

CHƯƠNG 4. HIỆN TƯỢNG DAO ĐỘNG

Giảng viên: Nguyễn Đức Cường

Trường Đại học Công nghệ - ĐHQGHN

Email: cuongnd@vnu.edu.vn

Ngày 4 tháng 11 năm 2022

NỘI DUNG

- 1 DAO ĐỘNG ĐIỀU HÒA. NĂNG LƯỢNG DAO ĐỘNG TỬ ĐIỀU HÒA
- 2 SÓNG CƠ HỌC, PHÂN LOẠI SÓNG NGANG, SÓNG DỌC
- 3 SỰ TRUYỀN SÓNG TRONG MÔI TRƯỜNG ĐÀN HỒI
- 4 SÓNG ÂM, ÁP SUẤT ÂM. SIÊU ÂM
- 5 SỰ CHỒNG CHẬP SÓNG VÀ SÓNG DỪNG
- 6 ÁNH SÁNG. ĐỘNG HỌC SÓNG ÁNH SÁNG

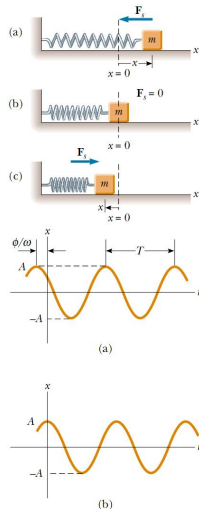
4.1. Dao động điều hòa. Năng lượng dao động tử điều hòa

4.1.1. Dao động điều hòa

- Dao động điều hòa xảy ra khi có sự có mặt của **lực hồi phục**, lực này tỉ lệ thuận với độ dịch chuyển khỏi vị trí cân bằng và luôn có xu hướng kéo vật trở lại vị trí cân bằng.
 - Trong con lắc lò xo, lực hồi phục là lực đàn hồi: $F_s = -kx$.
 - Trong con lắc đơn, lực hồi phục là thành phần chiếu theo phương chuyển động của trọng lực.

$$F_s = -kx = ma$$
$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x = -\omega^2x$$

- Dao động điều hòa đơn giản: gia tốc tỉ lệ thuận về độ lớn và ngược hướng với độ dịch chuyển.



4.1. Dao động điều hòa. Năng lượng dao động tử điều hòa

4.1.1. Dao động điều hòa

- Phương trình dao động điều hòa:

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

- Vận tốc và gia tốc:

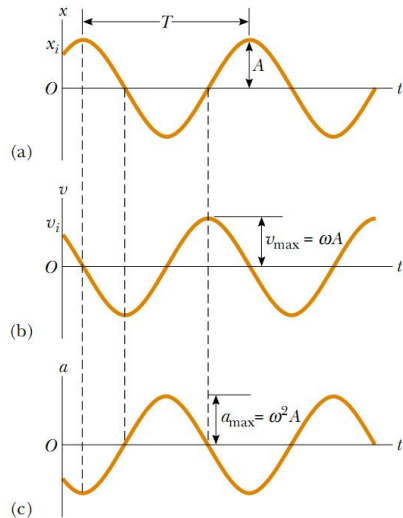
$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi)$$

- Chu kỳ: $T = \frac{2\pi}{\omega}$

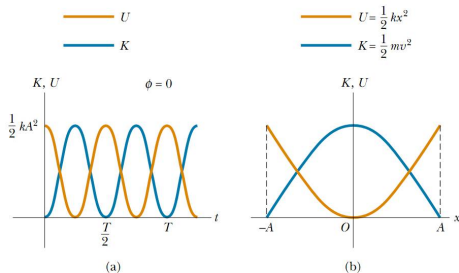
- Tần số:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \text{ đơn vị là } s^{-1} \text{ hay Hz}$$



4.1. Dao động điều hòa. Năng lượng dao động tử điều hòa

4.1.2. Năng lượng dao động tử điều hòa



- Động năng:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \phi)$$

- Thế năng

$$U = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \phi)$$

4.1. Dao động điều hòa. Năng lượng dao động tử điều hòa

4.1.2. Năng lượng dao động tử điều hòa

- Do $\omega^2 = k/m$ nên tổng năng lượng là:

$$E = K + U = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 [\sin^2(\omega t + \phi) + \cos^2(\omega t + \phi)] = \frac{1}{2}kA^2$$

Tổng cơ năng của dao động tử điều hòa là hằng số và tỉ lệ thuận với bình phương biên độ dao động.

- Biểu diễn khác của tổng cơ năng:

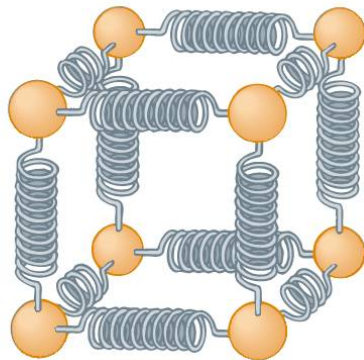
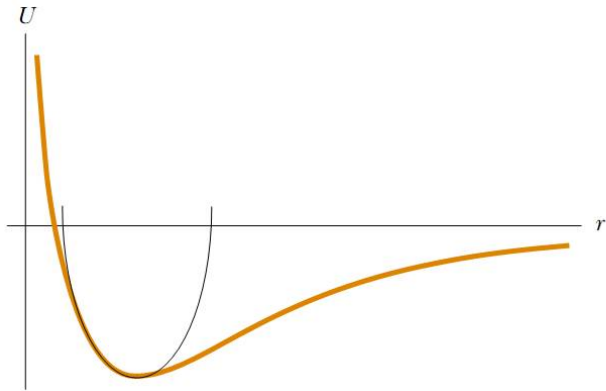
$$E = K + U = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}m\frac{k}{m}A^2 = \frac{1}{2}kA^2$$

- Vận tốc tại tọa độ x :

$$v = \pm \sqrt{\frac{k}{m}(A^2 - x^2)} = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$$

4.1. Dao động điều hòa. Năng lượng dao động tử điều hòa

4.1.3. Mô hình lò xo của liên kết trong phân tử

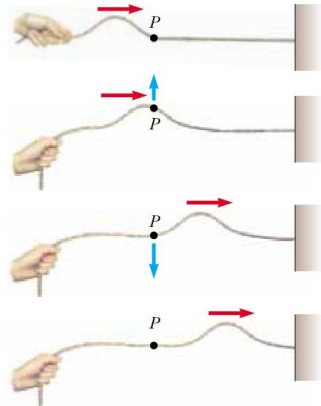


(a) Nếu các nguyên tử liên kết trong phân tử không chuyển động quá xa khỏi vị trí cân bằng, hàm thế năng phụ thuộc vào khoảng cách giữa chúng tương tự như hàm thế năng của một dao động tử điều hòa.

4.2. Sóng cơ học. Phân loại sóng ngang, sóng dọc

4.2.1. Các định nghĩa

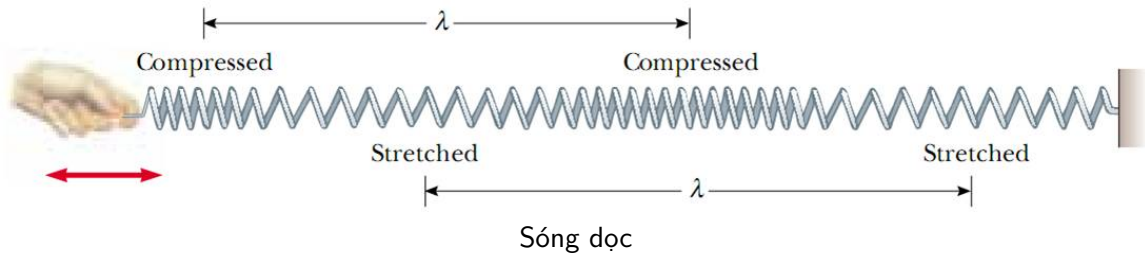
- Sóng là sự lan truyền dao động trong môi trường. Tính chất của môi trường xác định tốc độ truyền sóng.
- Sự lan truyền dao động cơ học được gọi là **sóng cơ**.
- **Sóng ngang** là sóng gây ra sự dao động của các phần tử trong môi trường theo phương vuông góc với phương truyền sóng. Ví dụ: sóng trên mặt nước, sóng điện từ.
- **Sóng dọc** là sóng gây ra sự dao động của các phần tử trong môi trường theo phương song song với phương truyền sóng. Ví dụ: sóng âm, sóng áp suất.



