

## Bài 8: KHẢO SÁT HIỆN TƯỢNG SÓNG DỪNG TRÊN DÂY

### 1. Mục đích yêu cầu

**1.1. Mục đích:** Mục đích của bài thí nghiệm này là tạo điều kiện để sinh viên quan sát hiện tượng sóng dừng trên một sợi dây và sử dụng hiện tượng sóng dừng để xác định một số đặc trưng của sóng cơ.

### 1.2. Yêu cầu

1. Hiểu được cơ sở lý thuyết của thí nghiệm.
2. Hiểu được cấu tạo và hoạt động của thiết bị thí nghiệm.
3. Biết sử dụng thiết bị tạo sóng dừng trên dây và đồng hồ đo tần số của tín hiệu.
4. Biết cách tiến hành thí nghiệm nhằm xác định bước sóng và tần số của sóng dừng hình thành trên sợi dây.
5. Biết cách tiến hành thí nghiệm để khảo sát sự phụ thuộc của vận tốc truyền sóng cơ trên sợi dây vào lực căng.
6. Viết được báo cáo thí nghiệm, tính được các sai số theo yêu cầu.

### 2. Cơ sở lý thuyết

*Sóng dừng* là hiện tượng giao thoa của hai sóng kết hợp (cùng tần số, và hiệu pha không đổi) có cùng biên độ, truyền ngược chiều nhau, tạo nên các *bụng sóng* (điểm dao động với biên độ lớn nhất) nằm xen giữa các *nút sóng* (điểm không dao động)

Xét một sợi dây mảnh và mềm có chiều dài  $L = OB$ . Đầu B được giữ cố định và đầu O được kích thích dao động với tần số  $f$  theo qui luật:

$$x_0 = a \sin 2\pi f t \quad (1)$$

Dao động của đầu O sẽ truyền đi trên sợi dây dưới dạng sóng ngang với vận tốc  $v$  phụ thuộc lực căng  $F$  của sợi dây và khối lượng riêng  $\mu$  (tức khối lượng của mỗi mét dài) của sợi dây:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (2)$$

Sóng tới từ đầu O sẽ gây ra tại điểm M nằm trên sợi dây và cách B một đoạn  $y = \overline{MB}$  một dao động chậm pha một lượng  $\Delta t_1 = \frac{L-y}{v}$  về thời gian so với O:

$$x_{1M} = a \sin 2\pi \left( f t - \frac{L-y}{\lambda} \right) \quad (3)$$

trong đó  $\lambda$  là bước sóng xác định bởi hệ thức:

$$\lambda = v/f \quad (4)$$

Tương tự, sóng tới từ đầu O sẽ gây ra tại đầu B một dao động chậm pha về thời gian  $\Delta t_2 = L/v$  so với O.

$$x_{1B} = a \sin 2\pi(ft - \frac{L}{\lambda}) \quad (5)$$

Khi tới đầu B, sóng sẽ bị phản xạ ngược lại. Vì đầu B cố định, nên ta phải thừa nhận rằng sóng phản xạ từ B ngược pha với sóng tới B sao cho độ dời của B luôn bằng không, nghĩa là:

$$x_B = x_{1B} + x_{2B} = 0$$

$$\text{hay} \quad x_{2B} = -x_{1B} = -a \sin 2\pi(ft - \frac{L}{\lambda}) \quad (6)$$

Như vậy sóng phản xạ từ B sẽ gây ra tại điểm M một dao động chậm pha một lượng  $\Delta t_3 = y/v$  về thời gian so với B :

$$x_{2M} = -a \sin 2\pi \left[ f \left( t - \frac{y}{v} \right) - \frac{L}{\lambda} \right] \quad (7)$$

Do kết quả giao thoa của sóng tới từ O và sóng phản xạ từ B truyền tới điểm M, nên dao động tổng hợp tại M có giá trị bằng:

$$x_M = x_{1M} + x_{2M} \quad (8)$$

Thay (3) và (7) vào (8), ta tìm được phương trình dao động tổng hợp tại điểm M có dạng:

$$x_M = A \cos 2\pi(ft - \frac{L}{\lambda}) \quad (9)$$

$$\text{với biên độ} \quad A = 2a \sin \frac{2\pi y}{\lambda} \quad (10)$$

Công thức (10) chứng tỏ biên độ dao động tổng hợp tại điểm M chỉ phụ thuộc toạ độ  $y = \overline{MB}$ ;

- Nếu  $\frac{2\pi y}{\lambda} = k\pi$  với  $k = 0, 1, 2 \dots$  hay

$$y = k \frac{\lambda}{2} \quad (11)$$

thì biên độ A sẽ có giá trị nhỏ nhất  $A_{\min} = 0$

Khi đó điểm M đứng yên và được gọi là nút sóng. Trong trường hợp này, sóng tới và sóng phản xạ gây ra tại điểm M các dao động ngược pha nên chúng triệt tiêu lẫn nhau).

