

# 14

## SÓNG CƠ PHƯƠNG TRÌNH SÓNG

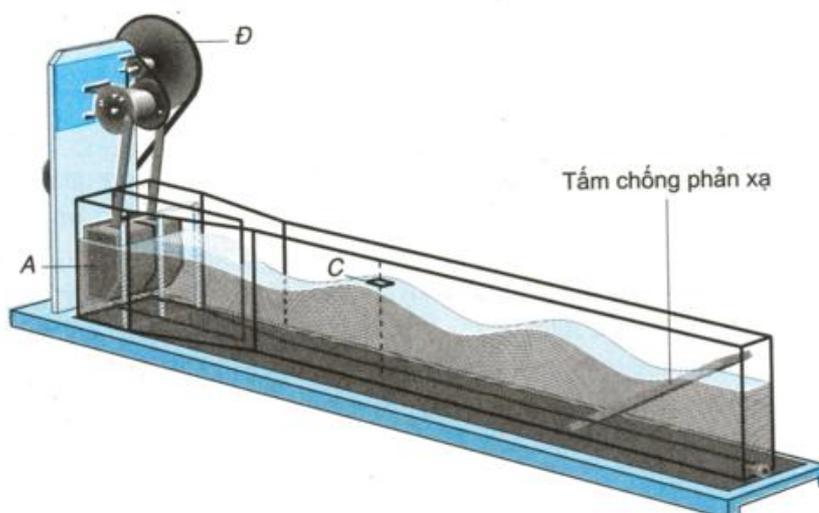
Hằng ngày, ta thường nghe nói đến sóng mặt nước, sóng âm, sóng vô tuyến điện. Vậy sóng là gì, nó có tính chất gì? Sóng có tác dụng gì, có ý nghĩa đối với đời sống và sản xuất như thế nào?

### 1. Hiện tượng sóng

#### a) Quan sát

Ném một viên đá xuống nước. Trên mặt nước xuất hiện những vòng tròn đồng tâm lồi, lõm xen kẽ lan rộng dần tạo thành sóng mặt nước.

Có thể tạo sóng mặt nước trong một thiết bị bằng kính hình hộp chữ nhật (Hình 14.1) gọi là *kênh tạo sóng*. Khi quay đĩa *D* làm cho hình trụ *A* dao động lên, xuống, thì dao động đó được truyền cho các phần tử nước từ gần ra xa. Quan sát qua thành kênh thẳng đứng, ta thấy mặt cắt của nước có dạng sin. Một miếng xốp nhỏ *C* nổi trên mặt nước dao động lên, xuống tại chỗ, còn các đỉnh sóng (chỗ mặt nước lồi lên) chuyển động theo phương nằm ngang ngày càng ra xa tâm dao động.



Hình 14.1 Thiết bị tạo sóng mặt nước trong hộp bằng kính.

