Aula 6
Corrente e resistência

Física Geral III

F-328

2o Semestre 2013

Instituto de Física Gleb Wataghin

Corrente elétrica

Uma corrente elétrica é um movimento ordenado de cargas elétricas.

Um circuito condutor isolado, como na Fig. 1a, está todo a um mesmo potencial e $E = 0$ no seu interior . Nenhuma força elétrica resultante atua sobre os elétrons de condução disponíveis, logo não há nenhuma corrente elétrica.

A inserção de uma bateria no circuito (Fig. 1b) gera um campo elétrico dentro do condutor. Este campo faz com que as cargas elétricas se movam ordenadamente, constituindo assim uma corrente elétrica.

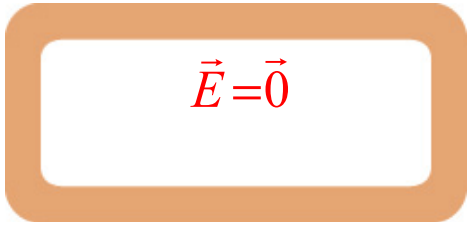


Fig. 1a

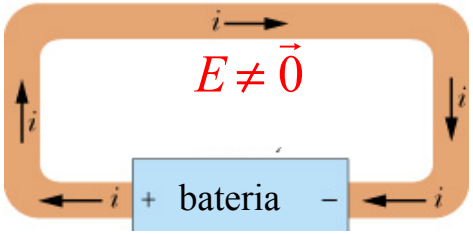


Fig. 1b

Corrente elétrica

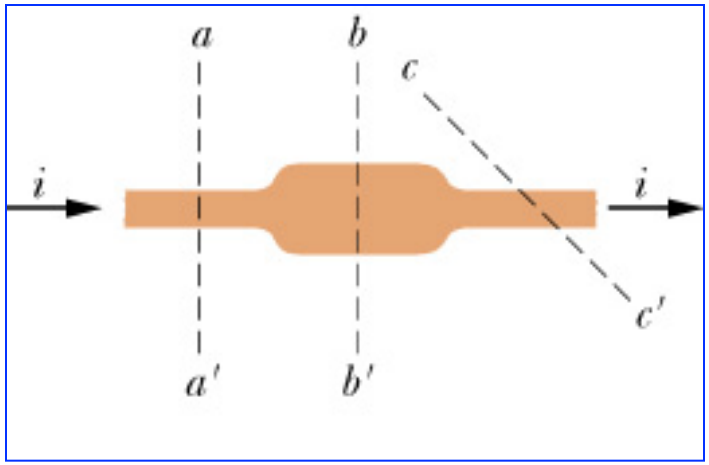
Definição de corrente:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

A carga Δq que atravessa um plano em um intervalo de tempo Δt pode ser determinada através de:

$$\Delta q = \int dq = \int_{t}^{t+\Delta t} i\, dt$$

Unidade de corrente:
1 ampère (A) = 1 C/s



Uma corrente *i* estacionária tem a mesma intensidade através das seções *aa'*, *bb'* e *cc'*.

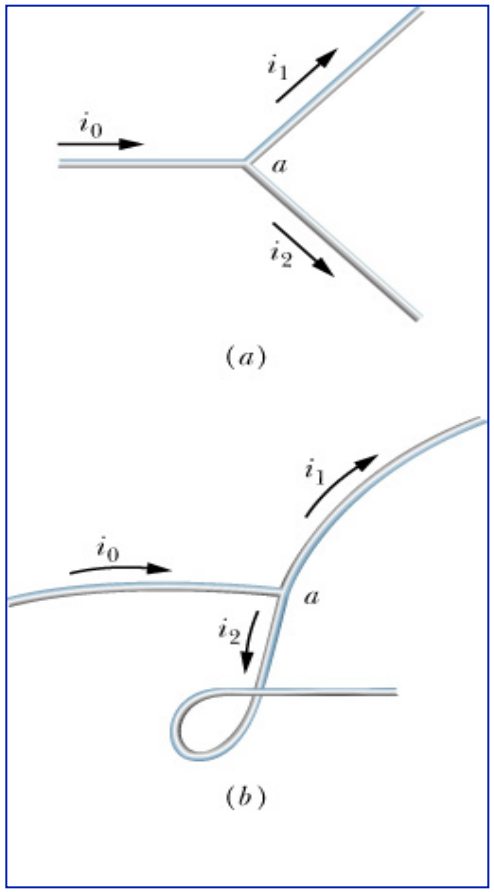
Corrente elétrica e conservação de carga

