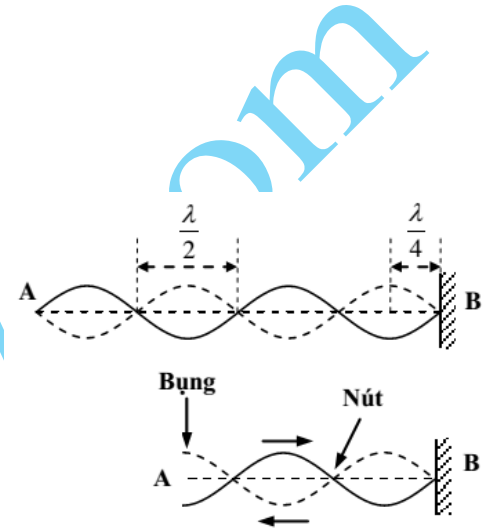


A. LÝ THUYẾT

1. Các đặc điểm của sóng dừng:

- Sóng dừng là sóng được tạo ra do sự giao thoa của 2 sóng ngược chiều (thường là sóng tới và sóng phản xạ trên cùng phương truyền)
- Bụng sóng là những điểm dao động với biên độ cực đại. Nút sóng là những điểm dao động với biên độ bằng 0 (đứng yên). Bụng sóng và nút sóng là những điểm cố định trong không gian.
- Khoảng cách giữa hai bụng sóng hay hai nút sóng liên tiếp là $\lambda/2$.
- Khoảng cách giữa bụng sóng và nút sóng liên tiếp là $\lambda/4$.
- Tại vị trí vật cản cố định, sóng tới và sóng phản xạ ngược pha nhau.
- Tại vị trí vật cản tự do, sóng tới và sóng phản xạ cùng pha
- Gọi a là biên độ dao động của nguồn thì biên độ dao động của bụng là $2a$, bề rộng của bụng sóng là $4a$.
- Khoảng thời gian ngắn nhất (giữa 2 lần liên tiếp) để dây duỗi thẳng là $\Delta t = 0,5T$.
- Sóng dừng được tạo bởi sự rung của nam châm điện với tần số dòng điện f thì tần số sóng là $2f$.
- Khi cho dòng điện có tần số f chạy trong dây kim loại, dây kim loại được đặt giữa 2 cực của nam châm thì sóng dừng trên dây sẽ có tần số là f .
- Mọi điểm nằm giữa 2 nút liên tiếp của sóng dừng đều dao động cùng pha và có biên độ không đổi khác nhau.
- Mọi điểm nằm 2 bên của 1 nút của sóng dừng đều dao động ngược pha.
- Sóng dừng không có sự lan truyền năng lượng và không có sự lan truyền trạng thái dao động.



2. Điều kiện để có sóng dừng trên sợi dây có chiều dài L:

a. Trường hợp sóng dừng với hai đầu nút (vận cản cố định)

- Chiều dài dây:

$$\ell = k \frac{\lambda}{2} (k = 1, 2, \dots) \Rightarrow \lambda_{\max} = 2\ell \Rightarrow \boxed{f_k = k \frac{v}{2L} \Rightarrow f_{\min} = \frac{v}{2L} \Rightarrow f_k = k f_{\min} \Rightarrow f_{\min} = f_{k+1} - f_k}$$

(tần số gây ra sóng dừng bằng bội số nguyên lần tần số nhỏ nhất gây ra sóng dừng)

- Vị trí các điểm bụng cách đầu B của sợi dây là: $d = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}$

số bụng sóng: $N_{\text{bụng}} = k$; **số bó sóng:** $N_{\text{bó}} = k$; **số nút sóng:** $N_{\text{nút}} = k + 1$

- Vị trí các điểm nút cách đầu B của sợi dây là: $d = k \frac{\lambda}{2} (k = 1, 2, 3, \dots)$

* Tần số sóng âm do dây đàn phát ra (hai đầu cố định): $f_k = k \frac{v}{2L}$;

+ $k = 1$, âm phát ra là âm cơ bản $f = f_{\min}$.

