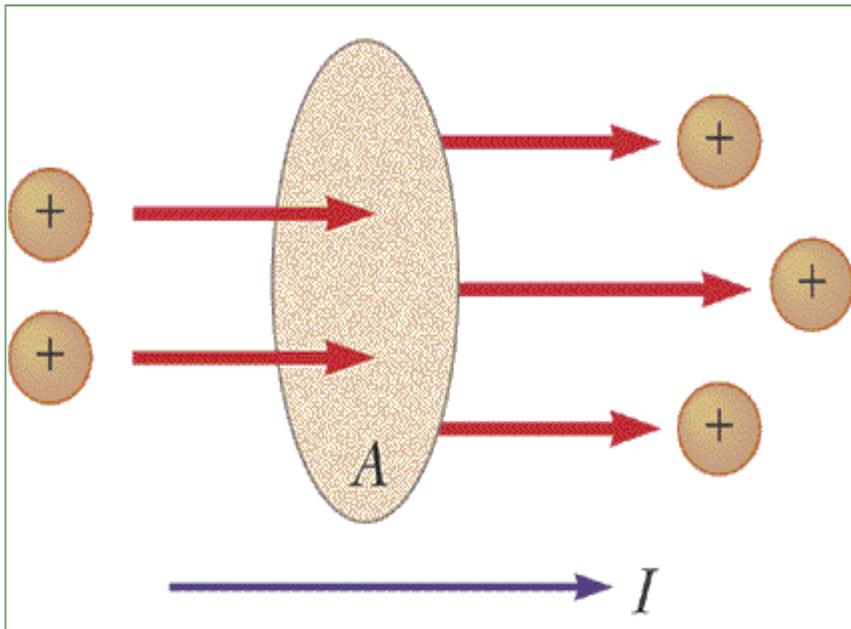


Aula 6

- Corrente Elétrica
- Resistência e Lei de Ohm
- Modelo microscópico para a condução elétrica
- Supercondutores

Corrente Elétrica

- Taxa a que a carga flui através de uma superfície de área A , resulta na corrente média:



$$I_{\text{med}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

- Sendo ΔQ a quantidade de carga que atravessa A no intervalo de tempo Δt

Corrente Instantânea

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

Unidade de Corrente

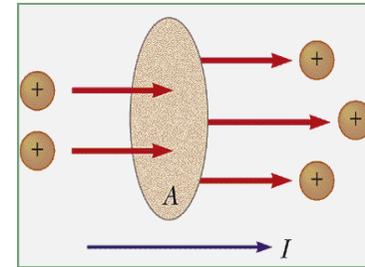
[corrente] = ampère (A)

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$$

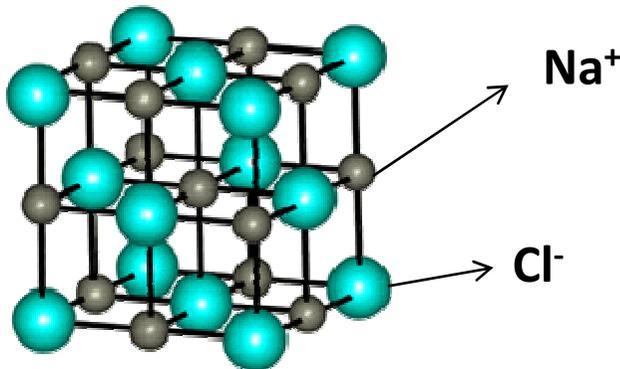
Sentido da corrente

- Partículas podem ter cargas positivas ou negativas.
- Partículas diferentes, mas de mesma carga se deslocam no mesmo sentido

Convenção: a direção da corrente é no sentido do movimento de cargas positivas.

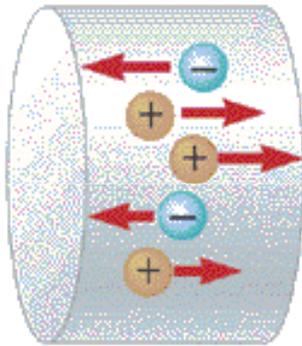


No condutor (como o cobre) a corrente é fisicamente devido ao fluxo de elétrons (portadores de carga) => é oposta ao sentido do movimento deles.

