Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

Programa

- Física na Biologia
- Sólidos e Fluidos
- Electricidade e Magnetismo
- **Ondas e Óptica**
- Física Contemporânea (!)

Estes slides contêm imagens retiradas da web, assim como conteúdos gráficos da referência Physics for Scientists and Engineers, R. A. Serway & J. W. Jewett, Thomson Brooks/Cole 2004.

AN 2015

Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

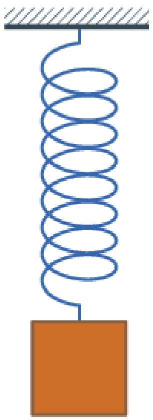
4- Ondas e óptica

- **Movimento harmónico simples.**
- Oscilações amortecidas. Regime forçado e ressonância.
- Ondas a uma dimensão.
- Ondas estacionárias. Ouvir e falar.
- Difração.
- Óptica geométrica Leis da reflexão e refracção.
- Espelhos e lentes. Instrumentos ópticos.
- A visão.

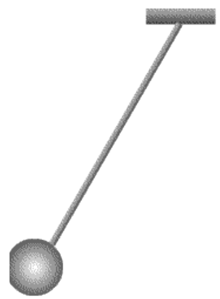
4.1 Movimento harmónico simples.

O movimento de oscilação ou vibração é uma mudança de configuração periódica em torno de um equilíbrio.

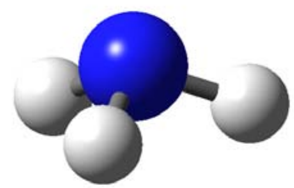
Oscilações



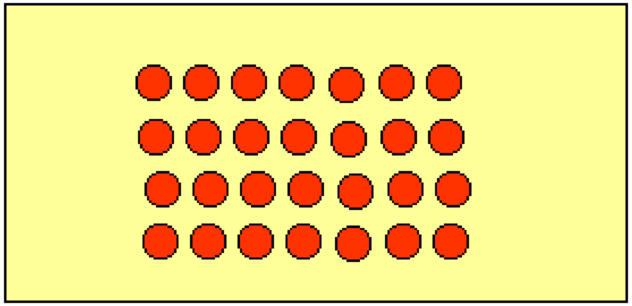
Massa presa à extremidade de uma mola



Pêndulo simples



Vibrações de estiramento numa molécula de NH3



Vibrações dos átomos de um sólido em torno das suas posições de equilíbrio na rede cristalina

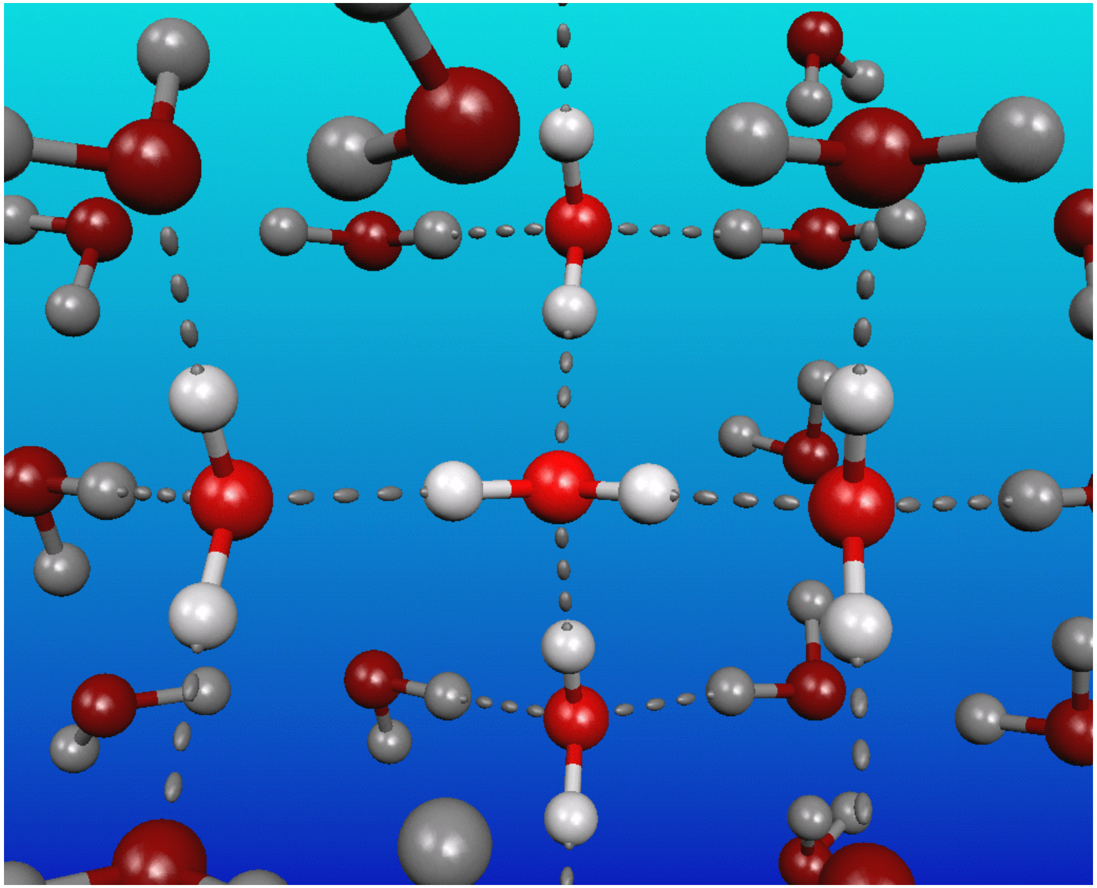
A mola elástica ideal de que falámos como exemplo de força conservativa é um modelo universal para estes movimentos.

4.1 Movimento harmónico simples.

O movimento de oscilação ou vibração é uma mudança de configuração periódica em torno de um equilíbrio.

Oscilações

www.mbi-berlin.de/de/research/projects/3.1/highlights/water_asymmetric_o-h_stretch.gif



Por isso é um dos movimentos mais comuns na natureza, tanto a nível macroscópico como microscópico, tanto em sólidos como em líquidos e gases.

4.1 Movimento harmónico simples.

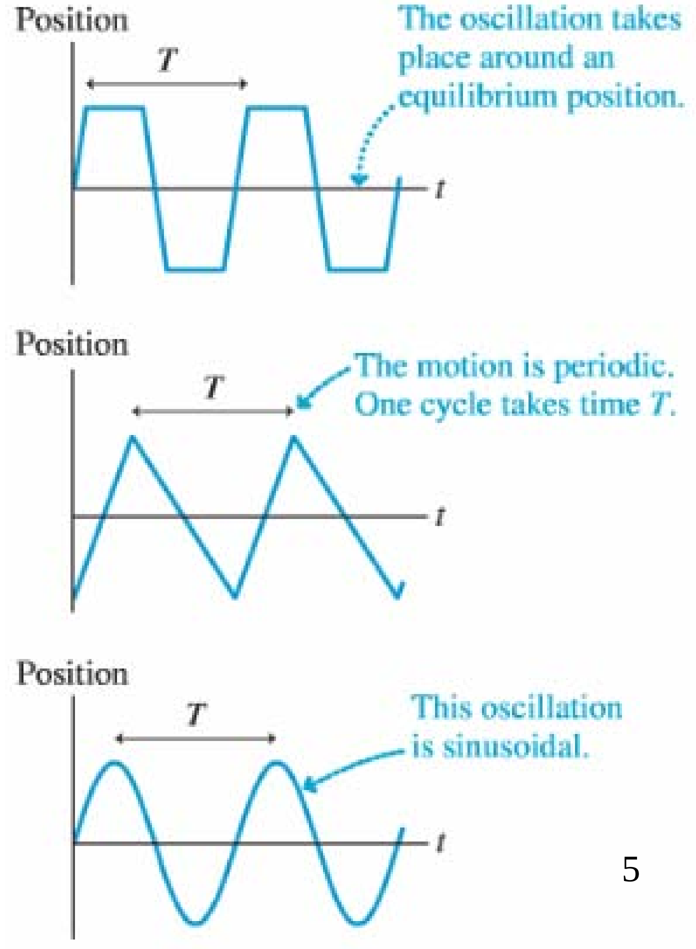
Uma oscilação tem - como qualquer movimento periódico - um período e uma frequência associados.