a) Correntes, apesar de serem representadas por setas, são ***escalares***.

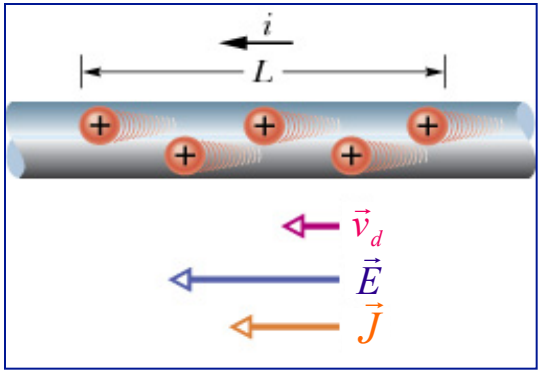
b) Em consequência da conservação da carga, temos:

$$i_0 = i_1 + i_2$$

c) O sentido convencional da corrente é o sentido no qual se moveriam os portadores de ***carga positiva***, mesmo que os verdadeiros portadores de carga sejam ***negativos***.



Densidade de corrente

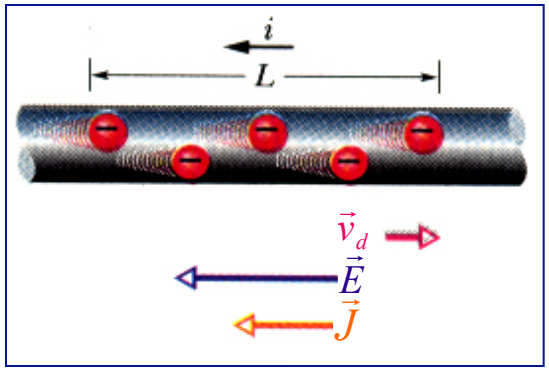


$$i = \int \vec{J} \cdot \hat{n} dA$$

Se a densidade $\vec{J}$ for uniforme através da superfície e paralela a $d\vec{A}$, teremos:

$$i = \int J dA = J \int dA$$

$$\Rightarrow \quad J = \frac{i}{A} \ (\mathrm{A/m^2})$$



Velocidade de deriva: v_d

$$v_d = \frac{J}{ne}$$

ou, na forma vetorial:

$$\vec{J} = n e \vec{v}_d ,$$

onde:

n = número de portadores por unidade de volume

e = carga elementar

Exemplo

a) A densidade de corrente em um fio cilíndrico de raio R = 2,0 mm é uniforme em uma seção transversal do fio e vale $J = 2{,}0\times10^5$ A/m^2. Qual a corrente que atravessa a porção externa do fio entre as distâncias radiais $R/2$ e R?

$$R:\ i \cong 1{,}9\text{A}$$

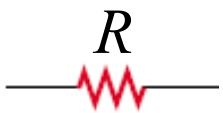
b) Suponha, em vez disso, que a densidade de corrente através de uma seção transversal do fio varie com a distância radial r segundo $J = ar^2$, onde $a = 3{,}0\times10^{11}$ A/m^4 e r está em metros. Neste caso, qual a corrente que atravessa a mesma porção externa do fio?