Sóng ngang

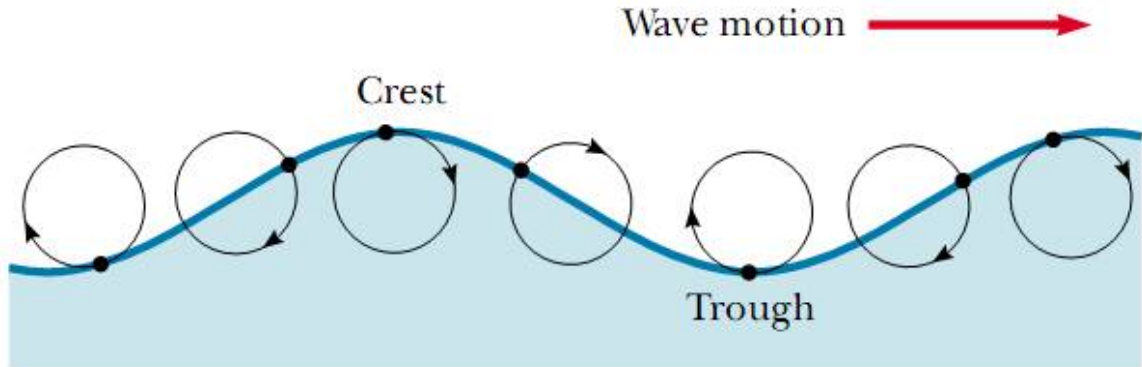
4.2. Sóng cơ học. Phân loại sóng ngang, sóng dọc

4.2.1. Các định nghĩa



4.2. Sóng cơ học. Phân loại sóng ngang, sóng dọc

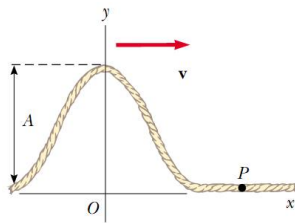
4.2.1. Các định nghĩa



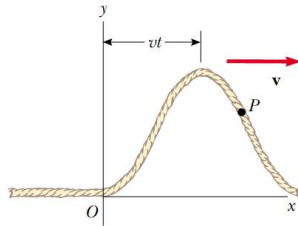
Sự dao động của các phân tử nước trên bề mặt vùng nước sâu.

4.2. Sóng cơ học. Phân loại sóng ngang, sóng dọc

4.2.2. Sóng lan truyền một chiều



(a) Pulse at $t = 0$



(b) Pulse at time t

- Dạng xung: $y = f(x)$
- Hàm sóng mô tả sự lan truyền của xung sang phải: $y = f(x - vt)$.
- Hàm sóng mô tả sự lan truyền của xung sang trái: $y = f(x + vt)$.
- Tốc độ truyền sóng:

$$v = \frac{dx}{dt}$$

4.2. Sóng cơ học. Phân loại sóng ngang, sóng dọc

4.2.3. Tốc độ sóng trên dây

- Hàm sóng:

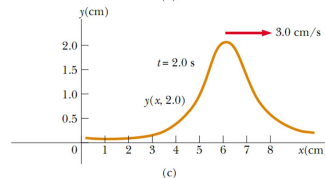
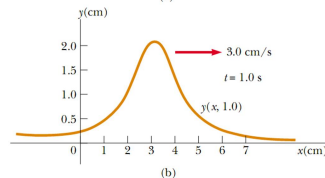
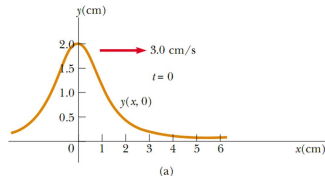
$$y(x, t) = \frac{2}{(x - 3.0t)^2 + 1}$$

- Tốc độ truyền sóng: $v = 3.0 \text{ cm/s}$.
- Hàm sóng tại các thời điểm $t = 0 \text{ s}$, $t = 1.0 \text{ s}$, và $t = 2.0 \text{ s}$:

$$y(x, 0) = \frac{2}{x^2 + 1}$$

$$y(x, 1.0) = \frac{2}{(x - 3.0)^2 + 1}$$

$$y(x, 2.0) = \frac{2}{(x - 6.0)^2 + 1}$$



4.2. Sóng cơ học. Phân loại sóng ngang, sóng dọc

4.2.3. Tốc độ sóng trên dây

- Tốc độ lan truyền sóng trên dây:

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

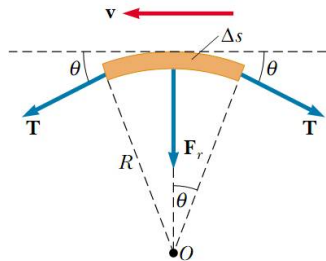
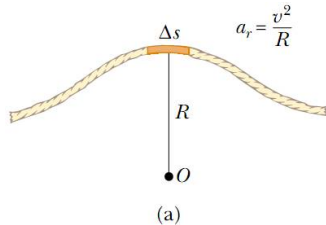
với T là lực căng dây, μ là mật độ khối lượng theo chiều dài của dây.

- Chứng minh:* Thành phần Δs chuyển động tròn với vận tốc v và lực hướng tâm:

$$\sum F_r = 2T \sin \theta \approx 2T\theta$$

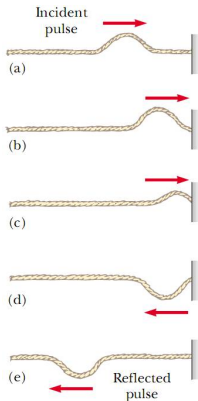
$$\text{Khối lượng của } \Delta s: m = \mu \Delta s = 2\mu R\theta$$

$$\rightarrow \sum F_r = ma_r = \frac{mv^2}{R} \rightarrow 2T\theta = \frac{2\mu R\theta v^2}{R} \rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

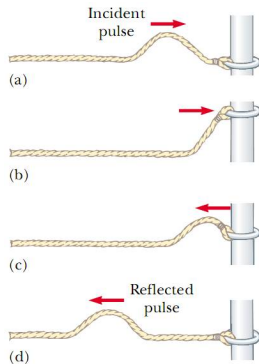


4.2. Sóng cơ học. Phân loại sóng ngang, sóng dọc

4.2.4. Sự phản xạ của sóng



Pha dao động thay đổi góc π khi sóng phản xạ trên đầu mút cố định.



Pha dao động không thay đổi khi sóng phản xạ trên đầu mút tự do.

