

# Note - Physics

André V. Silva

Sunday 18<sup>th</sup> May, 2025

---

## 1 Cinemática Escalar e Vetorial

## 2 Conceitos Fundamentais

- **Movimento:** variação da posição no tempo em relação a um referencial.
- **Repouso:** posição constante em relação ao referencial.
- **Referencial:** sistema usado como base para descrever o movimento.

## 3 Cinemática Escalar (1D)

- **Posição:**  $s$
- **Deslocamento:**  $\Delta s = s_f - s_0$
- **Velocidade média:**  $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
- **Aceleração média:**  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

## 4 Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)

- Velocidade constante:  $a = 0$
- Equação horária:  $s = s_0 + vt$

## 5 Movimento Uniformemente Variado (MRUV)

- Aceleração constante.
- $s = s_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$
- $v = v_0 + at$
- $v^2 = v_0^2 + 2a(s - s_0)$
- $\Delta s = \frac{(v+v_0)}{2} \cdot t$

## 6 Cinemática Vetorial (2D e 3D)

- Vetor posição:  $\vec{r}(t) = x(t)\hat{i} + y(t)\hat{j} + z(t)\hat{k}$
- Deslocamento vetorial:  $\Delta\vec{r} = \vec{r}_f - \vec{r}_0$
- Velocidade vetorial:  $\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt}$
- Aceleração vetorial:  $\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}$

## 7 Lançamento Oblíquo

Separação dos movimentos:

- Horizontal (MRU):  $x(t) = x_0 + v_{0x}t$
- Vertical (MRUV):  $y(t) = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$

**Outras fórmulas:**

- Velocidade inicial:  $\vec{v}_0 = v_0 \cos \theta \hat{i} + v_0 \sin \theta \hat{j}$
- Alcance:  $A = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$
- Altura máxima:  $H = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$
- Tempo de subida:  $t_s = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$
- Tempo total:  $t = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$

## 8 Gráficos

- $s \times t$ : inclinação = velocidade.
- $v \times t$ : área = deslocamento; inclinação = aceleração.
- $a \times t$ : área = variação da velocidade.

## 9 Tipos de Movimento

- MRU:
  - $v > 0$ : progressivo
  - $v < 0$ : retrógrado
- MRUV:
  - $v \cdot a > 0$ : acelerado
  - $v \cdot a < 0$ : retardado

## 10 Estática e Dinâmica

### 11 Conceitos Fundamentais

- **Grandezas escalares**: possuem apenas módulo (ex: massa, tempo).
- **Grandezas vetoriais**: possuem módulo, direção e sentido (ex: força, aceleração).
- **Força resultante**: vetor que representa o efeito combinado de todas as forças aplicadas.

- **Diagrama de corpo livre**: representação de todas as forças atuantes sobre um corpo.

## 12 Equilíbrio do Corpo Rígido e da Partícula

**Condições de equilíbrio:**

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (\text{equilíbrio translacional})$$

$$\sum \vec{\tau} = 0 \quad (\text{equilíbrio rotacional})$$

**Torque (momento de uma força):**

$$\tau = rF \sin \theta$$

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}, \quad \vec{L} = \vec{r} \times \vec{F}$$

## 13 3. Leis Fundamentais da Dinâmica (Leis de Newton)

- **1ª Lei (Inércia)**: um corpo em repouso ou em MRU permanece assim se a força resultante for nula.
- **2ª Lei**: Princípio Fundamental da Dinâmica:

$$\vec{F}_{\text{resultante}} = m\vec{a}$$

- **3ª Lei (Ação e Reação)**: forças trocadas entre dois corpos são iguais em módulo, mesma direção e sentidos opostos.