- Nếu  $\frac{2\pi y}{\lambda} = (2k+1)\frac{\pi}{2}$  với  $k = 0, 1, 2 \dots$  hay

$$y = (2k+1)\frac{\lambda}{4} \quad (12)$$

thì biên độ  $A$  sẽ có giá trị lớn nhất  $A_{\max} = 2a$

Khi đó điểm  $M$  dao động mạnh nhất và được gọi là *bụng sóng*. Trong trường hợp này, sóng tới và sóng phản xạ gây ra tại điểm  $M$  các dao động cùng pha nên chúng tăng cường lẫn nhau:

Từ công thức (11) và (12) ta rút ra các kết luận sau đây:

- Đầu  $B$  của sợi dây là một nút sóng ( $k = 0, y = 0$ ).
- Các nút và các bụng sóng phân bố xen kẽ cách đều nhau. Khoảng cách  $d$  giữa hai nút hoặc hai bụng sóng kế tiếp đều bằng nửa bước sóng :

$$d = y_{k+1} - y_k = \frac{\lambda}{2} \quad (13)$$

Việc khảo sát quá trình truyền sóng trên sợi dây còn chứng tỏ rằng với lực căng  $F$  cho trước, biên độ dao động tại các bụng sóng chỉ đạt giá trị cực đại ổn định khi sợi dây có độ dài  $L$  bằng:

$$L = OB = kd = k\frac{\lambda}{2} \quad (14)$$

trong đó  $k = 1, 2, 3 \dots$

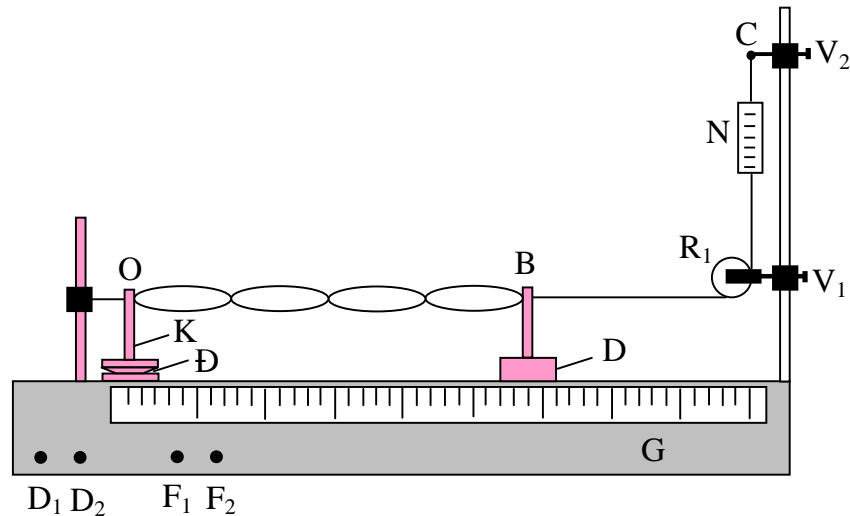
Công thức (14) là điều kiện xuất hiện của sóng dừng trên sợi dây. Nếu ta làm thay đổi độ dài của sợi dây  $OB$  từ giá trị  $L$  nêu trên thì biên độ của các bụng sóng sẽ giảm mạnh. Nói cách khác: với lực căng  $F$  và độ dài  $L$  cho trước của sợi dây  $OB$ , biên độ cực đại của các bụng sóng chỉ thực sự ổn định khi có sóng dừng, nghĩa là khi tần số của nguồn kích thích dao động tại đầu  $O$  lấy các giá trị xác định bằng tần số riêng của sợi dây ( $f, 2f, 3f \dots$  tùy theo số bụng sóng  $k = 1, 2, 3 \dots$ ).

