**FÍSICA 11ª CLASSE ESCOLAR**

**Tema 1: FORÇAS E MOVIMENTOS**

**Subtema 1: O Movimento mecânico**
**Definições (Recapitulação de alguns conceitos).**
**Força**: toda acção exercida sobre um corpo.

**Movimento**: Deslocamento, ou todas alterações de um corpo.

A força é a causa de todo o movimento, quer dizer, sem força não há movimento.

**Mecânica**: a parte da física que estuda o movimento dos corpos.

> **Cinemática**: é a parte da mecânica que estuda o movimento sem ter em conta a causa do mesmo.
>
> **Dinâmica**: é a parte da física que estuda as causas do movimento.

**Movimento mecânico**: é a mudança de posição de um corpo.

**Trajetória**: é a linha percorrida por um corpo móvel.

**Tipos de movimentos**:

> **Movimento rectilíneo**: quando a trajetória é uma linha recta.
>
> **Movimento curvilíneo**: quando a trajetória é uma linha curva.
>
> **Movimento circular**: quando a trajetória é uma circunferência.

**Ponto de referência:** é um corpo escolhido à partir do qual se faz análise do movimento.

**Sistema de referência**: é o conjunto de corpos escolhidos à partir dos quais se faz análise do movimento.

Obs. Um mesmo corpo pode estar ao mesmo tempo em repouso e em movimento com relação a um sistema de referência dado.

Ex. Um passageiro do Hiace do Camaxilo ao Dundo, está em repouso com relação a cadeira do carro e em movimento com relação a estrada.

Fisicamente, o repouso e o movimento são relativos, porque dependem do referencial escolhido.

**Sistema de coordenadas cartesiana**: é composto de 3 eixos (x, y, z), onde:

x = abscissa, y = ordenada e z = quota (altura).

**Ponto material**: é um corpo cujas dimensões são desprezadas em determinadas condições do movimento.

Ex. Um avião durante o seu voo pode ser considerado um ponto material, mas quando está na placa não.

**Espaço percorrido**: é a distância desde a posição inicial até a posição final de um móvel num tempo determinado. É sempre positivo.

**Movimento rectilíneo uniforme (MRU)**: é um movimento que se realiza numa recta com velocidade constante. O MRU não é possível no quotidiano.

Obs. Todo movimento depende de 3 factores: espaço, velocidade e tempo; quer dizer, se realiza num **espaço** dado, com uma certa **velocidade** e durante um **tempo** determinado.

$$x = x_0 + vt$$

$$v_0 = 0 \Rightarrow x = vt$$

, sendo x (m); v(m/s) e t (s)

Ex. Determina a posição de um corpo que se move com uma velocidade de 2 m/s em 30 segundos.

| | | |
|---|---|---|
| *Dados*<br>$v = 2m/s$<br>$t = 30s$<br>$x = ?$ | *Fórmula*<br>$x = vt$ | *Substituição*<br>$x = 2.30 = 60m$ |

Subtema 2: **Movimento Rectilíneo Uniformemente Variado (MRUV)**

a = cste , a $\neq$ 0

A saber
$$\Delta x = x_f - x_0$$
$$\Delta v = v_f - v_0$$
$$\Delta t = t_f - t_0$$

1. Aceleração no MRUV: $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v - v_0}{t - t_0}$
2. Velocidade no MRUV: $v = v_0 + at$; $v_0 = 0; v = at$
3. Velocidade média no MRUV: $v_m = \dfrac{v + v_0}{2}$
4. Equação geral do MRUV (posição): $x = x_0 + v_0 t \pm at^2$

   Obs. *Se a = positivo, o movimento é MRUA* $x = x_0 + v_0 t + at^2$

   *Se a = negativa, o movimento é MRUR* $x = x_0 + v_0 t - at^2$
5. Equação de Torricelli: Por Evangelista Torricelli, para achar a velocidade sem conhecer o tempo. $x - x_0 = \dfrac{v^2 - v_0^2}{2a}$

   **Exercícios**
1. Dois automóveis partem ao mesmo tempo de duas localidades, que distam entre si 400km, ao encontro um do outro. A velocidade do primeiro é de 80km/h e a velocidade do segundo é de 60km/h. Determina o tempo e a posição de encontro destes automóveis.

$$\begin{aligned}&Dados\\&x = 400km\\&v_1 = 80km/h\\&v_2 = 60km/h\\&t = ?\\&x = ?\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&Fórmulas\\&x = vt \rightarrow t = \frac{x}{t}\\&x = x_0 \pm vt\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&Automóvel1\\&x = x_0 + vt\\&x_0 = 0,\\&x = v_1 t\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&Automóvel2\\&x = x_0 - v_2 t\end{aligned}$$

Ao se encontrar, os automóveis têm:

$$\begin{aligned}&x_1 = x_2\\&v_1 t = x_0 - v_2 t\\&v_1 t + v_e t = x_0\\&(v_1 + v_2)t = x_0\\&\Rightarrow t = \frac{x_0}{v_1 + v_2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&t = \frac{400}{80+60} = 2{,}85h\\&x = 80(2{,}85) = 228km\end{aligned}$$

**Subtema 2. Movimento de queda livre**

**Generalidades:**

- Dois movimentos se realizam no eixo y: movimento de queda livre e de lançamento vertical dos corpos.
- **Lançamento vertical de corpo**: quando o corpo em movimento sobe, neste caso a aceleração de gravidade (g) é negativa.
- **Movimento de queda livre:** se o corpo cai, neste caso a aceleração de gravidade (g) é positiva.
- A mecânica do tempo de Aristóteles (≈ 300 a. C.) pensava que os corpos mais pesados caem de pressa que os corpos mais leves, Galileu Galilei (sec. XVII) corrigiu este pensamento depois de muitos experimentos.
- Na queda dos corpos, o movimento depende exclusivamente da força de gravidade.
- Independentemente das suas massas, os corpos largados a mesma altura, caem no mesmo tempo se a resistência do ar é desprezível. (Ex. Maçã e pena de galinha).
- Os corpos em queda são chamados também de graves.
- Quer na subida, quer na descida, as velocidades e as posições são iguais.
- A velocidade no ponto mais alto da trajectória (altura máxima) é igual â zero (0), instantaneamente.
- Na queda o movimento é uniforme acelerado (MUV) e na subida o movimento é retardado (MUR).
- Se o corpo em movimento sobe, g = negativa, se o corpo cai, g = positivo.

- g = 9,80665 m/s$^2$.

