Física

Dimensionais

- Comprimento: m(metro)
- Massa: kg (kilograma)
- Tempo: s (segundo)
- Quantidade de Matéria: mol (mol)
- Temperatura Termodinâmica: K (Kelvin)
- Intensidade Luminosa: cd (candela)
- Intensidade de Corrente Elétrica: A (Ampére)

Ondas

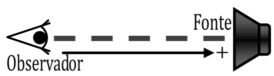
- Tipos de Ondas
  - Hertzianas
    - Ondas Longas ⟶ (10^8m)
    - Ondas Médias ⟶ (10^6m)
    - Ondas Curtas ⟶ (10^4m)
    - Amplitude Modulada ⟶ (10^2m)
    - Freqüência Modulada ⟶ (10^0m)
    - Microondas ⟶ (10^{-2}m)
  - Infravermelho ⟶ (10^{-4}m)
  - Luz Visível ⟶ (10^{-6}m)
  - Ultravioleta ⟶ (10^{-8}m)
  - Raios χ ⟶ (10^{-10}m)
  - Raios γ ⟶ (10^{-12}m)
  - Raios Cósmicos ⟶ (10^{-14}m)

n, desvio

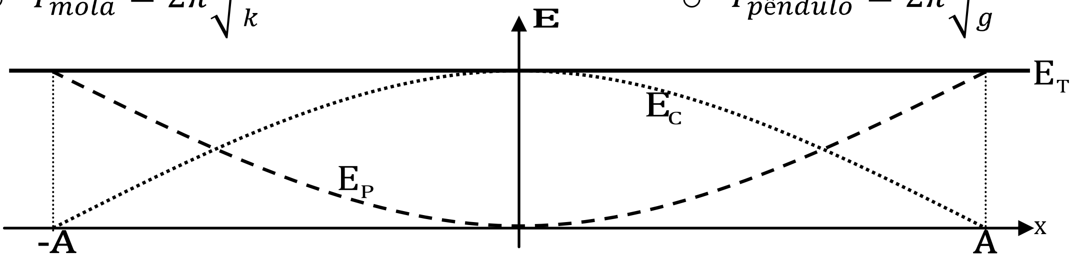
Vermelho - 7700Å
Alaranjado
Amarelo - 5500Å
Verde
Azul
Anil
Violeta - 3900Å

λ

- $v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} = \sqrt{\frac{F}{\mu_{linear}}}$
- $v_{gás} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{MM}}$
- Tubo Aberto (Corda Com Duas Extremidades Fixas): $f_n = n\frac{V}{2L}$
- Tubo Fechado (Corda Com Uma Extremidade Fixa): $f_{(2n-1)} = (2n-1)\frac{V}{4L}$
- Efeito Doppler: $f = f_0 \frac{v_0 \pm v_{Observador}}{v_0 \mp v_{Fonte}}$, $\begin{matrix} aproximação \\ afastamento \end{matrix}$



- $p = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ ⟶ Unidade: dB
- $I = kf^2A^2$, A: amplitude
- Movimento Oscilatório
  - $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$
  - $v = -A\omega\,\text{sen}(\omega t + \varphi_0)$
  - $a = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0)$
  - $E_{total} = \frac{kA^2}{2}$
  - $T_{mola} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
  - $T_{pêndulo} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

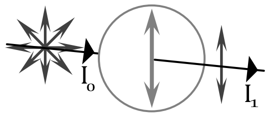


- Ondas Periódicas
  - $y = A\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right]$
  - $\mathrm{I} = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}}$

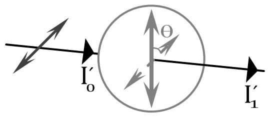
- Polarização da Luz

1- Absorção Seletiva

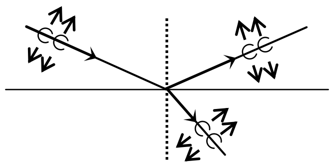
a. $\mathrm{I}_1 = \frac{\mathrm{I}_0}{2}$

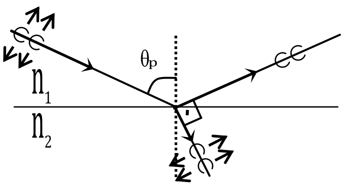


b. $\mathrm{I}'_1 = \mathrm{I}'_0 \cos^2\theta$



2- Reflexão





$\tan\theta_p = \frac{n_1}{n_2}$

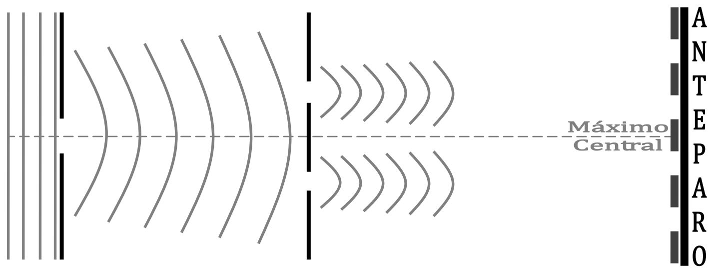
*Somente ondas transversais podem ser polarizadas!