## 14 Gravitação Universal

**Lei da Gravitação Universal:**

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

**Campo gravitacional:**

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

Energia potencial gravitacional:

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

## 15 Forças no Movimento Circular

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (\text{força centrípeta})$$

$$v = \omega r \quad (\text{velocidade tangencial})$$

$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad (\text{aceleração centrípeta})$$

## 16 Impulso e Quantidade de Movimento

Quantidade de movimento:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Impulso:

$$\vec{I} = \vec{F}\Delta t$$

Teorema do impulso:

$$\vec{I} = \Delta\vec{p}$$

## 17 Trabalho e Energia Cinética

Trabalho de uma força constante:

$$W = Fd \cos \theta$$

Energia cinética:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Teorema da energia cinética:

$$W_{\text{resultante}} = \Delta E_c$$

## 18 Força de Atrito

Atrito estático:

$$f_e \leq \mu_e N$$

Atrito cinético:

$$f_c = \mu_c N$$

## 19 9. Energia Potencial

Potencial gravitacional:

$$E_p = mgh$$

Potencial elástica:

$$E_{p,\text{el}} = \frac{1}{2}kx^2$$

## 20 Conservação da Energia Mecânica

Em sistemas conservativos:

$$E_m = E_c + E_p = \text{constante}$$

## 21 Lei de Hooke

Força elástica:

$$F = -kx$$

Energia potencial armazenada:

$$E_{p,\text{el}} = \frac{1}{2}kx^2$$

### 21.1 Leis de Kepler

- **1ª Lei:** Órbitas elípticas, com o Sol em um dos focos.
- **2ª Lei:** Áreas iguais em tempos iguais. *Consequência direta da conservação do momento angular:*

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \text{constante}$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} |\vec{r} \times \vec{v}| = \text{constante}$$

• **3ª Lei:**  $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$

---

## 22 Hidrostática

## 23 Fluido em Equilíbrio

Fluido em repouso está sujeito apenas a forças normais e pressões. A pressão se transmite igualmente em todas as direções no interior do fluido.

## 24 Conceito de Pressão

$$P = \frac{F}{A}$$

Unidade: Pascal (Pa), onde  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ .

## 25 Densidade

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Unidade:  $\text{kg/m}^3$ . Densidade da água:  $\rho_{\text{água}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

## 26 Pressão de uma Coluna de Líquido

$$P = \rho gh$$

Onde:  $\rho$  é a densidade,  $g$  a gravidade,  $h$  a profundidade.

## 27 Princípio de Pascal

Uma variação de pressão aplicada a um fluido incompressível em equilíbrio transmite-se integralmente a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente.

## 28 Pressão Atmosférica

Pressão exercida pelo ar ao nível do mar:

$$P_{\text{atm}} \approx 1,0 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$$

## 29 Experiência de Torricelli

$$P_{\text{atm}} = \rho gh \quad \text{com } h = 0,76 \text{ m (coluna de mercúrio)}$$

## 30 Lei de Stevin

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

Válida para qualquer ponto de um mesmo fluido em equilíbrio.

## 31 Vasos Comunicantes

Se o fluido for o mesmo, os níveis de líquido se igualam:

$$h_1 = h_2 \quad (\text{para } \rho_1 = \rho_2)$$

## 32 Prensa Hidráulica

Aplicação do Princípio de Pascal:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Permite multiplicar força aplicando pressão a um fluido entre dois êmbolos de áreas diferentes.

## 33 Equilíbrio térmico e temperatura

- Temperatura é uma medida da energia cinética média das partículas.
- Dois corpos estão em **equilíbrio térmico** quando não trocam mais calor entre si.
- **Lei Zero da Termodinâmica:** Se  $A$  está em equilíbrio com  $B$ , e  $B$  com  $C$ , então  $A$  está em equilíbrio com  $C$ .

### 34 Escalas termométricas

- Principais escalas: Celsius ( $^{\circ}C$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}F$ ), Kelvin ( $K$ ).
- Conversões:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T(^{\circ}F) = \frac{9}{5}T(^{\circ}C) + 32$$

### 35 Dilatação dos sólidos e líquidos

- Dilatação linear:  $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$
- Dilatação superficial:  $\Delta A = A_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta T$
- Dilatação volumétrica:  $\Delta V = V_0 \beta \Delta T$ , com  $\beta = 3\alpha$
- Dilatação aparente dos líquidos:  $\Delta V_{ap} = V_0(\gamma_{líq} - \beta_{rec})\Delta T$

### 36 Estudo térmico dos gases

- Gases ideais obedecem à equação de estado e ignoram interações intermoleculares.
- Variáveis de estado:  $P$ ,  $V$ ,  $T$ ,  $n$ .
- Hipóteses: moléculas puntiformes, colisões elásticas, movimento aleatório.