Equação de posição e da velocidade no movimento de queda e subida de corpos:

Posição $$y = y_0 + v_0 t - \tfrac{1}{2} g t^2 \uparrow$$ $$y = y_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2} g t^2 \downarrow$$

Velocidade em qualquer ponto do movimento $$v_{descida} = v_0 + gt \downarrow$$ $$v_{subida} = v_0 - gt \uparrow$$

Velocidade com que atinge o nível de lançamento (posição inicial) $v = -v_0$

No lançamento vertical de corpos ainda temos:

$$h_{\max} = y_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$t_{voo} = \frac{2v_0}{g}$$

$$t_{subida} = t_{descida} = \frac{v_0}{g}; v = 0$$

$$g = 9{,}8 \, {}^{m}\!/\!{}_{s^2}$$

Obs.

$v\uparrow$ = velocidade da subida

$v\downarrow$ = velocidade da descida

$t_v$ = tempo de voo (subida e descida($t_s$ +$t_d$)

$t_s$ = tempo de subida

$t_d$ = tempo de descida

$h_{max}$ = altura máxima

$y_{max}$ = altura máxima

Exercício.

1. Um pequeno corpo é lançado verticalmente para cima com a velocidade de módulo 15 m/s de uma altura de 5 m.
   a) Quanto tempo demorou a atingir a altura máxima?
   b) Quanto tempo demorou a chegar ao solo?
   c) Com que velocidade chegou ao solo?
   d) Com que velocidade passou a metade da altura máxima?

*Dados*

$v_0 = 15 \,{}^{m}\!/\!_{s}$

$h = 5m$

$g = 10 \,{}^{m}\!/\!_{s^2}$

*Fórmulas*

$a) t_s = \dfrac{v_0}{g}$

$b) t_{descida} = \dfrac{v_0}{g}$

$c) v_{queda} = v_0 - gt$

$d) \dfrac{h_{max}}{2} = \dfrac{2v_0^2}{2g}$

*Substituição*

$a) t_s = \dfrac{15}{10} = 1{,}5s$

$b) t_{descida} = \dfrac{15}{10} = 1{,}5s$

$c) v = 15 - 10.1 = 5 \,{}^{m}\!/\!_{s}$

$d) \dfrac{h_{max}}{2} = \dfrac{2v_0^2}{2g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\dfrac{2hg}{4}} = \sqrt{\dfrac{2.5.10}{4}} = 5 \,{}^{m}\!/\!_{s}$

2. Um corpo é lançado do solo, verticalmente para cima, com velocidade inicial de 20 m/s. Desprezando-se a resistência do ar e admitindo g = 10 m/s$^2$, pede-se:
   a) A função y = f(t);
   b) A função v = f(t);
   c) O tempo gasto pelo corpo para atingir a altura máxima;
   d) A altura máxima atingida em relação ao solo;
   e) O tempo gasto pelo corpo para retornar ao solo;
   f) A velocidade do corpo ao tocar o solo.

*Dados*

$g = 10m/s^2$

$v_0 = 20m/s$

*Fórmulas*

$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \uparrow$

$v = v_0 - gt \uparrow$

$t_s = \dfrac{v_0}{g}$

$y_{max} = \dfrac{v_0^2}{2g}$

$t_{queda} = \dfrac{v_0}{g}$

$v = v_0 + gt \downarrow$

Re*solução*

$a) y = 0 + 20t - \frac{1}{2}(10)t^2 = 20t - 5t^2$

$b) v = 20 - 10t$

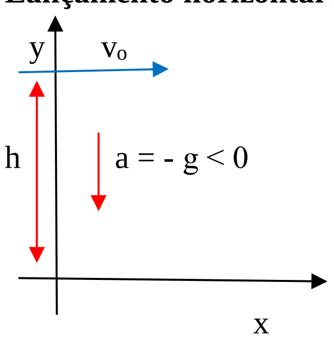
$c) t_s = \dfrac{20}{10} = 2s$

$d) y_{max} = \dfrac{20^2}{20} = \dfrac{400}{20} = 20m$

$e) \because y = 0; \Rightarrow 0 = 20t - 5t^2 \to 0 = 5t(4 - t) \Rightarrow t = 4s$

$f) t = \because 4s; v = 20 - 10(4) = -20m/s$

**Lançamento horizontal de um projétil**




As equações do movimento do lançamento horizontal são:

$$\begin{cases} x = v_{0x}t \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

A equação de trajectória do projétil, $y = -\dfrac{g}{2v_{0x}^2}x^2$

O módulo da velocidade de um projétil, obtém-se pelo teorema de Pitágoras: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

O tempo de queda do projétil, $t_{quda} = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

O alcance do projétil a distância desde a base do ponto de lançamento até ao ponto em que chega ao solo. Calcula-se pela expressão: $x(t) = v_0 t_{queda} = v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

**Exercício 1.**

Um projétil é lançado do topo de rochedo, na direcção horizontal, com a velocidade de 15 m/s. Considera que a altura do rochedo é de 45 m.

a) Determina o tempo que o projétil demora a atingir o solo.

b) A que distância se encontra o projétil, em relação à base do rochedo, quando atinge o solo?

*Dados*

$v_0 = 15m/s$

$h = 45m$

$g = 10m/s^2$

$t_q = ?$

$x = ?$

*Fórmulas*

$t_q = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

$x = v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

Re *solução*

$a)t_q = \sqrt{\dfrac{2.45}{10}} = \sqrt{9} = 3s$

$t|_u = \sqrt{\dfrac{m}{\frac{m}{s^2}}} = \sqrt{s^2} = s$

$b)x = 15(3) = 45m$

Exercício 2.

Uma pequena bola é lançada horizontalmente de uma janela de 5 m de altura com a velocidade igual a 36 km/h. Utilize g = 10 m/s$^2$. Quanto tempo demorou a bola a chegar ao solo? Que posição estava se alcança um posto de luz situado a 10 m?

*Dados*

$h = 5m$

$v = 36km/h = 10m/s$

$g = 10m/s^2$

$t_q = ?$

*Fórmulas*

$t = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

$y = -\dfrac{g}{2v_0^2}x^2$

Re *solução*

$t_q = \sqrt{\dfrac{2.5}{10}} = 1s$

$y = \dfrac{-10}{2.10^2}.10^2 = -5m$

Exercício 3

**4-** Um bombeiro lançou horizontalmente um jacto de água para apagar um incêndio. A velocidade de saída da água é de 10 m/s. A mangueira encontrava-se à altura de 1 m, em relação ao solo. Qual é o alcance máximo atingido pelo jacto de água?