4.2. Sóng cơ học. Phân loại sóng ngang, sóng dọc

4.2.5. Sóng hình sin 1 chiều

- Hàm sóng:

$$y = A \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \right]$$

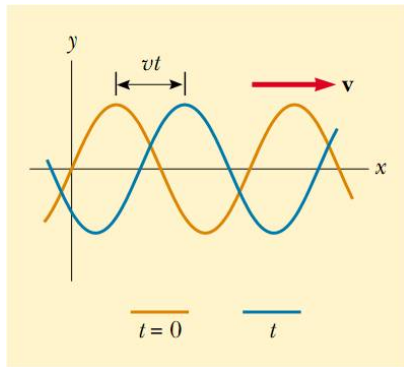
- Vận tốc truyền sóng:

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

- Từ đó:

$$y = A \sin \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right] = A \sin(kx - \omega t)$$

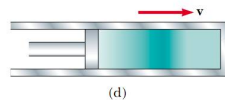
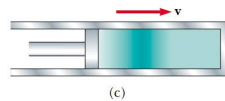
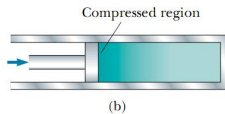
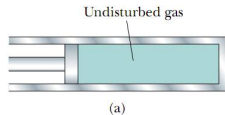
với $k = 2\pi/\lambda$ là số sóng, $\omega = 2\pi/T$ là tần số góc, và $f = 1/T$ là tần số.



4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.1. Các định nghĩa

- Sóng âm là một trường hợp quan trọng của sóng dọc. Sóng âm có thể truyền đi trong mọi môi trường vật chất với tốc độ phụ thuộc vào tính chất của môi trường đó. Khi truyền đi, các phần tử trong môi trường dao động để sinh ra sự thay đổi về mật độ và áp suất dọc theo phương truyền của sóng. Những thay đổi đó tạo nên một loạt các vùng áp suất cao và thấp luân phiên với nhau. Nếu nguồn sóng âm dao động điều hòa, thì áp suất cũng thay đổi một cách điều hòa.
- Sóng âm được chia làm 3 vùng dựa trên tần số của chúng:
 - Âm nghe được:** sóng âm nằm trong vùng cảm nhận được của tai người. Chúng có thể được tạo ra bằng nhạc cụ, cơ quan phát âm của người, động vật và loa.
 - Hạ âm:** sóng âm có tần số thấp hơn vùng âm nghe được ($\leq 16 \text{ Hz}$).
 - Siêu âm:** sóng âm có tần số cao hơn vùng âm nghe được ($\geq 20 \text{ kHz}$). Siêu âm thường được sử dụng để chẩn đoán hình ảnh trong y học.



4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.2. Tốc độ truyền sóng âm

- Tốc độ truyền sóng âm trong môi trường:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

với B là ứng suất khối, và ρ là khối lượng riêng của môi trường.

- Dạng tổng quát:

$$v = \sqrt{\frac{\text{tính đàn hồi}}{\text{tính quán tính}}}$$

- Tốc độ của âm thanh cũng phụ thuộc nhiệt độ môi trường, ví dụ trong không khí:

$$v = (331 \text{ m/s}) \sqrt{1 + \frac{T_C}{273,15 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

trong đó 331 m/s là tốc độ âm thanh trong không khí tại 0°C, và T_C là nhiệt độ ở thang đo độ C.

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.3. Mô-đun đàn hồi

- Mô-đun đàn hồi được định nghĩa:

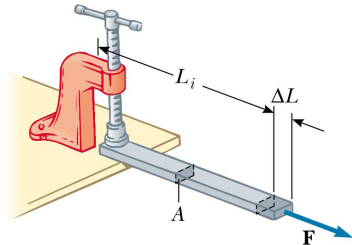
$$\text{Mô-đun đàn hồi} = \frac{\text{lực tác động trên một đơn vị diện tích (stress)}}{\text{mức độ biến dạng (strain)}}$$

- Các loại mô-đun đàn hồi:

- 1 Mô-đun Young (Y): đo sự chống lại sự thay đổi chiều dài trong vật rắn.

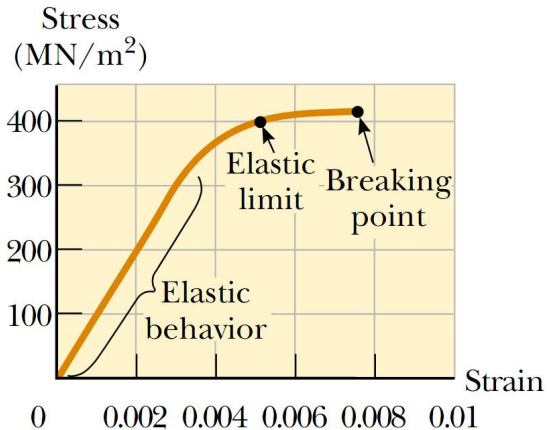
$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_i}$$

- 2 Mô-đun cắt (S): đo sự chống lại sự biến dạng trượt giữa các mặt phẳng trong vật rắn.
- 3 Mô-đun khối (B): đo sự chống lại sự thay đổi của thể tích trong chất rắn hoặc chất lỏng.

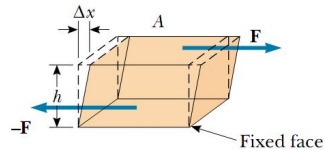


4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

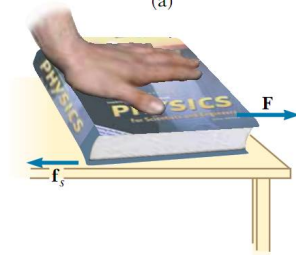
4.3.3. Mô-đun đàn hồi



Sự phụ thuộc của stress vào strain.



(a)



Ví dụ biến dạng trượt.

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.3. Mô-đun đàn hồi

Bảng: Các giá trị tiêu biểu của mô-đun đàn hồi

Chất	Mô-đun Young (N/m^2)	Mô-đun cắt (N/m^2)	Mô-đun khối (N/m^2)
Tungsten	35×10^{10}	14×10^{10}	20×10^{10}
Thép	20×10^{10}	$8,4 \times 10^{10}$	6×10^{10}
Đồng	11×10^{10}	$4,2 \times 10^{10}$	14×10^{10}
Đồng thau	$9,1 \times 10^{10}$	$3,5 \times 10^{10}$	$6,1 \times 10^{10}$
Nhôm	$7,0 \times 10^{10}$	$2,5 \times 10^{10}$	$7,0 \times 10^{10}$
Thủy tinh	$6,5 - 7,8 \times 10^{10}$	$2,6 - 3,2 \times 10^{10}$	$5,0 - 5,5 \times 10^{10}$
Thạch anh	$5,6 \times 10^{10}$	$2,6 \times 10^{10}$	$2,7 \times 10^{10}$
Nước	—	—	$0,21 \times 10^{10}$
Thủy ngân	—	—	$2,8 \times 10^{10}$

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

Ví dụ 1

Nếu đập búa vào một đầu một thanh bằng chất rắn, thì một xung sóng dọc sẽ truyền đến đầu kia của thanh với tốc độ $v = \sqrt{Y/\rho}$, trong đó Y là mô-đun đàn hồi (mô-đun Young của vật liệu).

a) Hãy tìm tốc độ âm thanh trong thanh bằng nhôm. Cho khối lượng riêng của nhôm là

$$\rho_{\text{nhôm}} = 2,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3.$$

b) Hãy tìm tốc độ âm thanh trong thanh bằng thép. Cho khối lượng riêng của thép là

$$\rho_{\text{thép}} = 7,75 \times 10^3 \text{ kg/m}^3.$$

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

Ví dụ 2

- a) Tìm tốc độ âm thanh trong nước, với mô-đun khối là $2,1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, và khối lượng riêng $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.
- b) Cá heo sử dụng sóng âm để định vị con mồi. Thí nghiệm cho biết cá heo có thể định vị con mồi ở khoảng cách xa 110 m. Hãy xác định thời gian từ lúc cá heo phát ra tín hiệu âm thanh đến khi nó nhận được tín hiệu phản xạ từ con mồi.

