



CIÊNCIAS NATURAIS E SUAS TECNOLOGIAS



ENEM2011

Módulo 1. Grandezas físicas

1. Grandezas escalares

Bastam um número real e uma unidade de medida para caracterizá-las.

Exemplos: massa, pressão, temperatura etc.

2. Grandezas vetoriais

Caracterizadas por: intensidade (módulo + unidades), direção e sentido e, por isso, representadas vetorialmente.

Exemplos: velocidade, força, campo elétrico etc.

3. Vetores

4. Grandezas proporcionais

4.1. Diretamente

$$\frac{y}{x} = k \text{ (constante)}$$

4.2. Inversamente

$$y \cdot x = k \text{ (constante)}$$

Módulo 2. Vetores (I)

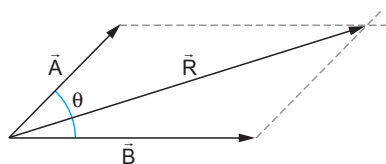
1. Produto de um escalar (número real) por um vetor

2. Adição vetorial (método da poligonal)

Módulo 3. Vetores (II)

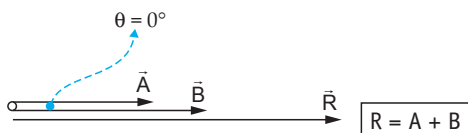
Adição vetorial

Método do paralelogramo



$$R^2 = A^2 + B^2 + 2 \cdot A \cdot B \cdot \cos \theta$$

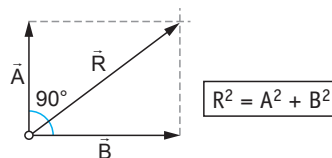
Casos particulares



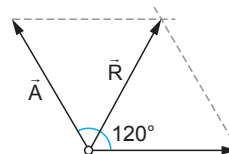
$$R = A + B$$



$$R = |A - B|$$



$$R^2 = A^2 + B^2$$



Quando $A = B$, então $R = A = B$

Módulo 4. Vetores (III)

1. Decomposição vetorial

2. Diferença vetorial

Módulo 5. Carga elétrica

1. Carga elétrica

Propriedade dos prótons e elétrons que lhes permite trocar forças elétricas de atração e repulsão.

2. Unidade (SI)

C (coulomb)

$$\begin{aligned} 1 \text{ mC (milicoulomb)} &= 10^{-3} \text{ C} \\ 1 \text{ } \mu\text{C (microcoulomb)} &= 10^{-6} \text{ C} \\ 1 \text{ nC (nanocoulomb)} &= 10^{-9} \text{ C} \\ 1 \text{ pC (picocoulomb)} &= 10^{-12} \text{ C} \end{aligned}$$

3. Princípio da atração e repulsão

Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas elétricas de sinais opostos se atraem.

4. Princípio da conservação da carga

Em um sistema eletricamente isolado, a carga elétrica total do sistema se conserva.

5. Carga elementar (e)

Carga do próton ou carga do elétron, em módulo.

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_{\text{próton}} = +e$$

$$q_{\text{elétron}} = -e$$

$$q_{\text{nêutron}} = 0$$

6. Quantidade de carga elétrica (Q)

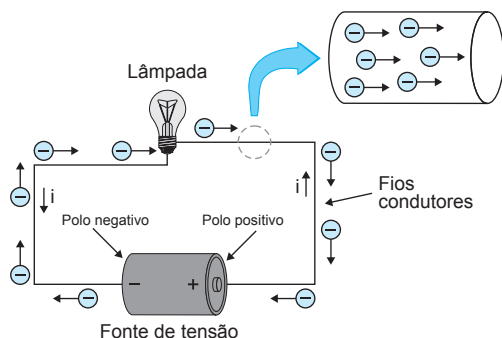
$$|Q| = n \cdot e$$

Q: carga de um corpo

n: diferença entre o número de prótons e o número de elétrons

Módulo 6. Corrente elétrica

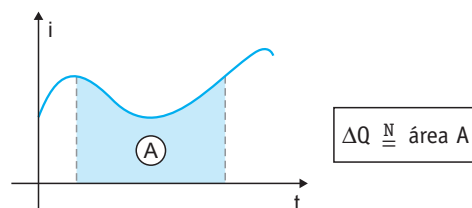
1. Corrente elétrica



3. Sentido convencional

O sentido convencional da corrente elétrica é o sentido oposto ao do movimento das cargas negativas.

4. Propriedade gráfica



2. Intensidade da corrente elétrica (i)

$$i = \frac{|\Delta Q|}{\Delta t}$$

ΔQ : carga elétrica ($\Delta Q = n \cdot e$)

Δt : intervalo de tempo

Unidade (SI): $\frac{\text{C}}{\text{s}} = \text{A}$ (ampère)

Módulo 7. Tensão e potência elétrica

1. Tensão elétrica (U)

Mede a quantidade de energia transformada por um componente elétrico por unidade de carga elétrica.

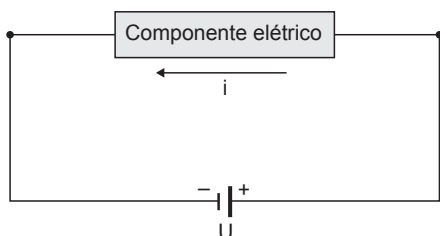
$$U = \frac{\Delta E}{\Delta q} \begin{matrix} \rightarrow \text{energia} \\ \rightarrow \text{carga elétrica} \end{matrix} \quad \text{Unidade (SI): } \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V (volt)}$$

2. Potência elétrica (P)

Mede a quantidade de energia transformada por unidade de tempo.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \begin{matrix} \rightarrow \text{energia} \\ \rightarrow \text{tempo} \end{matrix} \quad \text{Unidade (SI): } \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W (watt)}$$

$$\begin{matrix} 1 \text{ kW (quilowatt)} = 10^3 \text{ W} \\ 1 \text{ MW (megawatt)} = 10^6 \text{ W} \\ 1 \text{ GW (gigawatt)} = 10^9 \text{ W} \\ 1 \text{ TW (terawatt)} = 10^{12} \text{ W} \end{matrix}$$



$$P = i \cdot U$$

P: potência elétrica
i: corrente elétrica
U: tensão elétrica

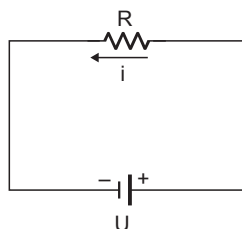
quilowatt-hora (kWh)
É a energia transformada por um sistema de 1 kW (1.000 W) de potência durante um intervalo de 1 hora (3.600 s).
 $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

Módulo 8. Resistores: 1ª lei de Ohm

1. Resistor

Dispositivo que transforma exclusivamente energia elétrica em energia térmica (efeito joule).

2. 1ª lei de Ohm



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

Unidade (SI): $\frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega$ (ohm)

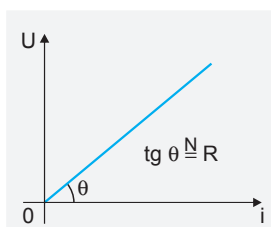
3. Potência do resistor

$$P = i \cdot U$$

$$P = R \cdot i^2$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

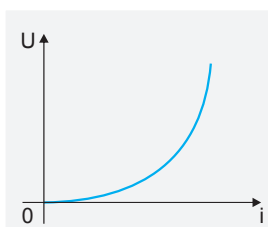
Resistor ôhmico



$R = \text{constante}$

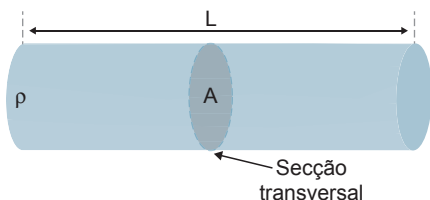
$$U = R \cdot i$$

Resistor não ôhmico



$R \neq \text{constante}$

Módulo 9 · 2ª lei de Ohm



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

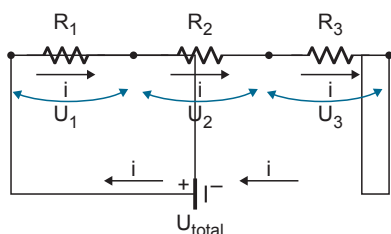
R: Resistência elétrica
L: Comprimento
A: Área da seção transversal
ρ: Resistividade do material

Unidades de resistividade:
 SI: $\Omega \cdot \text{m}$

Usual: $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Módulo 10 · Associação de resistores (I)

Associação de resistores em série



Resistência equivalente (R_{eq})

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

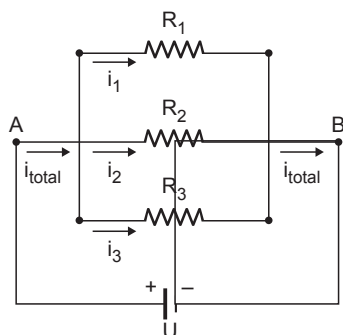
Não existe nó entre os resistores.
 Todos os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica.

