

# Física

## Algumas grandezas físicas e suas unidades no SI

| Grandeza                               | Unidade | Símbolos   |
|--|---------|--|
| Ângulo plano                           | radiano | rad  |
| Frequência                             | hertz   | Hz ou s <sup>-1</sup>  |
| Força                                  | newton  | N ou kg · m/s <sup>2</sup>   |
| Pressão, tensão                        | pascal  | Pa ou N/m <sup>2</sup> ou m <sup>-1</sup> · kg · s <sup>-2</sup>                 |
| Energia, trabalho, quantidade de calor | joule   | J ou N · m ou m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup>                              |
| Potência, fluxo de energia             | watt    | W ou J/s ou m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup>                                |
| Carga elétrica                         | coulomb | C ou A · s   |
| Diferença de potencial elétrico        | volt    | V ou W/A ou m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup> · A <sup>-1</sup>              |
| Capacitância                           | farad   | F ou C/V ou m <sup>-2</sup> · kg <sup>-1</sup> · s <sup>4</sup> · A <sup>2</sup> |
| Resistência elétrica                   | ohm     | Ω ou V/A ou m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup> · A <sup>-2</sup>              |
| Fluxo de indução magnética             | weber   | Wb ou V · s ou m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-1</sup>           |
| Indução magnética                      | tesla   | T ou Wb/m <sup>2</sup> ou kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-1</sup>                 |
| Indutância                             | henry   | H ou Wb/A ou m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-2</sup>             |

## Algumas unidades não-SI

| Grandeza   | Unidade               | Símbolo | Relação com SI                     |
|------------|-----------------------|---------|------------------------------------|
| Tempo      | minuto                | min     | 1 min = 60 s                       |
|            | hora                  | h       | 1 h = 3 600 s                      |
|            | dia                   | d       | 1 d = 86 400 s                     |
| Velocidade | quilômetros por hora  | km/h    | 1 km/h = (1/3,6) m/s               |
| Volume     | litro                 | L       | 1 L = 1 dm <sup>3</sup>            |
| Massa      | tonelada              | t       | 1 t = 1 000 kg                     |
|            | milímetro de Mercúrio | mmHg    | 1 mmHg ≈ 133,3 Pa                  |
| Pressão    | atmosfera             | atm     | 1 atm ≈ 1,0 · 10 <sup>5</sup> Pa   |
|            | angstrom              | Å       | 1 Å = 10 <sup>-10</sup> m          |
| Força      | quilograma-força      | kgf     | 1 kgf ≈ 9,8 N                      |
|            | dina                  | dyn     | 1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N         |
| Energia    | caloria               | cal     | 1 cal ≈ 4,18 J                     |
|            | elétronvolt           | eV      | 1 eV ≈ 1,602 · 10 <sup>-19</sup> J |

**CRÉDITO DA IMAGEM:** Fernando Tomás/Flickr  
 O Sistema de Ensino Poliedro pesquisou junto às fontes apropriadas a existência de eventuais detentores dos direitos de todas as imagens e ilustrações presentes nesta obra, sendo que sobre alguns nenhuma referência foi encontrada. Em caso de omissão involuntária, de qualquer créditos falantes, estes serão incluídos nas futuras edições, estando, ainda, reservados os direitos referidos nos arts. 28 e 29 da Lei 9.610/98.



### Eletrostática

**Potencial elétrico no interior de um condutor carregado:**  $V_{int} = cte$

**Potencial elétrico no exterior de um condutor carregado com carga Q:** como se toda a carga estivesse concentrada no centro do condutor:  $V_{ext} = \frac{KQ}{r}$

**Potencial elétrico:**  $V = \frac{E_{potencial\ elétrico}}{q}$

**Potencial elétrico de uma carga puntiforme:**  $V = \frac{kq}{d}$  ( $V_{\infty} = 0$ )

**Potencial elétrico gerado por várias cargas:**  $V = V_1 + V_2 + \dots + V_n = \frac{Kq_1}{r_1} + \frac{Kq_2}{r_2} + \dots + \frac{Kq_n}{r_n}$

