

### Bài 3: Nghiệm lại các định luật động lực học trên máy Atwood

#### 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 về giải pháp thực tiễn để nghiệm lại các định luật cơ bản của động lực học trên máy Atwood, một thiết bị thông dụng trong vật lý và kỹ năng sử dụng máy Atwood kết hợp với máy đo thời gian để nghiệm lại trên thực nghiệm các định luật cơ bản của động lực học chất điểm.

#### 1.2. Yêu cầu

1. Hiểu được cơ sở lý thuyết của thí nghiệm.
2. Hiểu được cấu tạo và hoạt động của máy Atwood.
3. Biết cách sử dụng máy Atwood và máy đếm thời gian.
4. Biết cách tiến hành thí nghiệm nhằm nghiệm lại các định luật 1 và 2 của Newton trên máy Atwood.
5. Viết được báo cáo thí nghiệm, tính được các sai số theo yêu cầu.

#### 2. Cơ sở lý thuyết

Máy Atwood (hình 1) là một dụng cụ gồm: một ròng rọc khối lượng  $M$  có thể quay quanh trục của nó đặt nằm ngang tựa trên một giá đỡ thẳng đứng  $G$ , hai quả nặng có cùng khối lượng  $m_1$  và  $m_2$  treo ở hai đầu của một sợi dây mảnh không dẫn vắt qua ròng rọc khối lượng  $M$ . Trên giá đỡ  $G$  có gắn một thước thẳng milimét  $T$ , một khung rỗng  $E$ , một đầu cảm biến thu - phát quang - điện hồng ngoại QĐ đặt trong khung trượt  $C$ , một nam châm điện  $N$  nối với máy đo thời gian hiện số MC - 963 qua một hộp điều khiển khởi động máy Đ. Trong đầu cảm biến quang điện QĐ có một đèn phát tia hồng ngoại đặt đối diện với lỗ cửa sổ của một tế bào quang điện hồng ngoại. Khi quả nặng  $m_1$  chuyển động qua đầu cảm biến QĐ và che sáng cửa sổ của tế bào quang điện, thì máy đo MC - 963 tự động ghi khoảng thời gian che sáng. Dưới tác dụng của gia trọng  $m^*$  đặt trên quả nặng  $m_1$ , hệ vật gồm hai quả nặng  $m_1$   $m_2$  và gia trọng  $m^*$  bắt đầu chuyển động tịnh tiến theo phương thẳng đứng với gia tốc  $a$ , còn ròng rọc  $M$  quay quanh trục cố định nằm ngang của nó với gia tốc góc  $\beta$ .

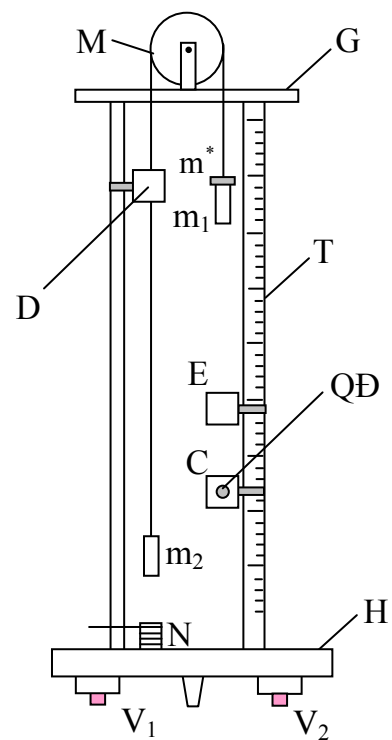
Áp dụng phương trình cơ bản của chuyển động tịnh tiến:

- Đối với quả nặng  $m_1$  và gia trọng  $m^*$ :

$$(m_1 + m^*)a = (m_1 + m^*)g - T_1 \quad (1)$$

- Đối với quả nặng  $m_2$ :

$$m_2 a = -m_2 g + T_2 \quad (2)$$



Hình 1: Sơ đồ máy Atwood

Áp dụng phương trình cơ bản của chuyển động quay quanh trục cố định đối với ròng rọc M:

$$I\beta = (T_1 - T_2)R \quad (3)$$

với  $T_1$  và  $T_2$  là lực căng của hai nhánh dây vắt qua ròng rọc, còn  $I = MR^2/2$  là mô men quán tính của ròng rọc (coi như đĩa tròn) có bán kính  $R$  đối với trục quay của nó. Thay  $\beta = a/R$  và giải hệ phương trình (1), (2), (3) ta tìm được:

