

### 1. Sự phản xạ sóng

Ta quan sát trường hợp đơn giản sóng truyền trên một lò xo đàn hồi, có một đầu buộc vào điểm cố định (Hình 15.1).

a) Ta cầm đầu A của lò xo đưa lên đưa xuống gây ra một biến dạng trên lò xo. Quan sát sự truyền biến dạng này dọc theo lò xo trước khi đến đầu cố định và sau khi gặp đầu cố định.

Biến dạng khi gặp đầu cố định của lò xo thì truyền ngược lại. Ta nói là biến dạng bị phản xạ. Khi phản xạ thì biến dạng bị đổi chiều.

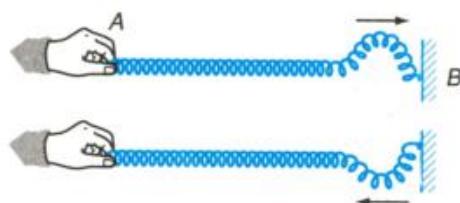
b) Nếu cho đầu A của lò xo thực hiện một dao động điều hoà theo phương vuông góc với lò xo thì xuất hiện một sóng truyền đến B gọi là *sóng tới*. Sau đó, dao động được truyền ngược lại tạo thành *sóng phản xạ*.

Thực nghiệm chứng tỏ, sóng phản xạ có cùng tần số và cùng bước sóng với sóng tới. Nếu đầu phản xạ cố định thì sóng phản xạ ngược pha với sóng tới.

### 2. Sóng dừng

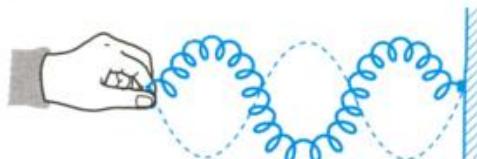
#### a) Quan sát hiện tượng

Tăng dần tần số dao động của đầu A của lò xo, đến một lúc ta không còn phân biệt được sóng tới và sóng phản xạ nữa. Lúc đó trên lò xo xuất hiện những điểm đứng yên xen kẽ với những điểm dao động với biên độ khá lớn, lớn hơn cả biên độ dao động của A (Hình 15.2). Đó



**Hình 15.1** Biến dạng phản xạ trên lò xo đàn hồi một đầu cố định bị đổi chiều.

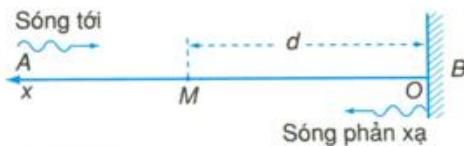
**C1** So sánh chiều biến dạng của lò xo, chiều chuyển động của sóng trước và sau khi gặp đầu cố định.



**Hình 15.2** Sóng dừng trên lò xo.

**C2** Quan sát thí nghiệm và so sánh khoảng cách giữa hai điểm nút gần nhau nhất và hai điểm bung gần nhau nhất.

là hiện tượng *sóng dừng*. Những điểm đứng yên trên lò xo gọi là những *điểm nút*, những điểm dao động với biên độ cực đại gọi là những *điểm bụng*. Những nút và bụng xen kẽ, cách đều nhau.



Hình 15.3

**C3** Nếu phần tử tại điểm  $M$  đồng thời nhận được hai dao động điều hòa cùng phương, cùng tần số, có độ dời  $u_1$  và  $u_2$  thì chuyển động của phần tử tại  $M$  sẽ như thế nào?

**C4** Biên độ dao động tổng hợp của phần tử tại điểm  $M$  sẽ có giá trị như thế nào trong các trường hợp:

- Hai dao động thành phần cùng pha?
- Hai dao động thành phần ngược pha?

### b) Giải thích sự tạo thành sóng dừng trên dây

Xét dao động của một phần tử tại điểm  $M$  trên dây cách đầu cố định  $B$  một khoảng  $MB = d$  (Hình 15.3). Giả sử vào thời điểm bắt đầu quan sát, sóng tới đến  $B$  và truyền tới đó một dao động có phương trình dao động là :

$$u_B = A \cos 2\pi ft \quad (15.1)$$

Chọn gốc toạ độ  $O$  tại  $B$ , chiều dương của trục  $Ox$  là chiều từ  $B$  đến  $M$ .