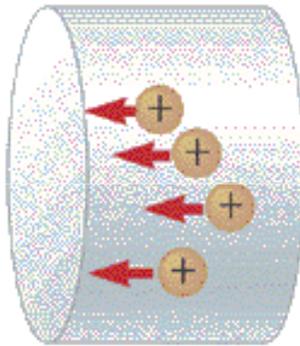


No NaCl a corrente é fisicamente devido ao fluxo de íons Na⁺ (portadores de carga) no mesmo sentido do movimento deles.

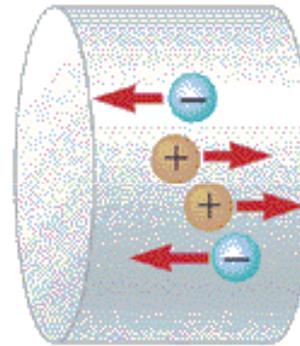
Qual a direção da corrente?



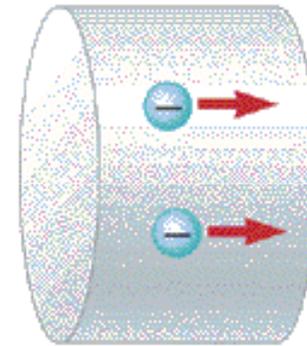
(a)



(b)



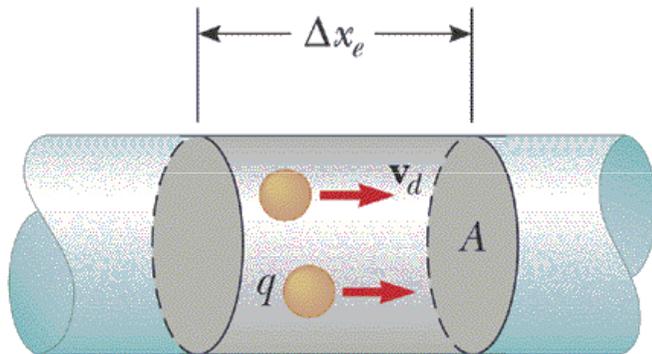
(c)



(d)

Modelo: a corrente e o movimento de partículas carregadas

Partículas idênticas carregadas que se deslocam em um condutor de área de secção transversal A .



- volume de um elemento condutor de comprimento Δx_e é: Δx_e
- n = densidade de portadores de carga

A carga móvel neste elemento de volume é:

$$\Delta Q = (\text{número de portadores}) \cdot (\text{carga do portador}) = (n \cdot A \cdot \Delta x_e) \cdot q$$

Modelo: a corrente e o movimento de partículas carregadas - continuação

$$\Delta Q = (\text{número de portadores}) \cdot (\text{carga do portador}) = (n \cdot A \cdot \Delta x_e) \cdot q$$

Seja v_d a velocidade média de migração e que a distância Δx_e é percorrida em um intervalo de tempo

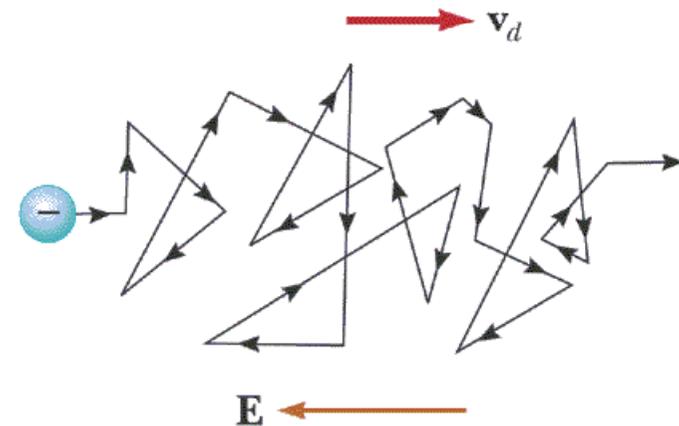
$$\Delta t \Rightarrow \Delta x_e = v_d \cdot \Delta t$$