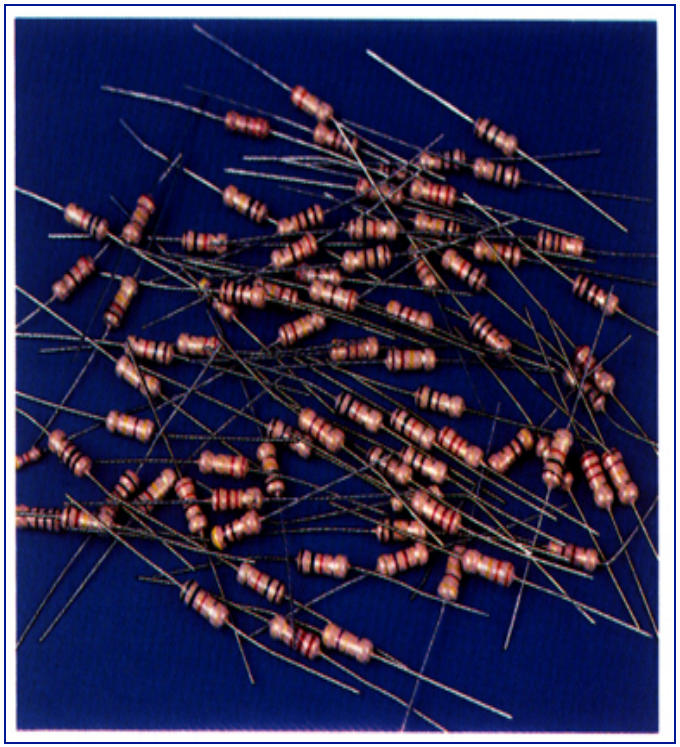
$$R:\ i = \frac{15}{32}\pi a R^4 \cong 7{,}1\text{A}$$

Resistividade e resistência

Definição de resistência: $R = \dfrac{V}{I}$

No Sistema Internacional (SI), a diferença de potencial em *volts* (V) e a corrente em *ampères* (A) resulta R em *ohms* (Ω) . Na prática, um material cuja função é oferecer uma resistência específica em um circuito é chamado de *resistor* (veja figura ao lado) e seu símbolo em circuitos é :





A principal função do resistor em um circuito é controlar a corrente.

Resistência e resistividade

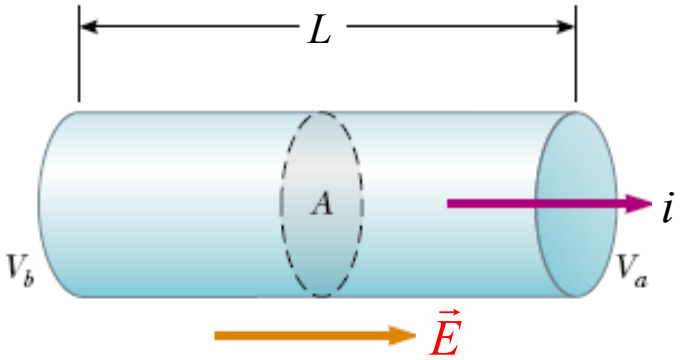
Do ponto de vista da física microscópica é conveniente utilizar o campo elétrico $\vec{E}$ e a densidade de corrente $\vec{J}$ no lugar da diferença de potencial V e da corrente elétrica i. Daí, o equivalente microscópico da resistência R é a resistividade ρ, definida por:

$$\rho = \frac{E}{J} \quad \left(\frac{\text{V/m}}{\text{A/m}^2} = \Omega.\text{m} \right)$$

ou vetorialmente: $\vec{E} = \rho \vec{J}$

Algumas vezes é conveniente usar a condutividade σ, definida por:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \left(\frac{1}{\Omega.\text{m}} \right) \quad \therefore \quad \vec{J} = \sigma \vec{E}$$



Calculando R em função de ρ:

$E = \dfrac{V_b - V_a}{L}$ e $J = \dfrac{i}{A}$. Substituindo em $\rho = \dfrac{E}{J}$, tem-se: $R = \rho \dfrac{L}{A}$