Sóng tới truyền từ  $M$  đến  $B$  ngược chiều với chiều dương của trục  $Ox$  và  $B$  cách  $M$  một khoảng  $d$ , nên ở  $M$  có phương trình dao động là :

$$u_M = A \cos \left( 2\pi ft + \frac{2\pi d}{\lambda} \right)$$

Sóng phản xạ ở  $B$  có li độ ngược chiều với li độ của sóng tới. Do đó phương trình của sóng phản xạ ở  $B$  là :

$$\begin{aligned} u'_B &= -A \cos 2\pi ft \\ &= A \cos (2\pi ft - \pi) \end{aligned}$$

Sóng phản xạ truyền theo chiều dương của trục  $Ox$  một quãng đường bằng  $d$  để trở lại  $M$ . Phương trình sóng phản xạ tại  $M$  là :

$$\begin{aligned} u'_M &= A \cos \left( 2\pi ft - \pi - \frac{2\pi d}{\lambda} \right) \\ u'_M &= A \cos \left( 2\pi ft - \frac{2\pi d}{\lambda} - \pi \right) \quad (15.2) \end{aligned}$$

Như vậy, khi sóng tới và sóng phản xạ liên tục truyền qua  $M$  thì ở mỗi thời điểm,  $M$  đồng thời nhận được hai dao động cùng phương. Do đó, dao động tại  $M$  sẽ là tổng hợp hai dao động do sóng tới và sóng phản xạ truyền đến.

Ta có :

$$u = u_M + u'_M$$

$$u = A \cos \left( 2\pi ft + \frac{2\pi d}{\lambda} \right) + A \cos \left( 2\pi ft - \frac{2\pi d}{\lambda} - \pi \right)$$

Áp dụng công thức lượng giác

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha - \beta}{2}\cos\frac{\alpha + \beta}{2}$$

ta được :

$$u = 2A\cos\left(\frac{2\pi d}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)\cos\left(2\pi ft - \frac{\pi}{2}\right) \quad (15.3)$$

Công thức (15.3) cho thấy, phần tử tại điểm  $M$  dao động điều hoà với tần số  $f$  và biên độ dao động là :

$$a = \left| 2A\cos\left(\frac{2\pi d}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right) \right| \quad (15.4)$$

Biên độ này phụ thuộc vào khoảng cách  $d = MB$  từ điểm  $M$  đến đầu cố định của dây.

Nếu khoảng cách  $d$  bằng một số nguyên lần nửa bước sóng ( $d = k\frac{\lambda}{2}$ ) thì theo (15.4) biên độ dao động tại  $M$  bằng 0, và tại  $M$  có một nút (Hình 15.4).

Nếu khoảng cách  $d = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}$  thì biên độ dao động có giá trị cực đại, tại đó có một bụng (điểm  $M'$ ).

Cho  $k$  các giá trị lần lượt bằng  $0, 1, 2, 3, \dots$ , ta có các nút và bụng xen kẽ cách đều nhau. Khoảng cách giữa hai nút liên tiếp hay hai bụng liên tiếp bằng nửa bước sóng.

Có thể nói sóng dừng là kết quả của sự giao thoa giữa sóng tới và sóng phản xạ.

Những dự đoán lí thuyết về hiện tượng sóng dừng dựa vào phương trình sóng ở trên phù hợp với hiện tượng quan sát được trong thí nghiệm. Điều đó chứng tỏ phương trình sóng phản ánh đúng chuyển động của sóng.

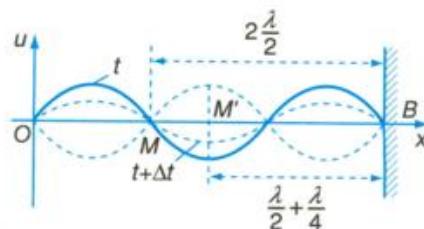
### c) Điều kiện để có sóng dừng

- Đối với sợi dây có hai đầu cố định hay một đầu dây cố định và một đầu dao động với biên độ nhỏ thì khi có sóng dừng, hai đầu dây phải là hai nút. Khoảng cách giữa hai nút liên tiếp là một nửa bước sóng. Vậy độ dài của dây bằng một số nguyên lần nửa bước sóng (Hình 15.5).

$$l = n\frac{\lambda}{2} \quad \text{với } n = 1, 2, \dots \quad (15.5)$$

$n$  bằng số bụng quan sát được.

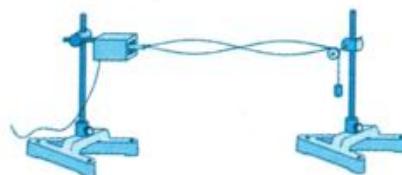
Theo công thức (15.4) thì biên độ dao động ở chỗ bụng sóng có giá trị lớn nhất là  $2A$ . Thực tế thì biên độ này lớn hơn  $2A$  nhiều lần. Nguyên nhân vì sóng phản xạ nhiều lần ở hai đầu dây, nên khi chúng đồng pha sẽ tăng cường lẫn nhau, làm cho biên độ tăng lên nhiều lần.



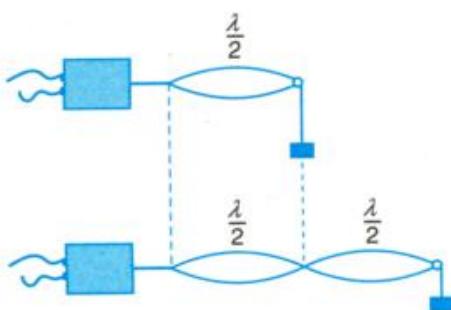
Hình 15.4 Hình dạng sóng dừng ở những thời điểm khác nhau.