Oscilações

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

$$1\ \text{Hz} = 1\ \text{s}^{-1}$$

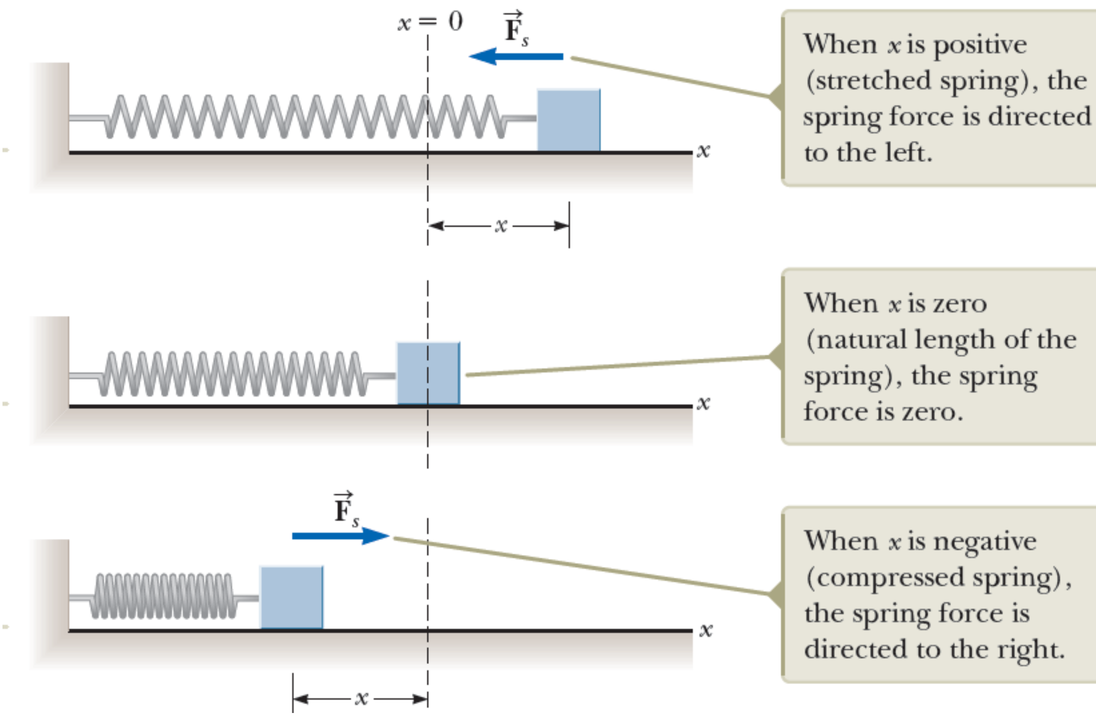
As oscilações sinusoidais são um caso particular importante porque descrevem todas as vibrações de pequena amplitude em torno de um mínimo da energia potencial do sistema.



4.1 Movimento harmónico simples.

A força elástica dada pela lei de Hooke caracteriza uma mola ideal.

Vibrações livres de uma mola



$$\vec{F} = -k\,x\,\vec{u}_x$$

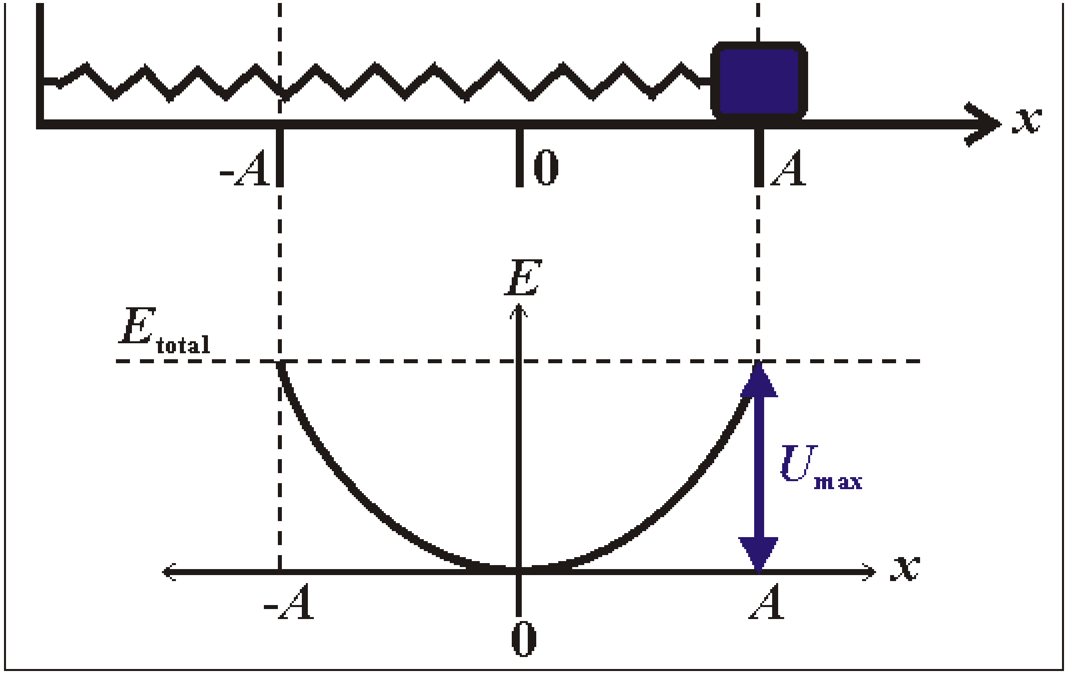
$$E_p = \frac{k\,x^2}{2}$$

A força elástica é conservativa

4.1 Movimento harmónico simples.

A energia potencial elástica associada à vibração de uma mola tem um mínimo na posição de equilíbrio.

Vibrações livres de uma mola



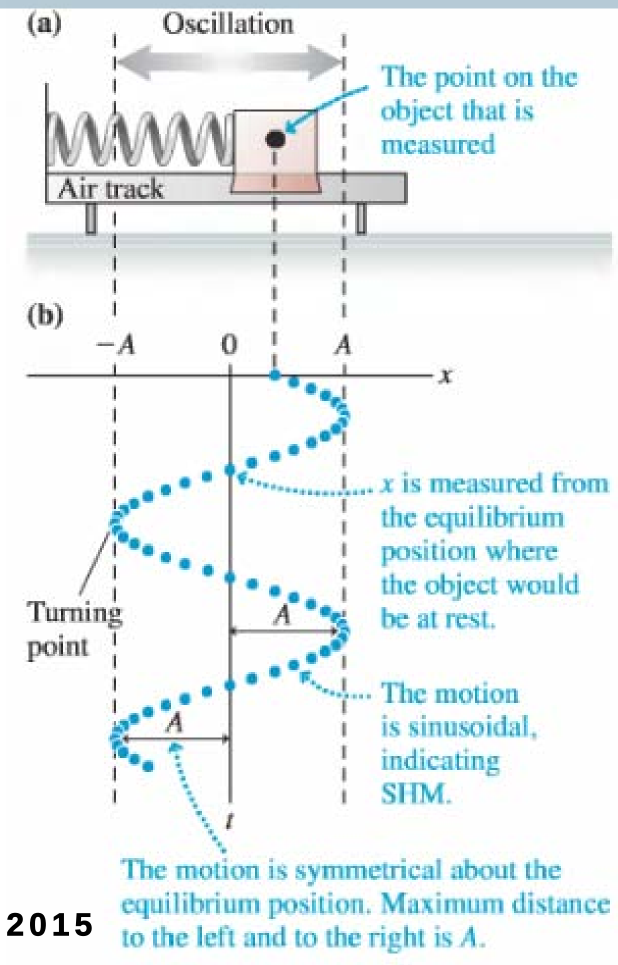
$$\vec{F} = -k\,x\,\vec{u}_x$$

$$E_p = \frac{k\,x^2}{2}$$

4.1 Movimento harmónico simples.

Vejamos que a equação do movimento tem como solução uma oscilação sinusoidal.