A tensão elétrica total se divide entre os resistores.

$$U_{total} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Módulo 11 · Associação de resistores (II)

Associação de resistores em paralelo



Resistência equivalente (R_{eq})

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Todos os resistores são ligados entre os mesmos dois pontos.
 Todos os resistores ficam submetidos à mesma tensão elétrica.
 A corrente elétrica total se divide entre os resistores.

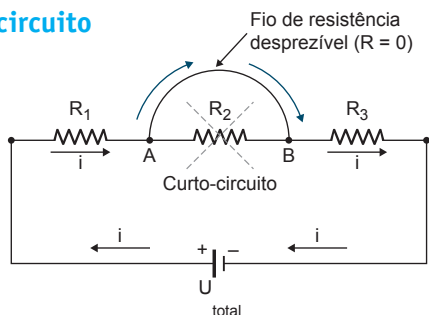
$$i_{total} = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$$

Dois resistores (R_1 e R_2) $\Rightarrow R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

N resistores iguais (R) $\Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{N}$

Módulo 12. Associação de resistores (III)

Curto-circuito



Um componente elétrico está em curto-circuito quando seus terminais estão interligados por um fio de resistência desprezível ($R = 0$).

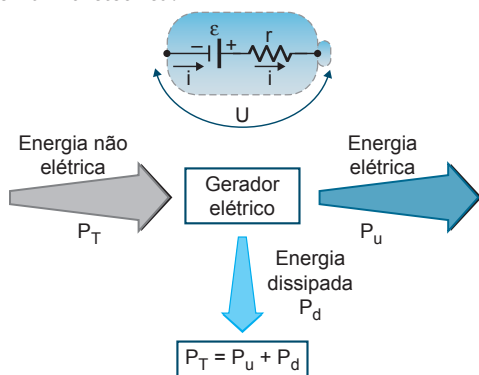
Quando um componente está em curto-circuito, a tensão elétrica entre seus terminais é nula.

$$U_{AB} = 0$$

Módulo 13. Geradores elétricos (I)

Gerador elétrico

Dispositivo que transforma energia não elétrica em energia elétrica para alimentar um circuito elétrico. Exemplos: pilha de rádio, bateria de celular, bateria de automóvel, usina hidrelétrica.



Equação característica → $U = \varepsilon - r \cdot i$

ε : força eletromotriz (V)

r : resistência interna (Ω)

i : corrente elétrica (A)

U : tensão nos terminais do gerador (V)

Potência total → $P_T = i \cdot \varepsilon$

Potência útil → $P_u = i \cdot U$

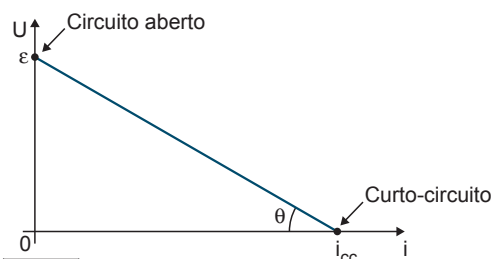
Potência dissipada → $P_d = r \cdot i^2$

Rendimento (η) → $\eta = \frac{P_u}{P_T}$ $\eta = \frac{U}{\varepsilon}$

Módulo 14. Geradores elétricos (II) Potência útil (P_u)

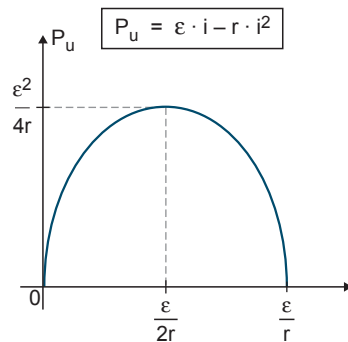
Equação característica

$$U = \varepsilon - r \cdot i$$



$$i_{cc} = \frac{\varepsilon}{r}$$

$$r = \frac{\varepsilon}{i_{cc}}$$



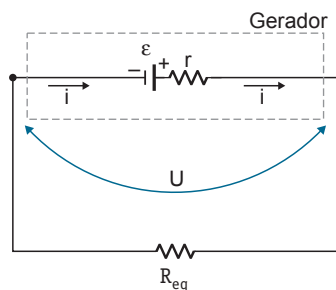
Condições de potência útil máxima

$$P_{u(\text{máx.})} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$

$$i = \frac{\varepsilon}{2r}$$

$$R_{eq} = r$$

Módulo 15 · Circuito gerador-resistor



A ddp (U) nos terminais do gerador é igual à ddp na resistência equivalente.

$$U_{R_{eq}} = U_{Gerador}$$

$$R_{eq} \cdot i = \varepsilon - r \cdot i$$

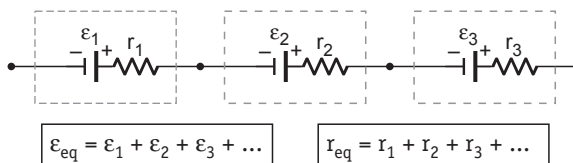
$$R_{eq} \cdot i + r \cdot i = \varepsilon$$

$$i(r + R_{eq}) = \varepsilon$$

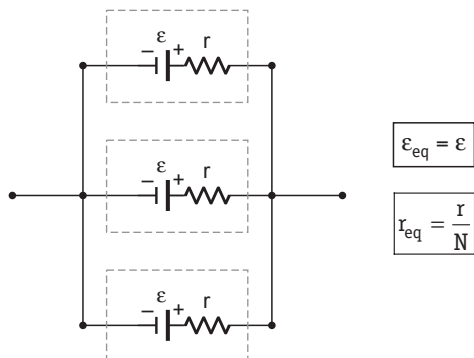
Lei de Ohm-Pouillet: $i = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}}$

Módulo 16 · Associação de geradores

Associação de geradores em série

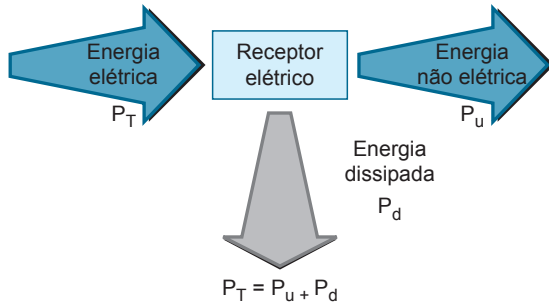


Associação de geradores em paralelo

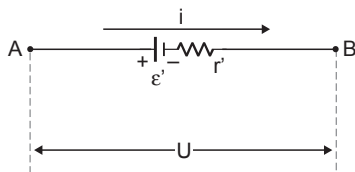


Módulo 17. Receptores elétricos

Receptores elétricos são dispositivos que transformam energia elétrica em energia não elétrica.
Exemplos: motores elétricos (ventilador, liquidificador, furadeira etc.) e baterias, quando estão sendo recarregadas.



