

## Note - Physics

André V. Silva

Monday 19<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.
- $s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$
- $v = v_0 + at$
- $v^2 = v_0^2 + 2a(s - s_0)$
- $\Delta s = \frac{(v+v_0)}{2} \cdot t$

### 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):

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

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (1)$$

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (3)$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad \text{MHS} \quad (4)$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2 \sin \theta = 0 \quad \text{MHS} \quad (5)$$

### 12.1 Rotação de um Corpo Rígido

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}, \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

### 12.2 Relação entre coroas e catracas

Como a corrente impõe a mesma velocidade linear na periferia das duas engrenagens:

$$v_{\text{coroa}} = v_{\text{catraca}} = R_c \cdot \omega_c = R_k \cdot \omega_k$$

### 13 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:

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

### 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

O **Princípio de Arquimedes** afirma que:

*Todo corpo total ou parcialmente imerso em um fluido em repouso sofre a ação de uma força vertical para cima, denominada empuxo, de intensidade igual ao peso do fluido deslocado.*

Essa força de empuxo é dada por:

$$E = \rho_f \cdot g \cdot V_d$$

## 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 Conservação da Massa (Eq. da Continuidade)

Para um fluido incompressível:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Onde:

- $A$ : área da seção transversal
- $v$ : velocidade do fluido

## 28 Equação de Bernoulli

Expressa a conservação da energia para fluidos ideais:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$$

Onde:

- $P$ : pressão
- $\rho$ : densidade

- $v$ : velocidade
- $h$ : altura

## 29 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.

## 30 Pressão Atmosférica

Pressão exercida pelo ar ao nível do mar:

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

## 31 Experiência de Torricelli

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

## 32 Lei de Stevin

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

Válida para qualquer ponto de um mesmo fluido em equilíbrio.

## 33 Vasos Comunicantes

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

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

## 34 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.

## 35 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  $C$ .

## 36 Escalas termométricas

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

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

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

## 37 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:  $\Delta V_{ap} = V_0(\gamma_{\text{líqu}} - \beta_{\text{rec}})\Delta T$

## 38 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.

### 39 Lei geral dos gases perfeitos

$$PV = nRT \quad (6)$$

Onde:

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

### 40 Equação de Clapeyron

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (7)$$

### 41 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)
- **adiabático** ( $Q = 0$ )

$$\rightarrow PV^\gamma = \text{constante}$$

$$\rightarrow TV^{\gamma-1} = \text{constante}$$

$$\rightarrow P^{1-\gamma} T^\gamma = \text{constante}$$

$$\rightarrow \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$\rightarrow \text{gás monoatômico: } \gamma = \frac{5}{3}$$

$$\rightarrow \text{gás diatômico: } \gamma = \frac{7}{5}$$

$$\rightarrow C_p = C_v + R$$

$$\rightarrow U = \frac{3}{2} nRT \text{ Energia Interna, gases monoatômico}$$

$$\rightarrow U = \frac{f}{2} nRT, f \text{ graus de liberdade.}$$

$$\rightarrow W = \int \frac{nRT}{V} dV$$

### 42 Princípio da conservação da energia

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

### 43 Mudanças de estado físico

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

### 44 Quantidade de calor

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

### 45 Propagação do calor

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

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (8)$$

#### 45.2 Convecção

- Transferência por movimentação de massa em fluidos.

#### 45.3 Radiação

$$P = \sigma AT^4 \quad (9)$$

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

## 46 Princípios da Termodinâmica

### 46.1 Primeiro Princípio

$$\Delta U = Q - W \quad \longrightarrow \quad Q = W + \Delta U \quad (10)$$

### 46.2 Segundo Princípio

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

### O que é entropia?

A entropia ( $S$ ) é uma função de estado que mede o grau de desordem de um sistema, a quantidade de microestados possíveis, e a irreversibilidade de processos.

### Definição termodinâmica

Para processos reversíveis:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{\text{rev}}}{T}$$

Para temperatura constante (isotérmico):

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T}$$

### Segunda Lei da Termodinâmica

$$\Delta S_{\text{total}} \geq 0$$

- $\Delta S_{\text{total}} = 0$ : processo reversível
- $\Delta S_{\text{total}} > 0$ : processo irreversível

### Entropia estatística (Boltzmann)

$$S = k_B \ln \Omega$$

- $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

- $\Omega$ : número de microestados possíveis

### Unidade

Joules por kelvin (J/K)

### Exemplos onde a entropia aumenta

- Derretimento de gelo
- Expansão de gás
- Mistura de substâncias

### 46.3 Terceiro Princípio

- A entropia de um cristal perfeito é zero no zero absoluto ( $0 \text{ K}$ ).

## 47 Definição

Uma máquina térmica converte calor em trabalho, operando entre duas fontes térmicas.