+ $k = 2, 3, 4, \dots$, âm phát ra là các họa âm bậc hay thứ k với $f_k = k.f_{\min}$.

b) Trường hợp sóng dừng với một đầu là nút B (cố định), một đầu là bụng A (tự do):

- Chiều dài dây: $\ell = k \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} (k = 1, 2, \dots) \Rightarrow \lambda_{\max} = 4L$

$$\boxed{f_k = (2k + 1) \frac{v}{4L} \Rightarrow f_{\min} = \frac{v}{4L} \Rightarrow f_k = (2k + 1) f_{\min} \Rightarrow f_{\min} = \frac{f_{k+1} - f_k}{2}}$$

(tần số gây ra sóng dừng bằng bội số nguyên lẻ lần tần số nhỏ nhất gây ra sóng dừng)

- Vị trí các điểm bụng cách đầu A của sợi dây là: $d = k \frac{\lambda}{2}$

- Vị trí các điểm nút cách đầu A của sợi dây là: $d = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} (k = 1, 2, 3, \dots)$

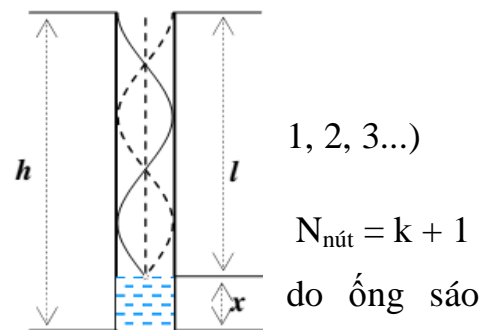
số bụng sóng: $N_{\text{bụng}} = k + 1$; **số bó sóng:** $N_{\text{bó}} = k$; **số nút sóng:**

* Với ống sáo một đầu bịt kín, một đầu để hở, tần số sóng âm

phát ra: $f_k = (2k + 1) \frac{v}{4L}$

+ $k = 0$, âm phát ra là âm cơ bản $f = f_{\min}$.

+ $k = 1, 2, 3, \dots$, âm phát ra là các họa âm $f_k = (2k + 1).f_{\min}$.



* Ống hình trụ có độ cao h , đổ nước đến độ cao c , độ cao cột khí là ℓ . Khi đó âm trong ống phát ra có cường độ lớn nhất nếu miệng ống (đầu hở) là bụng sóng dừng:

$$\ell = h - c = (k+0,5)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \ell_{\min} = \frac{\lambda}{4} \Leftrightarrow x_{\max} = h - \frac{\lambda}{4}$$

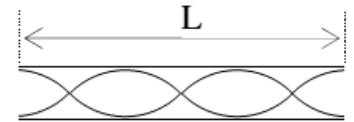
(Khi đó $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ ứng với các họa âm thứ $1, 2, 3, 4, \dots$ và có bậc là $(2k + 1)$)

c. Trường hợp sóng dừng với 2 đầu tự do (2 đầu đều là bụng sóng): Đây là trường hợp xảy ra trong ống sáo có chiều dài ℓ hở 2 đầu và có âm phát ra cực đại.

- Chiều dài dây:

$$\ell = k \frac{\lambda}{2} (k = 1, 2, \dots) \Rightarrow \lambda_{\max} = 2\ell \Rightarrow \boxed{f_k = k \frac{v}{2L} \Rightarrow f_{\min} = \frac{v}{2L} \Rightarrow f_k = k f_{\min} \Rightarrow f_{\min} = f_{k+1} - f_k}$$

(tần số gây ra sóng dừng bằng bội số nguyên lần tần số nhỏ nhất gây ra sóng dừng - Khi đó f_{\min} gọi là âm cơ bản, f_k là các họa âm)



- Vị trí các điểm bụng cách 1 đầu ống là: $d = k \frac{\lambda}{2}$ với $k = 1, 2, 3, \dots$

số bụng sóng: $N_{\text{bụng}} = k + 1$; **số bó sóng:** $N_{\text{bó}} = k - 1$; **số nút sóng:** $N_{\text{nút}} = k$

- Vị trí các điểm nút cách 1 đầu ống là: $d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ ($k = 1, 2, 3, \dots$)

3. Biểu thức sóng dừng trên dây: Xét sợi dây AB có chiều dài ℓ có đầu A gắn với nguồn dao động, phương trình dao động tại A là: $u_A = a \cos(\omega t + \varphi)$. M là 1 điểm bất kì trên AB cách A một khoảng là d . Coi a là không đổi.

a. Trường hợp đầu B cố định.

