

1. Sóng dừng là gì?

a. Định nghĩa

Sóng dừng là sóng có các nút sóng và bụng sóng cố định trong không gian. Sóng dừng được hình thành do sự giao thoa của một sóng tới và sóng phản xạ của nó khi lan truyền trên cùng một phương.

b. Các đặc điểm của sóng dừng

- **Nút sóng:** Là những điểm luôn đứng yên (biên độ dao động bằng 0). Hai đầu cố định của sợi dây luôn là các nút sóng.
- **Bụng sóng:** Là những điểm dao động với biên độ cực đại.
- **Khoảng cách giữa các điểm đặc biệt:**
 - Khoảng cách giữa 2 nút sóng liên tiếp là một nửa bước sóng ($\lambda/2$).
 - Khoảng cách giữa 2 bụng sóng liên tiếp là một nửa bước sóng ($\lambda/2$).
 - Khoảng cách giữa một nút sóng và một bụng sóng liền kề là một phần tư bước sóng ($\lambda/4$).
- **Pha dao động:**
 - Các điểm nằm trên cùng một "bó sóng" (khu vực giữa hai nút liên tiếp) luôn dao động cùng pha.
 - Các điểm nằm trên hai "bó sóng" kế nhau luôn dao động ngược pha.

2. Điều kiện để có sóng dừng trên dây hai đầu cố định

a. Mô tả

Xét một sợi dây có chiều dài l , hai đầu A và B được giữ cố định. Khi có một sóng truyền trên dây từ A đến B, nó sẽ phản xạ tại B và truyền ngược lại. Sóng tới và sóng phản xạ giao thoa với nhau. Để có sóng dừng, hai đầu A và B phải là hai nút sóng.

b. Công thức điều kiện về chiều dài dây

Vì hai đầu dây là hai nút sóng, nên chiều dài của sợi dây phải bằng một số nguyên lần nửa bước sóng.

- **Công thức:** $l = k * (\lambda / 2)$

- **Giải thích:**

- **l :** là chiều dài của sợi dây (m).
- **λ :** là bước sóng của sóng truyền trên dây (m).
- **k :** là một số nguyên dương ($k = 1, 2, 3, \dots$). Giá trị của k chính là số bụng sóng (hay số bó sóng) trên dây.

Ví dụ minh họa

1. **Ví dụ 1:** Một sợi dây đàn hồi dài 80 cm, hai đầu cố định, đang có sóng dừng. Trên dây có 4 bụng sóng. Tính bước sóng.

Phân tích:

- Chiều dài dây $l = 80 \text{ cm} = 0.8 \text{ m}$.

- Số bụng sóng $k = 4$.
- Áp dụng công thức: $l = k * (\lambda / 2)$
- Suy ra: $80 = 4 * (\lambda / 2) \Rightarrow \lambda = (80 * 2) / 4 = 40 \text{ cm}$.
- Vậy, bước sóng là 40 cm.

2. **Ví dụ 2:** Một sợi dây dài 1,5 m có hai đầu cố định. Sóng truyền trên dây có bước sóng là 0,5 m. Hỏi sóng dừng có thể hình thành trên dây không?

Phân tích:

- Ta kiểm tra điều kiện $l = k * (\lambda / 2)$.
- Ta có: $1,5 = k * (0,5 / 2) \Rightarrow k = 1,5 / 0,25 = 6$.
- Vì $k = 6$ là một số nguyên dương, nên sóng dừng có thể hình thành trên dây. Khi đó, trên dây có 6 bụng sóng.

3. Các đại lượng đặc trưng của sóng dừng trên dây hai đầu cố định

a. Số bụng sóng và số nút sóng

Từ điều kiện có sóng dừng, ta có thể dễ dàng xác định số bụng sóng và số nút sóng trên dây.

• Công thức:

- **Số bụng sóng = k**
- **Số nút sóng = $k + 1$**

• Giải thích:

- Số bụng sóng (hay số bó sóng) chính là giá trị k trong công thức chiều dài.
- Số nút sóng luôn nhiều hơn số bụng sóng là 1, vì ngoài các nút ở giữa các bụng, còn có 2 nút ở hai đầu dây cố định.

Ví dụ minh họa

1. **Ví dụ 1:** Trên một sợi dây hai đầu cố định đang có sóng dừng với 5 bụng sóng. Hỏi trên dây có bao nhiêu nút sóng?

Phân tích:

- Số bụng sóng $k = 5$.
- Số nút sóng $= k + 1 = 5 + 1 = 6$.
- Vậy, trên dây có 6 nút sóng.

2. **Ví dụ 2:** Một sợi dây dài 120 cm có sóng dừng. Người ta quan sát thấy trên dây có tổng cộng 5 nút sóng (tính cả hai đầu). Tính bước sóng.

Phân tích:

- Số nút sóng $= k + 1 = 5 \Rightarrow k = 4$.
- Vậy trên dây có 4 bụng sóng.
- Áp dụng công thức: $l = k * (\lambda / 2)$
- $120 = 4 * (\lambda / 2) \Rightarrow \lambda = (120 * 2) / 4 = 60 \text{ cm}$.
- Vậy, bước sóng là 60 cm.

b. Tần số để có sóng dừng

Tần số của sóng cũng phải thỏa mãn điều kiện để có sóng dừng. Ta có thể suy ra công thức tần số từ công thức chiều dài và mối liên hệ $\lambda = v/f$.

Từ $l = k * (\lambda / 2)$ và $\lambda = v / f$, ta có: $l = k * (v / 2f) \Rightarrow f = k * (v / 2l)$

- Công thức: $f = k * f_{\min}$ với $f_{\min} = v / 2l$

- Giải thích:

- **f**: là tần số của sóng để tạo ra sóng dừng (Hz).
- **v**: là tốc độ truyền sóng trên dây (m/s).
- **$f_{\min} = v / 2l$** : được gọi là tần số cơ bản (hay họa âm thứ nhất). Đây là tần số nhỏ nhất để có thể tạo ra sóng dừng trên dây (ứng với $k = 1$, trên dây có 1 bụng sóng).
- Các tần số **$f_k = k * f_{\min}$** (với $k = 2, 3, 4, \dots$) được gọi là các họa âm bậc k (họa âm thứ hai, thứ ba,...).
- Như vậy, trên dây hai đầu cố định, các tần số có thể tạo ra sóng dừng là một dãy các bội số nguyên của tần số cơ bản.

Ví dụ minh họa

1. **Ví dụ 1:** Một sợi dây dài 2 m, hai đầu cố định. Tốc độ truyền sóng trên dây là 400 m/s. Tìm tần số cơ bản và tần số để trên dây có 4 bụng sóng.

Phân tích:

- Tần số cơ bản: $f_{\min} = v / 2l = 400 / (2 * 2) = 100$ Hz.

- Để có 4 bụng sóng, $k = 4$.
- Tần số tương ứng: $f_4 = 4 * f_{\min} = 4 * 100 = 400 \text{ Hz}$.

2. **Ví dụ 2:** Một sợi dây hai đầu cố định. Hai tần số liên tiếp tạo ra sóng dừng trên dây là 150 Hz và 200 Hz. Tìm tần số cơ bản.

Phân tích:

- Các tần số tạo sóng dừng là $f_k = k * f_{\min}$.
- Hai tần số liên tiếp là $f_k = k * f_{\min} = 150 \text{ Hz}$ và $f_{k+1} = (k+1) * f_{\min} = 200 \text{ Hz}$.
- Lấy hiệu hai tần số: $f_{k+1} - f_k = (k+1) * f_{\min} - k * f_{\min} = f_{\min}$.
- Vậy, $f_{\min} = 200 - 150 = 50 \text{ Hz}$.
- Tần số cơ bản là 50 Hz. (Khi đó 150Hz là họa âm bậc 3 và 200Hz là họa âm bậc 4).

4. Bảng tổng hợp công thức

Đại lượng	Công thức	Chú thích
Điều kiện chiều dài	$l = k * (\lambda / 2)$	$k = 1, 2, 3, ...$
Số bụng sóng	Số bụng = k	k là số bó sóng nguyên trên dây.
Số nút sóng	Số nút = $k + 1$	Bao gồm cả hai nút ở hai đầu cố định.
Tần số sóng dừng	$f = k * (v / 2l)$	Tần số của các họa âm.
Tần số cơ bản (họa âm bậc 1)	$f_{min} = v / 2l$	Tần số nhỏ nhất để có sóng dừng (ứng với $k=1$).

5. Bài tập vận dụng

Bài 1

Một sợi dây AB dài 90 cm có đầu B cố định, đầu A gắn vào một nguồn dao động với tần số f thay đổi được. Tốc độ truyền sóng trên dây là 60 m/s.

- a. Để trên dây có sóng dừng với 3 bụng sóng thì tần số f phải bằng bao nhiêu?
- b. Nếu tần số của nguồn là 100 Hz thì trên dây có bao nhiêu bụng sóng, bao nhiêu nút sóng?

Lời giải

a. Để trên dây có 3 bụng sóng, $k = 3$.

Áp dụng công thức tần số: $f = k * (v / 2l)$

Thay số: $f = 3 * (60 / (2 * 0.9)) = 3 * (60 / 1.8) = 100 \text{ Hz}$.

Vậy tần số cần tìm là 100 Hz.

b. Khi $f = 100 \text{ Hz}$, ta tìm k :

Từ công thức $f = k * (v / 2l) \Rightarrow k = f * 2l / v$

Thay số: $k = 100 * (2 * 0.9) / 60 = 100 * 1.8 / 60 = 180 / 60 = 3$.

Vì $k = 3$ là số nguyên, nên trên dây có sóng dừng.

- Số bụng sóng = $k = 3$.
- Số nút sóng = $k + 1 = 4$.

Bài 2

Trên một sợi dây đàn hồi dài 1,2 m với hai đầu cố định, người ta quan sát thấy sóng dừng với 2 bụng sóng. Tần số sóng là 10 Hz.

a. Tính bước sóng và tốc độ truyền sóng trên dây.

b. Để trên dây có 5 bụng sóng thì cần thay đổi tần số đến giá trị bằng bao nhiêu?

Lời giải

a. Dây có 2 bụng sóng, vậy $k = 2$.

Từ công thức chiều dài: $l = k * (\lambda / 2) \Rightarrow 1.2 = 2 * (\lambda / 2) \Rightarrow \lambda = 1.2 \text{ m}$.

Tốc độ truyền sóng: $v = \lambda * f = 1.2 * 10 = 12 \text{ m/s}$.

b. Để trên dây có 5 bụng sóng, $k' = 5$.

Tốc độ truyền sóng trên dây là không đổi ($v = 12 \text{ m/s}$).

Áp dụng công thức tần số: $f' = k' * (v / 2l)$

Thay số: $f' = 5 * (12 / (2 * 1.2)) = 5 * (12 / 2.4) = 5 * 5 = 25 \text{ Hz}$.

Vậy cần thay đổi tần số thành 25 Hz.