## 48 Rendimento

$$\eta = \frac{W}{Q_f} = \frac{Q_f - Q_r}{Q_f} = 1 - \frac{Q_r}{Q_f}$$

- $\eta$ : rendimento
- $W$ : trabalho útil
- $Q_q$ : calor absorvido da fonte quente
- $Q_f$ : calor rejeitado à fonte fria

## 49 Rendimento da Máquina de Carnot

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

- $T_q$ : temperatura da fonte quente (em K)
- $T_f$ : temperatura da fonte fria (em K)

## 50 Equivalente mecânico do calor

- Experiência de Joule:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \quad (11)$$

## 51 Movimento Vibratório e Ondulatório

### 51.1 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).

## 52 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:  $a(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x(t)$

## 53 Oscilador Harmônico

- Sistema massa-mola:

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

- Solução: MHS com:

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

## 54 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.

## 55 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).

## 56 Velocidade de propagação de uma onda unidimensional

$$v = \lambda f$$

Onde:

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



## 57 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

## 58 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.

## 59 Frente de onda

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

## 60 Fenômenos Ondulatórios

### 60.1 Reflexão

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

### 60.2 Refração

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

### 60.3 Difração

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

### 60.4 Polarização

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

### 60.5 Superposição

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

### 60.6 Ondas estacionárias

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

### 60.7 Interferência de ondas bidimensionais

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

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

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


---

## 61 Acústica: Natureza e características do som

### 62 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  $20^\circ\text{C}$ ).

### 63 Características Físicas do Som

- **Frequência** ( $f$ ): número de vibrações por segundo. Está relacionada à altura do som (grave ou agudo).
  - Sons audíveis:  $20 \text{ Hz} \leq f \leq 20\,000 \text{ Hz}$
  - Infrassons:  $f < 20 \text{ Hz}$     Ultrassons:  $f > 20\,000 \text{ Hz}$
- **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.

## 64 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.

## 65 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.

## 66 Óptica e Ondulatória

## 67 Óptica Geométrica

### 67.1 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.

### 67.2 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.

### 67.3 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.

### 67.4 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.
- $n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(90^\circ)$

### 67.5 Lâminas e Prismas

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

### 67.6 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.

### 67.7 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.

- $f = \frac{R}{2}$
- Aumento Linear:  $A = \frac{i}{O} = -\frac{p}{p'}$
- côncavo: convergente (imagem: Real ou virtual)
- convexo: divergente (somente virtual)
  - Espelhos convexos ampliam o campo de visão e diminuem a imagem.

### 67.8 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).

### 67.9 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.

### 67.10 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).

## 68 Óptica Física e Ondulatória

### 68.1 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.

### 68.2 Fenômenos de Interferência

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

### 68.3 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.

### 68.4 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.

## 69 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).

## 70 Eletricidade e Magnetismo

### 71 Eletrostática

#### 71.1 Eletrização

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

#### 71.2 Lei de Coulomb

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (12)$$

- Força de interação entre duas cargas puntiformes no vácuo.

#### 71.3 Potencial Elétrico

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

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \quad (13)$$

Onde:

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

## 72 Tipos de Distribuição

### 72.1 Distribuição Linear de Carga (fio)

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

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

### 72.2 Distribuição Superficial de Carga (superfície)

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

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

### 72.3 Distribuição Volumétrica de Carga (volume)

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

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

## 73 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).

### 73.1 Campo de Forças Coulombianas e Campo Elétrico

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad (14)$$

- Campo elétrico gerado por uma carga pontual.
- $\vec{E} = -\nabla V$

### 73.2 Linhas de Força

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

### 73.3 Trabalho e Potencial Eletrostático

- Potencial elétrico:

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

- Energia potencial elétrica:

$$U = qV$$

- Trabalho da força elétrica:

$$W = -\Delta U$$

## 74 Corrente Contínua e Resistência

### 74.1 Corrente Elétrica

- Corrente:

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

- Sentido convencional: do positivo para o negativo.

### 74.2 Resistência Elétrica e Lei de Ohm

$$U = RI$$

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

### 74.3 Associação de Resistores

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

### 74.4 Resistividade e Temperatura

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

### 74.5 Efeito Joule

$$Q = RI^2t$$

### 74.6 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:

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

### 74.7 Pilhas em Série e Paralelo

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

### 74.8 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.

### 74.9 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.

## 75 Magnetismo e Indução

### 75.1 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.

### 75.2 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:

$$R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B} \quad (15)$$

- Período do movimento:

$$T = \frac{2\pi m}{|q| \cdot B} \quad (16)$$

### 75.3 Trabalho realizado pela força magnética

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = 0 \quad (17)$$

## 76 Força Magnética sobre um Fio com Corrente

$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B} \quad (18)$$

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \sin \theta. \quad (19)$$

Regra da Mão Esquerda

### 76.1 Eletroímã

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

### 76.2 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.

### 76.3 Lei de Lenz

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

### 76.4 Campo Elétrico Induzido

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

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

## 77 Física Moderna

## 78 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.

## 79 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.

## 80 Efeito Compton

- Espalhamento de fótons por elétrons livres.
- Mostra o comportamento corpuscular da radiação:

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

## 81 Dualidade Onda-Partícula

- Toda partícula possui propriedades ondulatórias:

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

(relação de De Broglie).

- Confirmada por experimentos de difração de elétrons.

## 82 Teoria da Relatividade Restrita

### 82.1 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.

### 82.2 Consequências

- Dilatação do tempo:

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

- Contração do comprimento:

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

### 82.3 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:

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



## 83 Modelos Atômicos

### 83.1 Rutherford

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

### 83.2 Bohr

- Níveis de energia quantizados:

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

- Transições entre níveis explicam linhas espectrais do hidrogênio.

## 84 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  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ .

## 85 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:

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

## 86 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.