

## Bài 7: XÁC ĐỊNH GIA TỐC TRỌNG TRƯỜNG BẰNG CON LẮC THUẬN NGHỊCH

### 1. Mục đích yêu cầu

**1.1. Mục đích:** Mục đích của bài thí nghiệm này là trang bị cho sinh viên những kiến thức lý thuyết và kỹ năng thực nghiệm để xác định gia tốc trọng trường bằng con lắc thuận nghịch.

### 1.2. Yêu cầu

1. Hiểu được cơ sở lý thuyết của thí nghiệm.
2. Hiểu được cấu tạo và hoạt động của con lắc thuận nghịch.
3. Biết cách sử dụng con lắc thuận nghịch và máy đo thời gian
4. Biết cách tiến hành thí nghiệm nhằm xác định gia tốc trọng trường bằng con lắc thuận nghịch.
5. Viết được báo cáo thí nghiệm, tính được các sai số theo yêu cầu.

### 2. Cơ sở lý thuyết

Con lắc thuận nghịch là một vật rắn khối lượng  $m$  có thể dao động quanh một trục cố định nằm ngang đặt tại các điểm  $O_1$  và  $O_2$  trên cùng một đường thẳng đi qua trọng tâm  $G$  của con lắc, sao cho chu kỳ dao động của con lắc đối với hai trục  $O_1$  và  $O_2$  có giá trị bằng nhau (hình 1).

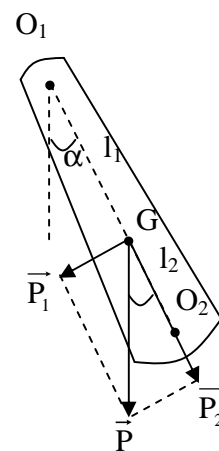
Ở vị trí cân bằng, đường thẳng  $O_1GO_2$  trong con lắc trùng với phương thẳng đứng. Khi kéo con lắc lệch khỏi vị trí cân bằng một góc lệch  $\alpha$  nhỏ, rồi buông nó ra thì thành phần  $\vec{P}_1$  của trọng lực  $\vec{P}=m\vec{g}$  tác dụng lên con lắc mômen lực có độ lớn  $\mu_1$  bằng:

$$\mu_1 = -P_1 l_1 = -mgl_1 \sin \alpha, \text{ vì } \alpha \text{ nhỏ, nên:}$$

$$\mu_1 \approx -mgl_1 \alpha \quad (1)$$

với  $g$  là gia tốc trọng trường,  $l_1$  là khoảng cách từ điểm  $O_1$  đến trọng tâm  $G$ , dấu (-) cho biết mô men lực  $\vec{\mu}_1$  luôn luôn kéo con lắc quay về vị trí cân bằng.

Áp dụng phương trình cơ bản đối với chuyển động quay của con lắc quanh trục đi qua điểm  $O_1$ :



Hình 1

$$\vec{\beta}_1 = \frac{\vec{\mu}}{I_1} \quad (2)$$

ở đây  $\beta_1 = \frac{d^2\alpha}{dt^2}$  là gia tốc góc và  $I_1$  là mômen quán tính của con lắc đối với trục quay đi qua điểm  $O_1$ . Kết hợp (1) với (2) và thay  $\omega_1^2 = \frac{mgl_1}{I_1}$ , ta nhận được phương trình vi phân của dao động điều hoà:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \omega_1^2\alpha = 0 \quad (3)$$

Nghiệm của phương trình (3) có dạng:

$$\alpha = \alpha_0 \cos(\omega_1 t + \varphi) \quad (4)$$

trong đó  $\alpha_0$  là biên độ,  $\omega_1$  là tần số góc,  $\varphi$  là pha ban đầu tại thời điểm  $t = 0$ . Từ phương trình (4), ta suy ra chu kỳ dao động  $T_1$  (theo chiều thuận) của con lắc:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{mgl_1}} \quad (5)$$

Nếu đảo ngược con lắc, rồi cho nó dao động quanh trục đi qua điểm  $O_2$  và tính toán tương tự trên, ta tìm được chu kỳ dao động  $T_2$  (theo chiều nghịch):