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.4. Tốc độ âm thanh trong các môi trường

Chất khí	v (m/s)	Chất lỏng	v (m/s)	Chất rắn	v (m/s)
Hydro (0°C)	1286	Glycerol	1904	Kim cương	12000
Heli (0°C)	972	Nước biển	1533	Thủy tinh pyrex	5640
Không khí (20°C)	343	Nước	1493	Sắt	5130
Không khí (0°C)	331	Thủy ngân	1450	Nhôm	5100
Ôxy (0°C)	317	Methanol	1324	Đồng thau	4700
				Đồng	3560
				Vàng	3240
				Chì	1322
				Cao su	1600

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.5. Sóng âm tuần hoàn

- Hàm dịch chuyển của phần tử môi trường:

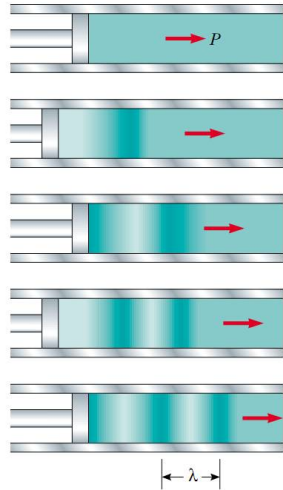
$$s(x, t) = s_{\max} \cos(kx - \omega t)$$

với s_{\max} là độ dịch chuyển cực đại của phần tử môi trường khỏi vị trí cân bằng (dọc theo phương truyền sóng).

- Mức thay đổi của áp suất khí so với giá trị ổn định:

$$\Delta P = \Delta P_{\max} \sin(kx - \omega t)$$

với ΔP_{\max} là mức thay đổi cực đại của áp suất khí so với giá trị ổn định, và $\Delta P_{\max} = \rho v \omega s_{\max}$.



4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.6. Cường độ âm

- **Cường độ** của một sóng, hay công suất trên một đơn vị diện tích, là tốc độ năng lượng truyền đi bởi sóng xuyên qua một đơn vị diện tích vuông góc với phương truyền của sóng.

$$I = \frac{\mathcal{P}}{A} = \frac{1}{2} \rho (\omega s_{\max})^2$$

- Biểu diễn phụ thuộc áp suất:

$$I = \frac{\Delta P_{\max}^2}{2\rho v}$$

- Tại tần số 1000 Hz, giới hạn dưới của khoảng nghe được của tai người được gọi là **ngưỡng nghe**, tương ứng với cường độ $1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Giới hạn trên của khoảng nghe được tại tần số đó được gọi là **ngưỡng đau**, tương ứng với cường độ 1 W/m^2 .

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.7. Mức độ âm ở đơn vị De-xi-ben (dB)

- **Mức độ âm:**

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

trong đó I_0 là cường độ âm quy chiếu, thường bằng ngưỡng nghe ($I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$). β được đo ở đơn vị **de-xi-ben (dB)**.

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.7. Mức độ âm ở đơn vị De-xi-ben (dB)

Nguồn âm	Mức độ âm, β (dB)
Gần máy bay phản lực	150
Búa khoan; súng máy	130
Còi báo động; biểu diễn rock	120
Tàu điện ngầm; máy cắt cỏ công suất lớn	100
Giao thông giờ cao điểm	80
Máy hút bụi	70
Nói chuyện bình thường	50
Tiếng muỗi vo ve	40
Tiếng thì thầm	30
Tiếng lá xào xạc	10
Ngưỡng nghe	0

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

Ví dụ 3

Hai còi máy giống nhau nằm cùng một khoảng cách đến một người công nhân. Cường độ âm do mỗi máy gửi đến anh ta là $2,0 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$. Tìm mức độ âm nghe bởi người công nhân khi:

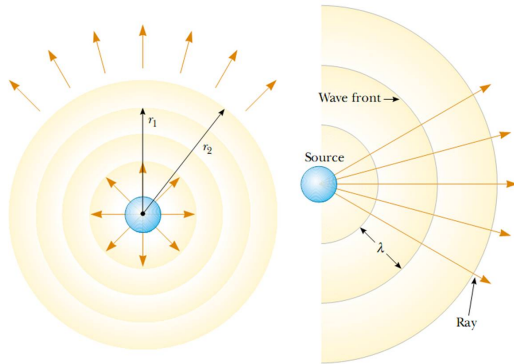
- a) Một máy hoạt động.
- b) Cả hai máy hoạt động.

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.8. Sóng cầu và sóng phẳng

- Nếu một vật hình cầu dao động sao cho bán kính của nó biến đổi điều hòa theo thời gian, thì một **sóng âm dạng cầu** sẽ được sinh ra. Sóng di chuyển ra xa nguồn phát với tốc độ không đổi nếu môi trường đồng nhất.
- Năng lượng của sóng cầu truyền đi như nhau theo mọi hướng. Nếu \mathcal{P}_{av} là công suất phát ra bởi nguồn, thì công suất này tại khoảng cách r tính từ nguồn phải được phân bố đều trên mặt cầu có diện tích $4\pi r^2$. Cường độ sóng tại khoảng cách r là:

$$I = \frac{\mathcal{P}_{av}}{A} = \frac{\mathcal{P}_{av}}{4\pi r^2}$$



4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.8. Sóng cầu và sóng phẳng

- Tỉ lệ cường độ tại khoảng cách r_1 và r_2 :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

- Biên độ s_{\max} tỉ lệ thuận với $1/r$, vì vậy hàm sóng ψ của sóng cầu có dạng

$$\psi = \frac{s_0}{r} \sin(kr - \omega t)$$

với s_0 là biên độ dịch chuyển của sóng tại khoảng cách bằng 1 đơn vị độ dài tính từ nguồn phát.

- Mặt đầu sóng** là các mặt phẳng mà trên đó sóng có cùng pha. Khoảng cách giữa hai mặt đầu sóng liên tiếp bằng bước sóng λ . Các đường hướng tâm hướng từ nguồn ra ngoài gọi là **tia sóng**.

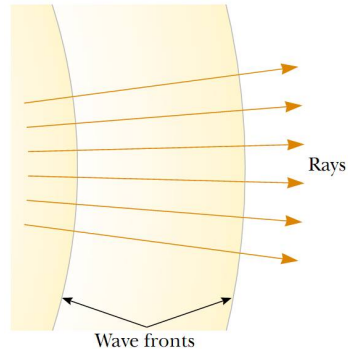
4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.8. Sóng cầu và sóng phẳng

- Tại khoảng cách lớn hơn nhiều so với bước sóng, các tia sóng gần như song song với nhau, và các mặt đầu sóng gần như phẳng. Vì vậy mọi phần nhỏ của một sóng cầu mà nằm ở xa nguồn phát có thể coi là **sóng phẳng**. Hàm sóng chỉ phụ thuộc vào x và t và có dạng:

$$\psi = A \sin(kx - \omega t)$$

Vậy hàm sóng của một sóng phẳng hoàn toàn giống với sóng chạy một chiều.



4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

Ví dụ 4

Một nguồn điểm phát ra sóng âm với công suất trung bình là 80 W. Hãy xác định:

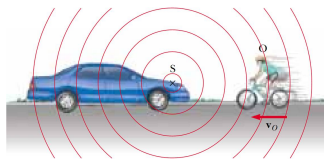
- a) Cường độ tại khoảng cách 3 m tính từ nguồn.
- b) Khoảng cách tại đó mức độ âm là 40 dB.