*Dados*

$v = 10m/s$

$h = 1m$

$g = 10m/s^2$

$x = ?$

*Solução*

$$x = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}} = 10.\sqrt{\frac{2.1}{10}} = 10.0.5 = 5m$$

**Lançamento oblíquo de um projétil**

Um projétil descreve um arco em 2 componentes: vertical e horizontal.

$$\begin{cases} x = v_{0x}\cos\theta t \\ y = v_0 sen\theta t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

A equação da trajectória oblíqua do projétil é $y = \frac{v_0 x sen\theta}{v_0\cos\theta} - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\theta}x^2$

O módulo da velocidade de um projétil, obtém-se pelo teorema de Pitágoras $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

O tempo de subida e de descida de um projétil, $t_s = t_d = \frac{v_0 sen\theta}{g}$

O tempo de voo de um projétil, $t_{voo} = \frac{2v_0 sen\theta}{g}; vt = 0$

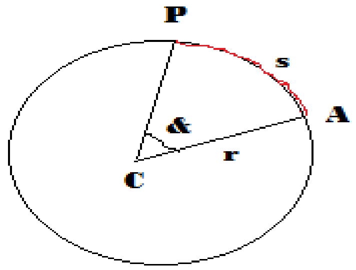
A altura máxima de elevação de um projétil, $h_{\max} = \frac{v_0^2 sen^2\theta}{2g}$

O alcance de um projétil (distância), $x_{(t)} = \frac{v_0^2 sen2\theta}{g}; 2sen\theta\cos\theta = sen2\theta$

**Obs**. O alcance é máximo se o ângulo de lançamento do projétil for igual a 45º. Por esta razão, os atletas que se dedicam ao lançamento de disco esférico, dardo, etc., procuram sempre lançar sobre um ângulo de 45º.

**Subtema 3. Movimento Circular Uniforme (MCU)**

Um movimento é dito circular se a trajectória percorrida pelo corpo é uma circunferência.




**Exemplos de movimentos circulares:**

- Movimento da Lua a volta da Terra.
- Movimento das pás de um ventilador.
- Movimento de uma cadeirinha da roda gigante do carrossel.
- Movimento das rodas de uma bicicleta, mota, etc.

No Movimento circular, x, v e t são angular: φ - fase (rad - radiano), ω – velocidade angular (rad/s radiano/segundo), t - tempo (s)

O movimento circular pode ser:

a) Circular uniforme; MCU: $\varphi = \varphi_0 + wt$ (w = $c^{ste}$)

b) Circular uniformemente acelerado; MCUA: $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2}\alpha \cdot t^2$ (α =$c^{ste}$) $w = w_0 + \alpha.t$

**O MCU tem as seguintes características**:

a) A posição (x), a velocidade (v) e a aceleração (a) são angulares, φ, ω,α.
b) A força aponta sempre para o centro do movimento, por isso se chama fora centrípeta.
c) A força centrípeta e a aceleração centrípeta são sempre perpendiculares à velocidade.
d) Por convenção, o movimento é positivo no sentido anti-horário.
e) O ângulo de giro ou deslocamento angular (fase) corresponde à $\varphi = \frac{s}{r}$
f) A fase **φ** expressa-se em radianos (**rad**). $1rad = \frac{180^o}{\pi} = 57{,}3^o$

**Expressões matemáticas e unidades das grandezas no MCU**

1. O ângulo ou fase: $\varphi_{(t)} = \varphi_0 + \omega.t$ ; unidade **SI** radianos (**rad**).

2. Velocidade angular (ω): $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ ; unidade **SI** radianos por segundo **(rad.s$^{-1}$** ou **rad/s**).
3. Frequência (f): $f = \frac{1}{T} = \frac{n}{t}$, (n = número de voltas; T = período); unidade **SI** hertz (Hz) = **s$^{-1}$** ou $\frac{1}{s}$
4. A relação entre a velocidade linear (v) e a velocidade angular (ω) é: $v = \omega.r$
5. Aceleração angular ou centrípeta (ω): $a_c = \omega^2 r = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ ; unidade SI radianos por segundo ao quadrado (rad/s$^2$).

**Movimento Circular Uniformemente Variado (MCUV).**

Quando um corpo descreve uma trajectória circular (φ) e sofre mudanças na sua velocidade angular (ω), se diz que possui aceleração angular (α) e realiza um movimento circular uniformemente variado (MCUV).

As expressões matemáticas do MCUV se resumem no seguinte quadro:

| **MRUV** | **MCUV** |
|---|---|
| Grandezas lineares | Grandezas angulares |
| $v = v_0 + at$ | $\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$ |
| $s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} \cdot at^2$ | $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$ |
| $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ | $\alpha_m = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ |
| $v^2 = v_0{}^2 + 2a\Delta s$ | $\omega^2 = \omega_0{}^2 + 2\alpha \cdot \Delta\varphi$ |

Obs.

Aceleração tangencial: $a_t = \alpha.R$

Aceleração centrípeta: $a_c = \omega^2 R$

Módulo da aceleração resultante: $\left|\vec{a_r}\right| = \sqrt{(\alpha R)^2 + (\omega^2 R)^2}$

No SI. *1 rad = m . m$^{-1}$ = 1*

**Exercícios**

Um volante circular como raio 0,4m gira, partindo do repouso, com aceleração angular igual a 2rad/s².

(a) Qual será a sua velocidade angular depois de 10 segundos?

(b) Qual será o ângulo descrito neste tempo?

(c) Qual será o vetor aceleração resultante?

| Dados | Fórmulas |
|---|---|
| R = 0,4 m | $\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$ |
| $\alpha$ = 2 rad/s$^2$. | $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2}\alpha \cdot t^2$ |
| | $\left\|\vec{a_r}\right\| = \sqrt{(\alpha R)^2 + (\omega^2 R)^2}$ |

*Resolução:*

*(a) Pela função horária da velocidade angular*:

$$\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$$

$$\omega = 0 + 2 \cdot 10$$
$$\omega = 20 rad/s$$

*(b) Pela função horária do deslocamento angular:*

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2}\alpha \cdot t^2$$

$$\varphi = 0 + 0 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^2$$
$$\varphi = 100 rad$$

*(c) Pelas relações estabelecidas de aceleração tangencial e centrípeta:*

$$|\vec{a}_t| = \alpha R$$
$$|\vec{a}_t| = 2 \cdot 0{,}4 = 0{,}8 m/s^2$$
$$|\vec{a}_{cp}| = \omega^2 R$$
$$|\vec{a}_{cp}| = (20)^2 \cdot 0{,}4$$
$$|\vec{a}_{cp}| = 400 \cdot 0{,}4 = 160 m/s^2$$

$$|\vec{a}_r| = \sqrt{(0{,}8)^2 + (160)^2} =$$
$$|\vec{a}_r| = \sqrt{25600{,}64} = 160{,}002 m/s^2$$

## Subtema 4. Interacção entre os corpos.

A parte da **Mecânica** que estuda as causas do movimento de um corpo é a **dinâmica**.

