Lei de Coulomb:

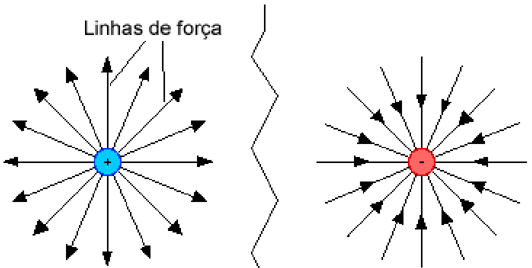
$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}\ \hat{r}$

- Método para distribuição de cargas:
  - Dividir a distribuição em infinitos dq
  - Analisar $d\vec{F}$ feito por dq
  - Dividir $d\vec{F}$ em suas componentes dFx e dFy
  - Analisar se há alguma forma de simetria que simplifica as contas
  - Calcular <u>em módulo</u> as componentes Fx e Fy [Fx=$\int dFx$; Fy=$\int dFy$]
  - Passar para a notação vetorial $\vec{F}$

Campo Elétrico:

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

- Para cargas pontuais: $\vec{E} = \frac{Kq}{r^2}\hat{r}$



O campo elétrico de uma carga positiva isolada

O campo elétrico de uma carga negativa isolada

- Distribuição de cargas:
  - Mesmo método de $\vec{F}$ [d$\vec{E}$ no caso]

<u>Observação importante: "brincando" com o elemento diferencial</u>

$l = f(\theta) => \frac{dl}{d\theta} = f'(\theta) => dl = f'(\theta)d\theta$;Ex: $l = \theta \cdot r => \frac{dl}{d\theta} = r => dl = r \cdot d\theta$

$V = f(r) => dV = f'(r)dr$; Ex: $V = \frac{4}{3}\pi r^3 => dV = 4\pi r^2 dr$

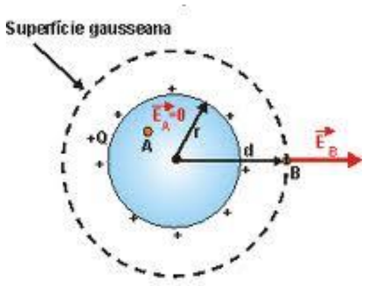
O mesmo vale para áreas, comprimentos e volumes definidos em outras funções

Lei de Gauss:

$$\phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Qi}{\varepsilon_0}$$

- Escolher uma superfície gaussiana imaginária que utilize alguma simetria
- Analisa-se o $\vec{E}$ sob esta superfície
- Qi => carga interna a superfície gaussiana

Ex:



Potencial Elétrico

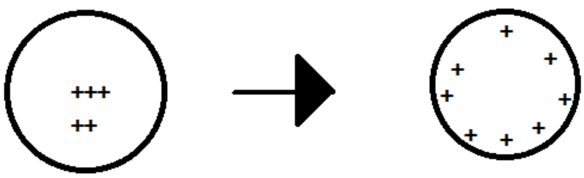
$\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$ -> definição -> é possível chegar a todas as fórmulas por ela

$\Delta V = -\frac{W}{q} = -\frac{\int \vec{F} \cdot d\vec{l}}{q} = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$

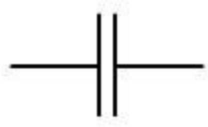
- Para cargas pontuais: $\Delta V = V_x - V_\infty = -\int_\infty^x K \cdot \frac{q}{r^2} dr \Rightarrow V_x = \frac{Kq}{r}$ [potencial feito por uma carga pontual em um ponto x a uma distância r]
- Distribuição de cargas:
  - Mesmo método de força e campo elétrico [porém dV no caso, não mais vetorial!]
- Relação Campo Elétrico – Potencial Elétrico: $\vec{E} = -\nabla V = -(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{\imath} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{\jmath} + \frac{\partial V}{\partial z}\hat{k})$

Condutores:

Equilíbrio eletrostático -> cargas se distribuem pela superfície



Capacitores:



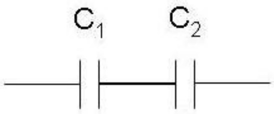
$C = \frac{q}{V}$; c-> capacitância, q-> carga, V-> tensão no capacitor

- Métodos de cálculo de capacitância:
    - Definir um campo elétrico interno
    - Calcular $V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$; sendo o ponto inicial a placa negativa
    - $C = \frac{q}{V}$

  Ex: Placas paralelas

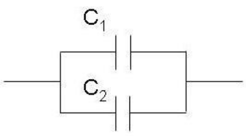
  $$\left|\vec{E}\right| = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} => V = -\int -\frac{\sigma}{\varepsilon_0} dl = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d = q \cdot \frac{d}{A \cdot \epsilon_0} \; ; C = \frac{q}{V} = A \cdot \frac{\epsilon_0}{d}$$

- Capacitores em série:



$$q_1 = q_2 = q \; ; V_1 + V_2 = V => \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