MHS



$$\vec{F} = -k\,x\,\vec{u}_x \Leftrightarrow x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$v(t) = \frac{d\,x}{d\,t} = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$$

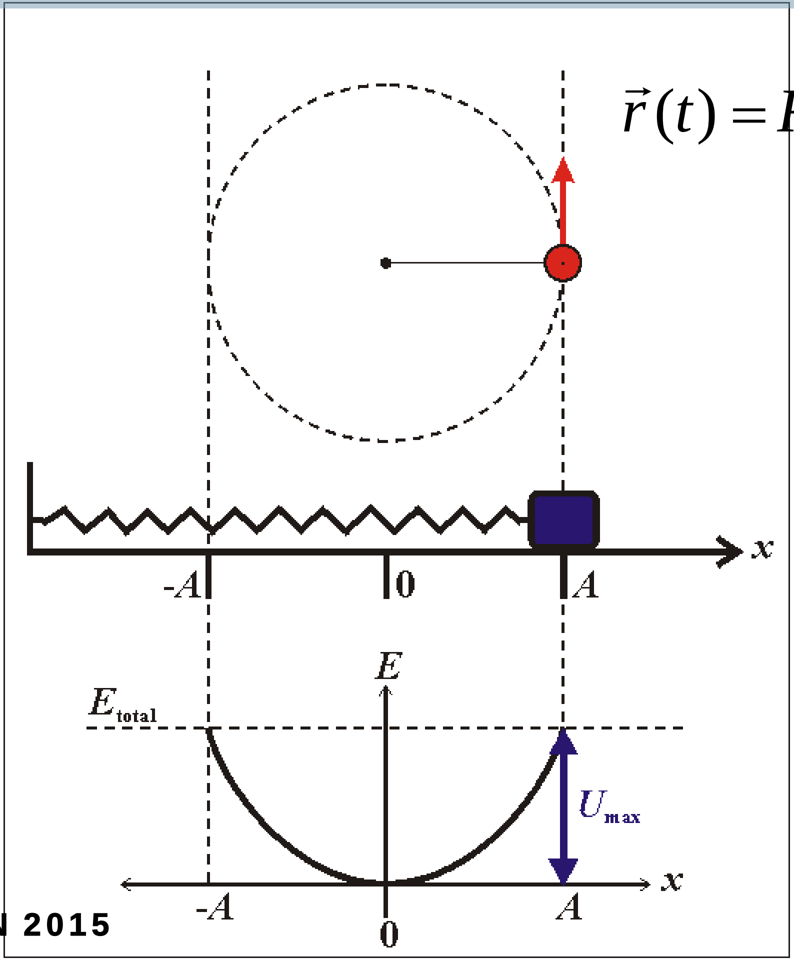
$$a(t) = \frac{d\,v}{d\,t} = -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$= -\frac{k}{m}x(t)$$

4.1 Movimento harmónico simples.

O MHS e o movimento circular uniforme estão relacionados de uma maneira simples.

MHS



$$\vec{r}(t) = R(\cos(\omega t + \varphi)\,\vec{u}_x + \sin(\omega t + \varphi)\,\vec{u}_y)$$

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

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k\,x^2 = const$$

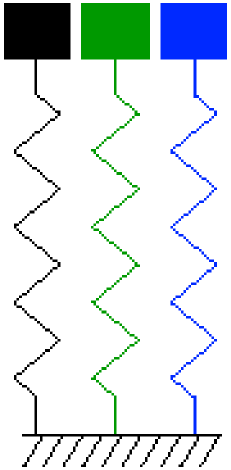
4.1 Movimento harmónico simples.

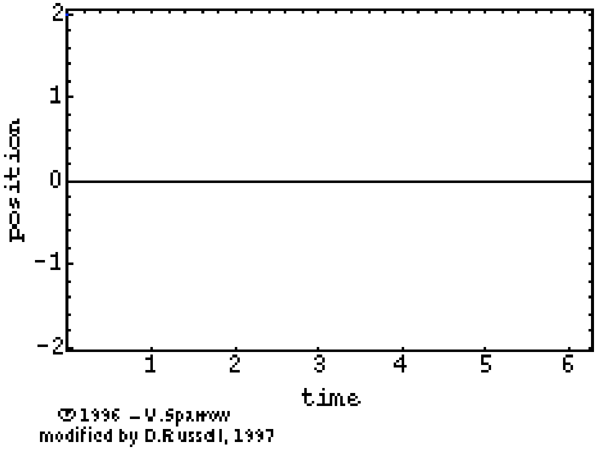
Um MHS fica definido pela amplitude e fase.

Quiz 41

Que parâmetro mede a rigidez de uma mola?

Qual das três molas é mais rija?





4.1 Movimento harmónico simples.

Um MHS fica definido pela amplitude e fase.

Quiz 42

Uma mola é esticada desde a posição de equilíbrio em $x=0$ até $x1=A$, e largada desde essa posição. Demora t1 até passar pela primeira vez pela posição de equilíbrio.

A mesma mola é esticada desde a posição de equilíbrio em $x=0$ até $x1=2A$, e largada desde essa posição. Demora t2 até passar pela primeira vez pela posição de equilíbrio.