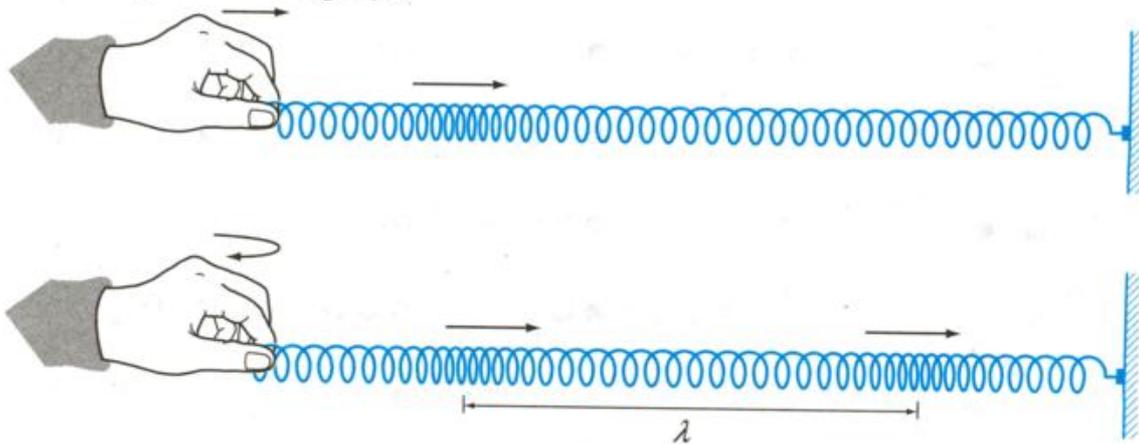
## b) Khái niệm sóng cơ

**Sóng cơ là dao động cơ lan truyền trong một môi trường.**

Khi các phần tử của môi trường dao động theo phương vuông góc với phương truyền sóng, ta gọi đó là *sóng ngang*. Ví dụ như sóng mặt nước.

Khi các phần tử của môi trường dao động theo phương truyền sóng, ta gọi đó là *sóng dọc*. Ví dụ : buộc một đầu lò xo dài vào một điểm cố định, cầm đầu kia của lò xo và truyền cho nó một dao động theo phương của lò xo (Hình 14.2). Các vòng lò xo lần lượt bị nén rồi bị giãn, truyền dao động đi dọc theo lò xo tạo thành sóng dọc.

**C1** Quan sát một lò xo khi có sóng dọc, ta thấy các vùng bị nén (hay giãn) truyền đi dọc theo lò xo. Trong khi đó, nếu quan sát một vòng lò xo có đánh dấu, ta thấy nó chuyển động thế nào ?



Hình 14.2 Sóng dọc trên lò xo bị nén - giãn.

## c) Giải thích sự tạo thành sóng cơ

Hình 14.3 biểu diễn các phần tử của sợi dây đàn hồi. Giữa các phần tử có lực đàn hồi liên kết chúng.

Truyền cho phần tử 0 một dao động theo phương thẳng đứng có chu kì  $T$ .

– Ở thời điểm ban đầu  $t = 0$ , tất cả các phần tử của dây đều đứng yên ở vị trí I.

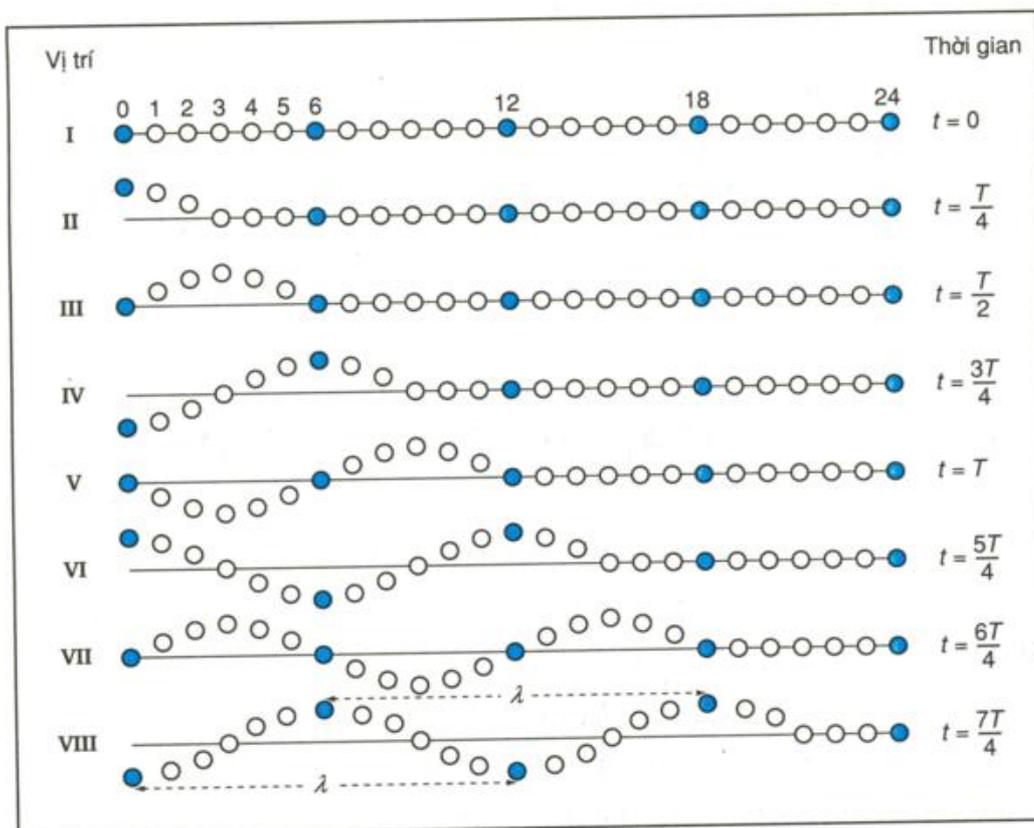
– Trong khoảng thời gian  $t = \frac{T}{4}$ , phần tử 0 chuyển động từ vị trí cân bằng lên vị trí cao nhất. Trong khi đó, lực liên kết đàn hồi kéo phần tử 1