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{mgl_2}} \quad (6)$$

với  $l_2$  là khoảng cách từ điểm  $O_2$  đến trọng tâm  $G$  và  $I_2$  là mômen quán tính của con lắc đối với trục quay đi qua điểm  $O_2$ . Gọi  $I_G$  là mômen quán tính của con lắc đối với trục quay đi qua trọng tâm  $G$  và song song với hai trục đi qua  $O_1$  và  $O_2$ , theo định lý Huyghen - Stênơ, ta có:

$$I_1 = I_G + ml_1^2 \quad (7)$$

$$I_2 = I_G + ml_2^2 \quad (8)$$

nên từ các công thức (5), (6), (7), (8), suy ra:

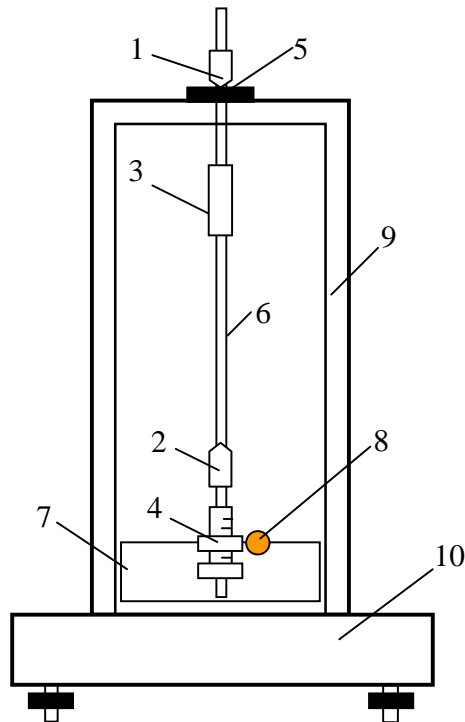
$$\begin{aligned} T_1^2 l_1 g - T_2^2 l_2 g &= 4\pi^2 (l_1^2 - l_2^2) \\ g &= \frac{4\pi^2 (l_1 + l_2)(l_1 - l_2)}{T_1^2 l_1 - T_2^2 l_2} \end{aligned} \quad (9)$$

Trong trường hợp, nếu chọn được các giá trị thích hợp của  $l_1$  và  $l_2$  sao cho  $T_1 \approx T_2 = T$ , thì công thức (9) sẽ trở thành:

$$g \approx \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (10)$$

với  $L = l_1 + l_2$  là khoảng cách giữa hai điểm  $O_1$  và  $O_2$ .

Trong thí nghiệm này, ta xác định gia tốc trọng trường  $g$  bằng con lắc thuận nghịch (hình 2). Trên thanh kim loại 6 có gắn hai con dao cố định 1 và 2, hai gia trọng 3 và 4 (gia trọng 4 có thể dịch chuyển khi quay trên thân vít của nó). Cạnh của dao 1 hoặc 2 được đặt tựa trên mặt kính phẳng của gối đỡ 5. Số chu kỳ và khoảng thời gian dao động của con lắc được ghi bằng máy đo thời gian hiện số MC - 963 nối với cảm biến 8 gắn trên tấm đỡ 7. Trong cảm biến 8 có một đèn phát tia hồng ngoại đặt đối diện với một tế bào quang điện hồng ngoại. Khi con lắc dao động, thanh kim loại 6 đi qua khe của cảm biến 8 và chắn chùm tia hồng ngoại rơi vào tế bào quang điện, gây ra xung điện điều khiển bộ đếm của máy đo thời gian MC - 963 và các chỉ thị số trên mặt máy sẽ hiện ra số chu kỳ và khoảng thời gian dao động tương ứng. Toàn bộ con lắc được đặt trên giá đỡ 9 và hộp chân đế 10 có vít điều chỉnh thăng bằng ở đáy hộp.



Hình 2: Sơ đồ con lắc thuận nghịch

### 3. Dụng cụ

Bộ thí nghiệm xác định gia tốc trọng trường bằng con lắc thuận nghịch (hình 3) gồm:

- 1/ Con lắc thuận nghịch.

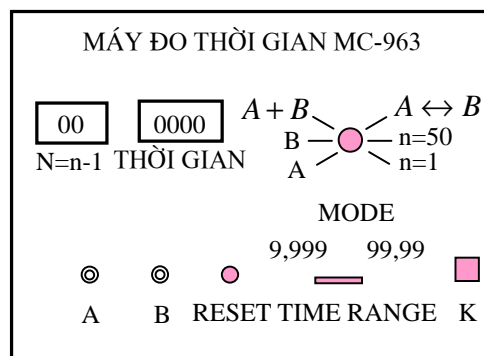
- 2/ Máy đo thời gian hiện số MC - 963.
- 3/ Đầu cảm biến quang điện hồng ngoại.
- 4/ Giá đỡ con lắc + hộp chân đế.