Temos

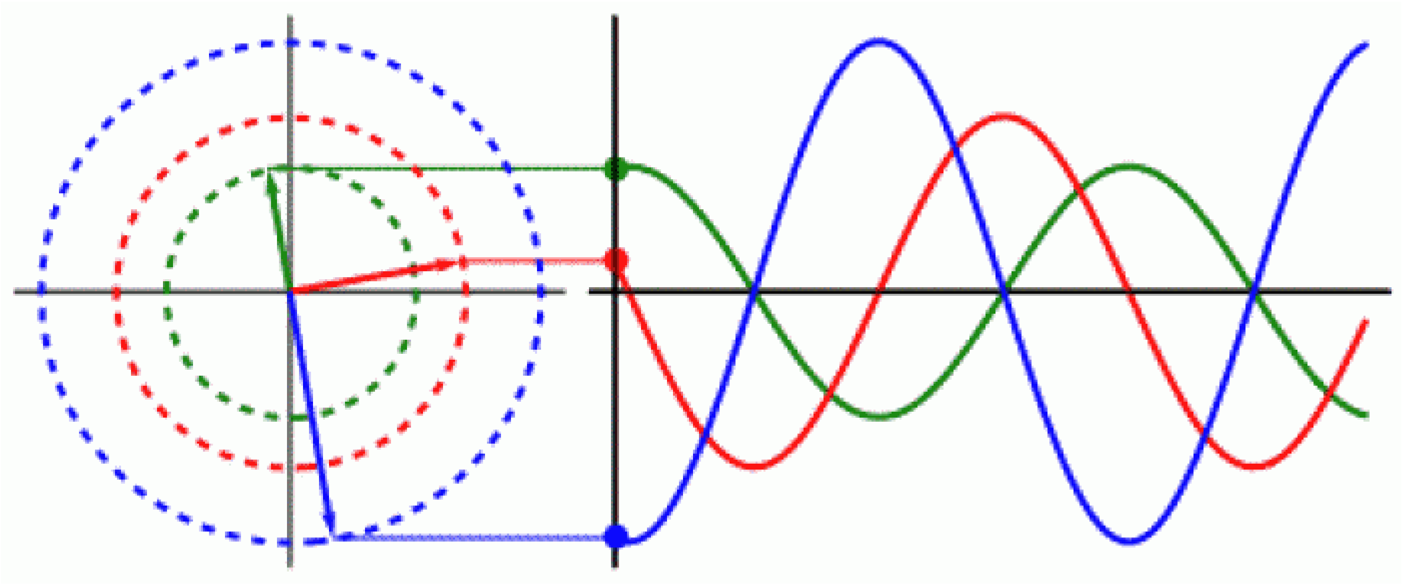
a) $t1 < t2$ b) $t1 > t2$ c) $t1 = t2$

4.1 Movimento harmónico simples.

Um MHS fica definido pela amplitude e fase.

Quiz 42

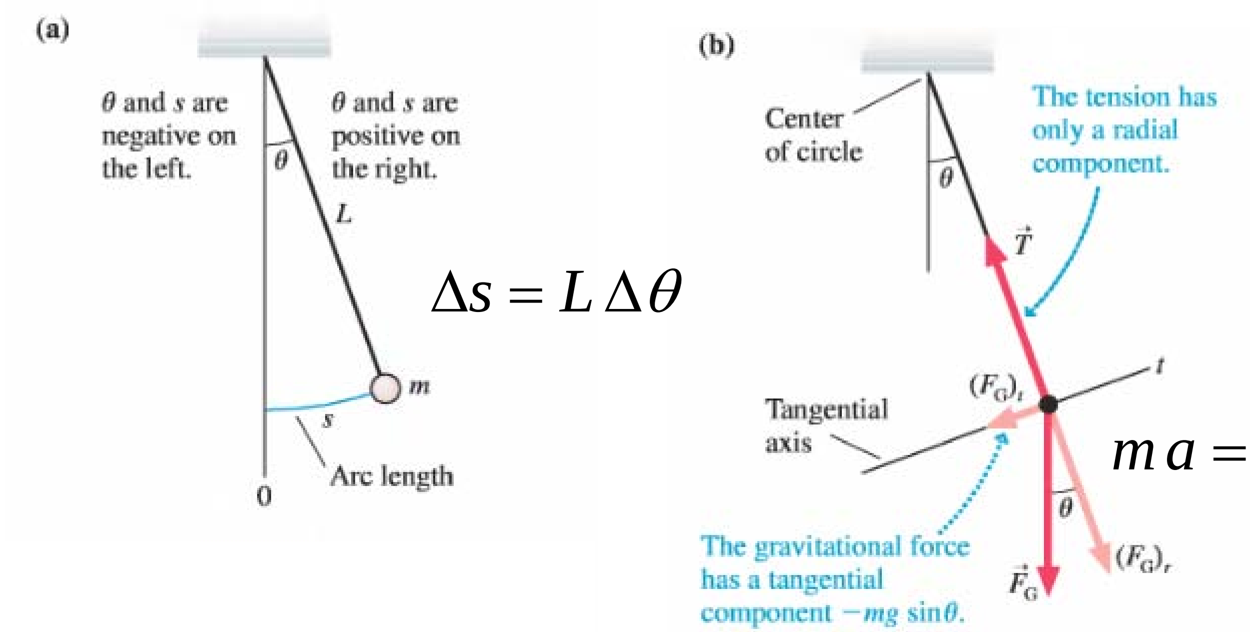
c) t1 = t2



4.1 Movimento harmónico simples.

As oscilações de pequena amplitude de um pêndulo também são harmónicas.

Pequenas oscilações do pêndulo



$$\Delta s = L\,\Delta\theta$$

$$m\,a = m\frac{d^2 s}{d\,t^2} = -m\,g\sin\theta = F$$

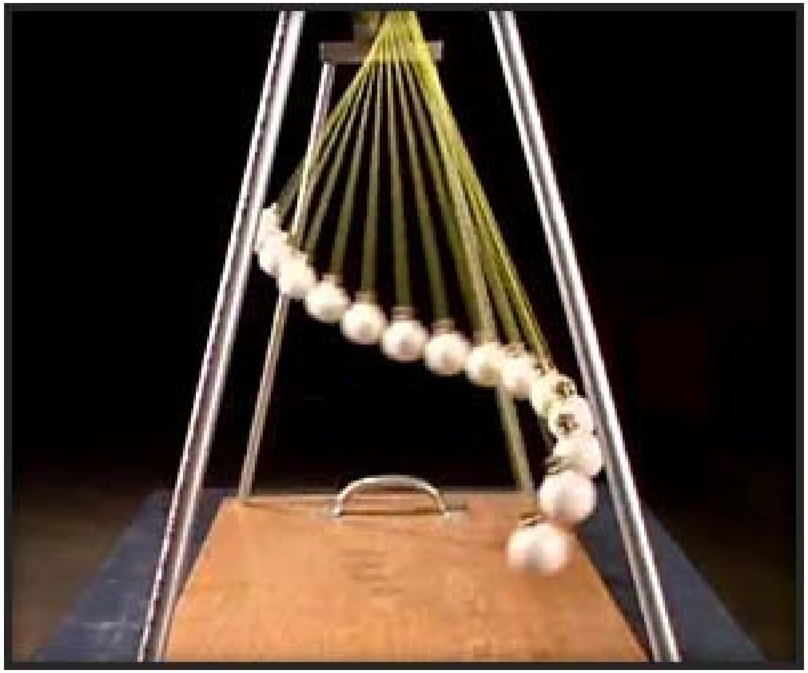
$$m\,L\frac{d^2\theta}{d\,t^2} = -m\,g\sin\theta$$

$$\frac{d^2\theta}{d\,t^2} \approx -\frac{g}{L}\theta$$

4.1 Movimento harmónico simples.

O período das oscilações de pequena amplitude de um pêndulo depende do comprimento do fio.

Pequenas oscilações do pêndulo



https://www.youtube.com/watch?v=V87VXA6gPuE

Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

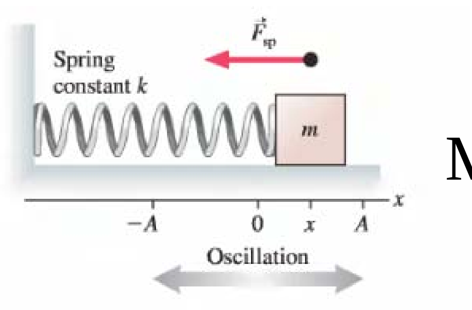
4- Ondas e óptica

- Movimento harmónico simples.
- **Oscilações amortecidas. Regime forçado e ressonância.**
- Ondas a uma dimensão.
- Ondas estacionárias. Ouvir e falar.
- Difração.
- Óptica geométrica Leis da reflexão e refracção.
- Espelhos e lentes. Instrumentos ópticos.
- A visão.