**Trabalho de A até B:**  $\tau_{AB} = q(V_A - V_B)$

**Energia potencial elétrica de duas cargas puntiformes:**  $E_p = \frac{KQq}{d}$

**Campos elétricos:**

- Campos elétricos no interior de um condutor esférico:  $E_{int} = 0$
- Campos elétricos no exterior de um condutor esférico: como se toda a carga estivesse concentrada em um ponto no centro da esfera:  $E_{ext} = \frac{K|Q|}{d^2}$

**Tipos de eletrização:** por atrito, por contato ou por indução.

**Eletrização por indução:**

- Antes: Indutor (+) e Induzido (-)
- Depois: Indutor (+) e Induzido (+)

**Lei de Coulomb:**  $F_{el} = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$  / Campo elétrico:  $E = \frac{U}{d}$

**Campo elétrico de carga puntiforme:**  $E = \frac{K|Q|}{d^2}$

**Linhas de campo:**

- Carga elétrica positiva: linhas saem da carga.
- Carga elétrica negativa: linhas entram na carga.

### Magnetismo

**Inseparabilidade dos polos magnéticos:**

**Força magnética em uma carga:**  $F_m = B q v \sin\theta$

**Campo magnético em um fio percorrido por corrente:**

**Mão direita:**  $B = \frac{\mu i}{2\pi R}$

**Campo magnético no centro de uma espira:**  $B = \frac{\mu i}{2R}$

**Campo magnético no centro de n espiras justapostas:**  $B = n \cdot \frac{\mu i}{2R}$

**Campo magnético no interior de um solenoide (n espiras por comprimento ℓ):**  $B = \frac{\mu n i}{\ell}$

**Força magnética em um fio percorrido por corrente:**  $F_m = B i \ell$

**Força magnética entre dois fios percorridos por correntes:**  $F_m = \frac{\mu i_1 i_2 \ell}{2\pi r}$

**Fluxo magnético:**  $\Phi_B = B A \cos\alpha$

**Lei de Lenz:** o sentido da corrente induzida produz um campo que se opõe à variação de fluxo magnético que a produziu.

**Lei de indução de Faraday:**  $\epsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$

**Condutor retilíneo em um campo magnético uniforme:**  $\epsilon = -B \ell v$

### Receptor elétrico

Tensão:  $U = \epsilon' + r i$

Rendimento:  $\eta = \frac{\epsilon'}{U}$

### Capacitores

Carga no capacitor:  $Q = CU$

Capacitância de um capacitor de placas planas paralelas:  $C = \frac{\epsilon A}{d}$

Energia armazenada em um capacitor:  $E = \frac{Q^2}{2C}$

### Associação em série:

$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

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

### Associação em paralelo:

$U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$

$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

Energia potencial em um capacitor:  $E_p = \frac{C_{eq} U^2}{2}$

### Refratão

Índice de refração:  $n_A = \frac{c}{v_A} \geq 1$

Lei de Snell:  $n_A \cdot \sin\hat{i} = n_B \cdot \sin\hat{r}$

Ângulo limite:  $\sin\hat{L} = \frac{n_{(menor)}}{n_{(maior)}}$

Dioptra plano:  $p' = \frac{n_{observador}}{n_{objeto}} \cdot p$

### Prismas

Desvio mínimo  $\delta_{min}$ :  $\hat{i}_1 = \hat{i}_2$ ,  $\hat{r}_1 = \hat{r}_2$  e  $\delta_{min} = 2(\hat{i} - \hat{r})$