1. **Leis fundamentais da mecânica (Leis de Newton)**

As leis fundamentais da mecânica foram pela primeira vez divulgadas por Isaac Newton que baseando-se no princípio de inércia de Galileu, em 1687 na sua obra intitulada, «*Philosophace Naturalis Principia Mathematica*» divulgou as 3 leis básicas conhecidas hoje como leis de Newton.

**a) Primeira lei de Newton (Lei da Inércia)**

A 1ª Lei de Newton pode enunciar-se do seguinte modo:

"Um corpo permanece em repouso ou em movimento rectilíneo e uniforme quando sobre ele não actua qualquer força ou quando é nula a resultante das forças que sobre ele actuam."

Matematicamente escreve-se assim: se $F = 0 \rightarrow \begin{cases} repouso \\ MRU \end{cases}$

**Obs**. A 1ª Lei de Newton é chamada de Lei da inércia porque permite associar aos corpos uma propriedade chamada inércia.

A inércia é a tendência que os corpos têm para manter o seu estado de repouso ou de movimento.

A inércia está associada a massa do corpo. Quanto maior a massa de um corpo, maior será a sua inércia.

**Manifestação da inércia no quotidiano.**

Se estivermos em pé num autocarro quando este arranca, sentimo-nos desequilibrar para trás. E quando o autocarro trava, se não estivermos agarrados, somos projetados para parte dianteira do autocarro. Isto, porque a tendência do nosso corpo é continuar na posição em que nos encontramos, a esta resistência em mudar o nosso estado de movimento se chama inércia.

N.B. Nos automóveis, o papel do **cinto de segurança** e do **airbag** é fundamental para transmitir a força de travagem aos passageiros de modo a evitar a projecção e o embate violento contra o interior da viatura.

**b) A 2ª Lei de Newton (Lei de força)**

A 2ª Lei de Newton pode ser enunciada de seguinte modo:

"*A aceleração que adquire um corpo é proporcional à força que a produz e tem sempre a mesma direcção e sentido que essa força*."

Matematicamente, a 2ª lei toma a forma vectorial: $\vec{f} = m\vec{a}$, no entanto a fórmula para a 2ª lei de Newton é $a = \frac{f}{m}$.

Unidades (SI):

Força: newton (N), massa: quilograma (kg), aceleração: metro por segundo ao quadrado (m/s$^2$).

Para medir a intensidade da força se usa aparelhos chamados de **dinamómetro**.

**c) Terceira lei de Newton (Lei de acção e reacção).**

A 3ª lei de Newton é enunciada de seguinte forma:

"*A toda a acção corresponde sempre uma reacção igual e contrário, quer dizer: as acções entre os corpos têm igual grandeza e estão dirigidas em sentidos contrários.*"

A 3ª lei de Newton toma a seguinte forma matemática: $f_A = -f_B$

**Força de atrito e coeficiente de atrito**

Chama-se força de atrito, a força que é paralela a superfície de contacto e de sentido oposto ao movimento.

Ela exprime-se matematicamente através da igualdade: $F = \mu N$

μ é a constante de proporcionalidade, que se denomina coeficiente de atrito, é um número sem dimensões.

Existe dois tipos de coeficientes de atrito: o coeficiente estático ($\mu_0$) e o coeficiente dinâmico (μ).

Obs. $\begin{matrix} F = \mu N \\ N = mg \end{matrix}$

F = força (N), N = normal (N), m = massa (kg), g = aceleração de gravidade (m/s$^2$)

Passos a seguir na resolução de exercícios (método dinâmico)

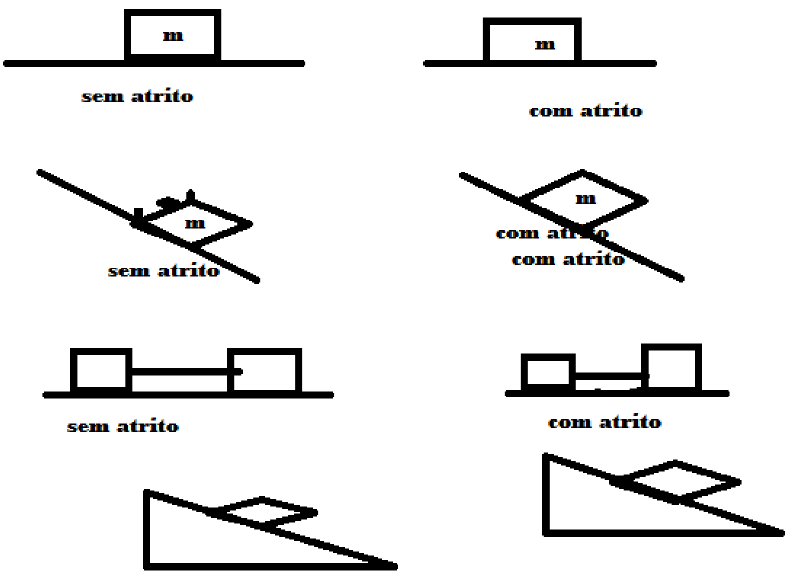
1) Análise do objecto em movimento (com que corpos interactua?)
2) Construir diagrama de forças
3) Aplicar a 2ª lei de Newton em cada eixo.
4) Resolver o sistema de equações obtido (obter o modelo matemático que permita calcular a magnitude procurada)
5) Substituir os dados no modelo matemático.
6) Interpretar os dados.

Exercícios.

1. Um corpo de massa 1kg está sobre uma mesa lisa e é puxado por um fio atado a ele com uma força de 2 N. Achar a aceleração e a velocidade com que se move o corpo durante 3 segundos.
2. Considera que o mesmo corpo percorre uma superfície com atrito de coeficiente 0,5.
3. Considera que o mesmo corpo está sobre um plano inclinado que forma um ângulo φ

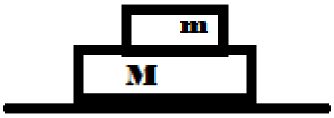
*(Resolução por método dinâmico)*

Casos a resolver:




**Exercício 4.**

Um corpo A de massa M suporta um bloco B de massa m e o conjunto se move sob acção da força F sobre uma superfície S sem atrito. Qual é o valor mínimo de F para que o bloco B comece a deslizar-se com respeito a A.




Exercício 5

Um corpo de massa 5kg está sobre um plano inclinado de ângulo de 60º. Se o movimento é constante, determina o coeficiente de atrito, sabendo que a força aplicada é equivalente a 10 N.