Potência total: $P_T = i \cdot U$
 Potência útil: $P_U = i \cdot \varepsilon'$
 Potência dissipada: $P_d = r' \cdot i^2$
 Rendimento (η): $\eta = \frac{P_U}{P_T} \Rightarrow \eta = \frac{\varepsilon'}{U}$

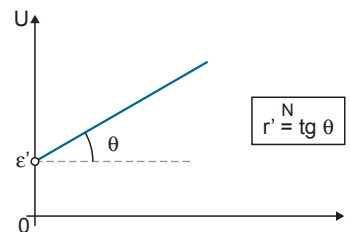


ε' → força contraeletromotriz (V)
 r' → resistência interna (Ω)
 U → tensão aplicada no receptor (V)
 i → corrente elétrica (A)

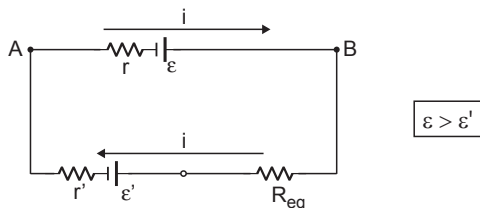
Equação característica

$$U = \varepsilon' + r' \cdot i$$

Curva característica



Módulo 18. Circuito gerador-receptor-resistor

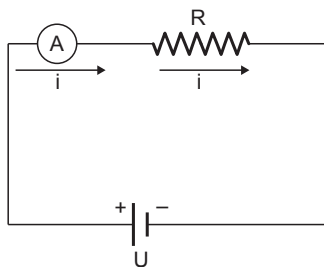


Lei de Ohm-Pouillet generalizada

$$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + r' + R_{eq}}$$

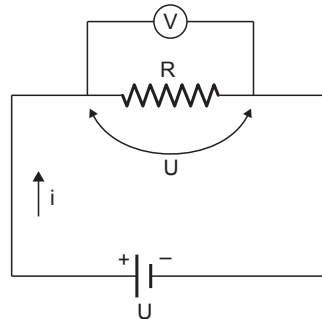
Módulo 19 · Medidores elétricos (I)

1. Amperímetro



- Mede corrente elétrica.
- Deve ser ligado em série.
- Tem resistência interna baixa.
(Ideal: $R = 0$)

2. Voltímetro

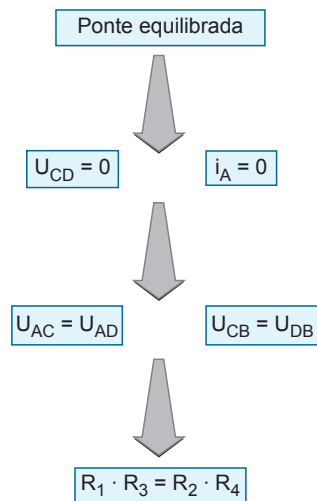
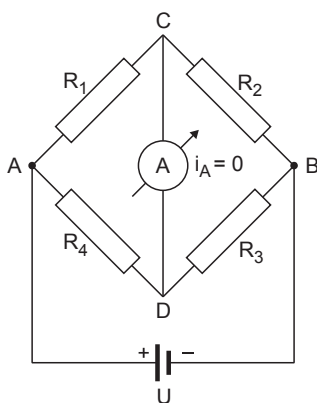


- Mede tensão elétrica.
- Deve ser ligado em paralelo.
- Tem resistência interna alta.
(Ideal: $R = \infty$)

Módulo 20 · Medidores elétricos (II)

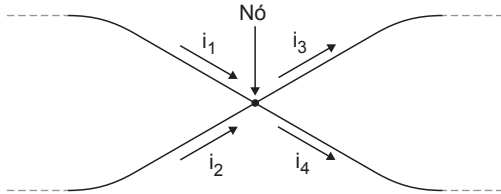
Voltímetro e amperímetro reais

Ponte de Wheatstone



Módulo 21 · Leis de Kirchhoff

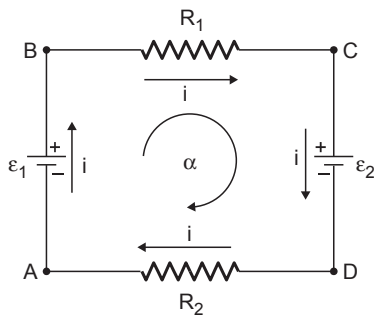
1. Lei dos nós



A soma das correntes elétricas que chegam em um nó é igual à soma das correntes elétricas que saem deste nó.

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4$$

2. Lei das malhas



“Ao se percorrer uma malha, num determinado sentido, até se retornar ao ponto de partida, a soma algébrica das ddp's é nula.”

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

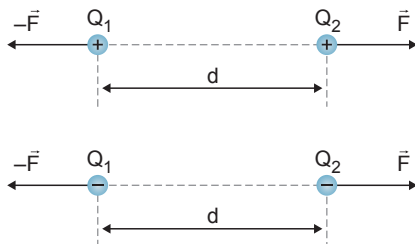
$$-\varepsilon_1 + R_1 \cdot i + \varepsilon_2 + R_2 \cdot i = 0$$

ou

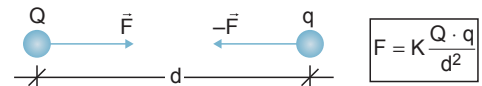
$$\varepsilon_1 - R_1 \cdot i - \varepsilon_2 - R_2 \cdot i = 0$$

Módulo 22 · Força elétrica (I)

1. Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem

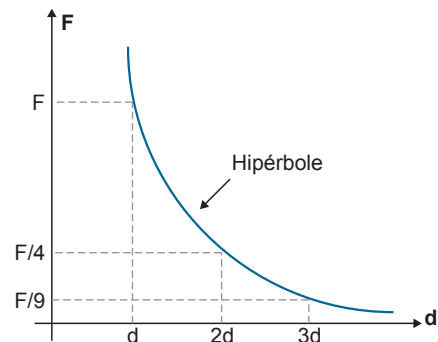
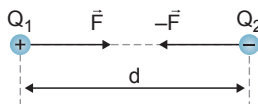


3. Lei de Coulomb



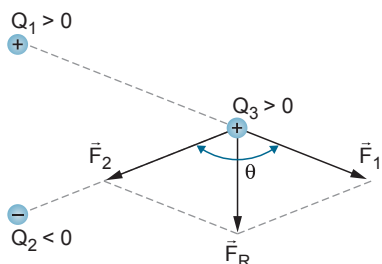
$$K_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \text{ (Constante eletrostática do vácuo)}$$

2. Cargas elétricas de sinais opostos se atraem



Módulo 23 · Força elétrica (II)

1. Força elétrica resultante



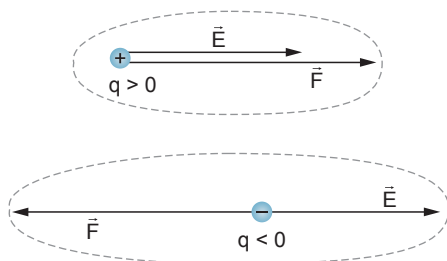
Soma vetorial

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

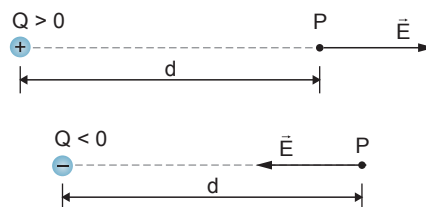
Lei dos cossenos

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \theta$$

Módulo 24 · Campo elétrico (I)



Campo elétrico de uma carga puntiforme



Definição

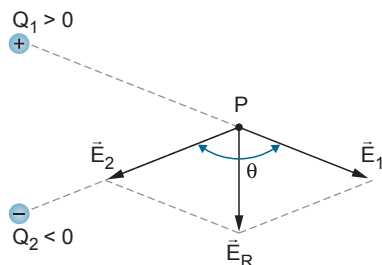
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Unidade: N/C

$$E = K \frac{Q}{d^2}$$

Módulo 25 · Campo elétrico (II)