Variação da resistividade com a temperatura

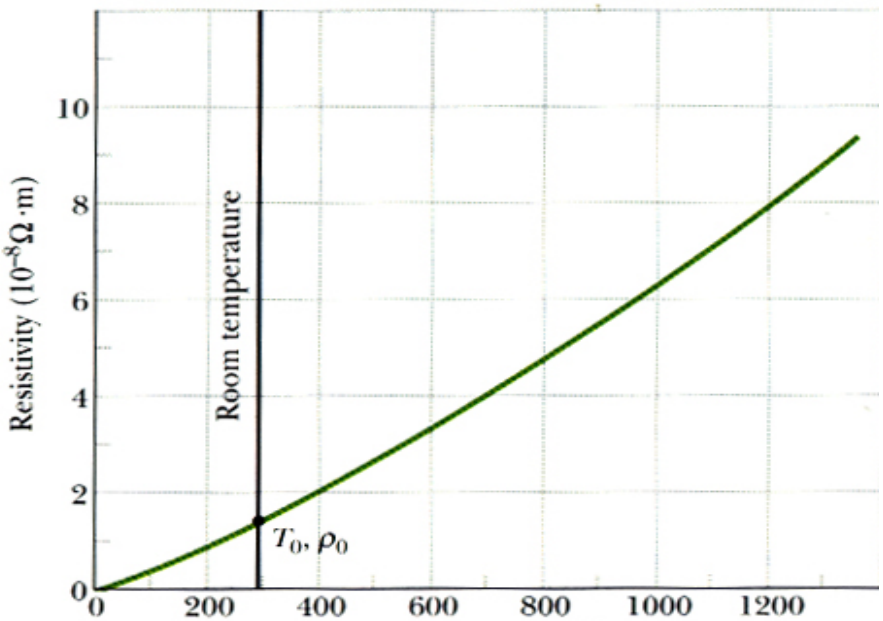
Para os metais em geral, a variação da resistividade com a temperatura é *linear* numa faixa ampla de temperaturas:

$$\rho - \rho_0 = \rho_0 \alpha (T - T_0)$$

Nesta equação, T_0 é uma temperatura de referência selecionada e ρ_0 é a resistividade nesta temperatura.

Normalmente, $T_0 = 293\text{K}$ para a qual $\rho_0 = 1{,}69 \times 10^{-8}\ \Omega.\text{cm}$, no caso do cobre.

A constante α é chamada *coeficiente de resistividade de temperatura.*



A resistividade do cobre em função de T

Resistividade de alguns materiais

Material (a 20º C)	Resistividade ρ (Ω.m)	Coef. de resistividade (K^{-1})
Prata	$1{,}62\times10^{-8}$	$4{,}1\times0^{-3}$
Cobre	$1{,}69\times10^{-8}$	$4{,}3\times10^{-3}$
Alumínio	$2{,}75\times10^{-8}$	$4{,}4\times10^{-3}$
Tungstênio	$5{,}25\times10^{-8}$	$4{,}5\times10^{-3}$
Ferro	$9{,}68\times10^{-8}$	$6{,}5\times10^{-3}$
Platina	$10{,}6\times10^{-8}$	$3{,}9\times10^{-3}$
Manganina	$4{,}82\times10^{-8}$	$0{,}002\times10^{-3}$
Silício puro	$2{,}5\times10^{-3}$	-70×10^{-3}
Silício tipo *n*	$8{,}7\times10^{-4}$	
Silício tipo *p*	$2{,}8\times10^{-3}$	
Vidro	10^{10} - 10^{14}	
Quartzo fundido	$\sim10^{16}$	

Condutores, semicondutores e isolantes

Lei de Ohm

A lei de Ohm estabelece que *a corrente* através de um "dispositivo" em função da *diferença de potencial* é *linear*, ou seja, *R independe do valor e da polaridade de V* (Figura a). Quando isto acontece diz-se que o "dispositivo" é um *condutor ôhmico*. Caso contrário, o condutor não segue a lei de Ohm (Figura b).