### 37 Lei geral dos gases perfeitos

$$PV = nRT \quad (1)$$

Onde:

- $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$  (constante dos gases)

### 38 Equação de Clapeyron

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2)$$

### 39 Transformações gasosas

- **Isotérmica** ( $\Delta T = 0$ ):  $PV = \text{constante}$  (Lei de Boyle)
- **Isobárica** ( $\Delta P = 0$ ):  $\frac{V}{T} = \text{constante}$  (Lei de Charles)
- **Isocórica** ( $\Delta V = 0$ ):  $\frac{P}{T} = \text{constante}$  (Lei de Gay-Lussac)

### 40 Princípio da conservação da energia

- Energia interna se conserva em sistemas isolados.
- Base do **Primeiro Princípio da Termodinâmica**.

### 41 Mudanças de estado físico

- Fusão, vaporização, solidificação, condensação, sublimação.
- Ocorrem à temperatura constante.
- Energia envolvida depende da massa e do calor latente.

### 42 Quantidade de calor

- Calor sensível:  $Q = mc\Delta T$
- Calor latente:  $Q = mL$
- Unidade no SI: Joule (J)

### 43 Propagação do calor

#### 43.1 Condução térmica - Lei de Fourier da Condução de Calor

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

### 43.2 Convecção

- Transferência por movimentação de massa em fluidos.

### 43.3 Radiação

$$P = \sigma AT^4 \quad (4)$$

Onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

## 44 Princípios da Termodinâmica

### 44.1 Primeiro Princípio

$$\Delta U = Q - W \quad \longrightarrow \quad Q = W + \Delta U \quad (5)$$

### 44.2 Segundo Princípio

- O calor não flui espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente.
- Entropia tende a aumentar.

### 44.3 Terceiro Princípio

- A entropia de um cristal perfeito é zero no zero absoluto (0 K).

## 45 Equivalente mecânico do calor

- Experiência de Joule:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \quad (6)$$

## 46 Movimento Vibratório e Ondulatório

### 46.1 Movimento Periódico

- **Amplitude** ( $A$ ): valor máximo da oscilação.

- **Período** ( $T$ ): tempo para uma oscilação completa.
- **Frequência** ( $f$ ): número de oscilações por segundo,  $f = \frac{1}{T}$ .
- Unidade de frequência: hertz (Hz).

## 47 Movimento Harmônico Simples (MHS)

- Posição em função do tempo:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

- $\omega$ : frequência angular,  $\omega = 2\pi f$
- $\varphi$ : fase inicial
- Velocidade:  $v(t) = -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$
- Aceleração:  $a(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x(t)$

## 48 Oscilador Harmônico

- Sistema massa-mola:

$$F = -kx \quad \Rightarrow \quad m\ddot{x} = -kx$$

- Solução: MHS com:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

## 49 Pêndulo Simples

- Para pequenos ângulos ( $\theta < 10^\circ$ ), o movimento é aproximadamente harmônico:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

- Onde  $L$  é o comprimento e  $g$  a aceleração da gravidade.

## 50 Classificação das Ondas

- **Quanto à natureza:**
  - Mecânicas (necessitam meio): som, ondas em corda.
  - Eletromagnéticas (propagam no vácuo): luz, micro-ondas.
- **Quanto à direção da vibração:**
  - Transversais: vibração  $\perp$  propagação (ex: luz).
  - Longitudinais: vibração  $\parallel$  propagação (ex: som).

## 51 Velocidade de propagação de uma onda unidimensional

$$v = \lambda f$$

Onde:

- $\lambda$  é o comprimento de onda.
- $f$  é a frequência.