### Lentes esféricas

Bordas finas ou convexas: Biconvexa, Plano-convexa, Côncavo-convexa

Bordas grossas ou côncavas: Biconcava, Plano-côncava, Convexo-côncava

### Associação de resistores

Série:  $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

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

### Geradores elétricos

Tensão no gerador:  $U = \epsilon - r i$

Corrente elétrica:  $i = \frac{\epsilon}{r + R}$

Rendimento de um gerador:  $\eta = \frac{U}{\epsilon}$

### Associação de geradores

Em série:  $\epsilon_{eq} = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots + \epsilon_n$

$r_{eq} = r_1 + r_2 + \dots + r_n$

Em paralelo (geradores iguais):  $\epsilon_{eq} = \epsilon$  e  $r_{eq} = \frac{r}{n}$

### Óptica geométrica

#### Espeelhos planos

Rotação de um espelho plano: se o espelho for rotacionado de um ângulo  $\alpha$ , a imagem rotará  $2\alpha$ .

Número de imagens da associação de espelhos formando um ângulo  $\alpha$ :  $n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$

#### Espeelhos esféricos

Espelho côncavo:  $f > 0$

Espelho convexo:  $f < 0$

Equação de Gauss:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$

Aumento linear:  $A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$

#### Refração

Índice de refração:  $n_A = \frac{c}{v_A} \geq 1$

Lei de Snell:  $n_A \cdot \sin\hat{i} = n_B \cdot \sin\hat{r}$

Ângulo limite:  $\sin\hat{L} = \frac{n_{(menor)}}{n_{(maior)}}$

Dioptra plano:  $p' = \frac{n_{observador}}{n_{objeto}} \cdot p$

#### Prismas

Desvio mínimo  $\delta_{min}$ :  $\hat{i}_1 = \hat{i}_2$ ,  $\hat{r}_1 = \hat{r}_2$  e  $\delta_{min} = 2(\hat{i} - \hat{r})$

#### Lentes esféricas

Bordas finas ou convexas: Biconvexa, Plano-convexa, Côncavo-convexa

Bordas grossas ou côncavas: Biconcava, Plano-côncava, Convexo-côncava

### Hidrostática

Densidade:  $d = \frac{m}{V}$

Pressão:  $P = \frac{F}{A}$

Pressão de uma coluna de líquido:  $P = dgh$

Prensa hidráulica:  $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

Empuxo:  $E = d_c V_c g$

### Hidrodinâmica

Equação da continuidade:  $\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$

Equação de Bernoulli:  $P_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$

### Gases e Termodinâmica

Temperatura: agitação térmica das partículas

Calor: energia térmica em trânsito

Transformação entre temperaturas:  $\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5}$

Dilatação

Linear:  $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$

Superficial:  $\Delta S = S_0 \beta \Delta T$

Volumétrica:  $\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$

Relação entre os coeficientes de dilatação:  $\gamma = 3\alpha$  e  $\beta = 2\alpha$

Dilatação aparente:  $\gamma_{aparente\ do\ liq.} = \gamma_{real\ do\ liq.} - \gamma_{real\ do\ recipiente}$

### Calorimetria

Quantidade de calor:  $Q = m c \Delta T$

Calor em mudança de fase:  $Q = mL$

Capacidade térmica:  $C = m c$

Balço energético:  $\sum Q = 0$

### Propagação de calor

Condução: calor passa de uma região para outra por meio de contato.

Convecção: deslocamento de fluido com diferentes densidades.

### Gases

Irradiação: propagação através de ondas eletromagnéticas. Não exige necessariamente um meio material.

Fluxo de calor:  $\Phi = K A \frac{(T_1 - T_2)}{d}$

### Equações dos gases perfeitos: $PV = nRT$

### Transformações

Isobárica (P = cte.):  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Isométrica ou isocórica (V = cte.):  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

Isotérmica (T = cte.):  $P_1 V_1 = P_2 V_2$

Adiabática:  $P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$  e  $\Delta Q = 0 \rightarrow \Delta U = -\tau$

Isotermas: Aquecimento isométrico (1 → 2), Expansão isométrica (2 → 3), Expansão isobárica (1 → 3), Expansão adiabática (2 → 4)

### Princípios da termodinâmica

1º princípio da termodinâmica:  $\Delta Q = \Delta U + \tau$

Trabalho:  $\tau = P \cdot \Delta V$

Energia interna de um gás ideal:  $\Delta U$  só depende da temperatura.

