



GT.0000027030

ÔNG HẠNH (Chủ biên), ĐẶNG THỊ HƯƠNG

GIÁO TRÌNH

# THÍ NGHIỆM VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG

TẬP 1



NHÀ XUẤT BẢN  
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

Sách tặng



VŨ THỊ HỒNG HẠNH (chủ biên), ĐẶNG THỊ HƯƠNG

GIÁO TRÌNH  
**THÍ NGHIỆM VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG**  
**Tập 1**

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
NĂM 2016

MÃ SÓ:  $\frac{03-77}{\text{ĐHTN-2016}}$

## MỤC LỤC

Lời nói đầu	6
<b>PHẦN I: LÝ THUYẾT SAI SÓ</b>	7
<b>PHẦN II: THỰC HÀNH</b>	31
<b>Bài 1:</b> Làm quen và sử dụng các dụng cụ đo độ dài	31
<b>Bài 2:</b> Phép cân chính xác	42
<b>Bài 3:</b> Xác định khối lượng riêng của vật rắn bằng cân phân tích và bình tỉ trọng	52
<b>Bài 4:</b> Nghiên cứu các tính chất của chuyển động nhờ máy ATWOOD	59
<b>Bài 5:</b> Khảo sát hệ vật chuyển động tịnh tiến – quay xác định mô men quán tính của bánh xe và lực ma sát ồ trực	72
<b>Bài 6:</b> Khảo sát dao động của con lắc vật lý – Xác định gia tốc trọng trường	81
<b>Bài 7:</b> Xác định nhiệt dung riêng của chất lỏng	90
<b>Bài 8:</b> Xác định hệ số nhớt của chất lỏng theo phương pháp STOKES	98
<b>Bài 9:</b> Xác định bước sóng và vận tốc âm theo phương pháp cộng hưởng sóng dừng	108
<b>Bài 10:</b> Xác định tỷ số nhiệt dung phân tử $C_p/C_v$ của chất khí	126
<b>Bài 11:</b> Xác định hệ số cản mặt ngoài của chất lỏng	135
<b>Bài 12:</b> Xác định nhiệt dung riêng của chất rắn	142
<b>Bài 13:</b> Khảo sát các phương trình trạng thái và xác định điểm tới hạn của chất khí	150
<b>Bài 14:</b> Xác định nhiệt nóng chảy của nước đá	159
<b>PHỤ LỤC</b>	167
<b>Tài liệu tham khảo</b>	179

## LỜI NÓI ĐẦU

Đối với sinh viên trường Đại học Sư phạm - Đại học Thái Nguyên, thực hành Vật lý Đại cương là một trong những học phần thực hành bắt buộc, được thực hiện với mục đích khảo sát các hiện tượng, kiểm nghiệm các định luật đã học trong các học phần Vật lý Đại cương, có kỹ năng và kinh nghiệm sử dụng các thiết bị thí nghiệm. Ngoài ra học phần thí nghiệm Vật lý Đại cương còn cung cấp cho sinh viên phương pháp nghiên cứu, rèn luyện tác phong và những đức tính cần thiết của người nghiên cứu khoa học thực nghiệm.

Giáo trình thí nghiệm Vật lý đại cương được biên soạn theo chương trình Thí nghiệm Vật lý Đại cương (1&2) của Khoa Vật lý trường Đại học Sư phạm - Đại học Thái nguyên. Giáo trình gồm hai tập. Tập 1 trình bày hai phần: lý thuyết sai số và một số bài thí nghiệm thuộc phần cơ - nhiệt. Tập 2 trình bày một số bài thí nghiệm thuộc phần điện - từ và quang. Mỗi bài thí nghiệm trong giáo trình trình bày chi tiết mục đích thí nghiệm, giới thiệu thiết bị thí nghiệm, cơ sở lý thuyết và hướng dẫn thực hành. Cuối mỗi bài thí nghiệm có các câu hỏi kiểm tra và phần hướng dẫn viết báo cáo thực hành để sinh viên có thể trình bày kết quả thí nghiệm và vận dụng, củng cố kiến thức đã học. Để giáo trình có tính cập nhật và hiện đại, giáo trình có sử dụng một số tài liệu tham khảo liệt kê ở cuối sách.

Nhóm tác giả bày tỏ sự chân thành cảm ơn đối với lãnh đạo trường Đại học Sư phạm - Đại học Thái nguyên đã tạo điều kiện trong việc biên soạn cuốn giáo trình, cảm ơn các bạn đồng nghiệp đã góp nhiều ý kiến quý báu cho việc hoàn thiện cuốn sách.

Cuốn sách có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho học viên cao học và giáo viên phổ thông.

Thái Nguyên, tháng 6 năm 2016

NHÓM TÁC GIÀ

## PHẦN I

### LÝ THUYẾT SAI SÓ

#### 1.1. Phép đo các đại lượng Vật lý và đơn vị đo lường

##### 1.1.1. Phép đo các đại lượng Vật lý

Vật lý học là một ngành khoa học thực nghiệm, định lượng, liên quan đến thế giới hiện thực. Vì vậy trong Vật lý học, để đặc trưng cho một hiện tượng hoặc tính chất của sự vật người ta dùng các đại lượng đo được (kích thước, vận tốc, khối lượng, nhiệt độ, ...).

Mọi đại lượng Vật lý đều đo được qua các phép đo. Phép đo một đại lượng Vật lý là phép so sánh đại lượng cần đo với một đại lượng cùng loại được quy ước chọn làm đơn vị đo.

Kết quả của phép đo một đại lượng Vật lý (ví dụ như độ dài 5,2 m) bao gồm một giá trị, một đơn vị và độ chính xác. Ký hiệu “m” cho ta biết thứ nguyên là độ dài, đơn vị đo là mét; số 5,2 đặc trưng cho giá trị của đại lượng đo được và độ chính xác của phép đo.

Phép đo các đại lượng Vật lý được chia thành hai loại: phép đo trực tiếp và phép đo gián tiếp.

- *Phép đo trực tiếp*: đại lượng cần đo được so sánh trực tiếp với đại lượng được chọn làm đơn vị, kết quả đo được đọc trực tiếp ngay trên dụng cụ đo.

*Ví dụ*: đo chiều dài bằng thước mét, đo cường độ dòng điện bằng ampe kế,...

- *Phép đo gián tiếp*: đại lượng cần đo được xác định thông qua các đại lượng đo trực tiếp qua các công thức Vật lý

*Ví dụ*: Vận tốc của một vật chuyển động thẳng đều được xác định gián tiếp thông qua công thức  $v = \frac{s}{t}$  trong đó s là quãng đường vật đi được có thể đo trực tiếp bằng thước mét và t là thời gian chuyển động

của vật được đo trực tiếp bằng đồng hồ bấm giây hoặc đồng hồ đo thời gian hiện số.

### 1.1.2. Đơn vị đo lường

Kết quả của một phép đo một đại lượng Vật lý được biểu diễn bởi một giá trị bằng số kèm theo đơn vị đo lường tương ứng.

**Ví dụ:** Chiều dài của cạnh bàn là  $L = 1,22$  m, cường độ dòng điện trong một đoạn mạch là  $I = 0,5$  A; ...

Về nguyên tắc ta có thể chọn đơn vị cho từng đại lượng Vật lý, nhưng do các đại lượng được liên hệ với nhau bằng các công thức, các định luật cho nên ta chỉ cần chọn đơn vị cho một số đại lượng cơ bản còn đơn vị đo các đại lượng khác đều có thể suy ra từ các đơn vị đã chọn ở trên.

Những đơn vị đã chọn cho các đại lượng cơ bản gọi là các đơn vị cơ bản còn các đơn vị khác gọi là đơn vị dẫn xuất. Tập hợp tất cả các đơn vị cơ bản và đơn vị dẫn xuất thành hệ đơn vị đo lường.

Hiện nay, chúng ta dùng các đơn vị đo được quy định trong bảng đơn vị đo lường hợp pháp của nước Việt Nam dựa trên cơ sở của hệ đo lường quốc tế SI (System International d'Unites) bao gồm:

- Các đơn vị cơ bản:

- + Độ dài - mét (m);
- + Khối lượng - kilogram (kg);
- + Thời gian - giây (s);
- + Nhiệt độ - Kelvin (K);
- + Cường độ dòng điện - Ampe (A);
- + Cường độ sáng - candela (Cd);
- + Lượng chất - kilomol (kmol);
- + Đơn vị phụ góc khối - steradian (Sr).

- Các đơn vị dẫn xuất: vận tốc - m/s, lực - N, cường độ điện trường

- V/m, ...

Có thể nói, hầu hết đơn vị của các đại lượng đo gián tiếp đều là đơn vị dẫn xuất.

## 1.2. Sai số của phép đo các đại lượng Vật lý

### 1.2.1. Định nghĩa sai số

Khi đo các đại lượng Vật lý, vì nhiều lý do khách quan và chủ quan ta không đo được chính xác tuyệt đối giá trị của đại lượng Vật lý cần đo. Độ sai lệch giữa giá trị thực và giá trị đo được của đại lượng cần đo gọi là sai số.

$$\Delta x = |x_1 - x| \quad (1)$$

Với:  $\Delta x$ : sai số của phép đo;

$x_1$ : giá trị đo được qua phép đo;

$x$ : giá trị thực của đại lượng cần đo

### 1.2.2. Phân loại sai số

Dựa trên các nguyên nhân gây ra sai số người ta chia sai số ra thành hai loại cơ bản: sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

#### 1.2.2.1. Sai số hệ thống

Sai số hệ thống là sai số gây bởi những yếu tố tác động như nhau liên kết quả đo, độ lớn của sai số này không đổi trong các lần đo được tiến hành trên cùng một loại dụng cụ theo cùng một phương pháp.

**Ví dụ 1:** Dùng một quả cân có sai số 0,1 g để cân vật thì khối lượng của vật cân được bao giờ cũng tăng hoặc giảm một lượng bằng sai số đó.

**Ví dụ 2:** Cân vật bằng lực kế trong không khí, trọng lượng của vật bao giờ cũng giảm đi một lượng bằng trọng lượng của khối không khí bị vật chiếm chỗ (theo định luật Archimedes).

Khi tiến hành thí nghiệm cần cỗ gắng loại trừ hoặc giảm tới mức tối đa sai số hệ thống vì vậy cần phải biết các loại sai số hệ thống và cách khử chúng. Thường chia sai số hệ thống thành ba nhóm:

- **Nhóm 1:** Sai số hệ thống biết rõ nguyên nhân nhưng không biết chính xác giá trị.

Sai số mắc phải loại này là do độ chính xác của mỗi loại dụng cụ chỉ đạt một giá trị nào đó. Đối với mỗi loại dụng cụ ta chỉ biết giá trị lớn nhất của sai số hệ thống có thể mắc phải, thường được ghi ngay trên dụng cụ đo và thường được gọi là độ chính xác của dụng cụ. Loại sai số này còn được gọi là sai số dụng cụ và thường được ghi ngay trên dụng cụ đo.

**Ví dụ:** Trên thước đo nhiệt biếu ghi  $0,05^{\circ}$ , trên thước đo chiều dài ghi  $0,001\text{ m}$  nghĩa là độ chính xác của nhiệt biếu là  $0,05^{\circ}$  của thước là  $0,001\text{ m}$ .

Không thể khử loại sai số này, chỉ có thể khắc phục bằng cách thay dụng cụ có độ chính xác cao hơn hoặc thay đổi thang đo trên dụng cụ (đối với dụng cụ đo điện).

- **Nhóm 2:** Sai số hệ thống biết chính xác nguyên nhân và độ lớn.

Sai số thuộc nhóm này thông thường do sự sai lệch ban đầu của dụng cụ đo. Chẳng hạn khi chưa có dòng điện chạy qua, kim của Ampe kế không chỉ số 0 mà đã chỉ  $0,1\text{ A}$ . Các kết quả đọc trên Ampe kế này đều phải hiệu chỉnh (trừ) một lượng là  $0,1\text{ A}$ .

Như vậy, sai số hệ thống thuộc nhóm này có thể khử được bằng cách hiệu chỉnh (cộng hoặc trừ) vào kết quả đo một lượng đúng bằng độ lệch ban đầu của dụng cụ.

- **Nhóm 3:** Sai số hệ thống do tính chất vật đo.

**Ví dụ:** Khi đo khối lượng riêng một chất rắn được xác định bởi công thức  $\rho = \frac{m}{V}$  (với  $m$  và  $V$  là khối lượng và thể tích của chất đó), nếu bên trong vật có một khoảng trống nào đó dẫn đến thể tích  $V$  đo được lớn hơn thể tích thực của vật thì khối lượng riêng xác định được chắc chắn nhỏ hơn khối lượng riêng thực của vật.

Loại sai số hệ thống này không thấy rõ bản chất và độ lớn. Người ta khắc phục loại sai số này bằng cách đo trên nhiều mẫu vật khác nhau, lấy giá trị trung bình và loại mẫu có sai số lớn.

Như vậy, chỉ có sai số hệ thống nhóm thứ nhất là không khử được hoàn toàn. Vì thế sai số hệ thống mắc phải trong phép đo ít nhất cũng

phải bằng sai số hệ thống loại này, nghĩa là sai số hệ thống nhỏ nhất cũng phải bằng độ chính xác (sai số) của dụng cụ. Độ chính xác của dụng cụ thông thường được xác định bằng giá trị nhỏ nhất mà dụng cụ đó có thể đo được.

Ngoài ra, sự xuất hiện sai số hệ thống còn do phương pháp tiến hành thí nghiệm được lựa chọn chưa tối ưu (công thức để tính đại lượng cần đo chỉ là công thức gần đúng,...).

#### 1.2.2.2. Sai số ngẫu nhiên

Sai số ngẫu nhiên gây bởi những nguyên nhân chủ quan và khách quan rất khác nhau, tác động một cách ngẫu nhiên lên kết quả đo. Sai số ngẫu nhiên có độ lớn khác nhau trong các lần đo. Nói cách khác nó làm cho kết quả đo khi thì lớn hơn, khi thì nhỏ hơn giá trị thực của đại lượng cần đo.

**Ví dụ:** Dùng đồng hồ bấm giây để đo nhiều lần chu kỳ của con lắc đơn hoặc con lắc Vật lý. Do bấm, ngắt đồng hồ không đúng lúc, do gió ảnh hưởng tới sự dao động của con lắc dẫn đến một số các kết quả đo sẽ có giá trị lớn hơn, một số kết quả khác lại có giá trị nhỏ hơn chu kỳ dao động thực của con lắc.

Với sai số ngẫu nhiên, khi các đại lượng cần xác định có số lần đo đủ lớn thì chúng ta tuân theo quy luật thống kê của các hiện tượng ngẫu nhiên.

Với cùng một phương pháp đo, theo phân bố Gauss, sai số ngẫu nhiên có các tính chất sau:

- Những sai số ngẫu nhiên bằng nhau về độ lớn và trái dấu có xác suất xảy ra như nhau.

- Những sai số ngẫu nhiên có giá trị tuyệt đối càng lớn thì xác suất xảy ra càng nhỏ.

- Trị tuyệt đối của sai số ngẫu nhiên không vượt quá một giới hạn xác định.

Ngoài hai loại sai số cơ bản nêu trên, còn một loại sai số nữa: **Sai số lỗi làm**. Nguồn gốc của nó là do người làm thí nghiệm không thận trọng trong khi làm việc. Nếu đo nhiều lần có một giá trị không theo quy

luật, khác xa với các giá trị còn lại ta cần loại trừ hoặc tốt hơn nên đo thêm một vài lần nữa vì trong quá trình đo có thể đã mắc sai số lỗi lầm.

**Tóm lại:** Khi làm thí nghiệm chúng ta cần biết cách xác định hai loại sai số là sai số ngẫu nhiên của phép đo và sai số dụng cụ.

### 1.3. Xử lý số liệu trong phép đo trực tiếp

#### 1.3.1. Sai số ngẫu nhiên ( $\Delta A_n$ )

Giả sử đại lượng cần đo là  $F$  có giá trị thực là  $A$ . Khi tiến hành đo đại lượng này n lần trong cùng một điều kiện, với cùng một phương pháp ta thu được các giá trị  $A_1, A_2, \dots, A_n$  khác với giá trị  $A$ , nghĩa là mỗi lần đo đều có sai số. Loại sai số này tuân theo quy luật thống kê đối với hiện tượng ngẫu nhiên: nếu ta đo nhiều lần (n là số lớn) thì các giá trị  $A_1, A_2, A_n$  được phân bố đều đặn về cả hai phía lân cận giá trị thực của  $A$ . Khi đó giá trị trung bình số học (gọi tắt là giá trị trung bình) ký hiệu là  $\bar{A}$  sẽ gần đúng với giá trị thực  $A$ . Giá trị trung bình xác định theo công thức:

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (2)$$

Sai số ngẫu nhiên được tính theo các bước sau:

- Tính sai số tuyệt đối của đại lượng cần đo trong mỗi lần đo ( $\Delta A_i$ ):

$$\Delta A_1 = |A_1 - \bar{A}| \text{ sai số tuyệt đối của lần đo thứ nhất}$$

....

$$\Delta A_n = |A_n - \bar{A}| \text{ sai số tuyệt đối của lần đo thứ n}$$

- Tính sai số tuyệt đối trung bình  $\overline{\Delta A}$

$$\overline{\Delta A} = \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3 + \dots + \Delta A_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta A_i \quad (3)$$

Sai số tuyệt đối trung bình chính là sai số ngẫu nhiên của phép đo.

#### 1.3.2. Sai số dụng cụ ( $\Delta A_{dc}$ )

Sai số hệ thống nhỏ nhất bằng độ chính xác (hay sai số) của dụng cụ. Độ chính xác của dụng cụ là giá trị nhỏ nhất của đại lượng cần đo mà dụng cụ đó có thể đo được.

- Thông thường độ chính xác của mỗi dụng cụ đo được ghi ngay trên dụng cụ.

**Ví dụ 1:** Thước kẹp có độ chính xác là 0,1 mm (được ghi ở trên thước) thì chỉ có thể dùng thước đó đo được kích thước của các vật  $\geq 0,1$  mm.

**Ví dụ 2:** Cân phân tích có độ chính xác là 0,001 g (1 mg) thi chỉ có thể dùng cân đó xác định khối lượng của các vật  $\geq 1$  mg.

- Trường hợp dụng cụ không ghi rõ độ chính xác, sai số dụng cụ được lấy bằng giá trị một độ chia nhỏ nhất của dụng cụ. Nhưng nếu độ chia nhỏ nhất của dụng cụ nào đó có kích thước lớn hơn nhiều so với khả năng phân giải của mắt người làm thí nghiệm thi có thể lấy sai số dụng cụ bằng  $1/2$  độ chia nhỏ nhất của dụng cụ đó.

**Ví dụ:** Nhiệt kế có độ chia là  $1^{\circ}\text{C}$  mà khoảng cách giữa 2 vạch liên tiếp khá lớn (hơn 1 mm) sai số dụng cụ của nhiệt kế đó sẽ được lấy là  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

- Đối với các đồng hồ đo điện (ampe kế, vôn kế...), sai số hệ thống được xác định dựa trên cấp chính xác của dụng cụ và được ghi rõ trên đồng hồ của dụng cụ. Cấp chính xác của dụng cụ khác với độ chính xác của dụng cụ. Cấp chính xác của dụng cụ biểu thị sai số tương đối, được tính ra phần trăm của giá trị cực đại  $A_{max}$  mà thang đó đo được.

Trong trường hợp này sai số của dụng cụ được tính theo công thức:

$$\Delta A_{dc} = \delta \cdot A_{max} \quad (4)$$

**Ví dụ:** Một miliampe kế có cấp chính xác  $\delta = 1$  và thang đo sử dụng có giá trị cực đại  $I_{max} = 300\text{ mA}$ , thi sai số tuyệt đối của bất kỳ giá trị nào mà nó đo được trên thang này cũng có giá trị bằng:

$$\Delta I_{dc} = 1\% \cdot 300 = 0,01 \cdot 300 = 3\text{ mA}$$

Nếu thang đo có 100 vạch chia thi độ chia nhỏ nhất trên thang đo của miliampe kế có giá trị bằng 3 mA. Trong trường hợp này sai số tính theo cấp chính xác bằng sai số dụng cụ lấy theo giá trị độ chia nhỏ nhất. Nếu thang đo có 150 vạch chia thi độ chia nhỏ nhất trên thang đo có giá

trị bằng 2 mA. Khi đó không được phép lấy sai số dụng cụ bằng một độ chia nhỏ nhất trên thang đo của miliampé kế (2 mA) mà phải lấy sai số dụng cụ bằng 3 mA.

- Sai số dụng cụ của các thiết bị đo hiện số được xác định bằng tổng của sai số được tính theo cấp chính xác và tùy thuộc vào thang đo như đối với đồng hồ đo điện (công thức (4)) cộng với nguyên  $n$  lần một đơn vị của chữ số có cấp nhỏ nhất hiện trên màn hình.

**Ví dụ:** Một vôn kế hiện số có cấp chính xác  $\delta = 1$ , dùng thang đo có giá trị cực đại  $U_{max} = 10$  V và  $n = 1$ . Giá trị hiệu điện thế hiện trên màn hình là 5,7 V nên một đơn vị của chữ số cuối cùng (số 7) tương ứng với 0,1 V. Sai số dụng cụ bằng:

$$\Delta U_{dc} = 1\% \cdot 10 + 0,1 = 0,2 \text{ V}$$

### 1.3.3. Sai số tuyệt đối của phép đo ( $\Delta A$ )

Sai số tuyệt đối của phép đo trực tiếp  $\Delta A$  được xác định bằng tổng của sai số tuyệt đối trung bình của các lần đo  $\overline{\Delta A}$  và sai số dụng cụ  $\Delta A_{dc}$ .

$$\Delta A = \overline{\Delta A} + \Delta A_{dc} \quad (\text{đơn vị}) \quad (5)$$

### 1.3.4. Sai số tương đối của phép đo (sai số %)

Sai số tương đối (sai số tỉ đối) của phép đo được định nghĩa bằng tỉ số giữa sai số tuyệt đối  $\Delta A$  với giá trị trung bình  $\bar{A}$ :

$$\delta = \frac{\Delta A}{\bar{A}} \quad (\%) \quad (6)$$

Sai số tương đối cho phép đánh giá độ chính xác của phép đo. Trong thí nghiệm, sai số tương đối  $\delta$  càng nhỏ phép đo càng chính xác.

### 1.3.5. Viết các kết quả của phép đo

Kết quả của phép đo được viết dưới dạng:

$$A = (\bar{A} \pm \Delta A) \quad (\text{đơn vị}) \quad (7)$$

Công thức (7) được hiểu là giá trị của đại lượng cần đo ( $A$ ) sẽ nằm trong khoảng:

$$A - \Delta A \leq A \leq A + \Delta A$$

### 1.3.6. Nguyên tắc làm tròn số

#### 1.3.6.1. Bậc của một số

Trong hệ thập phân, một số  $A$  bất kỳ có thể viết dưới dạng:  $A = a \cdot 10^n$  (trong đó  $1 \leq a < 10$ ,  $n$  là số nguyên dương, âm hoặc bằng 0). Ta nói  $A$  có bậc  $n$  và đã được viết dưới dạng chuẩn hóa.

*Ví dụ:* số  $1250 = 1,25 \cdot 10^3$  có bậc 3; số  $9,21 = 9,21 \cdot 10^0$  có bậc 0; ...

#### 1.3.6.2. Những nguyên tắc làm tròn số

Trong thực hành, khi tính sai số tuyệt đối của phép đo hoặc giá trị trung bình của các kết quả đo chúng ta có thể nhận được những con số gồm nhiều chữ số khi đó chúng ta phải làm tròn số. Việc làm tròn số phải tuân theo các nguyên tắc và quy tắc sau:

- Nguyên tắc làm tròn số:

+ Sai số tuyệt đối của phép đo trực tiếp không thể chính xác hơn sai số của dụng cụ. Bởi vậy, khi tính sai số ta chỉ giữ lại những chữ số có bậc bằng hoặc lớn hơn bậc của sai số dụng cụ và gọi các chữ số đó là các chữ số có nghĩa. Các chữ số có bậc nhỏ hơn bậc của sai số dụng cụ gọi là các chữ số không tin cậy nên được bỏ đi. Việc bỏ những chữ số không tin cậy (những chữ số ở cuối con số) được gọi là việc làm tròn số.

+ Giá trị trung bình của đại lượng cần đo phải quy tròn đến chữ số có nghĩa cùng bậc với sai số tuyệt đối của nó.

- Quy tắc làm tròn số:

+ Nếu chữ số bỏ đi lớn hơn 5 (từ 6 đến 9) thì sau khi bỏ đi ta phải tăng chữ số liền trước nó lên 1 đơn vị. Ví dụ 1,26 làm tròn thành 1,3.

+ Nếu chữ số bị bỏ đi nhỏ hơn 5 (từ 1 đến 4) thì bỏ đi bình thường không thêm bớt gì cho chữ số liền trước nó. Ví dụ 1,24 làm tròn thành 1,2.

+ Nếu chữ số bị bỏ đi là 5 thì nếu số ngay trước số bỏ đi là số lẻ thì ta bỏ đi số 5 và cộng thêm 1 đơn vị vào số liền trước nó, nếu số ngay trước số 5 là số chẵn thì ta bỏ đi mà không thay đổi gì chữ số liền trước nó. Như vậy nếu chữ số bỏ đi là 5 thì chữ số giữ lại cuối cùng luôn là số chẵn.

**Ví dụ:** 1,75 sẽ viết thành 1,8.

1,65 sẽ viết thành 1,6.

### 1.3.7. Ví dụ về tính sai số của phép đo trực tiếp

Dùng thước kẹp có độ chính xác là 0,1 mm đo 5 lần đường kính ngoài D của một ống hình trụ kim loại, ta được các kết quả trong Bảng 1. Xác định sai số và viết kết quả phép đo đường kính D.

**Bảng 1**

Lần đo	1	2	3	4	5
D (mm)	21,5	21,4	21,4	21,6	21,5

- Giá trị trung bình của đường kính D tính theo công thức (2):

$$\bar{D} = \frac{21,5 + 21,4 + 21,4 + 21,6 + 21,5}{5} = 21,48 \text{ mm} \approx 21,5 \text{ mm}$$

- Sai số tuyệt đối của từng lần đo ( $\Delta D_i$ ) tính theo công thức (1):

$$/ D_1 = |D_1 - \bar{D}| = |21,5 - 21,5| = 0 \text{ mm};$$

$$/ D_2 = |D_2 - \bar{D}| = |21,4 - 21,5| = 0,1 \text{ mm}$$

$$/ D_3 = |D_3 - \bar{D}| = |21,4 - 21,5| = 0,1 \text{ mm};$$

$$/ D_4 = |D_4 - \bar{D}| = |21,6 - 21,5| = 0,1 \text{ mm}$$

$$/ D_5 = |D_5 - \bar{D}| = |21,5 - 21,5| = 0 \text{ mm}$$

Sai số tuyệt đối trung bình  $\bar{\Delta D}$  tính theo công thức (3):

$$/ \bar{D} = \frac{/ D_1 + / D_2 + / D_3 + / D_4 + / D_5}{5} = \frac{0 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 0}{5} \approx 0,1 \text{ (mm)}$$



Sai số tuyệt đối của phép đo xác định theo công thức (5):

$$/D = /D_{dc} + \overline{D} = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ (mm)}$$

- Sai số tương đối của phép đo tính theo công thức (6):

$$\delta = \frac{0,2}{21,5} = 0,0093 \rightarrow \varepsilon = 0,009 = 0,9\%$$

- Kết quả của phép đo:  $D = 21,5 \pm 0,2$  (mm)

Vậy, giá trị thực của đường kính D nằm trong khoảng giá trị:  
 $21,3 \text{ mm} \leq D \leq 21,7 \text{ mm}$

## 1.4. Xử lý số liệu trong phép đo gián tiếp

Giả sử đại lượng cần đo gián tiếp y liên hệ với các đại lượng đo trực tiếp  $x_1, x_2, \dots, x_n$  theo hàm số:  $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  (\*)

Sai số của phép đo đại lượng Y được tính bằng các phương pháp sau:

### 1.4.1. Phương pháp I

(Áp dụng đối với trường hợp các đại lượng đo được trực tiếp ( $x_i$ ) liên hệ với nhau bởi dấu “+” hoặc “-”).

Với phương pháp này ta tính sai số tuyệt đối trung bình trước sau đó mới tính sai số tương đối trung bình. Cụ thể:

- Lấy vi phân toàn phần hàm (\*), ta có:

$$dy = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} dx_n \quad (8)$$

- Thay dấu vi phân “d” bằng dấu sai số (cũng có nghĩa là sai số “ $\Delta$ ” và lấy giá trị tuyệt đối của các vi phân riêng phần, ta có:

$$\Delta y = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \right| \Delta x_1 + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \right| \Delta x_2 + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_n} \right| \Delta x_n \quad (9)$$

$$\text{Hay } \Delta y = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \Delta x_i \quad (9')$$

$\Delta x_i$  là sai số tuyệt đối của các đại lượng đo trực tiếp trong công thức (9') được tính như trong phần 1.3.

Việc lấy giá trị tuyệt đối các vi phân riêng phần cho ta sai số cực đại phù hợp với số lần đo có thể thực hiện được tại phòng thí nghiệm.

$$\text{- Tính sai số tương đối: } \delta = \frac{\Delta y}{\bar{y}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \Delta x_i}{f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)} \quad (10)$$

**Ví dụ:** Để xác định bề dày của một vành kim loại, người ta sử dụng thước kẹp đo đường kính trong  $d$ , đường kính ngoài  $D$  rồi tính bề dày theo công thức:  $x = D - d$ .

Xác định bề dày vành kim loại biết kết quả đo  $D$ ,  $d$  được ghi trong Bảng 2.

Bảng 2

Độ chính xác của thước kẹp: 0,02 mm						
Lần đo	1	2	3	4	5	TB
$D$ (mm)	55,02	55,02	55,00	54,98	54,98	
$d$ (mm)	48,00	48,02	47,98	47,98	48,00	

Thực hiện các bước hướng dẫn trong phần 1.3 ta tính toán được kết quả phép đo  $D$ ,  $d$  như sau:

$$D = 55,00 \pm 0,04 \text{ (mm)},$$

$$d = 48,00 \pm 0,03 \text{ (mm)}$$

$$\text{- Tính sai số tuyệt đối của phép đo } x: \Delta y = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \Delta x_i$$

$$\rightarrow \Delta x = \Delta D + \Delta d = 0,04 + 0,03 = 0,07 \text{ (mm)}$$

- Tính giá trị trung bình của x:

$$\bar{x} = \bar{D} - \bar{d} = 55,00 - 48,00 = 7,00 \text{ (mm)}$$

- Tính sai số tỉ đối của phép đo x:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} = \frac{0,07}{7,00} = 0,01 = 1\%$$

- Viết kết quả phép đo x:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x = 7,00 \pm 0,07 \text{ (mm)}$$

*Chú ý: Có thể sử dụng panme để đo trực tiếp bê dày của vành trụ rỗng, khi đó phép đo trở thành phép đo trực tiếp.*

#### 1.4.2. Phương pháp 2

(Áp dụng đối với trường hợp các đại lượng đo được trực tiếp ( $x_i$ ) liên hệ với nhau bởi các phép tính hoặc hàm phức tạp như nhân, chia, hàm mũ,...)

Với phương pháp này, ta xác định sai số tương đối trước sau đó tính sai số tuyệt đối. Cụ thể:

- Tính lôga cơ số e hàm số (\*):  $\ln y = \ln f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  (11)

- Tính vi phân toàn phần của  $\ln y$ :

$$\frac{dy}{y} = \frac{\partial(\ln y)}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial(\ln y)}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial(\ln y)}{\partial x_n} dx_n \quad (12)$$

- Rút gọn biểu thức của vi phân toàn phần  $\frac{dy}{y}$  bằng cách gộp những vi phân riêng phần chứa cùng vi phân của biến số  $dx_1, dx_2, \dots$ . Lấy tổng giá trị tuyệt đối của các vi phân riêng phần. Thay kí hiệu vi phân “ $d$ ” bằng kí hiệu sai số “ $\Delta$ ”, đồng thời thay  $x_1, x_2, \dots$  bằng các giá trị trung bình của chúng.

