$$

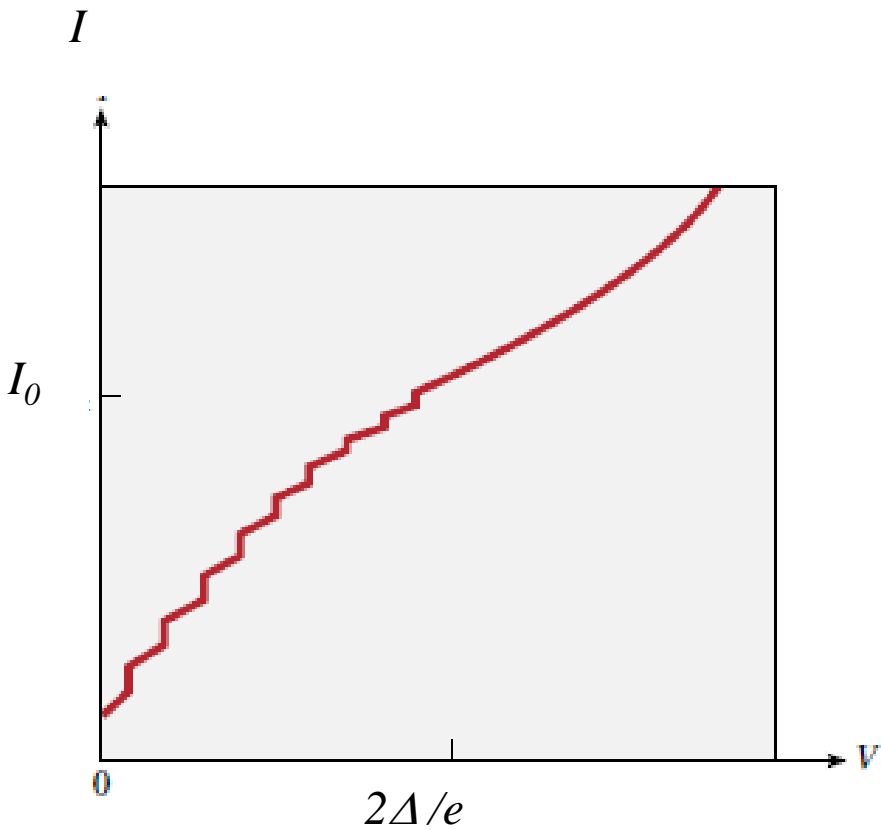
A frequência f

Não depende

- Tamanho do superconductor,
- T_c , H_{c2}

Depende

- Voltagem aplicada
- Carga do elétron e constante de **Planck** (quantum de fluxo ϕ_0)



$$f = V/\phi_0$$

- Devido ao fato dos dois lados da junção estarem em estados quânticos diferentes. Os pares que atravessam a junção sofrem transições de energia entre estes dois estados.
- **Pode haver absorção ou emissão de radiação.**
- **Na verdade, quando um par de Cooper atravessa a junção, um fóton de frequência f é absorvido ou emitido pela junção**

Para $V = 1 \mu V$

$$f = 483,6 \text{ MHz}$$

- Na verdade, quando um par de Cooper atravessa a junção, um fóton de frequência f é absorvido ou emitido pela junção.

1) Aplica-se uma voltagem DC detecta-se radiação eletromagnética gerada pela junção.

2) Irradia a junção \rightarrow com radiação externa de frequência f' \rightarrow absorção de números inteiros de f' $\rightarrow f = n f'$ (patamares).

$$f = V/\phi_0 = n f' \quad \rightarrow \quad V = n \phi_0 f'$$