- Capacitores em paralelo:



$$V_1 = V_2 = V \; ; q_1 + q_2 = q => \; C_{eq} = C_1 + C_2$$

- Capacitor com dielétrico:
  C'=K C ; onde K é a constante dielétrica

- Energia Armazenada:
  $U = \frac{q^2}{2C}$

Circuitos:

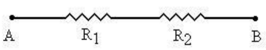
$i = \int \vec{j} \cdot d\vec{A}$, onde i é a corrente e j(vetorial) é a densidade de corrente)

**** obs: velocidade de deriva: $\vec{v}_d = -\frac{\vec{j}}{e \cdot n}$; onde e é a carga do elétron e n a densidade de elétrons

- Resistor:

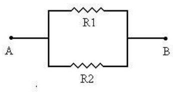
$R = \frac{\Delta V}{i} = \rho \cdot \frac{L}{A}$; onde ρ é a resistividade ($\vec{E} = \rho \cdot \vec{j}$)

  - Resistor em série:



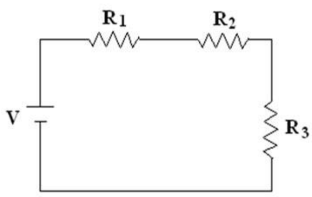
$i = i_1 = i_2$; $V = V_1 + V_2 \Rightarrow R_{eq} = R_1 + R_2$

  - Resistor em paralelo:



$i = i_1 + i_2$; $V = V_1 = V_2 \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

- Análise das tensões – Lei de Kirchhoff:
  $\sum V_i = 0$, ou seja, somatório das tensões em cada elemento seguindo um caminho fechado é igual a zero
  Exemplo:



$$V - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} = 0$$

- Circuitos RC:
  - Carga do capacitor: $q(t) = C_{eq} \cdot \varepsilon \cdot (1 - e^{-\frac{t}{(Req \cdot Ceq)}})$; $i(t) = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} \cdot e^{-\frac{t}{Req \cdot Ceq}}$
  - Descarga: $q(t) = q_0 \cdot e^{-\frac{t}{Req \cdot Ceq}}$; $i(t) = -\frac{q_0}{R_{eq} \cdot C_{eq}} \cdot e^{-\frac{t}{Req \cdot Ceq}}$

Força Magnética:

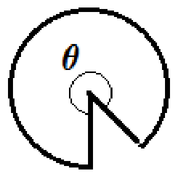
$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$, onde $\vec{v} \times \vec{B}$ é o produto vetorial da velocidade da carga e do campo magnético, e a força é a força sobre uma carga em movimento

- Sobre um fio:
  $d\vec{F} = i \cdot d\vec{l} \times d\vec{B}$, calcula-se então F pela integral

Lei de Biot-Savart (Campo Magnético)

$\vec{B} = \int d\vec{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$

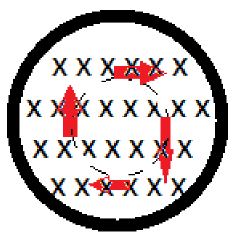
- Recomendação:
  1. Antes de mais nada, dividir em infinitos $i \cdot d\vec{l}$
  2. Calcular em módulo
  3. Lembre-se: $\left|d\vec{l} \times \hat{r}\right| = \left|d\vec{l}\right| \cdot |\hat{r}| \cdot sen(\phi) = dl \cdot sen(\phi)$
  4. Ver direção e sentido pela regra da mão direita
- Exemplo: Arco de ângulo θ, no centro
  1. Dividir o arco em infinitos $i \cdot d\vec{l}$
  2. $\vec{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot dl \cdot sen(90)}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot i \cdot \int \left(\frac{r \cdot d\theta}{r^2}\right) = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot}{2r} \cdot \frac{\theta}{2\pi}$
  3. Suponhamos que a corrente está no sentido horário
  4. Pela regra da mão direita, o vetor campo magnético $\vec{B}$ aponta para dentro da folha



Lei de Ampère

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot i_i$

- Escolher curva amperiana adequada
- Analisar $\vec{B}$ na curva
- i_i => corrente que passa internamente a curva
- Exemplo: Calcular o Campo magnético num ponto dentro do fio de grossura R a uma distância r do centro de densidade de corrente uniforme e corrente I
  1. Escolhemos um círculo como curva amperiana
  2. Observa-se pela regra da mão direita a direção e sentido
  3. $|\vec{J}| \rightarrow constante => j_r = j_R => \frac{i_i}{\pi r^2} = \frac{I}{\pi R^2} => i_i = I(\frac{r}{R})^2$
  4. $\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int B \cdot dl = B \int dl = B \cdot 2\pi r = \mu_0 i_i => B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot \frac{r}{R^2}$



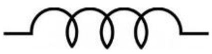
Lei de Faraday-Lenz

$\varepsilon_{ind} = -\frac{d\phi_B}{dt}$, onde $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