Campo elétrico resultante



Soma vetorial

$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

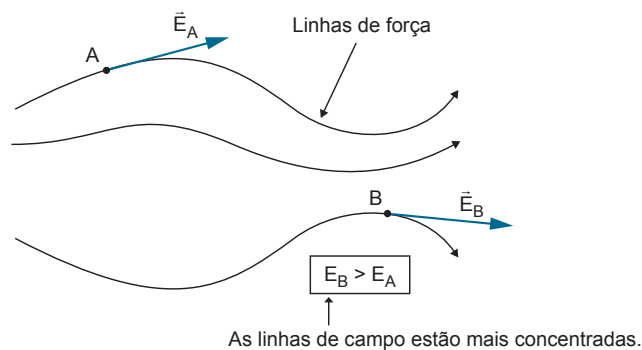
Lei dos cossenos

$$E_R^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot \cos \theta$$

Módulo 26 · Campo elétrico (III)

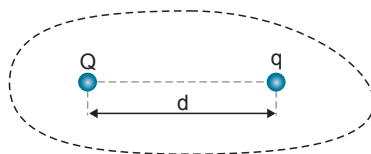
1. Linhas de campo elétrico

- São linhas orientadas que representam o campo elétrico numa região do espaço.
- São tangentes ao vetor campo elétrico em cada ponto e orientadas no sentido do vetor campo elétrico.
- “Nascem” nas cargas positivas e “morrem” nas cargas negativas.
- São mais concentradas onde o campo elétrico é mais intenso.



Módulo 27 · Potencial elétrico (I)

1. Energia potencial elétrica (E_{pel})



$$E_{pel} = \frac{K \cdot Q \cdot q}{d}$$

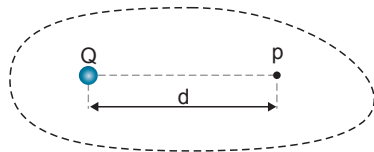
Unidade (SI): J (joule)

2. Potencial elétrico (V)

Propriedade associada a cada ponto do espaço e que permite determinar a energia potencial elétrica que uma carga de prova q adquire quando colocada neste ponto.

$$V = \frac{E_{pel}}{q} \rightarrow \text{Unidade (SI): J/C = V (volt)}$$

3. Potencial elétrico gerado por uma carga puntiforme

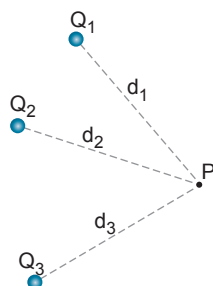


$$V_P = \frac{K \cdot Q}{q}$$

$Q > 0 \rightarrow V_P > 0$
 $Q < 0 \rightarrow V_P < 0$

Módulo 28 · Potencial elétrico (II)

Potencial elétrico resultante



Soma escalar

$$V_P = V_1 + V_2 + V_3$$

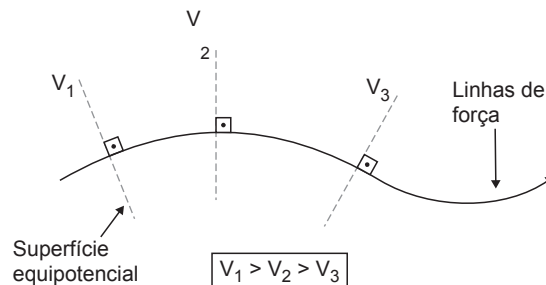
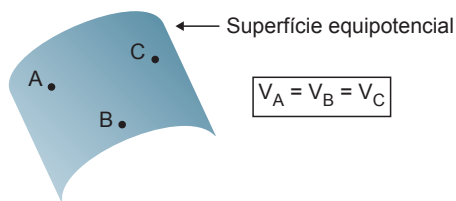
$$V_P = \frac{kQ_1}{d_1} + \frac{kQ_2}{d_2} + \frac{kQ_3}{d_3}$$

Módulo 29 · Superfícies equipotenciais

Superfícies do espaço em que todos os seus pontos possuem o mesmo potencial elétrico.

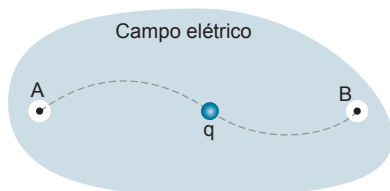
São sempre perpendiculares às linhas de campo elétrico.

Ao longo de uma linha de campo elétrico, o potencial elétrico decresce no sentido da linha de campo.



Módulo 30 • Trabalho no campo elétrico

Trabalho da força elétrica ($\mathcal{E}_{F_{el}}$)



$$\mathcal{E}_{F_{el}}^{A \rightarrow B} = E_{P_{el}}^A - E_{P_{el}}^B$$

$$\mathcal{E}_{F_{el}}^{A \rightarrow B} = q \cdot \underbrace{(V_A - V_B)}_{(U_{AB})} \text{ ddp entre A e B}$$

$\mathcal{E}_{F_{el}} > 0 \rightarrow$ movimento espontâneo $\rightarrow E_{P_{el}}$ diminui.

$\mathcal{E}_{F_{el}} < 0 \rightarrow$ movimento forçado $\rightarrow E_{P_{el}}$ aumenta.

Módulo 31 • Condutores (I)

Propriedades de um condutor em equilíbrio eletrostático

As cargas elétricas em excesso se distribuem na superfície externa do condutor.

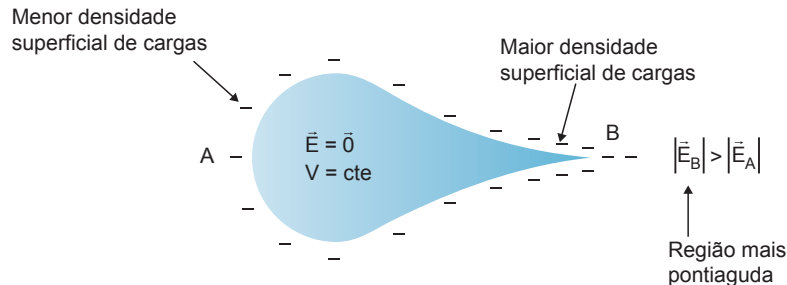
Há maior densidade superficial de cargas nas regiões mais pontiagudas.

No interior do condutor, o campo elétrico é nulo.

Os pontos internos e os da superfície do condutor possuem o mesmo potencial elétrico.

Externamente ao condutor, as linhas de força são normais à sua superfície.

Externamente ao condutor, o campo elétrico é mais intenso próximo às regiões pontiagudas.



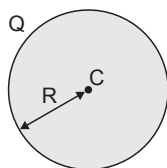
Módulo 32 • Condutores (II)

1. Capacitância eletrostática (C)

Mede a quantidade de carga de um condutor por unidade de potencial elétrico.

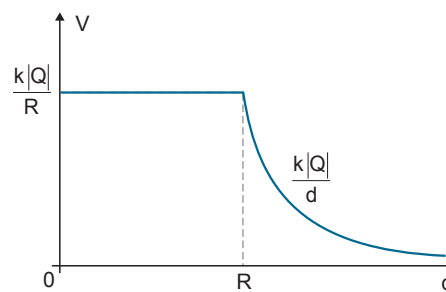
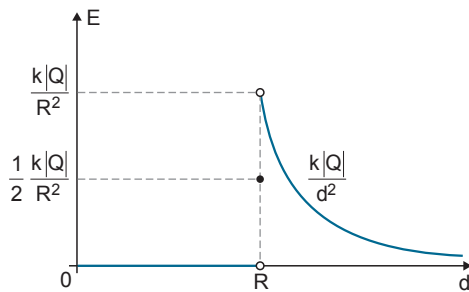
$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow \text{Unidade (SI): } C/V = F (\text{farad})$$