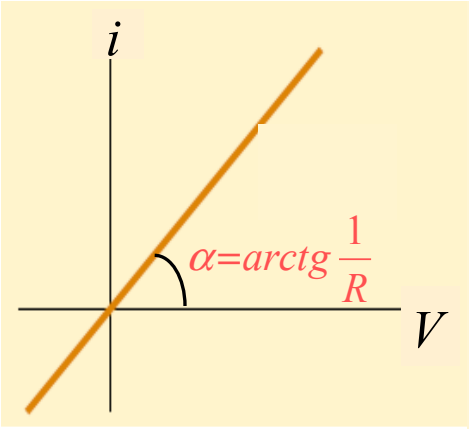
Pela definição de resistência:

$$R = \frac{V}{i}$$

A lei de Ohm implica que

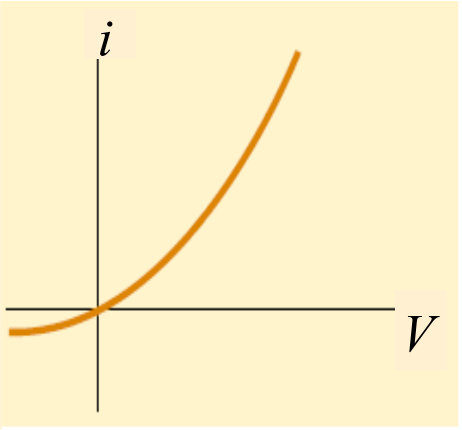
$$R \neq R(V)$$

e que o gráfico $i \times V$ é linear



condutor ôhmico

Fig. a



condutor não-ôhmico

Fig. b

Visão microscópica da Lei de Ohm

Um elétron de massa m colocado num campo $\vec{E}$ sofre uma aceleração

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$$

A velocidade de deriva pode ser escrita como:

$$v_d = a\tau = \frac{eE}{m}\tau,$$

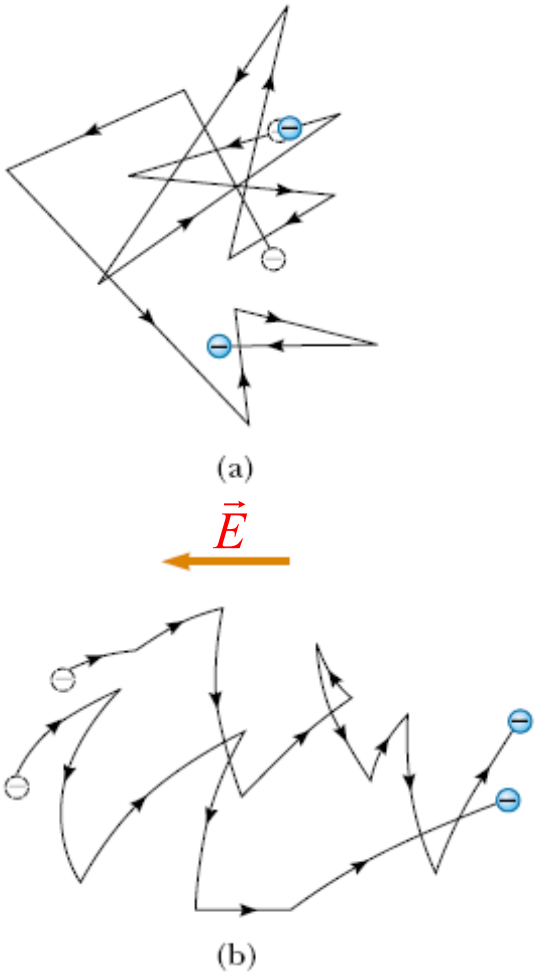
onde τ é o tempo médio entre colisões. Portanto,

$$J = nev_d = \frac{ne^2\tau}{m}E \therefore$$

de acordo com este modelo clássico,

$$\sigma = \frac{n\tau e^2}{m} \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{m}{n\tau e^2}$$ não dependem

de E, que é a característica de um condutor ôhmico.