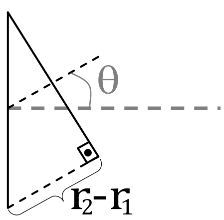
3- Polarização Circular

Quando o vetor $\vec{E}$ da luz polarizada tem direção variável descrevendo um círculo, dizemos que a luz está circularmente polarizada.

- $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{I}_0}{2}$

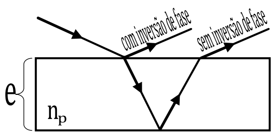
- Experimento de Young
  - Luz Monocromática e Polarizada





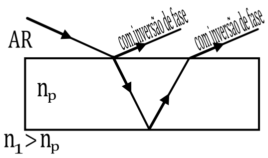
- Condições de Interferência: $\Delta d = \begin{cases} \frac{m\lambda}{2}, & m\ par\ (construtiva) \\ \frac{k\lambda}{2}, & k\ ímpar\ (destrutiva) \end{cases}$
- Máximos: $d\,\mathrm{sen}\,\theta = m\lambda,\ m \in \mathbb{Z}.$

- Interferência em Películas Delgadas



- $e = \frac{m\lambda_{AR}}{4n_p}$

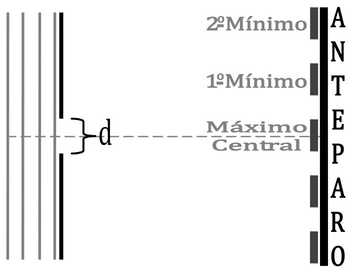
$$m\ par: destrutiva$$
$$m\ ímpar: construtiva$$



- $e = \frac{m\lambda_{AR}}{4n_p}$

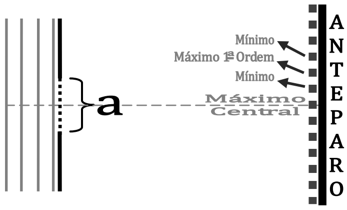
$$m\ par: construtiva$$
$$m\ ímpar: destrutiva$$

- Difração em Fenda Única
  - Princípio de Huygens



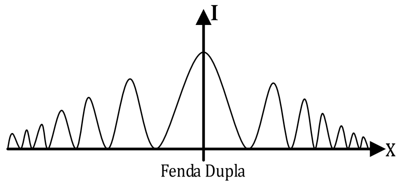
$$d \operatorname{sen}\theta = m\lambda \quad (mínimos \to m \in \mathbb{Z})$$

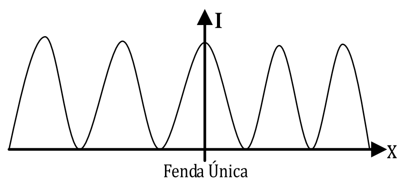
- Redes de Difração



  - $d \operatorname{sen}\theta = m\lambda \quad (máximos \to m \in \mathbb{Z})$
  - $d = \frac{1}{n} cm$
  - $n\ linhas\ por\ cm$

- Anéis de Newton
  - $2d = m\lambda$
  - $r = \sqrt{R\lambda}.\sqrt{m}$
    - Gráficos

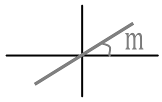




    - Caminho Óptico: número de λ contidos em um trajeto da luz entre dois pontos.

- Superposição de MHS
  - $x = x_0 \cos(\alpha + \omega t)$
  - $y = y_0 \cos(\beta + \omega t)$

1- Reta: $\alpha - \beta = 2k\pi$



$m = \alpha - \beta$

2- Circunferência: $\alpha - \beta = \frac{k\pi}{2}$ *e* $x_0 = y_0$

3- Elipse: $\alpha - \beta = \frac{k\pi}{2}$ *e* $x_0 \neq y_0$

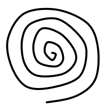
4- Elipse "Inclinada": $x_0 = y_0$ *e* $\alpha - \beta \neq \left\{2k\pi\ e\ \frac{k\pi}{2}\right\}$

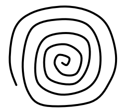
* Freqüências Audíveis: 16 até 20000 Hz

Mecânica

⇒ Forças

- Interação
  - *a* Contato
  - *b* À distância (*de campo*: $\vec{E}, \vec{g}, \vec{B}$)
- Inércia
  - *a* Einstein
  - *b* Centrífuga
  - *c* Euler
  - *d* Coriolis: $f_{cor} = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v})$





* Hemisfério Sul: giro anti-horário

* Hemisfério Norte: giro horário

⇒ Gravitação Universal

- Kepler: $\frac{T^2}{R^3} = k\ (constante)$
- Newton: $F = \frac{GMm}{R^2}$

⇒ Parábola de Segurança

- $y = \frac{V_0^2}{2g} - \frac{g}{2V_0^2} x^2$

⇒ Equação da Continuidade

- $\mathrm{A_1 v_1 = A_2 v_2}$

⇒ Equação de Bernoulli

- $\mathrm{p_1 + \mu g h_1} + \frac{\mu V_1^2}{2} = constante$

⇒ Módulo de Young

- $\mathrm{y = \frac{m.g.l}{\Delta l.A}}$

⇒ Período

- $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left[1 + \frac{1}{2^2}\mathrm{sen}^2\left(\frac{1}{2}\varphi_0\right) + \frac{1}{2^2}\left(\frac{3}{4}\right)^2 \mathrm{sen}^2\left(\frac{1}{4}\varphi_0\right) + \cdots\right]$