2. Condutor esférico



$$V_{\text{esf.}} = \frac{k \cdot Q}{R}$$

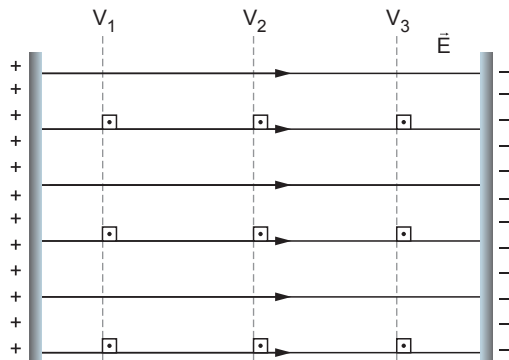
$$C_{\text{esf.}} = \frac{R}{k}$$



Módulo 33 · Campo elétrico uniforme

Campo elétrico uniforme (CEU)

O vetor campo elétrico tem mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido em todos os pontos. As linhas de força são paralelas entre si e igualmente espaçadas. As superfícies equipotenciais são planos paralelos entre si e perpendiculares às linhas de força.



$$V_1 > V_2 > V_3$$

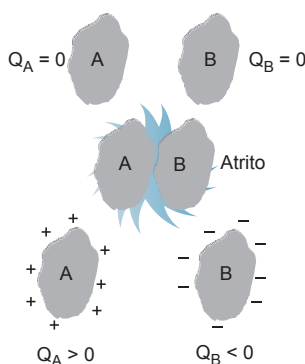
$$E \cdot d = U$$

E: intensidade do campo elétrico
d: distância entre duas superfícies equipotenciais
U: ddp entre duas superfícies equipotenciais

$$1 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Módulo 34 · Eletrização (I)

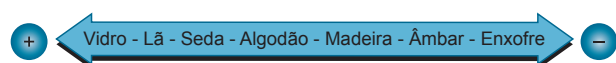
1. Eletrização por atrito



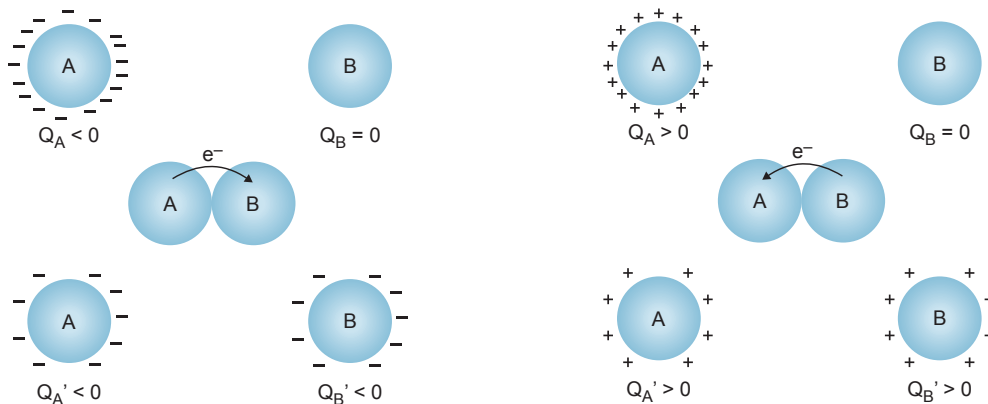
Os corpos devem ser constituídos de materiais diferentes. Um dos corpos perde elétrons e o outro ganha elétrons. Os corpos adquirem cargas de sinais opostos e de mesmo módulo.

$$|Q_A| = |Q_B|$$

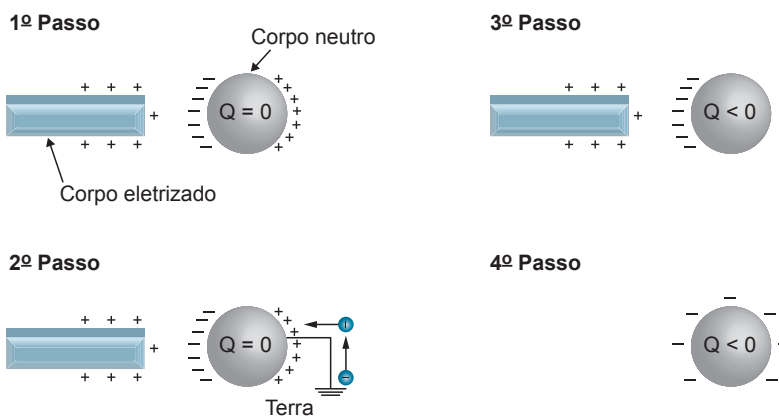
Série triboelétrica



2. Eletrização por contato



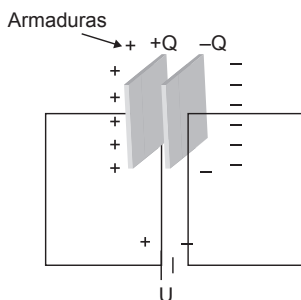
Módulo 35 · Eletrização (II)



Módulo 36 · Capacitores (I)

1. Capacitor

Dispositivo capaz de armazenar carga elétrica.



Q: carga elétrica armazenada
U: tensão aplicada no capacitor

$$Q = C \cdot U$$

Capacitância do capacitor
Unidade (SI): C / V = F (farad)

2. Energia potencial elétrica armazenada (E_{pel})

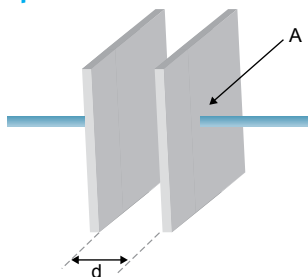
$$E_{\text{pel}} = \frac{Q \cdot U}{2}$$

$$E_{\text{pel}} = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

$$E_{\text{pel}} = \frac{Q^2}{2C}$$

Módulo 37 · Capacitores (II)

1. Capacitor plano



C: capacitância
 A: área das armaduras
 d: distância entre as armaduras
 ε: permissividade elétrica do meio

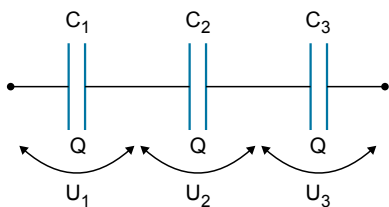
$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

ε₀: permissividade elétrica do vácuo (8,85 · 10⁻¹² F/m)

ε_r: permissividade relativa do meio

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

2. Associação de capacitores em série



- Todos os capacitores ficam com a mesma carga elétrica (Q).
- A ddp total se divide entre os capacitores.

$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

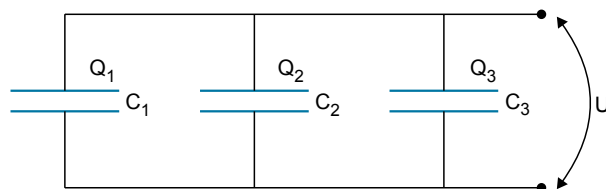
Capacitância equivalente

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

$$C_{\text{eq}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{\text{eq}} = \frac{C}{N}$$

3. Associação de capacitores em paralelo



- Todos os capacitores ficam submetidos à mesma ddp (U).
- A carga total se divide entre os capacitores.

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

Capacitância equivalente

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

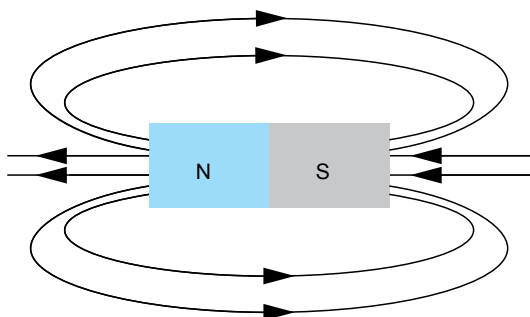
Módulo 38 · Campo magnético (I)

1. Linhas de indução magnética

Linhas fechadas e orientadas que representam o campo magnético.

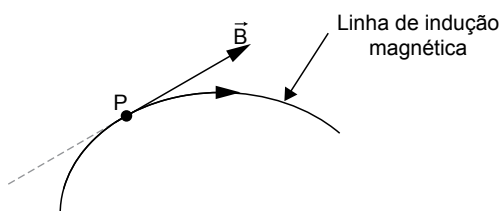
Quanto maior for a densidade de linhas, mais intenso será o campo magnético.