$$\Delta Q = (n \cdot A \cdot \Delta x_e) \cdot q = n \cdot A \cdot v_d \cdot \Delta t \cdot q$$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = (n \cdot A \cdot \Delta x_e) \cdot q = n \cdot A \cdot v_d \cdot q$$

$$I = n \cdot A \cdot v_d \cdot q$$

$$J = \frac{I}{A} = n \cdot v_d \cdot q$$

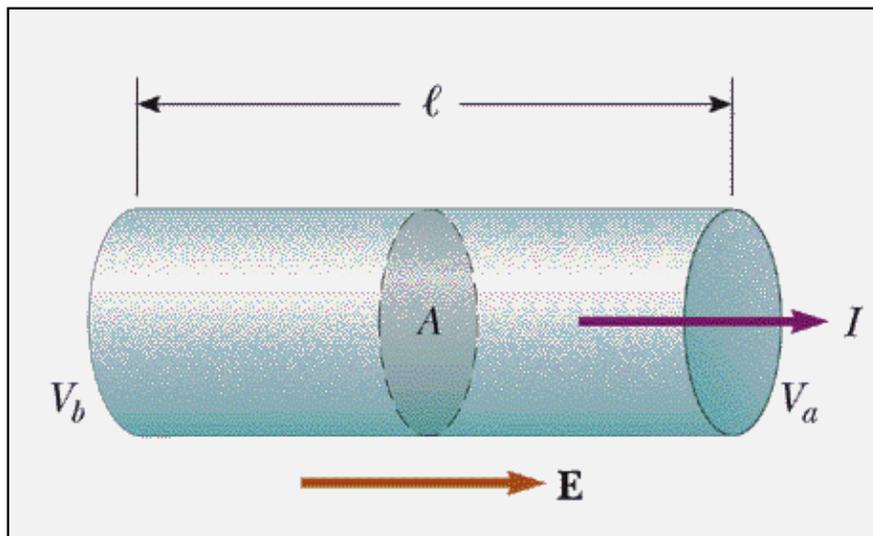


Resistência e Lei de Ohm

Velocidade de migração, v_d , das partículas carregadas depende do campo elétrico.

$$F = q \cdot E \quad \Rightarrow \quad E \uparrow \Rightarrow \text{aceleração} \uparrow \text{ e } v_d \uparrow$$

$$v_d \propto E \propto \Delta V$$



ΔV aplicada a um condutor



A corrente observada no condutor é proporcional a ΔV :

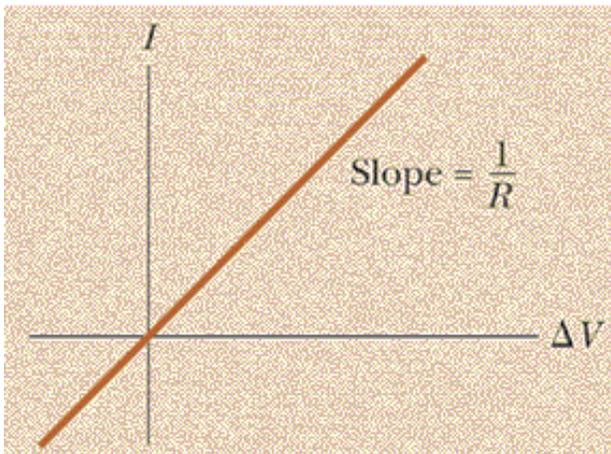
$$\Delta V \propto I$$

Lei de Ohm

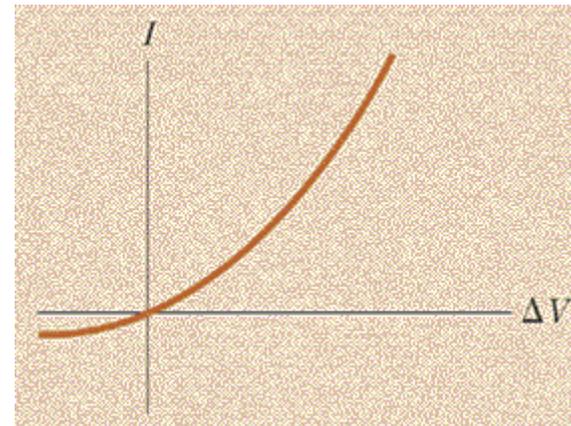
No intervalo de voltagens aplicadas em que a relação de proporcionalidade = constante

A Lei de Ohm **não** é uma lei fundamental da natureza, mas um relacionamento empírico válido somente para determinados materiais e dispositivos, sob uma escala limitada de condições.