Constante dos gases ideais:  $R = C_p - C_v$

Ciclo de Carnot: duas expansões, uma isotérmica e outra adiabática, e duas compressões, uma isotérmica e uma adiabática.

Rendimento:  $\eta_{Carnot} = \frac{Q_{quente} - Q_{fria}}{Q_{quente}} = \frac{T_{quente} - T_{fria}}{T_{quente}}$

2º princípio da termodinâmica: é impossível a conversão total de calor em trabalho. A entropia total do universo não diminui.

Rendimento de um motor:  $\eta = \frac{\tau}{Q_{quente}}$

Eficiência de uma bomba de calor:  $e = \frac{Q_{fria}}{\tau}$

### Hidrodinâmica

Equação da continuidade:  $\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$

Equação de Bernoulli:  $P_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$

### Gases e Termodinâmica

Temperatura: agitação térmica das partículas

Calor: energia térmica em trânsito

Transformação entre temperaturas:  $\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5}$

Dilatação

Linear:  $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$

Superficial:  $\Delta S = S_0 \beta \Delta T$

Volumétrica:  $\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$

Relação entre os coeficientes de dilatação:  $\gamma = 3\alpha$  e  $\beta = 2\alpha$

Dilatação aparente:  $\gamma_{aparente\ do\ liq.} = \gamma_{real\ do\ liq.} - \gamma_{real\ do\ recipiente}$

### Calorimetria

Quantidade de calor:  $Q = m c \Delta T$

Calor em mudança de fase:  $Q = mL$

Capacidade térmica:  $C = m c$

Balço energético:  $\sum Q = 0$

### Propagação de calor

Condução: calor passa de uma região para outra por meio de contato.

Convecção: deslocamento de fluido com diferentes densidades.

**Notação científica e ordem de grandeza**

Um número M pode ser escrito em notação científica como  $M = \alpha \cdot 10^Z$ , em que:

- $\alpha$  = mantissa, tal que  $1 \leq \alpha < 10$
- Z = expoente, tal que  $Z \in \mathbb{Z}$

A ordem de grandeza de M será:

- $10^Z$ , se  $\alpha < 10^{0,5} \approx 3,16$ ,
- $10^{Z+1}$ , se  $\alpha \geq 10^{0,5} \approx 3,16$ .

**Cinemática**

**MRU (movimento retilíneo uniforme)**

Velocidade média:  $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Função horária do espaço:  $s = s_0 + v t$

Movimento progressivo:  $\Delta s > 0$  e  $v > 0$

Movimento retrógrado:  $\Delta s < 0$  e  $v < 0$

**Movimento uniforme progressivo (v > 0)**

**Movimento uniforme retrógrado (v < 0)**

**MRUV (movimento retilíneo uniformemente variado)**

Aceleração escalar:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Movimento acelerado: |v| aumenta

Movimento retardado: |v| diminui

Função horária da velocidade:  $v = v_0 + at$

Função horária do espaço no MUV:  $s = s_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$

Equação de Torricelli:  $v^2 = v_0^2 + 2a \Delta s$

**Movimento uniformemente acelerado (v > 0 e a > 0)**

**Movimento uniformemente retardado (v > 0 e a < 0)**

|       |                       |                       |
|-------|-----------------------|-----------------------|
|       | a > 0                 | a < 0                 |
| v > 0 | acelerado progressivo | retardado progressivo |
| v < 0 | retardado retrógrado  | acelerado retrógrado  |