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.9. Hiệu ứng Doppler

- **Hiệu ứng Doppler:** hiện tượng tần số âm thanh cao hơn khi nguồn phát chuyển động tương đối lại gần người quan sát và thấp hơn khi nguồn phát chuyển động tương đối ra xa người quan sát.
- **Trường hợp 1: nguồn phát đứng yên.** Gọi tần số của nguồn phát là f , bước sóng là λ , và vận tốc âm là v . Nếu người quan sát cũng đứng yên, anh ta sẽ nhận được f mặt đầu sóng trong một giây. Nếu người quan sát chuyển động lại gần nguồn phát, tốc độ của sóng so với người quan sát là $v' = v + v_O$, trong khi đó bước sóng λ không đổi. Sử dụng hệ thức $v = \lambda f$ thu được tần số nghe bởi người quan sát tăng lên và có dạng:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_O}{\lambda} \text{ hay } f' = \left(1 + \frac{v_O}{v}\right) f$$



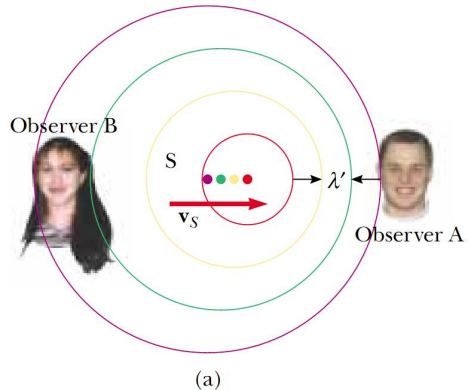
4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.9. Hiệu ứng Doppler

- Nếu người quan sát chuyển động ra xa nguồn phát, tốc độ âm thanh so với người quan sát là $v' = v - v_O$. Tần số nghe được bởi người quan sát giảm đi và bằng

$$f' = \left(1 - \frac{v_O}{v}\right) f$$

- Trường hợp 2: nguồn phát chuyển động và người quan sát đứng yên.** Nếu nguồn chuyển động thẳng tới người quan sát, thì các mặt đầu sóng đi tới người quan sát A tiến lại gần nhau so với trường hợp nguồn đứng yên. Vì vậy bước sóng đo được bởi người quan sát A (λ') ngắn hơn so với bước sóng phát ra từ nguồn λ .



4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

4.3.9. Hiệu ứng Doppler

- Trong khoảng thời gian tương ứng với một dao động, nguồn dịch chuyển một đoạn $v_S T = v_S / f$, và bước sóng bị ngắn đi một đoạn $\Delta\lambda$ tương ứng. Vì vậy bước sóng đo được bởi người quan sát A là:

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda = \lambda - \frac{v_S}{f}$$

- Tần số đo được bởi người quan sát là:

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \left(\frac{1}{1 - \frac{v_S}{v}} \right) f$$

- Công thức tổng quát:

$$f' = \left(\frac{v \pm v_O}{v \mp v_S} \right) f$$

Dấu phía trên ($+v_O$ và $-v_S$) tương ứng chuyển động lại gần nhau, dấu phía dưới ($-v_O$ và $+v_S$) tương ứng chuyển động ra xa nhau.

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

Ví dụ 5

I. Khi một xe cấp cứu chuyển động về phía đông trên cao tốc với tốc độ $33,5 \text{ m/s}$, còi báo động của nó phát ra âm thanh tần số 400 Hz . Hãy xác định tần số nghe được bởi một người trên xe hơi chuyển động về phía tây với tốc độ $24,6 \text{ m/s}$ khi:

- a) Xe hơi chuyển động lại gần xe cấp cứu.
- b) Xe hơi chuyển động ra xa xe cấp cứu.

Cho tốc độ âm thanh trong không khí là $v = 343 \text{ m/s}$.

II. Giả sử xe hơi đỗ bên đường khi xe cấp cứu đi ngang qua. Xác định tần số nghe được bởi người trong xe khi xe cấp cứu:

- a) Chuyển động lại gần xe hơi.
- b) Chuyển động ra xa xe hơi.

4.3. Sóng âm, áp suất âm. Siêu âm

Ví dụ 5

Đáp số:

I.

a) $f' = 475 \text{ Hz.}$

b) $f' = 338 \text{ Hz.}$

II.

a) $f' = 443 \text{ Hz.}$

b) $f' = 364 \text{ Hz.}$

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.1. Sự chồng chập và giao thoa của sóng hình sin

- Nguyên lý chồng chập: khi hai hay nhiều sóng di chuyển trong cùng môi trường tuyến tính, thì độ dịch chuyển tổng hợp của môi trường (sóng tổng hợp) tại mọi điểm thì bằng với tổng đại số của tất cả các độ dịch chuyển gây ra bởi từng sóng riêng biệt.
- Áp dụng cho sóng hình sin:

$$y_1 = A \sin(kx - \omega t) \text{ và } y_2 = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

với $k = 2\pi/\lambda$, $\omega = 2\pi f$ và ϕ là hằng số pha.

- Sóng tổng hợp là:

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 = A[\sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t + \phi)] \\ &= 2A \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right) \end{aligned}$$

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.1. Sự chồng chập và giao thoa của sóng hình sin

- Điều kiện giao thoa tăng cường (hai sóng cùng pha):

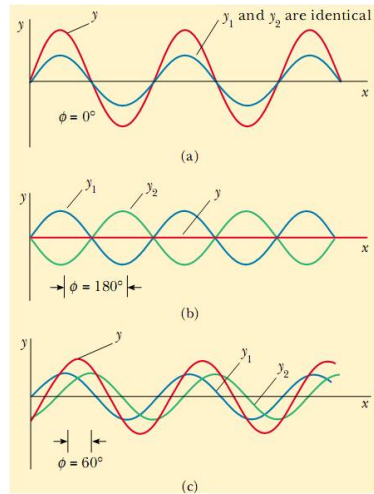
$$\phi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots, 2n\pi \text{ rad}$$

biên độ sóng tổng hợp là $2A$

- Điều kiện giao thoa dập tắt (hai sóng ngược pha):

$$\phi = \pi, 3\pi, \dots, (2n + 1)\pi \text{ rad}$$

biên độ sóng tổng hợp là 0



4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

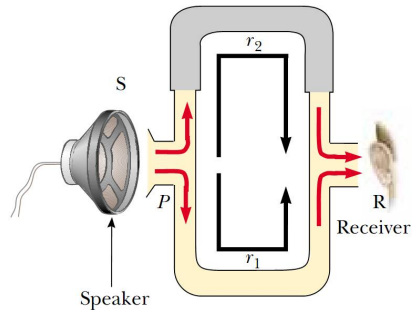
4.4.2. Thí nghiệm giao thoa sóng âm

- Sự khác biệt về đường đi của sóng:

$$\Delta r = |r_2 - r_1|$$

- Nếu $\Delta r = n\lambda$, với $n = 0, 1, 2, 3, \dots, k$ thì hai sóng cùng pha và giao thoa tăng cường với nhau. Người nhận âm sẽ đo được cường độ âm cực đại.
- Nếu $\Delta r = n\lambda$, với $n = 1/2, 3/2, 5/2, \dots, (2k + 1)/2$ thì hai sóng ngược pha và giao thoa dập tắt với nhau. Người nhận âm sẽ đo được cường độ âm cực tiểu.
- Hiệu đường đi và hiệu số pha:

$$\Delta r = \frac{\phi}{2\pi} \lambda$$



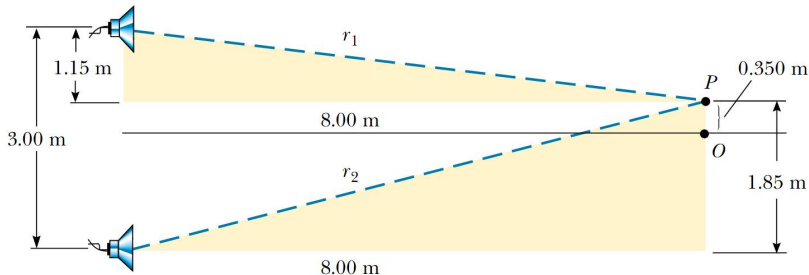
4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 6

Một cặp loa đặt cách nhau 3 m được nối với cùng một máy phát sóng điều hòa. Người nghe ban đầu đứng ở điểm O , cách trung điểm đường nối giữa hai loa một khoảng là 8 m. Sau đó anh ta di chuyển sang điểm P , cách điểm O một khoảng 0,35 m, và nghe được cực tiểu đầu tiên của cường độ âm tại đó.

a) Tìm tần số dao động của máy phát.

b) Kết quả là bao nhiêu nếu khoảng cách $PO = 0,75$ m.