2. **Forças na natureza**

a) **Força de gravidade** (atração da terra): $F_g = mg$

b) **Gravitação universal** (atracção entre corpo): $F = G\dfrac{mM}{r^2}$

Obs. G = 6,67.$10^{-11}$Nm$^2$/kg$^2$. (G: constante gravitacional)

c) **Força de elasticidade** (contracção de uma mola): $F_{el} = -kx$(lei de Hooke)

Obs. k = constante elástica, depende do material com o qual é feita a mola)

d) **Força de atrito** (atracção de superfície): $F_r = \mu N = \mu mg$

$\mu$: coeficiente de atrito

e) Força peso $P = mg$

f) **Impulso** de uma força (impacto para variar a posição de um corpo) $I = F.\Delta t$

g) **Momento linear** ou quantidade de movimento (atracção durante o choque): $\rho = mv$

**Movimento oscilatório Mecânico**

1. **Conceito**

**Movimento oscilatório** é o movimento periódico de vaivém de um móvel a volta de um ponto (posição) d'equilíbrio.

Ex.

- A corda de uma guitarra
- As folhas de uma árvore tocadas pelo vento.
- Movimento de um pêndulo.
- O barco sobre as ondas.
- Oscilação de uma ponte.

Obs. Os processos oscilatórios são frequentes na natureza e na técnica.

Ex.

- Tudo o que vibra provoca oscilações.
- Um terramoto

Na natureza, em muitos casos, as oscilações tem um papel negativo podendo provocar situações catastróficas.

Na técnica, as oscilações são necessárias, como por exemplo na radiotécnica.

Existe 3 tipos de oscilações:

- Oscilações livres (oscilações harmónicas simples)
- Oscilações amortecidas;

- Oscilações forçadas.

Os Parâmetros de um movimento oscilatório são:

1. **O Período (T):** o tempo que um corpo leva para completar uma oscilação.

   $T = \dfrac{\Delta t}{n}$

2. **A Frequência (f)**: o número de oscilações completas em cada segundo.

   $f = \dfrac{n}{\Delta t}$

3. **A amplitude (A):** o valor absoluto máximo da elongação (x), isto é, a maior distância que o móvel alcança da sua posição d'equilíbrio quando oscila.

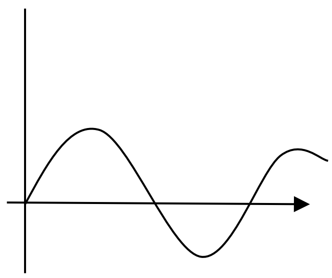
   $A = |x_{max}|$

Nota: O Período é relacionado com a frequência através da equação:

$$T = \frac{1}{f}; f = \frac{1}{T}$$

**MOVIMENTO HARMÓNICO SIMPLES (MHS)**

É o movimento oscilatório de vaivém com a mesma velocidade e aceleração num intervalo de tempo igual.



**a) Elongação no MHS**

$x = Asen\varphi$

$como \varphi = \varphi_0 + wt$

$x = Asen(wt + \varphi_0)$

$se \varphi_0 = 0 \Rightarrow x = Asenwt$

$se \varphi_0 = \dfrac{\pi}{2} \Rightarrow sen(wt + \tfrac{\pi}{2}) = \cos wt$

$\therefore x = A\cos wt$

**b) Velocidade no MHS**

$v = Aw\cos(wt + \varphi_0)$

$se \varphi_0 = \dfrac{\pi}{2} \Rightarrow v = Aw\cos wt$

$v_{max} = Aw$

**c) Aceleração no MHS**

$a = -Aw^2 sen(wt + \varphi_0)$

$se\varphi_0 = 0 \Rightarrow a = -Aw^2 senwt$

d) Relação velocidade – elongação

$v = \pm\sqrt{A^2 - x^2}$

e) Relação aceleração – elongação

$a = -xw^2$

**Exercícios**

1. O deslocamento de uma partícula é dado pela expressão $x = 0{,}5\cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$, em unidades S.I. Determina:
   a) Frequência e o período do movimento.
   b) Amplitude do movimento
   c) A fase inicial
   d) Posição da partícula em t = 0,25s
   e) Equação das velocidades
   f) Equação das acelerações
   g) Velocidade máxima
   h) Aceleração máxima

Resolução

Dados: $x = 0{,}5\cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$

a) $w = 2\pi f \rightarrow f = \frac{w}{2\pi} = \frac{\pi}{2\pi} = \frac{1}{2} = 0{,}5hz$

$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{,}5} = 2s$

b) A = 0,5 m

c) $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$

d) $\varphi_0 = \frac{\pi}{2} \rightarrow x = 0{,}5\cos wt = 0{,}5\cos 0{,}25\pi = 0m$

e) $v = Awsen(wt + \varphi_0)$

$v = 0{,}5\pi sen(\pi t + \frac{\pi}{2})$

f) $a = .-Aw^2 sen(wt + \varphi_0) = -\pi .0{,}5sen(\pi t + \frac{\pi}{2})$

g) $v_{max} = Aw = 0{,}5\pi \, {}^{m}\!/_{s}$

h) $a_{max} = Aw^2 = 0{,}5\pi^2 \, {}^{m}\!/_{s^2}$

## TEMA 2. ONDAS E LUZ

### 1. INTRODUÇÃO

Três elementos constituem o processo de comunicação: o **emissor** (fonte) – **sinal** (mensagem) – o **receptor** (recebe e descodifica o sinal).

O sinal é uma perturbação, isto é, alteração de uma propriedade física no meio onde está o emissor, mas para comunicar é preciso que a perturbação se propague desde do emissor até ao receptor.

A propagação de uma perturbação no espaço designa-se **onda**.

Estamos rodeados de todo tipo de ondas no nosso quotidiano, por exemplo:

- A energia do Sol é transferida até nós por ondas.
- Ver e ler dependem de ondas sob a forma de radiação visível.
- Falar e ouvir dependem de ondas sob a forma de som.
- Ultrassons e raios X são ondas transmitidas em espectros para diagnósticos das doenças.
- A radiotécnica e a televisão utilizam ondas hertzianas.
- As fibras ópticas submersas transmitem as ondas que ligam os continentes por telefone.
- Os satélites de comunicação recebem e transmitem sinais através as feixes hertzianas.
- As águas do mar se movem através de ondas.

### 2. ONDAS E SUAS PROPRIEDADES

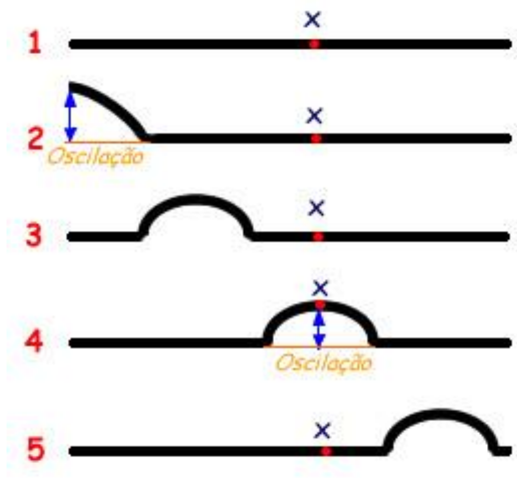
1º Caso

Quando uma pedra cai sobre uma superfície de águas calmas, formam-se ondas em todas as direcções em forma de circunferências concêntricas.