$$a = \frac{m^* g}{m_1 + m_2 + m^* + \frac{M}{2}} \quad (4)$$

Nếu  $M \ll m_1 + m_2 + m^*$ , thì (4) trở thành :

$$a \approx \frac{m^* g}{m_1 + m_2 + m^*} \quad (5)$$

Mặt khác, gia tốc của hệ vật ta xét (gồm hai quả nặng  $m_1$ ,  $m_2$  và gia trọng  $m^*$ ) chuyển động không vận tốc ban đầu ( $v_0 = 0$ ) được tính theo công thức:

$$a = \frac{2s}{t^2} \quad (6)$$

với  $s$  là đoạn đường đi của hệ vật trong thời gian chuyển động  $t$ .

Nếu ở cuối đoạn đường đi  $s$ , gia trọng  $m^*$  bị giữ lại trên khung rỗng  $E$  thì hai quả nặng  $m_1$  và  $m_2$  sẽ tiếp tục chuyển động thẳng đều với vận tốc không đổi bằng  $v$ :

$$v = \frac{h}{t} \quad (7)$$

với  $h$  là độ dài của quả nặng  $m_1$ , còn  $t$  là khoảng thời gian che sáng của quả nặng  $m_1$  khi nó chuyển động thẳng đều đi qua cảm biến QĐ.

Trong thí nghiệm này, ta sẽ khảo sát các định luật chuyển động thẳng đều, thẳng biến đổi đều và nghiệm lại định luật Newton thứ hai trên máy Atwood.

### 3. Dụng cụ

Bộ thí nghiệm trong bài (hình 2) gồm có:

1. Máy Atwood gồm giá đỡ  $G$  có hai thanh trượt cao 1,20m và mặt chân đế  $H$ , ròng rọc  $M$ , hai quả nặng  $m_1$ ,  $m_2$  nối với nhau bằng một sợi dây, bốn gia trọng cùng khối lượng  $m^*$ , các khung trượt  $C$ ,  $E$ ,  $D$  và dây dọi.
2. Nam châm điện  $N$ .
3. Hộp điều khiển khởi động máy  $\Delta$ .
4. Máy đo thời gian hiện số MC-963.
5. Cảm biến thu phát quang điện hồng ngoại QĐ.

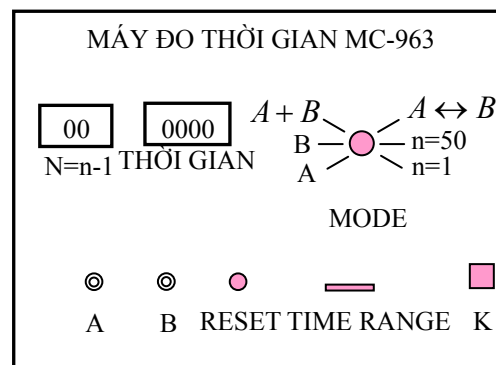


Hình 2: Bộ thí nghiệm khảo sát các định luật động lực học trên máy Atwood

#### 4. Trình tự thí nghiệm

##### 4.1. Khảo sát chuyển động thẳng đều

1. Cắm phích điện của máy đo thời gian MC - 963 vào nguồn điện  $\sim 220V$ . Nối hộp điều khiển Đ với ổ A và nối cảm biến quang điện QĐ với ổ B trên mặt máy đo thời gian MC - 963 (hình 3). Vận nút “MODE” sang vị trí B. Gạt nút “TIME RANGE” sang vị trí 9,999. Bấm khoá K: các chữ số hiển thị trên cửa sổ “CHU KỲ” và “THỜI GIAN”.