- Sóng từ A truyền tới M là: $u_{AM} = a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi d}{\lambda}\right)$; sóng từ A truyền tới B là: $u_{AB} = a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi \ell}{\lambda}\right)$

- Sóng phản xạ tại B là: $u_B = -u_{AB} = -a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi \ell}{\lambda}\right) = a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi \ell}{\lambda} - \pi\right)$

- Sóng phản xạ từ B truyền đến M là: $u_{BM} = a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi \cdot (2\ell - d)}{\lambda} - \pi\right)$

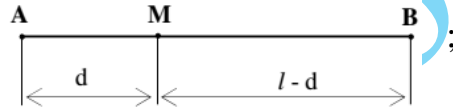
- Phương trình sóng dừng tại M là:
$$u_M = u_{AM} + u_{BM} = 2a \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi l}{\lambda} - \frac{\pi}{2}\right)$$

⇒ Biên độ sóng dừng tại M là:
$$A = 2a \left| \cos\left(\frac{2\pi(d-l)}{\lambda} - \frac{\pi}{2}\right) \right| = 2a \left| \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{\pi}{2}\right) \right| = 2a \left| \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \right| \quad (1)$$

(Với $x = (d - l)$ là khoảng cách từ điểm cần xét đến 1 nút nào đó của sóng dừng).

b. Trường hợp đầu B tự do.

- Sóng từ A truyền tới M là: $u_{AM} = a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi d}{\lambda}\right)$



- Sóng từ A truyền tới B là: $u_{AB} = a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi l}{\lambda}\right)$

- Sóng phản xạ tại B là: $u_B = u_{AB} = a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi l}{\lambda}\right)$ (Vì sóng tới B cùng pha với sóng phản xạ khi B là đầu tự do)

- Sóng phản xạ từ B truyền đến M là: $u_{BM} = a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi \cdot (2l - d)}{\lambda}\right)$

- Phương trình sóng dừng tại M là:
$$u_M = u_{AM} + u_{BM} = 2a \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi l}{\lambda}\right)$$

⇒ Biên độ sóng dừng tại M là:
$$A = 2a \left| \cos\left(\frac{2\pi(d-l)}{\lambda}\right) \right| = 2a \left| \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \right| \quad (2)$$

(Với $x = (d - l)$ là khoảng cách từ điểm cần xét đến 1 bụng nào đó của sóng dừng).

Kết luận: Như vậy khi bài toán yêu cầu tìm biên độ sóng dừng tại 1 điểm ta phải chú ý:

* Nếu bài cho khoảng cách từ điểm đó đến nút sóng ta dùng công thức:
$$A = 2a \left| \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \right| \quad (1)$$

* Nếu bài cho khoảng cách từ điểm đó đến bụng sóng ta dùng công thức:
$$A = 2a \left| \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \right| \quad (2)$$

* Sóng dừng có biên độ bụng sóng là $2a$ thì những điểm cách đều nhau liên tiếp (không kể bụng và nút) có cùng biên độ dao động sẽ cách nhau 1 khoảng nhỏ nhất là $\lambda/4$ và cùng biên độ $a\sqrt{2}$

B. CÁC VÍ DỤ MINH HỌA

Ví dụ 1: Sóng dừng xảy ra trên dây $AB = 11\text{cm}$ với đầu B tự do, bước sóng bằng 4cm . Tính số bụng sóng và số nút sóng trên dây lúc đó.

Hướng dẫn giải:

$$\text{Vì B tự do nên } \begin{cases} AB = (k + \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{2} \\ \text{nút} = \text{bụng} = k + 1 \end{cases} \Rightarrow k = \frac{2AB}{\lambda} - \frac{1}{2} = 5$$

Vậy có 6 bụng và 6 nút.