Thay (2), (4) vào (14), ta tìm được hệ thức:

$$\lambda = \frac{2L}{k} = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (15)$$

Thiết bị tạo sóng dừng trên sợi dây dùng trong bài thí nghiệm này gồm một sợi dây  $OB$  mềm và mảnh căng ngang dọc theo thước milimét  $T$  đặt trên giá đỡ  $G$  (hình 1). Đầu dây  $O$  được kích thích dao động với tần số  $f$  nhờ thanh kim loại  $K$  gắn vào màng rung của loa điện động  $D$  duy trì bởi máy phát âm tần  $GF - 597$ . Đầu dây  $B$  được luồn qua một lỗ nhỏ trên đỉnh con trượt  $D$  rồi vắt qua ròng rọc  $R_1$  và nối với lực kế  $N$  treo trên thân của cọc  $C$ . Có thể thay đổi độ dài  $L$  của sợi dây  $OB$  bằng cách dịch chuyển con trượt  $D$  trên giá đỡ  $G$ . Tần số  $f$  của máy phát âm

tần GF - 597 có thể thay đổi trong khoảng 20 đến 20000Hz và được đo bằng đồng hồ đa năng hiện số DT 8202.



Hình 1: Sơ đồ thiết bị khảo sát hiện tượng sóng dừng trên dây

Với sợi dây có độ dài  $L$  cho trước, ta lần lượt thay đổi tần số  $f$  của nguồn sóng (nguồn kích thích dao động) và lực căng  $F$  tác dụng lên sợi dây để khảo sát hiện tượng sóng dừng trên sợi dây khi có cộng hưởng với  $k = 1, 2, 3 \dots$  bụng sóng. Từ đó, xác định được bước sóng  $\lambda$  và vận tốc  $v$  của sóng truyền trên sợi dây:

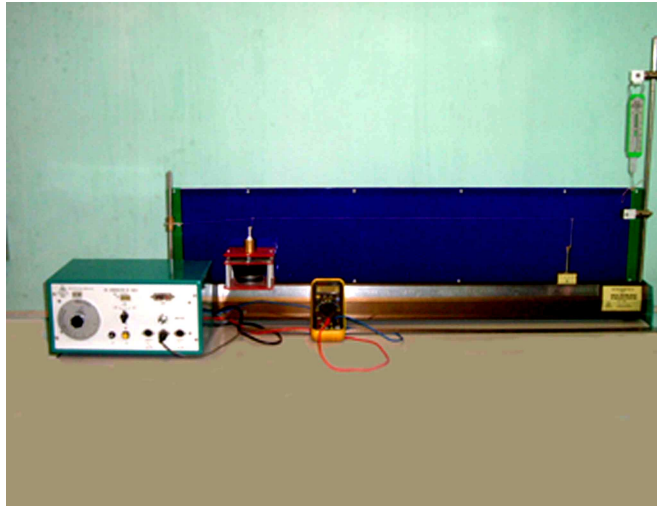
$$v = \lambda f \quad (16)$$

Đồng thời có thể xác định được sự phụ thuộc của bước sóng  $\lambda$  vào tần số  $f$  và lực căng  $F$  theo các quan hệ hàm số  $\lambda = f(f)$  và  $\lambda = f(F)$ .

### 3. Dụng cụ

Bộ thí nghiệm khảo sát hiện tượng sóng dừng trên dây (hình 2) gồm:

1. Nguồn kích thích dao động (loa điện động);
2. Máy phát âm tần GF - 597;
3. Đồng hồ đo tần số hiện số DT 8202;
4. Thước thẳng 0 đến 1000 mm;
5. Giá đỡ có máng trượt dài 1,2m;
6. Con trượt có cọc dài 20 cm;
7. Sợi dây mềm và mảnh dài 1,5m;
8. Ròng rọc và 2 khớp nối đa năng;
9. Cọc sắt (1 cọc dài 60 cm, 1 cọc dài 30 cm);
10. Lực kế bảng (0 đến 5N).