Neste caso, vibram primeiro as partículas do meio onde caiu a pedra e seguidamente as partículas vizinhas começam a vibrar atrasadas em relação as que as procedem formando ondas.

2º Caso

Considere uma corda bem esticada com uma das suas extremidades presa na parede e a outra segura na mão de uma pessoa. Se numa ponta se fizer um movimento brusco de sobe-e-desce com a mão, veremos como a perturbação causada se propaga de uma ponta a outra.




Observa-se que os diversos trechos da corda realizam apenas o movimento de sobe-e-desce, mas a corda continua no mesmo sítio; isto quer dizer que a onda ao se propagar não transporta a matéria, mas transporta a energia.

As ondas podem ser **progressivas** ou **estacionárias**. São progressivas se se propagam, caso contrário são estacionárias.

### 3. CLASSIFICAÇÃO (TIPOS) DE ONDAS

As ondas podem ser classificadas de 3 modos:

#### a) Por natureza

Podem ser **mecânicas** ou **eletromagnéticas**.

**Ondas mecânicas**: são aquelas que precisam de um meio material para se propagar (ar, água, corda, etc.).

Ex. Ondas do mar, ondas numa corda, ondas numa mola, ondas sonoras, ondas na água, etc.

**Ondas eletromagnéticas**: aquelas que são geradas pelas cargas eléctricas oscilantes e que não precisam de um meio material para se propagarem; quer dizer, se transmite na matéria ou no vácuo.

Ex. A luz do Sol, ondas de rádio e da TV, ondas da luz, raios X, raios laser, ondas de radar, etc.

#### b) Pela direcção de propagação

Podem ser unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

**Ondas unidimensionais**: aquelas que se propagam numa só direcção.

Ex. Ondas numa corda, ondas num tubo sonoro.

**Ondas bidimensionais**: aquelas que se propagam num plano.

Ex. Ondas na superfície livre da água de um lago.

**Ondas tridimensionais**: aquelas que se propagam em todas direcções.

Ex. Ondas sonoras numa atmosfera tranquila, ondas electromagnéticas.

**c) Pela direcção de vibração**

Podem ser transversais e longitudinais

**Ondas transversais**: aquelas cujas vibrações são perpendiculares a direcção de propagação.

Ex. Ondas de uma corda.

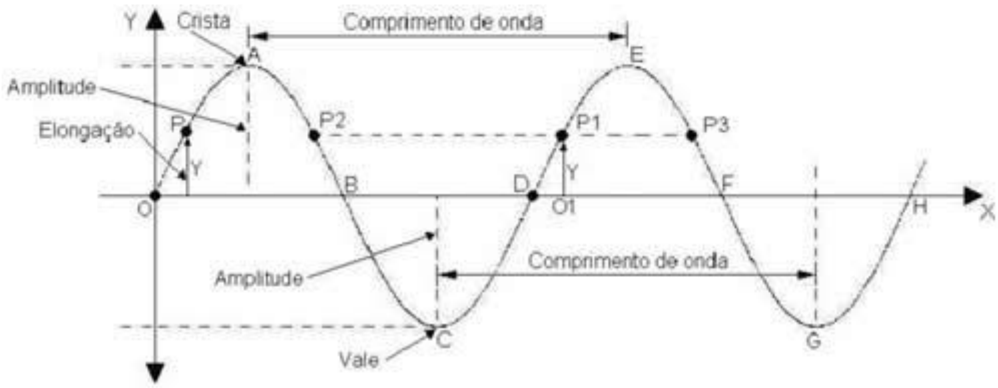
**Ondas longitudinais**: aquelas cujas vibrações coincidem com a direcção de propagação.

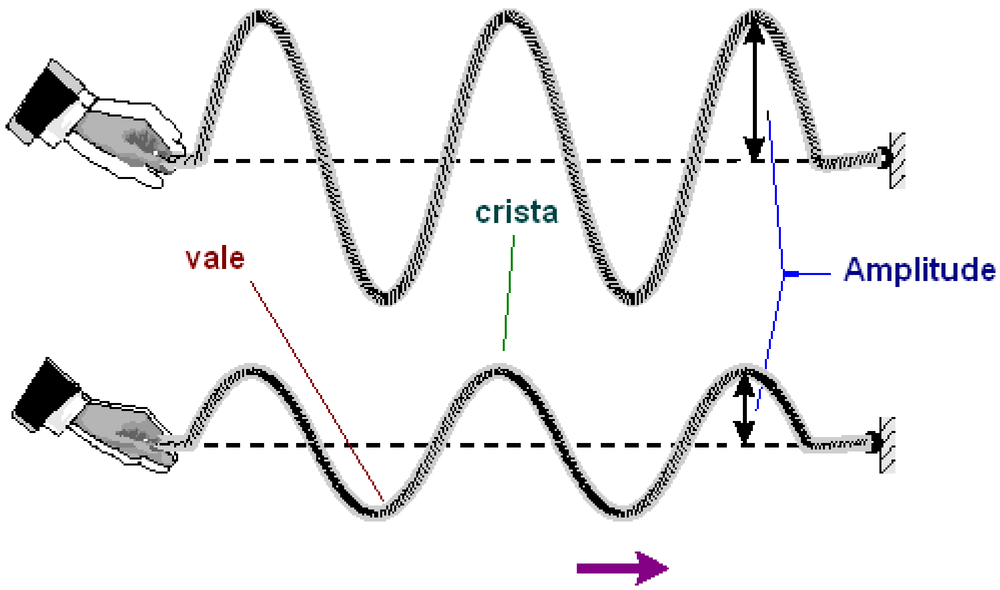
Ex. Ondas sonoras.

Obs. As ondas transversais só se propagam em meios sólidos, mas as ondas longitudinais se propagam em meios sólidos, líquidos e gasosos.

A parte da física que estuda os fenómenos de ondas é a **ondulatória**.

## 4. CARACTERISTICAS DAS ONDAS






As magnitudes que caracterizam uma corda são:

- A frequência (f): número de oscilações por unidade de tempo (em hz).
- A amplitude (A): a altura máxima (em m)
- A velocidade (v): a rapidez com que se processa uma oscilação (em m/s).
- O comprimento da onda (λ): a distância entre duas cristas (em m).
- Cristas: pontos mais altos de uma onda.
- Vales: pontos mais baixos de uma onda.
- O Período (T): o tempo gasto para produzir uma oscilação (em s).