Externamente ao ímã, “nascem” no norte e “morrem” no sul.



2. Vetor de indução magnética (\vec{B})

É sempre tangente às linhas de indução magnética e no mesmo sentido destas.



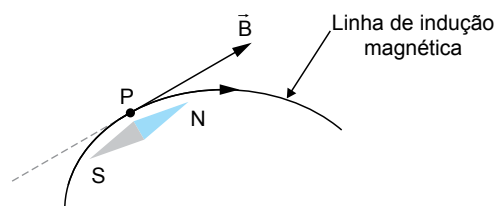
3. Campo magnético uniforme

Vetor de indução magnética (\vec{B}) é constante em todos os pontos do campo.

Linhas de indução magnética paralelas (direção e sentido constantes) e equidistantes (módulo constante).

4. Orientação de bússola

Uma bússola tende a se orientar paralelamente ao vetor indução magnética, com o seu norte apontando no sentido do vetor de indução magnética.

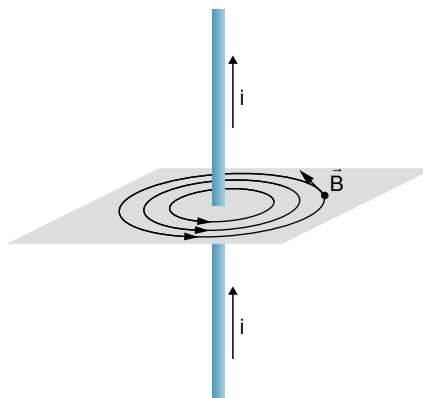


5. Vetores tridimensionais

⊗ Do olho do observador para o papel (entrando no papel).

⊙ Do papel para o olho do observador (saindo do papel).

6. Campo produzido por condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica



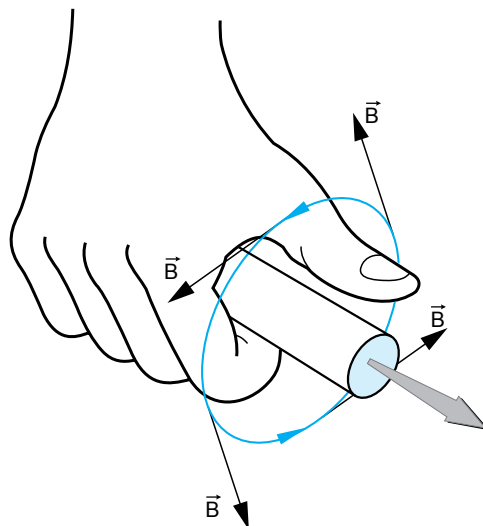
$$\text{Intensidade: } B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} \text{ Unidade (SI) : T (tesla)}$$

μ → permeabilidade magnética do meio

$$(\text{v\u00e1cuo} \rightarrow \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}})$$

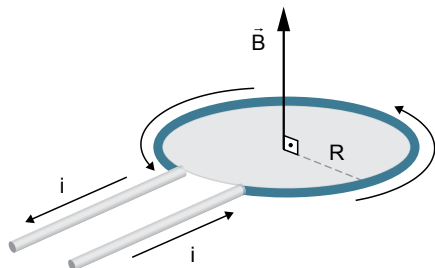
Direção: ortogonal ao condutor

Sentido: dado pela “regra da mão direita”



Módulo 39 · Campo magnético (II)

1. Campo magnético no centro de espira circular 2. Campo magnético no interior de um solenoide



Intensidade

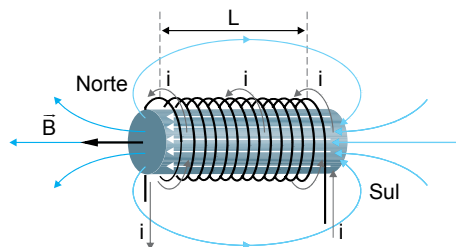
$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot R}$$

Direção

Perpendicular ao plano da espira

Sentido

Dado pela regra da mão direita



Intensidade

$$B = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot i}{L}$$

Direção

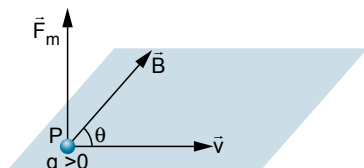
A mesma do eixo do solenoide

Sentido

Dado pela regra da mão direita

Módulo 40 · Força magnética (I)

1. Força magnética sobre carga



Intensidade

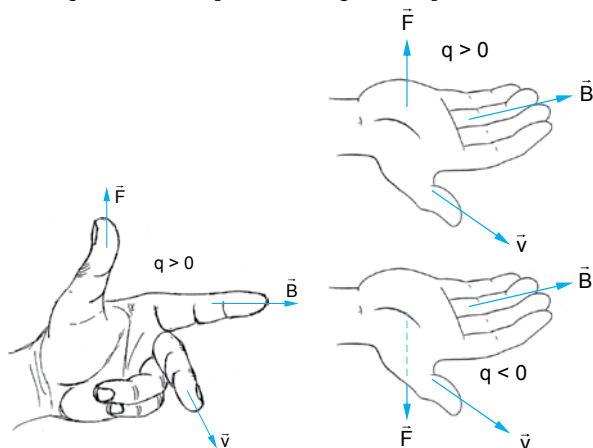
$$F = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \theta$$

Direção

Perpendicular ao plano determinado pelos vetores \vec{B} e \vec{v}

Sentido

Regra da mão esquerda ou regra do tapa



2. Tipos de lançamento e trajetórias

1º caso

Carga lançada paralelamente às linhas de indução magnética:

$$\theta = 0^\circ \text{ ou } \theta = 180^\circ \rightarrow F_{\text{mag.}} = 0$$

A carga descreve um movimento retilíneo uniforme (MRU).

2º caso

Carga lançada perpendicularmente às linhas de indução magnética:

$$\theta = 90^\circ \rightarrow F = |q| \cdot v \cdot B$$

A carga descreve um movimento circular uniforme (MCU):

$$\text{Raio do MCU: } R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

$$\text{Período do MCU: } T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{|q| \cdot B}$$

3º caso

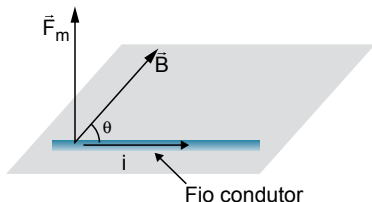
Carga lançada obliquamente às linhas de indução magnética:

$$0^\circ < \theta < 180^\circ \rightarrow F = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \theta$$

A carga descreve um movimento helicoidal uniforme em torno das linhas de indução.

Módulo 41. Força magnética (II)

1. Força magnética sobre condutor retilíneo percorrido por corrente



Intensidade

$$F = B \cdot i \cdot l \cdot \sin \theta$$

Direção

Perpendicular ao plano definido pelo condutor e pelo vetor \vec{B}

Sentido

Dado pela regra da mão esquerda ou pela regra do tapa

2. Força magnética sobre condutores retilíneos e paralelos

Intensidade

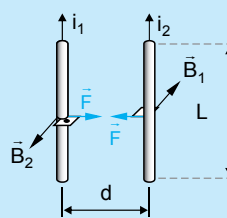
$$F = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

Sentido

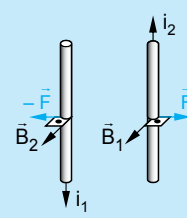
Atração → Correntes de mesmo sentido

Repulsão → Correntes de sentidos opostos

Correntes elétricas de mesmo sentido



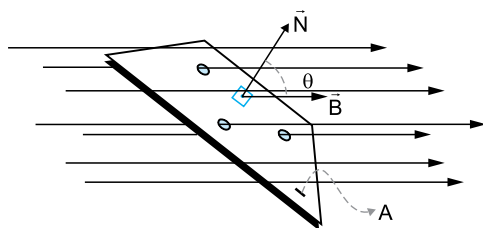
Correntes elétricas de sentidos opostos



Módulo 42. Indução eletromagnética (I)

1. Fluxo magnético (ϕ)

Grandeza escalar que mede o número de linhas de indução magnética que atravessam uma determinada superfície de área A.