**Lançamento vertical no vácuo**

Altura máxima:  $h_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{2g}$

Tempo de subida:  $t_s = \frac{v_0}{g}$

Tempo de voo:  $t_{\text{voo}} = 2t_s = 2 \frac{v_0}{g}$

**Lançamento oblíquo**

Posição em x:  $x = v_0 \cos \theta t$

Posição em y:  $y = y_0 + v_{0y} t - \frac{gt^2}{2}$

Velocidade em x:  $v_x = v_0 \cos \theta$

Velocidade inicial em y:  $v_{0y} = v_0 \sin \theta$

Velocidade em y:  $v_y = v_{0y} - gt$

Equação de Torricelli em y:  $v_y^2 = v_{0y}^2 - 2g \Delta y$

Altura máxima:  $h_{\text{máx}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$ ,  $v_y = 0$  e  $v_x = v_{0x}$

Tempo de subida:  $t_s = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$

Tempo de voo:  $2t_s = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$

Alcance:  $A = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$

Alcance máximo:  $A_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{g}$  e  $\theta = 45^\circ$

Equação da trajetória:  $y(x) = \tan \theta x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2$

**MC (movimento circular)**

Ângulo:  $\theta = \frac{s}{R}$

Relação entre frequência (f) e período (T):  $f = \frac{1}{T}$

Velocidade angular:  $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$  [rad/s]

Aceleração angular:  $\gamma = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$  [rad/s<sup>2</sup>]

Velocidade linear:  $v = \omega R$

Aceleração linear:  $a = \gamma R$

**Relação entre grandezas lineares e grandezas angulares (unidades do SI).**

| Grandeza linear       | = | Grandeza angular               | × | Raio  |
|-----------------------|---|--------------------------------|---|-------|
| s (m)                 | = | $\theta$ (rad)                 | × | R (m) |
| v (m/s)               | = | $\omega$ (rad/s)               | × | R (m) |
| a (m/s <sup>2</sup> ) | = | $\gamma$ (rad/s <sup>2</sup> ) | × | R (m) |

**MCU (movimento circular uniforme)**

Velocidade angular:  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  ou  $\omega = 2\pi f$

Função horária angular:  $\theta = \theta_0 + \omega t$

**MCUV (movimento circular uniformemente variado)**

Função horária da velocidade angular:  $\omega = \omega_0 + \gamma t$

Função horária angular:  $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{\gamma}{2} t^2$

Equação de Torricelli:  $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\gamma \Delta \theta$

**Transmissão de movimento circular**

**Correia comum a duas rodas A e B**

Catraca e coroa unidas por uma corrente comum.

$v_A = v_B$

**Rodas A e B em contato direto**

Dois rodas em contato.

$v_A = v_B$

**Eixo de rotação comum a duas rodas**

Dois rodas unidas por eixo comum.

$\omega_A = \omega_B$

**Dinâmica**

**Leis de Newton**

- Inércia
- $\vec{F}_R = m \vec{a}$
- Ação e reação

**Algumas forças da mecânica**

Peso:  $\vec{P} = m \vec{g}$

Força elástica:  $F_{el} = -kx$

Associação de molas em série:  $\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$

Associação de molas em paralelo:  $k_{eq} = k_1 + k_2 + \dots + k_n$

**Forças de atrito**

Contrária ao movimento:

$\vec{F}_{at} = \mu \vec{N}$

$\mu_e > \mu_d$

$0 \leq F_{at,e} \leq \mu_e N$

**Plano inclinado**

Força normal no plano inclinado:  $N = P \cos \theta$

**Dinâmica do movimento circular**

Aceleração centrípeta:  $|\vec{a}_{cp}| = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$

Força centrípeta:  $|\vec{F}_{cp}| = |m \vec{a}_{cp}| = \frac{m \cdot v^2}{R} = m \omega^2 R$

**Trabalho, potência e energia**

Trabalho:  $W = |\vec{F}| |\vec{d}| \cos \theta$

Trabalho é numericamente igual à área do gráfico da força pelo deslocamento.