Hình 2: Bộ thí nghiệm khảo sát hiện tượng sóng dừng trên dây

#### 4. Trình tự thí nghiệm

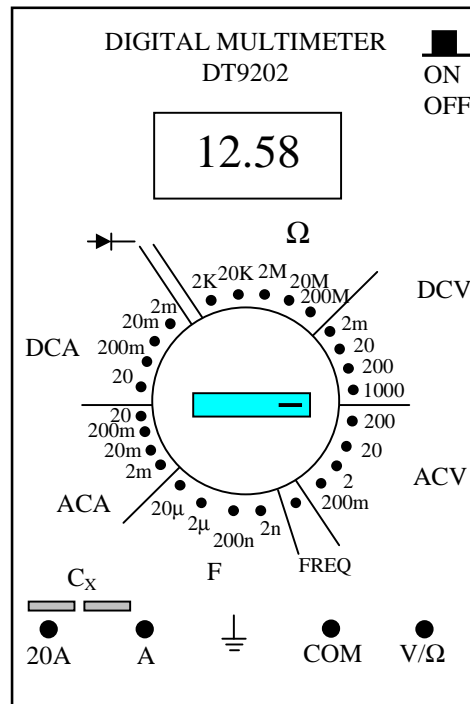
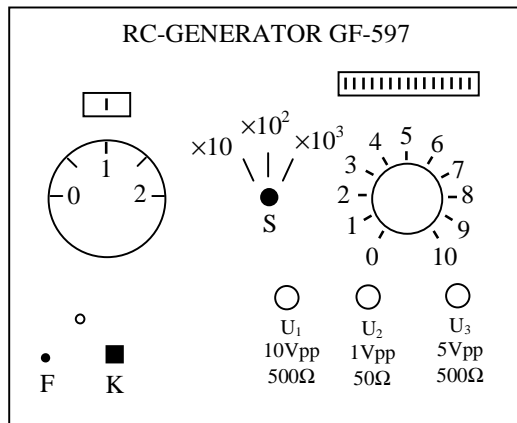
##### 4.1. Chuẩn bị thí nghiệm

1. Phối hợp điều chỉnh các khớp nối  $V_1$ ,  $V_2$  để kéo căng sợi dây OB theo phương ngang và lực kế N chỉ giá trị lực căng  $F = 1,0N$ .

Sau đó dịch chuyển con trượt D dọc theo máng của giá đỡ G tới vị trí nằm cách cạnh hộp loa điện động Đ khoảng 5 cm.

2. Nối các đầu cắm  $D_1$ ,  $D_2$  của loa điện động Đ vào ổ cắm 1Vpp trên mặt máy phát âm tần GF - 597 (hình 3) bằng một sợi dây kép có đầu cắm 5 chân. Vận nút chuyển mạch S của nó về thang đo  $\times 10$  và vận đĩa quay 2 về vị trí tận cùng bên phải. Cắm phích lấy điện của máy phát âm tần vào nguồn điện  $\sim 220V$ . Bấm khoá K trên mặt máy.

3. Nối các đầu cắm  $F_1F_2$  của mạch điện với hai cực “V/ $\Omega$ ” và “COM” của đồng hồ đa năng hiện số DT8202 (hình 4). Vận nút xoay X của đồng hồ này sao cho vạch chuẩn của nó nằm ở thang đo tần số FREQ. Bấm nút “ON” trên mặt đồng hồ để các chữ số hiển thị trên màn hình.



#### 4.2. Khảo sát hiện tượng sóng dừng. Xác định bước sóng và vận tốc truyền sóng

1. Giữ nguyên giá trị của lực căng  $F = 1,0N$ . Vận nhẹ đĩa quay 2 của máy phát âm tần GF - 597 để chọn tần số do nó phát ra bằng  $f = 200Hz$ .

Sau đó dịch chuyển con trượt D ra xa dần về phía bên phải cho tới khi quan sát thấy sóng dừng trên đoạn dây OB với bụng sóng  $k$  lần lượt bằng 1, 2, 3, 4, 5.

Dùng thước 0 đến 200 cm đo độ dài  $L$  của đoạn dây OB. Đọc và ghi giá trị của độ dài  $L$  tương ứng với mỗi giá trị của số bụng sóng  $k$  vào bảng 1 để xác định bước sóng  $\lambda$  và vận tốc truyền sóng  $v$ .

2. Giữ nguyên giá trị của lực căng  $F = 1,0\text{N}$ . Dịch chuyển con trượt D để chọn độ dài của đoạn dây OB bằng  $L = 0,80\text{m}$ .

Vặn nhẹ đĩa quay 2 của máy phát âm tần GF-597 để điều chỉnh tần số  $f$  từ giá trị thấp nhất (20Hz) lên cao dần cho tới khi xuất hiện sóng dừng trên đoạn dây OB với số bụng sóng  $k$  lần lượt bằng 1, 2, 3, 4, 5. Đọc và ghi giá trị tần số  $f$  tương ứng với mỗi giá trị của số bụng sóng  $k$  vào bảng 2.

#### **4.3. Khảo sát sự phụ thuộc của vận tốc truyền sóng vào lực căng của sợi dây**

1. Chọn giá trị độ dài của đoạn dây OB bằng  $L = 0,60\text{m}$ . Điều chỉnh lực kế N để tăng dần lực căng  $F$  từ  $1,0\text{N}$  đến  $4,0\text{N}$ ; mỗi lần tăng  $0,5\text{N}$ .

Với mỗi giá trị của lực căng  $F$ , ta lại điều chỉnh tần số  $f$  của máy phát âm tần GF - 597 cho tới khi xuất hiện sóng dừng với 1 bụng sóng.