4.2 Oscilações amortecidas e forçadas.

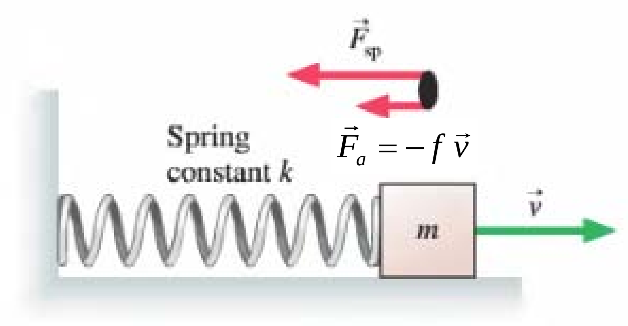
Qualquer oscilação mecânica dá-se com algum atrito associado, e portanto com dissipação de energia.

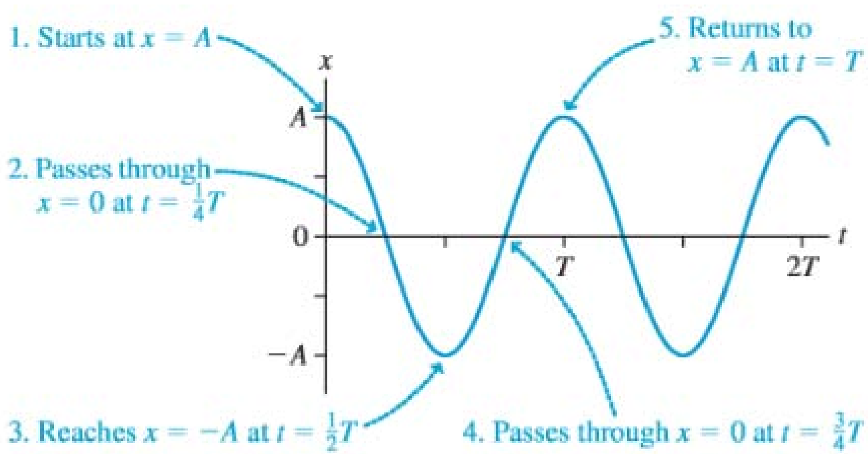
Oscilador amortecido

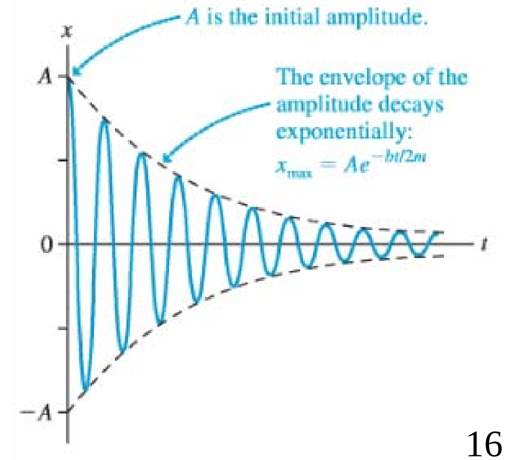


MHS

MHA





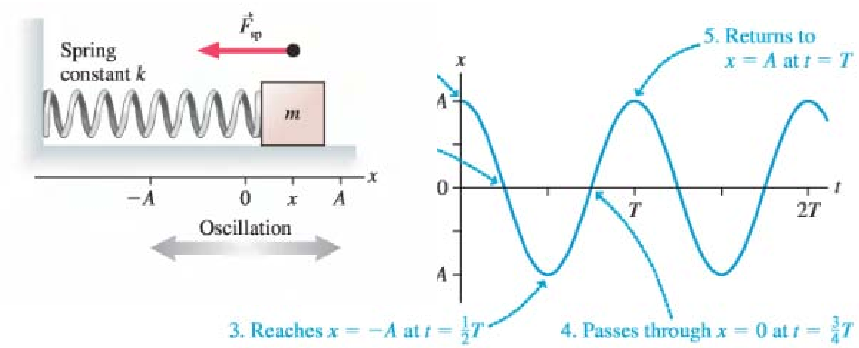


4.2 Oscilações amortecidas e forçadas.

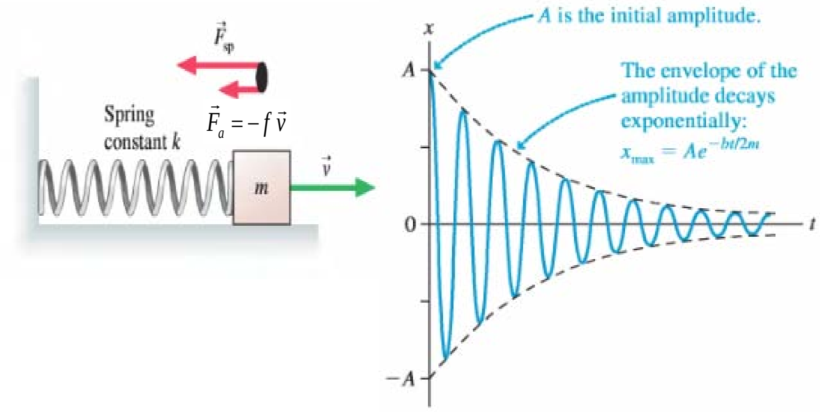
Se o amortecimento for fraco, o movimento é ainda oscilatório mas as sucessivas elongações máximas decaem exponencialmente.

Oscilador amortecido

MHS



MHA



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

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

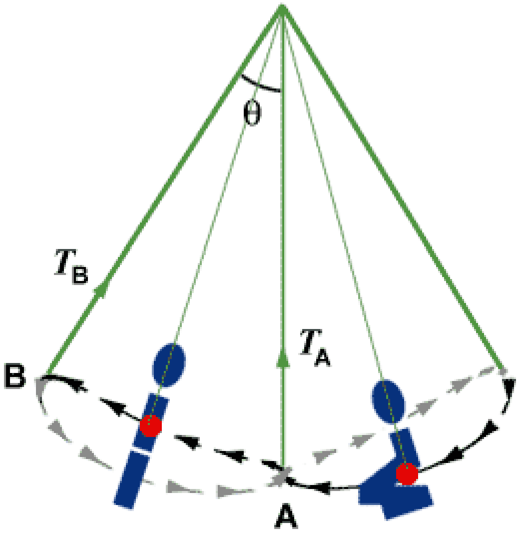
$$x(t) = Ae^{-bt}\cos(\omega t + \varphi)$$

$$b = \frac{f}{2m}, \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{f^2}{4m^2}} \approx \sqrt{\frac{k}{m}}$$

4.2 Oscilações amortecidas e forçadas.

Há muitos fenómenos que envolvem oscilações ou vibrações com forçamento periódico, e o baloiço é um exemplo mecânico.

Forçamento e ressonância



O forçamento é produzido pela variação periódica do comprimento efectivo do pêndulo.

4.2 Oscilações amortecidas e forçadas.

A energia transferida para o sistema pelo forçamento depende da amplitude do forçamento e, crucialmente, da sua frequência.