Trabalho da força peso:  $W = \pm mg \Delta h$

+ → o corpo desce    - → o corpo sobe

Trabalho da força elástica:  $W = -\frac{1}{2} k(x_2^2 - x_1^2)$

$x_2 > x_1$  (aumento da deformação) →  $W < 0$

$x_2 < x_1$  (redução da deformação) →  $W > 0$

Potência:  $P = \frac{W}{\Delta t}$

Energia cinética:  $E_c = \frac{mv^2}{2}$

Teorema da energia cinética:  $W = \Delta E_c$

Energia potencial gravitacional:  $E_{p,g} = mg \Delta h$

Energia potencial elástica:  $E_{p,el} = \frac{kx^2}{2}$

Energia mecânica:  $E_M = E_c + E_p$

Conservação de energia mecânica:  $E_M = \text{constante} = E_c + E_p$

Se houver forças não conservativas (dissipativas):  $W_{nc} = \Delta E_M$

**Colisões**

**Coefficiente de restituição:**

$$e \equiv \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}}$$

**Colisão perfeitamente elástica**

Energia cinética se conserva:  $e = 1$

**Colisão inelástica**

Energia cinética não se conserva:  $E_{c,final} < E_{c,inicial}$

$e = 0$

**Colisão parcialmente elástica**

Energia cinética não se conserva:  $E_{c,final} < E_{c,inicial}$

$0 < e < 1$

Casos particulares:

Se  $m_A = m_B \rightarrow v_A = v_B$  e  $v_B' = v_A'$

Se  $m_A \gg m_B \rightarrow v_A' \equiv v_A$  e  $v_B' \equiv 2v_A - v_B$

**Centro de massa**

Posição:  $x_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$

A mesma relação vale para  $y_{CM}$  e  $z_{CM}$ .

Vetor posição:  $\vec{r}_{CM} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots + m_n \vec{r}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$

Vetor velocidade:  $\vec{v}_{CM} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$

Vetor aceleração:  $\vec{a}_{CM} = \frac{m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 + \dots + m_n \vec{a}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$

**Impulso e quantidade de movimento**

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

Quantidade de movimento:  $\vec{Q} = m \vec{v}$

$\vec{Q}_{total} = \vec{Q}_1 + \vec{Q}_2 + \dots + \vec{Q}_n = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n$

Se não houver forças externas no sistema,  $\vec{Q}$  é conservado.

Teorema do impulso:  $\vec{I} = \Delta \vec{Q}$

**Estática da partícula**

Torque ou momento de uma força:  $|\vec{M}| = F d \sin \theta$

Equilíbrio rotacional:  $\sum \vec{M} = \vec{0}$

Equilíbrio translacional:  $\sum \vec{F} = \vec{0}$

**Colisões**

**Coefficiente de restituição:**

$$e \equiv \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}}$$

**Colisão perfeitamente elástica**

Energia cinética se conserva:  $e = 1$

**Colisão inelástica**

Energia cinética não se conserva:  $E_{c,final} < E_{c,inicial}$

$e = 0$

**Colisão parcialmente elástica**

Energia cinética não se conserva:  $E_{c,final} < E_{c,inicial}$

$0 < e < 1$

Casos particulares:

Se  $m_A = m_B \rightarrow v_A = v_B$  e  $v_B' = v_A'$

Se  $m_A \gg m_B \rightarrow v_A' \equiv v_A$  e  $v_B' \equiv 2v_A - v_B$

**Centro de massa**

Posição:  $x_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$

A mesma relação vale para  $y_{CM}$  e  $z_{CM}$ .

Vetor posição:  $\vec{r}_{CM} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots + m_n \vec{r}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$

Vetor velocidade:  $\vec{v}_{CM} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$

Vetor aceleração:  $\vec{a}_{CM} = \frac{m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 + \dots + m_n \vec{a}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$

**Gravitação**

**Leis de Kepler**

1ª — lei das órbitas: órbitas elípticas, com o Sol em um dos focos.