Dispositivo ôhmico (fio metálico)



Dispositivo não-ôhmico (diodo)



Resistência Elétrica

É a constante de proporcionalidade entre ΔV e I

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

[resistência] = Ω (ohm)

Dispositivo (elemento de circuito) = resistor 

A resistência elétrica apresenta uma relação de proporcionalidade com a área da secção transversal e também com o comprimento

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

ρ é a resistividade do material

Condutividade Elétrica - σ

σ é o inverso da resistividade

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

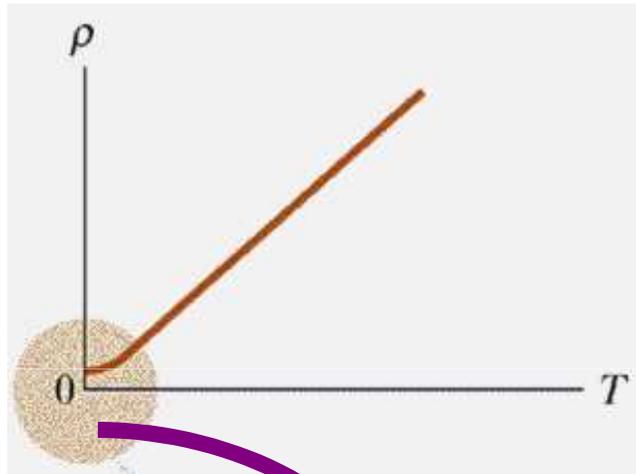
↓↓↓ ρ \Rightarrow ↑↑↑ σ

Material	Resistividade ^a ($\Omega \cdot m$)
Prata	$1,59 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,44 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,82 \times 10^{-8}$
Tungstênio	$5,6 \times 10^{-8}$
Ferro	10×10^{-8}
Platina	11×10^{-8}
Chumbo	22×10^{-8}
Nicromo ^b	$1,50 \times 10^{-6}$
Carbono	$3,5 \times 10^{-5}$
Germânio	0,46
Silício	640
Vidro	$10^{10} - 10^{14}$
Borracha dura	$\sim 10^{13}$
Enxofre	10^{15}
Quartzo (fundido)	75×10^{16}

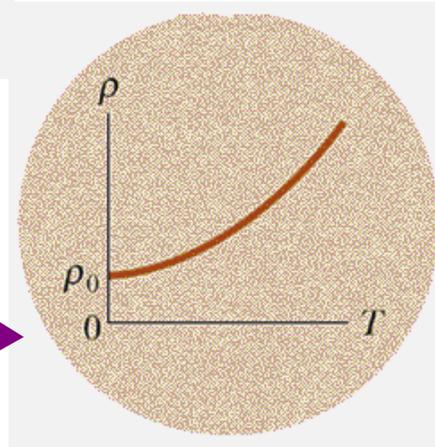
^a Todos os valores a 20 °C.

Variação da Resistividade com a Temperatura em Metais

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$



$$T \geq T_0$$



$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

Material	Coefficiente de Temperatura $\alpha [(\text{°C})^{-1}]$
Prata	$3,8 \times 10^{-3}$
Cobre	$3,9 \times 10^{-3}$
Ouro	$3,4 \times 10^{-3}$
Alumínio	$3,9 \times 10^{-3}$
Tungstênio	$4,5 \times 10^{-3}$
Ferro	$5,0 \times 10^{-3}$
Platina	$3,92 \times 10^{-3}$
Chumbo	$3,9 \times 10^{-3}$
Nicromo ^b	$0,4 \times 10^{-3}$
Carbono	$-0,5 \times 10^{-3}$
Germânio	-48×10^{-3}
Silício	-75×10^{-3}
Vidro	
Borracha dura	
Enxofre	
Quartzo (fundido)	

Expansão do Modelo de Condução Elétrica

$$I = n.A.v_d.q$$

Estimativa de v_d

A aceleração adquirida por uma partícula carregada de massa m e carga q em um campo elétrico \vec{E} é:



$$\vec{a} = \frac{-e\vec{E}}{m_e}$$

Se v_0 é a velocidade do elétron logo após uma colisão onde $t=0$, a velocidade após transcorrido um tempo t será:



$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t = \vec{v}_0 - \frac{e\vec{E}}{m_e}t$$

A velocidade média:

$$\langle \vec{v} \rangle = \langle \vec{v}_0 \rangle + \langle \vec{a}t \rangle = - \left\langle \frac{e\vec{E}}{m_e} \right\rangle \langle t \rangle$$

$$\langle \vec{v}_0 \rangle = \mathbf{0}; \quad \langle t \rangle = \tau$$



$$\langle \vec{v} \rangle = \vec{v}_d = - \frac{e\vec{E}}{m_e} \tau$$

Expansão do Modelo de Condução Elétrica - continuação

$$\langle \vec{v} \rangle = \vec{v}_d = -\frac{e\vec{E}}{m_e} \tau \quad \text{Substitui } v_d \text{ em } I \quad \rightarrow \quad I = n.A.v_d.q$$

$$\rightarrow I = n.A.\left(\frac{eE}{m_e} \tau\right).e = \frac{ne^2 E}{m_e} \tau A \quad \text{Mas: } I = \frac{\Delta V}{R}$$

$$I = \frac{\Delta V}{\rho l/A} = \frac{\Delta V}{l} \frac{A}{\rho} = \frac{E}{\rho} A$$

Logo:

$$\rho = \frac{m_e}{ne^2 \tau}$$

ρ só depende do material!!!
Não depende do campo aplicado.

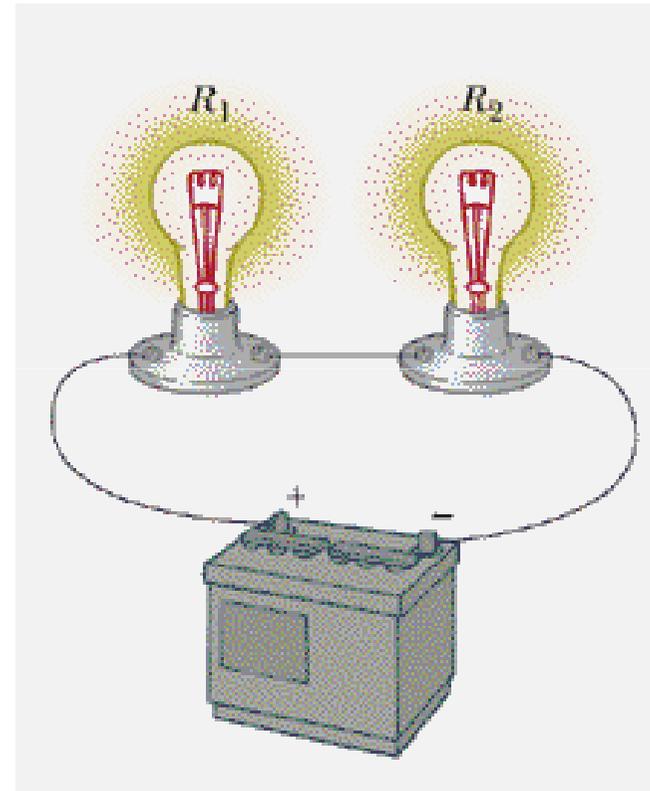
Movimento dos elétrons é viscoso, há atrito, há perda de energia!

Energia Elétrica e Potência

Bateria \Rightarrow criar corrente elétrica em um condutor

Transformação de energia \Rightarrow química em energia cinética dos elétrons \Rightarrow aumento da temperatura do condutor (movimento viscoso, resistivo)

Em um circuito esta energia é transferida para uma lâmpada, um receptor de rádio, etc.