## 52 Ondas Periódicas

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \varphi)$$

- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ : número de onda
- $\omega = 2\pi f$ : frequência angular

## 53 Reflexão e refração de um pulso numa corda

- Reflexão em extremidade fixa: inversão de fase.
- Reflexão em extremidade livre: sem inversão.
- Refração: mudança de meio altera velocidade e comprimento de onda.

## 54 Frente de onda

- Superfície formada por pontos que vibram em fase.
- Representa a forma da propagação (plana, esférica, etc).

## 55 Fenômenos Ondulatórios

### 55.1 Reflexão

- Onda retorna ao encontrar um obstáculo.
- Lei da reflexão: ângulo de incidência = ângulo de reflexão.

### 55.2 Refração

- Mudança de direção ao passar de um meio para outro com velocidade diferente.
- A frequência permanece constante.

### 55.3 Difração

- Capacidade de contornar obstáculos e atravessar fendas.
- Mais evidente quando  $\lambda \sim$  dimensão da fenda.

### 55.4 Polarização

- Ocorre apenas com ondas transversais.
- Restrição da direção de oscilação.

### 55.5 Superposição

- Ondas que se encontram somam-se ponto a ponto.
- Pode ser construtiva (reforço) ou destrutiva (cancelamento).

## 55.6 Ondas estacionárias

- Resultam da superposição de duas ondas idênticas que se propagam em sentidos opostos.
- Formam nós (amplitude nula) e ventres (amplitude máxima).

## 55.7 Interferência de ondas bidimensionais

- Padrões de interferência gerados por duas fontes coerentes.
- Franja de interferência depende da diferença de caminho óptico:

$$\Delta s = n\lambda \quad (\text{interferência construtiva})$$

$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (\text{interferência destrutiva})$$

---

## 56 Acústica: Natureza e características do som

## 57 Natureza do Som

- O som é uma **onda mecânica longitudinal** que se propaga em meios materiais (sólidos, líquidos e gases).
- É gerado por um corpo em vibração e necessita de um meio material para se propagar (não se propaga no vácuo).
- A propagação ocorre devido à compressão e rarefação das partículas do meio.
- A velocidade do som depende do meio e da sua temperatura. No ar,  $a \approx 340 \text{ m/s}$  (a  $20^\circ\text{C}$ ).

## 58 Características Físicas do Som

- **Frequência** ( $f$ ): número de vibrações por segundo. Está relacionada à altura do som (grave ou agudo).

$$\text{— Sons audíveis: } 20 \text{ Hz} \leq f \leq 20\,000 \text{ Hz}$$

$$\text{— Infrassons: } f < 20 \text{ Hz} \quad \text{Ultrasons: } f > 20\,000 \text{ Hz}$$

- **Intensidade** ( $I$ ): quantidade de energia transportada pela onda sonora por unidade de área. Relaciona-se com o volume (forte ou fraco).

$$I = \frac{P}{A}$$

Onde  $P$  é a potência da fonte sonora e  $A$  é a área.

- **Nível Sonoro** ( $\beta$ ): medido em decibéis (dB).

$$\beta = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

Onde  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  é a intensidade de referência.

- **Timbre**: característica que permite distinguir sons de mesma frequência e intensidade produzidos por fontes diferentes. Está relacionado com a forma da onda sonora e os harmônicos presentes.
- **Velocidade do som** ( $v$ ): depende da densidade e da rigidez do meio. É maior em sólidos, intermediária em líquidos e menor em gases.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{em sólidos})$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (\text{em gases ideais})$$



Onde  $E$  é o módulo de elasticidade,  $\rho$  é a densidade,  $\gamma$  é o coeficiente adiabático,  $R$  é a constante universal dos gases,  $T$  é a temperatura e  $M$  a massa molar.

## 59 Fenômenos Acústicos

- **Reflexão do som:** retorno do som ao encontrar obstáculos (eco).
- **Refração:** mudança de direção ao passar de um meio para outro com velocidade distinta.
- **Difração:** contorno de obstáculos e passagem por frestas.
- **Interferência:** superposição de ondas sonoras, gerando reforço ou cancelamento.
- **Ressonância:** amplificação das vibrações quando a frequência natural de um sistema coincide com a frequência da fonte sonora.
- **Efeito Doppler:** variação aparente da frequência sonora devido ao movimento relativo entre fonte e observador.