4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 6

Đáp số:

- a) 1,3 kHz.
- b) 0,63 kHz.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.3. Sóng dừng

- Nếu hai nguồn sóng nằm đối diện nhau (2 sóng truyền về phía nhau):

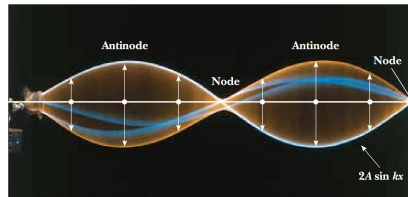
$$y_1 = A \sin(kx - \omega t) \text{ và } y_2 = A \sin(kx + \omega t)$$

y_1 biểu diễn sóng truyền về bên phải, còn y_2 biểu diễn sóng truyền về bên trái.

- Sóng tổng hợp là:

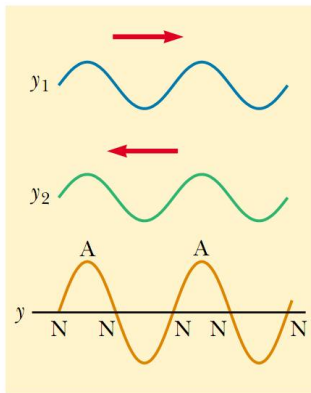
$$y = y_1 + y_2 = (2A \sin kx) \cos \omega t$$

→ phương trình sóng dừng. **Sóng dừng là kết quả chồng chập của hai sóng giống hệt nhau truyền ngược hướng nhau.**

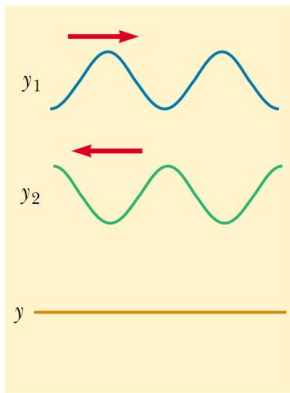


4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

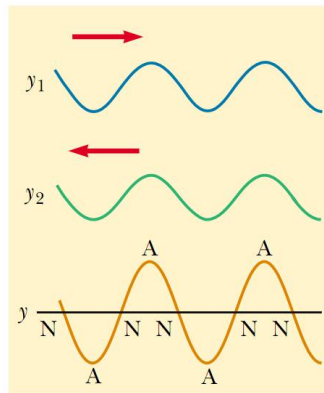
4.4.3. Sóng dừng



(a) $t = 0$



(b) $t = T/4$



(c) $t = T/2$

Sóng thành phần và sóng dừng tại các thời điểm khác nhau.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.3. Sóng dừng

- Sóng dừng không chứa hàm của $kx - \omega t$, vì vậy không mang đặc trưng của sóng chạy.
- Một phần tử trên sóng dừng dao động trong giới hạn của đường bao tạo bởi hàm $2A \sin kx$.
- Độ dịch chuyển cực đại của một phần môi trường có giá trị nhỏ nhất (tức bằng 0) khi x thỏa mãn điều kiện $\sin kx = 0$, tức là:

$$kx = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots \text{ hay } x = \frac{n\lambda}{4} \text{ với } n = 0, 2, 4, 6, \dots$$

những điểm này được gọi là **nút sóng (node)**.

- Độ dịch chuyển cực đại của một phần môi trường có giá trị lớn nhất (tức $2A$) khi x thỏa mãn điều kiện $\sin kx = \pm 1$, tức là:

$$kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots \text{ hay } x = \frac{n\lambda}{4} \text{ với } n = 1, 3, 5, \dots$$

những điểm này được gọi là **bụng sóng (antinode)**.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.3. Sóng dừng

- Khoảng cách giữa hai nút sóng liên tiếp là $\lambda/2$.
- Khoảng cách giữa hai bụng sóng liên tiếp là $\lambda/2$.
- Khoảng cách giữa hai nút sóng và bụng sóng cạnh nhau là $\lambda/4$.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 7

Hai sóng truyền ngược chiều nhau tạo ra một sóng dừng. Phương trình sóng thành phần là:

$$y_1 = (4,0 \text{ cm}) \sin(3x - 2t)$$

và

$$y_2 = (4,0 \text{ cm}) \sin(3x + 2t)$$

trong đó x và y ở đơn vị cm.

- Tìm biên độ của phần tử môi trường nằm ở tọa độ $x = 2,3 \text{ cm}$.
- Tìm vị trí của các nút sóng và bụng sóng.
- Biên độ của phần tử môi trường nằm ở bụng sóng.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 7

Đáp số:

- a) 4,6 cm.
- b) $x = n\lambda/4$.
- c) 8 cm.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.4. Sóng dừng trên dây có 2 đầu cố định

- Bước sóng của các mode dao động trên dây:

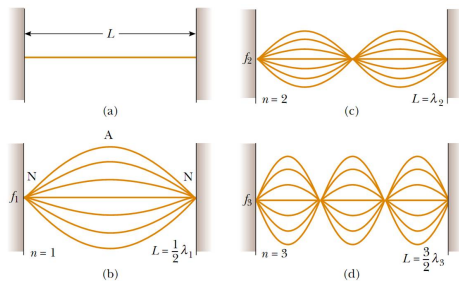
$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \text{ với } n = 1, 2, 3, \dots$$

- Tần số tương ứng:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2L} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \text{ với } n = 1, 2, 3, \dots$$

- Tần số cơ bản:

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$



4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.4. Sóng dừng trên dây có 2 đầu cố định

- Tần số của các mode bậc cao bằng nguyên lần của tần số cơ bản. Tập hợp các mode đó tạo thành chuỗi điều hòa.

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \text{ với } n = 1, 2, 3, \dots$$

- Tần số tương ứng:

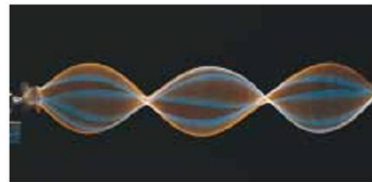
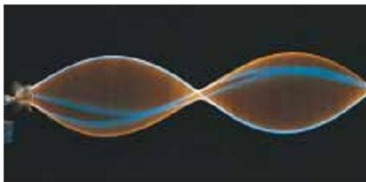
$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2L} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \text{ với } n = 1, 2, 3, \dots$$

- Tần số cơ bản:

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.4. Sóng dừng trên dây có 2 đầu cố định



Sóng dừng với số bụng sóng khác nhau.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.5. Nhạc cụ



Dây đàn piano.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 8

Nốt Đô (C) trung trên đàn piano có tần số cơ bản là 262 Hz, và nốt La (A) thứ nhất trên nốt Đô trung có tần số cơ bản là 440 Hz.