**C2** Hãy chỉ ra vị trí và hướng chuyển động của phần tử số 6 và số 12 của dây trên Hình 14.3 ở các thời điểm  $t = \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}, T, \frac{5T}{4}$ .

chuyển động theo, nhưng chuyển động sau một chút. Cũng như thế, chuyển động được truyền đến phần tử 2, sau phần tử 1 một chút. Dây có vị trí II.

– Phần tử 0 tiếp tục thực hiện dao động và dao động này lần lượt được truyền cho các phần tử tiếp theo của dây. Các phần tử này thực hiện dao động cùng tần số, cùng biên độ với phần tử 0 nhưng trễ pha hơn.

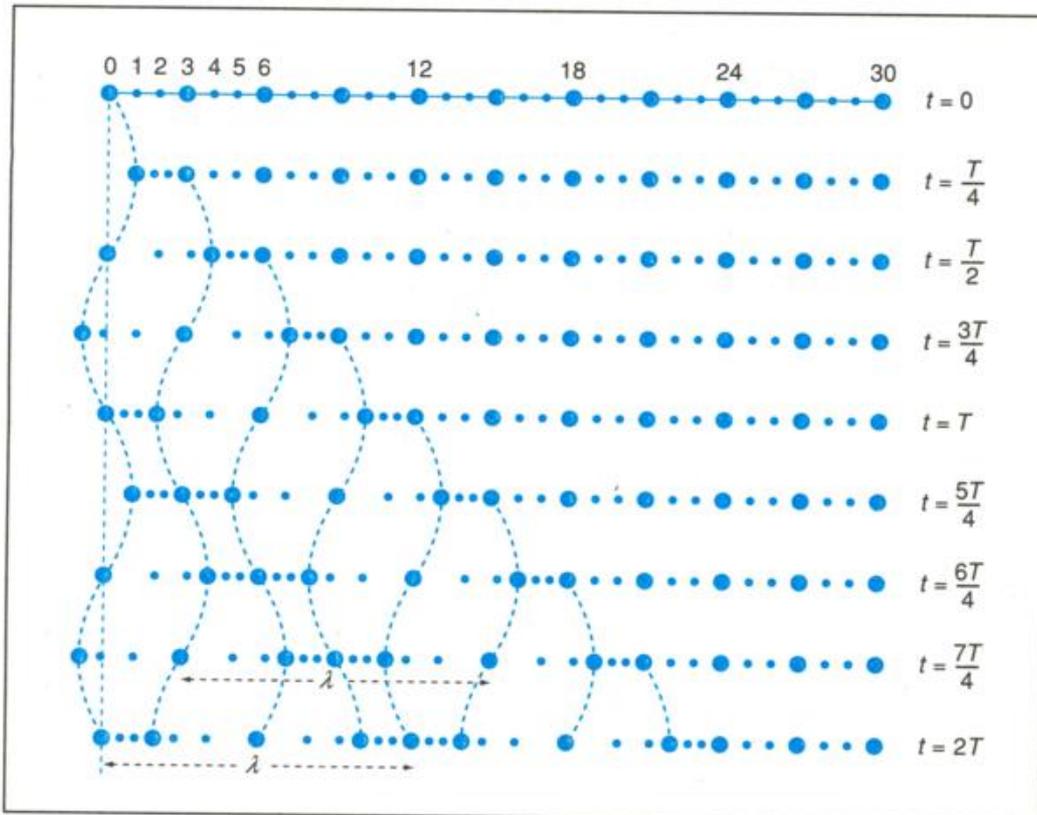
Sóng cơ được tạo thành nhờ lực liên kết đàn hồi giữa các phần tử của môi trường truyền dao động. Phần tử càng ở xa tâm, dao động càng trễ pha hơn.