## 60 Aplicações e Limites da Audição Humana

- A audição humana é sensível a frequências entre aproximadamente 20 Hz e 20 kHz.
- Sons com intensidade acima de 120 dB podem causar dor (limiar da dor).
- Utilizações práticas: ultrassonografia, sonar, acústica de ambientes, isolamento acústico.

## 61 Óptica e Ondulatória

## 62 Óptica Geométrica

### 62.1 Propagação da Luz

- A luz propaga-se em linha reta em meios homogêneos e transparentes.
- Três princípios fundamentais: propagação retilínea, reversibilidade e independência dos raios de luz.

### 62.2 Espelhos Planos

- A imagem formada é virtual, direita e do mesmo tamanho do objeto.
- Propriedades: simetria em relação ao plano do espelho, conservação do ângulo de incidência.

### 62.3 Refração da Luz e Índice de Refração

- Refração: mudança de direção da luz ao passar de um meio para outro.
- Lei de Snell-Descartes:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

- Índice de refração:

$$n = \frac{c}{v}$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $v$  no meio.

### 62.4 Reflexão Total

- Ocorre quando a luz passa de um meio mais refringente para um menos refringente com ângulo maior que o ângulo crítico.
- Aplicação: fibras ópticas.
- $n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(90^\circ)$

### 62.5 Lâminas e Prismas

- Lâminas planas provocam apenas deslocamento lateral do feixe de luz.
- Prismas desviam e dispersam a luz branca em seus componentes (dispersão).

### 62.6 Dispersão da Luz

- A velocidade da luz depende do comprimento de onda no meio material.
- Cada cor sofre um desvio diferente ao atravessar prismas, formando o espectro visível.

### 62.7 Lentes Esféricas

- Podem ser convergentes ou divergentes.
- Equação de Gauss para lentes delgadas:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Onde  $f$  é a distância focal,  $p$  a distância do objeto e  $p'$  da imagem.

### 62.8 Associação de Lentes Delgadas

- Potência de associação:

$$P_{\text{eq}} = P_1 + P_2 + \cdots + P_n$$

Onde  $P = \frac{1}{f}$  (com  $f$  em metros e  $P$  em dioptrias).

### 62.9 Formação de Imagens

- Utiliza-se construção geométrica com raios notáveis.
- A natureza da imagem (real ou virtual, direita ou invertida, aumentada ou reduzida) depende da posição do objeto em relação ao foco e ao centro óptico.

### 62.10 Instrumentos Ópticos

- **Lupa:** lente convergente que aumenta o tamanho angular do objeto observado.
- **Microscópio simples:** uma única lente convergente usada como lupa.
- **Luneta astronômica:** utiliza duas lentes — objetiva (imagem real e invertida) e ocular (amplia a imagem).

## 63 Óptica Física e Ondulatória

### 63.1 Natureza da Luz

- A luz possui natureza dual: comporta-se como onda (fenômenos de interferência, difração e polarização) e como partícula (efeito fotoelétrico).
- Como onda, é uma onda eletromagnética transversal.

### 63.2 Fenômenos de Interferência

- Superposição de ondas que resulta em reforço (interferência construtiva) ou cancelamento (destrutiva).

### 63.3 Experiência de Young

- Demonstra a natureza ondulatória da luz.
- Fenda dupla produz padrões de interferência em um anteparo.
- Distância entre franjas:

$$\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$$

Onde  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz,  $L$  a distância até o anteparo e  $d$  a distância entre fendas.

### 63.4 Polarização da Luz

- Luz natural é não polarizada (os vetores do campo elétrico vibram em todos os planos perpendiculares à direção de propagação).
- Polarização restringe a vibração da luz a um plano.
- Evidência da natureza transversal da luz.

## 64 Síntese

- A óptica estuda tanto a propagação da luz (geométrica) quanto seus aspectos ondulatórios (física).
- Instrumentos ópticos e fenômenos ondulatórios da luz são essenciais para tecnologias modernas (óptica oftálmica, telescópios, interferômetros, fibras ópticas).