Kết quả ta được sai số tương đối:  $\delta = \frac{\Delta y}{y}$

Tính giá trị trung bình:  $\bar{y} = f(\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n})$

Sau đó tính sai số tuyệt đối trung bình:  $\Delta y = \delta \cdot \bar{y}$

Những lưu ý: Để tính toán kết quả đo đổi với những đại lượng do gián tiếp ngoài việc phải tuân theo các nguyên tắc và quy tắc làm tròn số ta cần phải chú ý đến một số nguyên tắc sau:

\* Trong công thức tính sai số tương đối, nếu có một số hạng lớn gấp 10 lần một số hạng khác thì ta có thể bỏ qua số hạng nhỏ, với điều kiện tổng tất cả các số hạng bỏ đi vẫn nhỏ hơn 10 lần so với số hạng lớn giữ lại.

\* Nếu trong công thức tính đại lượng cần đo  $y$  có chứa những con số cho trước mà không ghi sai số kèm theo hoặc chưa chứa những hằng số (Vật lý, toán) thì sai số của chúng được xác định theo quy tắc sau:

+ Sai số tuyệt đối của đại lượng cho trước sẽ lấy bằng một đơn vị của chữ số cuối cùng của nó (lấy sai số như vậy để đảm bảo con số đã cho gồm các chữ số có nghĩa - có bậc lớn hơn hoặc bằng bậc sai số).

Ví dụ:  $D = 12$  mm thì lấy  $\Delta D = 1$  mm;

$D = 12,0$  mm thì lấy  $\Delta D = 0,1$  mm.

+ Đối với những hằng số như  $\pi$ ,  $g$ ,  $e$ , ... thì lấy giá trị của hằng số đó đến chữ số mà sai số tương đối của hằng số ấy nhỏ hơn hoặc bằng  $1/10$  giá trị của ít nhất một sai số tương đối khác (thường chọn số hạng lớn nhất) trong công thức tính và do đó ta có thể bỏ qua sai số của hằng số. Trong trường hợp không tìm được giá trị phù hợp thì buộc phải giữ lại và tính cả vào sai số của phép đo.

\* Giá trị của các hằng số toán, hằng số Vật lý có thể tra trên các máy tính điện tử.

\* Việc làm tròn số và lấy chính xác đến bao nhiêu chữ số đằng sau dấu phẩy là tùy ý sao cho: tuân theo nguyên tắc làm tròn số và phần bỏ đi không quá lớn so với phần giữ lại (nên nhỏ hơn 1%).

**Ví dụ:** Thể tích của khối trụ tính theo công thức  $V = \frac{\pi}{4} D^2 h$ . Xác định thể tích của khối trụ biết rằng, sau khi đo  $h$ ,  $D$  và m ta thu được số liệu như trong Bảng 3.

**Bảng 3**

- Sai số dụng cụ của thước kẹp: 0,1 mm						
Lần đo	1	2	3	4	5	TB
$h$ (mm)	50,0	50,1	50,1	50,1	50,1	
$D$ (mm)	60,4	60,4	60,3	60,3	60,5	

Thực hiện các bước hướng dẫn trong phần 1.3 ta tính toán được kết quả phép đo  $D$ ,  $h$  như sau:

$$D = 60,4 \pm 0,2 \text{ (mm)}; \quad h = 50,1 \pm 0,1 \text{ (mm)}$$

Tính loga cơ số e:  $\ln V = \ln p + 2 \ln D + \ln h - \ln 4$

Tính vi phân của biểu thức thu được:

$$\frac{dV}{V} = \frac{d\pi}{\pi} + 2 \frac{dD}{D} + \frac{dh}{h}$$

Chuyển dấu vi phân thành dấu sai số ta có công thức tính sai số tương đối:

$$\delta = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2 \frac{0,2}{60,4} + \frac{0,1}{50,1} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 0,0086$$

Nếu lấy  $\pi = 3,14 \Rightarrow \Delta \pi = 0,01 \Rightarrow \frac{\Delta \pi}{\pi} = \frac{0,01}{3,14} = 0,0032$  chưa nhỏ hơn 1/10 của 0,0086. Vậy trường hợp này không được lấy  $\pi = 3,14$

Nếu lấy  $\pi = 3,141 \Rightarrow \Delta \pi = 0,001 \Rightarrow \frac{\Delta \pi}{\pi} = \frac{0,001}{3,141} = 0,00032$  nhỏ hơn 0,0086 là 10 lần do đó có thể bỏ qua  $\Delta \pi$ . Vậy lấy  $\pi = 3,141$  và  $\delta = 0,0086 = 0,86\%$ .

Thể tích trung bình của hình trụ là:

$$\bar{V} = \frac{3,141}{4} \cdot 60,42 \cdot 50,1 = 143522,3538 \text{ mm}^3 = 143,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Sai số tuyệt đối của hình trụ là:

$$\Delta V = \delta \bar{V} = 0,0086 \cdot 143,5 \cdot 10^3 \approx 1,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Viết kết quả:  $V = \bar{V} \pm \Delta V = (143,5 \pm 1,2) \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

## 1.5. Biểu diễn kết quả phép đo bằng đồ thị

### 1.5.1. Mục đích và ý nghĩa

Trong phép đo các đại lượng, dù đo trực tiếp hay đo gián tiếp thì đều có sai số, do đó cách vẽ một đồ thị Vật lý theo kết quả đo được bằng thực nghiệm khác với cách vẽ một đồ thi toán học. Phương pháp biểu diễn kết quả các phép đo bằng đồ thị được ứng dụng rộng rãi trong thí nghiệm Vật lý. Phương pháp này cho phép:

- Thể hiện một cách trực quan sự phụ thuộc hàm số của một đại lượng Vật lý này vào một đại lượng Vật lý khác, đồng thời có thể tìm ra các hệ số tỷ lệ và các quy luật Vật lý.

- Nội suy, ngoại suy các giá trị của hàm số (đại lượng phụ thuộc) ứng với giá trị của đối số (đại lượng Vật lý được chọn làm biến số) không có trong bảng số liệu mà do điều kiện thời gian chúng ta không đo được hoặc do điều kiện thiết bị không thể đo được các giá trị đối số đó.

- Tìm điểm cắt nhau của đồ thị của hai hàm số ứng với một giá trị của đối số (tức tìm giá trị bằng nhau của hai hàm số khác nhau).

*Chú ý:* Thông thường tính chất phụ thuộc hàm số giữa các đại lượng trong một hiện tượng Vật lý được biểu diễn bởi những đồ thị phức tạp. Để dễ dàng khảo sát và nhận được nhiều thông số hơn từ đồ thị, ta cần biến đổi các hàm số này sao cho đường biểu diễn nó là một đường thẳng.

Ví dụ: Đồ thị của hàm số  $y = a \cdot e^{kx}$  là một đường cong. Ta tuyến tính hoá đồ thị này bằng cách lấy logarit cơ số  $e$  cả hai vế biểu thức, ta được.

$$\ln y = \ln a + kx$$

Khi đó, đồ thị với trục tung chia theo  $\ln y$ , trục hoành chia theo  $x$  là một đường thẳng.

Hệ toạ độ có một trục chia theo logarit của một đại lượng gọi là hệ toạ độ bán trực logarit.

Hệ toạ độ có hai trục chia theo logarit của hai đại lượng gọi là hệ toạ độ logarit.

### 1.5.2. Phương pháp vẽ đồ thị trong thí nghiệm Vật lý

Vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của  $y$  vào  $x$  cần tuân theo các bước:

- Chọn số lần đo dù lớn đê có thể vẽ được chính xác đồ thị. Chú ý rằng việc tăng số lần đo quá nhiều nói chung không giúp cho đồ thị chính xác hơn. Ví dụ, một đại lượng  $A$  biến thiên trong khoảng từ 0 đến 50 giá trị thì ta chỉ cần lấy giá trị cách nhau từ 5 giá trị với nhau là đủ để vẽ đồ thị chính xác. Nếu trong đồ thị có điểm đặc biệt (điểm cực đại, cực tiểu, hằng số,...) thì tại lân cận những điểm đó cần lấy các giá trị sát nhau hơn.

- Vẽ một hệ trục toạ độ vuông góc trên tờ giấy kẻ ô milimét. Chọn tỷ lệ thích hợp trên các trục để vẽ đồ thị rõ ràng, chính xác, cân đối và chiếm hết khổ giấy. Ghi các giá trị của  $y$  trên trục tung và các giá trị của  $x$  trên trục hoành.

- Với mỗi cặp giá trị của  $y$  và  $x$ , xác định một điểm tương ứng trên đồ thị nằm tại tâm ô vuông sai số (là các dấu chữ thập hoặc hình chữ nhật) có kích thước ngang bằng  $2\Delta x$  và có kích thước dọc bằng  $2\Delta y$ .

- Vẽ đường biểu diễn thành một đường liên tục (thẳng hoặc cong) đi qua nhiều tâm ô vuông sai số nhất hoặc gần các tâm ô vuông sai số sao cho tâm của các ô vuông sai số phân bố đều về cả hai phía của đường biểu diễn. Đường biểu diễn như vậy là đường trung bình của các điểm đo được.

- Từ đồ thị ta có thể nội suy hoặc ngoại suy các giá trị mà ta không thể đo được trực tiếp bằng thực nghiệm của đại lượng Vật lý đang nghiên cứu.

Chú ý:

Trường hợp các số liệu thu được bị phân tán so với quy luật lý thuyết đã cho, nếu có điểm nào đó lệch quá xa so với các điểm khác thì ta có thể bỏ qua điểm này, những điểm như vậy gọi là điểm kỳ dị.

Đoạn nội suy hoặc ngoại suy của đồ thị là đoạn được kéo dài thêm theo quy luật tương quan hàm số.

Đoạn ngoại suy trên đồ thị phải vẽ bằng nét đứt. Sai số của đại lượng đo trên đoạn ngoại suy cùng bậc sai số với đại lượng cùng loại đo bằng thực nghiệm.

*Ví dụ:* Nghiên cứu sự phụ thuộc của điện trở ( $R$ ) của dây dẫn vào nhiệt độ ( $t^0$ ), trong đo lường ta thu được các kết quả ghi trong Bảng 4. Vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của  $R$  vào  $t$ .

Bảng 4

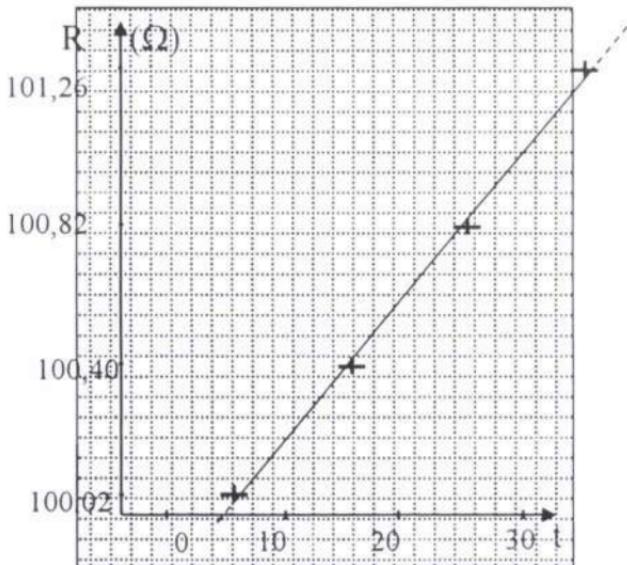
Độ chính xác của nhiệt kế: $1^0\text{C}$				
Sai số dụng cụ của đồng hồ đo điện trở: $\Delta R_{dc} = 0,02 \Omega$				
$t^0\text{C}$	0	10	20	30
$R(\Omega)$	100,02	100,40	100,82	101,26

Chọn hệ trục tọa độ:  $1^0\text{C}$  ứng với 2 ô nhỏ,  $0,02 \Omega$  ứng với 1 ô nhỏ.

Ứng với mỗi giá trị của t chỉ đo một lần được một giá trị của  $R$  nên sai số của hai đại lượng chỉ tính đến sai số dụng cụ.

$$\Delta t = \Delta t_{dc} = 10^0\text{C} \rightarrow 2\Delta t = 20^0\text{C};$$

$$\Delta R = \Delta R_{dc} = 0,02 \Omega \rightarrow 2\Delta R = 0,04 \Omega$$



### 1.5.3. Phương pháp bình phương cực tiểu

#### 1.5.3.1. Mục đích và ý nghĩa

Phương pháp bình phương cực tiểu là phương pháp tìm một hàm toán học với các thông số xác định phản ánh quá trình vật lý thể hiện qua các số liệu thực nghiệm thu được. Đồ thị mô tả hàm toán học tìm được sẽ đi qua gần đúng các điểm thực nghiệm (đây chính là đường trung bình mô tả ở mục 1.5.2).

Tiêu chuẩn của đường thẳng hoặc cong được chọn là :

*Bình phương khoảng cách từ các điểm thực nghiệm đến đường thẳng hoặc đường cong đưa ra có tổng nhỏ nhất ( $\sum \overline{\Delta y}^2 = \min$ )*

Như vậy, dùng phương pháp này cho phép ta kiểm tra sự phù hợp giữa thực nghiệm và lý thuyết đề ra.

Trong quá trình xử lý số liệu thực nghiệm Vật lý, phương pháp này được sử dụng nhằm:

- Tìm mối tương quan tuyến tính giữa hai đại lượng y và x đo được và đánh giá độ phù hợp tuyến tính giữa chúng.

- Tìm một ẩn số chưa biết trong một quan hệ không tuyến tính (trong đó có một số thông số đo bằng thực nghiệm) bằng cách đổi biến số để chuyển sang quan hệ tuyến tính.

- Dự đoán một số cặp số liệu chưa biết thông qua các cặp số liệu đã đo được và xử lý toán học các biến.

### 1.5.3.2. Thực hiện phương pháp

Có thể đưa ra minh họa như sau:

Cho một cặp các giá trị thực nghiệm ( $x; y$ ):

$x$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	.....	$x_n$
$y$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	.....	$y_n$

Ta có thể chọn hàm  $P(x)$  là dạng đa thức bậc  $m$ :

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$$

Để tìm được  $P(x)$  cần phải xác định được các hệ số  $a_0, a_1, \dots, a_m$ .

Nội dung của phương pháp bình phương cực tiểu là phải thỏa mãn:

$$S = \sum [y_i - P(x_i)] = \min$$

Ta sẽ tìm được các hệ số  $a_0, a_1, \dots, a_m$  khi giải hệ các phương trình:  $\frac{\partial S}{\partial a_i} = 0$

Khi áp dụng việc tìm  $P(x)$  nên chọn bậc của đa thức từ thấp đến cao.

**Hồi quy tuyến tính** là một trường hợp riêng của phương pháp bình phương cực tiểu mà kết quả là tìm ra phương trình của đường thẳng (bậc của đa thức  $P(x)$  bằng 1) sao cho đường thẳng đó khớp nhất với các điểm thực nghiệm.

Giả sử đường thẳng phù hợp với các điểm thực nghiệm có dạng:

$$y = mx + b$$

Độ dốc  $m$  và hằng số  $b$  được tính theo *chuẩn bình phương cực tiểu* như sau.

$$m = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}$$

$$b = \frac{\sum y - m \sum x}{N}$$
(13)

Để đánh giá mức độ phù hợp giữa các số liệu thực nghiệm với đường hồi quy tuyến tính, ta dùng hệ số tương quan R.

$$R = m \frac{\delta x}{\delta y}$$
(14)

với  $\delta x, \delta y$  là sai phuơng trung bình theo x và y.

$$\delta x = \left[ \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N-1} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ và } \delta y = \left[ \frac{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}}{N-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$
(15)

Lúc này sai số của phép đo có thể được tính bằng:

$$\delta = 2(1-R)$$
(16)

Hệ số tương qua R càng lớn thì mức độ phù hợp càng cao, khi đó các điểm thực nghiệm càng ít bị phân tán ra khỏi đường thẳng.

Ví dụ :  $R = 1$  thì độ chính xác là 100%, sai số là 0%

$R = 0,9$  độ chính xác là 80%, sai số 20%....

**Ví dụ:** Một nhiệt điện trở bán dẫn có giá trị điện trở R tuân theo công thức:  $R = R_0 e^{\frac{E_g}{2kT}}$ .

Với:  $E_g$  : Độ rộng vùng cấm của bán dẫn (eV)

$$k: Hằng số Boltzmann \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

T: Nhiệt độ (K).

Đo độ rộng vùng cảm  $E_g$  ta thu được bảng số liệu:

$T(K)$	360	370	380	390	400
$R(\Omega)$	309	233,6	178,5	139,0	109,4

Tính  $E_g$  và sai số của nó?

Giai:

$$\text{Theo bài: } R = R_0 e^{\frac{E_g}{2kT}} \Rightarrow \ln R = \ln R_0 + \frac{E_g}{2kT}$$

$$y = \ln R$$

$$b = \ln R_0$$

$$\text{Đặt: } m = \frac{E_g}{2k} \Rightarrow y = b + m \cdot x$$

$$x = \frac{1}{T}$$

Lập bảng số liệu mới:

$T(K)$	360	370	380	390	400
$R(\Omega)$	309	233,6	178,5	139,0	109,4
$x = 1/T$	$2,78 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,63 \cdot 10^{-3}$	$2,56 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
$y = \ln R$	5,73	5,45	5,18	4,93	4,695

$$\sum xy = 68,62 \cdot 10^{-3}$$

$$\sum x = 13,17 \cdot 10^{-3}; \quad \sum x^2 = 34,74 \cdot 10^{-6}$$

$$\sum y = 25,99; \quad \sum y^2 = 135,70$$

$$\text{Tính được: } m = 3400 \quad E_g = 2mk = 0,59 \text{ (eV)}$$

Tính sai số:

$$\text{hệ số tương quan: } R = m \frac{\delta x}{\delta y} = 0,95897$$

Sai số tỉ đối:

$$\leq = \frac{\Delta E_g}{E_g} = 2.(1 - R) = 8\% \quad \Rightarrow \quad \Delta E_g = E_g \cdot 8\% = 0,05 \text{ (eV)}$$

$$E_g = 0,59 \pm 0,05 \text{ (eV)}$$

## CÂU HỎI VÀ KIỂM TRA

1. Người ta phân loại sai số dựa trên cơ sở nào? Có mấy loại sai số? Trình bày các cách loại trừ sai số trong phép đo một đại lượng vật lí bằng thực nghiệm?
2. Tại sao trong thực nghiệm, khi đo một giá trị của một đại lượng Vật lý nào đó ta phải đo nhiều lần?
3. Nếu các quy tắc xác định sai số của phép đo gián tiếp một đại lượng Vật lý. Kết quả tính được viết theo quy tắc như thế nào?
4. Đồ thị Vật lý khác đồ thị toán học như thế nào? Khi vẽ đồ thị Vật lý có những chú ý gì? Đồ thị Vật lý có tác dụng gì trong thực nghiệm và nghiên cứu Vật lý?
5. Tuyến tính hoá đồ thị là gì? Tại sao phải tuyến tính hoá đồ thị? Làm thế nào để tuyến tính hoá đồ thị? Lấy ví dụ minh họa.
6. Tìm công thức sai số tuyệt đối và sai số tương đối của các đại lượng đo gián tiếp sau:

$$\text{a. } s = v_o t + \frac{at^2}{2} \quad \text{với} \quad t = \bar{t} \pm \Delta t \quad v_o = \bar{v}_o \pm \Delta v_o \\ a = \bar{a} \pm \Delta a$$

$$m = m \pm \Delta m$$

$$\text{b. } E = mgh + \frac{mv^2}{2} \quad \text{với} \quad v = v \pm \Delta v \\ h = h \pm \Delta h \\ g = \text{const}$$

## PHẦN II

# THỰC HÀNH

### Bài 1. LÀM QUEN VÀ SỬ DỤNG CÁC DỤNG CỤ ĐO ĐỘ DÀI

#### 1.1. Mục đích thí nghiệm

- Làm quen và sử dụng một số dụng cụ đo độ dài như thước kẹp, panme, cầu kẽ để đo kích thước của các vật rắn.
- Hiểu được nguyên tắc nâng cao độ chính xác của phép đo độ dài.
- Hiểu được cấu tạo của một số dụng cụ đo độ dài có cấp chính xác cao.
- Xác định thể tích của một số vật rắn có hình dạng đối xứng và xác định bán kính cong của chỏm cầu.

#### 1.2. Dụng cụ thí nghiệm

##### 1.2.1. Thành phần thiết bị

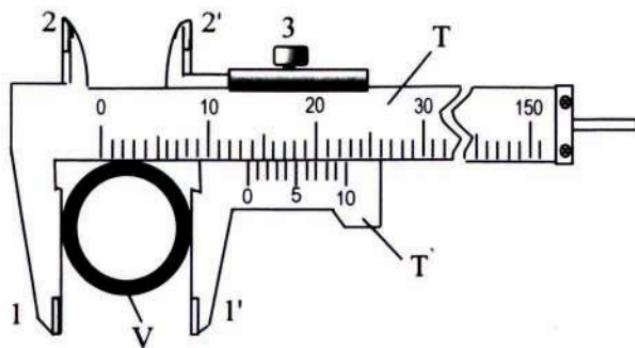
- Thước kẹp  $0 \div 150$  mm, chính xác  $0,02$  mm; vòng đồng (khối trụ rỗng);
- Panme  $0 \div 25$  mm, chính xác  $0,01$  mm; viên bi thép (khối cầu);
- Cầu kẽ (Spherometer) chính xác  $0,01$  mm; bàn thủy tinh phẳng dùng làm mặt phẳng chuẩn; mẫu vật thủy tinh hình chỏm cầu.

##### 1.2.2. Cấu tạo và hoạt động

###### a. Thước kẹp

(Hình 1.1)

Thước kẹp là dụng cụ đo độ dài chính xác hơn thước milimet. Độ chia nhỏ nhất của nó có thể đạt tới  $0,1$  mm;  $0,05$  mm;  $0,02$  mm.



\* Cấu tạo của

Hình 1.1. Thước kẹp

thước kẹp gồm các phần chính dưới đây:

- Một thước chính dạng chữ T, thân thước được khắc các độ chia có giá trị  $a = 1 \text{ mm}$ .

- Một thước T' nhỏ hơn ôm lấy thân thước chính T và có thể trượt dọc theo thân thước chính gọi là du xích. Du xích T' được khắc thành N độ chia, sao cho độ dài của N độ chia này có giá trị đúng bằng độ dài của  $(\zeta \cdot N - 1)$  độ chia trên thước chính T, tức là:  $N \cdot b = (\zeta \cdot N - 1) \cdot a$

( $\zeta = 1$  hoặc  $2$  tùy thuộc loại thước kẹp, còn  $b$  là giá trị mỗi độ chia của du xích).

Suy ra:  $k \cdot a - b = \frac{a}{N} = \Delta$  (1.1)

Đại lượng  $\Delta$  chính là độ chia nhỏ nhất (hay độ phân giải) của thước kẹp, cho biết độ dài nhỏ nhất thước có thể đo được chính xác.

Thước kẹp sử dụng trong bài thực hành có: giới hạn đo  $0 - 150 \text{ mm}$ ;  $k = 1$ ,  $N = 50$  nên  $\Delta = 0,02 \text{ mm}$ .

Đầu đo của thước chính T gắn với hàm kẹp cố định có hai đầu đo 1-2. Đầu đo của du xích T' gắn với hàm kẹp di động có hai đầu đo 1'-2'. Hai đầu đo 1-1' dùng đo kích thước ngoài của vật, hai đầu đo 2-2' dùng đo kích thước trong của vật. Khi hàm kẹp di động 1'-2' áp sát hàm kẹp cố định 1-2 thì vạch số 0 của du xích trùng với vạch số 0 của thước chính: đó là vị trí số 0 của thước kẹp.

#### \* Cách đo độ dài bằng thước kẹp

Muốn đo đường kính ngoài D của chiếc vòng V, ta kéo du xích trượt trên thân thước chính và kẹp chiếc vòng vào giữa hai đầu đo 1-1' của hai hàm kẹp rồi vặn nhẹ vít 3 để giữ cố định vị trí của du xích. Khi đó vạch số 0 của du xích trượt sang phải, vượt qua vạch thứ m trên thước chính T. Như vậy ta xác định được phần nguyên của đường kính D là  $m$  milimet; còn phần lẻ của D được xác định bằng cách quan sát hai dãy vạch đối diện trên du xích và trên thước chính, nếu vạch thứ n trên du

xích trùng hoặc gần sát nhất với một vạch trên thước chính thì phần  $e$  của  $D$  có giá trị bằng  $n\Delta$  milimet. Kết quả là:

$$D = m + n\Delta \text{ (mm)} \quad (1.2)$$

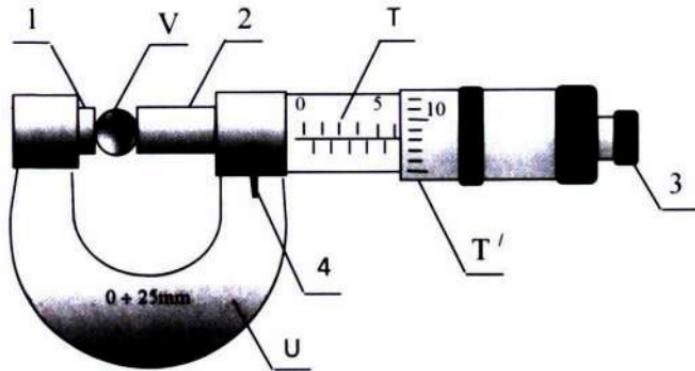
*Ví dụ:* theo Hình 1.1 (trang 31) ta có  $\Delta = 0,1$  mm và  $m = 13, n = 7$

Nên ta tính được  $D = 13,7$  mm.

Công thức (1.2) cũng áp dụng để xác định độ dài của một vật đằng thước kẹp, với sai số dùng cụ lấy bằng giá trị độ chia nhỏ nhất  $\Delta$ .

### b. Panme (Hình 1.2)

Panme là dụng cụ đo độ dài có giới hạn đo  $0 \div 25$  mm, độ chia nhỏ nhất  $0,01$  mm.



Hình 1.2. Panme

\* Cấu tạo của panme gồm các bộ phận chính dưới đây: Một cá thước hình chữ U, một đầu gắn chặt với đầu tựa cố định 1, đầu còn lại được lắp một thân thước chính T có dạng ống-trù.

Đọc theo đường sinh bên ngoài thân thước chính người ta vạch nút đường chuẩn ngang, ở hai bên đường chuẩn này có khắc hai dãy vạch chia độ nằm so le nhau 0,50 mm. Dãy vạch phía trên đường chuẩn in với các số đo 0, 1, 2, ..., 25 mm còn dãy vạch phía dưới đường chuẩn in với các số đo 0,5; 1,5; 2,5; ..., 24,5 mm. Phần bên trong ống trụ tròn của thân thước chính được ren chính xác với bước ren 0,50 mm.

Một đầu đo di động 2 là một trục ren có cùng bước ren 0,50 mm, ở đầu bên phải của nó có gắn một ống thước tròn T có nút quay 3. Dọc theo chu vi mép bên trái ống thước tròn, người ta khắc 50 độ chia, mỗi độ chia ứng với số 0,01 mm.

Với cấu tạo như trên, khi thước tròn quay được một vòng (ứng với 50 độ chia trên thước tròn) thì đầu đo 2 gắn chặt với nó tiến hoặc lùi một bước ren bằng 0,50 mm. Như vậy khi thước tròn quay được một độ chia so với đường chuẩn ngang thì đầu đo dịch chuyển một đoạn bằng:

$$\frac{0,50}{50} = 0,01 \text{ mm} \quad (1.3)$$

Đại lượng này chính là *độ chia nhỏ nhất (độ phân giải)* của thước panme.

Độ chính xác của bước ren quyết định độ chính xác của panme.

Để bảo vệ cấu trúc ren, tránh bị lực vặn mạnh làm hỏng, người ta không gắn cứng nút quay 3 vào trục ren mà thông qua một cơ cấu li hợp kiểu ma sát trượt. Khi vặn nút quay 3 để dịch chuyển đầu đo 2 đến tiếp xúc với đầu tựa 1 nếu nghe thấy tiếng “lách tách” thì ngừng lại. Tại vị trí này, số 0 của thước tròn nằm trùng đường chuẩn ngang và mép thước tròn nằm sát với vạch số 0 của thước chính: đó là *vị trí số 0* của thước panme.

**Chú ý:** Trước khi đo kích thước của một vật bằng panme cần kiểm tra vị trí số 0 của panme. Dùng khăn mềm lau sạch hai mặt chuẩn của đầu tựa 1 và đầu đo 2. Vặn nút quay 3 để mặt chuẩn của đầu đo 2 tiến sát mặt chuẩn của đầu tựa 1 cho đến khi nghe thấy tiếng “lách tách” thì ngừng lại. Quan sát vị trí số 0 của thước tròn để hiệu chỉnh (nếu mép thước tròn nằm sát vạch số 0 trên thước chính và vạch “0” của thước tròn nằm dưới đường chuẩn  $n$  vạch thì kết quả đo phải trừ đi  $0,01 \cdot n$  (mm) và ngược lại). Chỉ khi thật cần thiết mới yêu cầu giáo viên hướng dẫn chỉnh lại vị trí số 0 để tránh làm hỏng panme.

#### \* *Cách đo độ dài bằng panme*

Muốn đo đường kính D của viên bi ta đặt viên bi áp sát đầu tựa cố định 1 rồi vặn nhẹ nút quay 3 để đầu đo di động 2 tiến đến tiếp xúc với viên bi cho đến khi nghe thấy tiếng “lách tách” thì ngừng lại. Xoay nhẹ cần gạt 4 để hãm cố định đầu đo di động 2.

Số đo đường kính D của bi thép trên thước panme tính theo milimet (mm) được xác định theo vị trí của mép thước tròn như sau:

- Nếu mép thước tròn nằm sát bên phải vạch chia thứ  $m$  (so với vạch số 0) của thước chính ở phía trên đường chuẩn ngang và đường chuẩn này nằm sát vạch thứ  $n$  của thước tròn thì:

$$D = m + 0,01 \cdot n \quad (1.4a)$$

- Nếu mép thước tròn nằm sát bên phải vạch chia chia thứ  $m$  (so với vạch số 0) của thước chính ở phía dưới đường chuẩn ngang và đường chuẩn này nằm sát vạch thứ  $n$  của thước tròn thì:

$$D = m + 0,5 + 0,01 \cdot n \quad (1.4b)$$

Ví dụ: Theo hình 1.2 (trang 33) ta có  $\Delta = 0,01$  mm, trên thước đọc được  $m = 5$  (phía trên đường chuẩn ngang) và  $n = 8$ ,

nên theo (1.4b) ta có:  $D = 5,08$  mm.

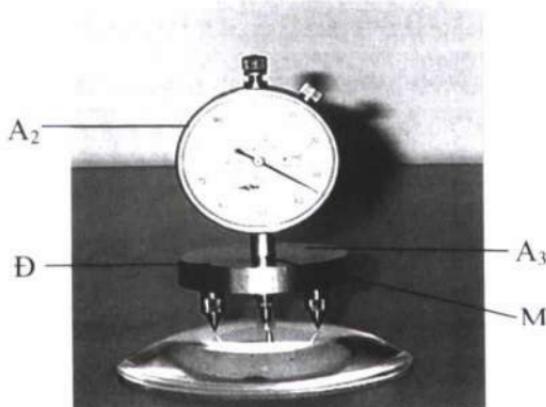
### c. Cầu kẽ (Hình 1.3)

Cầu kẽ là dụng cụ  
đo bán kính cong R của  
mặt cầu

#### \* Cầu tạo

- Một mặt đế tròn nhỏ Đ phẳng ngang có ba chân thẳng đứng giống nhau. Các đầu nhọn  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  của ba chân này nằm tại ba đỉnh của tam giác đều  $A_1A_2A_3$  trên cùng một mặt phẳng ngang.

- Một đồng hồ micromet có giới hạn đo  $0 \div 10$  mm với độ chia nhỏ nhất  $0,01$  mm. Đầu đo M của đồng hồ này được cắm đọc theo trực thăng đứng Oz của mặt đế tròn Đ. Vị trí của đầu đo M trên trực Oz được xác định bởi hai kim chỉ thị quay tròn trên mặt hai thang đo của đồng hồ:



Hình 1.3. Cầu kẽ

$$Z = m + 0,01 \cdot n \quad (1.5)$$

Trong đó  $m$  là số nguyên lần của milimet (mm) chỉ bởi kim ngắn và  $n$  là số nguyên lần của phần trăm milimet (0,01 mm) chỉ bởi kim dài.

\* *Cách đo bán kính cong bằng cầu kẽ:*

Khi đặt các đầu nhọn  $A_1, A_2, A_3$  của cầu kẽ nằm trên mặt bán thủy tinh phẳng  $P$  (dùng làm mặt phẳng chuẩn) thì đầu đo  $M$  nằm tại tâm  $I$  của tam giác đều  $A_1 A_2 A_3$  trên mặt phẳng chuẩn và các kim của đồng hồ micromet chỉ vị trí ban đầu  $Z_0$  (vị trí này không nhất thiết phải trùng với số không trên mặt đồng hồ). Đặt tiếp các đầu nhọn  $A_1, A_2, A_3$  của cầu kẽ nằm trên chõm cầu thủy tinh. Khi đó đầu đo  $M$  được đẩy lên cao trùng với đỉnh  $S$  của chõm cầu (hình 1.3), kim đồng hồ micromet chỉ vị trí  $Z$  của đầu đo nằm tại đỉnh  $S$ . Như vậy, chiều cao của chõm cầu giới hạn bởi mặt phẳng  $A_1 A_2 A_3$  tính bằng:

$$h = SI = Z - Z_0 \quad (1.6)$$

$$\text{hay } h = (m + 0,01 \cdot n) - (m_0 + 0,01 \cdot n_0)$$

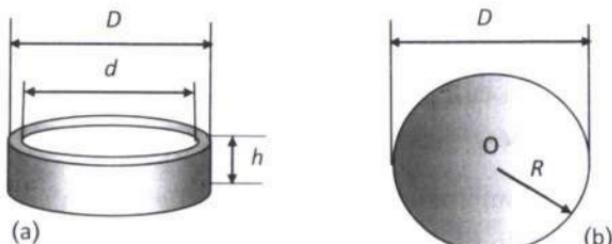
*Ví dụ:* Nếu  $m = 4, n = 35, m_0 = 2, n_0 = 21,$

$$\text{thì } h = 4,35 - 2,21 = 2,14 \text{ mm.}$$

Trong thí nghiệm này, ta dùng loại cầu kẽ có giới hạn đo  $0 \div 10$  mm, độ chia nhỏ nhất  $0,01$  mm và bán kính ngoại tiếp tam giác  $A_1 A_2 A_3$  là  $r = 19,40 \pm 0,02$  (mm).

### 1.3. Cơ sở lý thuyết

#### 1.3.1. Đo kích thước và xác định thể tích của các vật rắn có hình dạng đối xứng bằng thước kẹp và panme



Hình 1.4

Thể tích khối trụ rỗng (Hình 1.4a) có đường kính ngoài  $D$ , đường kính trong  $d$  và chiều cao  $h$  được tính theo công thức:

$$V = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) h \quad (1.7)$$

Thể tích khối cầu (Hình 1.4b) có đường kính  $D$  được tính theo công thức:

$$V = \frac{1}{6} \pi D^3 \quad (1.8)$$

### 1.3.2. Đo bán kính cong của chòm cầu bằng cầu kề

Xét mặt cầu tâm  $O$ , bán kính  $R$  (Hình 1.5).

Gọi  $h = SI$  là chiều cao của chòm cầu đỉnh tại  $S$ , đáy là đường tròn tâm  $I$  nằm vuông góc với  $SI$  và có bán kính  $r = AI$ . Áp dụng định lý Pitago cho tam giác vuông  $OAI$ , ta có:

$$R^2 = r^2 + (R - h)^2$$

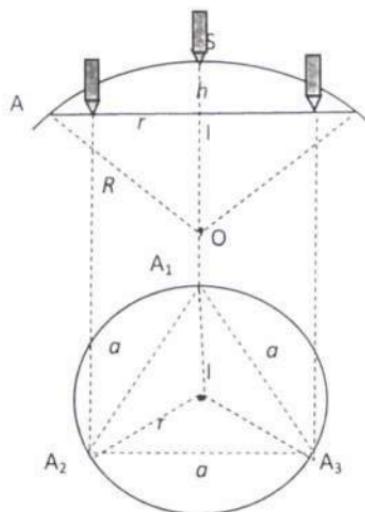
suy ra : 
$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h} \quad (1.9)$$

## 1.4. Trình tự thí nghiệm

### 1.4.1. Đo kích thước và xác định thể tích của khối trụ rỗng

- Kiểm tra vị trí số 0 của thước kẹp. Dùng thước kẹp đo lần lượt đường kính ngoài  $D$ , đường kính trong  $d$  và chiều cao  $h$  của chiếc vòng đồng (thực hiện 5 lần đối với mỗi phép đo). Ghi giá trị của  $D$ ,  $d$ ,  $h$  trong mỗi lần đo vào Bảng 1.1.

- Dựa vào kết quả của các phép đo  $D$ ,  $d$ ,  $h$  để xác định thể tích  $V$  của vòng đồng theo công thức (1.7).



Hình 1.5

#### **1.4.2. Đo kích thước và xác định thể tích của khối cầu**

- Kiểm tra vị trí số 0 của panme. Dùng thước panme đo đường kính  $D$  của viên bi thép nhỏ (thực hiện phép đo 5 lần tại các vị trí khác nhau của viên bi). Ghi giá trị của  $D$  trong mỗi lần đo vào Bảng 1.2.

- Dựa vào kết quả phép đo đường kính  $D$  nêu trên, xác định thể tích  $V$  của viên bi thép theo công thức (1.8).

#### **1.4.3. Xác định bán kính cong của chòm cầu**

- Dùng cầu kẽ thực hiện phép đo  $Z_0, Z$  tại 5 vị trí khác nhau của mặt phẳng chuẩn và chòm cầu). Ghi kết quả vào Bảng 1.3.

- Dựa vào kết quả phép đo  $h$ , xác định bán kính cong của chòm cầu theo công thức (1.9).

### **1.5. Câu hỏi kiểm tra**

1. Trong phép đo kích thước hình trụ rỗng, kích thước khối cầu và chiều cao chòm cầu ta gặp phải những loại sai số nào? Cách khắc phục?

2. Xây dựng công thức tính sai số tỉ đối của phép đo thể tích khối cầu, khối trụ rỗng, bán kính cong của chòm cầu.

3. Có thể dùng cầu kẽ để đo bán kính cong của mặt cầu lõm không? Cách thực hiện phép đo này như thế nào?

HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
**LÀM QUEN VÀ SỬ DỤNG CÁC DỤNG CỤ ĐO ĐỘ DÀI**

Họ và tên .....

Lớp học phần .....

### I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm

.....  
 .....  
 .....  
 .....

### II. Kết quả thí nghiệm

#### A. Bảng số liệu

**Bảng 1.1. Đo kích thước của chiếc vòng đồng**

Độ chia nhỏ nhất của thước kẹp : ..... (mm)						
Lần đo	D (mm)	$\Delta D_i$ (mm)	d (mm)	$\Delta d_i$ (mm)	h (mm)	$\Delta h_i$ (mm)
1						
2						
3						
4						
5						
Trung bình						

**Bảng 1.2. Đo kích thước của bi thép**

Độ chia nhỏ nhất của thước panme : ..... (mm)						
Lần đo	1	2	3	4	5	Trung bình
D (mm)						
$\Delta D_i$ (mm)						

**Bảng 1.3. Đo chiều cao chõm cầu**

Độ chính xác của cầu kẽ: ..... (mm)						
Bán kính đường tròn ngoại tiếp tam giác $A_1A_2A_3$ : $r = \dots \pm \dots$ (mm)						
Lần đo	1	2	3	4	5	Trung bình
$Z_0$ (mm)						
$Z$ (mm)						X
$h = Z - Z_0$						
$\Delta h_i$ (mm)						

**B. Kết quả thí nghiệm****1. Đo kích thước và xác định thể tích của viên bi thép***a. Tính sai số tuyệt đối phép đo  $D$* 

$$\Delta D = (\Delta D)_{dc} + \overline{\Delta D} = \dots \text{ (mm)}$$

*b. Xác định thể tích  $V$* 

- Tính sai số tỉ đối:  $\delta = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 3 \frac{\Delta D}{D} = \dots \text{ (%)}$

- Tính giá trị trung bình:  $\bar{V} = \frac{1}{6} \pi \bar{D}^3 = \dots \text{ (mm}^3\text{)}$

- Tính sai số tuyệt đối:  $\Delta V = \delta \cdot \bar{V} = \dots \text{ (mm}^3\text{)}$

- Viết kết quả phép đo:  $V = \bar{V} \pm \Delta V = \dots \text{ (mm}^3\text{)}$

**2. Đo kích thước và xác định thể tích của chiếc vòng đồng***a. Tính sai số tuyệt đối và viết kết quả các phép đo  $D, d, h$* 

$$\Delta D = (\Delta D)_{dc} + \overline{\Delta D} = \dots, \quad \Delta d = (\Delta d)_{dc} + \overline{\Delta d} = \dots,$$

$$\Delta h = (\Delta h)_{dc} + \overline{\Delta h} = \dots$$

*b. Xác định thể tích  $V$*

- Tính sai số tỉ đối:  $\delta = \frac{\Delta V}{\bar{V}} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2 \frac{\bar{D}.\Delta D + \bar{d}.\Delta d}{\bar{D}^2 - \bar{d}^2} + \frac{\Delta h}{\bar{h}} = ...(\%)$
- Tính giá trị trung bình:  $\bar{V} = \frac{\pi}{4} \left( \bar{D}^2 - \bar{d}^2 \right) \cdot \bar{h} = ... (mm^3)$
- Tính sai số tuyệt đối:  $\Delta V = \delta \cdot \bar{V} = ... (mm^3)$
- Viết kết quả phép đo:  $V = \bar{V} \pm \Delta V = ... (mm^3)$

### 3. Xác định bán kính cong R của chõm cầu lồi

- Tính sai số tỉ đối:  $\delta = \frac{\Delta R}{\bar{R}} = \frac{\Delta h}{\bar{h}} + \frac{2(\bar{r}.\Delta r + \bar{h}\Delta h)}{\bar{r}^2 + \bar{h}^2} = ... (\%)$
- Tính giá trị trung bình:  $\bar{R} = \frac{\bar{r}^2 + \bar{h}^2}{2\bar{h}} = ... (mm)$
- Tính sai số tuyệt đối:  $\Delta R = \delta \cdot \bar{R} = ... (mm)$
- Viết kết quả phép đo:  $R = \bar{R} \pm \Delta R = ... (mm)$

### III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## Bài 2. PHÉP CÂN CHÍNH XÁC

### 2.1. Mục đích thí nghiệm

- Biết sử dụng cân phân tích xác định khối lượng của vật, với độ chính xác cao bằng phương pháp cân thường và phương pháp cân Medelev.

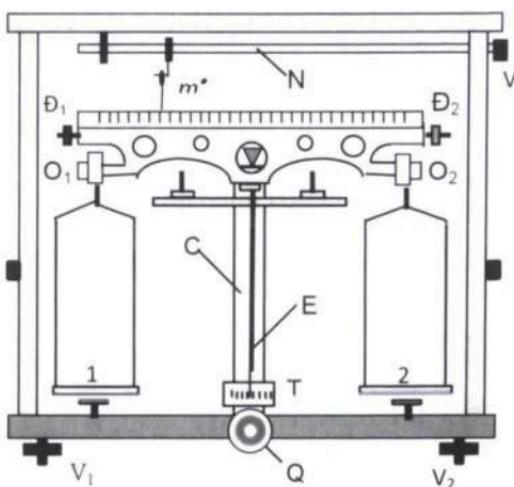
- Xác định khối lượng của bông hoa kim loại bằng phương pháp cân thường và phương pháp cân Medelev.

### 2.2. Dụng cụ

#### 2.2.1. Cấu tạo của cân phân tích

Cân phân tích dùng trong thí nghiệm này có giới hạn đo  $0 \div 200\text{g}$  với độ chính xác  $10^{-3}\text{g}$  (Hình 2.1).

Cấu tạo của cân gồm đòn cân  $O_1O_2$  bằng hợp kim cứng và nhẹ, trên đó có khắc 10 độ chia bằng nhau với vạch số 0 ở chính giữa và hai phía của nó có ghi các vạch từ 1 đến 10. Thẳng phía dưới vạch số 0 này có một con dao O hình lăng trụ bằng đá mă năo gắn chặt với đòn cân. Cạnh của con dao O tựa trên mặt phẳng ngang của một gối đỡ bằng đá mă năo đặt tại đỉnh trụ cân C.



Hình 2.1. Cân chính xác

Ở hai đầu  $O_1$  và  $O_2$  của đòn cân cũng có hai con dao bằng đá mă năo (nhỏ hơn dao O) dùng để treo hai đĩa cân 1 và 2. Nhờ một kim dài E gắn với đòn cân ở phía dưới con dao O và một thước nhỏ T ở chân trụ

cân C, ta có thể xác định được vị trí cân bằng của đòn cân O<sub>1</sub>O<sub>2</sub> khi kim E chỉ đúng vạch số 10 nằm ở chính giữa thước nhỏ T.

Cân phân tích được đặt ở trong một tủ kính có thể đóng kín bằng hai cánh ở hai bên thành tủ để tránh ảnh hưởng của gió và bụi. Phía dưới mặt đế cân có một núm quay Q dùng để nâng hoặc hạ đòn cân lên xuống theo phương thẳng đứng.

Kèm theo cân phân tích có một hộp đựng một bộ quà cân (500 mg, 200 mg, 100 mg, 50 mg, 20 mg, 10 mg) và một chiếc kẹp dùng gấp các quà cân. Ngoài các quà cân nói trên, còn có một quà cân nhỏ hình khuyên tai có khối lượng  $m = 10 \text{ mg}$  - gọi là *con mă*, được treo ở đầu một chiếc móc nhỏ nằm ở phía trên đòn cân O<sub>1</sub>O<sub>2</sub>.

Tùy thuộc vị trí đặt con mă trên đòn cân, khối lượng cho thêm vào một trong hai đĩa cân có thể thay đổi từ 1 mg đến 10 mg. Thị dụ, muốn cho thêm vào đĩa cân bên phải 2 mg, ta kéo núm V để dịch chuyển con mă M đến vạch số 2 nằm bên phải vạch số 0 trên đòn cân O<sub>1</sub>O<sub>2</sub>. Sau đó, vặn từ từ núm V để đặt con mă M lên đòn cân và rút nhẹ chiếc móc ra khỏi con mă.

### 2.2.2. Các qui định cần thực hiện khi sử dụng cân

- Hiệu chỉnh vị trí phẳng ngang của mặt gối đỡ cạnh dao O bằng cách vặn nhẹ vít V<sub>1</sub> và V<sub>2</sub> phía dưới đế cân sao cho "bọt nước" ở trên mặt đế cân (phía sau trụ cân C) nằm chính giữa vòng tròn. Tránh làm dịch chuyển cân khỏi vị trí đã hiệu chỉnh. Cần nhẹ nhàng tránh va chạm mạnh khi sử dụng cân.

- Không cầm trực tiếp các quà cân bằng tay. Phải dùng chiếc kẹp để gấp các quà cân. Các quà cân lấy ra khỏi đĩa phải đặt ngay vào đúng vị trí của chúng trong hộp quà cân. Để thuận tiện hộp quà cân đặt bên phải người cân.

- Mỗi khi cho thêm vào hoặc bỏ bớt vật hay các quà cân ra khỏi đĩa cân, phải đặt đòn cân ở vị trí "hãm" bằng cách vặn núm quay Q (ngược chiều kim đồng hồ) về tận cùng bên trái.

- Chọn các quả cân thích hợp theo đúng thứ tự từ lớn đến nhỏ khi cho thêm chúng vào đĩa cân, kể cả con mã. Nếu rút bớt các quả cân ra khỏi đĩa cân thì làm ngược lại.

- Đóng kín các cánh tủ cân sau khi đã đặt vật và các quả cân vào các đĩa cân.

- Khi cân xong, đặt đòn cân ở vị trí “hãm” và đặt các quả cân vào đúng vị trí trong hộp quả cân, lấy vật ra khỏi đĩa cân sau đó đóng kín các cánh tủ cân.

### 2.3. Cơ sở lý thuyết

#### 2.3.1. Phương pháp cân thường

Muốn thực hiện phương pháp cân này ta lần lượt xác định các đại lượng sau:

##### a. Bước 1: Xác định số “không thực của cân”

Khi mở cân cho dao linh động, nếu trên đĩa cân không có vật, ta nói cân ở trạng thái không tải. Sau khi mở cân, khi cân ở trạng thái cân bằng, kim E ở vị trí  $a_0$  nào đó trong bảng G,  $a_0$  là vị trí cân bằng của cân ở trạng thái không tải và được gọi là số “không thực của cân”.

Khi kim E đã ở vị trí  $a_0$  ta có thể coi đã có sự bằng nhau của 2 nửa đòn cân và của khối lượng 2 đĩa cân (mô men trọng lực đối với cạnh dao là như nhau).

Cách xác định  $a_0$ : Muốn xác định  $a_0$  mở lòng ốc O cho cân linh động, vị trí dừng lại của kim E chính là  $a_0$ . Tuy nhiên nếu làm như vậy mất nhiều thời gian chờ đợi vì thường các cân phân tích rất nhạy nên kim E dao động rất lâu. Vì vậy, ta xác định  $a_0$  như sau:

Mở cân, kim E dao động liên tiếp, xác định các độ lệch phải  $a_1, a_3, a_5$  các độ lệch trái  $a_2, a_4, a_6$  (các vị trí biên trong 3 chu kỳ dao động liên tiếp). Số không thực  $a_0$  sẽ là:

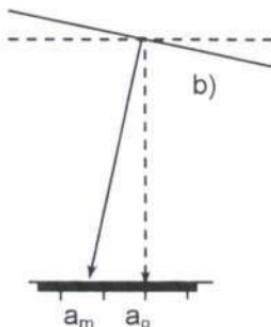
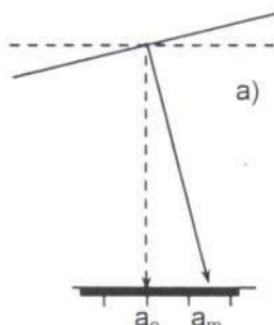
$$a_0 = \left( \frac{a_1 + a_3 + a_5}{3} + \frac{a_2 + a_4 + a_6}{3} \right) \quad (2.1)$$

b. Bước 2: Xác định giá trị một độ chia

Khối lượng cần thiết đặt lên một bên đĩa cân để kim lệch khỏi vị trí cân bằng 1 độ chia gọi là giá trị một độ chia, ký hiệu là y. Gọi M là khối lượng đặt lên 1 đĩa cân (đĩa bên kia không có vật nào), A<sub>N</sub> là vị trí cân bằng của kim, a<sub>0</sub> là số không thực, thì:

$$y = \frac{M}{|A_v - a_0|} \text{ (mg/dô chia)} \quad (2.2)$$

Vì cân phân tích rất nhạy, chỉ cần đặt 1 mg lên 1 đĩa cân, kim đã lệch đi khoảng 1 vạch, vì vậy muốn có M không thể dùng các quả cân khối lượng lớn (hơn 10 mg) đặt lên các đĩa cân (kim E sẽ lệch khỏi bảng G) mà phải sử dụng con mã đặt lên các vị trí 2, 3, 4... ta sẽ có khối lượng tương ứng 2 mg, 3 mg, 4 mg.... Kim E sẽ cân bằng tại vị trí A<sub>N</sub> mới, xác định A<sub>N</sub> tương tự như xác định a<sub>0</sub>.



Hình 2.2

### c. Bước 3: Phương pháp cân thường

Trong phép cân thường, khi đặt vật cần cân (bông hoa kim loại) lên đĩa cân bên trái, các quả cân có khối lượng  $m_1$  lên đĩa cân bên phải. Nếu kim E cân bằng ở  $a_0$  thì khối lượng vật bằng khối lượng các quả cân. Song thực tế, việc thêm bớt các quả cân để kim E về đúng  $a_0$  là mất thời gian và rất khó khăn.

Ta gọi vị trí cân bằng mới là  $a_m$ . Nếu  $a_m$  ở bên phải  $a_0$  (Hình 2.2a) nghĩa là đòn cân lệch về phía vật thi từ định nghĩa giá trị một độ chia, ta suy ra khối lượng của vật lớn hơn khối lượng  $m_1$  của các quả cân là  $y$ .  $|a_m - a_0|$  và khối lượng của vật sẽ là:

$$m = m_1 + y |a_{m-} - a_0|$$

Nếu vị trí cân bằng  $a_m$  ở bên trái  $a_0$  (Hình 2.2b) ta có:

$$m = m_1 - y |a_m - a_0|$$

Vậy phương pháp cân thường, khối lượng  $m$  liên hệ với khối lượng  $m_1$  các quả cân bên đĩa bên kia theo công thức:

$$m = m_1 \pm y |a_m - a_0| \quad (2.3)$$

#### d. *Bước 4: Hiệu chỉnh lực đẩy Acsimet*

Phép cân vật được thực hiện trong môi trường không khí. Vì thế các quả cân, vật cân, đều chịu lực đẩy Acsimet của không khí, công thức (2.3) thu được khi không kể đến lực đẩy này. Vì vậy khối lượng vật tính theo (2.3) chỉ là biếu kiến. Muốn có khối lượng thực của vật ta cần hiệu chỉnh lực đẩy Acsimet của không khí.

Gọi  $m_0$  là khối lượng thực của vật được cân trong chân không.

$V, D$  là thể tích và khối lượng riêng của vật cần cân;

$v, \rho$  là thể tích và khối lượng riêng của các quả cân;

$e$  là khối lượng riêng của không khí ở điều kiện làm thí nghiệm;

$g$  là gia tốc trọng trường.

Tác dụng lên vật ở đĩa trái có trọng lực của vật (có giá trị  $m_0 g$ ) hướng xuống, lực đẩy Acsimet (có giá trị  $Veg$ ) hướng lên:

$$F_1 = m_0 g - Veg = m_0 g - \frac{m_0}{D} eg = m_0 \left(1 - \frac{e}{D}\right)$$

Tương tự, lực tác dụng lên các quả cân:

$$F_2 = m_1 g - Veg = m_1 g - \frac{m_1}{D} eg = m_1 \left(1 - \frac{e}{D}\right)$$

(khối lượng  $m_1$  đọc trên các quả cân chính là khối lượng thực của chúng).

Khi kim E cân bằng ở vị trí  $a_0$  như trên đã biết, có thể coi hai nửa đòn cân bằng nhau, nên:  $F_1 = F_2$  hay  $m_1 \left(1 - \frac{e}{D}\right) = m_0 \left(1 - \frac{e}{D}\right)$

$$\text{Suy ra: } m_0 = m_1 \frac{\left(1 - \frac{e}{D}\right)}{\left(1 - \frac{e}{D}\right)}$$

Vì  $\frac{e}{D}$  và  $\frac{e}{\rho}$  nhỏ nên:

$$m_0 \approx m_1 \left(1 - \frac{e}{\rho}\right) \left(1 + \frac{e}{D}\right) \approx m_1 + m_1 \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{\rho}\right)e$$

Khi kim cân bằng ở  $a_0$ . Theo (2.3)  $m = m_1$ . Vậy khối lượng thực của vật liên hệ với khối lượng biểu kiến theo công thức:

$$m_0 = m + m \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{\rho}\right)e \quad (2.4)$$

Số hạng thứ 2 trong vế phải (2.4) xuất hiện do sự hiệu chỉnh lực đẩy Acsimet của không khí. Nếu  $D \approx \rho$ , việc hiệu chỉnh này trở nên không cần thiết và  $m_0 \approx m$ .

### 2.3.2. Phương pháp cân Mendeleev (phương pháp trọng tài không đổi)

Phương pháp cân này gồm 2 lần cân. Trọng tài của cân trong 2 lần đều như nhau vì thế gọi là phương pháp trọng tài không đổi.

**Lần cân thứ nhất:** Đặt lên đĩa trái một quả cân khối lượng  $M$  (ước lượng lớn hơn khối lượng của vật chút ít) gọi là bì (trong bài ta sử dụng miếng nhôm hình chữ nhật), đặt lên đĩa phải các quả cân nhỏ có khối lượng tổng cộng  $m_1$  sao cho kim cân bằng tại vị trí  $a_m$  nào đó trong bảng G. Gọi  $l_1, l_2$  là cánh tay đòn bên trái và bên phải của cân. Khi cân bằng ta có (công thức mô men lực):

$$Mgl_1 = m_1 gl_2 \quad \text{hay} \quad Ml_1 = m_1 l_2 \quad (2.5)$$

**Lần cân thứ hai:** Giữ nguyên bì, đặt vật (vẫn là vật trong phương pháp cân thường) và các quả cân có tổng khối lượng  $m_2$  lên đĩa phải sao cho kim E lại cân bằng ở vị trí  $a_m$ . Lúc này điều kiện cân bằng là:

$$Mgl_1 = (m_2 + m)gl_2$$

Trong đó  $m$  là khối lượng của vật, ta suy ra:

$$Ml_1 = (m_2 + m)l_2 \quad (2.6)$$

So sánh (2.5) và (2.6) ta có:

$$m = m_1 - m_2 \quad (2.7)$$

Phương pháp này giúp ta cân nhanh chóng và chính xác, mặc dù hai nửa đòn cân không bằng nhau.

## 2.4. Trình tự thí nghiệm

### 2.4.1. Kiểm tra sự cân bằng của cân (đọc kỹ những qui định khi cân)

### 2.4.2. Cân vật bằng phương pháp cân thường

- Xác định "số không thực của cân" (3 lần). Ghi kết quả vào Bảng 2.1.

- Xác định giá trị một độ chia (3 lần). Ghi kết quả vào Bảng 2.1 (chọn  $M = 2 \text{ mg}, 3 \text{ mg}, 4 \text{ mg}$ )

- Cân vật theo phương pháp cân thường (3 lần). Ghi kết quả vào Bảng 2.1.

### 2.4.3. Cân vật bằng phương pháp cân Mendeleev

Cân vật (bông hoa kim loại) nhờ 2 lần cân, trọng tài không đổi. Bởi là miếng nhôm hình chữ nhật. Vị trí  $a_m$  trong 2 lần cân như nhau. Muốn xác định  $a_m$  không cần chờ kim dừng hẳn, chỉ cần kim dao động đều về hai phía của  $a_m$  là được.

Xác định khối lượng vật cần cân 3 lần. Ghi kết quả vào bảng 2.2.

## 2.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Cân phân tích làm việc dựa trên sự vận dụng phần kiến thức nào trong cơ học? Trình bày tóm tắt nội dung phần kiến thức đó.

2. Vì sao trong phương pháp cân này phải xác định số "không" thực và giá trị một độ chia?

3. Trong hai phương pháp cân sử dụng trong bài phương pháp nào cân nhanh và chính xác hơn? Tại sao?

# HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM

## **PHÉP CÂN CHÍNH XÁC**

Họ tên .....

Lớp học phần.....

### **I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

### **II. Kết quả thí nghiệm**

#### **A. Bảng số liệu**

**Bảng 2.1. Phương pháp cân thường**

- Độ chính xác của cân : ..... (mg)				
Lần đo	1	2	3	Trung bình
$a_0$				.....(độ chia)
$\Delta a_{0i}$				.....(độ chia)
$A_N$				.....(độ chia)
y				.....(mg/độ chia)
$m_1$				.....(mg)
$\Delta m_{1i}$				.....(mg)
$a_m$				.....(độ chia)
$\Delta a_{mi}$				.....(độ chia)

**Bảng 2.2. Phương pháp cân Mendeleev**

- Độ chính xác của cân: ..... (mg)				
Lần đo	$m_1$ (mg)	$m_2$ (mg)	$m$ (mg)	$\Delta m_i$ (mg)
1				
2				
3				
Trung bình				

### B. Kết quả

#### 1. Xác định khối lượng của vật bằng phương pháp cân thường

a. Giá trị trung bình của phép đo khối lượng vật

$$\bar{m} = \overline{m_1} \pm y \left| \overline{a_m} - \overline{a_0} \right| = \dots \text{ (mg)}$$

(Tùy theo vị trí  $a_m$  so với  $a_0$  mà lấy dấu (+) hay (-) trong công thức trên)

b. Tính sai số tuyệt đối phép đo khối lượng vật (bông hoa kim loại).

$$\Delta m \approx \Delta m_1 + y (\Delta a_m + \Delta a_0) = \dots \text{ (mg)}$$

Trong đó:

$$\Delta m_1 = \overline{\Delta m_1} + \Delta m_{1dc}; \quad \Delta a_m = \overline{\Delta a_m} + \Delta a_{mdc}; \quad \Delta a_0 = \overline{\Delta a_0} + \Delta a_{0dc}$$

c. Tính sai số tương đối của phép đo khối lượng vật.

$$\delta = \frac{\Delta m}{\bar{m}} = \dots (\%)$$

d. Viết kết quả của phép đo khối lượng vật:

$$m = \bar{m} \pm \Delta m = \dots \text{ (mg)}$$

#### 2. Xác định khối lượng của vật bằng phương pháp cân Mendeleev

a. Giá trị trung bình của phép đo khối lượng vật

$$\bar{m} = \dots \text{ (mg)}$$

b. Sai số tuyệt đối của phép đo

$$\Delta m = \overline{\Delta m} + \Delta m_{dc} = \dots \text{ (mg)}$$

c. Tính sai số tương đối của phép đo khối lượng vật.

$$\delta = \frac{\Delta m}{\overline{m}} = \dots (\%)$$

d. Viết kết quả của phép đo khối lượng vật :

$$m = \overline{m} \pm \Delta m = \dots \text{ (mg)}$$

#### IV. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## Bài 3. XÁC ĐỊNH KHỐI LƯỢNG RIÊNG CỦA VẬT RẮN BẰNG CÂN PHÂN TÍCH VÀ BÌNH TỈ TRỌNG

### 3.1. Mục đích thí nghiệm

- Biết xác định khối lượng riêng của vật rắn bằng cân phân tích và bình tỉ trọng.
- Xác định khối lượng riêng của các viên bi thép bằng cân phân tích và bình tỷ trọng.

### 3.2. Giới thiệu dụng cụ thí nghiệm

#### 3.2.1. Thành phần thiết bị

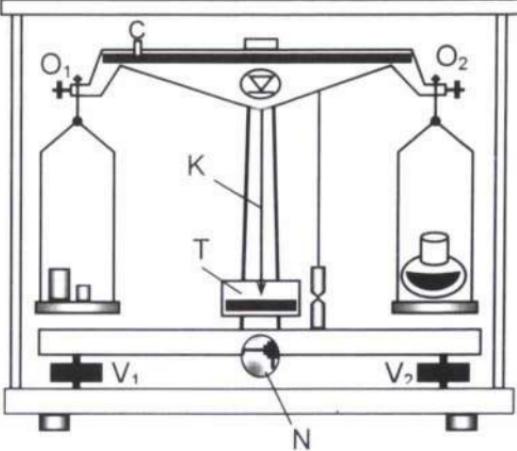
- Cân kỹ thuật có giới hạn đo  $0 \div 200$  g với độ chính xác  $20 \cdot 10^{-3}$  g (Hình 3.1).
- Bình tỉ trọng dung tích 50 ml.
- Hộp quả cân gồm có: 1 quả 100 g, 1 quả 50 g, 2 quả 20 g, 1 quả 10 g, 1 quả 5 g, 2 quả 2 g, 1 quả 1g, 1 quả 500 mg, 2 quả 200 mg, 1 quả 100 mg, 1 quả 50 mg, 2 quả 20 mg, 1 quả 10 mg, 1 cái kẹp.
- Bi thép: 5 viên

#### 3.2.2. Hướng dẫn sử dụng dụng cụ đo

##### 3.2.2.1. Cân kỹ thuật

###### a. Cấu tạo

Cân kỹ thuật thường là loại cân quang, có trục hãm cân, nhằm làm cho cân không dao động gây ma sát vô ích khi không cần thiết. Khi sử dụng cân cần kiểm tra cân đã ở vị trí nằm ngang chưa bằng



Hình 3.1. Cân kỹ thuật

quả dọi lắp trên cân. Trên đáy cân hoặc quang cân có đánh số, khi kiểm tra cần lắp đúng bên, tránh nhầm lẫn. Để điều chỉnh cân thẳng bằng, ta chỉnh các ốc vít ở dưới để cân sao cho "quả dọi" nằm thẳng góc. Các quả cân đặt trong hộp có kẹp gấp các quả cân.

#### b. Các qui định cân thực hiện

- Hiệu chỉnh vị trí phẳng ngang của cân bằng cách, vặn nhẹ vít V<sub>1</sub> và V<sub>2</sub> phía dưới để cân sao cho "quả dọi" ở trên mặt để cân nằm thẳng góc. Tránh làm dịch chuyển cân khỏi vị trí đã hiệu chỉnh.

- Không cầm trực tiếp các quả cân bằng tay. Phải dùng chiếc kẹp để gấp các quả cân. Các quả cân lấy ra khỏi đĩa phải đặt ngay vào đúng vị trí của chúng trong hộp quả cân. Để thuận tiện hộp quả cân đặt bên phải người cân.

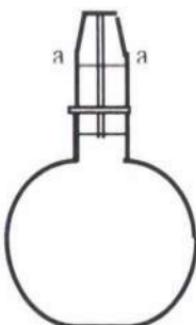
- Mỗi khi cho thêm vào hoặc bỏ bớt vật hay các quả cân ra khỏi đĩa cân, phải đặt đòn cân ở vị trí "hãm" bằng cách vặn nút quay N về tận cùng bên trái.

- Thêm các quả cân thích hợp theo thứ tự từ lớn đến nhỏ (bớt ra thì làm ngược lại).

- Khi cân xong, phải đặt đòn cân ở vị trí "hãm" và đặt các quả cân vào đúng vị trí của chúng trong hộp quả cân. Lấy vật ra khỏi đĩa cân.

#### 3.2.2.2. Bình tì trọng

Bình tì trọng là một bình thuỷ tinh có thể tích xác định ( $50\text{ ml}$ ), cổ nút đầy bình được mài nhám và có ống mao dẫn nằm dọc bên trong. Khi đồ nước đầy bình và đầy nút vừa khít miệng, nước trong bình dâng qua ống mao dẫn tràn ra ngoài. Nếu dùng giấy thấm nước ở đầu trên của nút cho tới khi mức nước trong ống tụt xuống tới ngang vạch dấu aa trên



Hình 3.2. Bình tì trọng

thân nút (Hình 3.2), thì thể tích  $V$  của khối nước cất hoặc khối chất lỏng chứa trong bình đúng bằng thể tích ghi trên thành bình.

### 3.3. Cơ sở lý thuyết

#### 3.3.1. Định nghĩa

Khối lượng riêng của một chất rắn nào đó là khối lượng của một đơn vị thể tích chất rắn đó.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Trong đó  $\rho$ , m, V là khối lượng riêng, khối lượng và thể tích của vật.

Vì thể tích V phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất nơi làm thí nghiệm nên khối lượng riêng  $\rho$  cũng phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất.

#### 3.3.2. Phương pháp xác định khối lượng riêng của vật rắn

Từ công thức (3.1), muốn xác định khối lượng riêng  $\rho$  ta cần xác định khối lượng  $m$  và thể tích V của vật (các viên bi). Thể tích V của vật được đo bằng cách thả vật vào bình tẩy trọng chứa đầy nước. Thể tích nước trong bình trào ra chính là thể tích của vật.

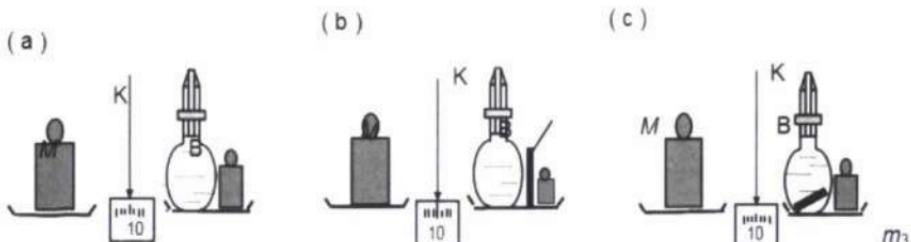
Nếu biết khối lượng riêng của nước là  $d$ , dùng cân kỹ thuật xác định được khối lượng nước  $m'$  của thể tích nước đó ta tính được V:

$$V = \frac{m'}{d} \quad (3.2)$$

Như vậy ta sẽ tính được  $\rho$  khi xác định được khối lượng m của vật và khối lượng  $m'$  của nước trào ra.

Ta xác định m và  $m'$  bằng phép cân Mendeleev như sau:

- Đặt một quả cân có khối lượng M làm bì ở đĩa cân bên trái.
- Trên đĩa cân bên phải:



Hình 3.3. Bố trí các vật trên đĩa cân

+ Lần thứ nhất: đặt lọ nước đầy có khối lượng  $M$  và các quả cân có khối lượng  $m_1$  (Hình 3.3a).

+ Lần thứ 2: Đặt lọ nước đầy, vật cần xác định khối lượng riêng là các viên bi (có khối lượng  $m$ ) và các quả cân có khối lượng  $m_2$  (Hình 3.3b).

+ Lần thứ 3: Thả vật cần xác định khối lượng riêng vào bình tỷ trọng, một phần nước trong bình có khối lượng  $m'$  trào ra ngoài. Đậy nút, lau khô xung quanh bình. Đặt bình tỷ trọng có nước đầy và vật ở trong cùng các quả cân  $m_3$  (Hình 3.3c).

Từ ba phép cân trên, dễ dàng suy ra:

- Vật rắn thể tích  $V$  có khối lượng biểu kiến:

$$m = m_1 - m_2 \quad (3.3)$$

- Khối nước bị trào ra khỏi bình có thể tích bằng thể tích  $V$  của vật rắn và có khối lượng biểu kiến:

$$m' = m_3 - m_2 \quad (3.4)$$

Suy ra *khối lượng riêng biểu kiến* của vật rắn bằng :

$$\rho = \frac{m}{m'} \cdot d = \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_2} \cdot d \quad (3.5)$$

Khối lượng riêng  $d$  của nước cất trong khoảng nhiệt độ  $0 \div 100^{\circ}\text{C}$  được cho trong Bảng 3.1.

Muốn xác định *khối lượng riêng thực* của vật rắn, ta phải hiệu chỉnh kết quả của các phép cân bằng cách tính thêm *lực đẩy Archimède*  $F_A$  của không khí tác dụng lên các vật đặt trên các đĩa cân.

### 3.4. Trình tự thí nghiệm

- Tìm hiểu cấu tạo của cân và những quy định cần thực hiện. Biết cách thực hiện phép cân Mendeleev.

- Rửa sạch bình tỷ trọng. Đổ nước vào bình. Đậy nút nhám và xoay nhẹ nó vừa đủ khít với miệng bình, nước trong bình sẽ trào ra ngoài qua ống mao dẫn. Dùng giấy thấm hoặc khăn để hút bớt nước ở đầu phía trên

của nút sao cho mực nước trong ống giảm tới vạch chuẩn aa. Lau khô mặt ngoài của bình và không để nước ra đĩa cân. Chọn quả cân có khối lượng  $M = 100$  g làm bì và đặt nó lên đĩa cân bên trái, tiến hành lần lượt các phép cân 1, 2, 3. Ghi kết quả vào Bảng 3.1.

- Đọc nhiệt độ phòng và khối lượng riêng của nước ứng với nhiệt độ phòng trong phụ lục 2. Tính  $\rho$  theo công thức (3.5).

### 3.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Trong phép đo khối lượng riêng của chất rắn gấp phải những loại sai số nào? Cách khắc phục?
2. Tại sao trong thí nghiệm không sử dụng 1 viên bi mà dùng tất cả các viên bi?
3. Tại sao nút của các bình tỷ trọng thường được mài nhám và có ống mao dẫn ? nếu không mài nhám và nút bình không có ống mao dẫn lên trên thì trong bài thí nghiệm xác định khối lượng riêng của vật rắn bằng cân phân tích và bình tỷ trọng sẽ gặp thêm các sai số nào ?
4. So sánh phương pháp xác định khối lượng riêng trong bài với phương pháp đo khối lượng và kích thước các viên bi. Phương pháp nào sai số nhiều hơn? Tại sao?
5. Trình bày phương pháp xác định khối lượng riêng của chất rắn bằng bình tỷ trọng và cân phân tích?

HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
**XÁC ĐỊNH KHỐI LƯỢNG RIÊNG CỦA VẬT RẮN**  
**BẰNG CÂN PHÂN TÍCH VÀ BÌNH TỈ TRỌNG**

Họ và tên .....

### Xác nhận của GV

## Lớp học phần.....

ANSWER

1

## I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm

## II. Kết quả thí nghiệm

#### A. Bảng số liệu:

Bảng 3.1: Kết quả đo khối lượng bù và khối lượng nước tương ứng

- Độ chính xác của cân phân tích :  $\Delta m = \dots \cdot 10^{-6}$

	- Nhiệt độ trong phòng thí nghiệm : $t^0 = \dots \text{ } (\text{ }^\circ\text{C})$						
	- Độ chính xác của cân phân tích : $\Delta m = \dots \text{ } 10^{-b}$						
(kg)							
Lần đo	$m_1$ (mg)	$m_2$ (mg)	$m_3$ (mg)	$m$ (mg)	$\Delta m_i$ (mg)	$m'$ (mg)	$\Delta m'_i$ (mg)
1							
2							
3							
TB	<del><math>\times</math></del>						

## B. Kết quả

1. Tính sai số tương đối của phép đo khối lượng riêng viên bi thép

$$\Delta m = \overline{\Delta m} + \Delta m_{dc} = \dots; \Delta m' = \overline{\Delta m'} + \Delta m'_{dc} = \dots$$

$$(\Delta m_{1dc} = \Delta m_{2dc} = \Delta m_{dc} = \Delta m'_{dc})$$

$$\Rightarrow \delta = \frac{\overline{\Delta \rho}}{\overline{\rho}} = \frac{\overline{\Delta m}}{\overline{m}} + \frac{\overline{\Delta m'}}{\overline{m'}} + \frac{\overline{\Delta d}}{\overline{d}} = \dots \text{(%)}$$

2. Tính giá trị trung bình

$$\overline{\rho} = \frac{\overline{m}}{\overline{m'}} \cdot d = \dots \text{(kg / m}^3\text{)}$$

3. Tính sai số tuyệt đối của phép đo

$$\Delta \rho = \delta \cdot \overline{\rho} = \dots \text{(kg / m}^3\text{)}$$

4. Viết kết quả phép đo khối lượng riêng của viên bi thép

$$\rho = \overline{\rho} \pm \Delta \rho = \dots \text{(kg / m}^3\text{)}$$

III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## Bài 4. NGHIÊN CỨU CÁC TÍNH CHẤT CỦA CHUYỂN ĐỘNG NHỜ MÁY ATWOOD

### 4.1. Mục đích thí nghiệm

- Khảo sát các quá trình động lực học trên máy Atwood.
- Nghiệm lại các định luật Newton, định luật bảo toàn cơ năng.

- Biết phương pháp hiệu chỉnh mômen cản trong chuyển động quay.

### 4.2. Dụng cụ thí nghiệm

#### 4.2.1. Thành phần thiết bị

Máy Atwood (Hình 4.1) gồm:

- Hai vật nặng A, B, dây treo, ròng rọc R lắp trên giá đỡ cao 1000 mm và tấm đế có hệ vít chinh thăng bằng.

- Nam châm điện N để giữ yên hệ vật ở trạng thái đầu.

- Hộp công tắc kép để đóng ngắt nam châm điện và khởi động bộ đếm thời gian.

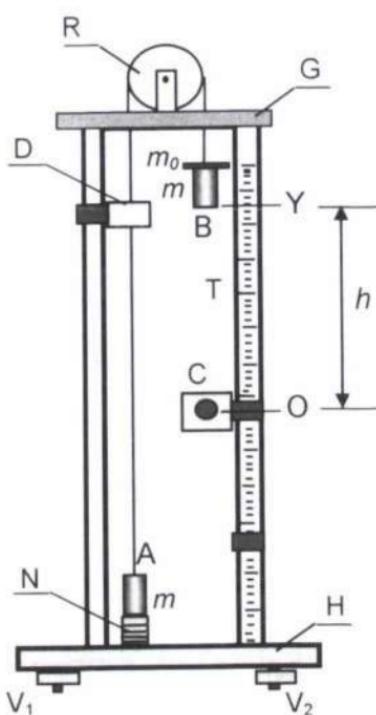
- Đồng hồ đo thời gian hiện số MC-964.

- Cảm biến quang điện C.

- Các quả加重 có khối lượng bằng nhau.

#### 4.2.2. Giới thiệu dụng cụ đo

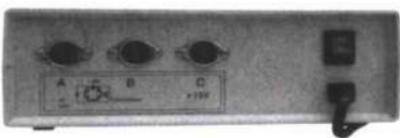
##### 4.2.2.1. Đồng hồ đo thời gian hiện số MC-964



Hình 4.1. Máy Atwood



(a)



(b)

**Hình 4.2. Đồng hồ đo thời gian hiện số MC-964**

*Đồng hồ đo thời gian hiện số* MC-964 có hai thang đo 9,999 s và 99.99 s, với độ chia nhỏ nhất (còn gọi là độ phân giải) tương ứng là 0,001 s và 0,01 s.

Mặt trước của đồng hồ đo thời gian hiện số MC-964 (Hình 4.2a) có các chi tiết sau:

- Nút THANG ĐO dùng chọn thang đo thời gian: 9,999 s hoặc 99,99 s.
- Nút MODE dùng chọn kiểu đo thời gian : A, B, A+B, A↔B và T.
- Ô cửa THỜI GIAN dùng hiển thị số đo thời gian gồm bốn số chỉ thị bằng LED 7 thanh và một dấu chấm thập phân tự động dịch chuyển khi ta chọn thang đo.
- Nút nhấn RESET dùng đưa các số hiển thị trên ô cửa THỜI GIAN về 0.000.

Mặt sau của đồng hồ đo thời gian hiện số MC-964 (Hình 4.2b) có công-tắc ON-OFF dùng đóng ngắt điện cấp cho đồng hồ và ba ô cắm năm chân A, B, C

- Ô A được nối với nam châm điện N qua công tắc kép, vừa đóng ngắt điện cho nam châm, vừa có thể khởi động đồng hồ đo thời gian
- Ô B được nối với công quang điện C, vừa cấp điện cho công quang điện hoạt động vừa nhận tín hiệu từ C gửi về điều khiển đồng hồ đo thời gian hoạt động.
- Ô C có nguồn một chiều 14 V, dùng cấp dòng một chiều cho nam châm điện N qua hộp công tắc kép D.

Khi cắm phích điện của đồng hồ đo thời gian này vào ô điện ~ 220V và bấm công tắc ON-OFF của nó thì các LED chỉ thị số trên ô cửa THỜI GIAN sẽ phát sáng và đồng hồ sẵn sàng hoạt động.

#### 4.2.2.2. Công quang điện

- Một diốt D<sub>1</sub> phát ra tia hồng ngoại, và một diốt D<sub>2</sub> nhận tia hồng ngoại từ D<sub>1</sub> chiếu sang.

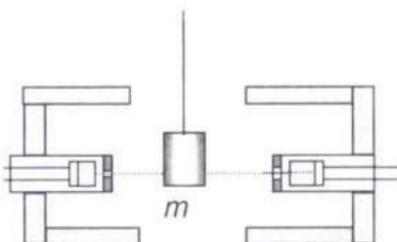
Dòng điện cung cấp cho D<sub>1</sub> được lấy từ đồng hồ đo thời gian hiện số MC-964.

Khi đáy quả nặng m đi vào công quang điện QĐ và chắn chùm tia hồng ngoại chiếu từ D<sub>1</sub> sang D<sub>2</sub> thì D<sub>2</sub> sẽ phát ra tín hiệu truyền theo dây dẫn tới đồng hồ đo thời gian hiện số MC-964 và điều khiển đồng hồ hoạt động. Cơ chế này cho phép đóng ngắt bộ đếm của đồng hồ đo thời gian MC-964 hầu như không có quán tính.

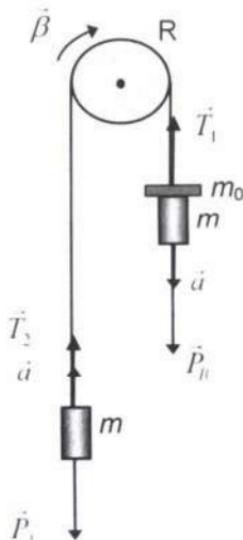
### 4.3. Cơ sở lý thuyết

Năm 1784, một mục sư người Anh tên là George Atwood phát minh ra một dụng cụ có thể nghiên cứu các quy luật của chuyển động nhanh dần đều, nghiệm lại các định luật cơ học của Newton, sau này được mang tên ông, gọi là máy Atwood. Xét một hệ gồm hai vật nặng A, B được buộc ở hai đầu sợi dây mảnh khối lượng không đáng kể, vắt qua ròng rọc R có khối lượng  $m_R$  và bán kính  $r$  (Hình 4.4).

Ban đầu A, B có khối lượng bằng nhau  $A = B = m$ , hệ vật có thể giữ ở trạng thái đứng yên. Khi thêm giá trọng có khối lượng  $m_0$  lên quả nặng B thì cả hai vật A, B sẽ chuyển động, theo hai chiều ngược nhau: B



Hình 4.3. Công quang điện



Hình 4.4

chuyển động thẳng đứng xuống dưới, A chuyển động thẳng đứng lên trên với cùng tốc độ  $a$ , còn ròng rọc R chuyển động quay quanh trục nằm ngang của nó với tốc độ góc  $\vec{\beta}$ .

1- Trong trường hợp ma sát nhỏ không đáng kể, ta có thể viết các phương trình động lực học cho mỗi vật của hệ như sau:

- Đối với vật nặng A = m:  $ma = -mg + T_2$  (4.1)

- Đối với vật nặng B = m+m<sub>0</sub>:  $(m+m_0).a = (m+m_0)g - T_1$  (4.2)

- Đối với ròng rọc R:

Áp dụng *phương trình của chuyển động quay quanh trục cố định*:

$$I \cdot \beta = (T_1 - T_2) \cdot r \quad (4.3)$$

Trong đó  $T_1$  và  $T_2$  là các lực căng tại hai nhánh của dây vắt qua ròng rọc,  $r$  là bán kính và  $I$  là mômen quán tính của ròng rọc đối với trục quay nằm ngang của nó.

Nếu ròng rọc có dạng một đĩa tròn thì mô men quán tính đối với trục quay của nó bằng:

$$I = m_R r^2 / 2. \quad (4.4)$$

Mặt khác:  $\beta = \frac{a}{r}$  (4.5)

nên sau khi thay (4.4), (4.5) vào (4.3) và giải hệ phương trình (4.1) (4.2) (4.3), ta tìm được:

$$a = \frac{m_0 \cdot g}{2m + m_0 + \frac{m_R}{2}} \quad (4.6)$$

Nếu khối lượng của ròng rọc rất nhỏ so với tổng khối lượng của hệ vật  $m_R \ll A + B$ , thì tốc độ  $a$  có thể tính bằng:

$$a = \frac{m_0 \cdot g}{2m + m_0} \quad (4.7)$$

Công thức (4.7) cho thấy, trong trường hợp lực ma sát và khối lượng ròng rọc nhỏ có thể bỏ qua, thì hệ hai vật A, B sẽ chuyển động dưới tác dụng của lực:

$$P = m_0g = (2m + m_0)a = Ma \quad (4.8)$$

Với giá trị a tỷ lệ với P và tỷ lệ nghịch với tổng khối lượng M của hệ. Từ mối quan hệ này, bằng cách thay đổi P và M chúng ta có thể kiểm chứng bằng thực nghiệm định luật 2 Newton.

2- Bây giờ ta chọn một điểm gốc O và khảo sát chuyển động của hệ vật, với vật B xuất phát từ điểm Y có độ cao h so với O và vật A ở vị trí có độ cao - h<sub>1</sub> so với O.

Ta nhận thấy rằng khi B ở vị trí Y, thế năng của hệ bằng:

$$W_{t(Y)} = -mgh_1 + (m + m_0)gh = mg(h - h_1) + m_0gh \quad (4.9)$$

Khi B chuyển động đến O, A cũng đi lên một đoạn h nên thế năng của hệ bằng:

$$W_{t(O)} = mg(h - h_1) \quad (4.10)$$

Độ giảm thế năng của hệ trong chuyển động trên:

$$\Delta W_t = m_0gh \quad (4.11)$$

Đồng thời khi đến B hệ vật chuyển động với vận tốc v. Nếu lực ma sát và mô men quán tính I của ròng rọc R rất nhỏ có thể bỏ qua, thì động năng của hệ bằng tổng động năng tịnh tiến của các vật:

$$W_d = \frac{(2m + m_0)v^2}{2} \quad (4.12)$$

Từ các quan hệ (4.11) và (4.12), ta có thể nghiệm lại định luật bảo toàn cơ năng đối với hệ vật trong trường hợp ma sát và mô men quán tính I của ròng rọc có thể bỏ qua.

3- Trong trường hợp ma sát nhỏ có thể bỏ qua nhưng mô men quán tính I của ròng rọc không được bỏ qua, thì động năng của hệ bằng:

$$W_d = \frac{(2m + m_0 + \frac{I}{r^2})}{2} \cdot v^2 \quad (4.13)$$

Trên thực tế, chuyển động của máy Awood còn có lực ma sát tác dụng lên ròng rọc và sức cản của không khí lên các quả nặng trong quá trình chuyển động. Nếu bỏ qua sức cản của không khí thì chúng ta chỉ cần xác định mômen cản tác dụng lên ròng rọc. Trong quá trình đó ta phải đặt thêm một gia trọng để tạo ra một mômen cân bằng mômen cản này.

#### 4.4. Trình tự thí nghiệm

##### 4.4.1. Lắp ráp thí nghiệm

1- Trước tiên cần kiểm tra xem máy ATWOOD đã được lắp ráp đúng chưa: Nam châm điện N được nối với ỗ A qua hộp công tắc kép, cồng quang điện C được nối với ỗ B của đồng hồ MC-964. Ban đầu hai vật nặng A, B có khối lượng bằng nhau và bằng m, được treo trên ròng rọc.

2- Bật điện cho đồng hồ đo thời gian, nam châm điện N được cấp điện, có thể hút vật A.

3- Dịch cồng quang điện C xuống vị trí thấp nhất, sau đó kéo vật B xuống vị trí nằm trong lỗ tròn của cồng quang điện C.

4- Điều chỉnh cân bằng thẳng đứng cho máy ATWOOD: Quan sát sự đồng tâm của quả nặng B và lỗ tròn của cồng quang điện C, nếu không đạt, xoay các chân vít trên tám để điều chỉnh lại.

##### 4.4.2. Do gia tốc và vận tốc tức thời của chuyển động nhanh dần đều, nghiệm định luật Newton 2

Khi một vật chuyển động nhanh dần đều trên quãng đường h với vận tốc ban đầu bằng 0, gia tốc a có thể xác định từ công thức:

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (4.14)$$

Với t là thời gian vật chuyển động trên quãng đường h.

Vận tốc tức thời của vật ở vị trí cuối quãng đường h được xác định bởi:

$$v = \frac{2h}{t} \quad (4.15)$$

Ta sẽ đo vận tốc v và gia tốc a của hệ vật trên máy Atwood theo cách trên, từ đó kiểm chứng lại định luật Newton 2, định luật bảo toàn cơ năng.

Có thể thực hiện theo trình tự sau:

#### 4.4.2.1. Xác định h

Cho nam châm hút quả nặng A. Nối vít hãm và đưa khung di động E lên vị trí cao nhất (bên trên quả nặng B). Xác định *toạ độ Y của đáy quả nặng B* nhờ thước đo gắn trên máy Atwood. Dịch chuyển cồng quang điện C đến vị trí O cách Y một khoảng h (ví dụ h = 500 mm). Ghi giá trị h vào Bảng 4.1.

Ta sẽ làm thí nghiệm với 6 quả gia trọng  $m_0$ , trong đó, ban đầu ta đặt 2 quả lên vật A và đặt 4 quả đặt lên vật B.

#### 4.4.2.2. Xác định thời gian t

Đồng hồ đo thời gian hoạt động ở Mode A↔B, thang đo 9,999 s. Nhấn nút RESET đưa số chỉ đồng hồ về 0.

Khi quả nặng B đã cân bằng không dao động, bấm công tắc kép trong khoảng vài giây để ngắt điện nam châm, giải phóng cho hệ vật chuyển động, đồng thời đồng hồ đo thời gian bắt đầu đếm. Khi đáy quả nặng B chạm tia hồng ngoại của cồng quang điện, đồng hồ đo thời gian dừng đếm, khoảng thời gian t vật chuyển động trên quãng đường h được hiển thị trên đồng hồ. Lặp lại 3 lần phép đo trên và ghi kết quả vào Bảng 4.1.

#### 4.4.2.3. Khảo sát ảnh hưởng của lực P khi tổng khối lượng của hệ không đổi

Thay đổi lực P bằng cách chuyển dần từng quả  $m_0$  từ A sang B và lặp lại bước 4.4.2.2, ghi kết quả phép đo thời gian t vào Bảng 4.1.

#### 4.4.2.4. Khảo sát ảnh hưởng của khối lượng M khi lực P không thay đổi

- Chỉ đặt một quả gia trọng  $2m_0$  lên quả nặng B, thực hiện phép đo t như bước 4.4.2.2, ghi kết quả vào Bảng 2.

Trong trường hợp này  $P = 2m_0g$ ,  $M = 2(m+m_0)$ .

- Thêm vào cả hai vật nặng A, B mỗi bên một và sau đó là hai già trọng  $m_0$ . Lặp lại phép đo t như bước 1.2, ghi kết quả vào bảng 2.

Trong hai trường hợp sau,  $P = 2m_0g$ , nhưng khối lượng của hệ thay đổi ( $M' = 2m+4m_0$  và  $M'' = 2m+6m_0$ ).

Ghi các giá trị số của m và  $m_0$  vào Bảng 4.1 và Bảng 4.2.

#### 4.4.3. Đo vận tốc tức thời của hệ vật tại điểm O ứng với các giá trị P và M khác nhau - Nghiệm định luật bảo toàn và biến đổi cơ năng

- Chỉ đặt hai già trọng  $m_0$  lên già nặng B, thực hiện phép đo t như bước 4.4.2.2, ghi kết quả vào Bảng 4.3.

Trong trường hợp này  $P = 2m_0g$ ,  $M = 2m+2m_0$ .

- Thêm vào vật nặng B một, và sau đó là hai già trọng  $m_0$ . Lặp lại phép đo t như bước 2.1 ghi kết quả vào bảng 3.

Trong hai trường hợp sau, cả lực và khối lượng của hệ đều thay đổi:  $P' = 3m_0g$ ,  $P'' = 4m_0g$ ,  $M' = 2m+3m_0$  và  $M'' = 2m+4m_0$ .

Ghi các giá trị số của m và  $m_0$  vào bảng 4.3.

Tính thể năng ban đầu, vận tốc của hệ vật ở vị trí cuối  $v = \frac{2h}{t}$ ,

động năng tịnh tiến của hệ vật ở trạng thái cuối, từ đó nghiệm định luật bảo toàn cơ năng.

#### 4.4.4. Kết thúc thí nghiệm

Tắt điện đồng hồ đo thời gian hiện số, lau chùi sạch sẽ và cất các già trọng  $m_0$  vào hộp bảo quản, sắp xếp dụng cụ gọn gàng. Kết thúc thí nghiệm.

#### 4.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Định nghĩa chuyển động thẳng đều và chuyển động biến đổi đều, nêu các đại lượng động học đặc trưng cho hai loại chuyển động đó? Chứng minh rằng trong chuyển động biến đổi đều, vận tốc tức thời của vật tại vị trí đặt cồng quang điện có thể xác định theo công thức (4.15)?

2. Trình bày cách đo gia tốc, vận tốc tức thời trên máy Atwood ?  
Kiểm chứng định luật II Newton trên máy Atwood được thực hiện như thế nào?

3. Phát biểu định luật bảo toàn và biến đổi cơ năng? Có thể nghiệm định luật này trên máy Atwood như thế nào? Có thể vận dụng định luật bảo toàn và biến đổi cơ năng để xác định mô men quán tính của ròng rọc của máy Atwood như thế nào?

### HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM

## **KHẢO SÁT CÁC ĐỊNH LUẬT ĐỘNG LỰC HỌC TRÊN MÁY ATWOOD**

Họ và tên .....

Xác nhận của GV

Lớp học phần.....

Ngày thực hành.....

### **I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### **II. Kết quả thí nghiệm**

#### **1. Đo gia tốc và nghiệm định luật II Newton**

*Bảng 4.1*

*Khảo sát quan hệ  $a \sim P$ , khi khôi lượng  $M$  của hệ không đổi*

- Quãng đường:  $h = \dots$  (m) - Quá năng A, B:  $m = \dots$  (g)

- Gia trọng:  $m_0 = \dots$  (g) - Gia tốc trọng trường  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

- Đồng hồ đo thời gian: thang đo 9,999 s, độ chính xác 0.001 s

Lần đo	A	B	P	M	t	a	P/a
I	$m+2m_0$	$m+4m_0$	$2m_0g$	$2m+6m_0$	(s)	$\frac{2h}{t^2}$	
1							
2							
3							
TB							.....
II	$m+m_0$	$m+5m_0$	$4m_0g$	$2m+6m_0$	(s)	$\frac{2h}{t^2}$	
1							
2							
3							
TB							.....
III	$m$	$m+6m_0$	$6m_0g$	$2m+6m_0$	(s)	$\frac{2h}{t^2}$	
1							
2							
3							
TB							.....

Nhận xét kết quả từ Bảng 4.1.....

Bảng 4.2

*Khảo sát quan hệ giữa gia tốc a và khối lượng M, khi lực P không đổi*

- Quãng đường  $h = \dots\dots\dots\dots$  (m)

- Quả nặng A, B :  $m = \dots\dots\dots\dots$  (g)

- Gia trọng hình tròn :  $m_0 = \dots\dots\dots\dots$  (g)

- Gia tốc trọng trường  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

- Đồng hồ đo thời gian: thang đo 9,999 s, độ chính xác 0.001 s

Lần đo	A	B	P	M	t	a	a.M
I	$m$	$m+2m_0$	$2m_0g$	$2m+2m_0$	(s)	$\frac{2h}{t^2}$	
1							
2							
3							
TB							.....
II	$m+m_0$	$m+3m_0$	$2m_0g$	$2m+4m_0$	(s)	$\frac{2h}{t^2}$	
1							
2							
3							
TB							.....
III	$m+2m_0$	$m+4m_0$	$2m_0g$	$2m+6m_0$	(s)	$\frac{2h}{t^2}$	
1							
2							
3							
TB							.....

Nhận xét kết quả từ bảng 4.2 .....

## 2. Đo vận tốc tức thời và nghiệm định luật bảo toàn và biến đổi cơ năng

*Bảng 4.3*

*Đo vận tốc tức thời, độ giảm thể năng, biến thiên động năng của hệ vật*

- Quãng đường:  $h = \dots\dots\dots\dots\dots$  (m)

- Quá năng A, B:  $m = \dots\dots\dots\dots\dots$  (g)

- Gia trọng:  $m_0 = \dots\dots\dots\dots\dots$  (g)

- Gia tốc trọng trường:  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

- Đồng hồ đo thời gian: thang đo 9,999s, độ chính xác 0.001s

Lần đo	A	B	$-\Delta W_t$	M	t	v(m/s)	$\Delta W_d$	$-\Delta W_t/\Delta W_d$
I	m	$m+2m_0$	$2m_0gh$	$2m+2m_0$	(s)	$\frac{2h}{t}$	$\frac{Mv^2}{2}$	
1								
2								
3								
TB			.....				.....	.....
II	m	$m+3m_0$	$3m_0gh$	$2m+3m_0$	(s)	$\frac{2h}{t}$	$\frac{Mv^2}{2}$	$-\Delta W_t/\Delta W_d$
1								
2								
3								
TB							.....	....
III	m	$m+4m_0$	$4m_0gh$	$2m+4m_0$	(s)	$\frac{2h}{t}$	$\frac{Mv^2}{2}$	$-\Delta W_t/\Delta W_d$
1								
2								
3							.....	
TB							.....	

Nhận xét kết quả từ bảng 4.3 Về sự bảo toàn và biến đổi cơ năng:

.....

.....

.....

.....

### 3. Kết luận

.....

.....

.....

### **III. Trả lời câu hỏi kiểm tra**

## BÀI 5. KHẢO SÁT HỆ VẬT CHUYỀN ĐỘNG TỊNH TIẾN – QUAY XÁC ĐỊNH MÔMEN QUÁN TÍNH CỦA BÁNH XE VÀ LỰC MA SÁT Ổ TRỤC

### 5.1. Mục đích thí nghiệm

- Khảo sát chuyển động của hệ vật tĩnh tiến - quay, gồm một quả nặng chuyển động tĩnh tiến liên kết với một bánh xe quay quanh trục cố định bằng một sợi dây.

- Xác định lực ma sát  $f_{ms}$  của Ổ trục quay và mô men quán tính  $I$  của bánh xe trên cơ sở áp dụng định luật bảo toàn và biến đổi cơ năng đối với hệ.

### 5.2. Giới thiệu dụng cụ thí nghiệm

#### 5.2.1. Thành phần thiết bị

- Bộ thiết bị Vật lý BKM-050

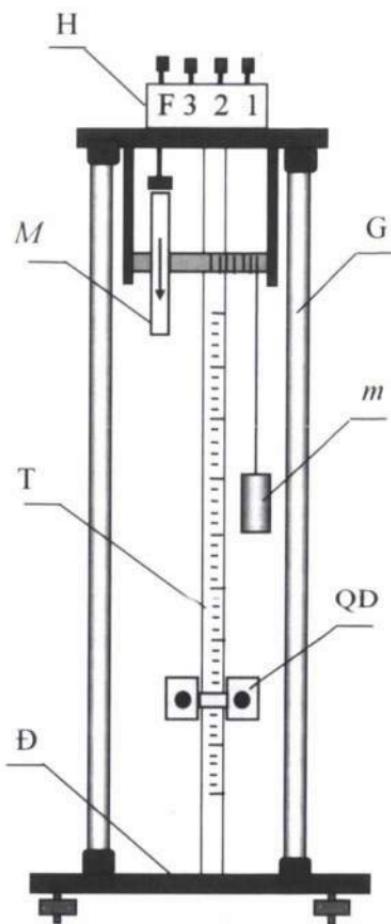
- Máy đo thời gian hiện số MC-964

- Éke

#### 5.2.2. Hướng dẫn sử dụng dụng cụ đo

##### 5.2.2.1. Bộ thiết bị Vật lý BKM-050

Có thể sử dụng bộ thiết bị Vật lý BKM-050 (Hình 5.1) để xác định lực ma sát  $f_{ms}$  của Ổ trục và mô men quán tính  $I$  của bánh xe. Cấu tạo của bộ thí nghiệm gồm:



Hình 5.1. Bộ thiết bị Vật lý BKM-050

- Giá đỡ G bằng thép ống inox cao 1,20 m gắn thẳng đứng trên tám đế thép Đ có vít chinh thăng bằng.
- Bánh xe khối lượng  $M$  có trục quay đặt tựa trong hai ô trục  $O_1O_2$ .
- Sợi dây dài  $l$  không dãn có đầu trên buộc vào trục quay của bánh xe, đầu dưới buộc quả nặng  $m$ , có thể quấn thành một lớp xít nhau trên trục quay này.
- Thước thẳng milimet T dài 1000 mm.
- Cỗng quang điện QĐ có thể dịch chuyển đọc theo thước T.
- Hộp điều khiển khởi động H (có 4 nút bấm F-3-2-1):
  - + Nút F để giữ bánh xe.
  - + Nút 1 để nhà bánh xe.
  - + Nút 2 để đóng mạch cỗng quang điện QĐ.
  - + Nút 3 để nhà bánh xe và khởi động đồng hồ đo thời gian.

#### *5.2.2.2. Máy đo thời gian hiện số MC-964*

Máy đo thời gian hiện số MC-964 (Hình 5.2) được nối với hộp điều khiển H và cỗng quang điện QĐ dùng để đo khoảng thời gian chuyển động của quả nặng  $m$ .



**Hình 5.2. Máy đo thời gian hiện số MC-964**

Mặt phía trước của máy đo có: một cửa sổ hiển thị thời gian chuyển động; một chuyển mạch chức năng đo MODE; hai thang đo thời gian 9,999 s và 99,99 s; một nút RESET để đưa chỉ thị đồng hồ đo về 0.

Mặt sau của máy đo có: các cổng A, B, C được nối vào máy tùy theo chức năng thực hiện; một công tắc K để đóng ngắt điện vào máy.

### 5.3. Cơ sở lý thuyết

Xét hệ vật gồm một bánh xe khối lượng  $M$  có trục quay  $O_1O_2$  nằm ngang và một quả nặng khối lượng  $m$  liên kết với bánh xe bằng một sợi dây không dãn quấn xít nhau thành một lớp trên trục quay của bánh xe (Hình 5.3).

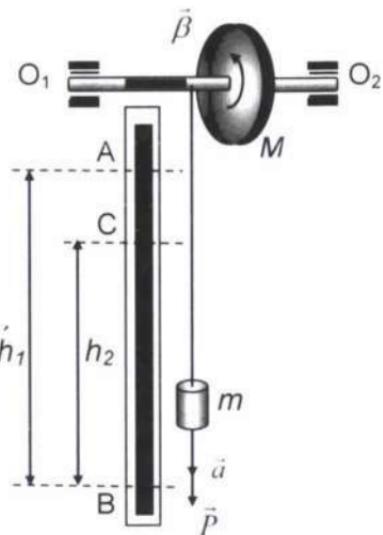
Ban đầu, bánh xe  $M$  không quay và quả nặng  $m$  đứng yên tại vị trí A có độ cao  $h_1$  so với vị trí thấp nhất B của nó nên thế năng dự trữ của hệ vật là  $mgh_1$ . Khi ta thả cho hệ vật chuyển động dưới tác dụng của trọng lực  $\vec{P} = m\vec{g}$  thì quả nặng  $m$  sẽ chuyển động tịnh tiến từ A đến B với gia tốc  $\vec{a}$ . Đồng thời bánh xe  $M$  dưới tác dụng của mômen lực do trọng lực  $\vec{P}$  tạo ra sẽ quay quanh trục của nó với gia tốc  $\vec{\beta}$ .

Trong quá trình chuyển động này, thế năng của hệ dần chuyển thành động năng tịnh tiến  $\frac{mv^2}{2}$  của quả nặng  $m$ , động năng quay  $\frac{I\omega^2}{2}$  của bánh xe (với  $I$  là mô men quán tính của bánh xe đối với trục quay) và một phần bị tiêu hao để thăng công của lực ma sát  $A_{ms} = f_{ms}h$  trong hai ô trục  $O_1O_2$ .

Áp dụng định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng đối với hệ vật chuyển động quay – tịnh tiến trên đoạn đường  $AB = h_1$ , ta có:

$$mgh_1 = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + f_{ms}h_1 \quad (5.1)$$

Trong đó  $v$  là vận tốc dài của quả nặng  $m$  tại vị trí B và  $\omega$  là vận tốc góc tương ứng của bánh xe  $M$  tương ứng tại vị trí đó.



Hình 5.3

Khi tới vị trí thấp nhất B, bánh xe  $M$  tiếp tục quay theo quán tính, quả nặng  $m$  sau một quá trình tương tác với dây treo xẩy ra trong một khoảng thời gian  $\Delta t$  rất ngắn làm véc tơ vận tốc của nó đổi chiều (tương tự như quá trình va chạm đàn hồi), chuyển động lên cao. Kết quả làm cho sợi dây lại tự cuốn vào trục quay và nâng quả nặng  $m$  lên đến vị trí C có độ cao  $h_2$  ( $h_2 < h_1$ ).

Tại vị trí C, thế năng của hệ vật bằng  $mgh_2 < mgh_1$ . Như vậy độ giảm thế năng của hệ trên đoạn đường ABC có độ dài tổng cộng  $h_1 + h_2$  có giá trị đúng bằng công cảm của lực ma sát trong hai ống trục  $O_1O_2$ , tức là:

$$mg.h_1 - mgh_2 = f_{ms}(h_1 + h_2) \quad (5.2)$$

$$\text{suy ra : } f_{ms} = mg \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad (5.3)$$

Vì  $m$  chuyển động nhanh dần đều trên đoạn đường  $AB = h_1$  trong khoảng thời gian  $t$  nên vận tốc  $v$  của nó tại vị trí thấp nhất B có giá trị bằng:

$$v = \frac{2h_1}{t} \quad (5.4)$$

Vận tốc  $v$  này cũng là vận tốc dài của một điểm trên trục quay của bánh xe  $M$  tại thời điểm  $t$ , nó liên hệ với vận tốc góc  $\omega$  và bán kính  $r$  của trục quay nên ta có:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2h_1}{r.t} = \frac{4h_1}{t.d} \quad (5.5)$$

với  $d = 2r$  là đường kính trục  $O_1O_2$ .

Thay (5.3) (5.4) (5.5) vào (5.1), ta tìm được mô men quán tính I của bánh xe đối với trục quay của nó bằng:

$$I = \frac{m.d^2}{4} \left[ g.t^2 \frac{h_2}{h_1.(h_1 + h_2)} - 1 \right] \quad (5.6)$$

Trong thí nghiệm này, nếu biết khối lượng  $m$  của quả nặng, đường kính trục quay  $d$  thì ta có thể xác định lực ma sát  $f_{ms}$  của ống trục quay và

mô men quán tính  $I$  của bánh xe theo các công thức (5.3) và (5.6) bằng cách đo thời gian chuyển động  $t$  của hệ trên quãng đường AB và độ dài của các đoạn đường đi  $h_1, h_2$  của hệ vật.

#### 5.4. Trình tự thí nghiệm

##### 5.4.1. Lắp ráp và điều chỉnh thiết bị

- Dùng dây tín hiệu có hai đầu phích 5 chân nối hộp điều khiển H với ổ A ở mặt sau của máy đo thời gian hiện số MC-964, nối cổng quang điện với ổ B của máy này.

- Cắm phích lấy điện của máy đo thời gian hiện số MC-964 vào nguồn ~ 220V. Vặn núm “MODE” sang vị trí A ↔ B và gạt núm “Thang đo” sang vị trí 9,999 s. Bấm khóa K ở mặt sau của máy để cho máy hoạt động.

- Kiểm tra vị trí thấp nhất B của quả nặng  $m$  và vị trí cổng quang điện:

Bấm nút 3 trên hộp điều khiển H để nhả phanh hãm bánh xe M, đưa quả nặng xuống vị trí thấp nhất B. Để quả nặng  $m$  đứng yên ở vị trí thấp nhất của nó; nếu giá đỡ G đã được cân chỉnh đúng thì đường trực của quả nặng phải giao với đường truyền tia hồng ngoại của cổng quang điện; nếu chưa đạt thì cần cân chỉnh lại bằng cách xoay các vít của tấm đế Đ.

Cổng quang điện cần đặt ở vị trí sao cho tia hồng ngoại vừa chạm đáy quả nặng khi quả nặng chuyển đến vị trí thấp nhất B. Có thể kiểm tra vị trí này một cách đơn giản, khi các nút nhấn 1, 2 trên hộp điều khiển H đều nổi (không nhấn xuống), bằng cách nâng lên hoặc hạ xuống quả nặng  $m$  tại vị trí thấp nhất B. Nếu vị trí cổng quang điện đặt đúng thì đồng hồ MC-964 phải chuyển trạng thái (đêm hoặc không đêm) khi quả nặng vừa chạm vị trí thấp nhất B. Trong trường hợp đáy quả nặng không cắt tia hồng ngoại (đồng hồ đo thời gian không chuyển trạng thái) hoặc đáy quả nặng đi xuống vượt quá đường tia hồng ngoại, thì cần nhờ giáo viên chỉnh lại.

##### 5.4.2. Đo khoảng thời gian chuyển động $t$ và các độ cao $h_1, h_2$

- Xác định tọa độ của đáy quả nặng ở vị trí thấp nhất  $Z_B$ .

- Đưa quả nặng m lên vị trí  $h_1$  bằng cách quay bánh xe M để sợi dây treo quần vào trục quay của bánh xe thành một lớp xít nhau cho tới khi đáy của quả nặng m nằm ở vị trí cao nhất A tùy chọn. Bấm nút F của hộp điều khiển H để hãm bánh xe đứng yên tại vị trí A. Dùng êke xác định chính xác tọa độ  $Z_A$  trên thước milimet T.

$$\text{Khi đó: } h_1 = Z_A - Z_B$$

Ghi giá trị  $h_1$  vào Bảng 5.1.

- Bấm nút RESET trên mặt máy đo thời gian MC-964 để các chữ số hiển thị trên cửa sổ “Thời gian” chuyển về trạng thái 0000, sau đó bấm nút 3 (hệ vật bắt đầu chuyển động và máy đo thời gian bắt đầu đếm), ngay sau đó bấm nút 2. Khi quả nặng m rơi đến vị trí thấp nhất B, tia hồng ngoại bị ngắt bởi đáy quả nặng thì máy đo thời gian ngừng đếm. Khoảng thời gian chuyển động  $t$  của hệ vật trên đoạn đường từ A đến B có độ dài  $h_1$  sẽ hiển thị trên cửa sổ “Thời gian”.

- Tiếp tục theo dõi chuyển động đi lên của quả nặng m cho đến khi nó đạt tới vị trí C có độ cao cực đại và dừng lại thì bấm nút F để hãm bánh xe làm cho toàn hệ thống dừng chuyển động. Dùng thước êke xác định tọa độ  $Z_C$  của vị trí C trên thước thẳng milimet. Khi đó độ cao của đáy quả nặng m tại vị trí C có giá trị bằng:  $h_2 = Z_C - Z_B$

Lặp lại 5 lần các thao tác trên, ghi giá trị khoảng thời gian chuyển động  $t$  của vật và độ cao  $h_2$  vào Bảng 5.1.

## 5.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Viết biểu thức tính, nêu ý nghĩa của mômen quán tính và đơn vị đo của nó. Giá trị của mômen quán tính phụ thuộc vào những yếu tố nào?

2. Trình bày phương pháp xác định lực ma sát trong ống trục quay và mômen quán tính của bánh xe sử dụng trong bài.

3. Khi tiến hành phép đo, tại sao phải quần sợi dây treo quả nặng m trên trục quay của bánh xe thành một lớp xít nhau?

4. Vì sao có thể xem quá trình tương tác giữa quả nặng và dây treo làm đổi chiều vận tốc quả nặng tại vị trí thấp nhất B như là quá trình va chạm đàn hồi? Hãy mô tả diễn biến của quá trình trên.

HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
**KHẢO SÁT HỆ VẬT CHUYỀN ĐỘNG TỊNH TIẾN - QUAY  
XÁC ĐỊNH MÔMEN QUÁN TÍNH CỦA BÁNH XE  
VÀ LỰC MA SÁT Ở TRỤC**

Họ và tên .....

Xác nhận của GV

Lớp học phần.....

Ngày thực hành.....

### I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm

### II. Kết quả thí nghiệm

#### A. Bảng số liệu

Bảng 5.1

$m = \bar{m} \pm \Delta m = \dots \cdot 10^{-6} (kg)$		$\Delta t_{dc} = \dots (s)$		
$d = \bar{d} \pm \Delta d = \dots (mm)$		$h_1 = \bar{h}_1 \pm \Delta h_1 = \dots (mm)$		
Lần đo ( <i>i</i> )	<i>t</i> (s)	$\Delta t_i$ (s)	$h_2$ (mm)	$\Delta h_{2i}$ (mm)
1				
2				
3				
4				
5				
Trung bình				

## B. Kết quả

### 1. Tính lực ma sát ở ô trục

- Tính sai số tương đối:

$$\delta = \frac{\Delta f_{ms}}{f_{ms}} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{2(\bar{h}_1 \cdot \Delta h_2 + \bar{h}_2 \cdot \Delta h_1)}{\bar{h}_1^2 - \bar{h}_2^2} = \dots \quad (\%)$$

$$(\Delta h_2 = (\Delta h_2)_{dc} + \bar{\Delta h}_2 = \dots)$$

- Tính giá trị trung bình:

$$\overline{f_{ms}} = mg \cdot \frac{\bar{h}_1 - \bar{h}_2}{\bar{h}_1 + \bar{h}_2} = \dots \quad (N)$$

- Tính sai số tuyệt đối :

$$\Delta f_{ms} = \delta \cdot \overline{f_{ms}} = \dots \quad (N)$$

- Viết kết quả phép đo:

$$f_{ms} = \overline{f_{ms}} \pm \Delta f_{ms} = \dots \pm \dots \quad (N)$$

### 2. Tính mô men quán tính của bánh xe

Trong công thức ( 5.6 ) , vì  $gt^2 \cdot \frac{h_2}{h_1 \cdot (h_1 + h_2)} >> 1$  nên có thể coi

gần đúng:

$$I \approx mg \cdot \frac{h_2}{h_1 \cdot (h_1 + h_2)} \cdot \left( \frac{t \cdot d}{2} \right)^2$$

- Tính sai số tương đối:

$$\delta = \frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{1}{\bar{h}_1 + \bar{h}_2} \left( \frac{2\bar{h}_1 + \bar{h}_2}{\bar{h}_1} \cdot \Delta h_1 + \frac{\bar{h}_1}{\bar{h}_2} \cdot \Delta h_2 \right) + 2 \left( \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta t}{t} \right) = \dots \quad (\%)$$

$$(\Delta t = (\Delta t)_{dc} + \bar{\Delta t} = \dots)$$

- Tính giá trị trung bình:

$$\bar{I} = \overline{mg} \cdot \frac{\overline{h_2}}{\overline{h_1} \cdot (\overline{h_1} + \overline{h_2})} \cdot \left( \frac{\overline{l} \cdot \overline{d}}{2} \right)^2 = \dots (kg \cdot m^2)$$

- Tính sai số tuyệt đối:

$$\Delta I = \delta \bar{I} = \dots \quad (kg \cdot m^2)$$

- Viết kết quả phép đo:

$$I = \bar{I} \pm \Delta I = \dots \pm \dots \quad (kg \cdot m^2)$$

### III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## BÀI 6. KHẢO SÁT DAO ĐỘNG CỦA CON LẮC VẬT LÝ XÁC ĐỊNH GIA TỐC TRỌNG TRƯỜNG

### 6.1. Mục đích thí nghiệm

Vận dụng lý thuyết về chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định và khái niệm mô men quán tính để khảo sát dao động quanh vị trí cân bằng của con lắc vật lý tại hai điểm treo  $O_1$  và  $O_2$  của nó. Khảo sát thực nghiệm ảnh hưởng của sự phân bố khối lượng gia trọng đến chu kỳ dao động của con lắc vật lý nhằm thiết lập trang thái thuận nghịch để từ đó xác định chính xác gia tốc trọng trường tại nơi làm thí nghiệm.

### 6.2. Giới thiệu dụng cụ thí nghiệm

#### 6.2.1. Thành phần thiết bị

- Con lắc Vật lý

- Máy đo thời gian hiện số MC-963A (xem lại mục 5.2.2 bài số 5)

- Giá treo con lắc

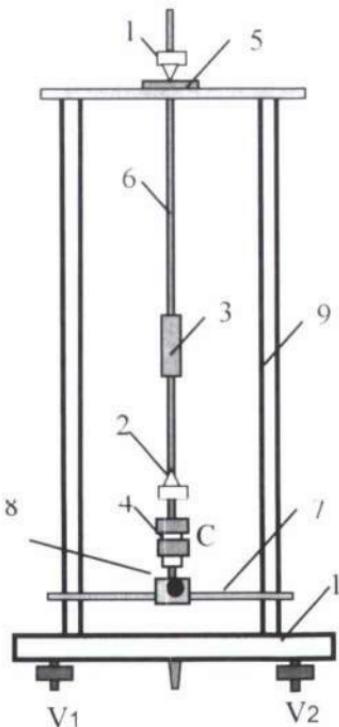
- Cỗng quang điện hồng ngoại

- Thước kẹp có giới hạn đo  $0 \div 250$  mm, độ chính xác  $0,1$  mm (xem lại mục 5.2.3 bài số 5, mục 2.2.2 bài số 2)

- Giấy vẽ đồ thị kẻ ô li

#### 6.2.2. Hướng dẫn sử dụng dụng cụ đo

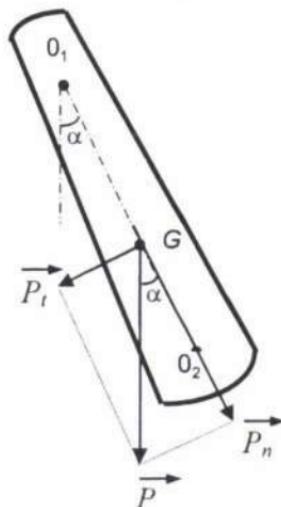
Con lắc Vật lý sử dụng trong bài này gồm một thanh kim loại 6, trên đó gắn hai con dao cố định 1 và 2 nằm cách nhau một khoảng  $L = O_1O_2$  không đổi (Hình 6.1). Cạnh của dao 1 hoặc 2 lần lượt được đặt tựa trên mặt kính phẳng nằm ngang của gối đỡ 5. Quả nặng 3 gắn cố định trên thanh kim loại 6. Gia trọng C có dạng một đai ốc lắp trên thân ren 4 có thể dịch chuyển bằng cách vặn



Hình 6.1

xoay quanh trục ren 4, được dùng để thay đổi phân bố khối lượng do đó thay đổi vị trí tâm G của con lắc. Toàn bộ được đặt trên giá đỡ 9 và tám chân đế 10 có các vít điều chỉnh thẳng bằng V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>. Số dao động và thời gian tương ứng được đo trên máy đo thời gian hiện số MC-963A.

Cỗng quang điện 8 gồm một diốt D<sub>1</sub> phát ra tia hồng ngoại và một diốt D<sub>2</sub> nhận tia hồng ngoại từ D<sub>1</sub> chiếu sang. Dòng điện cung cấp cho D<sub>1</sub> được lấy từ máy đo thời gian. Khi con lắc dao động, thanh kim loại 6 đi qua khe của cỗng quang điện 8 sẽ chắn chùm tia hồng ngoại chiếu từ D<sub>1</sub> sang D<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> sẽ phát tín hiệu truyền theo dây dẫn đi tới máy đo thời gian, điều khiển máy hoạt động. Cơ chế như vậy cho phép đóng ngắt bộ đếm máy đo thời gian hầu như không có quán tính. Cỗng quang điện được đặt ở vị trí cân bằng thẳng đứng của con lắc.



Hình 6.2

### 6.3. Cơ sở lý thuyết

Con lắc vật lý là một vật rắn, khối lượng m, có thể dao động quanh một trục cố định nằm ngang đi qua điểm O<sub>1</sub> nằm cao hơn khối tâm G của nó (Hình 7.2). O<sub>1</sub> gọi là điểm treo của con lắc.

Vị trí cân bằng của con lắc trùng với phương thẳng đứng của đường thẳng O<sub>1</sub>G. Khi kéo con lắc lệch khỏi vị trí cân bằng một góc α nhỏ rồi buông nó ra thì thành phần P<sub>t</sub> của trọng lực P tác dụng lên con lắc một mô men lực M<sub>1</sub> có trị số bằng:

$$M_1 = -P_t L_1 = -mg \cdot L_1 \cdot \sin\alpha \quad (6.1)$$

Trong đó g là gia tốc trọng trường, L<sub>1</sub> = O<sub>1</sub>G là khoảng cách từ O<sub>1</sub> đến khối tâm G, dấu “-”, cho biết mô men lực M<sub>1</sub> luôn kéo con lắc về vị trí cân bằng. Khi α nhỏ, ta có thể coi gần đúng:

$$M_1 \approx -mg \cdot L_1 \cdot \alpha \quad (6.2)$$

Phương trình cơ bản đối với chuyển động quay của con lắc quanh trục đi qua O<sub>1</sub> có dạng:

$$\beta_1 = \frac{M_1}{I_1} \quad (6.3)$$

ở đây  $\beta_1$  là gia tốc góc, I<sub>1</sub> là mô men quán tính của con lắc đối với trục quay đi qua O<sub>1</sub>. Kết hợp (6.3) với (6.2) và thay  $\omega_1^2 = mg.L_1/I_1$ , ta nhận được phương trình dao động của con lắc:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \omega_1^2 \cdot \alpha = 0 \quad (6.4)$$

Nghiệm của (6.4) có dạng:

$$\alpha = \alpha_0 \cos(\omega_1 t + \varphi) \quad (6.5)$$

là một hàm điều hòa theo thời gian với  $\alpha_0$  là biên độ dao động,  $\omega_1$  là tần số góc,  $\varphi$  là pha ban đầu tại thời điểm  $t = 0$ .

Từ (6.5) suy ra chu kỳ T<sub>1</sub> của con lắc:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{mg \cdot L_1}} \quad (6.6)$$

Như vậy, chu kỳ dao động T<sub>1</sub> của con lắc vật lý phụ thuộc mô men quán tính của nó đối với trục quay O<sub>1</sub>, khoảng cách từ khối tâm G đến trục quay và khối lượng m của nó.

Trong con lắc vật lý, ta có thể tìm thấy một điểm O<sub>2</sub> nằm trên đường thẳng đi qua O<sub>1</sub> và G, sao cho khi dao động quanh trục nằm ngang đi qua O<sub>2</sub> thì chu kỳ dao động của con lắc đúng bằng chu kỳ dao động của nó khi dao động quanh trục đi qua O<sub>1</sub>. Con lắc vật lý khi đó được gọi là *con lắc thuận nghịch*.

Thật vậy, ta có thể dễ dàng chứng minh rằng có tồn tại điểm treo O<sub>2</sub> này như sau: Khi dao động quanh trục đi qua điểm O<sub>2</sub>, chu kỳ dao động của con lắc được tính toán tương tự trên, ta tìm được:

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{mg \cdot L_2}} \quad (6.7)$$

Với  $L_2 = O_2G$  là khoảng cách từ trục quay đi qua điểm  $O_2$  đến khối tâm  $G$  và  $I_2$  là mô men quán tính của con lắc đối với trục quay đi qua  $O_2$ .

Gọi  $I_G$  là mô men quán tính của con lắc đối với trục đi qua khối tâm  $G$  và song song với hai trục đi qua  $O_1$  và  $O_2$ . Theo định lý Huyghens-Steiner:

$$I_1 = I_G + mL_1^2 \quad (6.8)$$

$$I_2 = I_G + mL_2^2 \quad (6.9)$$

Nếu điểm treo  $O_2$  thỏa mãn điều kiện  $T_1 = T_2$ , thay (6.8), (6.9) vào (6.7), (6.6) ta tìm được biểu thức xác định vị trí của  $O_2$ :

$$L_1 \cdot L_2 = \frac{I_G}{m} \quad (6.10)$$

Mặt khác, từ (6.6), (6.7) ta có thể rút ra biểu thức xác định gia tốc trọng trường:

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot (L_1 + L_2) \cdot (L_1 - L_2)}{T_1^2 \cdot L_1 - T_2^2 \cdot L_2} \quad (6.11)$$

Nếu hai điểm treo  $O_1, O_2$  thỏa mãn công thức (6.11) thì  $T_1 = T_2 = T$ , biểu thức xác định gia tốc trọng trường được đơn giản thành:

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot L}{T^2} \quad (6.12)$$

Với  $L = L_1 + L_2 = O_1O_2$  là khoảng cách giữa hai trục nằm ngang đi qua  $O_1$  và  $O_2$ .

## 6.4. Trình tự thí nghiệm

### 6.4.1. Lắp ráp và điều chỉnh thiết bị

- Công tắc gạt chọn kiểu đóng ngắn ở vị trí II.

- Chuyển mạch MODE đặt ở vị trí n = 50 để đo thời gian của 50 chu kỳ dao động của con lắc (nếu muốn đo một chu kỳ ta đặt ở vị trí N/2).

- Thang thời gian TIME chọn 99,99 s.

- Phích cắm 5 chân của công quang điện 8 được nối với ô A trên mặt máy đo thời gian.

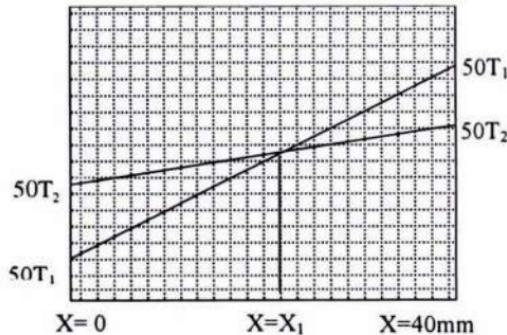
- Cắm phích điện máy đo thời gian vào lưới điện 220 V, nhấn khóa K trên mặt máy, các LED chỉ thị số sáng lên, máy đếm sẵn sàng đo.

#### 6.4.2. Tiến hành đo

- Văn giá trọng C về sát quả nặng trên trục ren 4 (lúc này khoảng cách giữa chúng là  $x = 0$ ). Đặt con lắc lên giá đỡ theo chiều thuận (chữ "Thuận" xuôi chiều và hướng về phía người làm thí nghiệm) đo thời gian 50 chu kỳ dao động và ghi vào Bảng 1 dưới cột  $50T_1$ . Sau đó đảo ngược con lắc (chữ "Nghịch" xuôi chiều và hướng về phía người làm thí nghiệm), đo thời gian 50 chu kỳ nghịch và ghi vào Bảng 6.1 dưới cột  $50T_2$ .

- Văn giá trọng C về vị trí cách quả nặng gần trên trục 4 một khoảng 40 mm (dùng thước kẹp để kiểm tra). Đo thời gian  $50T_1$ ,  $50T_2$  rồi ghi kết quả vào Bảng 6.1

- Biểu diễn kết quả đo trên đồ thị.  
Nối các điểm  $50T_1$  với nhau và  $50T_2$  với nhau bằng các đoạn thẳng, giao của chúng là điểm gần đúng vị trí  $x_1$  của giá trọng C để có  $T_1 = T_2 = T$  (Hình 6.3).



Hình 6.3: Đồ thị tìm vị trí giá trọng  $x_1$

- Dùng thước kẹp đặt giá trọng C về đúng vị trí  $x_1$ . Đo  $50T_1$ ,  $50T_2$  tại vị trí này. Ghi kết quả vào Bảng 7.2.

- Điều chỉnh chính xác vị trí giá trọng C (nếu  $50T_1 = 50T_2$  thì bỏ qua bước này): Từ đồ thị Hình 6.3 và kết quả phép đo tại vị trí  $x_1$  cho ta

rút ra nhận xét cần dịch chuyển theo hướng nào để thu được kết quả tốt nhất sao cho  $50T_1 = 50T_2$ .

- Sau khi tìm được vị trí tốt nhất của gia trọng C, đo mỗi chiều 3 lần để lấy sai số ngẫu nhiên. Dùng thước kẹp để xác định vị trí tốt nhất  $x_1$  này. Ghi kết quả vào Bảng 6.2.

Thực hiện xong thí nghiệm, tắt máy đo MC-963 và rút phích cắm điện của nó ra khỏi nguồn ~220V.

### 6.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Con lắc Vật lý khác con lắc đơn ở những điểm nào?
2. Chứng minh rằng một con lắc Vật lý bắt kèi với điểm treo O<sub>1</sub> cho trước có thể tìm thấy O<sub>2</sub> để con lắc trở thành thuận nghịch.
3. Viết biểu thức xác định chu kỳ của con lắc thuận nghịch với biên độ nhỏ. Xây dựng công thức tính sai số tỉ đối của phép đo g bằng con lắc thuận nghịch.
4. Trình bày cách điều chỉnh gia trọng C để con lắc trở thành thuận nghịch với hai điểm treo O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub> cho trước.
5. Vì sao góc lệch của con lắc phải  $< 10^\circ$  và phải đo nhiều chu kỳ của dao động (ví dụ 50 dao động chứ không phải là 1 dao động)?

HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
**KHẢO SÁT DAO ĐỘNG CỦA CON LẮC VẬT LÝ**  
**XÁC ĐỊNH GIA TỐC TRONG TRƯỜNG**

Họ và tên .....

### Xác nhận của GV

## Lớp học phần.....

1

ANSWER

Ngày thực hành.....

## I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm

## II. Kết quả thí nghiệm

### A. Số liệu

#### 1. Xác định 50 chu kỳ của con lắc thuận, nghịch tại các vị trí

Bảng 6.1

L = ..... ± ..... (mm)		
Vị trí giá trọng C (mm)	50T <sub>1</sub> (s)	50T <sub>2</sub> (s)
x = 0 mm	.....	.....
x = 40 mm	.....	.....

2. Vẽ đồ thị (tìm vị trí gần đúng  $x_1$ )

3. Xác định 50 chu kỳ của con lắc thuận nghịch

Bảng 6.2

		50T <sub>1</sub> (s)	Δ50T <sub>1</sub> (s)	50T <sub>2</sub> (s)	Δ50T <sub>2</sub> (s)
Vị trí gần đúng x <sub>1</sub> =.....					
Vị trí tốt nhất x <sub>1</sub> =.....	Lần 1				
	Lần 2				
	Lần 3				
	Trung bình				

## B. Kết quả

1. Xác định chu kỳ dao động của con lắc thuận nghịch

\* Căn cứ vào Bảng 6.2, giá trị trung bình của 50 chu kỳ dao động của con lắc thuận nghịch là trung bình của các giá trị 50T<sub>1</sub> và 50T<sub>2</sub> tại vị trí tốt nhất x<sub>1</sub>:

$$\bar{T} = \frac{1}{50} \left( \frac{\overline{50T_1} + \overline{50T_2}}{2} \right) = \dots \text{(s)}$$

\* Sai số phép đo T:  $\Delta T = \overline{\Delta T} + \Delta T_{dc} = \dots \text{(s)}$

với:  $\overline{\Delta T} = \frac{(\overline{\Delta 50T_1} + \overline{\Delta 50T_2})}{2.50} = \dots \text{(s)}$

2. Tính gia tốc trọng trường

- Tính sai số tỉ đối:

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

- Tính gia tốc trọng trường:

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

- Tính sai số tuyệt đối:

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

- Viết kết quả đo:

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

### III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## Bài 7. XÁC ĐỊNH NHIỆT DUNG RIÊNG CỦA CHẤT LỎNG

### 7.1. Mục đích thí nghiệm

Khảo sát quá trình trao đổi nhiệt giữa các vật trong bình nhiệt lượng kế, áp dụng định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng (nguyên lý thứ nhất nhiệt động học) đối với hệ vật cô lập trong đó chỉ xảy ra quá trình trao đổi nhiệt, từ đó xác định được nhiệt dung riêng của chất lỏng.

### 7.2. Thiết bị thí nghiệm

- Bình nhiệt lượng kế có điện trở nung nóng.
- Mẫu chất lỏng có nhiệt dung riêng c chưa biết.
- Nhiệt kế hiện số (-50 ÷ +150<sup>0</sup>C, chính xác 0,1<sup>0</sup>C).
- Nguồn điện ổn áp một chiều 0 ÷ 12 V/3 A.
- Đồng hồ bấm giây hiện số, chính xác 0,01 s.
- Cốc thuỷ tinh 250 cm<sup>3</sup>.
- Cân kỹ thuật 0 ÷ 200 g, chính xác 0,02 g; hộp quả cân 0 ÷ 200 g.
- Dây nối mạch điện, dài 60 cm, hai đầu cốt.

### 7.3. Cơ sở lý thuyết

#### 7.3.1. Khái niệm nhiệt dung riêng

*Nhiệt dung riêng c của một lượng chất là đại lượng có trị số bằng lượng nhiệt Q cần phải tiêu tốn để nung nóng 1kg chất này tăng thêm 1<sup>0</sup>C:*

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} \quad (7.1)$$

Ở đây  $m$  là khối lượng và  $T_2 - T_1 = \Delta T$  là khoảng biến thiên nhiệt độ của lượng chất. Đơn vị đo của  $c$  là J/kg.K. Công thức (7.1) xác định giá trị trung bình của nhiệt dung riêng  $c$  trong khoảng nhiệt độ từ  $T_1$  đến  $T_2$ . Nếu bỏ qua sự phụ thuộc nhiệt độ của nhiệt dung riêng  $c$  trong khoảng nhiệt độ này, thì ta có:

$$Q = c.m.(T_2 - T_1) \quad (7.2)$$

Trong một hệ vật cô lập (không trao đổi công và nhiệt với bên ngoài), nếu chỉ xảy ra quá trình trao đổi nhiệt giữa các vật trong hệ thì tổng đại số các lượng nhiệt do các vật thu vào và tỏa ra trong hệ có giá trị bằng không:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0 \quad (7.3)$$

Phương trình này được suy ra từ nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học, gọi là *phương trình cân bằng nhiệt*, nó biểu diễn định luật bảo toàn năng lượng đối với hệ vật cô lập.

### 7.3.2. Phương pháp nhiệt lượng kế

#### Nhiệt lượng kế (Hình 7.1)

có cấu tạo gồm: cốc kim loại 1 và que khuấy 2 đặt trong bình trụ 3 có vỏ cách nhiệt và nắp đậy kín, phía dưới nắp đậy có hai thanh đồng gắn với điện trở  $R$ , một nhiệt kế NK để đo nhiệt độ bên trong bình.

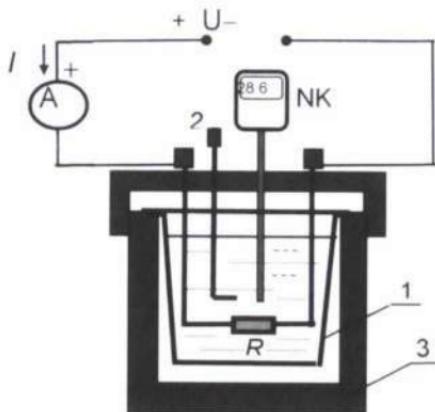
Đổ vào cốc kim loại  $m$  gam chất lỏng và làm nóng nó bằng cách cho dòng điện  $I$  chạy qua điện trở  $R$ , lấy từ nguồn điện áp một chiều  $U$ . Sau khoảng thời gian  $\tau$ , lượng nhiệt Jun-Lenxơ tỏa ra trên điện trở  $R$  là:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot \tau = U \cdot I \cdot \tau \quad (7.4)$$

Lượng nhiệt  $Q$  này truyền cho khối chất lỏng và hệ bình nhiệt lượng kế, làm nhiệt độ của cả hệ tăng từ giá trị ban đầu  $T_1$  đến giá trị cực đại  $T_2$ .

Khối chất lỏng thu nhiệt lượng:

$$Q_1 = c.m.(T_2 - T_1) \quad (7.5)$$



Hình 7.1. Nhiệt lượng kế

Bình nhiệt lượng kế thu nhiệt lượng:

$$Q_2 = C^* \cdot (T_2 - T_1) \quad (7.6)$$

Trong đó  $c$  và  $m$  là *nhiệt dung riêng* và khối lượng của khối chất lỏng,  $C^*$  là *nhiệt dung* của hệ bình nhiệt lượng kế, có giá trị bằng lượng nhiệt cần thiết phải truyền cho bình nhiệt lượng kế để nhiệt độ của bình tăng thêm  $1^\circ\text{C}$ .

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng cho quá trình trao đổi nhiệt nói trên, ta có:

$$Q = U \cdot I \cdot \tau = (c \cdot m + C^*) \cdot (T_2 - T_1) \quad (7.7)$$

Nếu chất lỏng ta sử dụng là một chất lỏng mẫu (đã biết nhiệt dung riêng  $c$ ), đo được  $m$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $\tau$  và  $T = T_2 - T_1$  tương ứng, từ (7.7) ta có thể xác định được nhiệt dung  $C^*$  của bình nhiệt lượng kế theo công thức:

$$C^* = \frac{U \cdot I \cdot \tau}{T_2 - T_1} - c \cdot m \quad (7.8)$$

Nếu biết trước nhiệt dung  $C^*$  của bình nhiệt lượng kế, đo được  $m$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $\tau$  và  $T = T_2 - T_1$  tương ứng ta sẽ xác định được  $c$ :

$$c = \frac{U \cdot I \cdot \tau}{m \cdot (T_2 - T_1)} - \frac{C^*}{m} = \frac{U \cdot I \cdot \tau}{m \cdot T} - \frac{C^*}{m} \quad (7.9)$$

## 7.4. Trình tự thí nghiệm

Trong bài thí nghiệm, ta coi như đã biết trước nhiệt dung  $C^*$  của bình nhiệt lượng kế.

### 7.4.1. Cân khối lượng của các vật trên cân kỹ thuật bằng phương pháp cân Mendeleev

Cân kỹ thuật sử dụng trong thí nghiệm này có phạm vi cân từ 0 ÷ 200 g, độ chính xác 0,02 g (Xem lại bài số 3. Cân chính xác).

Thực hiện theo các bước sau:

- Kiểm tra vị trí số 0 của cân không tải.

– Lau sạch các đĩa cân. Điều chỉnh trụ cân thẳng đứng sao cho đầu dây dọi nằm đối diện ngay trên đầu mũi nhọn ở đế cân. Gạt con mă về vị trí số 0 trên cánh tay đòn cân bên trái.

– Đặt quả cân 200 g lên đĩa trái làm bì. Lau khô cốc kim loại 1 và đặt nó lên đĩa cân bên phải. Thêm bớt các quả cân có khối lượng  $m_1$  lên đĩa phải để kim cân thẳng bằng ở vị trí  $a_m$  trên băng chia. Đọc và ghi giá trị  $m_1$ .

– Đỗ 200 ml chất lỏng (dầu) cần đo vào cốc kim loại (dùng cốc thủy tinh để đựng) rồi đặt lên đĩa cân phải. Thêm bớt các quả cân trên đĩa phải để kim cân lại thẳng bằng ở vị trí  $a_m$  như trên. Đọc và ghi giá trị  $m_2$  của các quả cân trên đĩa phải.

Khối lượng chất lỏng (dầu) là:  $m = m_1 - m_2$

Ghi giá trị của  $m$  vào bảng 7.1.

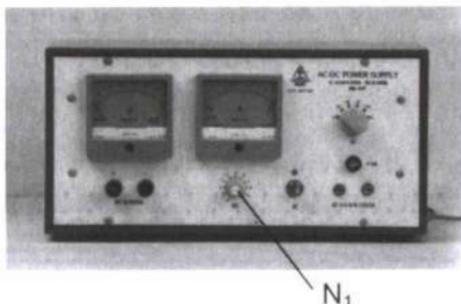
#### 7.4.2. Xác định nhiệt dung riêng của chất lỏng

– Đặt cốc đựng chất lỏng vào bình nhiệt lượng kế. Đậy kín nắp bình nhiệt lượng kế để điện trở  $R$  nhúng ngập trong chất lỏng của cốc kim loại 1.

– Kiểm tra hoạt động của nhiệt kế hiện số NK bằng cách: bật hai công tắc ở mặt sau của nó sang các vị trí "TEST" và "ON" để kiểm tra giá trị "0" của thang đo (có thể là 0,0 hoặc  $0,1^{\circ}\text{C}$ ). Sau đó, gạt công tắc bên trái sang vị trí "RUN" và giữ nguyên vị trí "ON" của công tắc bên phải để hiển thị nhiệt độ trong phòng.

– Cắm nhiệt kế NK vào bình nhiệt lượng kế sao cho đầu dưới của nó nằm gần phía trên điện trở  $R$ . Kéo que khuấy 2 lên xuống để đảo nhẹ chất lỏng trong cốc. Chờ  $2 \div 3$  phút, đọc và ghi giá trị ổn định của nhiệt độ ban đầu  $T_1$  của hệ nhiệt lượng kế.

– Mắc nối tiếp điện trở  $R$  của bình nhiệt lượng kế và ampe kế hiện



Hình 7.2. Nguồn điện

số A, rồi nối với hai cực + và - của bộ nguồn điện U theo sơ đồ Hình 7.1.

- Vặn núm xoay N<sub>1</sub> trên mặt nguồn điện U (Hình 7.2) ngược chiều kim đồng hồ về vị trí tận cùng bên trái. Bật công tắc K: đèn LED phát sáng, báo hiệu nguồn điện sẵn sàng hoạt động. (Có thể thử hoạt động của nguồn bằng cách vặn tiếp núm xoay N<sub>1</sub> thuận chiều kim đồng hồ đồng thời quan sát hai đồng hồ Vôn, Ampe trên mặt bộ nguồn, sau đó tắt nguồn ngay).

- Xoay núm N<sub>1</sub> đến vị trí tận cùng phải để lấy điện áp ra U tối đa. Công tắc K vẫn ở trạng thái ngắt điện.

- Bấm đồng thời núm khởi động START của đồng hồ bấm giây và công tắc K của nguồn điện U để tiến hành phép đo đúng thời điểm bắt đầu có dòng điện  $I$  chạy qua điện trở  $R$ .

- Sau khoảng thời gian  $\tau$  (cỡ 5 - 10 phút), bấm đồng thời núm STOP của đồng hồ bấm giây hiện số và công tắc K của nguồn điện U để ngắt điện.

Tiếp tục khuấy nhẹ chất lỏng trong cốc kim loại 1 và theo dõi nhiệt độ trên nhiệt kế NK cho tới khi nhiệt độ đạt giá trị cực đại  $T_2$ .

Đọc và ghi giá trị của  $T = T_2 - T_1$ ,  $\tau I$ , U vào Bảng 7.1.

#### Chú ý:

- Thực hiện các phép đo các величин  $m$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $\tau$ ,  $T = T_2 - T_1$  ba lần (chú ý chọn  $\tau$  như nhau trong các lần đo). Sau mỗi lần đo cần lau sạch dầu trên điện trở và que đo của nhiệt kế rồi mới tiếp tục lần đo lại từ bước 7.4.1.

- Ghi **độ chính xác và giới hạn thang đo** của các dụng cụ dùng trong thí nghiệm này vào Bảng 7.1

- Kết thúc thí nghiệm, đổ chất lỏng vào bình chứa, rửa sạch cốc, lau khô và đặt trả lại vào bình nhiệt lượng kế. Tắt tất cả các nguồn điện của nguồn ồn áp, nhiệt kế hiện số, tháo mạch điện, sắp xếp dụng cụ gọn gàng.

## 7.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Định nghĩa nhiệt dung riêng của một chất. Phân biệt khái niệm và đơn vị đo nhiệt dung  $C$  với nhiệt dung riêng  $c$  của một khối chất.
2. Mô tả cấu tạo và nguyên tắc hoạt động của bình nhiệt lượng kế. Trình bày phương pháp xác định nhiệt dung riêng  $c$  của chất lỏng trong thí nghiệm này. Từ đó rút ra công thức tính nhiệt dung riêng  $c$ .
3. Chứng minh:

$$\delta = \frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\bar{U}\bar{I}\Delta\tau + \bar{U}\bar{\tau}\Delta I + \bar{\tau}\bar{I}\Delta U + \bar{T}\Delta C^* + \bar{C}^*\Delta T}{\bar{U}\bar{I}\bar{\tau} - \bar{T}\bar{C}^*}$$

Từ đó dự đoán các nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sai số lớn của phép đo.

## HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM

### XÁC ĐỊNH NHIỆT DUNG RIÊNG CỦA CHẤT LỎNG

Họ và tên ..... Xác nhận của GV

Lớp học phần.....

1

1000

#### I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm

## II. Kết quả thí nghiệm

## 1. Bảng 7.1

$$\Delta_{mdc} = \dots \text{ (g)} ; \delta_V = \dots ; \delta_A = \dots$$

$$C^* = \dots \pm \dots (J/\text{d}\phi); \Delta T_{dc} = \dots (^{\circ}\text{C})$$

Lần đo	m	$U$ (V)	$I$ (A)	$\tau$ (s)	$T = T_2 - T_1$ ( $^{\circ}$ C)
1					
2					
3					
Trung bình					

## 2. Xử lý số liệu

a) Tính sai số tương đối

$$\delta = \frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\bar{U}\bar{I}\Delta\tau + \bar{U}\bar{\tau}\Delta I + \bar{\tau}\bar{I}\Delta U + \bar{T}\Delta C^* + \bar{C}^*\Delta T}{\bar{U}\bar{I}\bar{\tau} - \bar{T}\bar{C}^*} = \dots (\%)$$

b) Tính giá trị trung bình

$$\bar{c} = \frac{\bar{U}\bar{I}\bar{\tau}}{m\bar{T}} - \frac{\bar{C}^*}{m} = \dots (J/g.K)$$

c) Tính sai số tuyệt đối  $\Delta c = \delta \bar{c} = \dots (J/g.K)$

d) Viết kết quả đo

$$c = \bar{c} \pm \Delta c = \dots \pm \dots \quad (J/g.K)$$

## III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## BÀI 8. KHẢO SÁT HIỆN TƯỢNG NỘI MA SÁT XÁC ĐỊNH HỆ SỐ NHỚT CỦA CHẤT LỎNG THEO PHƯƠNG PHÁP STÓC (STOKES )

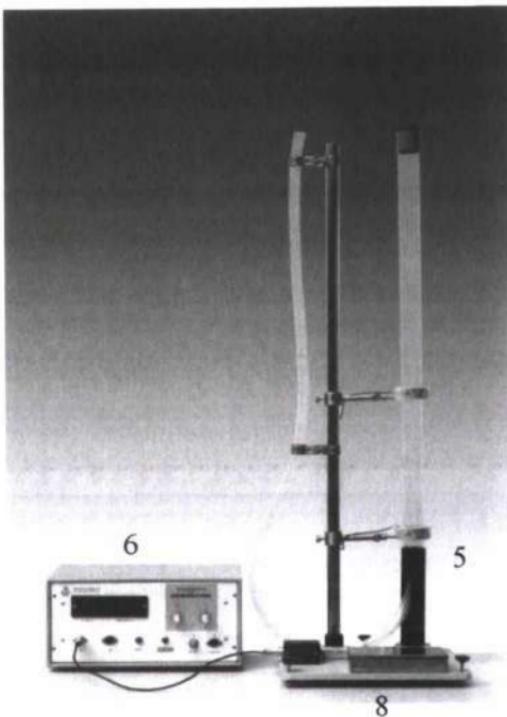
### 8.1. Mục đích thí nghiệm

- Khảo sát hiện tượng nội ma sát trong chuyển động chất lưu.
- Xác định hệ số nhớt của chất lỏng theo phương pháp Stokes.

### 8.2. Thiết bị thí nghiệm

Bộ thiết bị thí nghiệm vật lý BKO-070 (Hình 8.1) gồm:

- Ống thuỷ tinh hữu cơ (cao 85 cm, khắc độ 1 mm/vạch).
- Dầu nhờn có hệ số nhớt cần đo.
- Các viên bi thép.
- Nam châm nhỏ dùng lấy các viên bi ra khỏi chất lỏng.
- Hai đầu cảm biến 4 và thiết bị hiện số 6 đo thời gian rơi của viên bi;
- Thước panme thang đo 0 - 25 mm, độ chính xác 0,01 mm.

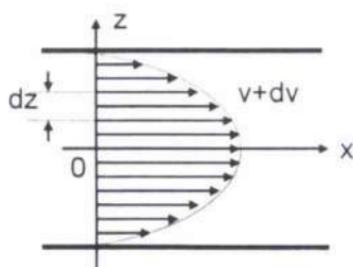


Hình 8.1. Bộ thiết bị đo độ nhớt bằng PP Stokes

## 8.3. Cơ sở lý thuyết

### 8.3.1. Lực nội ma sát (lực nhớt)

Khi chất lỏng chuyển động thành lớp trong một ống hình trụ theo hướng song song với trục Ox của ống, người ta nhận thấy vận tốc định hướng  $v$  của các phân tử trong các lớp chất lỏng có trị số giảm dần tới 0 theo hướng Oz (vuông góc với Ox) tính từ tâm O đến thành ống (Hình 8.2). Sự khác nhau về trị số vận tốc định hướng của các lớp chất lỏng là do ở mặt tiếp xúc giữa các lớp này đã xuất hiện các lực nội ma sát có tác dụng cản trở chuyển động tương đối của chúng.



Hình 8.2

Bản chất của lực nội ma sát có thể giải thích theo thuyết động học phân tử, bởi sự *trao đổi động lượng* của các phân tử giữa các lớp chất lỏng có vận tốc định hướng khác nhau. Các phân tử của lớp chuyển động nhanh A, khuếch tán sang lớp chuyển động chậm B, truyền bớt động lượng cho các phân tử của lớp B, làm tăng vận tốc định hướng cho lớp B. Ngược lại, các phân tử của lớp chuyển động chậm B, khuếch tán sang lớp chuyển động nhanh A, thu bớt động lượng của các phân tử của lớp A, làm vận tốc định hướng của lớp A giảm.

Thực nghiệm chứng tỏ trị số của lực nội ma sát  $F_{ms}$  giữa hai lớp chất lỏng có vận tốc định hướng là  $v$  và  $v+dv$ , nằm cách nhau một khoảng  $dz$  dọc theo phương Oz, tỷ lệ với gradien vận tốc theo phương Oz  $dv/dz$  và tỷ lệ với diện tích mặt tiếp xúc  $\Delta S$  giữa hai lớp chất lỏng chuyển động tương đối với nhau và phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng:

$$F_{ms} = \eta \cdot \frac{dv}{dz} \cdot \Delta S \quad (8.1)$$

Hệ số tỷ lệ  $\eta$  gọi là *hệ số nhớt động lực học* của chất lỏng. Trị số của  $\eta$  phụ thuộc bản chất của chất lỏng và giảm khi nhiệt độ tăng.

Đơn vị đo của  $\eta$  là kg/m.s.

### 8.3.2. Phương pháp thực nghiệm

Giả sử có một viên bi nhỏ bán kính  $r$  đang rơi thẳng đứng với vận tốc  $v$  trong khối chất lỏng, thì lớp chất lỏng bám dính vào mặt ngoài viên bi cũng chuyển động theo với cùng vận tốc  $v$ . Do tác dụng của lực nội ma sát, lớp chất lỏng này sẽ kéo các lớp khác nằm gần nó chuyển động theo.

Thực nghiệm chứng tỏ trên khoảng cách  $\frac{2}{3}r$  tính từ mặt ngoài viên bi ra xa nó, vận tốc của các lớp chất lỏng giảm dần từ  $v$  đến 0 (Hình 8.3).

Khi đó gradien vận tốc theo phương Oz bằng:

$$\frac{dv}{dz} = \frac{v - 0}{2r/3} = \frac{3v}{2r} \quad (8.2)$$

Theo công thức (8.1), lực nội ma sát giữa lớp chất lỏng bám dính vào mặt ngoài của viên bi (có diện tích  $\Delta S = 4\pi r^2$ ,  $r$ : bán kính viên bi) và lớp chất lỏng tiếp xúc với nó có trị số bằng:

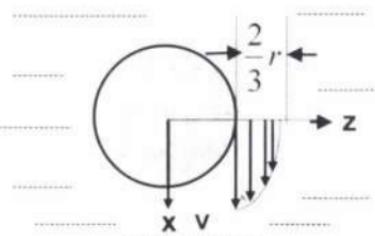
$$F_{ms} = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S = \eta \frac{3v}{2r} 4\pi r^2 \text{ hay } F_{ms} = 6\pi \eta r v \quad (8.3)$$

Công thức này gọi là *công thức Stokes*, nó cho biết lực nội ma sát  $F_{ms}$  tăng tỷ lệ với vận tốc  $v$  và chỉ đúng đối với những vận tốc  $v$  không lớn (cỡ vài m/s) của viên bi chuyển động trong chất lỏng rộng vô hạn.

Có thể xác định hệ số nhớt  $\eta$  của chất lỏng theo phương pháp Stokes nhờ bộ thiết bị vật lý BKO-070.

Khi thả viên bi có khối lượng  $m$  qua phễu định tâm rơi vào trong chất lỏng, viên bi sẽ chịu ba lực tác dụng:

\* Trọng lực  $P$  hướng thẳng đứng từ trên xuống và có trị số bằng:



Hình 8.3

$$P = m \cdot g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 \cdot g \quad (8.4)$$

với  $r$  là bán kính và  $\rho_1$  là khối lượng riêng của viên bi,  $g$  là gia tốc trọng trường.

\* Lực đẩy Acsimét  $F_A$  hướng thẳng đứng từ dưới lên và có trị số bằng trọng lượng của khối chất lỏng bị viên bi chiếm chỗ:

$$F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho \cdot g \quad (8.5)$$

với  $\rho$  là khối lượng riêng của chất lỏng.

\* Lực nội ma sát  $F_C$  hướng thẳng đứng từ dưới lên và có trị số bằng:

$$F_C = 6 \pi \eta r v \quad (8.6)$$

với  $v$  là vận tốc của viên bi và  $\eta$  là hệ số nhớt của chất lỏng.

Dưới tác dụng của các lực nêu trên, viên bi sẽ chuyển động với vận tốc  $a = dv/dt$ . Theo định luật 2 Newton:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = P - F_A - F_C \quad (8.7)$$

Dưới tác dụng của các lực này, vận tốc rơi  $v$  của viên bi tăng dần. Khi  $v$  tăng thì lực nội ma sát tăng theo. Khi  $v$  đạt đến giá trị  $v_o$  thì lực đẩy Acsimét và lực nội ma sát sẽ cân bằng với trọng lực  $P$ , viên bi sẽ chuyển động đều.

Cho về phái của phương trình (8.7) bằng 0 và chiếu lên trực toạ độ có phương thẳng đứng, chiều hướng xuống (cùng chiều chuyển động của viên bi), ta được :

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 \cdot g - \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho \cdot g - 6 \pi \eta r v_o = 0$$

Biến đổi, ta có:  $\eta = \frac{2 (\rho_1 - \rho_o) r^2 \cdot g}{9 v_o}$  (8.8)

Có thể xác định trị số của  $v_0$  bằng cách đo khoảng thời gian chuyển động  $\tau$  của viên bi rơi thẳng đều giữa hai vạch chuẩn 4 và 5 cách nhau một khoảng  $L$ :  $v_0 = \frac{L}{\tau}$ .

Thay  $v_0$  vào (8.8) với  $d$  là đường kính của viên bi, ta tìm được:

$$\eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho) \cdot d^2 \cdot g \cdot \tau}{L} \quad (8.9)$$

Thực tế, chất lỏng không rỗng vô hạn mà chứa trong một ống trụ có đường kính  $D$  hữu hạn. Trong trường hợp này, hệ số nhớt của chất lỏng được tính theo công thức:

$$\eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho) \cdot d^2 \cdot g \cdot \tau}{L \cdot (1 + 2,4 \frac{d}{D})} \quad (8.10)$$

Nếu biết các đại lượng  $\rho_1$ ,  $\rho$ ,  $g$ ,  $L$  và  $D$ , ta có thể xác định hệ số nhớt  $\eta$  của chất lỏng một cách đơn giản bằng cách đo đường kính  $d$  của viên bi và khoảng thời gian rơi thẳng đều  $\tau$  giữa hai vạch chuẩn chọn trước.

#### 8.4. Trình tự thí nghiệm

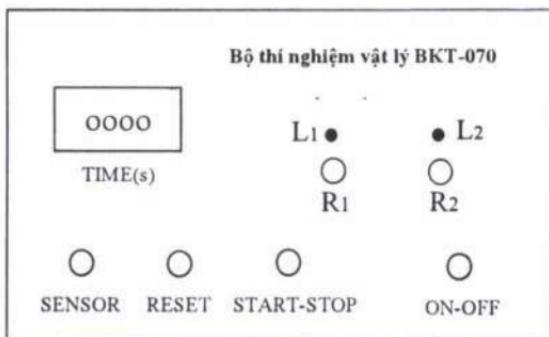
##### 8.4.1. Đo đường kính $d$ của viên bi bằng thước panme

Dùng panme, thực hiện 10 lần phép đo đường kính  $d$  của viên và ghi vào Bảng 8.1.

##### 8.4.2. Đo khoảng thời gian chuyển động $\tau$ của viên bi rơi trong chất lỏng

###### 8.4.2.1. Lắp đặt và điều chỉnh thẳng băng

Vặn các chân vít ở mặt của tám đé 8 (Hình 8.1) để điều chỉnh sao cho ống 3 đựng chất lỏng hướng thẳng đứng. Các vòng cảm biến 4 và 5 nằm ở vị trí phía dưới ống 3, cách nhau khoảng  $L = 25 - 30$  cm.



Hình 8.4

Cắm phích lấy điện của bộ đo thời gian BKT-070 vào ổ điện ~220V. Bấm khoá K trên mặt máy: các chữ số hiện thị trên cửa sổ "TIME" trên mặt bộ đo thời gian (Hình 8.4) phát sáng.

#### 8.4.2.2. Điều chỉnh độ nhạy cảm biến của bộ đo thời gian

- Vặn cả hai biến trở R1 và R2 ngược chiều kim đồng hồ về vị trí tận cùng bên trái.

- Điều chỉnh độ nhạy của cảm biến 5 bằng cách xoay thật từ từ núm xoay R1, theo chiều kim đồng hồ (về bên phải) cho tới điểm M nào đó, khi đèn LED phía trên R1 *bắt đầu phát sáng* thì dừng lại. Nếu xoay R1 qua điểm M theo chiều kim đồng hồ thì đèn LED tiếp tục sáng, nhưng độ nhạy của cảm biến 5 giảm do đó cảm biến không hoạt động khi viên bi đi qua.

- Thực hiện thao tác tương tự với cảm biến 4 bằng cách xoay thật chậm núm xoay R2 theo chiều kim đồng hồ (về bên phải) cho tới điểm N nào đó khi đèn LED phía trên R2 *bắt đầu phát sáng* thì dừng lại. M, N là hai vị trí cả hai LED cùng sáng, nhưng nằm sát ranh giới giữa sáng và tối của hai đèn LED, là vị trí nhạy cảm của hai cảm biến 4 và 5 khi viên bi đi qua.

Có thể dùng một viên bi cho di chuyển phía ngoài ống từ trên xuống, chạm lần lượt vào hai cảm biến, các số hiển thị trên cửa sổ thời gian "time" sẽ thay đổi trạng thái giữa đếm và dừng đếm, nếu R1 và R2 được điều chỉnh đúng vị trí của nó. Cuối cùng bấm nút "RESET" để đưa các chữ số hiển thị trên các cửa sổ đều trở về 0, hệ thống sẵn sàng đo.

*Trong trường hợp không muốn dùng cảm biến, bộ đo thời gian BKT-070 có thể dùng như một đồng hồ bấm dây điện từ với độ chính xác  $10^{-3}$  s. Nút bấm "START-STOP" bố trí ngay trên mặt máy. Khi đó, các biến trở R1 và R2 phải vặn về tận cùng phải để cả hai LED cùng sáng.*

#### 8.4.2.3. Đo thời gian rơi của viên bi

Thả nhẹ viên bi qua phễu định tâm 2 để nó rơi thẳng đứng dọc theo trục của ống thuỷ tinh đựng chất lỏng. Khi viên bi đi qua tiết diện ngang của cảm biến 4 hoặc 5, nó sẽ làm xuất hiện một xung điện có tác dụng

khỏi động hoặc dừng bộ đếm thời gian hiện số. Khoảng thời gian rơi  $\tau$  của viên bi trên khoảng cách L giữa hai cảm biến 4 và 5 hiện thị trên cửa sổ TIME.

Thực hiện 10 lần động tác này với cùng một viên bi đã chọn. Đọc và ghi giá trị của  $\tau$  hiện thị trong cửa sổ "TIME" ứng với mỗi lần đo vào Bảng 8.1.

### Chú ý:

- Nếu khi viên bi đi qua cảm biến 4 hoặc 5, mà một hoặc cả hai cảm biến này không hoạt động, có nghĩa là biến trờ R1 hoặc R2 được điều chỉnh chưa đúng vị trí, hệ thống đo chưa đủ nhạy. Khi đó cần chỉnh lại R1 hoặc R2 tương ứng bằng cách xoay nhẹ ngược chiều kim đồng hồ một chút ít để tiến gần sát ranh giới "sáng – tối" của đèn LED hơn (nhưng vẫn phải đảm bảo các đèn LED vẫn sáng).

- Sau mỗi lần đo, lấy viên bi ra khỏi ống nối 7 bằng cách dùng một nam châm nhỏ, áp sát nam châm vào ống nối 7 tại vị trí có viên bi và dịch chuyển nam châm nhẹ nhàng sát thành ống để viên bi bám theo, trượt dọc theo thân ống nối 7 lên tới gần miệng ống này. Cứ để cho nam châm hút các viên bi, chờ cho đầu bám trên viên bi chảy xuống hết, ta lấy nó ra và lau bằng một tờ giấy thấm.

### Đọc và ghi các số liệu sau đây vào các Bảng 8.1:

- Độ chính xác của thước panme và bộ đo thời gian hiện số.
- Khối lượng riêng  $\rho$  của chất lỏng (dầu);  $\rho_i$  của viên bi.
- Khoảng cách L giữa hai đầu cảm biến 4 và 5.
- Đường kính D của ống trụ thuỷ tinh.

## 8.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Giải thích sự xuất hiện của lực nội ma sát, nêu rõ bản chất và viết biểu thức của lực này. Đơn vị đo hệ số nhớt của chất lỏng.

2. Trình bày phương pháp Stokes xác định hệ số nhớt của chất lỏng. Giải thích nguyên nhân và nêu tính chất của lực cản đối với chuyển động của viên bi rơi trong chất lỏng.

3. Vận tốc của viên bi rơi trong chất lỏng thay đổi như thế nào? Tại sao việc đo thời gian rơi của viên bi lại được thực hiện ở đoạn cuối của ống?

4. Trong điều kiện nào, ta có thể tính hệ số nhớt  $\eta$  của chất lỏng theo công thức (8.9) hoặc công thức (8.10)?

5. Chứng minh sai số tương đối của hệ số nhớt  $\eta$  có dạng:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\Delta\rho_i + \Delta\rho}{\rho_i - \rho} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta\tau}{\tau} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{1}{D+2,4d} \left[ (2D+2,4d) \frac{\Delta d}{d} + 2,4d \frac{\Delta D}{D} \right].$$

HƯỚNG DẪN BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
**XÁC ĐỊNH HỆ SỐ NHỚT CỦA CHẤT LỎNG THEO PHƯƠNG  
 PHÁP STOKES**

Họ và tên .....

Xác nhận của GV

Lớp học phần.....



Ngày thực hành.....

**I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm**

.....  
 .....  
 .....

**II. Kết quả thí nghiệm**

**1. Kết quả**

**Bảng 8.1**

$\Delta d_{dc} = \dots$ (mm)	$\Delta \tau_{dc} = \dots$ (s)	$D = \dots$ (mm); $L = \dots$ (m)	Khối lượng riêng của viên bi: $\rho_1 = \dots$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	
- Nhiệt độ phòng: $t^0C = \dots$			Khối lượng riêng của dầu: $\rho = \dots$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	
Lần đo	d (mm)	$\Delta d$ (mm)	$\tau$ ( s )	$\Delta \tau$ ( s )
1				
2				
3				
4				
5				

6				
7				
8				
9				
10				
Trung bình				

## 2. Xử lý số liệu

$$\Delta d = (\Delta d)_{dc} + \overline{\Delta d} = \dots \text{ (mm)}$$

$$\Delta \tau = (\Delta \tau)_{dc} + \overline{\Delta \tau} = \dots \text{ (s)}$$

Sai số tý đối của hệ số nhớt  $\eta$ :

$$\delta = \frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{\Delta \rho_1 + \Delta \rho}{\rho_1 - \rho} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta \tau}{\tau} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{1}{D + 2,4d} \left[ (2D + 2,4d) \frac{\Delta d}{d} + 2,4d \frac{\Delta D}{D} \right] = \dots$$

Giá trị trung bình của hệ số nhớt  $\eta$ :

$$\bar{\eta} = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho) \cdot \overline{d^2} \cdot g \cdot \bar{\tau}}{L \cdot \left( 1 + 2,4 \cdot \frac{\bar{d}}{D} \right)} = \dots \text{ (kg/m.s)}$$

Sai số tuyệt đối của hệ số nhớt  $\eta$ :

$$\Delta \eta = \delta \cdot \bar{\eta} = \dots \text{ (kg/m.s)}$$

Viết kết quả của phép đo

$$\eta = \bar{\eta} \pm \Delta \eta = \dots \text{ (kg/m.s)}$$

## III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## BÀI 9. XÁC ĐỊNH VẬN TỐC TRUYỀN ÂM TRONG KHÔNG KHÍ THEO PHƯƠNG PHÁP CỘNG HƯỞNG SÓNG DỪNG

### 9.1. Mục đích thí nghiệm

- Khảo sát sự truyền sóng âm trong cột không khí, sự tạo thành sóng dừng và hiện tượng cộng hưởng sóng dừng.

- Xác định bước sóng và vận tốc truyền âm trong không khí.

### 9.2. Dụng cụ thí nghiệm

#### 9.2.1. Thành phần thiết bị (Hình 9.1)

- Ống cộng hưởng âm bằng thuỷ tinh hữu cơ trong suốt.

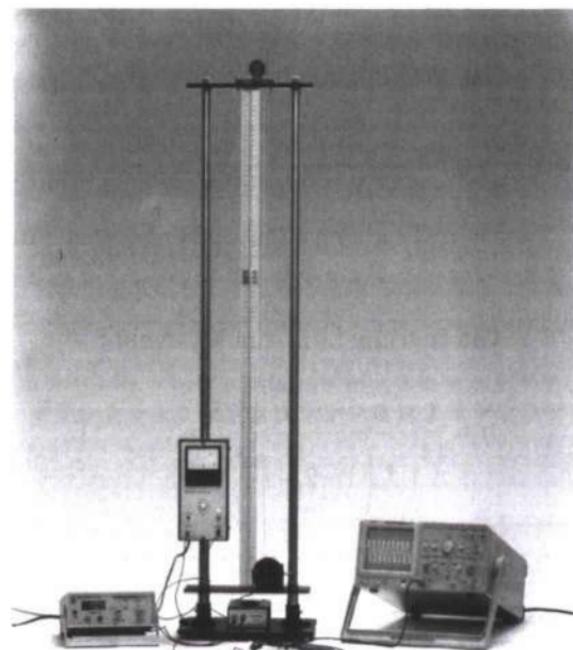
- Piston bằng thép bọc nhựa.

- Giá thí nghiệm bằng thép Inox có chân đế bằng thép, có vít điều chỉnh cân bằng.

- Loa điện động 8  $\Omega$ , 15 W - Microphone áp điện.

- Máy phát tần số hiển thị số 0.2 Hz - 2MHz, VC2002.

- Bộ khuếch đại tín hiệu Micro EC - 253, có hiển thị kim, hiển thị số, hoặc hiển thị dao động (Oscilloscope)



Hình 9.1

#### 9.2.2. Mô tả thiết bị

##### 9.2.2.1. Ống cộng hưởng âm

Ống cộng hưởng âm bằng thuỷ tinh hũu cơ dài 1000 mm (hai đầu hở), có gắn thước chia độ đến 1 mm, đặt thẳng đứng, bên trong có Piston có thể dịch chuyển nhờ hệ thống dây kéo - ròng rọc. Đầu dưới ống đê hở, bên dưới đặt loa điện động. Microphon áp điện có kích thước nhỏ được đặt bên trong ống cộng hưởng âm, đầu ra của nó có phích đồng trực được cắm vào lối vào (Input) của bộ khuếch đại MIKE EC-253. Tín hiệu ra xoay chiều từ EC-253 được nối với dao động kí điện tử VC-2020 nhờ một cáp đồng trục hai đầu.

#### 9.2.2.2. Máy phát tần số VC2002

Máy phát tần số VC2002 cung cấp dòng điện xoay chiều hình sin cho loa hoạt động.

Mặt trước có:

1- Nút xoay tần số (F.Adj): dùng điều chỉnh tần số tín hiệu ra trong phạm vi thang đã chọn (xem (7)).

2- Nút xoay Biên độ (A.Adj): dùng điều chỉnh biên độ tín hiệu ra.

3- Nút xoay nghiêng tín hiệu (D.Adj):

Dùng cân chỉnh dạng tín hiệu hình sin, điều chỉnh tạo dạng cho tín hiệu răng cưa từ tín hiệu hình tam giác.

4- Lỗ cắm đồng trục cho tín hiệu ra.

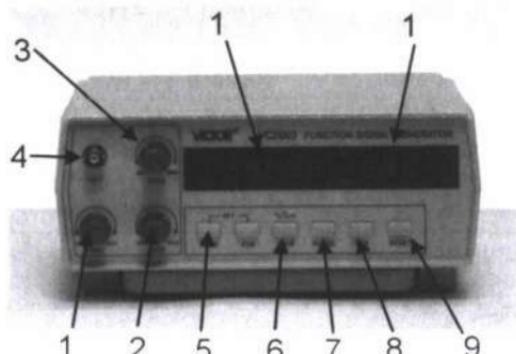
5- Nút nhấn suy giảm tín hiệu ra 20dB và 40dB.

6- Nút nhấn dùng để chọn dạng sóng :

“1”: Hình sin

“2”: Xung vuông

“3”: Tam giác, răng cưa



Hình 9.2. Máy phát tần số

7- Nút nhấn dùng chọn thang tần số, có 7 dải tần, được biểu thị bởi các con số từ 1 đến 7:

“1” :	0.2 - 2	Hz
“2” :	2 - 20	Hz
“3” :	20 - 200	Hz
“4” :	200 - 2000	Hz
“5” :	2 - 20	kHz
“6” :	20 - 200	kHz
“7” :	200 - 2000	kHz

Trong bài thí nghiệm này, ta chỉ dùng thang “3” và “4”

8- Nút nhấn "RUN", cho máy "chạy", thực hiện tất cả các lệnh đã đặt.

9- Nút nhấn RESET: dùng để thiết lập lại trạng thái "0" ban đầu.

10- Cửa sổ hiển thị số, có 3 chữ số, để hiển thị biên độ điện áp tín hiệu ra theo đơn vị V và mV.

11- Cửa sổ hiển thị số có 6 chữ số, dùng để hiển thị Mode hoạt động (1 - 3: dạng sóng ), số chỉ thang tần số ( 1-7), và giá trị tần số tín hiệu ra được thiết lập sau khi nhấn nút RUN.

Mặt sau có: Công tắc nguồn và dây cắm nguồn 220 V – 50 Hz.

### 9.3. Cơ sở lý thuyết

#### 9.3.1. Sự tạo thành sóng âm và vận tốc truyền sóng âm trong không khí

Giả sử có một dao động xuất hiện trên một phần tử đang nằm tại vị trí cân bằng trong môi trường đàn hồi. Do đặc tính đàn hồi của môi trường, phần tử nằm trong thể tích bên cạnh cũng bị lôi kéo dịch chuyển khỏi vị trí ban đầu của nó và dao động cứ thế được truyền lan trong không gian tạo thành sóng.

Sự truyền sóng được mô tả bởi phương trình truyền sóng dạng tổng quát:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial^2 t} = v^2 / U \quad (9.1)$$

Ở đây  $\Delta$  là toán tử Laplace,  $v$  là vận tốc truyền sóng, còn  $U(r, t)$  là hàm số mô tả sự dịch chuyển của phần tử môi trường trong không gian và theo thời gian.

Trong hệ toạ độ Đè - các ba chiều, toán tử Laplace có dạng:

$$\Delta = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \quad (9.2)$$

Trong trường hợp sự truyền sóng chỉ xảy ra theo một chiều Ox, phương trình truyền sóng có dạng:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (9.3)$$

Nghiệm của phương trình (9.3) cho ta:

$$U(x, t) = U_1(x+vt) + U_2(x-vt) \quad (9.4)$$

Trong đó  $U_1$  và  $U_2$  là hai hàm tùy ý, khả vi hai lần, có dạng tùy thuộc loại dao động. Nếu dao động kích thích là một dao động điều hoà thì chúng có dạng:

$$U_1 = U_0 \sin \omega(t + \frac{x}{v}), \quad U_2 = U_0 \sin \omega(t - \frac{x}{v}) \quad (9.5)$$

Đó là hai sóng điều hoà truyền theo hai hướng ngược nhau. Vận tốc truyền sóng âm  $v$  được xác định theo công thức:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (9.6)$$

trong đó  $\rho$  là mật độ,  $E$  là mô đun đàn hồi.

Nếu môi trường truyền sóng âm là khí lý tưởng thì các dao động chính là các biến thiên về áp suất khí và mật độ khí giữa các điểm lân cận và được lan truyền trong môi trường. Trong quá trình truyền sóng âm, khí bị dãn nhanh đến mức có thể coi là đoạn nhiệt. Các phép tính chỉ ra rằng vận tốc truyền sóng âm liên quan với chi số đoạn nhiệt  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  bằng biểu thức:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}} \quad (9.7)$$

Trong đó:  $R$  là hằng số khí lý tưởng  $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$ ,

$T$  là nhiệt độ tuyệt đối,

$M$  là khối lượng của 1 mol không khí ( $M = 0,0288 \text{ kg/mol}$ ).

Công thức (9.7) cho thấy vận tốc truyền âm trong không khí không phụ thuộc áp suất khí mà chỉ phụ thuộc nhiệt độ  $T$ . Đồng thời, nếu đo được vận tốc truyền âm trong không khí  $v$ , ta có thể tính được chỉ số đoạn nhiệt  $C_p/C_v$  của không khí.

### 9.3.2. Sóng dừng và hiện tượng cộng hưởng sóng dừng trong cột không khí

#### 9.3.2.1. Sóng âm truyền trong ống một đầu kín một đầu hở

Xét một loa điện động có màng loa đang rung dưới tác dụng của một dòng điện xoay chiều hình sin tần số  $f$ . Khi đó lớp không khí hai bên mặt loa bị nén, dãn liên tiếp, dao động của màng loa truyền cho các phân tử khí ở gần màng loa và tiếp tục truyền lan ra không gian tạo nên sóng âm có cùng tần số  $f$ . Phương dao động của các phân tử khí trùng với phương truyền sóng nên sóng âm là sóng dọc.

Giả sử phía trước loa ta đặt một ống hình trụ bên trong có Piston có thể dịch chuyển được. Khi đó các dao động âm truyền vào trong ống tạo nên *sóng âm truyền trong cột không khí*. Cố định tần số dao động  $f$ , bằng cách dịch chuyển vị trí Piston trong ống, ta có thể nghe thấy tại vị trí này của Piston âm vang lên rất to, tại vị trí khác âm lại lặng đi. Ngược lại nếu cố định vị trí Piston và thay đổi tần số  $f$ , ta cũng sẽ thấy tại tần số này âm vang lên rất to, tại tần số khác âm lại lặng đi. Vậy hiện tượng vật lý nào đã xảy ra trong ống? Giữa cường độ âm thanh, quãng đường truyền âm trong ống và tần số dao động cũng như vận tốc truyền sóng âm trong ống có quan hệ với nhau như thế nào? trong trường hợp cả hai đầu ống đều để hở thì có hiện tượng tương tự nào xảy ra không?

Trên cơ sở lý thuyết truyền sóng, chúng ta hãy phân tích hiện tượng trên, sau đó kiểm chứng các kết luận bằng thực nghiệm, đồng thời tìm

cách xác định bằng thực nghiệm giá trị vận tốc truyền sóng âm trong không khí.

Giả sử chọn thời điểm ban đầu thích hợp để sóng tới có tần số  $f$  phát ra từ nguồn âm truyền vào trong ống, gây ra tại điểm N ngay trên mặt Piston một dao động có dạng:

$$x_{IN} = a_0 \cdot \sin 2\pi f t \quad (9.8)$$

Gặp bề mặt Piston, sóng bị phản xạ, truyền theo hướng ngược lại với chiều sóng tới. Thực tế phản từ nằm trên mặt Piston không thể dao động, có nghĩa là sóng phản xạ tại N ngược pha và cùng biên độ sóng tới:

$$x_2 = -a_0 \cdot \sin 2\pi f t \quad (9.9)$$

chung triệt tiêu hoàn toàn li độ của nhau:

$$x_N = x_{IN} + x_{2N} = 0$$

Ta lại xét tiếp một điểm M nằm cách điểm N một khoảng  $y = MN$ . Vì sóng âm truyền đi trong không khí với vận tốc là  $v$ , nên dao động do sóng tới (từ nguồn âm Đ) gây ra tại điểm M sẽ sớm pha một lượng  $\Delta t = y/v$  so với dao động tại N, tức là dao động do sóng tới gây ra tại điểm M ở thời điểm  $t$  sẽ giống hệt dao động tại điểm N ở thời điểm  $(t + y/v)$  nghĩa là:

$$x_{IM} = a_0 \cdot \sin 2\pi f(t + \frac{y}{v}) \quad (9.10)$$

Ngược lại, dao động do sóng phản xạ (từ mặt Piston) gây ra tại điểm M sẽ *chậm pha* một lượng  $\Delta t = y/v$  so với dao động tại điểm N, tức là dao động tại điểm M ở thời điểm  $t$  sẽ giống hệt dao động tại điểm N ở thời điểm  $t - y/v$ :

$$x_{2M} = -a_0 \cdot \sin 2\pi f(t - \frac{y}{v}) \quad (9.11)$$

Như vậy sóng tổng hợp tại điểm M sẽ bằng:

$$x_M = x_{IM} + x_{2M} = 2a_0 \cdot \sin 2\pi \frac{y}{\lambda} \cdot \cos 2\pi f t \quad (9.12)$$

Trong đó bước sóng  $\lambda$  của sóng âm liên hệ với tần số  $f$  bởi công thức:

$$= \frac{v}{f} \quad (9.13)$$

Phương trình (9.12) cho thấy biên độ của sóng âm tổng hợp tại điểm M không phụ thuộc thời gian, mà chỉ phụ thuộc toạ độ y, bằng:

$$a = 2a_0 \sin(2\pi y/\lambda) \quad (9.14)$$

Vì thế sóng tổng hợp trong ống có tên gọi là sóng dừng. Từ (9.14) cho thấy biên độ lớn nhất của sóng dừng bằng  $2a_0$ .

Tuy nhiên trong thực tế ta lại không quan sát thấy sóng dừng tại những vị trí bất kỳ của Piston. Lý do là không chỉ có một sóng tới và một sóng phản xạ truyền trong ống. Khi sóng phản xạ truyền ngược trở lại đến đầu ống, nó lại phản xạ tiếp, tạo ra một sóng tới thứ cấp lệch pha với sóng tới ban đầu và quá trình cứ thế tiếp diễn tạo ra các sóng lệch pha có tác dụng khử nhau, kết quả cho một sóng tổng hợp có biên độ rất nhỏ, ta có cảm giác như sóng âm không thể truyền được vào trong ống.

Tình hình sẽ khác đi khi chiều dài L của cột không khí (khoảng cách từ miệng ống đến mặt Piston) thoả mãn điều kiện:

$$L = (2k - 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{với } k = 1, 2, 3, \dots \quad (9.15)$$

Khi đó sóng tổng hợp của tất cả các cặp sóng tới và sóng phản xạ đều đồng pha, tạo ra một sóng tổng hợp biên độ ổn định, không phụ thuộc thời gian, chỉ phụ thuộc toạ độ y và có giá trị lớn hơn  $2a_0$  rất nhiều. Biểu thức (9.15) chính là *điều kiện cộng hưởng sóng dừng* của sóng âm truyền trong cột không khí một đầu kín một đầu hở.

Với  $k = 1$ , chiều dài cột không khí bằng  $1/4$  bước sóng, ta gọi là mode cộng hưởng cơ bản. Các mode cộng hưởng ứng với  $k = 2, 3, \dots$  ta gọi là các mode cộng hưởng bậc 1, bậc 2...

Khi điều kiện cộng hưởng sóng dừng được thoả mãn, từ công thức (9.14) ta suy ra:

- Biên độ sóng dừng *bằng 0* tại các vị trí:

$$y = k \frac{\lambda}{2}, \quad \text{với } k = 0, 1, 2, \dots \quad (9.16)$$

Tại các vị trí thoả mãn điều kiện (9.16) sẽ có các "nút sóng", trong đó điểm phản xạ N trên mặt Piston luôn là một nút.

- Biên độ sóng dừng đạt *cực đại* tại các vị trí:

$$y = (2k+1) \frac{\lambda}{4}, \quad \text{với } k = 0, 1, 2, \dots \quad (9.17)$$

Tại các vị trí thoả mãn điều kiện (9.17) sẽ có các "bung sóng", trong đó điểm gần miệng ống luôn là một bung sóng. Khoảng cách d giữa hai nút sóng liên tiếp hoặc giữa hai bung sóng liên tiếp đều bằng nhau và bằng  $\frac{\lambda}{2}$ .

Chú ý rằng khi có công hưởng sóng dừng được tạo thành trong ống, tại vị trí bung sóng (bung dao động) các phân tử khí đang dao động với biên độ cực đại thì biến thiên áp suất khí tại đó lại là cực tiểu (nút áp suất). Ngược lại tại vị trí nút dao động của sóng dừng, các phân tử khí dao động với biên độ cực tiểu, thì biến thiên áp suất khí tại đó lại là cực đại (bung áp suất).

Kết quả này có thể hiểu được khi biết rằng: tại các vị trí bung các dao động, các phân tử thê tích khí dao động với biên độ cực đại nhưng chúng dao động cùng chiều (đồng pha hoặc xấp xỉ đồng pha) tại các điểm lân cận) nên biến thiên áp suất tại đó là cực tiểu. Ngược lại tại điểm nút dao động (nằm giữa hai bung dao động), hai phân tử thê tích khí ở hai bên lân cận dao động ngược pha, do đó biến thiên áp suất tại đó là cực đại, ứng với một bung áp suất.

### 9.3.2.2. Sóng âm truyền trong ống hai đầu hở

Khi có sóng âm truyền trong ống, sự phản xạ của sóng xảy ra ở cả hai đầu: đầu kín và đầu hở của ống. Tại đầu ống kín, không khí không thể dịch chuyển qua mặt kín, do đó tại mặt kín sẽ có một nút dao động (hay một bung áp suất). Tại đầu hở của ống, áp suất tại đó có giá trị xấp xỉ áp suất khí

quyền trong phòng, hay biên độ biến thiên áp suất có giá trị cực tiểu, ứng với một nút áp suất, hay một bụng dao động như đã phân tích ở trên.

Trong trường hợp cả hai đầu ống đều hở, khi có cộng hưởng sóng dừng, tại hai đầu hở của ống đều là bụng dao động, hay nút áp suất. Điều kiện cộng hưởng sóng dừng trong trường hợp này sẽ là:

$$L = k \frac{\lambda}{2} \quad \text{với } k=1,2,3\dots \quad (9.18)$$

Với  $k = 1$ , chiều dài ống bằng nửa bước sóng, ta gọi là mode cộng hưởng cơ bản. Các mode cộng hưởng ứng với  $k = 2, 3\dots$  ta gọi là các mode cộng hưởng bậc 1, bậc 2\dots

### 9.3.3. Phương pháp thực nghiệm

Để khảo sát hành vi của các sóng âm truyền trong ống, ta dùng một đầu dò sóng âm (còn gọi là sensor áp điện hay Microphone áp điện) đặt vào trong ống.

Khi có biến thiên áp suất  $\Delta P$ , phần tử này sẽ biến đổi các biến thiên áp suất  $\Delta P$  thành các biến thiên điện áp  $\Delta U$  theo quy luật tương tự. Tín hiệu điện áp  $\Delta U$  được khuếch đại lên và đưa ra cơ cấu chỉ thị bằng kim, bằng số hoặc bằng dạng sóng (dao động kí điện tử).

Thay đổi chiều dài cột không khí (trong trường hợp ống một đầu kín một đầu hở) bằng cách dịch chuyển vị trí Piston trong ống, hoặc thay đổi tần số dao động (trong trường hợp ống hai đầu hở), ta có thể thiết lập các trạng thái cộng hưởng sóng dừng trong ống. Vận dụng các công thức (9.15) và (9.18) trong mỗi trường hợp ta xác định được bước sóng và vận tốc truyền âm trong không khí.

## 9.4. Trình tự thí nghiệm

### 9.4.1. Lắp đặt thiết bị

Đặt miệng dưới của ống cộng hưởng gần sát với mặt loa điện động. Dùng dây dẫn đồng trực có hai đầu phích 4 mm nối loa điện động với lỗ cắm tín hiệu ra (4) của máy phát tần số (Hình 9.2).

Cắm phích lấy điện vào nguồn điện  $\sim 220V$  và bật công tắc ở mặt sau của máy phát tần số để các chữ số hiển thị trên ô cửa tần số (11).

Nhấn các nút chọn dạng sóng (6) và chọn dài tần (7) để chọn **tín hiệu ra xoay chiều hình sin trong dài 200-2000Hz**, sau đó nhấn nút (8) RUN cho chạy các chức năng đã thiết lập. Xoay núm chỉnh "nghiêng" (3) về vị trí giữa.

Xoay núm điều chỉnh tần số để có tần số mong muốn hiển thị trên cửa sổ "tần số" (11), giá trị  $f = 500 \text{ Hz}$ .

Điều chỉnh núm Biên độ (2) để nghe thấy âm phát ra từ loa điện động vừa đủ nghe.

Microphone áp điện được đặt trong ống, đầu ra có phích đồng trực của nó được cắm vào lối vào "input" của bộ khuếch đại MIKE EC-253, bật công tắc điện cho EC-253 hoạt động.

#### **9.4.2. Khảo sát hiện tượng cộng hưởng sóng dừng trong ống một đầu kín một đầu hở**

- Thiết lập các trạng thái cộng hưởng sóng dừng trong ống ứng với một tần số âm nhất định

Quay pu li để thả từ từ Piston xuống, sao cho mặt đáy của piston nằm gần sát miệng ống, sau đó kéo từ từ piston lên để tăng dần độ dài  $L$  của cột không khí trong ống. Lắng nghe âm thanh phát ra đồng thời quan sát kim chỉ thị trên Bộ khuếch đại MIKE, dừng lại ở vị trí kim chỉ thị đạt cực đại. Ghi giá trị toạ độ vạch dấu  $L_1$  trên piston vào bảng 9.1.

Tiếp tục kéo piston lên cao để tìm thấy các vị trí ứng với các cực đại khác  $L_2, L_3, \dots$  dọc theo chiều dài của ống cộng hưởng âm.

Từ công thức (9.15) ta suy ra khoảng cách  $\Delta L$  giữa hai vị trí  $L_1$  và  $L_2$ , giữa  $L_2$  và  $L_3, \dots$  đúng bằng nửa bước sóng  $\lambda$ , tức là :

$$\Delta L = L_2 - L_1 = L_3 - L_2 = \frac{\lambda}{2} \quad \text{hay} \quad L_3 - L_1 = \lambda \quad (9.19)$$

- Lặp lại thí nghiệm này với các âm có tần số  $f = 600, 700 \text{ Hz}$ .

Ghi các giá trị của  $L_1$  và  $L_3$  vào Bảng 9.1.

- Căn cứ các giá trị của khoảng cách ghi trong Bảng 9.1, xác định bước sóng âm ứng với mỗi tần số.

- Xác định tốc độ  $v$  của âm truyền trong không khí (ở nhiệt độ phòng thí nghiệm) ứng với mỗi tần số, theo công thức:

$$\bar{v} = \bar{\lambda} f = \dots \text{ (m/s)} \quad (9.20)$$

#### 9.4.3. Khảo sát hiện tượng cộng hưởng sóng dừng trong ống hai đầu hở

- Xoay pu li để nâng piston lên và lấy nó ra khỏi ống, ta có một ống hai đầu hở dài 1000 mm.

- Điều chỉnh tần số máy phát từ 150Hz đến 1000Hz, quan sát kim chỉ thị trên Bộ khuếch đại EC-253, ghi lại các tần số xảy ra cộng hưởng âm vào Bảng 9.2.

Xác định tần số cộng hưởng thấp nhất (Mode cơ bản) và các tần số cộng hưởng bậc 1, bậc 2, ... Xác định bước sóng theo (9.18) và tính vận tốc truyền âm.

### 9.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Định nghĩa sóng dừng. Mô tả thiết bị và phương pháp tạo ra sóng dừng của âm trong không khí.

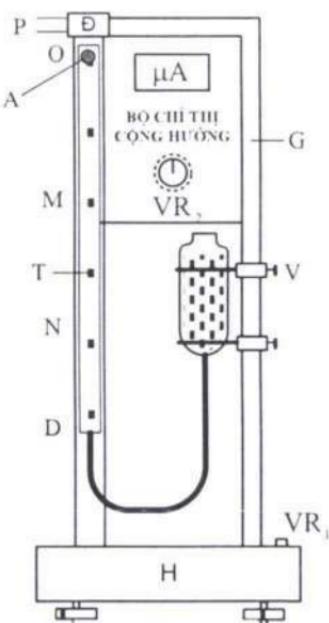
2. Viết phương trình truyền sóng trong môi trường đàn hồi. Nêu rõ ý nghĩa vật lý của phương trình này.

3. Tìm biểu thức xác định biên độ của sóng dừng và điều kiện cộng hưởng sóng dừng trong ống một đầu hở và trong ống hai đầu hở, từ đó suy ra vị trí của các nút và các bụng của sóng dừng trong môi trường hợp

4. Trình bày phương pháp thực nghiệm xác định bước sóng và vận tốc truyền sóng âm trong không khí dựa trên hiện tượng cộng hưởng sóng dừng. Phương pháp này có thể vận dụng để xác định vận tốc truyền âm trong chất rắn và trong chất lỏng được không? Tại sao?