Hình 3: Bộ thí nghiệm xác định gia tốc trọng trường bằng con lắc thuận nghịch

#### 4. Trình tự thí nghiệm

1/ Vận gia trọng 4 tới vị trí 0 trên thân vít của nó. Đặt con lắc nhẹ nhàng lên gối đỡ 5. Vận các vít điều chỉnh ở đáy hộp chân đế 10 để con lắc thẳng đứng và hai cạnh của con dao 1 tiếp xúc hoàn toàn với mặt kính phẳng của gối đỡ 5.



Hình 3

Cắm phích lấy điện của máy đo thời gian MC - 963 vào nguồn điện ~220V và cắm đầu nối của cảm biến 8 vào ổ A trên mặt máy (hình 4). Vặn núm chọn kiểu đo “MODE” sang vị trí  $n = 50$ . Gạt núm chọn thang đo thời gian “TIME RANGE” sang vị trí 99,99 (chính xác 0,01s). Bấm khoá K: các chỉ thị bằng số phát sáng hiện rõ trên khung cửa sổ “chu kỳ” và “thời gian”.

Kiểm tra hoạt động của máy đo thời gian MC - 963 bằng cách thử cho con lắc dao động nhẹ sao cho đầu dưới của thanh kim loại 6 đi qua giữa khe của đầu cảm biến 8. Khi đó các chỉ thị hiện số trên mặt máy MC - 963 sẽ thay đổi (nhảy số) liên tục.

Trong thí nghiệm này, hai điểm tựa  $O_1$  và  $O_2$  (trùng với cạnh của hai dao 1 và 2) đặt cách nhau một khoảng  $L$  không đổi cho trước. Ta phải di chuyển vị trí của gia trọng 4 để thay đổi vị trí khối tâm  $G$  của con lắc sao cho khi đảo ngược con lắc theo trình tự dưới đây, chu kỳ dao động của con lắc theo chiều thuận và theo chiều nghịch có giá trị bằng nhau:  $T_1 = T_2 = T$ .

2/ *Kéo đầu dưới của con lắc lệch khỏi vị trí thẳng đứng một góc nhỏ  $\alpha$  ( $\alpha < 10^\circ$ )* sao cho thanh kim loại 6 vừa đủ che ngang lỗ cửa sổ của tế bào quang điện trong đầu cảm biến 8, rồi thả cho con lắc dao động nhẹ nhàng. Chờ sau vài chu kỳ dao động, ta ấn nút “RESET”: máy đo MC - 963 bắt đầu đếm thời gian của 50 chu kỳ dao động của con lắc, tới khi trên khung cửa sổ “CHU KỲ” xuất hiện số 51 thì máy đo ngừng lại. Đọc và ghi giá trị của khoảng thời gian dao động  $t_1$  trên khung cửa sổ “THỜI GIAN” vào bảng số liệu.

3/ *Đảo ngược con lắc và đặt cạnh của con dao 2 lên mặt của gối đỡ 5.* Tiến hành phép đo tương tự như động tác (2). Đọc và ghi giá trị của khoảng thời gian dao động  $t_2$  vào bảng số liệu.

4/ *Di chuyển gia trọng 4 để tăng khoảng cách  $a$  giữa nó và đầu thanh vít, mỗi lần tăng thêm 5mm (bằng thước kẹp).* Tiến hành phép đo tương tự động tác (2) và (3) tại mỗi vị trí mới của gia trọng 4 ứng với các khoảng cách  $a = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35\text{mm}$ . Đọc và ghi các giá trị của khoảng thời gian  $t_1$  và  $t_2$  tương ứng với mỗi phép đo vào bảng số liệu. Từ đó tính chu kỳ dao động của con lắc thuận nghịch.

- theo chiều thuận:  $T_1 = \frac{t_1}{50}$  (ứng với khoảng cách  $l_1$ )

- theo chiều nghịch:  $T_2 = \frac{t_2}{50}$  (ứng với khoảng cách  $l_2$ )

5/ Vẽ đồ thị  $T_1 = f(a)$ ,  $T_2 = f(a)$  với tỉ lệ thích hợp trên cùng một hệ trục tọa độ. Dựa vào đồ thị này xác định chu kỳ  $T$  của con lắc thuận nghịch.