Ví dụ 2: Trên sợi dây OA dài $1,5\text{m}$, đầu A cố định và đầu O dao động điều hoà có phương trình $u_o = 5 \sin 4\pi t (\text{cm})$. Người ta đếm được từ O đến A có 5 nút. Tính vận tốc truyền sóng trên dây

Hướng dẫn giải:

$$\text{Vì O và A cố định nên } \begin{cases} OA = k \frac{\lambda}{2} \\ \text{nút} = k + 1 = 5 \Rightarrow k = 4 \end{cases} \Leftrightarrow k \frac{v}{2f} = k \frac{\pi v}{\omega} \Rightarrow v = \frac{\omega \cdot OA}{k\pi} = \frac{4\pi \cdot 1,5}{4\pi} = 1,5 \text{ m/s}$$

Ví dụ 3: Một dây đàn dài $0,6 \text{ m}$, hai đầu cố định dao động với tần số 50 Hz , có một bụng ở giữa dây.

- Tính bước sóng và tốc độ truyền sóng.
- Nếu dây dao động với 3 bụng thì bước sóng là bao nhiêu?

Hướng dẫn giải:

Giải: a) Dây dao động với một bụng, ta có $l = \frac{\lambda}{2}$. Suy ra $\lambda = 2l = 2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ m}$.

Tốc độ truyền sóng: $v = \lambda f = 1,2 \cdot 50 = 60 \text{ m/s}$.

b) Khi dây dao động với 3 bụng ta có: $\frac{\lambda'}{2} = \frac{1}{3} \Rightarrow \lambda' = \frac{1,2}{3} = 0,4 \text{ m}$.

Ví dụ 4: Một sợi dây đàn hồi chiều dài $AB = l = 1,6\text{m}$



đầu B bị kẹp chặt, đầu A buộc vào một nguồn rung với tần số 500Hz tạo ra sóng dừng có

4 bụng và tại A và B là hai nút. Xác định vận tốc truyền sóng trên dây

ĐA:400m/s

Hướng dẫn giải:

Giải: Theo đề bài hai đầu l à nút và có 4 bụng : tức là có $4\frac{\lambda}{2} = AB = l \rightarrow \lambda = \frac{l}{2} = \frac{1,6}{2} = 0,8m$.

Vận tốc truyền sóng trên dây là : $v = \lambda f = 0,8.500 = 400m/s$.

Ví dụ 5: Cộng hưởng của âm thoa xảy ra với một cột không khí trong ống hình trụ , khi ống có chiều cao khả dĩ thấp nhất bằng 25cm,vận tốc truyền sóng là 330m/s.Tần số dao động của âm thoa này bằng bao nhiêu ?

A. 165Hz

B.330Hz

C.405Hz

D.660Hz

Giải: Chiều cao của ống bằng $\frac{1}{4}\lambda$.

Vậy: $\lambda = 100cm; f = \frac{v}{\lambda}$ Chọn B

Ví dụ 6: Một sợi dây đàn hồi rất dài có đầu A dao động với tần số f và theo phương vuông góc với dây. Biên độ dao động là 4 cm, tốc độ truyền sóng trên dây là 4 m/s. Xét một điểm M trên dây và cách A một đoạn 28 cm, người ta thấy điểm M luôn dao động lệch pha với A một góc $\Delta\varphi = (2k + 1)\frac{\pi}{2}$ với $k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$. Tính bước sóng λ . Biết tần số f có giá trị trong khoảng từ 22 Hz đến 26 Hz.

Giải: Từ công thức tính độ lệch pha giữa hai điểm cách nhau một đoạn d là: $\Delta\varphi = 2\pi\frac{d}{\lambda}$

Đề bài cho: $\Delta\varphi = (2k + 1)\frac{\pi}{2}$. Ta suy ra: $2\pi\frac{d}{\lambda} = (2k + 1)\frac{\pi}{2}$ (1)

mà: $\lambda = \frac{v}{f}$ thay vào (1), ta được: $\frac{2df}{v} = \frac{2k+1}{2} \Rightarrow f = \frac{(2k+1)v}{4d}$ (2)

Theo đề bài: $22 \leq f \leq 26 \Leftrightarrow 22 \leq \frac{(2k+1)v}{4d} \leq 26 \Leftrightarrow 22 \leq \frac{(2k+1)4}{4.0,28} \leq 26$

$\Rightarrow \begin{cases} 2k+1 \geq 6,16 \\ 2k+1 \leq 7,28 \end{cases} \Rightarrow 2,58 \leq k \leq 3,14$ với $k \in \mathbb{Z}$. Vậy $k = 3$