Óptica Geométrica

⇒ Espelhos Curvos

- $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$
- $p' \begin{cases} > 0\ (real) \\ < 0\ (virtual) \end{cases}$
- $f \begin{cases} > 0\ (côncavo) \\ < 0\ (convexo) \end{cases}$
- $f^2 = x.x'$
- $A = \frac{i}{o} \begin{cases} > 0\ (direita) \\ < 0\ (invertida) \end{cases}$

⇒ Snell

- $\frac{\mathrm{sen}\, i}{\mathrm{sen}\, r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

⇒ Dioptro Curvo

- $\frac{n_2 - n_1}{R} = \frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{p'}$

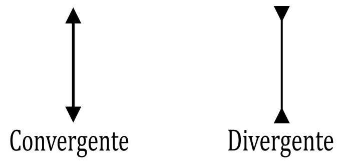
⇒ Lâminas de Faces Paralelas

- $\Delta = e\,\frac{\mathrm{sen}(i-r)}{\mathrm{sen}\, r}$

⇒ Prismas

- $A = r_1 + r_2$
- $\delta = i_1 + i_2 - A$
- $A \leq 2L$
- $\delta_{mín} = 2i_1 - A$
- $\delta = A(n_{2,1} - 1)$
- $n_{2,1} = \frac{\text{sen}\, i_1}{\text{sen}\, r_1} = \frac{\text{sen}\left(\frac{A+\delta_{mín}}{2}\right)}{\text{sen}\left(\frac{A}{2}\right)}$

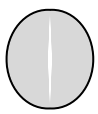
⇒ Lentes



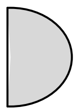
- $V = \frac{1}{f} = (n_{2,1} - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$
- $R > 0: convexa$
- $R < 0: côncava$
- $V > 0: convergente$
- $V < 0: divergente$

▪ $Miopia \rightarrow divergente, (PR < \infty) \rightarrow alongamento\ do\ globo\ ocular$
▪ $Hipermetropia \rightarrow convergente, (PP > 25cm) \rightarrow encurtamento\ do\ globo\ ocular$
▪ $Astigmatismo \rightarrow Cilíndrica, (PR < \infty) \rightarrow alongamentodo\ globo\ ocular$

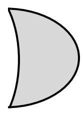
- Biconvexa



- Plano-Convexa

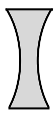


- Côncavo-Convexa

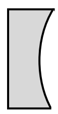


  - No Ar: Convergentes
  - $R_{Côncavo} > R_{Convexa}$

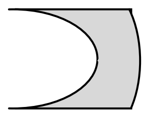
- Bicôncava



- Plano-Côncava



- Convexo-Côncava



  - No Ar: Divergentes
  - $R_{Côncavo} < R_{Convexa}$

⇒ Princípio de Fermat

- A luz gasta o menor tempo possível para ir de um ponto a outro.

⇒ Instrumentos Ópticos

1- Microscópio Simples <u>ou</u> Lupa: uma lente convergente
2- Microscópio Composto: duas lentes convergentes
3- Luneta Astronômica: duas lentes convergentes
   ▪ $f_{objetiva} \equiv f_{ocular}$
   ▪ $A = -\frac{f_{objetiva}}{f_{ocular}}$
4- Máquina Fotográfica: uma lente convergente

<u>Incidente/Objeto</u>	<u>Feixe</u>	<u>Emergente/Imagem</u>
Virtual	Convergente	Real
Imprópria	Paralelo	Imprópria
Real	Divergente	Virtual

- Estigmático: feixe paralelo dá um ponto.
- Aplanético: plana → plana.
- Ortoscópico: mesmas dimensões.

Termodinâmica

$$\Delta U = Q - \omega$$

⇒ Isotérmica:
Boyle-Mariotte

- $\omega = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$
- $\Delta U = 0$

⇒ Isocórica:

- $\Delta U = Q_V = nC_V\Delta T$

⇒ Adiabática:

- $U = \frac{3}{2}pV = \frac{3}{2}nRT$
- $Q = 0$
- $p_0V_0^{\gamma} = p_1V_1^{\gamma}$
- $T_0V_0^{\gamma-1} = p_1V_1^{\gamma-1}$
- $\Delta U = -\omega$
- $\omega = \frac{p_fV_f - p_0V_0}{\gamma-1}$

⇒ Isobárica:

- $\omega = p\Delta V$
- $Q_p = nC_p\Delta T$

○ $C_p - C_V = R$

○ $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{Q_p}{Q_V} = \frac{c_p}{c_V} = \frac{E_{CT}+E_{CR}+E_{CV}+p\Delta V}{E_{CT}+E_{CR}+E_{CV}}$

⇒ *Coeficiente de Poisson* (γ):

- *Gás Monoatômico* $\rightarrow \frac{5}{3} = 1{,}67$
- *Gás Diatômico* $\rightarrow \frac{7}{5} = 1{,}40$
- *Gás Poliatômico* $\rightarrow \frac{8}{6} = 1{,}33$