*Ghi chú:* Trong thí nghiệm này, nếu tìm được giá trị của  $T_1$  và  $T_2$  có 4 số đầu trùng nhau thì có thể coi:  $T_1 = T_2 = T$ . Khi đó ta không cần vẽ đồ thị để xác định  $T$  như trên.

6/ Đọc và ghi giá trị chiều dài  $L$  của con lắc thuận nghịch (bằng khoảng cách giữa các cạnh của hai con dao 1 và 2) vào bảng số liệu. Khi thực hiện xong thí nghiệm, bấm khoá K để tắt máy đo MC - 963 và rút phích cắm điện của nó ra khỏi nguồn ~220V. *Chú ý:* tránh làm rung động mạnh giá đỡ con lắc.

## 5. Báo cáo thí nghiệm

### XÁC ĐỊNH GIA TỐC TRỌNG TRƯỜNG BẰNG CON LẮC THUẬN NGHỊCH

Lớp .....  
Kíp .....Nhóm .....  
Họ tên.....

Xác nhận của giáo viên

#### Mục đích thí nghiệm

.....  
.....

#### Kết quả thí nghiệm

Bảng số liệu

L = ... ± ... (m)				
a (mm)	t <sub>1</sub> (s)	T <sub>1</sub> = $\frac{t_1}{50}$ (s)	t <sub>2</sub> (s)	T <sub>2</sub> = $\frac{t_2}{50}$ (s)
0... 35				

#### 5.1. Tính giá trị trung bình của chu kỳ dao động T của con lắc thuận nghịch

Căn cứ vào bảng số liệu, chọn giá trị đo được của T<sub>1</sub> và của T<sub>2</sub> có 4 chữ số đầu trùng nhau làm giá trị trung bình  $\bar{T}$  của chu kỳ dao động với sai số tuyệt đối  $\Delta T = 0,001s$ .

$$T = \bar{T} \pm \Delta T = \dots \pm \dots (s)$$

Trong trường hợp không thể xác định được T như trên, ta vẽ đồ thị T<sub>1</sub> = f(a) và T<sub>2</sub> = f(a), từ đó suy ra T (giao điểm của hai đồ thị).

#### 5.2. Tính giá trị của gia tốc trọng trường g

- Sai số tương đối:

$$\delta = \frac{\Delta g}{g} = 2 \frac{\Delta \pi}{\pi} + \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta T}{\bar{T}} = \dots = \dots$$

- Giá trị trung bình:

$$\bar{g} = \frac{4\pi^2 L}{\bar{T}^2} = \dots = \dots (m/s^2)$$

- Sai số tuyệt đối trung bình:

$$\Delta g = \delta \bar{g} = \dots = \dots (\text{m/s}^2)$$

- Kết quả của phép đo gia tốc trọng trường:

$$g = \bar{g} \pm \Delta g = \dots \pm \dots (\text{m/s}^2)$$

## 6. Câu hỏi kiểm tra

1/ Định nghĩa con lắc thuận nghịch. Nêu rõ nguyên nhân gây ra dao động của con lắc và viết biểu thức xác định chu kỳ dao động của nó.

2/ Trình bày cách xác định chu kỳ dao động T của con lắc thuận nghịch.

3/ Trong thí nghiệm xác định gia tốc trọng trường bằng con lắc thuận nghịch:

- Tại sao phải tiến hành đo chu kỳ dao động của con lắc với những góc lệch  $\alpha$  nhỏ ( $\alpha < 10^\circ$ )?

- Tại sao sau 50 chu kỳ dao động, trên khung cửa sổ “chu kỳ” của máy đo thời gian MC - 963 lại xuất hiện số 51 mà không phải là số 50?

4/ Dựa vào công thức (10), chứng minh công thức tính sai số tương đối của gia tốc trọng trường g có dạng:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{2\Delta\pi}{\pi} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{2\Delta T}{T} \quad (11)$$

Trong tổng (11), số hạng sai số tương đối nào là lớn nhất và phải lấy giá trị của hằng số  $\pi$  đến chữ số nào? Giải thích rõ tại sao?