Thay $k = 2$ vào (2), ta được: $f = \frac{(2.3+1).4}{4.0,28} = 25(\text{Hz}) \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{4}{25} = 0,16(\text{m}) = 16(\text{cm})$

C. BÀI TẬP TỰ LUYỆN

Câu 1: Trong thí nghiệm về sự phản xạ sóng trên vật cản cố định. Sợi dây mền AB có đầu B cố định, đầu A dao động điều hòa. Ba điểm M, N, P không phải là nút sóng, nằm trên sợi dây cách nhau $MN = \lambda/2$; $MP = \lambda$. Khi điểm M đi qua vị trí cân bằng (VTCB) thì

- A.** điểm N có li độ cực đại, điểm P đi qua VTCB. **B.** N đi qua VTCB, điểm P có li độ cực đại.
C. điểm N và điểm P đi qua VTCB. **D.** điểm N có li độ cực tiểu, điểm P có li độ cực đại.

Câu 2: Sóng dừng trên dây có tần số $f = 20\text{Hz}$ và truyền đi với tốc độ $1,6\text{m/s}$. Gọi N là vị trí của một nút sóng ; C và D là hai vị trí cân bằng của hai phần tử trên dây cách N lần lượt là 9cm và $32/3\text{cm}$ và ở hai bên của N. Tại thời điểm t_1 li độ của phần tử tại điểm D là $-\sqrt{3}\text{cm}$. Xác định li độ của phần tử tại điểm C vào thời điểm $t_2 = t_1 + 9/40\text{s}$

- A.** $-\sqrt{2}\text{cm}$ **B.** $-\sqrt{3}\text{cm}$ **C.** $\sqrt{2}\text{cm}$ **D.** $\sqrt{3}\text{cm}$

Câu 3: Một dây đàn hồi AB đầu A được rung nhờ một dụng cụ để tạo thành sóng dừng trên dây, biết Phương trình dao động tại đầu A là $u_A = a \cos 100\pi t$. Quan sát sóng dừng trên sợi dây ta thấy trên dây có những điểm không phải là điểm bụng dao động với biên độ b ($b \neq 0$) cách đều nhau và

cách nhau khoảng 1m. Giá trị của b và tốc truyền sóng trên sợi dây lần lượt là:

A. $a\sqrt{2}$; $v = 200\text{m/s}$.

B. $a\sqrt{3}$; $v = 150\text{m/s}$.

C. a ; $v = 300\text{m/s}$.

D. $a\sqrt{2}$; $v = 100\text{m/s}$.

Câu 4: M, N, P là 3 điểm liên tiếp nhau trên một sợi dây mang sóng dừng có cùng biên độ 4cm, dao động tại P ngược pha với dao động tại M. $MN = 2NP = 20\text{cm}$. Cứ sau khoảng thời gian ngắn nhất là 0,04s sợi dây lại có dạng một đoạn thẳng. Tính tốc độ dao động tại điểm bụng khi sợi dây có dạng một đoạn thẳng, cho $\pi = 3.1416$.

A. 6,28m/s

B. 62,8cm/s

C. 125,7cm/s

D. 3,14m/s

Câu 5: Thí nghiệm sóng dừng trên một sợi dây có hai đầu cố định và chiều dài 36cm, người ta thấy có 6 điểm trên dây dao động với biên độ cực đại. Khoảng thời gian ngắn nhất giữa hai lần dây duỗi thẳng là 0,25s. Khoảng cách từ bụng sóng đến điểm gần nó nhất có biên độ bằng nửa biên độ của bụng sóng là

A. 4cm

B. 2cm

C. 3cm

D. 1cm

Câu 6: Sóng dừng tạo trên một sợi dây đàn hồi có chiều dài l . Người ta thấy trên dây có những điểm dao động cách nhau l_1 thì dao động với biên độ 4 cm, người ta lại thấy những điểm cứ cách nhau một khoảng l_2 ($l_2 > l_1$) thì các điểm đó có cùng biên độ a . Giá trị của a là:

A. $4\sqrt{2}$ cm

B. 4cm

C. $2\sqrt{2}$ cm

D. 2cm