Hình 14.3 Mô hình biểu diễn vị trí của các phần tử của sóng ngang ở những thời điểm liên tiếp.

Môi trường nào có lực đàn hồi xuất hiện khi bị biến dạng lệch thì truyền sóng ngang. Sóng ngang chỉ truyền trong chất rắn (như sợi dây đàn hồi, tấm kim loại mỏng,...). Sóng trên mặt chất lỏng là một trường hợp đặc biệt. Hợp lực của lực căng bề mặt và

trọng lực có tác dụng giống như lực đàn hồi. Do đó, sóng trên mặt chất lỏng là sóng ngang. Nếu lực đàn hồi xuất hiện khi có biến dạng nén, dãn thì môi trường truyền sóng dọc. Sóng dọc truyền cả trong môi trường rắn, lỏng, khí. Hình 14.4 biểu diễn vị trí các phần tử của một lò xo khi có sóng dọc ở những thời điểm khác nhau. Sóng cơ không truyền được trong chân không.



Hình 14.4 Mô hình biểu diễn vị trí các phần tử của sóng dọc ở những thời điểm khác nhau.

## 2. Những đại lượng đặc trưng của chuyển động sóng

### a) Chu kì, tần số sóng

Tất cả các phần tử của môi trường đều dao động với cùng chu kì và tần số bằng chu kì, tần số của nguồn dao động gọi là chu kì và tần số của sóng.

### b) Biên độ sóng

Biên độ sóng tại mỗi điểm trong không gian chính là

**C3** Hãy chỉ ra vị trí và hướng chuyển động của phần tử số 6 và số 12 của lò xo trên Hình 14.4 ở các thời điểm  $t = \frac{T}{2}$ ,  $\frac{3T}{4}$ ,  $T$ ,  $\frac{5T}{4}$ .

**C4** Hãy chỉ ra một số nguyên nhân làm cho biên độ sóng giảm khi ra xa tâm dao động.

**C5** Hãy chỉ ra trên Hình 14.3 và 14.4 những phần tử dao động cùng pha và so sánh khoảng cách giữa từng cặp hai phần tử gần nhau nhất dao động cùng pha.

Ta biết rằng, khi phần tử 0 bắt đầu dao động thì nó kéo theo những phần tử 1, 2, 3,... dao động nhưng trễ pha hơn. Sau đúng một chu kỳ dao động thì phần tử 12 bắt đầu dao động và dao động cùng pha với phần tử 0. Vậy trong một chu kỳ, pha của dao động đã truyền đi được một đoạn đường bằng một bước sóng. Do đó có thể nói, tốc độ truyền sóng chính là *tốc độ truyền pha dao động*.

Hiện nay người ta biết có nhiều loại sóng như sóng âm, sóng vô tuyến, sóng ánh sáng, sóng Đơ-Bơ-ri,... Các loại sóng đó có bản chất rất khác nhau, nhưng đều là dao động được truyền đi, đều tuân theo những quy luật biến đổi như nhau. Vì thế nhiều kết quả nghiên cứu về sóng cơ có thể áp dụng để nghiên cứu các loại sóng khác.

Dựa vào phương trình sóng, ta còn có thể tìm ra tốc độ, gia tốc, pha của mỗi phần tử của môi trường ở một thời điểm hay một vị trí cho trước.

biên độ dao động của phần tử môi trường tại điểm đó.

Trong thực tế, càng ra xa tâm dao động thì biên độ sóng càng nhỏ.

### c) Bước sóng

Trên Hình 14.3 và 14.4, ta thấy sau một khoảng thời gian  $t = T$  dao động đã truyền được từ phần tử 0 đến phần tử 12. *Quãng đường mà sóng truyền đi được trong một chu kỳ dao động gọi là một bước sóng*. Ta kí hiệu bước sóng bằng chữ  $\lambda$  (lamda).

Chú ý rằng, phần tử 0 và phần tử 12 dao động cùng pha. Vậy có thể nói, *bước sóng là khoảng cách giữa hai phần tử sóng gần nhau nhất trên phương truyền sóng dao động cùng pha*.

### d) Tốc độ truyền sóng

Trong thời gian bằng một chu kỳ, sóng truyền đi được một khoảng bằng một bước sóng  $\lambda$ . Vậy tốc độ truyền sóng là :

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

Trong khi sóng truyền đi, các đỉnh sóng (hay các vùng nén dãn) di chuyển nhưng các phần tử của môi trường vẫn dao động quanh vị trí cân bằng của chúng.

### e) Năng lượng sóng

Ta đã biết một chất điểm dao động điều hoà có cơ năng tỉ lệ với bình phương biên độ dao động. Sóng truyền dao động cho các phần tử của môi trường, nghĩa là truyền cho chúng năng lượng. Quá trình truyền sóng là quá trình truyền năng lượng.

## 3. Phương trình sóng

Để khảo sát định lượng chuyển động sóng, ta cần lập một phương trình xác định li độ  $u$  của mỗi phần tử của môi trường tại điểm có toạ độ  $x$  vào một thời điểm  $t$  bất kì. Phương trình đó gọi là *phương trình sóng*.

### a) Lập phương trình

Xét trường hợp sóng ngang truyền dọc theo một đường thẳng  $Ox$ . Bỏ qua lực cản, như vậy biên độ dao động tại mọi điểm của sóng là như nhau. Lấy đường truyền sóng làm trục  $x$  (Hình 14.5), chiều dương của trục là chiều truyền sóng. Chọn gốc tọa độ  $O$  là điểm sóng đi qua lúc bắt đầu quan sát (thời điểm  $t = 0$ ).

Phần tử của sóng ở  $O$  dao động theo phương vuông góc với trục  $Ox$  có li độ được kí hiệu bằng chữ  $u$ .

Giả sử dao động của phần tử của sóng ở  $O$  là điều hoà, li độ  $u$  biến thiên theo hàm số cosin của thời gian :

$$u_O(t) = A \cos \omega t = A \cos \frac{2\pi}{T} t \quad (14.1)$$

trong đó  $\omega$  là tần số góc của sóng :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Sóng cần một thời gian là  $\frac{x}{v}$  để truyền từ  $O$  đến  $M$ ,  $OM = x$ ,  $v$  là tốc độ truyền sóng. Như vậy, li độ dao động  $u_M$  tại điểm  $M$  vào thời điểm  $t$  sẽ bằng li độ  $u_O$  tại điểm  $O$  vào thời điểm  $t - \frac{x}{v}$ . Ta có :

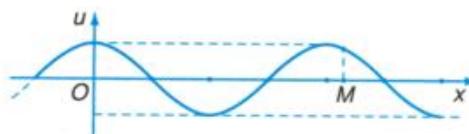
$$u_M(t) = u(x, t) = u_O\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

$$u_M(t) = A \cos \left[ \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \right] \quad (14.2)$$

Thay  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  và  $v = \frac{\lambda}{T}$  vào (14.2), ta có :

$$u_M(t) = A \cos \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right] \quad (14.3)$$

Công thức (14.2) và dạng tương đương (14.3) cho phép ta xác định được li độ  $u$  của phần tử sóng tại một điểm  $M$  bất kì trên đường truyền sóng, gọi là phương trình sóng.



Hình 14.5 Đường biểu diễn sự biến thiên của li độ  $u$  theo tọa độ  $x$  của một sóng tại một thời điểm.