Forçamento e ressonância

Kiiking – um desporto nacional na Estónia
Foto: Prof. Dr. Armin Kibele, Universidade de Kassel

https://www.youtube.com/watch?v=JDnNmLkQ3Bc

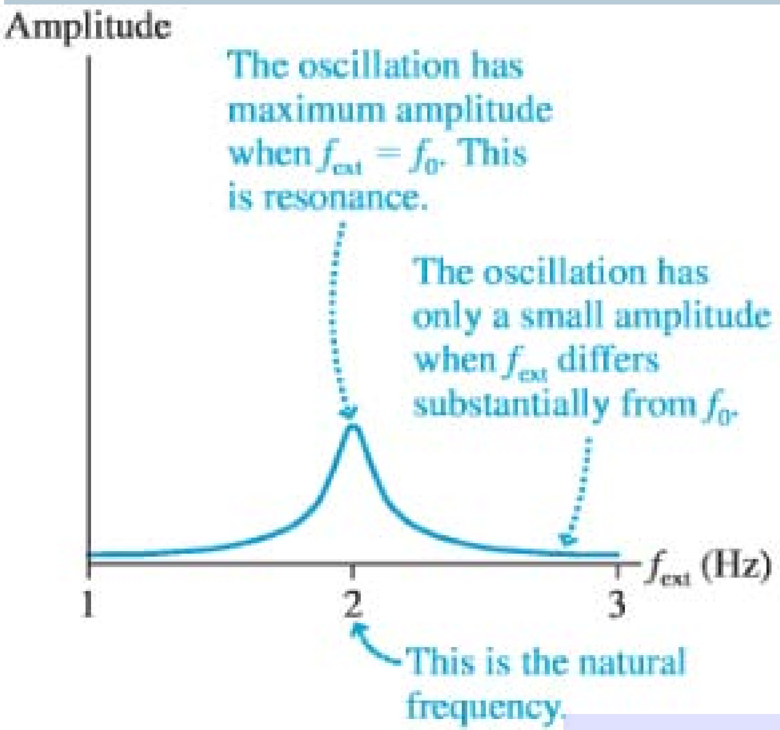
http://www.mathsinthecity.com/sites/millennium-bridge-london

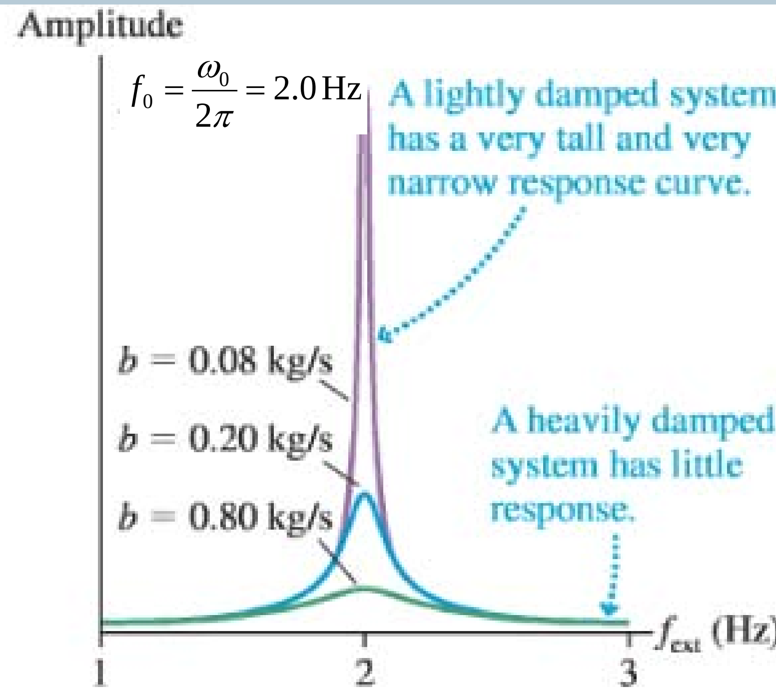
A ressonância é a absorção de energia selectiva em frequência.

4.2 Oscilações amortecidas e forçadas.

A ressonância é a absorção de energia selectiva em frequência. O oscilador fracamente amortecido é um bom modelo para compreender o fenómeno.

Forçamento e ressonância





$$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + b\omega^2}}$$

Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

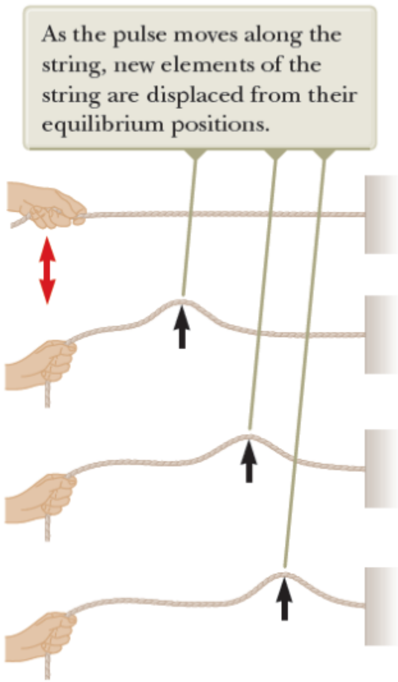
4- Ondas e óptica

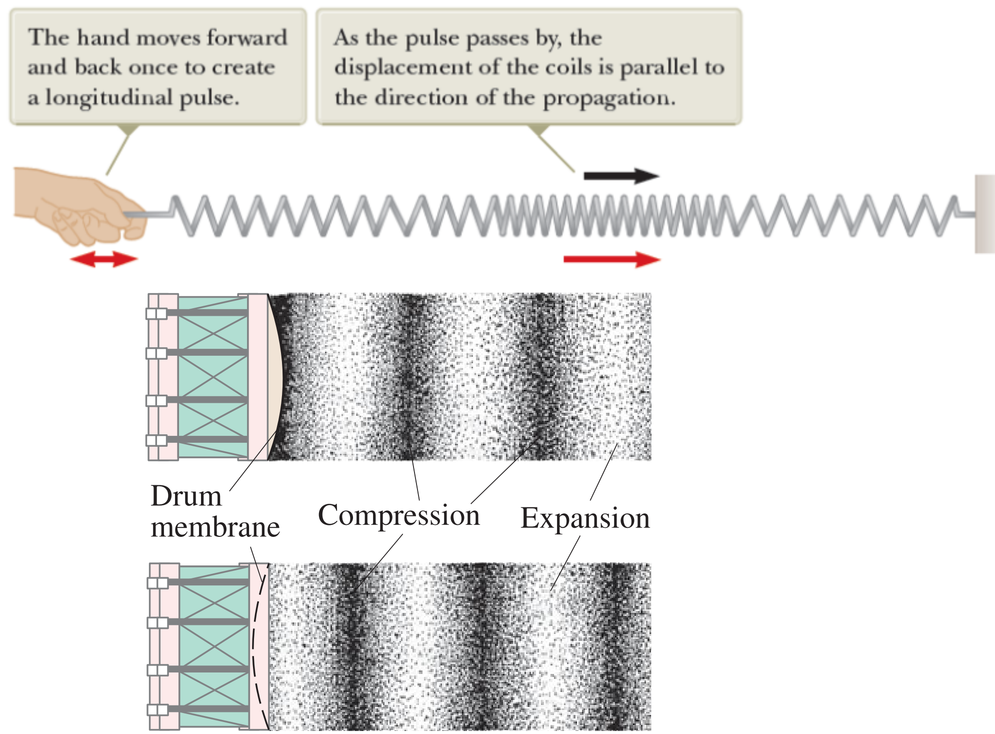
- Movimento harmónico simples.
- Oscilações amortecidas. Regime forçado e ressonância.
- **Ondas a uma dimensão.**
- Ondas estacionárias. Ouvir e falar.
- Difração.
- Óptica geométrica Leis da reflexão e refracção.
- Espelhos e lentes. Instrumentos ópticos.
- A visão.

4.3 Características das ondas

As ondas mecânicas num meio unidimensional – uma corda ou um tubo – são os exemplos em que é mais simples visualizar as grandezas que caracterizam qualquer onda.

Ondas transversais e longitudinais





Numa onda transversal (longitudinal) a vibração é perpendicular à (colinear com a) direcção da propagação da onda.

4.3 Características das ondas

Uma onda é uma perturbação que se propaga no espaço. É descrita matematicamente por uma função que depende do tempo e também da posição.