Obs.

- Quando ouvimos dizer que o processador de um computador é de 2,1GHz, isto significa que ele processa 2,1 bilhões de informações (oscilações) por segundo.
- Se dissermos que a frequência da Rádio Lunda Norte é de 90.3 MHz, isto significa que a sua frequência é de 90,3 milhões de oscilações por segundo.
- Maior comprimento de ondas, menor frequência.
- Menor comprimento de ondas, maior frequência.
- A velocidade da onde depende do meio de propagação.
- A equação da velocidade de propagação de onda se processa como seguinte:
  Em MRU: $x = v.t$
  Em movimento ondulatório, as magnitudes são ondulatórias, $x = \lambda$ (lambda), e $t = T$ (período).

Logo $\begin{array}{l} \lambda = vT \Rightarrow v = \dfrac{\lambda}{T} \\ Como T = \dfrac{1}{f} \Rightarrow v = \lambda f \end{array}$ velocidade de propagação de onda

Ex. O movimento ondulatório harmónico de uma onda de 600 cm se realiza com velocidade de 30 m/s. Calcule a frequência da oscilação.

$$\begin{array}{ll} Dados & \\ \lambda = 600com = 6m & v = \lambda f \to f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{30}{6} = 5Hz \\ v = 30m^{-s} & \\ f = ? & \end{array}$$

**Equação da onda progressiva**

A elongação da partícula oscilante é dada ela expressão: $y_0 = A\cos(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{T}x)$

A equação de onda progressiva é a seguinte: $Y = A\cos\left[2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda})\right]$

Exemplo 1

Uma onda transversal de comprimento 0,80m se propaga num meio unidimensional durante 0.40s e atinge uma elongação máxima de 0,20m.

a) Qual é o valor da velocidade de projecção?
b) Escreve a expressão da equação de onda correspondente.
c) Determina a elongação no instante, t=0,8s de uma partícula situada a 1,6m.

$$\begin{array}{ll} Dados & a)v = \dfrac{\lambda}{T} = \dfrac{0{,}80}{0{,}40} = 2m/s \\ \lambda = 0{,}80m & \\ T = 0{,}40s & b)y = A\cos\left[2\pi(\dfrac{t}{T} - \dfrac{x}{\lambda}\right] \\ t = 0{,}8s & \\ x = 1{,}6m & y = 0{,}20\cos(\dfrac{2\pi t}{0{,}40} - \dfrac{2\pi x}{o{,}80}), \log o \\ A = 0{,}20m & \Longleftrightarrow 0{,}20\cos(5\pi t - 2{,}5\pi x \end{array}$$

$$\begin{array}{l} c)y = ?, t = 0{,}8s \\ Como y = 0{,}20\cos(5\pi t - 2{,}5\pi x); t = 0{,}8s; x = 1{,}6m; \pi = 3{,}14 \\ \therefore y = 0{,}20\cos[(5.3{,}14.0{,}8) - (2{,}5.3{,}14.1{,}6)] \\ y = 0{,}20\cos 0 \\ y = 0{,}20.1 \Rightarrow y = 0{,}20m \end{array}$$

Exemplo 2.

Uma onda sinusoidal propaga-se ao longo de uma corda com a seguinte equação: y = 1,0cos {2π (10t – 0,5x)}. Determina:

a) A fase inicial do centro do abalo.
b) A amplitude.
c) A frequência angular.
d) A frequência.
e) A velocidade de propagação
f) A distância entre 2 partículas consecutivas em oposição de fase.

Resolução

a) φ = 0
b) A =1,0m
c) $W_0 = 2\pi \cdot 0,5$

   $W = 2\pi \cdot 10$

d) f = ?

$$w = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow 2\pi.10 = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{20\pi} = 0,s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,1} = 10Hz$$

e)

$$v = \frac{\lambda}{T};$$

$$w_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow 2\pi.0,5 = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{\pi} = 2m$$

$$\therefore v = \frac{2}{0,1} = 20 \, {}^{m}\!/\!{}_{s}$$

f) Duas partículas consecutivas distam de $\Delta x = \frac{\lambda}{2} \leftrightarrow \Delta x = \frac{20}{2} = 10m$

Exemplo 3

A onda representada na fig. seguinte foi produzida em 1,5s e a sua velocidade é 10 m/s. Determina o período e a frequência da onda.

*Dados*

$t = 1,5s$

$v = 10m/s$

$T = ?$

$f = ?$

Re *solução*

$x = v.t \rightarrow 10.1,5 = 15m$

$x = \lambda \rightarrow \lambda = vT \Rightarrow T = \frac{\lambda}{v} = \frac{15}{10} = 1,5s$

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,5} = 0,6Hz$

Exemplo 4

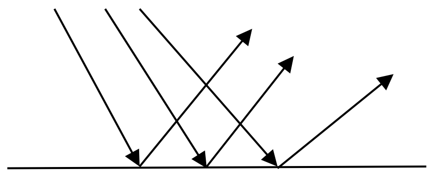
Uma onda sinusoidal tem amplitude 2,0 cm e frequência 12 Hz. A distância entre o máximo e um dos mínimos adjacentes é 5,0 cm. Escreve a equação do movimento da onda e calcule a velocidade de propagação da onda.

| Dados | Resolução |
|---|---|
| $A = 2,0cm$ | $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{12} = 0,08s$ |
| $f = 12Hz$ | |
| $\lambda = 5,0cm$ | $y = 2,0\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{0,08} - \frac{x}{5,0}\right)\right]$ |
| $y = ?$ | |
| $v = ?$ | $v = \lambda f = 5,0.12 = 60 \, {}^{m}/_{s}$ |

**Propriedades características das ondas**

Quando uma onda se propaga num meio material ou não e encontra outro meio como obstáculo, ocorre 3 casos: a reflexão, a transmissão e absorção da onda.

1. **A reflexão**: quando a onda é devolvida no primeiro meio.