⇒ Termologia

- $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{R}{8}$

⇒ Propagação do Calor

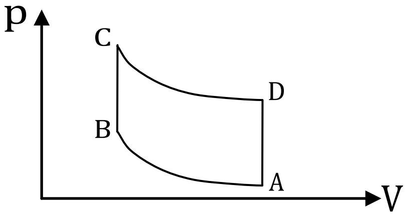
- Convecção
- Condução
- Irradiação

▪ $e = a\sigma T^4$
▪ $P = Ae\sigma T^4$
▪ $[\sigma] = \frac{W}{m^2K^4}$

▪ Fourrier: $\Delta\phi = \frac{Q}{t} = \frac{kA}{e}(\theta_2 - \theta_1)$

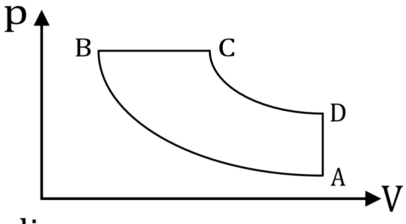
⇒ Ciclos

- Otto



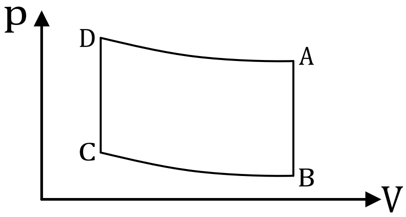
  - AB e CD: adiabáticas
  - BC e DA: isocóricas

- Diesel



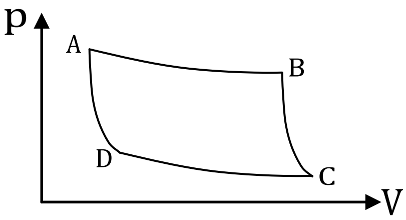
  - $\eta = 1 - \frac{1}{\gamma}\left(\frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}\right)$
  - $BC: isobárica$
  - DA: isocórica

- Stirling



  - AD e BC: isotérmicas
  - AB e CD: isocóricas

- Carnot



  - $\eta = 1 - \frac{T_{fonte\ fria}}{T_{fonte\ quente}}$
  - $AB\ e\ CD: isotérmicas$
  - BC e DA: adiabáticas

▪ $\eta = \frac{W}{Q_{fonte\ quente}} = 1 - \frac{Q_{fonte\ fria}}{Q_{fonte\ quente}}$

Eletricidade

⇒ Fluxo

- $\phi = E.A.\cos\theta$
- $\phi = \frac{q_{interna}}{\varepsilon}$

⇒ Auto Indutância:

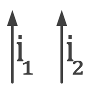
- $L_i = B.S.N = \phi$
- $L = \frac{\mu.N^2.A}{l}$

⇒ Corrente Elétrica

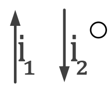
- $v_m = \frac{i}{N.e.A}$
- $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

⇒ Magnetismo

- Condutor Reto: $B = \mu_0 \frac{i}{2\pi r}$
- Bobina Chata: $B = \mu_0 \frac{i}{2r} N$
- Espira Circular: $B = \mu_0 \frac{i}{2r}$
- Solenóide: $B = \mu_0 . i . \frac{N}{L}$



  - Atração



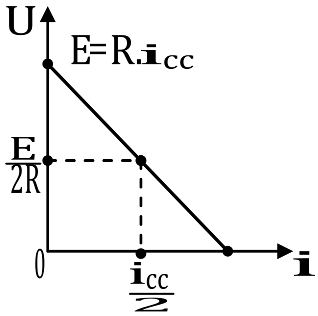
  - Repulsão

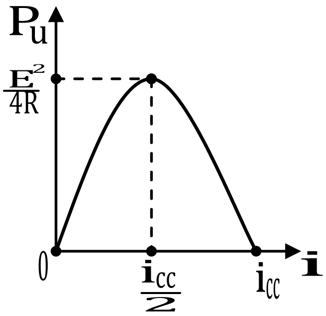
▪ $F_{magnética} = qvB\,\text{sen}\,\theta$

▪ $F_{magnética} = Bil\,\text{sen}\,\theta$

⇒ Eletrodinâmica

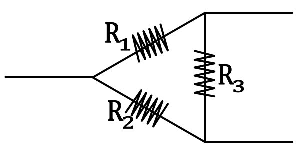
- $U = E - Ri$
- $Ui = Ei - Ri^2$
- $P_{útil} = P_{total} - P_{dissipada}$
- $P_{máx} \Leftrightarrow R = r$
- $\eta = \frac{U}{E} = 1 - \frac{i}{i_{curto\ circuito}}$

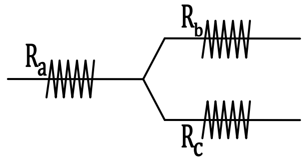




⇒ Delta-Estrela

- $R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2+R_3}$





⇒ Indução Magnética

- $\varepsilon' = l.B.v$
- $\phi_m = B.A.\cos\theta$

⇒ Potencial Elétrico

- $V = \frac{E_p}{q} = \frac{kQ}{d}$
- $\varepsilon = q\Delta V$

○ $q_1 = R_1 \frac{\sum q}{\sum R}$

⇒ Condutor Esférico

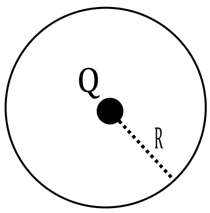
- $Q = CV$
- $E = \frac{QV}{2} = \frac{CV^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}$