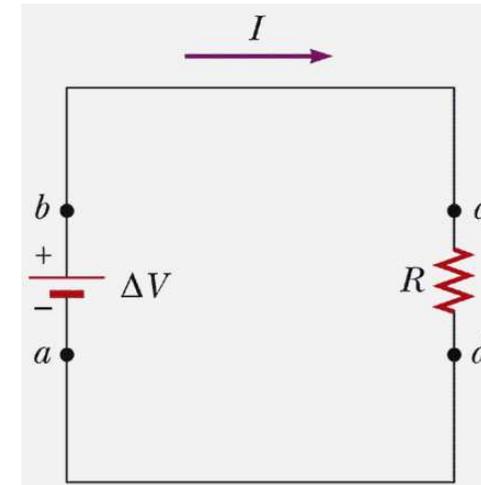


Energia Elétrica e Potência

Energia potencia elétrica de a até b

$$\Delta U = Q \cdot \Delta V$$

De c até $d \Rightarrow$ perde energia
potencial elétrica devido aos colisões
dos elétrons com a rede cristalina



A energia perdida fica na forma de energia interna:

↑↑ a vibração dos átomos \leftrightarrow ↑↑ a temperatura do material

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}(Q \cdot \Delta V) = \frac{dQ}{dt} \Delta V = I \Delta V$$

Potência
“Dissipada”:

$$P = I \Delta V = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$$

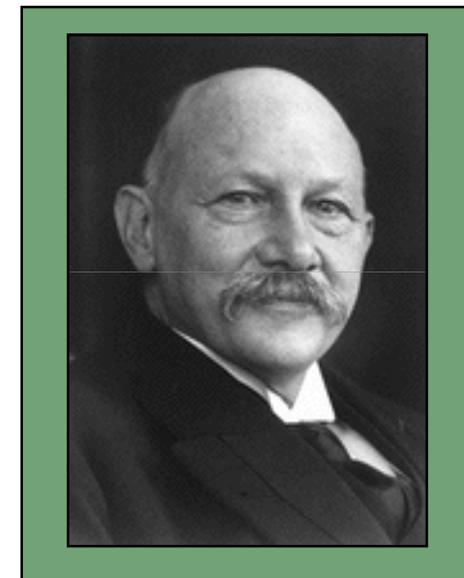
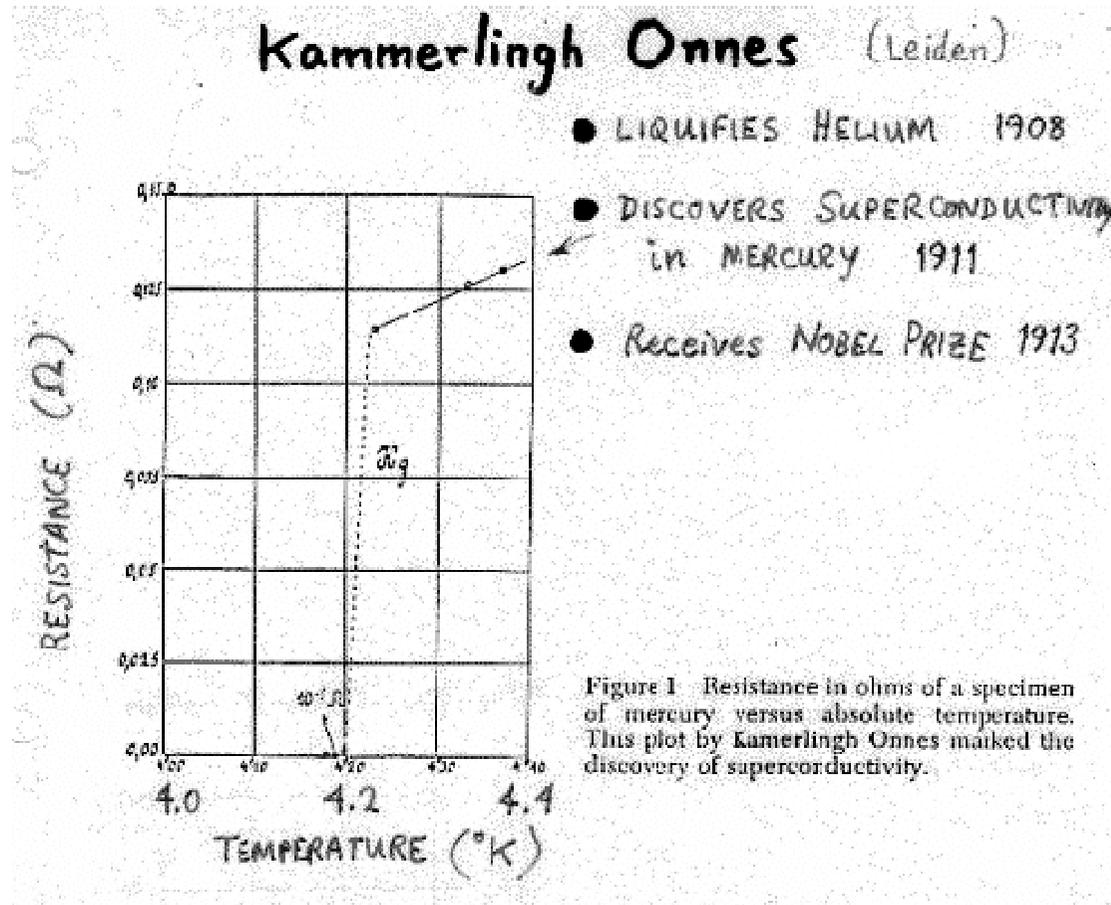
[potência] = watt = W