Hình 3

2. Dịch khung rỗng E tới vị trí 700mm trên thước T (xác định ở mặt trên của khung rỗng E). Điều chỉnh giá đỡ G thẳng đứng song song với dây dọi bằng cách vận các vít  $V_1, V_2$  ở dưới mặt chân đế H sao cho quả nặng  $m_1$  có thể nằm cân bằng ở chính giữa khung rỗng E. dịch khung trượt C tới vị trí để cảm biến QĐ nằm cách mặt trên của khung rỗng E một khoảng đúng bằng  $s = 50$  mm trên thước T (xác định ở giữa khung trượt C). Kéo quả nặng  $m_2$  tới tiếp xúc với nam châm điện N và bị hút lại tại đó. Đặt nhẹ 2 gia trọng  $m^*$  lên quả nặng  $m_1$ . Bấm nút “RESET”. Sau đó, bấm nút hộp điều khiển Đ để ngắt điện vào nam châm điện N và khởi động đồng thời máy đo thời gian MC- 955. Hệ vật gồm hai quả nặng  $m_1, m_2$  và hai gia trọng  $m^*$  bắt đầu chuyển động nhanh dần đều. Khi đi qua khung rỗng E, 2 gia trọng  $m^*$  bị giữ lại, còn hai quả nặng  $m_1, m_2$  tiếp

tục chuyển động với vận tốc  $v$  đi qua đầu cảm biến QĐ. Đọc và ghi vào bảng 1 khoảng thời gian che sáng  $t$  khi quả nặng  $m_1$  đi qua đầu cảm biến QĐ.

3. Thực hiện lại phép đo này ứng với những giá trị khác nhau của khoảng cách  $s$  ghi trong bảng 1 (bắt đầu từ  $s = 50$  mm, mỗi lần tăng thêm 50 mm).

4. Tính vận tốc  $v$  của hệ vật trong mỗi phép đo theo công thức (7) và tính sai số tuyệt đối  $\Delta v$  của phép đo cuối cùng trong bảng 1 theo công thức:

$$\Delta v \approx v \left( \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta t}{t} \right) \quad (8)$$

So sánh giá trị vận tốc  $v$  của các phép đo trong bảng 1 trong giới hạn sai số tuyệt đối  $\Delta v$  của phép đo cuối cùng. Nêu kết luận về tính chất chuyển động của hệ vật.

#### 4.2. Khảo sát chuyển động thẳng nhanh dần đều

1. Vận nút “MODE” sang vị trí A  $\leftrightarrow$  B. Kéo quả nặng  $m_2$  tới tiếp xúc với nam châm điện N và bị hút lại tại đó. Dịch khung rỗng E lên phía trên quả nặng  $m_1$  và dịch khung trượt C đến vị trí sao cho đầu cảm biến quang điện QĐ cách đáy quả nặng  $m_1$  một đoạn  $s = 500$  mm. Đặt nhẹ 2 gia trọng  $m^*$  lên quả nặng  $m_1$ .

Bấm nút “RESET”. Sau đó, bấm nút hộp điều khiển Đ để hệ vật gồm hai quả nặng  $m_1, m_2$  và hai gia trọng  $m^*$  chuyển động với gia tốc  $a$  đi qua cảm biến QĐ. Đọc và ghi vào bảng 2 khoảng thời gian chuyển động  $t$  của hệ vật (tính đến thời điểm quả nặng  $m_1$  vừa tới cảm biến QĐ).

2. Thực hiện lại phép đo này ứng với những giá trị khác nhau của khoảng cách  $s$  ghi trong bảng 2 (bắt đầu từ  $s = 500$  mm, mỗi lần tăng thêm 50 mm).

3. Tính gia tốc  $a$  của hệ vật trong mỗi phép đo theo công thức (6) và tính sai số tuyệt đối  $\Delta a$  của phép đo cuối cùng trong bảng 2 theo công thức:

$$\Delta a \approx a \left( \frac{\Delta s}{s} + 2 \frac{\Delta t}{t} \right) \quad (9)$$

So sánh giá trị gia tốc  $a$  của các phép đo trong bảng 1 trong giới hạn sai số tuyệt đối  $\Delta a$  của phép đo cuối cùng. Nêu kết luận về tính chất chuyển động của hệ vật.

4. Vẽ đồ thị  $y = f(x)$  với tỷ lệ thích hợp, trong đó  $y = s$  và  $x = t^2$ .

a) Hãy nêu kết luận về dạng đồ thị này và quan hệ hàm số giữa đường đi  $s$  và khoảng thời gian chuyển động  $t$  của hệ vật.

b) Dựa vào đồ thị này, hãy tính gia tốc  $a$  của hệ vật chuyển động.