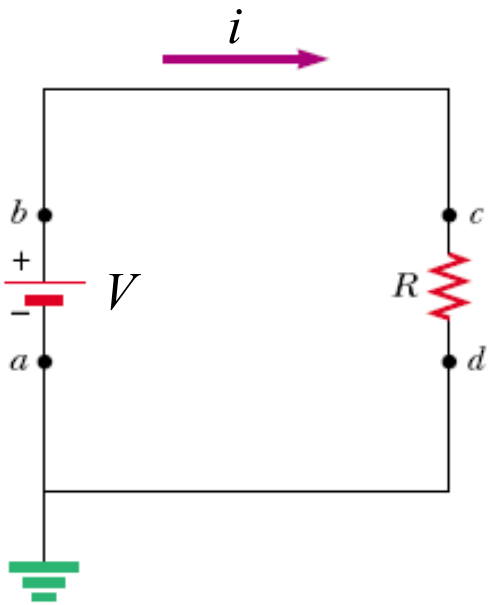
Potência em circuitos elétricos

Energia potencial transformada no trecho *cd* :

$$dU = Vdq = Vi\,dt$$

$$\frac{dU}{dt} = iV \quad \Rightarrow \quad P = V\,i \;\; (\mathrm{W})^{\#}$$

$$P = Ri^2 = \frac{V^2}{R}^{**}$$



Aplica-se à transformação de energia elétrica em todos os outros tipos de energia.

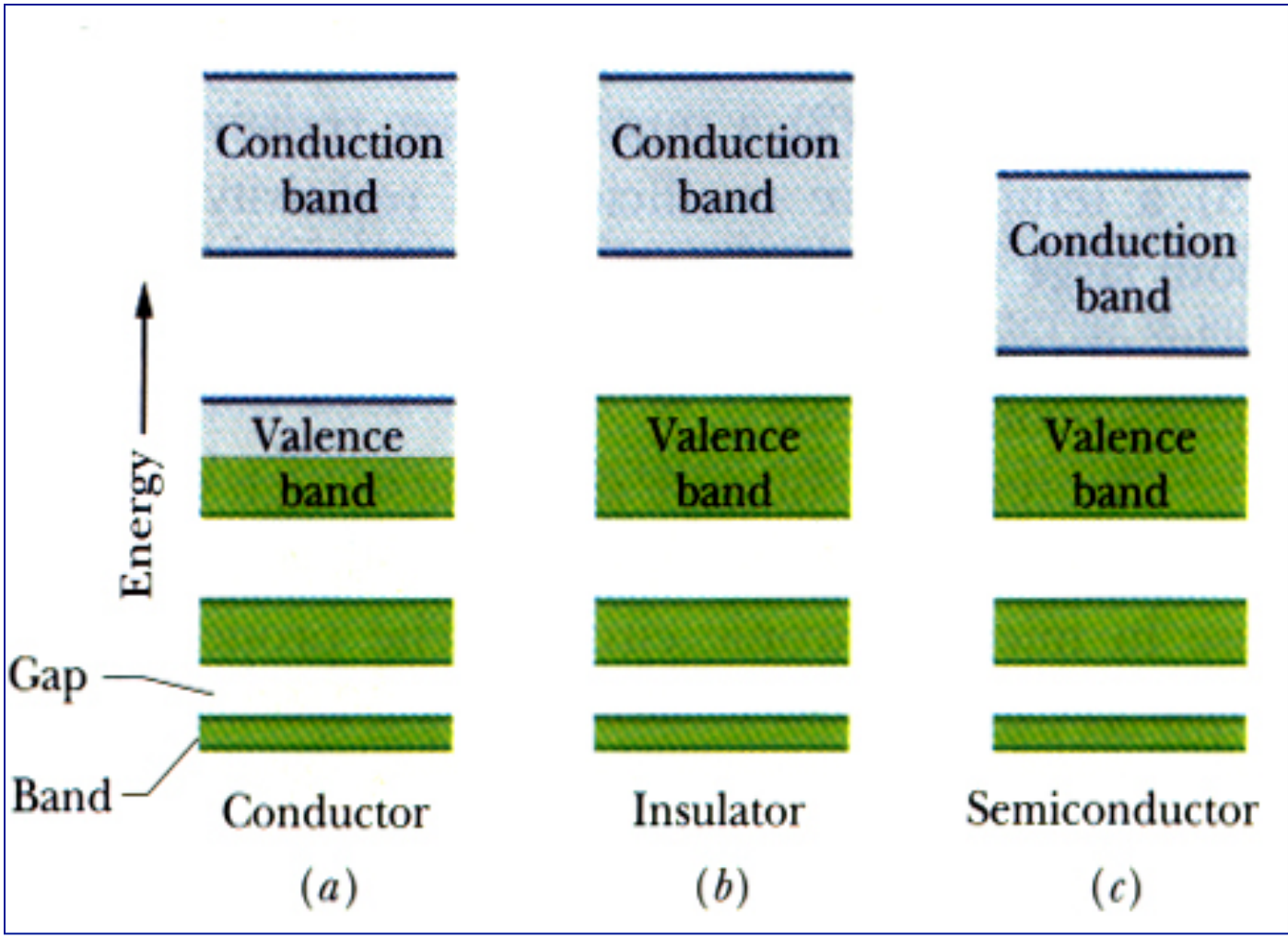
** aplica-se à transformação de energia potencial elétrica em energia térmica num dispositivo com resistência.