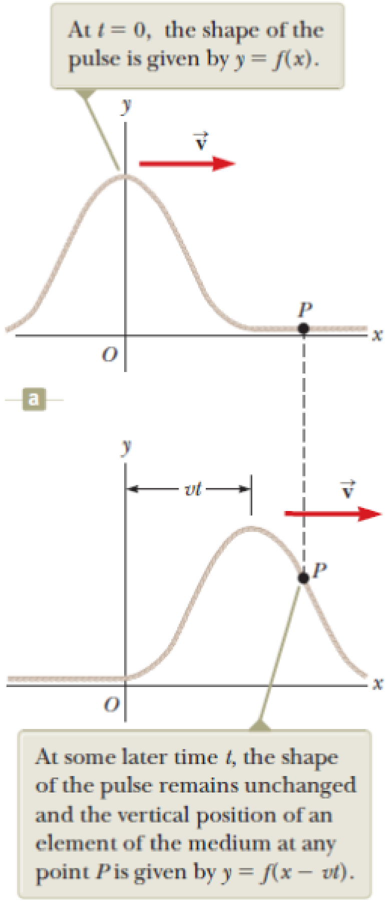
Velocidade de propagação

$$y(x,t) = f(x - vt)$$

$$y(x_0,0) = f(x_0)$$

$$y(x_0 + vt, t) = f(x_0) = y(x_0,0)$$

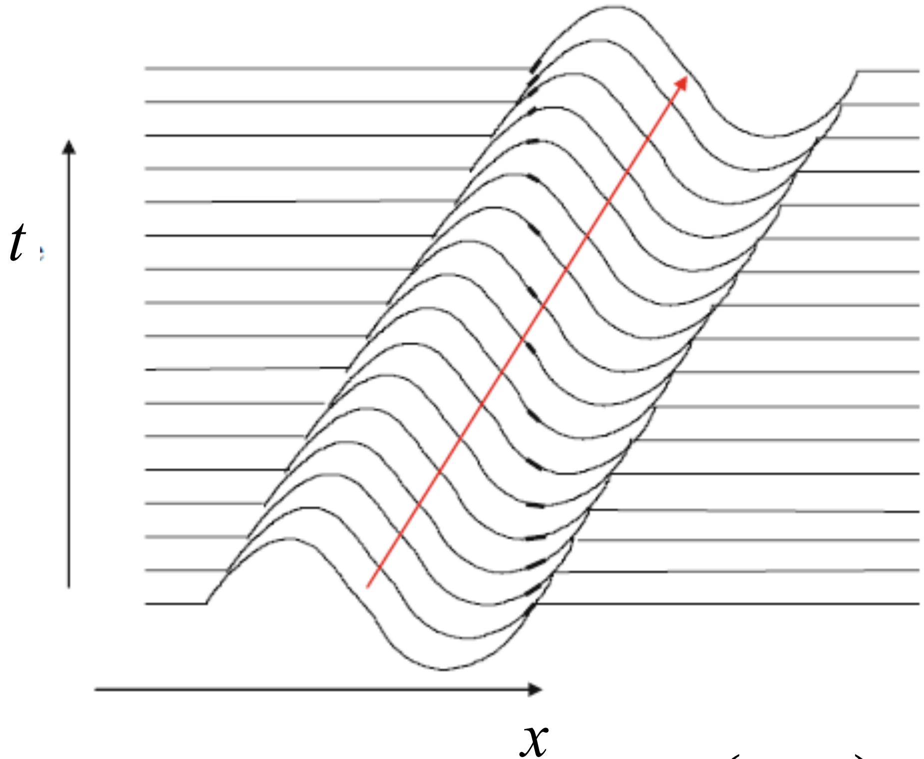
Se a velocidade de propagação é v, o que se passa num ponto x_0 em $t=0$ é o que se passa num instante t num ponto $X_0 + v\,t$.



4.3 Características das ondas

Uma onda é descrita matematicamente por uma função que depende do tempo t e da posição x através da combinação x-vt, onde v é a velocidade de propagação.

Velocidade de propagação



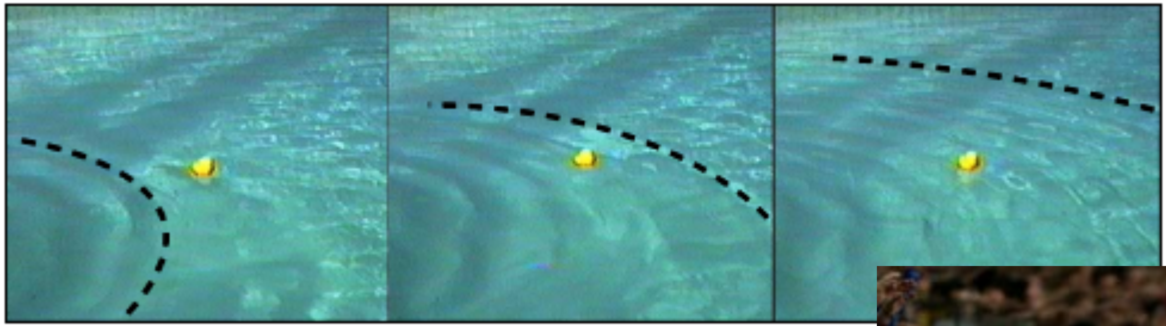
Um pulso de onda sinusoidal ou com qualquer outra forma pode representar-se graficamente como uma função que toma valores no plano x,t e que é constante sobre todas as rectas desse plano da forma x= vt + c

$$y(x,t) = f(x - vt)$$

4.3 Características das ondas

Todas as ondas, mecânicas ou não, têm associada uma velocidade de propagação. Esta é diferente da velocidade com que se deslocam as partículas do meio devido à perturbação numa onda mecânica

Velocidade de propagação



Nem o patinho nem as pessoas viajam com a onda – a onda passa por eles.

4.3 Características das ondas

As ondas transversais de pequena amplitude numa corda tensa têm uma equação de propagação, semelhante à equação de propagação de um impulso eléctrico num cabo condutor.

Velocidade de propagação

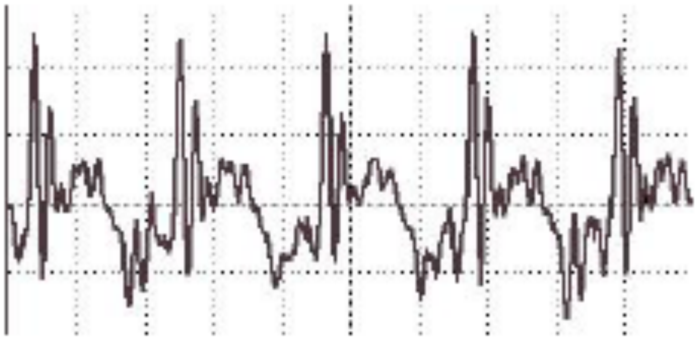
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

A velocidade de propagação dessas ondas na corda obtem-se dessa equação, e só depende da tensão e da densidade da corda.

4.3 Características das ondas

Uma onda periódica é um fenómeno que se propaga no espaço, com um período temporal e um período espacial, o comprimento de onda.

Frequência e comprimento de onda



$$y(x_0,t) = g(t) = g(t+T)$$

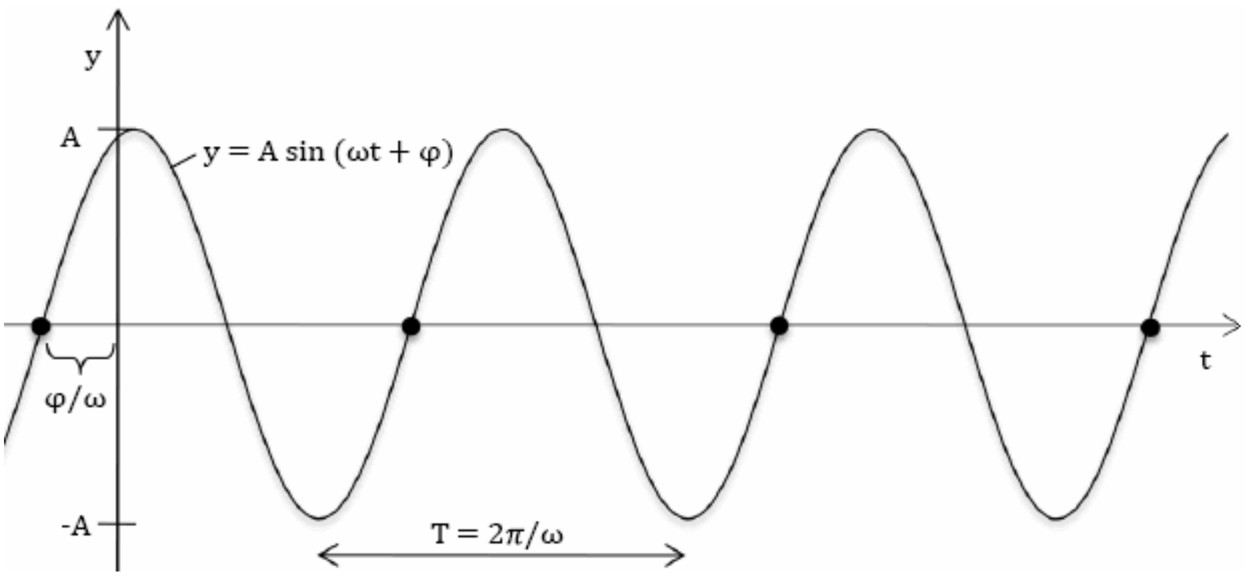
$$f = \frac{1}{T}$$

Uma onda periódica é gerada por uma perturbação periódica no tempo, e é periódica no tempo em cada ponto do espaço.

4.3 Características das ondas

Uma onda sinusoidal é uma caso particular de onda periódica.

Frequência e comprimento de onda



Uma onda sinusoidal é gerada por uma vibração harmónica.

4.3 Características das ondas

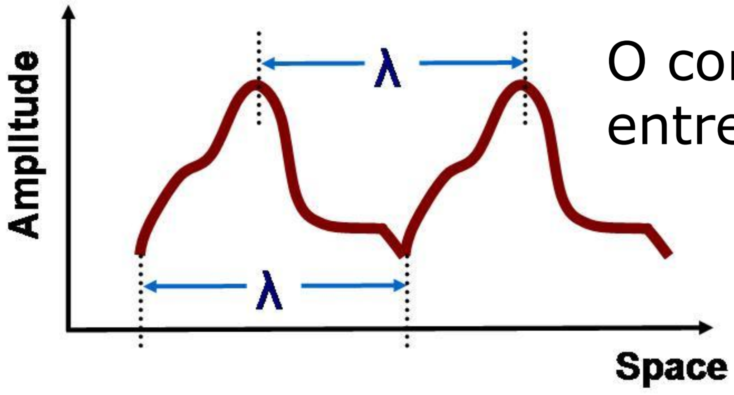
Uma onda periódica é um fenómeno que se propaga no espaço, com um período temporal T e um período espacial λ, o comprimento de onda.

Frequência e comprimento de onda

$$y(x_0,t) = y(x_0,t \pm T)$$

$$y(x_0,t) = f(x_0 - vt) = f(x_0 - vt + vT)$$

$$y(x,t) = f(x - vt) = f(x - vt + vT) = y(x + vT, t)$$



O comprimento de onda λ é a distância mínima entre dois pontos que oscilam em fase.

$$\boxed{\lambda = vT}$$

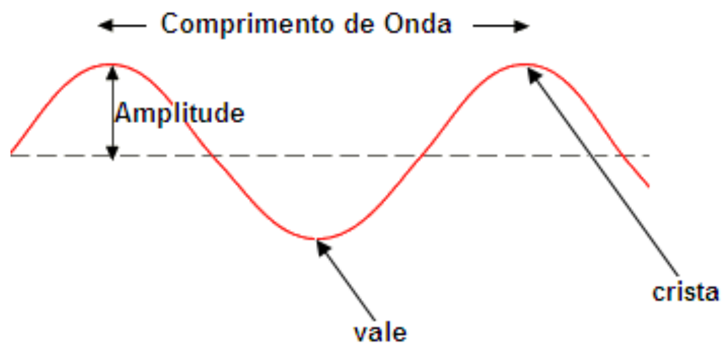
4.3 Características das ondas

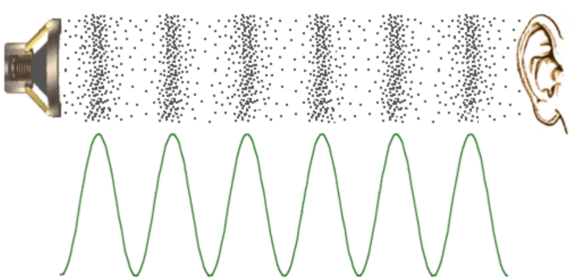
Uma onda sinusoidal é uma caso particular de onda periódica.

Ondas sinusoidais







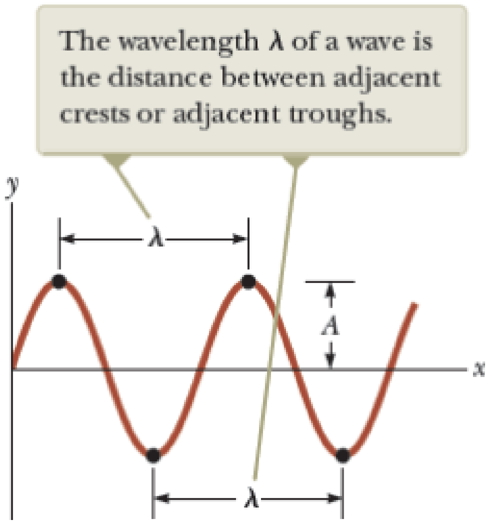


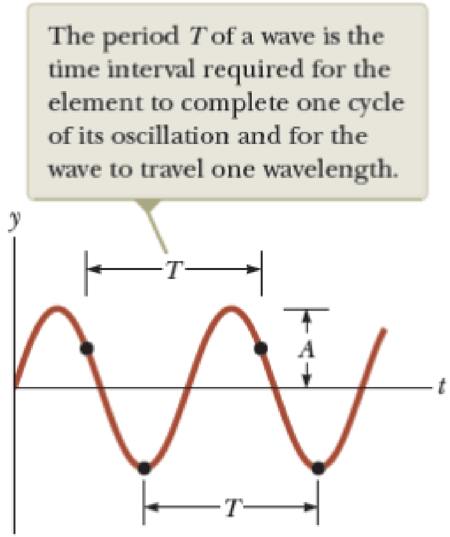
As ondas sinusoidais são o modelo básico que usamos para estudar as ondas de qualquer natureza.

4.3 Características das ondas

Vejamos qual é em geral a descrição matemática de uma onda periódica sinusoidal.

Ondas sinusoidais





$$y(x,t) = f(x - vt)$$

$$f(x) = f(x + \lambda)$$

$$f(x) = A\cos(kx + \varphi)$$

$$y(x,t) = A\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - vt) + \varphi\right) = A\cos(kx - \omega t + \varphi)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \ \lambda = vT$$