Exemplos de reflexão de ondas

- O eco (permite a audição)
- O som nas paredes interiores do tubo do estetoscópio

Leis da reflexão

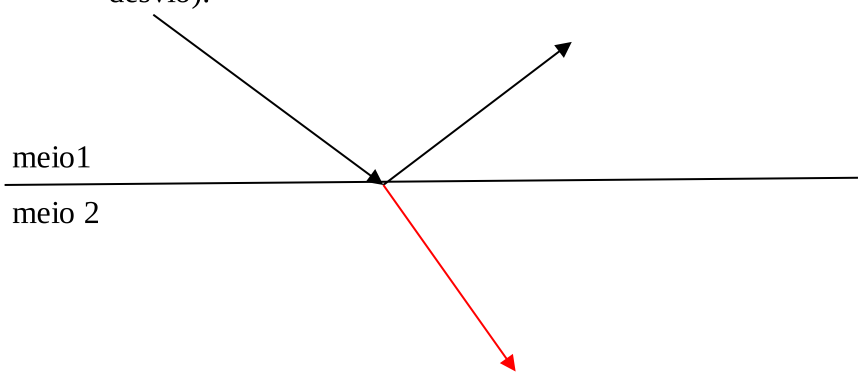
a) O raio incidente (i), a normal a superfície no ponto de incidência (N) e o raio refletido (r) estão no mesmo plano.
b) O ângulo de incidência (î) e o ângulo de reflexão (^r) são iguais.

Obs.

**Raios**: linhas imaginárias que indicam a direcção e o sentido de propagação das ondas.

**Feixe de onda**: conjunto de raios.

2. Refracção: quando o 2º meio deixa-se atravessar pela onda. Sempre eu uma onda passa de um meio para outra, modifica-se também a sua velocidade (refracção = desvio).



- n = índice de refracção do meio.
- No vácuo n = c/v
- n >1
- n em 2 meios $n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$

**Leis da refracção**

São conhecidas por leis de Snell Descartes, porque foram descobertas experimentalmente pelo holandês Von Snell e deduzidas ppelo francês René Descartes.

a) i, N e ^R (angulo de refracção) estão no mesmo plano.
b) O angulo de incidência e o angulo de refracção relacionam-se pela expressão:

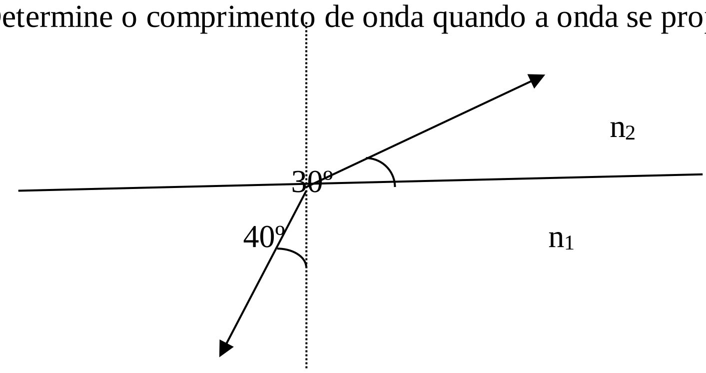
$$n_1 sen\hat{i} = n_2 sen\hat{R}$$

*ou*

$$\frac{sen\hat{i}}{sen\hat{R}} = \frac{v_1}{v_2}$$

Ex. 1. Uma onda de frequência **2,0.10$^4$Hz**, propaga-se no meio 1 com uma velocidade de **1,0.10$^3$ m/s**, quando passa para o meio 2, como se mostra na fig.

a) Indique o valor do ângulo de reflexão.
b) Calcule a velocidade de propagação da onda refractada.
c) Determine o comprimento de onda quando a onda se propaga no meio 2.




Dados

$f = 2{,}0.10^4\, Hz$

$v_1 = 1{,}0.10^3\, m/s$

$a)\hat{r} = ?$

$b) v_2 = ?$

$c) \lambda = ?$

Resolução

a) Como R^ é o ângulo entre 30º e a normal, logo R^= 90º - 30º → R^ = 60º.

b) $\frac{sen\hat{i}}{sen\hat{R}} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1.sen\hat{R}}{sen\hat{i}} = \frac{1,0.10^3.sen60}{sen40} = 1,3.10^3 m/s$

c)

$v = \lambda f \rightarrow \lambda = \frac{v}{f}$

$\lambda = \frac{1,3.10^3}{2,0.10^4} 6,5.10^{-2} m$

2. Um movimento ondulatório harmónico se propaga com velocidade de 30 m/s atingindo $5.10^{-2}$m de elongação máxima em 0,2s. Determina:

a) Amplitude.
b) Comprimento de onda
c) Frequência

Dados

v = 30 m/s

Xmax = $5.10^{-2}$m

T = 0,2s

Resolução

a) A = $5.10^{-2}$m

b) λ = vT = 30 x 0,2 = 6m

c) f = v/ λ = 30/6 = 5Hz.

**Outras propriedades das ondas**

a) **Sobreposição de ondas**: quando duas ondas propagam-se simultaneamente num mesmo meio.
b) **Interferência de ondas**: o efeito da sobreposição de duas ou mais ondas.
Ela pode ser construtiva ou destrutiva. Construtiva, quando as ondas estão em fase e destrutiva quando estão em fases opostas.
c) **Difracção de ondas**: quando as ondas têm capacidade de contornar um obstáculo.
d) **Ondas estacionárias**: quando não se movimentam, isto pelo efeito da incidência e reflexão de ondas ao mesmo tempo.

## 2. FENÓMENOS LUMINOSOS

A **Óptica** (do grego ópticos = visual) é a parte da física que estuda a luz e os fenómenos luminosos.

### a) A Luz. A natureza da luz.

Existe várias teorias:

- **Teoria corpuscular** de Newton: a luz é constituída por pequenos corpúsculos que se deslocam em todas direcções a grandes velocidades.
- **Teoria ondulatória** do Holandês Huyghens: a luz é uma onda.

- **Teoria electromagnética** do escocês - britânico James Clerk Maxwell: a velocidade de propagação da luz é igual a da onda electromagnética; etc.

Mas, a descoberta do efeito fotoeléctrico pelo alemão Heinrich Hertz em 1887, mudou a concepção científica sobre a luz; pelo que, hoje se admite que, a luz tem um **comportamento dual**, quer dizer que a luz se comporta como onda na interferência e comporta-se como partícula no efeito fotoeléctrico.

**b) Fontes luminosas**

- **Fontes naturais da luz**: Sol, estrelas, vela acesa, qualquer corpo incandescente.
- **Fontes artificiais da luz**: Lâmpada acesa, raios laser, etc.
- Os corpos podem ser luminosos ou iluminados. São luminoso, se são capazes de emitir raios luminosos.
- Os **corpos iluminados** (refletem luz recebida de corpos luminosos): Lua, planetas, objectos, roupa, livro, pessoa, etc.
- Chama-se **fontes luminosas**, todos os corpos cujas moléculas e átomos emitem radiações visíveis.
- Os raios de luz de uma fonte luminosa não interferem na propagação dos raios de outra fonte luminosa, ainda que o caminho de ambos se cruze; isto é conhecido como **princípio da independência dos raios de luz**.