- $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$
- $\frac{C}{C_0} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = k > 1$

⇒ Aplicando Gauss

1º Determinar E de uma carga pontual

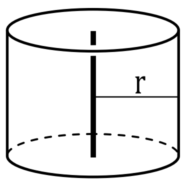
○ $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{Q}{R^2}$



2º Distribuição retilínea de carga

○ $E = \frac{\lambda}{\varepsilon_0}.\frac{1}{2\pi r}$

○ $\lambda = \frac{Q}{l}$

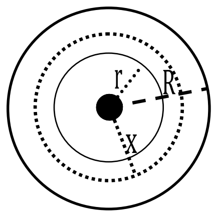


3º Superfície Esférica

- $r < x$
  - ○ $E = 0$
- $R > x$
  - ○ $E = \frac{\delta}{\varepsilon_0}$

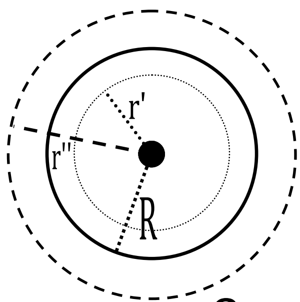
○ $\delta = \frac{Q}{S}$

○ $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{Q}{R^2}$

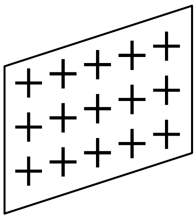


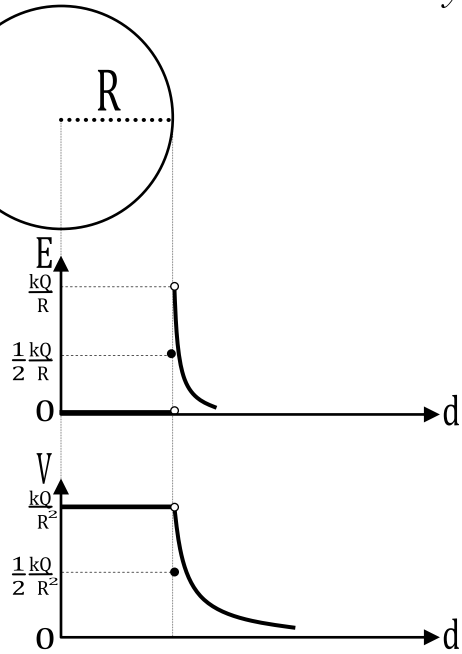
4º Volumétrica

- $r > R$
  - ○ $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{Q}{r^2}$
- $r < R$
  - ○ $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{r}{R^3}$

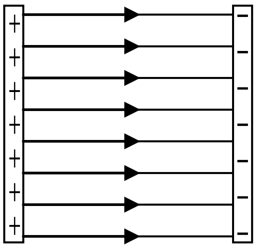


5º Superfície Plana



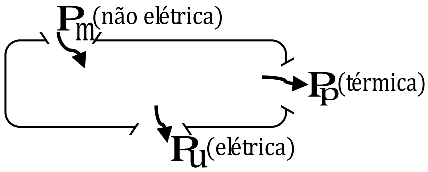


- $E = \frac{\delta}{2\varepsilon_0}$



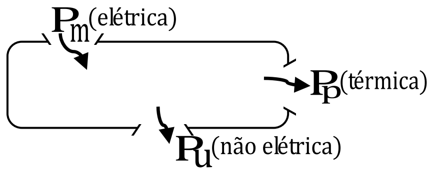
⇒ Gerador

- $G: \varepsilon . i = r . i^2 + V . i$

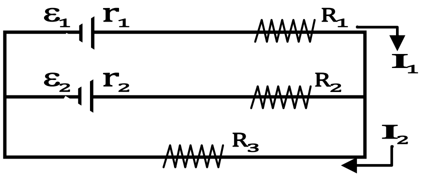


⇒ Receptor

- A $R: V' . i = \varepsilon' . i + r' . i^2$

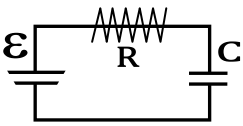


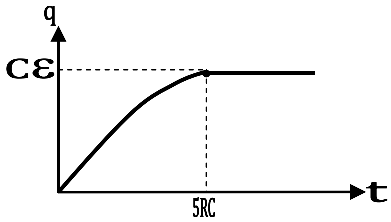
⇒ Maxwell

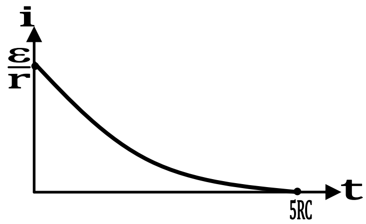


$$\begin{cases} \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = (R_1 + R_2 + r_1 + r_2)I_1 - (R_2 + r_2)I_2 \\ \varepsilon_2 = (R_2 + R_3 + r_2)I_2 - (R_2 + r_2)I_1 \end{cases}$$