Đọc và ghi giá trị của tần số cộng hưởng  $f$  tương ứng với mỗi giá trị của lực căng  $F$  vào bảng 3.

2. Tắt đồng hồ đa năng DT8202 và máy phát âm tần GF - 597.

## 5. Báo cáo thí nghiệm

### KHẢO SÁT HIỆN TƯỢNG SÓNG DỪNG TRÊN DÂY

Xác nhận của giáo viên

Lớp .....

Kíp ..... Nhóm .....

Họ tên.....

#### Mục đích thí nghiệm

.....  
.....

#### Kết quả thí nghiệm

#### 5.1. Khảo sát điều kiện tạo thành sóng dừng. Xác định bước sóng và vận tốc truyền sóng

Bảng 1

- Lực căng tác dụng lên đoạn dây OB: $F = 1,0\text{N}$ - Tần số của nguồn kích thích dao động: $f = 200\text{Hz}$			
k	L (m)	$\lambda = 2L/k$ (m)	$v = \lambda f$ (m/s)
1... 5			

Bảng 2

- Lực căng tác dụng lên đoạn dây OB: $F = 1,0\text{N}$ - Độ dài của đoạn dây OB: $L = 0,800\text{m}$			
k	f (Hz)	$\lambda = 2L/k$ (m)	$1/f$ ( $\text{Hz}^{-1}$ )
1... 5			

Vẽ đồ thị  $\lambda = f(1/f)$  trên giấy vẽ đồ thị



## 5.2. Xác định sự phụ thuộc của vận tốc truyền sóng vào lực căng của sợi dây

Bảng 3

- Độ dài của đoạn dây OB: $L = 0,60\text{m}$			
F (N)	f (Hz)	$\lambda = 2L/k$ (m)	$v^2 = (\lambda f)^2$ (m/s) <sup>2</sup>

Vẽ đồ thị  $v^2 = f(F)$  trên giấy vẽ đồ thị.

## 5.3. Nhận xét kết quả thí nghiệm

a. Khi giữ tần số  $f$  và lực căng  $F$  không đổi, nếu thay đổi độ dài  $L$  của sợi dây OB để xuất hiện sóng dừng (bảng 1), thì bước sóng  $\lambda$  và vận tốc truyền sóng  $v$  sẽ có giá trị ... (không đổi hoặc thay đổi).

Kết quả này ... (phù hợp hoặc không phù hợp) với hệ thức (15).

b. Khi giữ lực căng  $F$  và độ dài  $L$  của sợi dây OB không đổi, nếu thay đổi tần số  $f$  của nguồn kích thích dao động để xuất hiện sóng dừng (bảng 2), thì đồ thị  $\lambda = f(1/f)$  có dạng một đường ... (thẳng hoặc cong), nghĩa là bước sóng  $\lambda$  thay đổi ... (tỷ lệ thuận hoặc tỷ lệ nghịch) với tần số  $f$  của nguồn kích thích dao động.

Kết quả này ... (phù hợp hoặc không phù hợp) với hệ thức (15).

c. Khi giữ độ dài  $L$  của sợi dây OB không đổi (bảng 3), nếu thay đổi lực căng  $F$ , tần số  $f$  của nguồn kích thích dao động để xuất hiện sóng dừng (bảng 3), thì đồ thị  $v^2 = f(F)$  có dạng một đường .... (thẳng hoặc cong), nghĩa là vận tốc truyền sóng  $v$  thay đổi ... (tỷ lệ hoặc không tỷ lệ) với căn số bậc hai của lực căng  $F$ .

Kết quả này ... (phù hợp hoặc không phù hợp) với hệ thức (15).

## 6. Câu hỏi kiểm tra

1. Định nghĩa sóng dừng. Sóng truyền trên sợi dây là sóng dọc hay sóng ngang. Mô tả thiết bị và phương pháp tạo ra sóng dừng trên sợi dây.

2. Tìm phương trình dao động tại một điểm M bất kì trên sợi dây gây ra bởi sự giao thoa của sóng tới từ đầu O và sóng phản xạ từ đầu B của sợi dây truyền tới điểm đó.

3. Viết biểu thức của biên độ dao động tổng hợp tại điểm M. Từ đó suy ra vị trí của nút sóng của bụng sóng và khoảng cách giữa hai nút hoặc hai bụng sóng kế tiếp của sóng dừng trên sợi dây.

4. Nêu rõ điều kiện để xảy ra hiện tượng sóng dừng trên sợi dây.