Ở mỗi thời điểm  $t$  bất kỳ, dây có dạng hình sin (đường liên nét ở Hình 15.4). Những điểm nút là giao điểm của đường cosin với trục  $Ox$ . Những điểm bụng có li độ cực đại (dương hoặc âm). Ở thời điểm  $t + \Delta t$  thì dạng của hình sin thay đổi (đường chấm chấm ở Hình 15.4); những điểm nút và bụng vẫn không đổi, chỉ có các giá trị của các cực đại là thay đổi.

Nếu dùng một máy rung làm cho đầu  $A$  dao động với tần số  $f > 24$  Hz thì ta sẽ nhìn thấy dây có dạng như Hình 15.5. Ở chỗ bụng hình như dây bị phồng to ra. Đó là do kết quả của hiện tượng lưu ảnh của mắt.



Hình 15.5 Hình dạng sóng dừng trên dây mà mắt nhìn thấy khi  $f > 24$  Hz.



**Hình 15.6** Sóng dừng trên dây một đầu dao động với biên độ nhỏ, một đầu cố định.

Vì đầu dây nối với đầu cần rung dao động với biên độ nhỏ, nên có thể coi đó là một nút. Nếu biên độ dao động của đầu cần rung khá lớn khiến mắt ta nhìn thấy được thì nút sóng sẽ ở gần đầu cần rung.



**Hình 15.7** Sóng dừng trên dây có một đầu tự do, một đầu dao động với biên độ nhỏ.

- Đối với sợi dây có một đầu tự do thì lí thuyết và thực nghiệm chứng tỏ rằng, đầu tự do sẽ là một bụng sóng, khoảng cách giữa một nút và một bụng liền kề là  $\frac{\lambda}{4}$ . Do đó, muốn có sóng dừng thì dây phải có độ dài bằng một số lẻ lần một phần tư bước sóng (Hình 15.7).

$$l = m \frac{\lambda}{4} \text{ với } m = 1, 3, 5, \dots \quad (15.6)$$

#### d) Ứng dụng

Có thể ứng dụng hiện tượng sóng dừng để xác định tốc độ truyền sóng trên dây.

*Ví dụ :*

Trong một thí nghiệm, người ta dùng máy rung với tần số  $f = 50 \text{ Hz}$  để truyền dao động cho một đầu của sợi dây đàn hồi có độ dài 60 cm, đầu kia của dây được giữ cố định. Người ta quan sát thấy sóng dừng trên dây và đếm được 4 bụng.

Tính bước sóng trên dây và tốc độ truyền sóng.

*Bài giải :*

Dây có hai đầu cố định vậy khi có sóng dừng, độ dài của dây bằng một số nguyên lần nửa bước sóng. Theo công thức (15.5) :

$$l = n \frac{\lambda}{2}$$

với  $n$  là số bụng.

Vậy :

$$\lambda = \frac{2l}{n} = \frac{2 \cdot 60}{4} = 30 \text{ cm}$$

Tốc độ truyền sóng là :  $v = f\lambda = 50 \cdot 30 = 1500 \text{ cm/s.}$

### ?

### CÂU HỎI

- Hãy vận dụng phương trình sóng để giải thích hiện tượng sóng dừng trên dây đàn hồi hai đầu cố định.
- Phát biểu điều kiện để có sóng dừng trên một sợi dây đàn hồi trong hai trường hợp :
  - Dây có một đầu cố định, một đầu tự do.
  - Dây có hai đầu cố định.



## BÀI TẬP

1. Ta quan sát thấy hiện tượng gì khi trên một sợi dây có sóng dừng ?
  - A. Tất cả các phần tử của dây đều đứng yên.
  - B. Trên dây có những bụng sóng xen kẽ với nút sóng.
  - C. Tất cả các phần tử trên dây đều dao động với biên độ cực đại.
  - D. Tất cả các phần tử trên dây đều chuyển động với cùng vận tốc.
2. Sóng truyền trên một sợi dây hai đầu cố định có bước sóng  $\lambda$ . Muốn có sóng dừng trên dây thì độ dài  $l$  của dây phải có giá trị nào dưới đây ?  
A.  $l = \frac{\lambda}{4}$ .      B.  $l = \frac{\lambda}{2}$ .  
C.  $l = \frac{2}{3}\lambda$ .      D.  $l = \lambda^2$ .
3. Trên một sợi dây dài 40 cm có sóng dừng, người ta quan sát thấy có 4 bụng sóng. Tần số dao động là 400 Hz. Tìm tốc độ truyền sóng trên dây.
4. Một dây có một đầu bị kẹp chặt, đầu kia buộc vào một nhánh của một âm thoa có tần số 600 Hz. Âm thoa dao động tạo ra một sóng dừng trên dây có 4 bụng. Tốc độ sóng trên dây là 400 m/s. Tim :
  - a) Bước sóng.
  - b) Độ dài của dây.