## 65 Eletricidade e Magnetismo

### 66 Eletrostática

#### 66.1 Eletrização

- Métodos: atrito, contato e indução.
- Cargas elétricas: positivas e negativas, quantizadas e conservadas.

#### 66.2 Lei de Coulomb

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (7)$$

- Força de interação entre duas cargas puntiformes no vácuo.

### 66.3 Potencial Elétrico

O potencial elétrico gerado por uma distribuição contínua de carga é dado por:

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \quad (8)$$

Onde:

- $\vec{r}$ : ponto onde se calcula o potencial,
- $\vec{r}'$ : ponto onde está o elemento de carga  $dq$ ,
- $\epsilon_0$ : permissividade do vácuo.

## 67 Tipos de Distribuição

### 67.1 Distribuição Linear de Carga (fio)

Densidade linear:  $\lambda = \frac{dq}{dl}$

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\lambda dl'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$$

### 67.2 Distribuição Superficial de Carga (superfície)

Densidade superficial:  $\sigma = \frac{dq}{dA}$

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sigma dA'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$$

### 67.3 Distribuição Volumétrica de Carga (volume)

Densidade volumétrica:  $\rho = \frac{dq}{dV}$

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho dV'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$$

## 68 Observações

- O potencial elétrico é uma grandeza escalar.
- A simetria do sistema pode facilitar os cálculos.
- Para pontos distantes, pode-se usar aproximações (ex: dipolo).

### 68.1 Campo de Forças Coulombianas e Campo Elétrico

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad (9)$$

- Campo elétrico gerado por uma carga pontual.

- $\vec{E} = -\nabla V$

### 68.2 Linhas de Força

- Representação gráfica da direção e sentido do campo elétrico.
- Saem de cargas positivas e entram em cargas negativas.

### 68.3 Trabalho e Potencial Eletrostático

- Potencial elétrico:

$$V = k \frac{Q}{r}$$

- Energia potencial elétrica:

$$U = qV$$

- Trabalho da força elétrica:

$$W = -\Delta U$$

## 69 Corrente Contínua e Resistência

### 69.1 Corrente Elétrica

- Corrente:

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

- Sentido convencional: do positivo para o negativo.

### 69.2 Resistência Elétrica e Lei de Ohm

$$U = RI$$

$$P = Ri^2 = R \cdot \left(\frac{U}{R}\right)^2 = \frac{U^2}{R} = U \cdot i$$

### 69.3 Associação de Resistores

- Série:  $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots$
- Paralelo:  $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

### 69.4 Resistividade e Temperatura

$$R = \rho \frac{L}{A}, \quad \rho(T) = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

### 69.5 Efeito Joule

$$Q = RI^2t$$

### 69.6 Geradores e Receptores

- Geradores fornecem energia elétrica (ex: baterias).
- Receptores consomem energia elétrica (ex: motores).
- Equação geral do gerador:

$$U = \mathcal{E} - rI$$

- Para receptores:

$$U = \mathcal{E} + rI$$

### 69.7 Pilhas em Série e Paralelo

- Série:  $\mathcal{E}_{eq} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots$
- Paralelo: mesma  $\mathcal{E}$ , menor resistência interna.

### 69.8 Leis de Kirchhoff

- Lei das malhas (tensões): soma das ddps em um circuito fechado é zero.

- Lei dos nós (correntes): soma das correntes que entram num nó é igual à soma das que saem.

## 69.9 Instrumentos de Medida

- **Amperímetro:** mede corrente — ligado em série.
- **Voltímetro:** mede tensão — ligado em paralelo.
- **Multímetro:** mede corrente, tensão e resistência.
- **Ponte de Wheatstone:** circuito para medir resistências desconhecidas com alta precisão.

## 70 Magnetismo e Indução

### 70.1 Campo Magnético Gerado por Corrente Elétrica

- Fio retilíneo:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{eng}, \rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

- Espira circular:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

- Solenóide (interior):

$$B = \mu_0 n I$$

Onde  $n$  é o número de espiras por unidade de comprimento.