2ª — lei das áreas: o vetor posição varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

3ª — lei dos períodos:  $\frac{R^3}{T^2} = \text{constante}$

**Lei da gravitação universal**

Força gravitacional:  $F_G = G \frac{M_1 M_2}{d^2}$

Energia potencial:  $E_p = -G \frac{M_1 M_2}{d}$

Velocidade de escape:  $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$

Gravidade terrestre:  $g = G \frac{M_T}{R_T^2}$

**Leis de Kepler**

1ª — lei das órbitas: órbitas elípticas, com o Sol em um dos focos.

2ª — lei das áreas: o vetor posição varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

3ª — lei dos períodos:  $\frac{R^3}{T^2} = \text{constante}$

**Oscilações e ondas**

**MHS (movimento harmônico simples)**

Posição:  $x(t) = A \cos(\omega t + \phi_0)$

Velocidade:  $v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \phi_0)$

Velocidade máxima:  $|v_{\text{máx}}| = \omega A$

Aceleração:  $a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi_0)$

Aceleração máxima:  $|a_{\text{máx}}| = \omega^2 A$

**Sistema massa-mola**

Velocidade angular:  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Período:  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

Frequência:  $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

Energia potencial:  $E_p = \frac{kx^2}{2}$

Energia potencial máxima:  $E_{p,\text{máx}} = \frac{kA^2}{2}$

Energia cinética:  $E_c = \frac{mv^2}{2}$

Energia cinética máxima:  $E_{c,\text{máx}} = \frac{kA^2}{2}$

Energia mecânica:  $E_M = \frac{kA^2}{2}$

**Pêndulo simples**

Velocidade angular:  $\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$

Período:  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$

Frequência:  $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\ell}}$

**Ondas periódicas**

Velocidade de propagação:  $v = \lambda f$

Equação de onda:  $y = A \cos \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \phi_0 \right]$

Intensidade:  $I = \frac{\text{Potência}}{\text{Área transversal}}$  e  $I \propto A^2$

**Interferência**

Interferência construtiva:  $\frac{yd}{\ell} = p \frac{\lambda}{2}$ , p é par

Interferência destrutiva:  $\frac{yd}{\ell} = i \frac{\lambda}{2}$ , i é ímpar

**Cordas vibrantes**

Velocidade de propagação de ondas:  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

**Corda presa nas duas extremidades**

Comprimento de onda:  $\lambda_n = \frac{2\ell}{n}$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots$

Frequência:  $f_n = n \frac{v}{2\ell} = n f_1$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots$

**Corda presa em apenas uma extremidade**

Comprimento de onda:  $\lambda_n = \frac{4\ell}{n}$ ;  $n = 1, 3, 5, \dots$

Frequência:  $f_n = n \frac{v}{4\ell} = n f_1$ ;  $n = 1, 3, 5, \dots$

**Tubos sonoros**

**Fechado em uma extremidade e aberto na outra:**

Comprimento de onda:  $\lambda_n = \frac{4\ell}{n}$ ;  $n = 1, 3, 5, \dots$

Frequência:  $f_n = n \frac{v}{4\ell} = n f_1$ ;  $n = 1, 3, 5, \dots$

**Aberto em ambas as extremidades:**

Comprimento de onda:  $\lambda_n = \frac{2\ell}{n}$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots$

Frequência:  $f_n = n \frac{v}{2\ell} = n f_1$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots$

**Efeito Doppler**

Frequência:  $f_{\text{aparente}} = \left[ \frac{v_{\text{som}} \pm v_{\text{ouvinte}}}{v_{\text{som}} \pm v_{\text{fonte}}} \right] f_{\text{real}}$

Aproximação:  $f_{\text{aparente}} > f_{\text{real}}$  (som mais agudo)

Afastamento:  $f_{\text{aparente}} < f_{\text{real}}$  (som mais grave)

Orientação positiva do eixo: do detector (ouvinte) para a fonte, quaisquer que sejam os sentidos de movimento.