⇒ Circuito RC



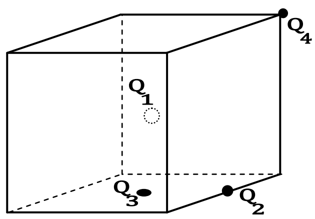




- $\varepsilon = R . i + \frac{Q}{C}$
- $i = \frac{dQ}{dt}$
- $dQ = \frac{C.\varepsilon - Q}{R.C} \Rightarrow \int \frac{1}{C.\varepsilon - Q} dQ = \int \frac{1}{R.C} dt$
- $q = C.\varepsilon\left(1 - e^{\frac{t}{R.C}}\right)$
- $i = \frac{\varepsilon}{r} . e^{-\frac{t}{R.C}}$
    - ♦ $\frac{1}{2}E \rightarrow$ Efeito Joule
    - ♦ $\frac{1}{2}E \rightarrow$ Distribuída entre os capacitores

⇒ ATENÇÃO!

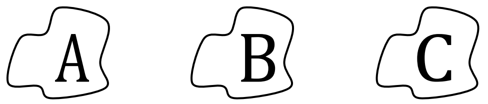
- $\phi_1 = \frac{Q}{\varepsilon_0}$
- $\phi_2 = \frac{Q}{4\varepsilon_0}$
- $\phi_{Face} = \frac{Q}{24\varepsilon_0}$
- $\phi_3 = \frac{Q}{2\varepsilon_0}$
- $\phi_4 = \frac{Q}{8\varepsilon_0}$



⇒ Força Entre Capacitores

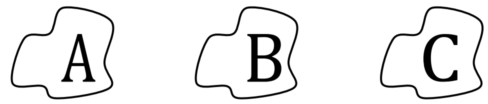
- $F = \frac{Q}{2\varepsilon_0 A} q$

⇒ Equilíbrio entre Condutores Elétricos



q_A, V_A, C_A q_B, V_B, q_B q_C, V_C, C_C

- $V = \frac{q_A+q_B+q_C}{C_A+C_B+C_C}$

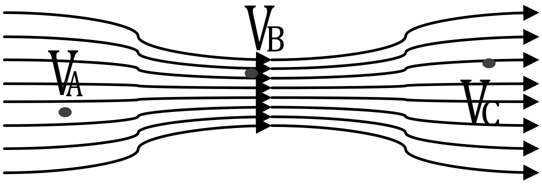


q'_A, V, C_A q'_B, V, C_B q'_C, V, C_C

- $q'_A = C_A V$

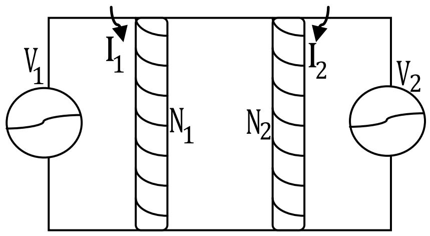
Equações de Maxwell

- Lei de Gauss → $\int_S \vec{E}.\vec{n}dS = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_S dq$
- Gauss → $\int_S \vec{B}.\vec{n}dS = 0$
- Faraday-Lenz → $\oint \vec{E}.\overrightarrow{de} = \frac{-d\phi_B}{dt}$
- Ampére-Maxwell → $\oint \vec{B}.\overrightarrow{de} = \mu_0 \int di + \mu_0\varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$
  - $v = \sqrt{\frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}}$



$E_B > E_C > E_A$
$V_A > V_C > V_B$

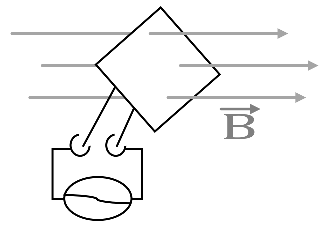
Transformador Ideal

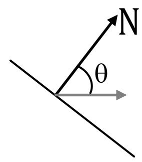


- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$

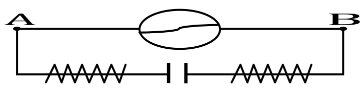
⇒ Corrente Alternada

1) Gerador de C.A.
   - $\phi = B.A.\cos\theta$
   - $\varepsilon i = \frac{d\phi}{dt}$
   - $\varepsilon = \omega.B.A.\text{sen}(\omega t)$
   - $\varepsilon = \varepsilon_0.\text{sen}(\omega t)$

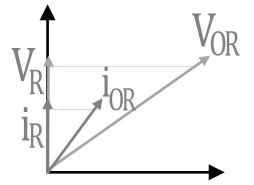




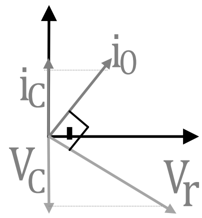
2) Circuito RLC
   - $i = i_0.\text{sen}(\omega t)$



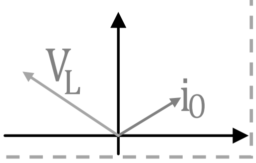
- Elemento Resistivo
  - $V_R = V_{O_R}.\text{sen}(\omega t)$



- Elemento Capacitivo
  - $V_C = \frac{i_0}{\omega.C}.\text{sen}(\omega t - \frac{\pi}{2})$



- Elemento Indutivo
  - $V_L = \omega.L.i_0.\text{sen}(\omega t - \frac{\pi}{2})$



Dinâmica de Fluídos

- Movimento
  - Estacionário: ρ_p, p_p e v_p não dependem do tempo.
  - Não-Estacionário: ρ_p, p_p e v_p = f(t).