Nếu dao động của nguồn sóng có dạng :

$$u = A \cos \left( \frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right)$$

với  $\varphi_0$  là pha ban đầu, thì phương trình sóng có dạng :

$$u_M(t) = A \cos \left( \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_0 \right)$$

Nếu sóng truyền theo chiều ngược lại từ  $M$  đến  $O$  thì phương trình sóng có dạng :

$$u_M(t) = A \cos \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

### b) Một số tính chất của sóng suy ra từ phương trình sóng

#### • Tính tuần hoàn theo thời gian

Xét một phần tử sóng tại điểm  $P$  trên đường truyền sóng có tọa độ  $x = d$ . Thay giá trị  $x = d$  vào phương trình (14.3), ta có :

$$u_P = A \cos \left( \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi d}{\lambda} \right) \quad (14.4)$$

Như vậy, chuyển động của phần tử sóng tại  $P$  là một dao động tuần hoàn theo thời gian với chu kỳ  $T$ .

Có thể biểu diễn sự biến thiên của  $u_P$  theo thời gian trên đồ thị như Hình 14.6.

#### • Tính tuần hoàn theo không gian

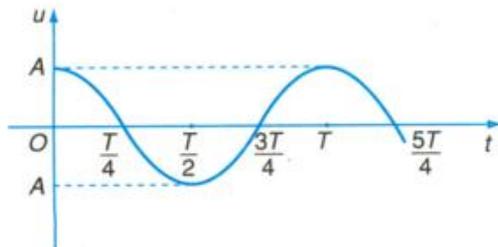
Xét vị trí của tất cả các phần tử sóng tại một thời điểm xác định  $t_0$ . Theo công thức (14.3), ta có :

$$u(x, t_0) = A \cos \left( \frac{2\pi}{T} t_0 - \frac{2\pi}{\lambda} x \right) \quad (14.5)$$

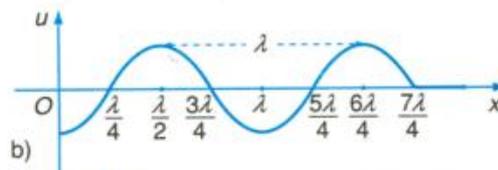
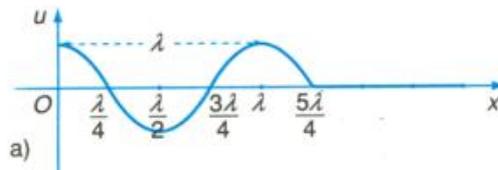
Như vậy, li độ  $u$  biến thiên tuần hoàn theo tọa độ  $x$ , nghĩa là cứ sau mỗi khoảng có độ dài bằng một bước sóng, sóng lại có hình dạng lặp lại như cũ. Hình 14.7 cho ta hình dạng của sóng ở một thời điểm xác định, đó là dạng sin. Ta gọi đó là *sóng dạng sin*. Dưới đây, ta chỉ xét những sóng có dạng sin.

### c) Ví dụ

Cho một sợi dây cao su căng ngang. Làm cho đầu  $C$  của dây dao động theo phương thẳng đứng với biên độ 2 cm và chu kỳ 1,6 s.



**Hình 14.6** Đồ thị biến thiên của li độ  $u$  của một phần tử trên đường truyền sóng theo thời gian.



**Hình 14.7** Hình dạng thật của sợi dây khi sóng truyền trên sợi dây ở các thời điểm :

a)  $t = \frac{5T}{4}$

b)  $t = T + \frac{3T}{4}$

tính từ lúc bắt đầu truyền dao động cho một đầu dây.

Trong các bài sau, dựa vào phương trình sóng ta còn có thể giải thích hay dự đoán một số hiện tượng khác trong thực tế do các sóng gây nên.

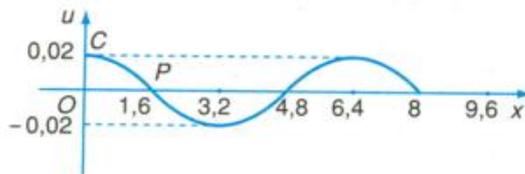
Lúc  $t = 0$ ,  $C$  có li độ cực đại. Sau  $0,3$  s thì dao động truyền đi được  $1,2$  m dọc theo dây.

a) Tìm bước sóng.

b) Viết phương trình dao động của một phần tử  $P$  ở cách đầu dây một đoạn là  $1,6$  m. Chọn gốc thời gian là lúc bắt đầu truyền dao động cho  $C$  từ vị trí có li độ cực đại.

c) Xác định li độ của  $P$  ở thời điểm  $t = 3,2$  s.

d) Vẽ trên đồ thị  $(u, x)$  vị trí của  $P$  lúc đó.



Hình 14.8 Vị trí của phần tử  $P$  ở thời điểm  $t = 3,2$  s.

Bài giải cho ví dụ :

a) Tốc độ truyền sóng

$$v = \frac{\Delta l}{t} = \frac{1,2}{0,3} = 4 \text{ m/s}$$

Bước sóng :

$$\lambda = vT = 4 \cdot 1,6 = 6,4 \text{ m}$$

b) Phương trình sóng có dạng

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

Ta đã biết :  $A = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$  ;

$$T = 1,6 \text{ s} ; \lambda = 6,4 \text{ m} ; x_P = 1,6 \text{ m.}$$

Phương trình dao động của phần tử  $P$  có tọa độ  $x = 1,6$  m là :

$$u = 0,02 \cos \left( \frac{2\pi t}{1,6} - \frac{\pi}{2} \right) \text{ (m)}$$

c) Ở thời điểm  $t = 3,2$  s, phần tử  $P$  có li độ là :

$$\begin{aligned} u_P &= 0,02 \cos \left( \frac{2\pi \cdot 3,2}{1,6} - \frac{\pi}{2} \right) \\ &= 0,02 \cos \frac{\pi}{2} = 0 \text{ (m)} \end{aligned}$$

d) Lúc  $t = 3,2$  s, phương trình sóng có dạng :

$$u = 0,02 \cos \frac{2\pi x}{6,4}$$

Đồ thị  $u$  theo  $x$  có dạng như Hình 14.8.

## ? CÂU HỎI

1. Dùng hình vẽ để giải thích sóng cơ được tạo ra như thế nào ?
2. Sóng dọc và sóng ngang khác nhau ở chỗ nào ?
3. Hãy dùng phương trình sóng để suy ra sóng có tính tuần hoàn theo thời gian và tuần hoàn theo không gian.

**1. Sóng cơ là**

- A. sự truyền chuyển động cơ trong không khí.
- B. những dao động cơ lan truyền trong môi trường.
- C. chuyển động tương đối của vật này so với vật khác.
- D. sự co dãn tuần hoàn giữa các phần tử của môi trường.

**2. Bước sóng là**

- A. quãng đường mà mỗi phần tử của môi trường đi được trong 1 giây.
- B. khoảng cách giữa hai phần tử của sóng dao động ngược pha.
- C. khoảng cách giữa hai phần tử sóng gần nhất trên phương truyền sóng dao động cùng pha.
- D. khoảng cách giữa hai vị trí xa nhau nhất của mỗi phần tử của sóng.

**3. Một sóng có tần số 1 000 Hz truyền đi với tốc độ 330 m/s thì bước sóng của nó có giá trị nào sau đây ?**

- A. 330 000 m.
- B.  $3 \text{ m}^{-1}$ .
- C. 0,33 m/s.
- D. 0,33 m.

**4. Một sóng ngang truyền trên một dây rất dài có phương trình :**

$$u = 6\cos(4\pi t + 0,02\pi x)$$

trong đó  $x$  và  $u$  được tính bằng xentimét (cm) và  $t$  được tính bằng giây (s). Hãy xác định :

- a) Biên độ ;
- b) Bước sóng ;
- c) Tần số ;
- d) Tốc độ ;
- e) Độ dời  $u$  tại  $x = 16,6 \text{ cm}$ , lúc  $t = 4 \text{ s}$ .