#### 4.3. Nghiệm lại định luật Newton thứ hai

1. Đặt nút “MODE” ở vị trí A  $\leftrightarrow$  B. Kéo quả nặng  $m_2$  tới tiếp xúc với nam châm điện N và bị hút lại tại đó. Dịch khung rỗng E lên phía trên quả nặng  $m_1$  và dịch khung trượt C đến vị trí sao cho đầu cảm biến quang điện QĐ cách đáy quả nặng  $m_1$  một đoạn  $s = 500$  mm. Đặt nhẹ 4 gia trọng  $m^*$  lên quả nặng  $m_1$ .

Bấm nút “RESET”. Sau đó, bấm nút hộp điều khiển Đ để hệ vật gồm hai quả nặng  $m_1, m_2$  và 4 gia trọng  $m^*$  chuyển động nhanh dần đều với gia tốc không đổi  $a_1$  dưới tác dụng của lực kéo  $F_1 = 4m^*g$ .

Thực hiện 3 lần phép đo này. Đọc và ghi vào bảng 3 khoảng thời gian chuyển động  $t_1$  của hệ vật (tính đến thời điểm quả nặng  $m_1$  vừa tới cảm biến QĐ) trong mỗi lần đo.

2. Chuyển bớt 1 gia trọng từ bên quả nặng  $m_1$  sang bên quả nặng  $m_2$  và tiến hành phép đo tương tự như trên. Trong trường hợp này, hệ vật chuyển động nhanh dần đều với gia tốc  $a_2$  dưới tác dụng của lực kéo  $F_2 = 2m \cdot g$ .

Thực hiện 3 lần phép đo này. Đọc và ghi vào bảng 3 khoảng thời gian chuyển động  $t_2$  của hệ vật (tính đến thời điểm quả nặng  $m_1$  vừa tới cảm biến QĐ) trong mỗi lần đo.

3. Dựa vào công thức (6) của chuyển động thẳng biến đổi đều, chứng minh tỷ số gia tốc của hệ vật trong các phép đo này bằng:

$$n = \frac{a_1}{a_2} = \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \quad (10)$$

Tính giá trị của tỷ số này và xác định sai số tuyệt đối  $\Delta n$  của nó theo công thức:

$$\Delta n \approx \left( \frac{\Delta t_1}{t_1} + \frac{\Delta t_2}{t_2} \right) 2n \quad (11)$$

4. Dựa vào công thức 5 của định luật Newton thứ hai, chứng minh tỷ số gia tốc của hệ vật trong các phép đo này bằng:

$$n = \frac{a_1}{a_2} = 2 \quad (12)$$

So sánh giá trị của tỷ số  $n$  tính được theo (10) khi chú ý đến sai số  $\Delta n$  tính theo (11) với giá trị của tỷ số  $n$  trong (12). Từ đó kết luận: trong điều kiện của thí nghiệm này, định luật Newton thứ hai có được nghiệm đúng hay không?

## 5. Báo cáo thí nghiệm

### Khảo sát các định luật động học và động lực học trên máy Atwood

Lớp .....

Xác nhận của giáo viên

Kíp.....Nhóm.....

Họ tên.....

### Mục đích thí nghiệm

.....  
.....

### Kết quả thí nghiệm

#### 5.1. Khảo sát chuyển động thẳng đều

Bảng 1

<ul style="list-style-type: none"><li>- Độ dài của quả nặng <math>m_1</math>: <math>h = \dots \pm \dots</math> (mm) (đo bằng thước kẹp)</li><li>- Độ chính xác của máy đo thời gian: ... (s)</li><li>- Độ chính xác của thước milimét: ... (mm)</li></ul>				
$s$ ( $10^{-3}m$ )	50	100	150	200
$t_i$ (s)	1			
	2			
	3			
$\bar{t}$ (s)				
$v = \frac{h}{t}$ (m/s)				

- Theo công thức (8), sai số tuyệt đối của vận tốc  $v$  đối với phép đo cuối cùng trong bảng 1 có giá trị bằng :

$$\Delta v \approx \dots = \dots \text{ (m/s)}$$

Có thể coi gần đúng:  $v \pm \Delta v = \dots \pm \dots$  (m/s)

**Kết luận:** Trong giới hạn sai số  $\Delta v$  vừa tính được, giá trị vận tốc  $v$  của các phép đo trong bảng 1 có giá trị ... (không đổi hoặc thay đổi). Từ đó suy ra chuyển động của hệ vật là ... (thẳng đều hoặc thẳng không đều).