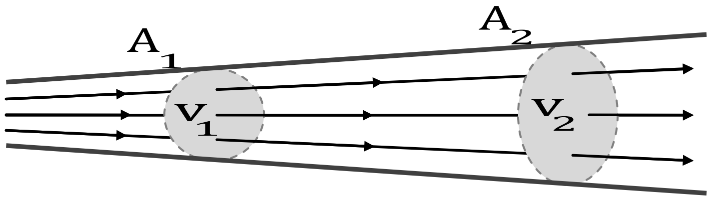
- Compreensível: $\rho = f(x, y, z, t)$.
- Incompreensível: ρ não é função de x, y, z, t.

- Movimento
  - Rotacional: $\omega \neq 0$
  - Irrotacional: $\omega = 0$

- Viscoso: $F_{dissipativas\ internas}$
- Não-Viscoso: $\sum W_{forças\ sistema\ interno} = 0$

⇒ Equação da Continuidade

- $A_1 v_1 = A_2 v_2$



⇒ Equação de Bernoulli
- $p + \rho g h + \frac{1}{2}\rho v^2 = constante$

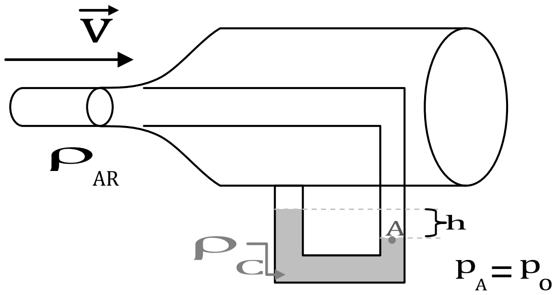
⇒ Tubo de Pitot

$p_0 = p + \frac{\rho_{AR} v^2}{2} \Rightarrow \rho_c g h = \frac{\rho_{AR} v^2}{2}$

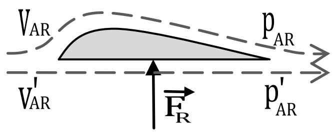
$p_0 - p = \rho_c g h$

$v = \left(\sqrt{\frac{2\rho_c g}{\rho_{AR}}}\right)\left(\sqrt{h}\right)$

- $v = \sqrt{\frac{2\rho_c g h}{\rho_{AR}}}$



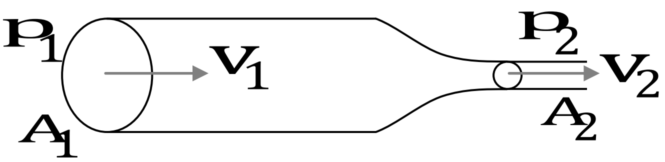
⇒ Efeito Asa



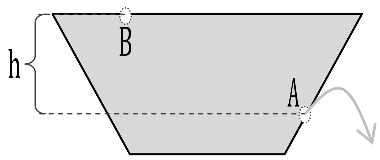
- Avião: $v_{AR} \Rightarrow p_{AR}; v'_{AR} \Rightarrow p'_{AR}$;
  $p'_{AR} > p_{AR}$; $v_{AR} > v'_{AR}$;
  $p'_{AR} - p_{AR} \neq 0 \Rightarrow \overrightarrow{F_R}$.

⇒ Tubo de Venturi

- $v_2 = A_1\sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{d(A_1^2 - A_2^2)}}$



⇒ Escoamento
- $p_A = p_B = p_{atm}$
- $v_B = 0$
- $v_A = \sqrt{2gh}$

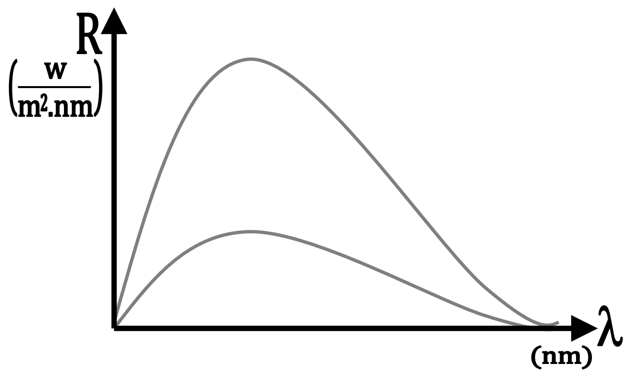


Física Moderna

⇒ Equação de Planck
- $R = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \left(e^{\left(\frac{hc}{\lambda k T}\right)} - 1\right)^{-1}$

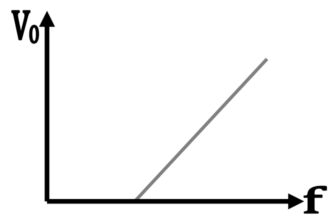
⇒ Equação de Rayleigh-Jeans
- $R = \frac{2\pi c k T}{\lambda^4}$