Interpretação: força eletromotriz se opõe (sinal de menos) a variação do fluxo, cria um campo magnético induzido B_{ind} oposto a variação

- Analisar variação do fluxo
- Analisar direção e sentido de B_{ind}
- Usar regra da mão direita para calcular sentido da corrente induzida
- $i_{ind} = \frac{|\varepsilon_{ind}|}{R}$ quando houver uma resistência que torne possível essa conta

Indutores



$V = -L \cdot \frac{di}{dt}$; L-> indutância

- Método de cálculo da indutância:
  - Calcular o campo magnético interno
  - Calcular o fluxo (ou N vezes o fluxo para N espiras)
  - $L = \frac{N \cdot \phi_B}{i}$

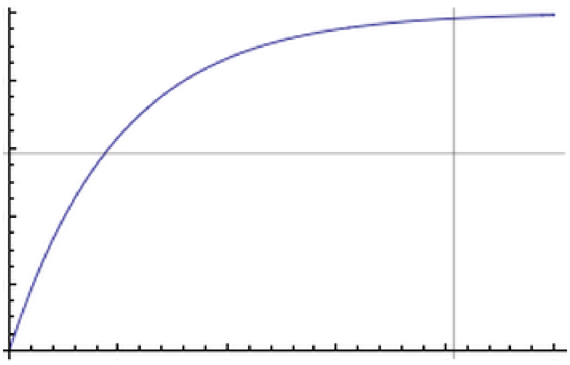
Circuitos RL

Circuito com fonte e indutor sem energia:

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R}\left(1 - e^{\frac{-t \cdot R_{eq}}{L}}\right)$$

$$V_L(t) = \varepsilon \cdot e^{\frac{-t \cdot R_{eq}}{L}}$$

$$V_R(t) = \varepsilon\left(1 - e^{\frac{-t \cdot R_{eq}}{L}}\right)$$



i x t

Após retirada da fonte (apenas indutor com energia e resistor):

$$i(t) = i_0 \cdot e^{\frac{-t \cdot R_{eq}}{L}}$$

$$V_L(t) = -V_R(t)$$

$$V_R(t) = R \cdot i_0 \cdot e^{\frac{-t \cdot R_{eq}}{L}}$$

Obs.: Polaridade do indutor inverte conforme a corrente começa a diminuir

Circuitos LC sem presença de fem [Oscilações Eletromagnéticas]

- A energia está armazenada em algum elemento já posteriormente (capacitor e/ou indutor)
- Uma análise interessante a se fazer é a da conservação de energia, a partir da energia máxima:

$$U = U_{BM} = U_{CM} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i_M^2 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_M^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q_M^2}{C}$$

- A frequência de oscilação é $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$
- Carga do capacitor: $q(t) = q_M \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi)$
- $i(t) = -\omega \cdot q_M \cdot sen(\omega \cdot t + \phi)$; ou seja: $i_M = \omega \cdot q_M$

Oscilações Amortecidas:

- A presença do resistor funciona como um amortecedor para a oscilação
- A energia começa no indutor/capacitor e vai sendo dissipada pelo resistor

$q(t) = q_M \cdot e^{\frac{-R \cdot t}{2L}} \cdot \cos(\omega t + \phi)\,;\, \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$

$i(t) = i_M \cdot e^{\frac{-R \cdot t}{2L}} \cdot \cos(\omega t + \phi)$

$\gamma = \frac{R}{2L}$ é o coeficiente de amortecimento

Gráfico de i em função do tempo

Corrente Alternada

- $\varepsilon(t) = \varepsilon_m \cdot sen(\omega t)$
  $i(t) = I_M sen(\omega t - \phi)$
- $X_L = \omega \cdot L$
  $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$
  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ são as impedâncias capacitiva, indutora e resultante
- Pela lei de Kirchhoff, temos que: $\varepsilon = V_R + V_L + V_C$
- Em ressonância, $\omega = \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, temos então: $X_L = X_C; Z = R; \phi = 0$
- $\tan(\phi) = \frac{(X_L - X_C)}{R}$
  $\cos(\phi) = \frac{R}{Z}$
- $V_R(t) = R \cdot i(t)$
  $V_L(t) = X_L \cdot i(t)$
  $V_C(t) = X_C \cdot i(t)$, como pode ser visto, as impedâncias funcionam como espécies de “resistências”
- $\frac{ValoresMáximos}{\sqrt{2}} = ValoresMédiosQuadráticos\ (rms)$
- Potência: $P_{med} = \frac{1}{2}\varepsilon_M \cdot I_M \cdot \cos(\phi) = \varepsilon_{rms} \cdot i_{rms} \cdot \cos(\phi)$
- Toda a potência é dissipada no resistor, então $P_{med} = \frac{1}{2} I_M^2 \cdot R = i_{rms}^2 \cdot R$
- Diagrama de fasores: