

CHƯƠNG 5

DAO ĐỘNG VÀ SÓNG CƠ

1. Dao động cơ

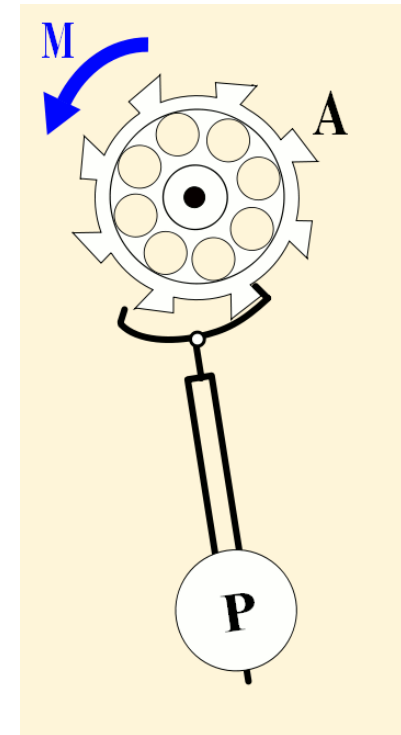
2. Sóng cơ



1. Dao động cơ

Khái niệm dao động

☞ Chuyển động được lặp lại nhiều lần theo thời gian (con lắc đồng hồ, CĐ của xích đu, độ rung của cầu khi có tàu xe chạy qua, CĐ của piston trong động cơ, ...)



Điều kiện dao động

- ☞ Hệ phải có một vị trí cân bằng bền và chuyển động qua lại hai bên vị trí đó
- ☞ Khi hệ phải rời khỏi vị trí cân bằng bền luôn có một lực kéo hệ về vị trí cân bằng bền (lực kéo về)
- ☞ Hệ có quán tính, khi chuyển dời đến vị trí cân bằng do quán tính, nó tiếp tục vượt qua vị trí cân bằng đó

1. Dao động cơ

Dao động điều hòa

Đặc điểm và đặc trưng

☞ Hệ gồm $\left\{ \begin{array}{l} \text{- Vật nặng, khối lượng } m \\ \text{- Lò xo (hệ số đàn hồi } k) \end{array} \right.$

♦ Kéo m ra khỏi vị trí cân bằng \Rightarrow lò xo đàn hồi tác dụng một lực kéo vật về ngược chiều với độ chuyển dời, $F = -kx \Rightarrow$ duy trì CĐ của m quanh vị trí cân bằng.

☞ Đặc trưng dao động:

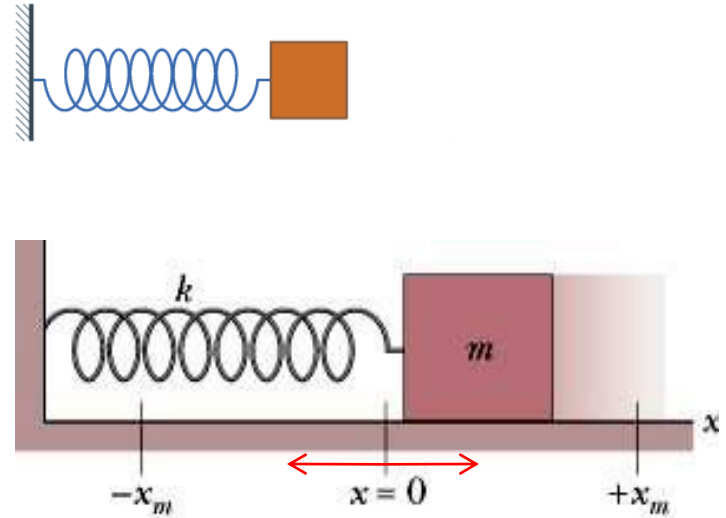
♦ Chuyển dời (x): vị trí vật nặng so với vị trí cân bằng (0), $x = x(t)$

♦ Biên độ (A): Độ lớn cực đại của chuyển dời, $A \equiv |x_{\max}|$,
 \Rightarrow đơn vị độ dài (m)

♦ Chu kỳ (T): Khoảng thời gian cho một sự kiện (CĐ, dao động,...) lặp lại \Rightarrow đơn vị thời gian (s).

♦ Tần số (f): số chu kỳ trong một khoảng thời gian \Rightarrow đơn vị $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$

♦ Tần số góc (ω): $\omega = 2\pi f \Rightarrow$ đơn vị rad/s



$f = 0.5 \text{ Hz}$
 $T = 2.0 \text{ s}$

$f = 1.0 \text{ Hz}$
 $T = 1.0 \text{ s}$

$f = 2.0 \text{ Hz}$
 $T = 0.5 \text{ s}$

1. Dao động cơ

Dao động điều hòa

Phương trình dao động

☞ Phương trình ĐLH với m (bài toán một chiều)

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

Hay: $ma = -kx$

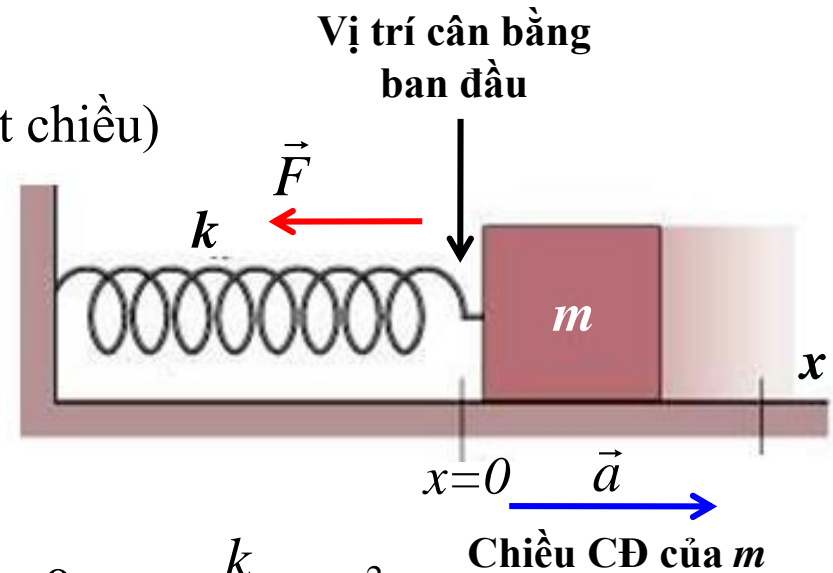
♦ Gia tốc vật nặng: $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$

$$\Rightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \Leftrightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \quad \text{Đặt } \frac{k}{m} = \omega^2$$

☞ Phương trình vi phân dao động điều hòa: $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x = 0$

♦ Nghiệm: $x = A\cos\omega t$

♦ Dao động điều hòa là dao động trong đó độ chuyển dời là hàm số tuần hoàn theo thời gian.



1. Dao động cơ

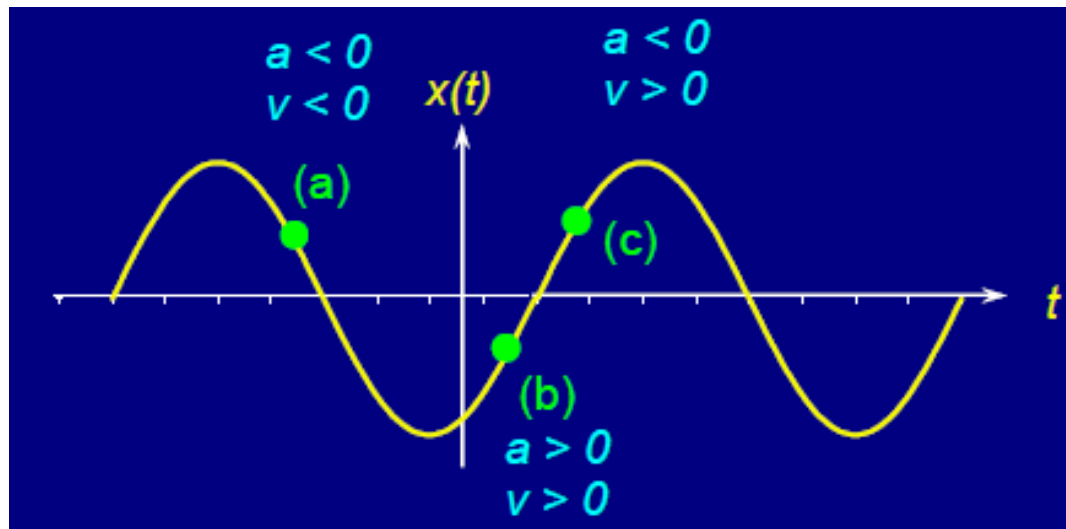
Dao động điều hòa

Vận tốc và gia tốc của dao động

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

Áp dụng: $v(t) = \frac{dx(t)}{dt}$ và $a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$

Cụ thể:
$$\begin{cases} v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) \\ a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{\max} = A \\ v_{\max} = \omega A \\ a_{\max} = \omega^2 A \end{cases}$$



1. Dao động cơ

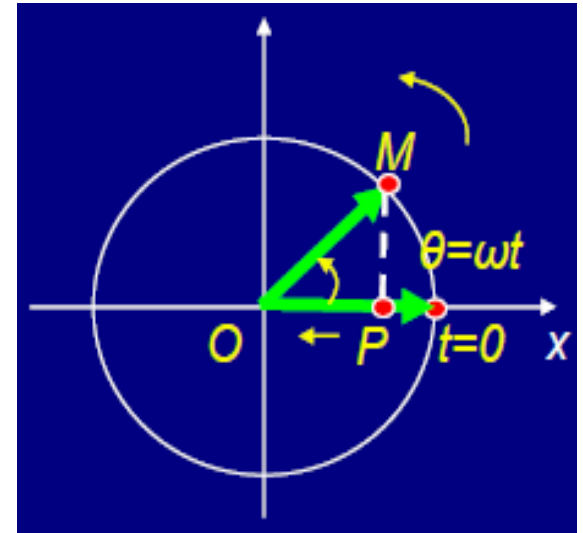
Dao động điều hòa

Ý nghĩa đại lượng ω

☞ Xét sự tương đương của chuyển động quay đều của vector OM với CĐ của điểm P là hình chiếu của M

$$\text{Đặt: } |\overrightarrow{OM}| = A$$

$$\Rightarrow x = A \cos \theta = A \cos(\omega t) \quad \text{với: } \omega = \frac{2\pi}{T_0}$$



♦ ω là vận tốc góc trong CĐ quay của OM , đồng thời là tần số góc dao động của điểm P .

♦ Có thể biểu diễn nghiệm phương trình dao động dạng tổng quát :

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

1. Dao động cơ

Dao động điều hòa

Pha và điều kiện ban đầu

☞ Xét dao động, có:

$$\begin{cases} x(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \\ v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) \\ a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \end{cases}$$

◆ Trị số của pha được xác định từ điều kiện ban đầu tại $t = 0$

☞ $x(0) = A$ và $v(0) = 0$.

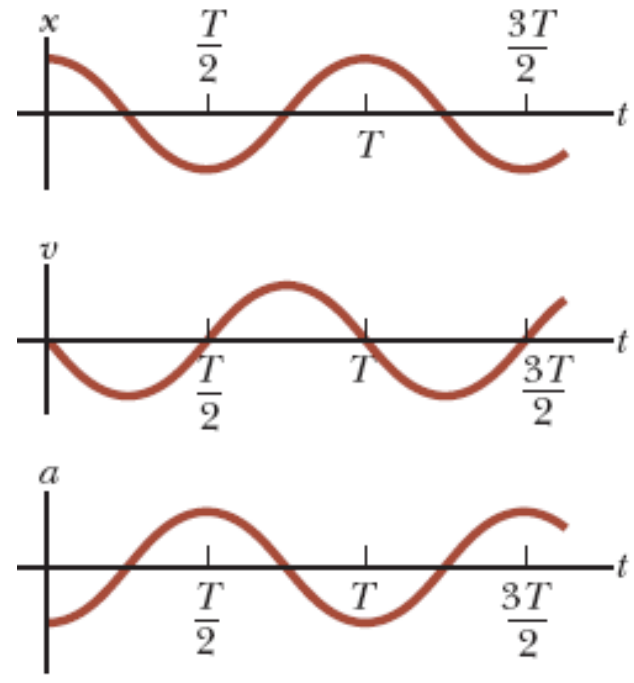
◆ $v(0) = A \sin(\varphi) = 0$

◆ $x(0) = A \cos(\varphi) = A$

$\varphi = 0$

☞ Ph/tr dao động:

$$\begin{cases} x(t) = A \cos(\omega t) \\ v(t) = -\omega A \sin(\omega t) \\ a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t) \end{cases}$$



1. Dao động cơ

Dao động điều hòa

Pha và điều kiện ban đầu

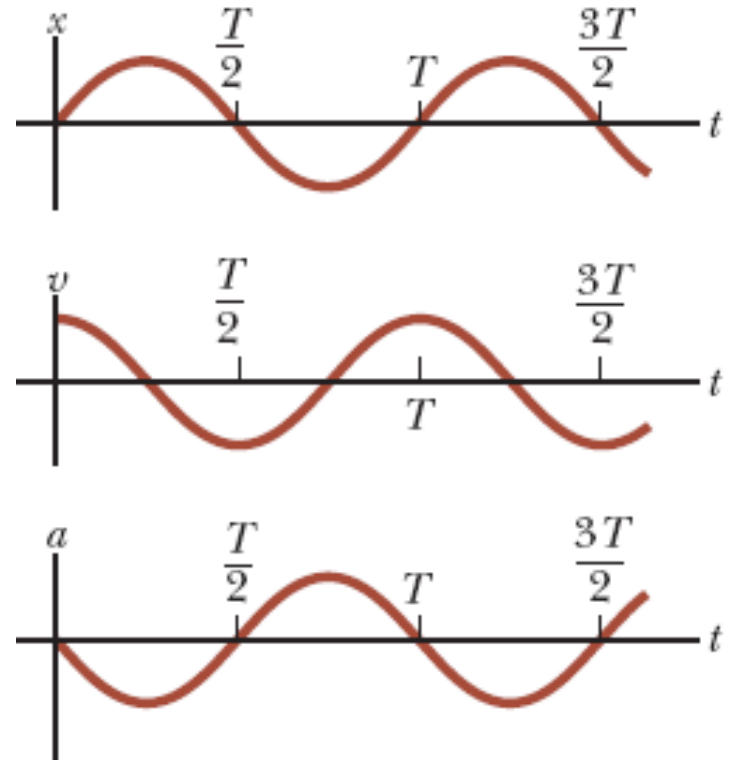
☞ $x(0) = 0$ và $v(0) = v_i > 0$.

♦ $x(0) = A \cos(\varphi) = 0 \Rightarrow \varphi = \pm \pi/2$

♦ $v(0) = A \sin(\varphi) > 0$

$\varphi = -\pi/2$ để thỏa mãn đ/k ban đầu.

☞ Ph/tr dao động:
$$\begin{cases} x(t) = A \cos(\omega t - \pi/2) \\ v(t) = -\omega A \sin(\omega t - \pi/2) \\ a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t - \pi/2) \end{cases}$$



1. Dao động cơ

Dao động điều hòa

Năng lượng dao động

☞ Năng lượng cơ của hệ dao động:

$$W = W_d + W_t = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

$$\text{Hay: } W = \frac{1}{2}m[-\omega A \sin(\omega t + \phi)]^2 + \frac{1}{2}k[A \cos(\omega t + \phi)]^2$$

$$\text{do: } \frac{k}{m} = \omega^2$$

$$\blacklozenge W = \frac{1}{2}kA^2 = \text{const}$$

◆ *Năng lượng cơ tổng cộng của hệ dao động bảo toàn và tỉ lệ với bình phương biên độ.*

1. Dao động cơ

Con lắc

Con lắc lý tưởng (toán học)

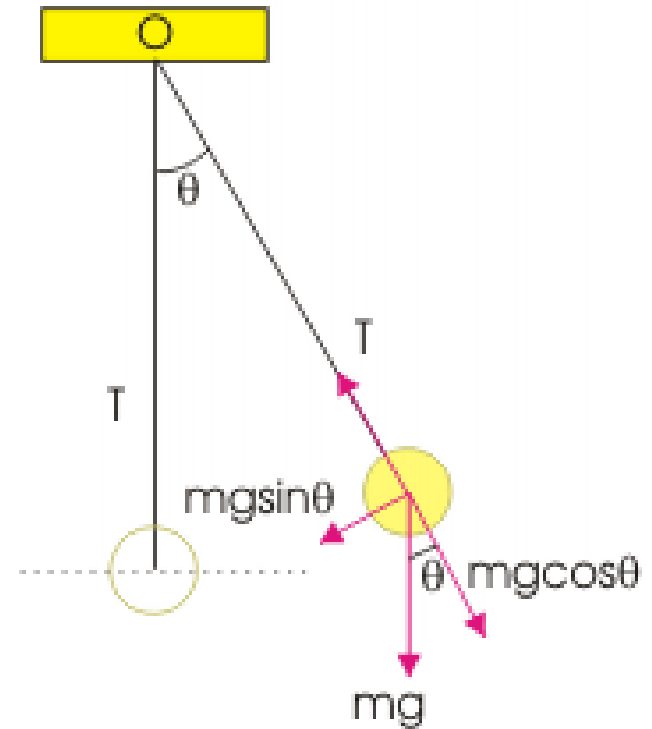
☞ Cấu trúc: $\left\{ \begin{array}{l} \text{- Chất điểm khối lượng } m \\ \text{- Sợi dây không dẫn, không} \\ \text{khối lượng, độ dài } l. \end{array} \right.$

☞ Phương trình dao động: $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0$
 $\left(\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \right)$

♦ Nghiệm = phương trình chuyển động: $\theta = \theta_{\max} \sin \left[\left(\sqrt{\frac{g}{l}} \right) t \right]$

♦ Chu kỳ dao động: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

♦ Tần số dao động (Hz): $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$



1. Dao động cơ

Con lắc

Con lắc vật lý

☞ Vật rắn có khối lượng M , có thể quay xung quanh một trục cố định O nằm ngang.

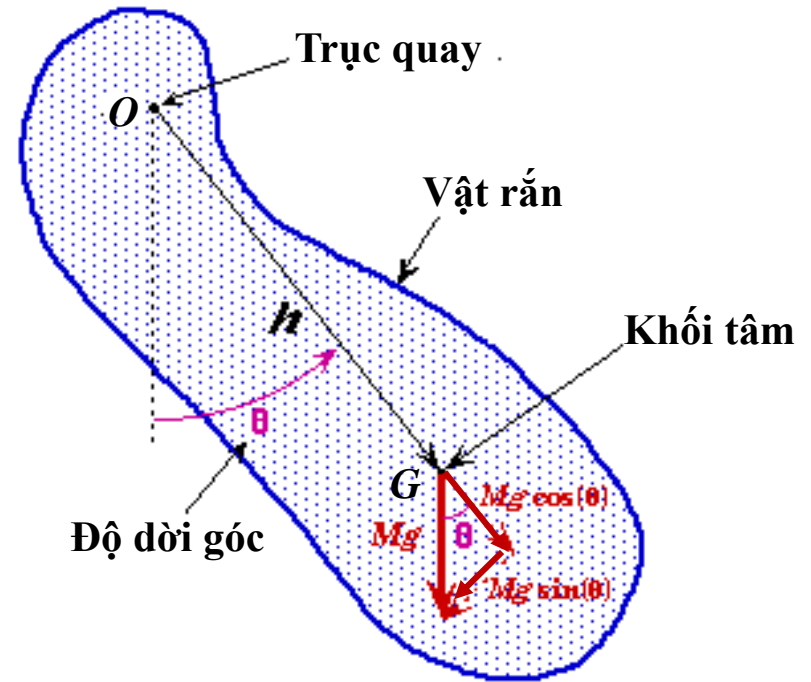
- ♦ G là điểm đặt của trọng lực Mg
- ♦ Con lắc lệch khỏi vị trí cân bằng $\Leftrightarrow OG$ tạo với phương lực Mg góc θ (nhỏ)
- ♦ Lực kéo về để tạo ra dao động là thành phần: trọng lực tiếp tuyến:

$$F = P_t = Mg \sin \theta \approx Mg \theta \Rightarrow \theta = \theta(t).$$

☞ Ph/tr ĐLH CĐ quay con lắc: $I\beta = I \frac{d^2\theta}{dt^2} = \mathcal{M}$

$$VP = \mathcal{M} = -\overline{OG} \cdot F = -Mgh\theta \text{ dấu } (-) \text{ vì dao động có xu hướng làm giảm góc } \theta$$

$$\text{♦ Ph/tr dao động: } \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{Mgh\theta}{I} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Tần số góc: } \omega = \sqrt{\frac{Mgh}{I}} \\ \text{Chu kỳ: } T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgh}} \end{array} \right.$$



1. Dao động cơ

Dao động tắt dần

Hiện tượng

☞ Dao động có biên độ dao động giảm theo thời gian do tác động của các yếu tố gây suy giảm.

Phương trình dao động

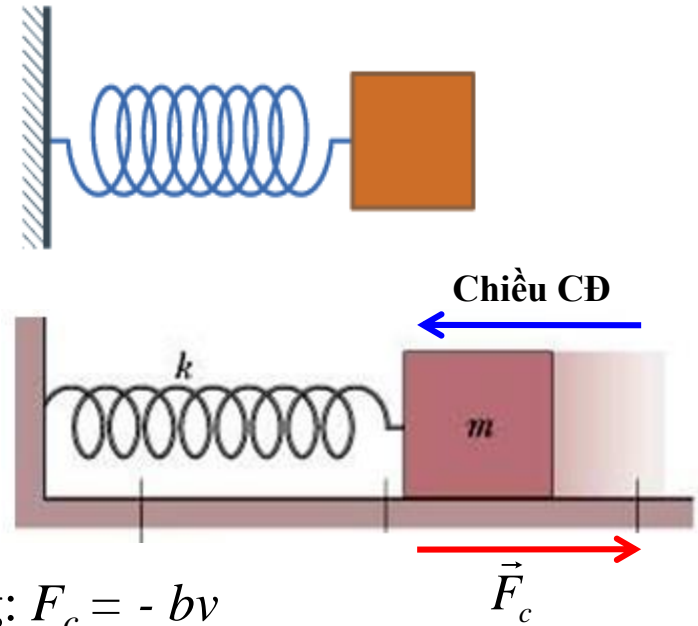
☞ Phtr ĐLH của hệ: $F + F_c = -kx - bv = ma$

♦ Lực cản môi trường tác dụng lên dao động: $F_c = -bv$

$$\Rightarrow m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt} \Leftrightarrow \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0 \quad \text{đặt: } \frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad \text{và: } \frac{b}{m} = 2\beta$$

☞ Phương trình vi phân dao động tắt dần: $\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$

♦ Nghiệm: $x = A_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega t + \varphi)$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Tần số góc dao động: } \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \\ \text{Chu kỳ dao động: } T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} > T_0 \end{array} \right.$



1. Dao động cơ

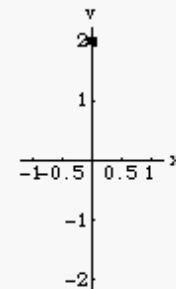
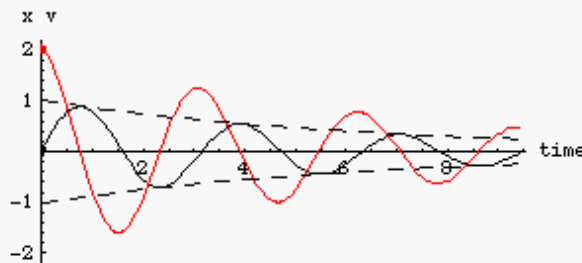
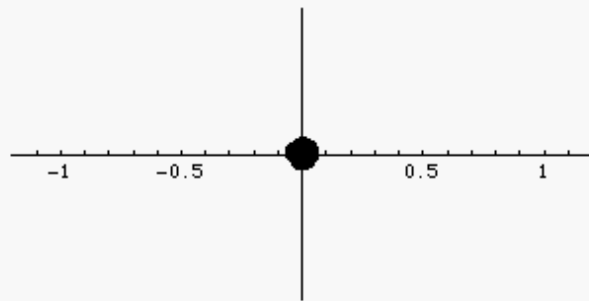
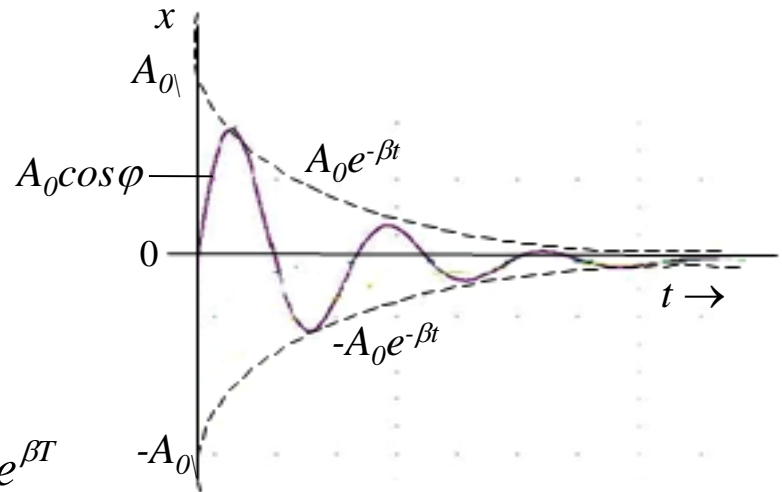
Dao động tắt dần

Dạng tín hiệu

♦ Đặt: $A(t) = A_0 \cdot e^{-\beta t}$

♦ *Giảm lượng loga*: loga tự nhiên của tỉ số 2 biên độ dao động liên tiếp cách nhau 1 chu kỳ $T \Rightarrow$ *đặc trưng mức độ tắt dần của dao động*.

$$\delta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \ln \frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = \ln e^{\beta T}$$



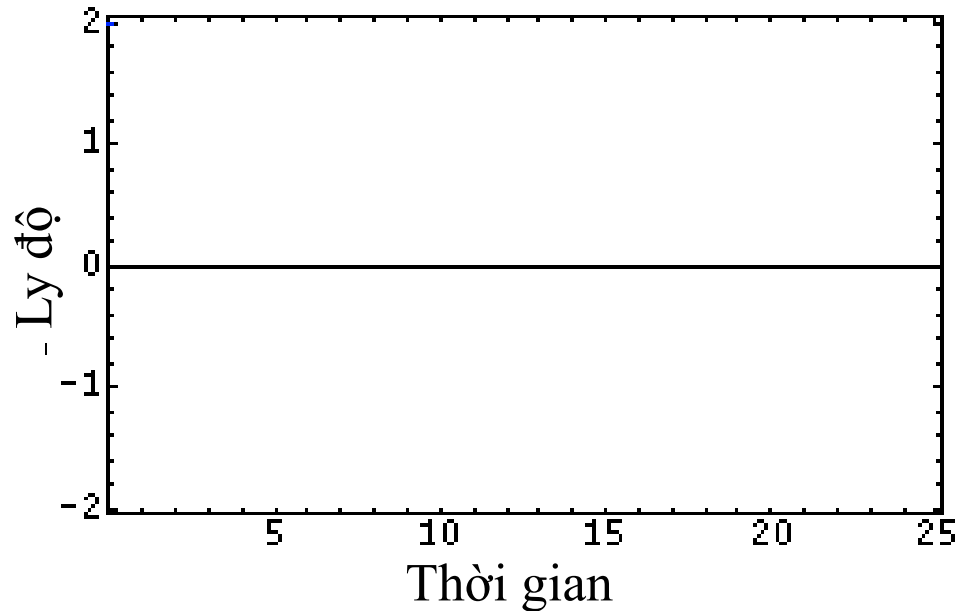
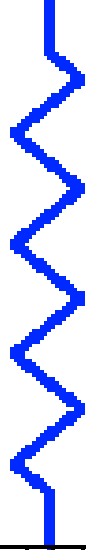
1. Dao động cơ

Dạng tín hiệu dao động điều hòa và tắt dần

Dao động
điều hòa

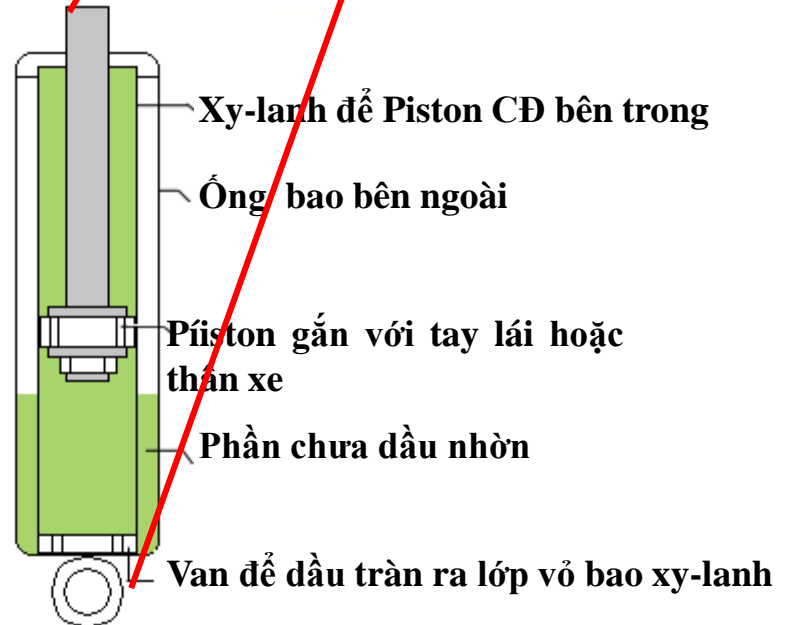


Dao động
tắt dần



1. Dao động cơ

Ứng dụng tắt dần dao động trong kỹ thuật



1. Dao động cơ

Dao động cưỡng bức

Hiện tượng

- ☞ dao động tắt dần do biên độ dao động giảm \Rightarrow năng lượng của hệ trong quá trình dao động giảm dần để thắng công của lực cản (ma sát).
- ☞ Tiếp tục cung cấp năng lượng để bù phần NL đã giảm \Rightarrow dao động được duy trì không tắt dần
- ☞ Dao động hệ thực hiện dưới tác dụng của ngoại lực tuần hoàn $F = H \cos \Omega t$ \Rightarrow dao động cưỡng bức.

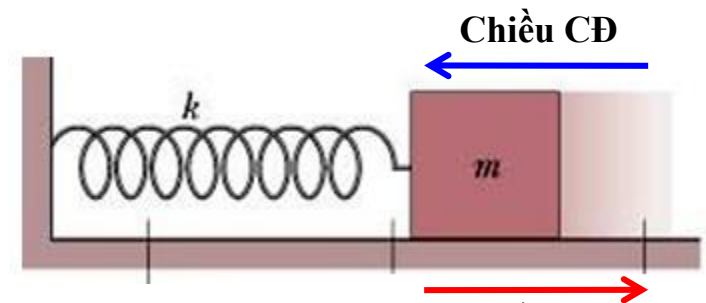
Phương trình dao động

- ☞ Phtr ĐLH của hệ: $ma = -kx - bv + H \cos \Omega t$

$$\text{hay } m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt} + H \cos \Omega t \Leftrightarrow \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = H \cos \Omega t$$

$$\text{Đặt: } \frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad \text{và: } \frac{b}{m} = 2\beta$$

- ☞ Ph/tr dao động: $\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{H}{m} \cos \Omega t$



1. Dao động cơ

Dao động cưỡng bức

Phương trình dao động

♦ Nghiệm: $x = A \cos(\Omega t + \Phi)$

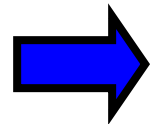
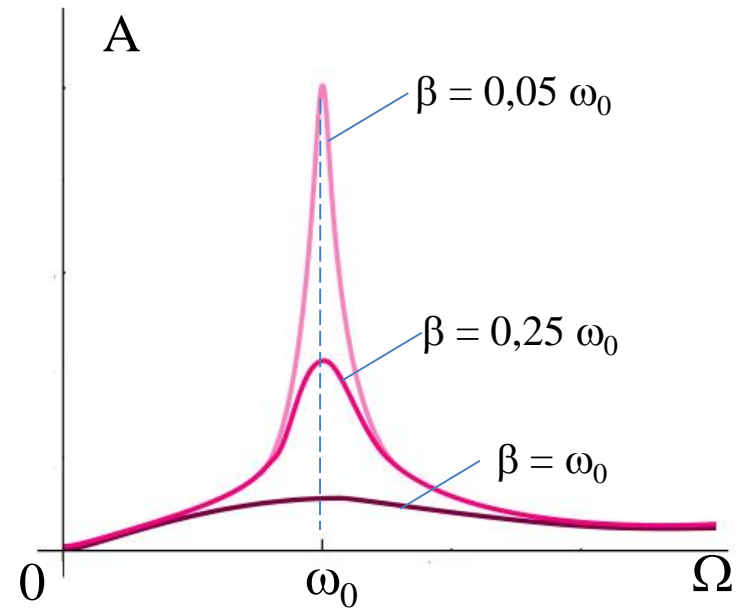
♦ Biên độ dao động: $A = \frac{H}{m\sqrt{(\Omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2}} = \frac{F_{\max}}{m\sqrt{(\Omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2}}$

♦ Pha dao động: $\tan\Phi = \frac{2\beta}{\Omega^2 - \omega_0^2}$

Hiện tượng cộng hưởng

☞ Biên độ dao động max khi $\Omega^2 - \omega_0^2 = 0$

♦ Tần số cộng hưởng: $\Omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$



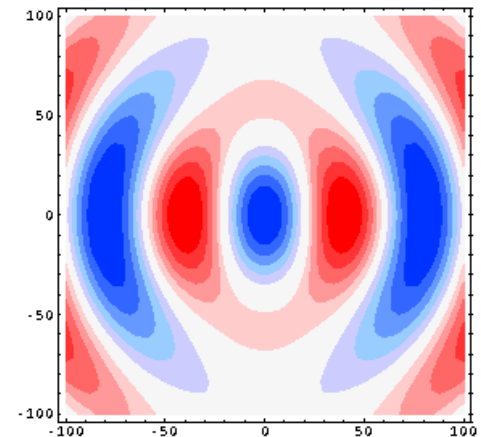
2. Sóng cơ

Khái niệm sóng và sóng cơ

- ☞ Quá trình truyền các dao động trong không gian qua một môi trường (không khí, nước, chất rắn)
- ☞ Sóng cơ: sự truyền dao động cơ trong môi trường đàn hồi \Rightarrow còn gọi là sóng đàn hồi \Rightarrow không tồn tại sóng cơ trong chân không!



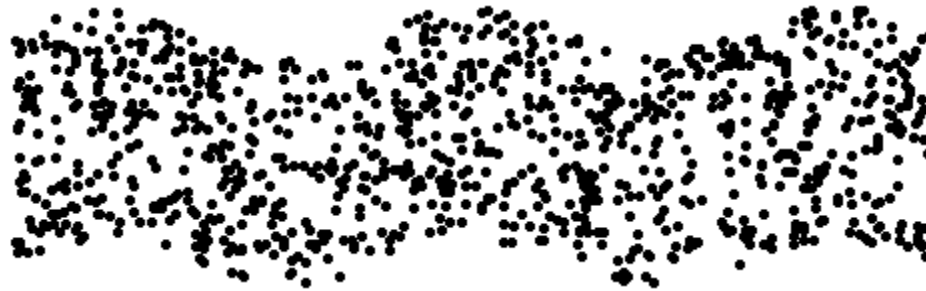
- ◆ Nguồn sóng (tâm sóng): phần tử được kích thích gây ra dao động
- ◆ Tia sóng: Phương truyền sóng
- ◆ Trường sóng: không gian sóng truyền qua
- ◆ Mặt sóng: Tập hợp những điểm trong trường sóng, tại đó các phần tử dao động cùng pha
- ◆ Mặt đầu sóng: mặt sóng ngoài cùng trong trường sóng



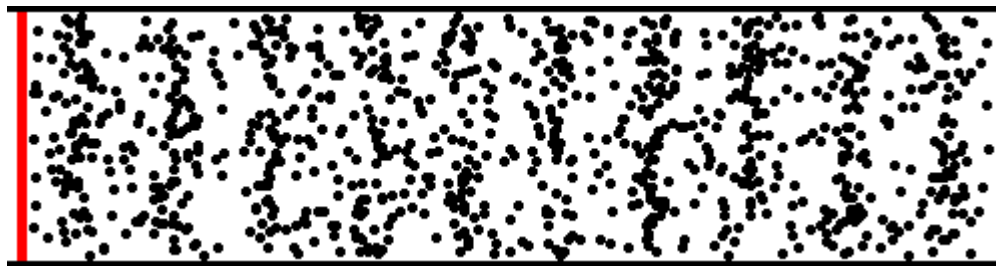
2. Sóng cơ

Sóng ngang và sóng dọc

☞ Sóng ngang: phương dao động của các phần tử môi trường vuông góc với tia sóng \Rightarrow chỉ truyền trong môi trường rắn.



☞ Sóng dọc: phương dao động của các phần tử môi trường trùng (song song) với tia sóng \Rightarrow xuất hiện trong các môi trường chịu biến dạng về thể tích \Rightarrow truyền được trong môi trường rắn, lỏng, khí



2. Sóng cơ

Phương trình sóng

☞ Xét dao động theo phương Oy:

♦ Trạng thái d/động tại thời điểm t : $y = A\cos(\omega t)$

♦ Nếu dao động từ O truyền tới M theo phương Ox với vận tốc $v \Rightarrow$ thời gian lan truyền d/động:

$$\tau = \frac{x}{v}$$

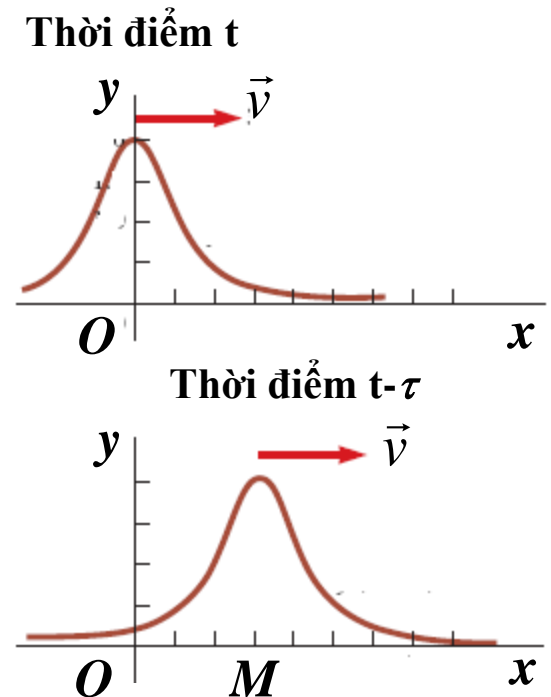
♦ Trạng thái dao động của phần tử tại M ở thời điểm $t - \tau$ giống hệt tại O ,

$$y = A\cos\omega(t - \tau) = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

☞ Phương trình sóng phẳng:

$$y = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) = A\cos\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v}\right) = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

♦ $\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)$: là pha của sóng và $\lambda = v.T$ là bước sóng



2. Sóng cơ

Phương trình sóng

☞ Khi sóng phẳng truyền theo chiều ngược lại \Rightarrow thay x bằng $(-x)$

◆ Phương trình truyền sóng $y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

☞ Có thể biểu diễn phương trình sóng bằng phần thực của số phức

$$y = Ae^{-i\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)}$$

◆ vì $Ae^{-i\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)} = A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x \right) - iA \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x \right)$

☞ Sóng truyền theo phương bất kỳ $y = Ae^{-i(\omega t - \vec{k}\vec{r})}$

$$\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{n} : \text{Vector sóng}$$

\vec{n} : Vector đơn vị xác định hướng truyền sóng

\vec{r} : Vector xác định vị trí điểm khảo sát với gốc O

2. Sóng cơ

Các đặc trưng của sóng

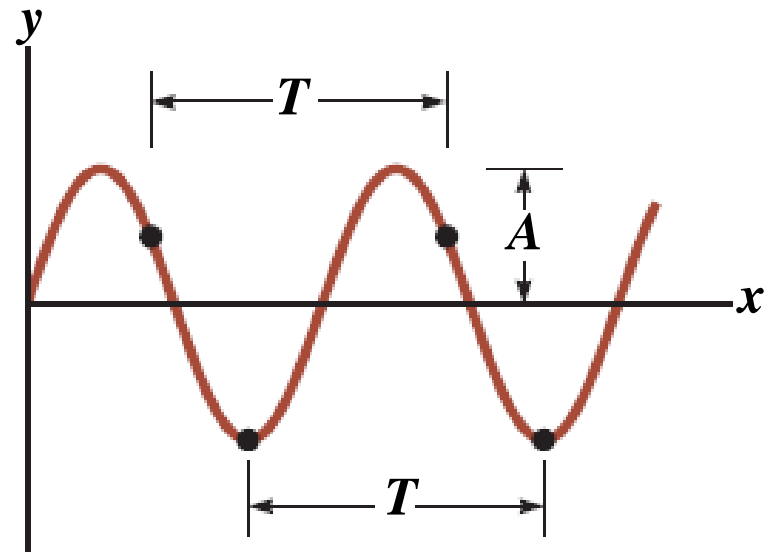
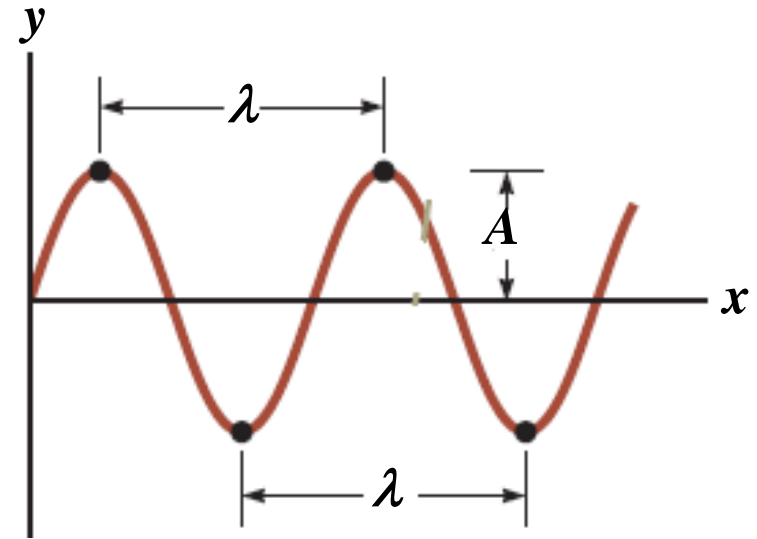
☞ Sóng tuần hoàn: mỗi phần tử của môi trường thực hiện một chuyển động tuần hoàn.

☞ Sóng hình sin: CĐ của các phần tử dưới dạng dao động điều hòa.

◆ Biên độ (A): Độ dịch chuyển cực đại của 1 điểm trên sóng,

◆ Bước sóng (λ): Khoảng cách ngắn nhất giữa các điểm có dao động cùng pha (các đỉnh hoặc ngọn sóng)

◆ Chu kì (T): Thời gian cho 1 điểm trên sóng thực hiện một chu trình dao động hoàn chỉnh.



2. Sóng cơ

Các đặc trưng của sóng

☞ Sóng tuần hoàn theo thời gian: dao động của 1 điểm lặp lại sau mỗi chu kỳ.

☞ Sóng tuần hoàn trong không gian: Vị trí và tốc độ sóng của phần tử môi trường lặp lại sau mỗi bước sóng.

☞ Vận tốc (tốc độ) sóng: Sóng đi được một bước sóng trong một chu kỳ \Rightarrow là hằng số và chỉ phụ thuộc môi trường truyền sóng (không phụ thuộc biên độ, bước sóng, chu kỳ).

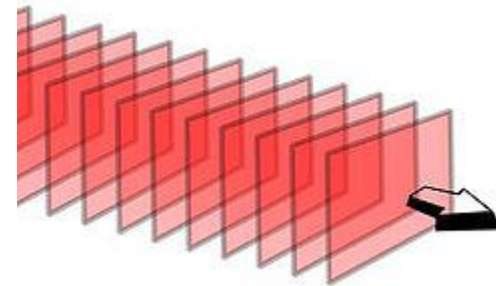
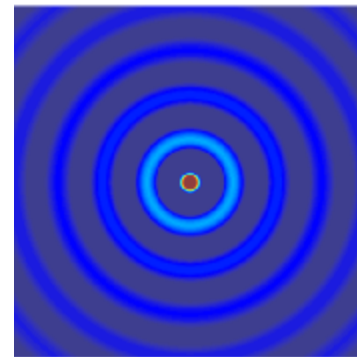
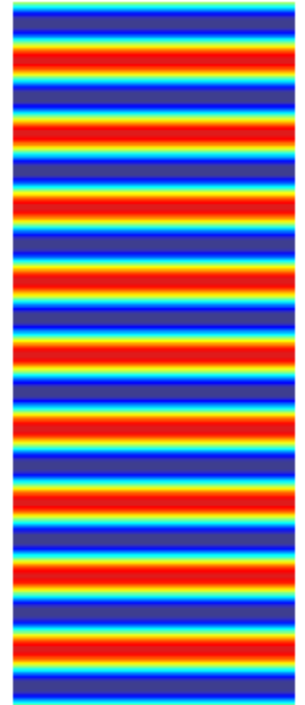
$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow \lambda = vT = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{v}{f}$$

☞ Phân loại sóng theo mặt đầu sóng:

◆ Sóng cầu: mặt đầu sóng là mặt cầu

◆ Sóng phẳng: mặt đầu sóng là mặt phẳng

◆ Khi nguồn sóng cầu ở rất xa vị trí khảo sát \Rightarrow coi như là sóng phẳng.



2. Sóng cơ

Năng lượng sóng

☞ Khi dao động nguồn sóng truyền đi theo mọi phương trong môi trường đàn hồi hình thành sóng cơ \Rightarrow năng lượng cũng được truyền theo \Rightarrow sóng cơ mang năng lượng.

◆ NL sóng δW chứa trong thể tích nhỏ δV của môi trường truyền sóng = tổng động năng các phần tử dao động và tổng thế năng tương tác của chúng.

$$\delta W = \rho \delta V \omega^2 A^2 \sin^2 \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

☞ Mật độ năng lượng (NL / đơn vị thể tích): $w_0 = \frac{\delta W}{\delta V} = \rho \omega^2 A^2 \sin^2 \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$

◆ Mật độ năng lượng TB: $\bar{w}_0 = \rho \omega^2 A^2 \frac{1}{T} \int_0^T \sin^2 \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) dt = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2$

☞ Vector Umop-pointing: Đặc trưng cho quá trình truyền NL sóng cơ trong môi trường đàn hồi: $\vec{U} = \bar{w}_0 \cdot \vec{v}$

◆ *Vector Umop-pointing có trị số bằng NL TB truyền qua 1 đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sóng, có phương theo chiều vector vận tốc sóng*

2. Sóng cơ

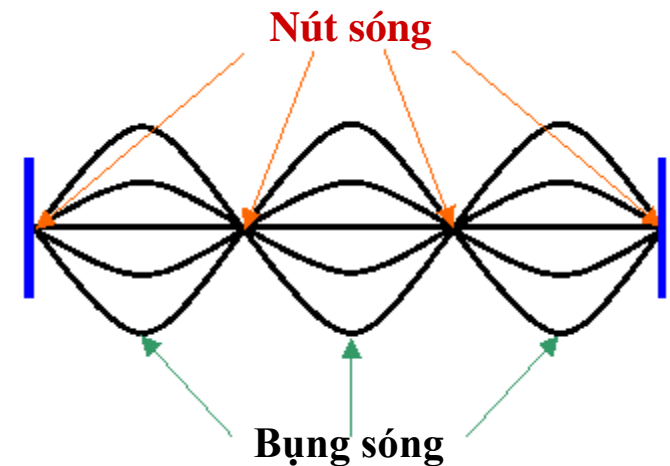
Giao thoa sóng

- ☞ Hiện tượng giao nhau của 2 hoặc nhiều sóng kết hợp tại một miền nào đó trong môi trường đàn hồi
- ☞ 2 sóng kết hợp: Sóng có cùng tần số hoặc chu kỳ và có hiệu pha không đổi theo thời gian

Sóng dừng - Sóng đứng

- ☞ Hiện tượng giao thoa của 2 sóng phẳng có cùng biên độ và tần số, truyền ngược chiều nhau theo cùng một phương.

$$y_1 = A_0 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$
$$y_2 = A_0 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$$



- ◆ Dao động tại một điểm nào đó sẽ là tổng hợp của 2 dao động: $y = y_1 + y_2$

2. Sóng cơ

Sóng dừng – Sóng đứng

☞ Phương trình sóng dừng

$$y = 2A_0 \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \frac{2\pi t}{T}$$

♦ Biên độ $A = \left| 2A_0 \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right|$

Nếu $\left| \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right| = 1$ hay $\frac{2\pi x}{\lambda} = k\pi \Leftrightarrow x = k \frac{\lambda}{2} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

$\Rightarrow A_{\max} = 2A_0 \Rightarrow$ Bụng sóng

Nếu $\left| \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right| = 0$ hay $\frac{2\pi x}{\lambda} = (2k + 1) \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow x = (2k + 1) \frac{\lambda}{4}$
 $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

$\Rightarrow A_{\min} = 0 \Rightarrow$ nút sóng: không có dao động