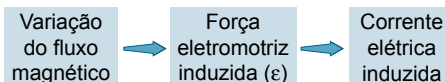


$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

Unidade (SI) : T · m² = Wb (weber)

2. Indução eletromagnética

Se o fluxo magnético em uma espira condutora fechada variar com o tempo, esta será percorrida por uma corrente elétrica induzida.



3. Lei de Faraday

A força eletromotriz média induzida (ϵ) é diretamente proporcional à rapidez com que o fluxo magnético varia com o tempo.

$$\epsilon = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

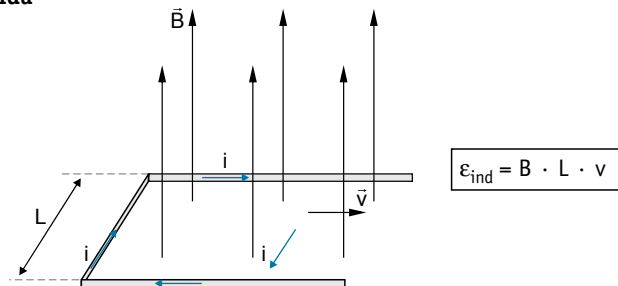
4. Lei de Lenz

A corrente elétrica induzida em um circuito gera um campo magnético induzido que se opõe à variação do fluxo magnético que induz essa corrente.

Módulo 43 · Indução eletromagnética (II)

Condutor retilíneo movimentando-se em campo magnético uniforme

Força eletromotriz induzida

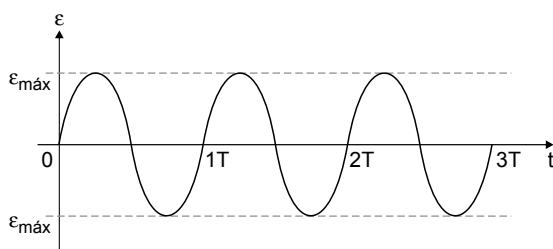


Módulo 44 · Corrente alternada e transformadores

1. Corrente alternada

Aquela que altera seu sentido de propagação em função do tempo.

Gráfico da fem (ϵ) em função do tempo (t)



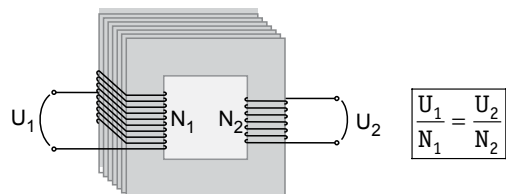
$$\epsilon_{ef} = \frac{\epsilon_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

2. Transformador

Dispositivo capaz de alterar a ddp em um circuito de corrente alternada.

Primário: N_1 espiras

Secundário: N_2 espiras



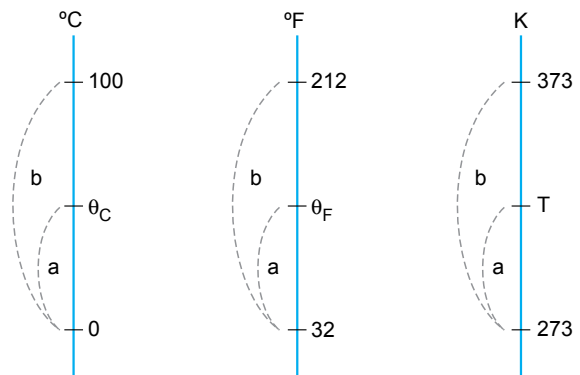
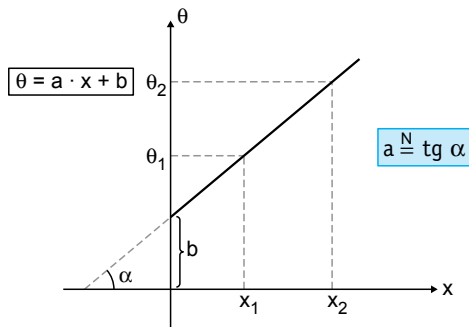
Transformador ideal:

$$P_1 = P_2$$

Módulo 45 • Termometria

1. Grandeza termométrica

2. Equação termométrica



$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{T - 273}{5}$$

$$\theta_C = T - 273$$

3. Escalas termométricas

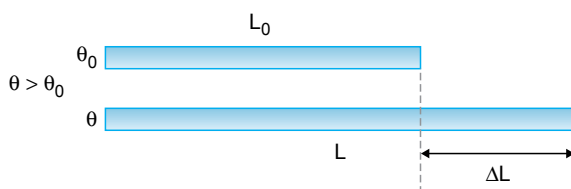
Escala	1° PF	2° PF
Celsius	0°	100°
Fahrenheit	32°	212°
Kelvin	273	373

Para cálculo de variação

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{\Delta T}{5}$$

Módulo 46 • Dilatação térmica (I)

Dilatação linear



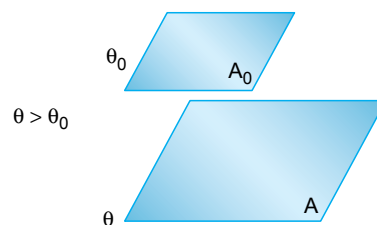
$$\Delta L = L - L_0$$

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Unidade (α): $\frac{1}{^\circ\text{C}} = ^\circ\text{C}^{-1}$

Dilatação superficial



$$\Delta A = A - A_0$$

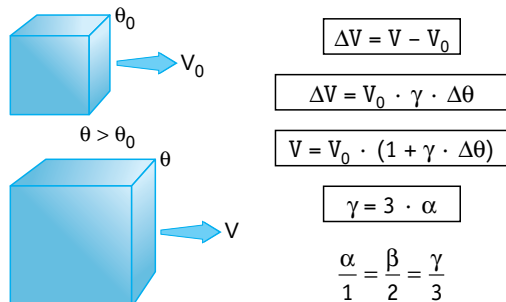
$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

$$A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$$

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

Módulo 47 · Dilatação térmica (II)

Dilatação volumétrica



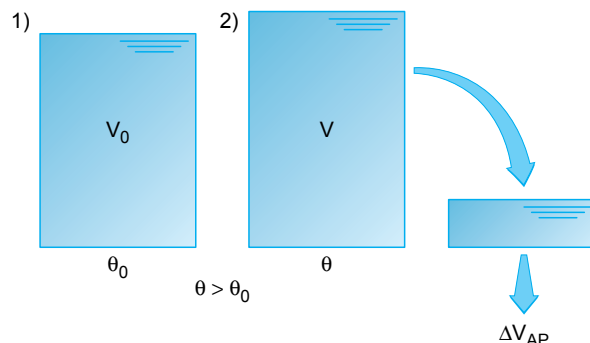
Varição de densidade com a temperatura

$$d_0 = \frac{m}{V_0} \Rightarrow d = \frac{m}{V}$$

$$d = \frac{m}{V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)}$$

$$d = \frac{d_0}{1 + \gamma \cdot \Delta\theta}$$

Dilatação dos líquidos



$$\gamma_{\text{líquidos}} > \gamma_{\text{sólidos}}$$

$$\Delta V_{\text{real}} = \Delta V_{\text{AP}} + \Delta V_{\text{F}}$$

$$\gamma_{\text{real}} = \gamma_{\text{AP}} + \gamma_{\text{F}}$$

Comportamento térmico da água

Módulo 48 · Calor sensível

Calor

Energia em trânsito espontâneo, em virtude exclusivamente da diferença de temperatura entre um corpo e outro

Capacidade térmica (C)

Grandeza ligada ao corpo

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

Q: Quantidade de calor

$\Delta\theta$: Variação de temperatura

Unidade (C): cal/°C; J/K

Calor específico (c)