- Tìm tần số của hai dao động điều hòa bậc tiếp theo của dây Đô.
- Nếu dây La và dây Đô có cùng khối lượng riêng theo chiều dài là μ , và chiều dài L thì tỉ số lực căng trên hai dây là bao nhiêu?
- Trong thực tế, chỉ có khối lượng riêng theo chiều dài là như nhau, nhưng chiều dài là khác nhau. Độ dài dây La chỉ bằng 64% độ dài dây Đô. Tính tỉ số lực căng của hai dây.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 8

Đáp số:

a) $f_2 = 2f_1 = 524 \text{ Hz}$ và $f_3 = 2f_2 = 789 \text{ Hz}$.

b) Tỉ số lực căng trên hai dây:

$$\frac{T_{\text{La}}}{T_{\text{Đô}}} = \left(\frac{f_{1-\text{La}}}{f_{1-\text{Đô}}} \right)^2 = 2,82$$

c) Tỉ số lực căng trên hai dây:

$$\frac{T_{\text{La}}}{T_{\text{Đô}}} = 1,16$$

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 9

Dây Mi (E) trên đàn ghi ta có chiều dài 64 cm và có tần số cơ bản 330 Hz. Bằng cách bấm vào phím đầu tiên, chiều dài dây ngắn đi và nó phát ra nốt Fa (F) có tần số 350 Hz. Tính khoảng cách từ phím đến đầu dây phía trên.



4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 9

Đáp số:
3,7 cm

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.6. Sóng dừng trong cột không khí

- Nếu ống được bịt kín một đầu, thì tại đầu được bịt kín, các phân tử không khí không thể chuyển động tự do dọc theo phương truyền sóng, vì vậy sóng phản xạ bị thay đổi pha 180° so với sóng tới. Vì vậy đầu kín tương ứng với nút sóng của độ dịch chuyển và bụng sóng của áp suất.
- Đầu hở của cột khí được coi gần đúng là bụng sóng của độ dịch chuyển và nút sóng của áp suất.
- Tại đầu hở, môi trường không có sự thay đổi về vật chất, nhưng có sự thay đổi về đặc tính (áp suất), vì vậy vẫn có sự phản xạ.
- Tần số dao động tự nhiên của ống không khí với hai đầu hở là:

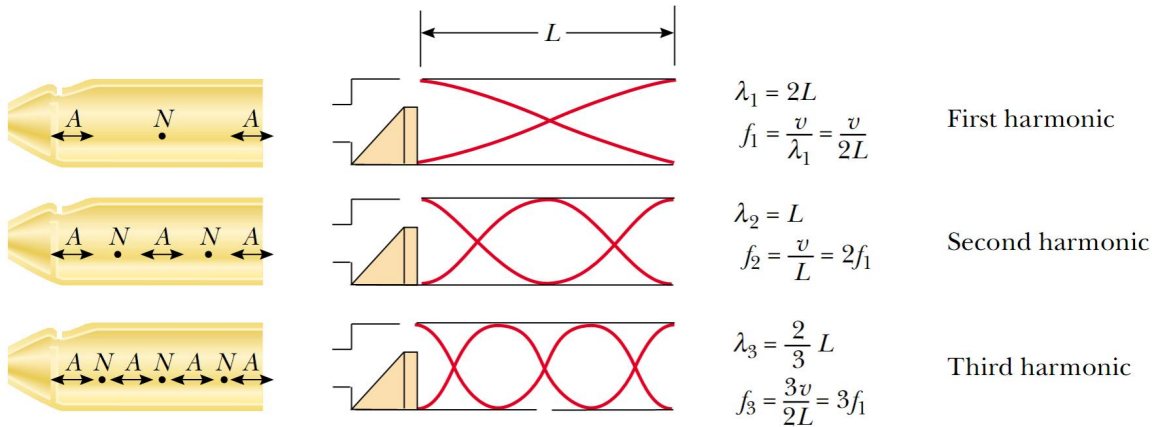
$$f_n = n \frac{v}{4L}, \text{ với } n = 2, 4, 6, \dots$$

- Tần số dao động tự nhiên của ống không khí với 1 đầu kín, 1 đầu hở là:

$$f_n = n \frac{v}{4L}, \text{ với } n = 1, 3, 5, \dots$$

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.6. Sóng dừng trong cột không khí



Ống không khí hở 2 đầu.

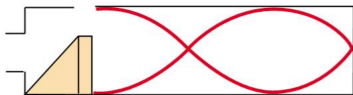
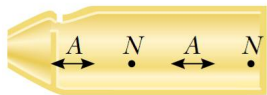
4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.6. Sóng dừng trong cột không khí



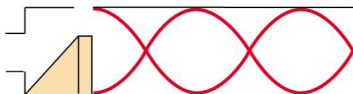
$$\lambda_1 = 4L$$
$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4L}$$

First harmonic



$$\lambda_3 = \frac{4}{3} L$$
$$f_3 = \frac{3v}{4L} = 3f_1$$

Third harmonic



$$\lambda_5 = \frac{4}{5} L$$
$$f_5 = \frac{5v}{4L} = 5f_1$$

Fifth harmonic

Ống không khí hở 1 đầu.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 10

Một đoạn cống thoát nước có chiều dài 1,23 m phát ra tiếng hú khi có gió thổi.

- a) Xác định tần số dao động của 3 bậc đầu tiên nếu cống hở cả hai đầu.
- b) Tần số dao động tự nhiên thấp nhất của cống nếu nó bị bịt ở một đầu.
- c) Nếu cống hở cả hai đầu, có bao nhiêu họa âm nằm trong vùng nghe được của tai người (từ 20 đến 17000 Hz)

Cho tốc độ âm thanh trong không khí là $v = 343 \text{ m/s}$.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

Ví dụ 10

Đáp số:

- a) $f_1 = 139 \text{ Hz}$, $f_2 = 2f_1 = 278 \text{ Hz}$ và $f_3 = 3f_1 = 417 \text{ Hz}$.
- b) $f_1 = 69,7 \text{ Hz}$.
- c) $n = 122$. Chỉ có một số âm có biên độ đủ lớn để có thể nghe được.

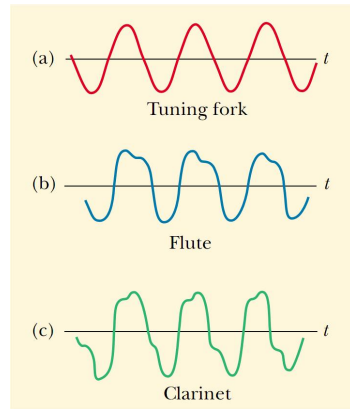
4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

4.4.7. Hòa âm bậc cao và âm sắc

- Mỗi nhạc cụ phát ra âm thanh có thành phần hòa âm bậc cao khác nhau về số lượng và cường độ. Điều này tạo nên âm sắc của nhạc cụ đó.
- Nếu hai nhạc cụ cùng phát ra âm cơ bản cùng tần số, nhưng có cường độ của các hòa âm bậc cao khác nhau thì âm sắc khác nhau.
- Mọi hàm tuần hoàn đều có thể biểu diễn dưới dạng:

$$y(t) = \sum_n (A_n \sin 2\pi f_n t + B_n \cos 2\pi f_n t)$$

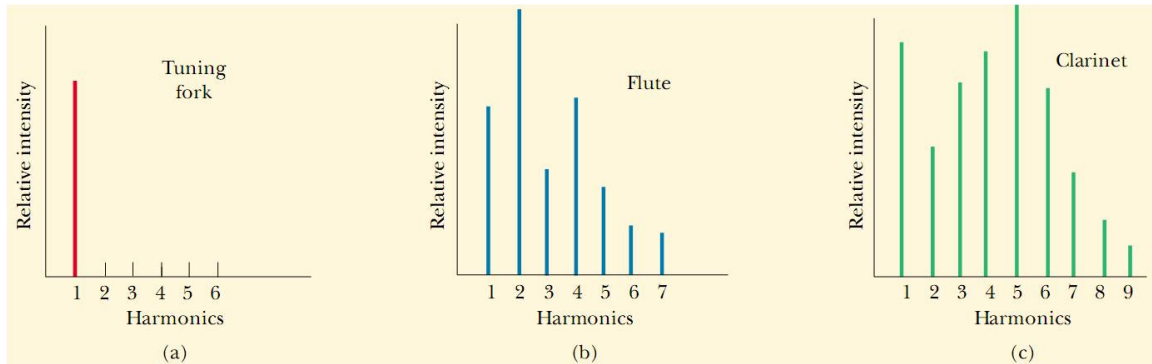
trong đó tần số thấp nhất là $f_1 = 1/T$. Các tần số hòa âm bậc cao là $f_n = nf_1$. Các hệ số A_n và B_n xác định cường độ của từng hòa âm riêng biệt.