Exemplos

- **21.5 - Uma lâmpada é classificada com sendo 120V/75W. Encontre a corrente na lâmpada e sua resistência.**
- **21.6 – Quanto custa para manter acesa uma lâmpada de 100 W durante 24 h, se a eletricidade custar 12 centavos/kWh?**

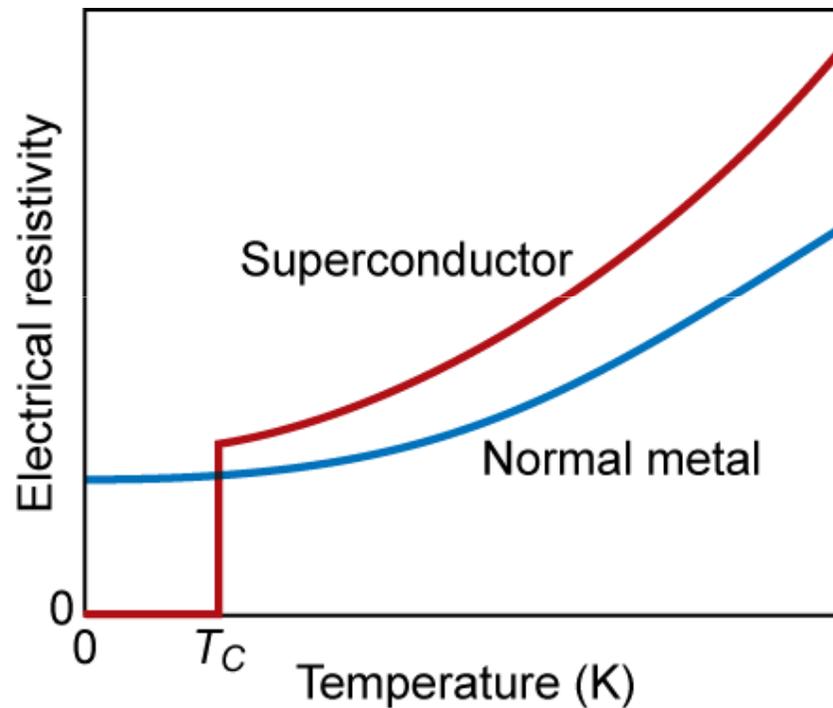
Supercondutores

Descoberta da supercondutividade



Kammerlingh Onnes
(1853 – 1926)