⇒ Radiação de Corpo Negro
- Lei de Qien: $\lambda_{máx} = \frac{A}{T}$



$\Rightarrow hf = ev_0 + \varphi$

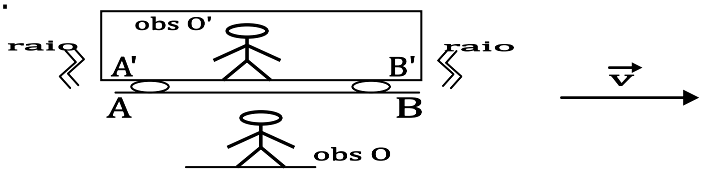
- φ: função trabalho:energia mínima para retirar elétron do átomo
- ev_0: energia cinética máxima do elétron
- hf: energia do fóton
- Equação de Rydberg: $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$
- $\lambda_{elétron} = \frac{h}{mv}$



Teoria da Relatividade Restrita

- Até o início do séc. XX
  - ♦ Newton:
    As leis da mecânica são válidas em todo referencial inercial
- No início do séc. XX
  - ♦ Einsten:
    Teoria da relatividade restrita se baseia em dois postulados:
    - As leis da física são válidas em todo referencial inercial.
    - A velocidade da luz é a mesma em todo referencial inercial.

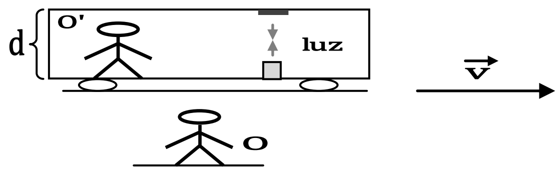
$\Rightarrow$ Simultaneidade:



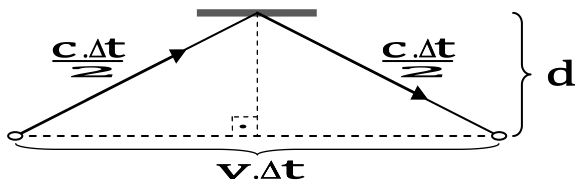
$\Rightarrow$ Relatividade do Tempo

Tempo próprio (Δt’): intervalo de tempo medido por um observador em repouso em relação aos eventos INÍCIO e FIM.

- $O': 2d = c.\Delta t'$
  $\Delta t' = \frac{2d}{c}$



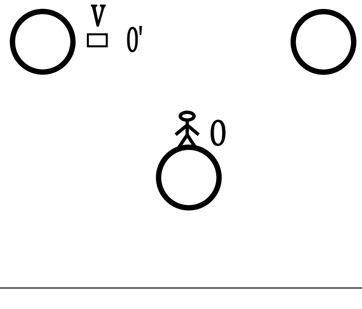
- $d^2 = \left(\frac{c.\Delta t}{2}\right)^2 - \left(\frac{v.\Delta t}{2}\right)^2$
  $\frac{2d}{c} = \Delta t' = \Delta t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
  $\Delta t' < \Delta t$



$\Rightarrow$ Relatividade do Comprimento

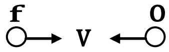
Comprimento próprio (L’): medido por um observador em repouso em relação à distancia desejada.

- $\begin{matrix} O: L' = v.\Delta t \\ O': L = v.\Delta t' \end{matrix} : \frac{L'}{L} = \frac{\Delta t}{\Delta t'}$
  $L = L'\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
  $L < L'$



Efeito Doppler para Ondas Eletromagnéticas

- $f_{afast.} = f_o\sqrt{\frac{c-v}{c+v}}$ 

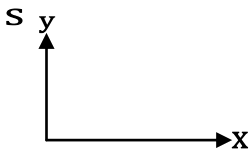
- $f_{aprox.} = f_o\sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$ 

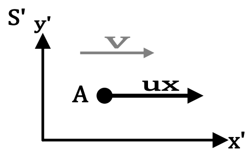
Transformação de Velocidades

V: velocidade de S' em relação a S.

Ux: velocidade de A em relação a S.

U'x: velocidade de A em relação a S'.





$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x . v}{c^2}} \qquad u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{u'_x . v}{c^2}}$$

Quantidade de Movimento Relativístico

A expressão deve atender a duas condições

- Conservar-se nas colisões;
- Ser equivalente ao caso clássico ($\vec{p} = m\vec{v}$) quando $v << c$.
  - $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

Energia Relativística

Sabemos:

- $\overrightarrow{F_R} = \frac{d\vec{p}}{dt}, se\ \overrightarrow{F_R} \parallel eixo\ X \ \Rightarrow\ W_{F_R} = \int_{x_1}^{x_2} F_R dx$
- $E_C = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 \Rightarrow \underbrace{\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}_{Energia\ Total} = E_C + \underbrace{mc^2}_{Energia\ de\ Repouso}$
- $E^2 = p^2c^2 + (mc^2)^2$
  - Corpos em repouso: $E = mc^2$
  - Corpos sem massa (fótons): $E = pc \Rightarrow p = \frac{hf}{\lambda f} = \frac{h}{\lambda}$