Dao động âm của (a) Âm thoa; (b) Sáo; (c) Kèn clarinet.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

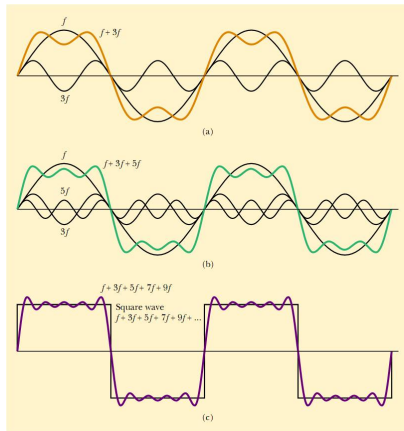
4.4.7. Họa âm bậc cao và âm sắc



Cường độ tương đối các họa âm bậc cao của (a) Âm thoa; (b) Sáo; (c) Kèn clarinet.

4.4. Sự chồng chập sóng và sóng dừng

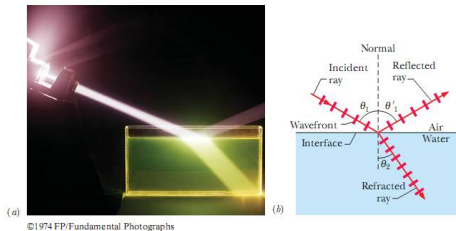
4.4.7. Họa âm bậc cao và âm sắc



Phân tích một sóng hình vuông.

4.5. Ánh sáng. Động học sóng ánh sáng

4.5.1. Vận tốc truyền ánh sáng. Hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng



- Ánh sáng có bản chất là dao động điện từ. Vận tốc ánh sáng phụ thuộc môi trường truyền sóng:

$$v = \frac{c}{n}$$

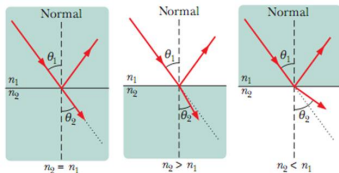
với n là chiết suất của môi trường.

- Định luật phản xạ:

$$\theta'_1 = \theta_1$$

4.5. Ánh sáng. Động học sóng ánh sáng

4.5.1. Vận tốc truyền ánh sáng. Hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng



- Định luật khúc xạ (Định luật Snell):

$$n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$$

Bảng: Chiết suất n của một số môi trường (đối với bước sóng 589 nm)

Môi trường	n	Môi trường	n
Chân không	1	Thủy tinh (thấu kính)	1,52
Không khí (điều kiện chuẩn)	1,00029	Muối ăn	1,54
Nước (ở 20 °C)	1,33	Polystyrene (PS)	1,55
Rượu ethanol	1,36	Đá sapphire	1,77
Thạch anh nóng chảy	1,46	Kim cương	2,42

4.5. Ánh sáng. Động học sóng ánh sáng

4.5.2. Hiệu ứng Doppler cho ánh sáng

- Hiệu ứng Doppler đối với sóng âm phụ thuộc vào chuyển động của cả nguồn phát và người quan sát. → *Điều này dường như vi phạm nguyên lý tương đối?*
- Sự lan truyền sóng âm chỉ xảy ra trong môi trường vật chất (ví dụ nước, không khí), và môi trường đó cũng là hệ quy chiếu cho chuyển động của nguồn phát và người quan sát.
- Đối với ánh sáng, không có môi trường để ánh sáng truyền đi, nên chỉ có tốc độ tương đối của nguồn và người quan sát là có ý nghĩa. Vì vậy hiệu ứng Doppler cũng có sự khác biệt.

4.5. Ánh sáng. Động học sóng ánh sáng

4.5.2. Hiệu ứng Doppler cho ánh sáng

- Người quan sát chuyển động vuông góc với đường nối giữa anh ta và nguồn sáng:

Hiệu ứng Doppler ngang đối với ánh sáng:

$$\nu = \frac{1}{t} = \frac{\sqrt{1 - v^2/c^2}}{t_0} = \nu_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

- Người quan sát chuyển động ra xa nguồn sáng:

Hiệu ứng Doppler dọc đối với ánh sáng:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_0} \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}} = \nu_0 \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}}$$

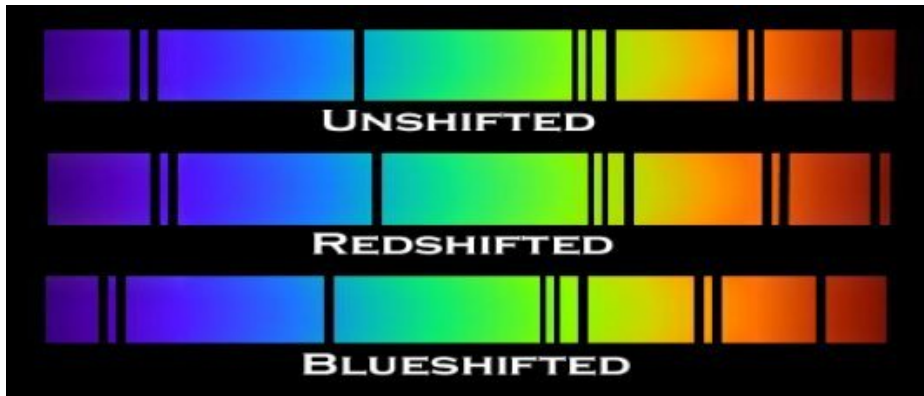
- Người quan sát chuyển động lại gần nguồn sáng:

Hiệu ứng Doppler dọc đối với ánh sáng:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_0} \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} = \nu_0 \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}}$$

4.5. Ánh sáng. Động học sóng ánh sáng

4.5.2. Hiệu ứng Doppler cho ánh sáng



Hiện tượng dịch phổ phát xạ của các ngôi sao, chứng tỏ các ngôi sao đang chuyển động ra xa (redshift) hoặc lại gần (blueshift) chúng ta.

4.5. Ánh sáng. Động học sóng ánh sáng

Ví dụ 11

Ánh sáng phát ra từ các thiên hà là quang phổ liên tục do nó chứa hàng triệu ngôi sao và các vật thể bức xạ nhiệt khác. Tuy nhiên, do sự hấp thụ của khí lạnh hơn trong thiên hà, chúng ta có thể quan sát được quang phổ hấp thụ vạch. Ví dụ, các nguyên tử can-xi bị ion hóa hấp thụ rất mạnh ở 394 nm khi thiên hà đứng yên so với Trái Đất. Đối với thiên hà Hydra nằm cách Trái Đất cách 200 triệu năm ánh sáng, hệ vạch đó dịch đến vị trí 475 nm. Hỏi thiên hà Hydra chuyển động ra ra Trái Đất với tốc độ bao nhiêu?

4.5. Ánh sáng. Động học sóng ánh sáng

Ví dụ 11

Đáp số:

$$v = 0,185c = 5,54 \times 10^7 \text{ m/s.}$$

The End