Característica marcante do supercondutor

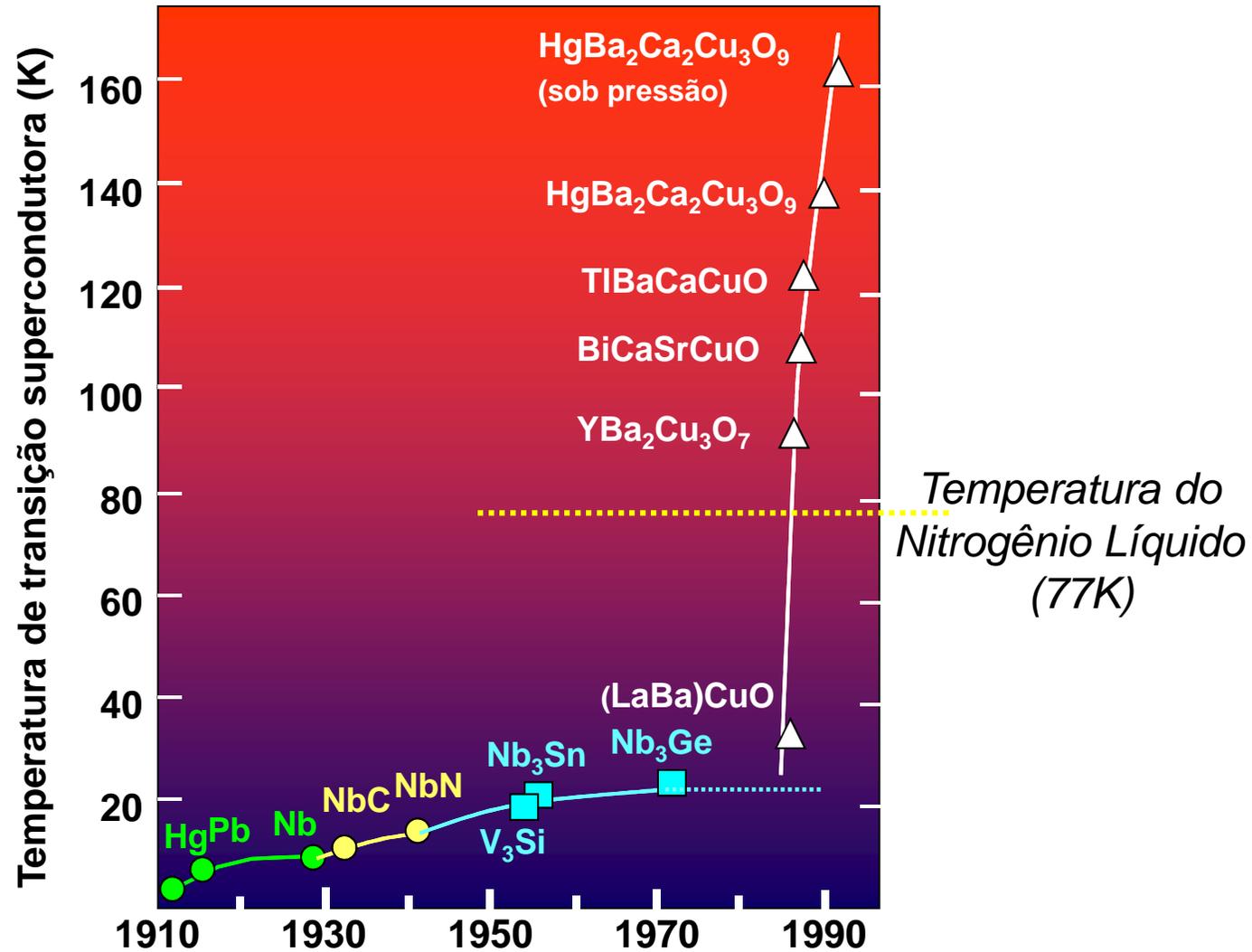


Resistividade elétrica nula



Altas correntes sem perda!!!

Evolução de T_c



Outra característica importante do supercondutor

Altas correntes \Rightarrow Altos campos magnéticos



**Levitação
magnética**



**Aparelhos de imagem por
ressonância magnética:
Material Nb-Ti (nióbio-
titânio) ; $T_c = 9K$**