## 5.2. Khảo sát chuyển động thẳng biến đổi đều

Bảng 2

s (10 <sup>-3</sup> m)		500	550	600	650	700
t <sub>i</sub> (s)	1					
	2					
	3					
$\bar{t}$ (s)						
$\bar{t}^2$ (s <sup>2</sup> )						
$a = \frac{2s}{\bar{t}^2}$ (m/s <sup>2</sup> )						

- Theo công thức (9), sai số tuyệt đối của gia tốc a đối với phép đo cuối cùng trong bảng 2 có giá trị bằng:

$$\Delta a \approx \dots = \dots \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Có thể coi gần đúng:

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

**Kết luận:** Trong giới hạn sai số  $\Delta a$  vừa tính được, gia tốc a của các phép đo trong bảng 1 có giá trị ... (không đổi hoặc thay đổi). Từ đó suy ra chuyển động của hệ vật là thẳng ... (nhận dần đều hoặc không đều).

- Vẽ đồ thị  $y = f(x)$  với  $y = s$  và  $x = t^2$ .

Kết luận:

- Đồ thị  $y = f(x)$  có dạng một ... (đường thẳng hoặc đường cong).

- Đường đi s của hệ vật chuyển động ... (tỷ lệ bậc nhất với hay tỷ lệ bình phương với) khoảng thời gian chuyển động t.

- Dựa vào đồ thị này, gia tốc a của hệ vật có giá trị (học sinh tự tính):

$$a = \dots = \dots \text{ (m/s}^2\text{)}$$

## 5.3. Nghiệm định luật Newton thứ hai

Bảng 3

		4 m*	2 m*
t <sub>i</sub> (s)	1		
	2		
	3		
$\bar{t}$ (s)			

- Vì hệ vật chuyển động trên cùng đoạn đường  $s = 500\text{mm}$ , nên theo công thức (6) ta có thể viết :

$$a_1 = \dots \text{ (m/s}^2\text{)}, a_2 = \dots \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Từ đó chứng minh được công thức (10) khi lập tỷ số các gia tốc  $n = a_1/a_2$ . Thay giá trị của  $t_1$  và  $t_2$  vào (10), ta tính được tỷ số gia tốc:

$$n = \dots = \dots$$

với sai số tuyệt đối tính theo công thức (9):

$$\Delta n \approx \dots = \dots$$

- Vì hai quả nặng có cùng khối lượng  $m_1 = m_2 = m_0$ , nên theo công thức (5) ta có thể viết:

$$a_1 = \frac{F_1}{2m_0 + 4m^*} = \dots$$

$$a_2 = \frac{F_2}{2m_0 + 4m^*} = \dots$$

Từ đó chứng minh được công thức (12) khi lập tỷ số gia tốc  $n = a_1/a_2$ .

So sánh giá trị của tỷ số gia tốc  $n$  tính theo (10) với giá trị của nó trong (12) trong giới hạn sai số  $\Delta n$  vừa tính được ở trên, ta có thể kết luận:

Trong điều kiện của thí nghiệm này, định luật Newton thứ hai ... (được nghiệm đúng hoặc không được nghiệm đúng).

*Chú ý:* Đồ thị  $y = f(x)$  với  $y = s$  và  $x = t^2$ , học sinh vẽ lên giấy vẽ đồ thị và đính kèm vào báo cáo.

## 6. Câu hỏi kiểm tra

1. Định nghĩa chuyển động thẳng đều. Nêu rõ các đại lượng vật lý (đường đi, vận tốc, gia tốc) đặc trưng cho chuyển động này.

Trình bày phương pháp khảo sát chuyển động thẳng đều trên máy Atwood.

2. Định nghĩa chuyển động thẳng biến đổi đều. Nêu rõ các đại lượng vật lý (đường đi, vận tốc, gia tốc) đặc trưng cho chuyển động này.

Trình bày phương pháp khảo sát chuyển động thẳng biến đổi đều trên máy Atwood.

3. Phát biểu và viết biểu thức của định luật Newton thứ hai. Nói rõ đơn vị và ý nghĩa vật lý của các đại lượng có mặt trong phương trình này.

Trình bày phương pháp nghiệm lại định luật Newton thứ hai trên máy Atwood.

4. Nêu những nguyên nhân chủ yếu nào gây nên sai số của các phép đo trong thí nghiệm này.