### 70.2 Força Magnética e Força Elétrica

- Força de Lorentz:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

- Regra/Mão Direita:  $F = |q|vB \sin \theta$

Se a partícula tem massa  $m$  e entra perpendicularmente no campo magnético:

- Raio da trajetória:

$$R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B} \quad (10)$$

- Período do movimento:

$$T = \frac{2\pi m}{|q| \cdot B} \quad (11)$$

### 70.3 Trabalho realizado pela força magnética

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = 0 \quad (12)$$

## 71 Força Magnética sobre um Fio com Corrente

$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B} \quad (13)$$

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \sin \theta. \quad (14)$$

Regra da Mão Esquerda

### 71.1 Eletroímã

- Solenóide com núcleo ferromagnético, que se magnetiza quando a corrente circula.

### 71.2 Indução Eletromagnética

- Lei de Faraday:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Onde  $\Phi_B = B \cdot A \cdot \cos \theta$  é o fluxo magnético.

### 71.3 Lei de Lenz

- O sentido da corrente induzida é tal que seu campo magnético se opõe à variação do fluxo que a gerou.

### 71.4 Campo Elétrico Induzido

- Um campo elétrico pode ser gerado por variação de campo magnético:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$


---

## 72 Física Moderna

### 73 Radiação do Corpo Negro e Constante de Planck

- Um corpo negro ideal absorve toda radiação incidente.
- A distribuição espectral da energia emitida depende da temperatura.
- Planck introduziu a quantização da energia:

$$E = h\nu$$

onde  $h \approx 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  é a constante de Planck.

### 74 Efeito Fotoelétrico

- A luz incide sobre um metal e ejeta elétrons.
- Einstein explicou usando fótons com energia  $E = h\nu$ .
- Equação do efeito fotoelétrico:

$$K_{\text{máx}} = h\nu - \phi$$

onde  $\phi$  é a função trabalho do material.

### 75 Efeito Compton

- Espalhamento de fótons por elétrons livres.

- Mostra o comportamento corpuscular da radiação:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

## 76 Dualidade Onda-Partícula

- Toda partícula possui propriedades ondulatórias:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

(relação de De Broglie).

- Confirmada por experimentos de difração de elétrons.

## 77 Teoria da Relatividade Restrita

### 77.1 Postulados

1. As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.
2. A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os observadores inerciais.

### 77.2 Consequências

- Dilatação do tempo:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- Contração do comprimento:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

### 77.3 Energia Relativística

- Energia total:

$$E = \gamma mc^2 \quad \text{com } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- Energia em repouso:

$$E_0 = mc^2$$

- Relação energia-momento:

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$$

## 78 Modelos Atômicos

### 78.1 Rutherford

- Descoberta do núcleo atômico.
- Átomo com núcleo positivo e elétrons ao redor.
- Instável segundo a eletrodinâmica clássica.

### 78.2 Bohr

- Níveis de energia quantizados:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$$

- Transições entre níveis explicam linhas espectrais do hidrogênio.

## 79 Princípio da Incerteza de Heisenberg

- É impossível conhecer simultaneamente posição e momento com precisão arbitrária:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

onde  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ .

## 80 Radioatividade

- Decaimento espontâneo de núcleos instáveis.
- Três tipos principais:
  - **Alfa** ( $\alpha$ ): emissão de núcleo de hélio.
  - **Beta** ( $\beta^-$ ): emissão de elétron (ou pósitron em  $\beta^+$ ).
  - **Gama** ( $\gamma$ ): radiação eletromagnética de alta energia.
- Lei do decaimento:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

- Meia-vida:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

## 81 Energia Nuclear

- Baseada na equivalência massa-energia de Einstein.
- Fissão nuclear: divisão de núcleos pesados (ex:  $^{235}\text{U}$ ).
- Fusão nuclear: união de núcleos leves (ex: deuterônio + trítio).
- Liberação de energia:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

- Aplicações: reatores nucleares, armas, medicina.