Condução em materiais: modelo de bandas

a) Condutor

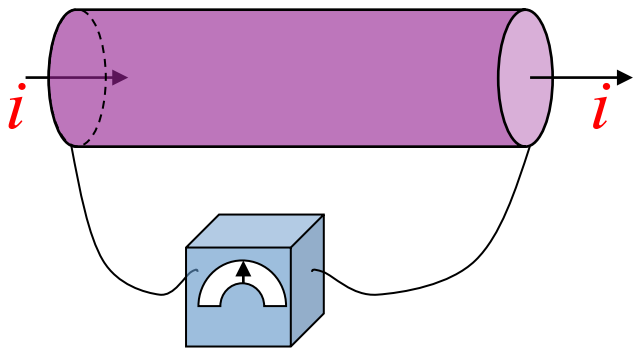
b) Isolante

c) Semicondutor

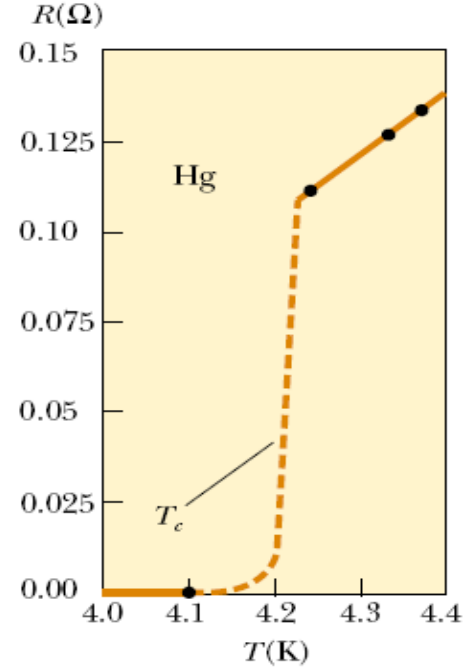


Supercondutores

Condução sem resistência



$V = 0$



Propriedades magnéticas inusitadas:

Pares de Cooper

Lista de exercícios do Capítulo 26

Os exercícios sobre Corrente e Resistência estão na página da disciplina : (http://www.ifi.unicamp.br).
Consultar: Graduação → Disciplinas → F 328 Física Geral III