Grandeza ligada à substância

$$C = m \cdot c$$

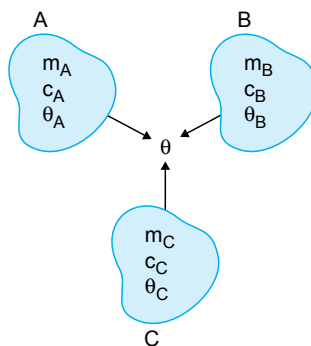
Unidade: cal/(g · °C); J/(kg · K)

Calor sensível

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Módulo 49 · Trocas de calor

Trocas de calor em sistemas isolados



$$\Sigma Q = 0$$

$$Q_A + Q_B + Q_C = 0$$

Módulo 50 · Calor latente

Calor latente

$$Q = m \cdot L$$

L: calor específico latente
 Unidade (L): cal/g; J/kg

Potência de uma fonte térmica (P)

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

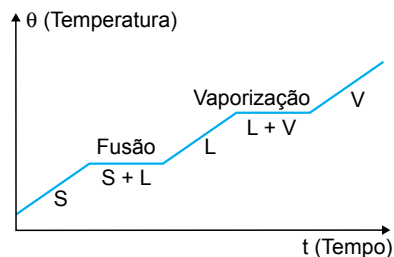
Q: quantidade de calor
 Δt : intervalo de tempo
 Unidades (P): cal/s; cal/min; J/s(watt)

Módulo 51 · Mudanças de fase

Leis gerais das mudanças de fase

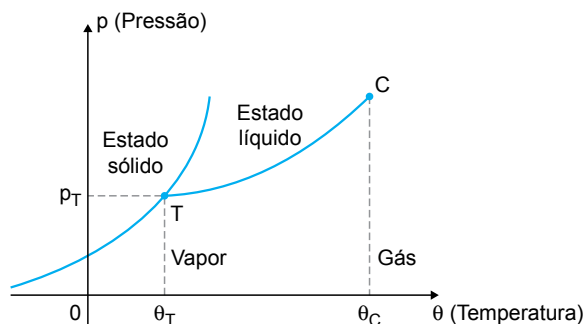
1ª lei: para uma dada pressão, cada substância pura possui uma temperatura fixa de fusão e outra temperatura fixa de vaporização.

2ª lei: para uma mesma substância e a uma dada pressão, a temperatura de solidificação coincide com a de fusão, bem como a temperatura de liquefação coincide com a de vaporização.

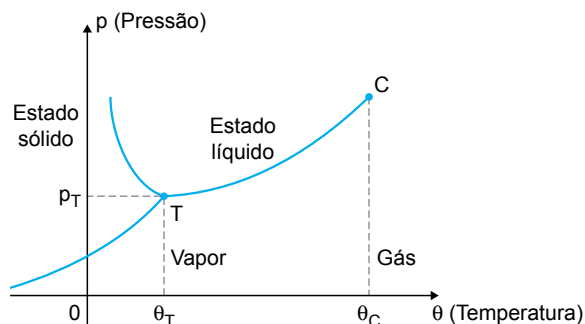


Módulo 52 · Diagramas de fase

1. Substâncias em geral

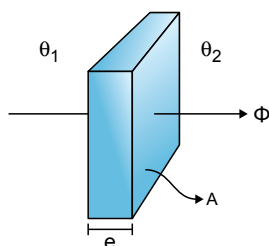


2. Substâncias que se contraem na fusão (Água, bismuto, ferro e antimônio)



Módulo 53 · Propagação do calor

1. Condução ⇒ Sólidos



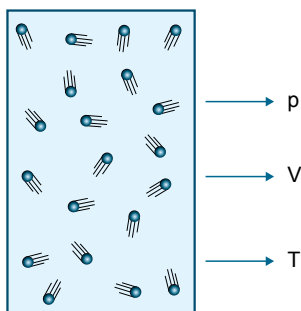
$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{e}$$

k → Coeficiente de condutividade térmica

2. Convecção ⇒ Fluidos

3. Irradiação ⇒ Presença ou não de meio material

Módulo 54 · Gases perfeitos (I)



p – Pressão
 V – Volume
 T – Temperatura (absoluta)

Equação de Clapeyron

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

n : número de mols

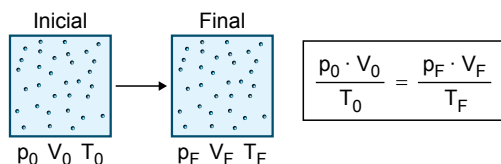
$$n = \frac{m}{M}$$

m : massa
 M : massa molar

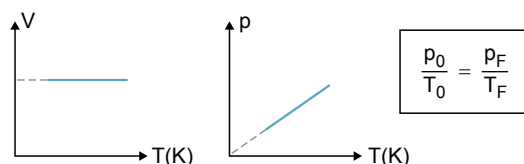
$$R: \text{constante} \begin{cases} R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \ell}{\text{mol} \cdot \text{K}} \\ R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \\ R = 2,0 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \end{cases}$$

Transformações gasosas

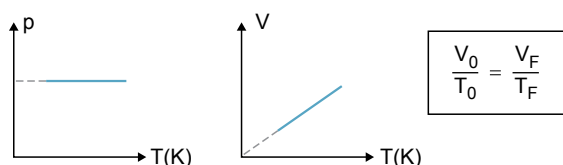
1.1. Transformação geral



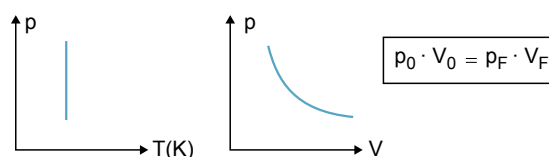
1.3. Transformação isovolumétrica ($V \rightarrow$ constante)



1.2. Transformação isobárica ($p \rightarrow$ constante)



1.4. Transformação isotérmica ($T \rightarrow$ constante)



Módulo 55 • Termodinâmica (I)

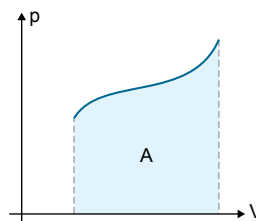
1. Trabalho de um gás

1.1. À pressão constante

$$\mathcal{E} = p \cdot \Delta V$$

1.2. À pressão variável

$$\mathcal{E} \stackrel{N}{=} A$$



Módulo 56 • Termodinâmica (II)

1. Energia cinética média por molécula

$$\bar{E}_c = \frac{3}{2} kT$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K (constante de Boltzmann)}$$

2. Energia interna (U)

Soma das energias cinéticas de translação das moléculas de um gás ideal monoatômico:

$$U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot T$$

$$U = E_c = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T = \frac{3}{2} p \cdot V$$

Módulo 57. Primeira lei da termodinâmica

$$\mathcal{E} = Q - \Delta U \quad \text{ou} \quad Q = \mathcal{E} + \Delta U$$

\mathcal{E} - Trabalho

Q - Calor

ΔU - Variação da energia interna

Para os gases ideais monoatômicos:

$$U = E_c = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T = \frac{3}{2} p \cdot V$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

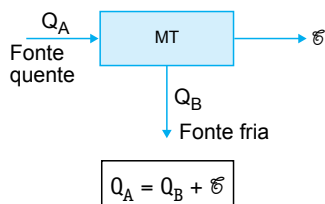
Transformação adiabática

$$Q = 0$$

Módulo 58. Segunda lei da termodinâmica

1. Máquina térmica

Máquina térmica é um sistema no qual existe um fluido operante que recebe uma quantidade de calor Q_A de uma fonte térmica quente, realiza um trabalho \mathcal{E} e rejeita a quantidade Q_B de calor para uma outra fonte fria.



Rendimento

$$\eta = \frac{\mathcal{E}}{Q_A} = 1 - \frac{Q_B}{Q_A}$$

Máquina de Carnot: maior rendimento possível entre duas fontes térmicas de temperaturas fixas.

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{T_B}{T_A}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A}$$

2. Segunda lei da termodinâmica

Enunciado de Kelvin-Planck

Não é possível transferir calor de um corpo frio para outro corpo quente espontaneamente.