### Lưu ý:

Có thể xác định bước sóng và vận tốc của âm, nhờ thiết bị tạo sóng dừng của âm (Hình 9.3) gồm: 1 ống thủy tinh OD có khắc thước milimet T khắc dọc thân ống trụ (cao 1000 mm, đường kính 32 mm), một bình B đựng nước thông với ống trụ OD bằng ống cao su. Ống trụ OD và bình B (dung tích 1000 ml) lắp trên giá đỡ G và hộp chân đế H. Một loa điện động Đ đặt gần sát phía miệng ống trụ OD và được nối với bộ phát tần số chuẩn P (trên mặt hộp đế). Bộ phát tần số chuẩn P phát ra âm có tần số 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz với sai số 1Hz.



Hình 9.3

Nút chọn tần số và nút điều chỉnh biên độ âm  $VR_1$  của bộ phát tần số này được bố trí trên mặt của hộp chân đế H. Sóng âm (có tần số  $f$  phát ra từ loa điện động Đ) truyền dọc theo cột không khí trong ống trụ OD với vận tốc  $v$ , tới phản xạ trên mặt thoáng của cột nước tại N và giao thoa với sóng tới, khi thỏa mãn điều kiện cộng hưởng sẽ tạo thành sóng dừng ổn định trong ống trụ OD.

Để xác định vị trí cộng hưởng âm của cột không khí ON, ta dùng bộ thu âm điện tử chỉ thị cộng hưởng bằng kim quay trên mặt thang đo của micro-ampe kế ( $\mu A$ ). Đầu cảm biến của bộ thu âm điện tử là một micro A nhỏ (kích thước cỡ  $1\text{cm}^3$ ) đặt ở gần miệng O của ống trụ OD. Khi có cộng hưởng âm tại vị trí của micro A, kim chỉ thị của micro - ampe kế sẽ đạt độ lệch cực đại trên mặt thang đo của nó. Có thể điều chỉnh độ nhạy của bộ chỉ thị cộng hưởng này bằng cách vặn nút xoay  $VR_2$  gắn trên mặt của nó.

Muốn tạo sóng dừng cần thay đổi chiều cao của cột không khí trong ống bằng cách nâng lên hoặc hạ thấp bình B. Tuy nhiên, với bộ thí nghiệm này chỉ tạo được sóng dừng một đầu kin, một đầu hở.

**HƯỚNG DẪN BÁO CÁO THÍ NGHIỆM**  
**XÁC ĐỊNH VẬN TỐC ÂM TRONG KHÔNG KHÍ**  
**THEO PHƯƠNG PHÁP CỘNG HƯỚNG SÓNG DỪNG**

Họ và tên ..... Xác nhận của GV

Lớp học phần.....

Ngày thực hành.....

**I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm**

.....  
.....  
.....  
.....

**II. Kết quả thí nghiệm**

.....  
.....  
.....  
.....

**A. Số liệu**

**Bảng 9.1.**

Cộng hưởng sóng dừng trong ống một đầu kín một đầu hở

Tần số âm:  $f_1 = 500 \pm 1$  (Hz), điều kiện cộng hưởng:  $L = (2k - 1) \frac{\lambda}{4}$

Lần đo	$L_1$ (mm)	$L_3$ (mm)	$\lambda_1$ (mm)	$\Delta\lambda_1$ (mm)
1				
2				
3				
Trung bình				

Tần số âm:  $f_2 = 600 \pm 1$  (Hz), điều kiện cộng hưởng:  $L = (2k - 1) \frac{\lambda}{4}$

Lần đo	$L_1$ (mm)	$L_3$ (mm)	$\lambda_2$ (mm)	$\Delta\lambda_2$ (mm)
1				
2				
3				
Trung bình				

Tần số âm:  $f_3 = 700 \pm 1$  (Hz), điều kiện cộng hưởng:  $L = (2k - 1) \frac{\lambda}{4}$

Lần đo	$L_1$ (mm)	$L_3$ (mm)	$\lambda_3$ (mm)	$\Delta\lambda_3$ (mm)
1				
2				
3				
Trung bình				

**Bảng 9.2.** Cộng hưởng sóng dừng trong ống hai đầu hở

Chiều dài ống  $L = 1000 \pm 1$  (mm), điều kiện cộng hưởng  $L = k\lambda/2$ .

Lần đo	Tần số cộng hưởng $f$ (Hz)			
	Mode cơ bản	Bậc 1	Bậc 2	Bậc 3
1				
2				
3				
Trung bình				

## B. Xử lý số liệu

### 1. Cộng hưởng sóng dừng trong ống một đầu kín một đầu hở

a. Với tần số  $f_1 = 500 \text{ Hz}$

\* Bước sóng:

$$\lambda_1 = \overline{\lambda} \pm \Delta\lambda_1 = \dots \text{ (m)}$$

\* Vận tốc:

- Tính sai số tương đối:  $\delta_1 = \frac{\Delta v_1}{v_1} = \frac{\Delta\lambda_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta f_1}{f_1} = \dots = \dots (\%)$

- Tính giá trị trung bình:  $\overline{v}_1 = \overline{\lambda}_1 \cdot f_1 = \dots \text{ (m/s)}$

- Tính sai số tuyệt đối:  $\Delta v_1 = \delta_1 \cdot \overline{v}_1 = \dots \text{ (m/s)}$

- Viết kết quả đo:  $v_1 = \overline{v}_1 \pm \Delta v_1 = \dots \text{ (m/s)}$

b. Với tần số  $f_2 = 600 \text{ Hz}$

\* Bước sóng:

$$\lambda_2 = \overline{\lambda}_2 \pm \Delta\lambda_2 = \dots \text{ (m)}$$

\* Vận tốc:

- Tính sai số tương đối:  $\delta_2 = \frac{\Delta v_2}{v_2} = \frac{\Delta\lambda_2}{\lambda_2} + \frac{\Delta f_2}{f_2} = \dots = \dots (\%)$

- Tính giá trị trung bình:  $\overline{v}_2 = \overline{\lambda}_2 \cdot f_2 = \dots \text{ (m/s)}$

- Tính sai số tuyệt đối:  $\Delta v_2 = \delta_2 \cdot \overline{v}_2 = \dots = \dots \text{ (m/s)}$

- Viết kết quả đo:  $v_2 = \overline{v}_2 \pm \Delta v_2 = \dots \text{ (m/s)}$

c. Với tần số  $f_3 = 700 \text{ Hz}$

\* Bước sóng

$$\lambda_3 = \overline{\lambda}_3 \pm \Delta\lambda_3 = \dots \text{ (m)}$$

\* Vận tốc:

- Tính sai số tương đối:  $\delta_3 = \frac{\Delta v_3}{v_3} = \frac{\Delta \lambda_3}{\lambda_3} + \frac{\Delta f_3}{f_3} = \dots \text{ (%)}$

- Tính giá trị trung bình:

$$\overline{v}_3 = \overline{\lambda}_3 \cdot f_3 = \dots \text{ (m / s)}$$

- Tính sai số tuyệt đối:

$$\Delta v_3 = \delta_3 \cdot \overline{v}_3 = \dots \text{ (m / s)}$$

- Viết kết quả đo:

$$v_3 = \overline{v}_3 \pm \Delta v_3 = \dots \text{ (m / s)}$$

## 2. Cộng hưởng sóng đứng trong ống hai đầu hở

a) Mode cơ bản ( $f = f \pm \Delta f = \dots \text{ (Hz)}$ )

\* Bước sóng:  $\lambda = \overline{\lambda} \pm \Delta\lambda = \dots \text{ (m)}$

\* Vận tốc:

- Tính sai số tương đối:  $\delta = \frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta f}{f} = \dots = \dots \text{ (%)}$

- Tính giá trị trung bình:  $\overline{v} = \overline{\lambda} \cdot f = \dots \text{ (m / s)}$

- Tính sai số tuyệt đối:  $\Delta v = \delta \cdot \overline{v} = \dots \text{ (m / s)}$

- Viết kết quả đo:

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

b) Bậc 1 ( $f_1 = \overline{f}_1 \pm \Delta f_1 = \dots \text{ (Hz)}$ )

\* Bước sóng:  $\lambda_1 = \overline{\lambda}_1 \pm \Delta\lambda_1 = \dots \text{ (m)}$

\* Vận tốc:

- Tính sai số tương đối:  $\delta_1 = \frac{\Delta v_1}{v_1} = \frac{\Delta\lambda_1}{\overline{\lambda}_1} + \frac{\Delta f_1}{f_1} = \dots \text{ (\%)}$

- Tính giá trị trung bình:  $\overline{v}_1 = \overline{\lambda}_1 \cdot f_1 = \dots \text{ (m/s)}$

- Tính sai số tuyệt đối:  $\Delta v_1 = \delta_1 \cdot \overline{v}_1 = \dots \text{ (m/s)}$

- Viết kết quả đo:  $v_1 = \overline{v}_1 \pm \Delta v_1 = \dots \text{ (m/s)}$

c) Bậc 2 ( $f_2 = \overline{f}_2 \pm \Delta f_2 = \dots \text{ (Hz)}$ )

\* Bước sóng

$\lambda_2 = \overline{\lambda}_2 \pm \Delta\lambda_2 = \dots \text{ (m)}$

\* Vận tốc:

- Tính sai số tương đối:  $\delta_2 = \frac{\Delta v_2}{v_2} = \frac{\Delta\lambda_2}{\overline{\lambda}_2} + \frac{\Delta f_2}{f_2} = \dots \text{ (\%)}$

- Tính giá trị trung bình:  $\overline{v}_2 = \overline{\lambda}_2 \cdot f_2 = \dots \text{ (m/s)}$

- Tính sai số tuyệt đối:  $\Delta v_2 = \delta_2 \cdot \overline{v}_2 = \dots \text{ (m/s)}$

- Viết kết quả đo:  $v_2 = \overline{v}_2 \pm \Delta v_2 = \dots \text{ (m/s)}$

d) Bậc 3 ( $f_3 = \overline{f}_3 \pm \Delta f_3 = \dots \text{ (Hz)}$ )

\* Bước sóng:

$$\lambda_3 = \overline{\lambda}_3 \pm \Delta\lambda_3 = \dots \text{ (m)}$$

\* Vận tốc:

- Tính sai số tương đối:  $\delta_3 = \frac{\Delta v_3}{v_3} = \frac{\Delta\lambda_3}{\overline{\lambda}_3} + \frac{\Delta f_3}{f_3} = \dots \text{ (\%)}$

- Tính giá trị trung bình:

$$\overline{v_3} = \overline{\lambda_3} \cdot f_3 = \dots \quad (m/s)$$

- Tính sai số tuyệt đối:

$$\Delta v_3 = \delta_3 \cdot \overline{v_3} = \dots \quad (m/s)$$

- Viết kết quả đo:

$$v_3 = \overline{v_3} \pm \Delta v_3 = \dots \quad (m/s)$$

- Nhận xét kết quả:

Theo lý thuyết, vận tốc truyền sóng âm trong không khí ở điều kiện áp suất 1 atm và nhiệt độ  $t^{\circ}\text{C}$  được xác định bởi công thức:

$$v = v_0 \sqrt{1 + \alpha \cdot t}$$

$$\text{với } \alpha = \frac{1}{273} \text{ đ}^{-1}$$

$v_0 = 332 \text{ m/s}$  là vận tốc truyền sóng âm trong không khí ở  $0^{\circ}\text{C}$ .

Hãy tính giá trị vận tốc truyền sóng âm  $v$  ở điều kiện phòng thí nghiệm (đọc nhiệt độ trên nhiệt kế) và so sánh với các giá trị vận tốc truyền sóng âm  $v_1, v_2, v_3$ , thu được từ kết quả thực nghiệm nêu trên.

### III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## BÀI 10. XÁC ĐỊNH TỶ SỐ NHIỆT DUNG PHÂN TỬ $C_p/C_v$ CỦA CHẤT KHÍ

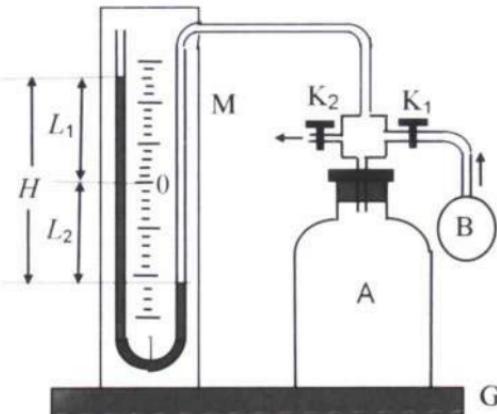
### 10.1. Mục đích thí nghiệm

- Hiểu khái niệm tỷ số đoạn nhiệt.
- Khảo sát các quá trình biến đổi trạng thái cân bằng nhiệt động của một khối không khí chứa trong bình.
- Xác định tỷ số nhiệt dung phân tử  $\gamma = C_p/C_v$  của khối khí.

### 10.2. Giới thiệu dụng cụ thí nghiệm

Thiết bị thí nghiệm được mô tả trên Hình 10.1 bao gồm:

- Bình thủy tinh hình trụ (10 lít).
- Van xả khí ba chac K<sub>1</sub>K<sub>2</sub> bằng đồng.
- Áp kế cột nước chữ U bằng thủy tinh.
- Giá đỡ áp kế cột nước có thước milimét.
- Bơm nén khí dùng quả bóp cao su.
- Ống dẫn khí bằng cao su silicon.
- Hệ van nạp và xả khí.
- Hộp chôn đế 30x45x7 cm, bằng kim loại, sơn tĩnh điện.



Hình 10.1. Sơ đồ dụng cụ đo  
tỷ số  $C_p/C_v$

### 10.3. Cơ sở lý thuyết

#### 10.3.1. Nhiệt dung kmol của chất khí

Quá trình đoạn nhiệt và hệ số Poisson

Nhiệt dung kmol của chất khí là đại lượng đo bằng nhiệt lượng cần truyền cho 1 kmol chất đó để nhiệt độ của nó tăng lên 1 đơn vị nhiệt độ.

$$C = \frac{\partial Q_0}{\partial T} \quad (10.1)$$

Nếu  $\mu$  là khối lượng của 1 kmol chất khí, thì *nhiệt dung kmol (nhiệt dung phân tử) C* của chất khí liên hệ với nhiệt dung riêng c của nó bởi biểu thức:

$$C = c \cdot \mu \quad (10.2)$$

Đơn vị đo của C là J/mol.K, đơn vị của c là J/kg.K, đơn vị của  $\mu$  là kg/kmol.

Nhiệt dung của chất khí phụ thuộc vào điều kiện của quá trình nung nóng. Để thấy rõ điều này, ta khảo sát sự biến đổi trạng thái của một mol khí lý tưởng, chẳng hạn như một mol không khí ở nhiệt độ phòng, dưới áp suất thường.

Thực vậy, theo nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học: “Biến thiên nội năng  $dU_0$  của một hệ nhiệt động trong quá trình biến đổi trạng thái nào đó đúng bằng lượng nhiệt  $dQ_0$  và công  $dA_0$  mà hệ nhận từ ngoài vào trong quá trình đó”.

$$dU_0 = dA_0 + dQ_0 \quad (10.3)$$

$dA_0 = -p \cdot dV_0$  với  $p$  là áp suất và  $dV_0$  là độ biến thiên thể tích của khối khí.

Kết hợp với (10.1), ta nhận được biểu thức của nhiệt dung phân tử:

$$C = \frac{dU_0}{dT} + \frac{pdV_0}{dT} \quad (10.4)$$

- Nếu quá trình biến đổi khí là đẳng tích ( $V = \text{const}$ ):

$$dV_0 = 0 \text{ nên } dA_0 = -p \cdot dV_0 = 0.$$

Từ (10.4) suy ra nhiệt dung phân tử đẳng tích  $C_V$ :

$$C_V = dU_0 / dT \text{ hay } dU_0 = C_V \cdot dT \quad (10.5)$$

- Nếu quá trình biến đổi khí là đẳng áp ( $p = \text{const}$ )

$$dp = 0$$

Theo phương trình trạng thái của 1 mol chất khí:

$$pV_0 = RT \quad (10.6)$$

Với  $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$  gọi là hằng số chất khí.

Lấy vi phân toàn phần hai vế của phương trình (10.6):

$$p.dV_0 + V_0 dp = R dT \quad (10.7)$$

Thay (11.5), (11.7) vào (11.4) với  $dp = 0$ , ta suy ra nhiệt dung phân tử đẳng áp:

$$C_p = dU_0/dT + R = C_v + R \quad (10.8)$$

Ta nhận thấy nhiệt dung đẳng tích  $C_v$  nhỏ hơn nhiệt dung đẳng áp  $C_p$ , tức tỷ số:

$$\frac{C_p}{C_v} > 1$$

Quá trình đoạn nhiệt là quá trình biến đổi mà hệ không trao đổi nhiệt với bên ngoài:  $dQ = 0$ . Phương trình Poisson mô tả quá trình đoạn nhiệt có dạng:

$$p.V^\gamma = \text{const} \quad (10.9)$$

Phương trình (10.9) cho thấy, trong quá trình dẫn nở đoạn nhiệt, khi thể tích  $V$  tăng thì áp suất  $p$  giảm nhanh hơn nhiều so với quá trình đẳng nhiệt ( $p.V = \text{const}$ ).  $\gamma$  là *tỷ số nhiệt dung phân tử* của chất khí hay gọi là *hệ số Poisson*.

Nghiên cứu quá trình đoạn nhiệt có ý nghĩa rất quan trọng trong lý thuyết nhiệt động học, nó cho phép xây dựng nên một chu trình hoạt động cho một loại động cơ nhiệt đặc biệt, có hiệu suất cao nhất, đó là chu trình Carnô.

### 10.3.2. Phương pháp thực nghiệm

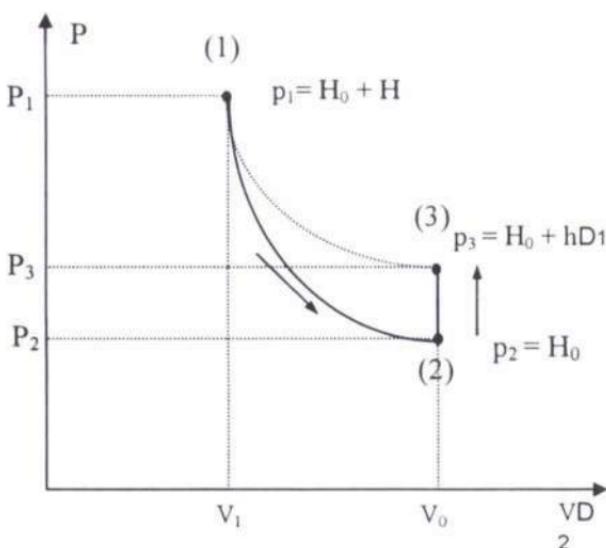
Trong thí nghiệm này, ta sẽ xác định tỷ số nhiệt dung phân tử của không khí theo phương pháp dẫn đoạn nhiệt nhờ các dụng cụ bố trí như Hình 10.1.

Lúc đầu, đóng van K<sub>2</sub> và mở van K<sub>1</sub> để nối thông bình A với bơm B. Dùng bơm B, bơm không khí vào bình A, làm tăng dần áp suất trong bình. Sau đó dừng bơm và đóng van K<sub>1</sub>. Chờ vài phút cho áp suất trong bình đạt giá trị ổn định  $p_1$ :

$$p_1 = H_0 + H \quad (10.10)$$

với  $H_0$  là áp suất khí quyển,  $H$  là độ chênh áp suất của không khí trong bình A so với áp suất khí quyển, đọc trên áp kế M. Các đại lượng  $H_0$  và  $H$  được tính theo đơn vị milimet cột nước (mmH<sub>2</sub>O).

Tiếp đó, mở van K<sub>2</sub> để không khí phut nhanh ra ngoài cho tới khi áp suất không khí trong bình A giảm tới giá trị  $p_2 = H_0$ , thi đóng nhanh van K lại. Sau khi đóng K, ta sẽ thấy áp suất chất khí trong bình tăng lên từ từ và đạt đến giá trị ổn định  $p_3 = H_0 + h$ .



Hình 10.2. Giản đồ biến đổi trạng thái của khối khí m trong bình A

### Phân tích quá trình

Sau khi bơm không khí vào bình A, chờ khoảng 5 phút cho hệ đạt tới trạng thái cân bằng ổn định: khối lượng không khí trong bình là  $m_0$ , chiếm toàn bộ thể tích  $V_0$  của bình A, có áp suất  $p_1 = H_0 + H$  và nhiệt độ

$$T_1 = T_0 \text{ (bằng nhiệt độ phòng).}$$

Khi mở van K<sub>2</sub>: khí phut nhanh ra ngoài một lượng là  $\Delta m$ , khối lượng khí còn lại trong bình là:  $m = m_0 - \Delta m$ , bây giờ m chiếm toàn bộ thể tích của bình:  $V_2 = V_0$  có áp suất  $p_2 = H_0 < P_1$ .

Như vậy, suy ra trước khi mở van K, khối lượng khí m trong bình A (ở áp suất  $p_1$  và nhiệt độ  $T_0$ ) chỉ chiếm một phần thể tích của bình:  $V_1 < V_0$ . Trạng thái này của khối khí m được mô tả bởi điểm (1) trên đồ thị Hình 10.2.

Vì quá trình dẫn nở của khối lượng khí m trong bình từ trạng thái (1) có  $(p_1, V_1, T_0)$  sang trạng thái (2) có  $(p_2 = H_0, V_2 = V_0)$  xảy ra rất nhanh, không kịp trao đổi nhiệt với ngoài ( $dQ = 0$ ) nên có thể coi gần đúng là *quá trình dẫn nở đoạn nhiệt*, được biểu diễn bởi đường đoạn nhiệt 1-2 trên đồ thị Hình 10.2.

Áp dụng phương trình Poisson (10.9), cho quá trình dẫn nở đoạn nhiệt 1-2 ta có:

$$p_1 \cdot V_1^\gamma = p_2 \cdot V_2^\gamma \quad (10.11)$$

Trong quá trình này, khí bị lạnh đi và nhiệt độ của nó giảm từ nhiệt độ phòng  $T_0$  xuống đến nhiệt độ  $T_2 < T_0$ . Do đó, khối khí m trong bình sẽ thu nhiệt lượng từ ngoài qua thành bình, thực hiện một quá trình biến đổi đẳng tích, để nhiệt độ của nó tăng dần từ  $T_2$  đến  $T_0$ , còn áp suất tăng từ  $p_2 = H_0$  đến  $p_3$ :

$$p_3 = H_0 + h \quad (10.12)$$

Trên đồ thị Hình 10.2, ta nhận thấy *trạng thái 1 và 3 nằm trên cùng một quá trình đẳng nhiệt  $T_0$* , biểu diễn bởi đường cong đứt nét 1-3.

Viết phương trình trạng thái cho khối khí m trong trạng thái 1 ( $p_1, V_1, T_0$ ) và trạng thái 3 ( $p_3, V_3 = V_0, T_0$ ) rồi rút gọn ta được:

$$p_1 V_1 = p_3 V_0 \quad (10.13)$$

Rút ra tỷ số  $V_0 / V_1$  từ (10.13) thay vào (10.11), và thay thế các giá trị của áp suất  $p_1, p_2, p_3$  theo độ chênh milimét cột nước  $H_0, H, h$ , đồng thời chú ý đến điều kiện  $H, h \ll H_0$  và áp dụng hệ thức gần đúng

$\ln(1+x) \approx x$  khi  $x \ll 1$ , ta tìm được:

$$\gamma = \frac{H}{H-h} \quad (10.14)$$

Bằng việc ghi lại các giá trị  $H$  và  $h$  ta sẽ tính ra được hệ số Poisson.

#### 10.4. Trình tự thí nghiệm

- Quan sát van K để tìm hiểu các vị trí đóng mở.

- Đóng van K, bơm không khí vào bình A (không bơm quá mạnh, tránh làm nước trong áp kế M phut ra ngoài) tới khi độ chênh cột nước trên hai nhánh áp kế M đạt khoảng  $300 \text{ mmH}_2\text{O}$  thì ngừng. Chờ khoảng 4 - 5 phút để nhiệt độ và áp suất của khối khí trong bình đạt trạng thái cân bằng ổn định (khi đó độ cao  $L_1$  và  $L_2$  của các cột nước trên hai nhánh áp kế đạt giá trị ổn định). Chú ý số lần bóp quả bơm đều tay và điều chỉnh nút xoay sát quả bóp B để được áp suất  $P_1$  ban đầu gần như nhau. Đọc và ghi giá trị  $H = L_1 - L_2$  vào Bảng 10.1.

- Mở nhanh van K để không khí trong bình A phut ra ngoài. Khi áp suất không khí trong bình A cân bằng với áp suất khí quyển bên ngoài, ta đóng nhanh van K. Muốn kết quả đo được chính xác, cần quan sát và đóng nhanh van K ngay khi mực nước trong hai nhánh áp kế M vừa đạt ngang nhau. Chờ khoảng 4 - 5 phút cho nhiệt độ của khối khí trong bình A cân bằng với nhiệt độ phòng. Khi đó độ cao  $l_1$  và  $l_2$  của các cột nước trên hai nhánh áp kế đạt giá trị ổn định. Đọc và ghi các giá trị của  $l_1$ ,  $l_2$  và độ chênh cột nước  $h = l_2 - l_1$  vào Bảng 10.1.

- Lặp lại 10 lần các động tác 2 – 3. Ghi các kết quả đo tương ứng của  $H$  và  $h$  trong mỗi lần đo vào Bảng 10.1.

#### 10.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Phân biệt nhiệt dung phân tử  $C_V$  và  $\text{đẳng} \text{ áp} C_P$ . Tìm biểu thức liên hệ giữa chúng để chứng tỏ  $C_P > C_V$ .

2. Trong thực tế, khi nào có thể coi gần đúng các quá trình nén hoặc dãn khí là  $\text{đẳng} \text{ nhiệt}$  hoặc  $\text{đoạn} \text{ nhiệt}$ ? Sau khi nén hoặc dãn khí chứa trong bình A, tại sao lại phải chờ một khoảng thời gian nào đó (khoảng 4 - 5 phút) thì độ chênh cột nước trên hai nhánh áp kế M mới đạt giá trị ổn định?

3. Tại sao trong thí nghiệm này, ta phải dùng áp kế cột nước mà không dùng áp kế thuỷ ngân để đo áp suất khí trong bình thuỷ tĩnh A?

4. Muốn đảm bảo kết quả đo được chính xác, tại sao phải đóng kín van K<sub>2</sub> ngay khi cột nước trong hai nhánh áp kế M vừa đạt mức ngang nhau?
5. Tính giá trị lý thuyết của tỷ số nhiệt dung phân tử không khí khô (coi như chỉ gồm các phân tử ôxy O<sub>2</sub> và nitơ N<sub>2</sub>) theo số bậc tự do *i* của các phân tử khí. So sánh kết quả tính tỷ số nhiệt dung phân tử của không khí từ lý thuyết và kết quả thực nghiệm. Giải thích

6. Nếu không khí trong bình có độ ẩm cao chứa nhiều hơi nước thì giá trị lý thuyết của tỷ số nhiệt dung phân tử của không khí sẽ thay đổi như thế nào (tăng hay giảm so với không khí khô)? Giải thích tại sao?

*Cho biết số bậc tự do *i* phụ thuộc cấu tạo của các phân tử khí: phân tử đơn nguyên tử (khí trơ,...): *i* = 3, phân tử lưỡng nguyên tử (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>,...): *i* = 5, phân tử đa nguyên tử (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>,...): *i* = 6*

HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
XÁC ĐỊNH TỶ SỐ NHIỆT DUNG PHÂN TỬ C<sub>P</sub> / C<sub>V</sub>  
CỦA CHẤT KHÍ

Họ và tên ..... Xác nhận của GV  
Lớp học phần .....  
Ngày thực hành .....    

**I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm**

**II. Kết quả thí nghiệm**

**A. Bảng số liệu**

**Bảng 10.1**

- Độ chính xác của áp kế M : ..... (mmH <sub>2</sub> O)				
Lần đo	$H - L_1 - L_2$ (mmH <sub>2</sub> O)	$\Delta H_i$ (mmH <sub>2</sub> O)	$l_1 - l_2 - l_1$ (mmH <sub>2</sub> O)	$\Delta l_i$ (mmH <sub>2</sub> O)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

8				
9				
10				
Trung bình				

### **B. Kết quả của phép đo**

### 1. Sai số tương đối

$$\delta = \frac{\Delta\gamma}{\bar{\gamma}} = \frac{\bar{H}.\Delta h + \bar{h}.\Delta H}{\bar{H}(\bar{H} - \bar{h})} = \dots \quad (\%)$$

Trong đó:  $\Delta H = \overline{\Delta H} + \Delta H_{dc} = \dots$  (mmH<sub>2</sub>O)

$$\Delta h = \overline{\Delta h} + \Delta h_{\text{fr}} = \dots \text{ (mmH}_2\text{O)}$$

## 2. Giá trị trung bình:

$$\bar{\gamma} = \frac{\bar{H}}{\bar{H} - h} = \dots$$

### 3. Sai số tuyệt đối

$$\Delta\gamma = \delta\bar{\gamma} = \dots$$

#### 4. Viết kết quả phép đo

$$\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma = \dots$$

### III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## Bài 11.

# XÁC ĐỊNH HỆ SỐ CĂNG MẶT NGOÀI CỦA CHẤT LỎNG

### 11.1. Mục đích thí nghiệm

- Hiểu được nguyên nhân gây ra sức căng mặt ngoài của chất lỏng.
- Xác định được hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng bằng phương pháp tách vành kim loại ra khỏi mặt chất lỏng.

### 11.2. Giới thiệu dụng cụ thí nghiệm

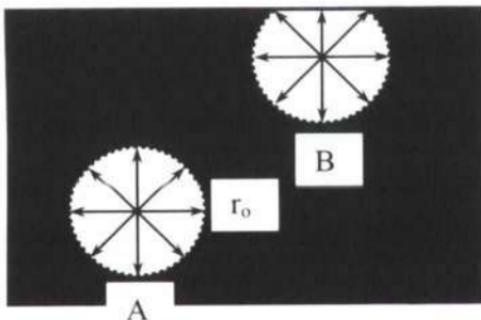
- Cân kỹ thuật có độ chính xác 20 mg.
- Giá đỡ cốc đựng nước.
- Cốc nhựa đựng cát.
- Thước kẹp có độ chính xác 0,02 mm.
- Vành kim loại (vòng đồng).

### 11.3. Cơ sở lý thuyết

#### 11.3.1. Năng lượng mặt ngoài, lực căng mặt ngoài và hệ số căng mặt ngoài

Trong giáo trình Vật lý phân tử và nhiệt học đã chứng minh các phân tử chất lỏng ở gần bề mặt chất lỏng sẽ chịu một lực tổng hợp kéo nó vào trong chất lỏng.

Một phân tử (phân tử A) ở trong lòng chất lỏng thì lực tác dụng lên nó từ mọi phía được bù trừ nhau, do đó hợp lực các lực của các phân tử khác tác dụng lên



Hình 11.1

nó bằng không. Một phân tử (phân tử B) ở trên bề mặt chất lỏng (Hình 11.1) thì các lực tác dụng lên nó không bù trừ cho nhau nữa (phía trên chất lỏng là nơi có mật độ phân tử nhỏ so với chất lỏng) và lực tổng hợp tác dụng lên nó hướng vào trong lòng chất lỏng. Vì vậy các phân tử ở ngoài chất lỏng có tính chất khác với các phân tử trong lòng chất lỏng.

Các phân tử ở lớp mặt ngoài chất lỏng bị các phân tử ở phía trong lòng chất lỏng hút, do đó các phân tử ở lớp mặt ngoài có thể nồng độ lớn hơn các phân tử ở phía trong lòng chất lỏng. Phần nồng độ lớn hơn đó gọi là nồng độ tự động hay còn gọi là *nồng độ mặt ngoài* của chất lỏng.

Một hệ ở trạng thái cân bằng bền khi thế năng của hệ là cực tiểu. Do đó, chất lỏng sẽ ở trạng thái cân bằng bền khi diện tích mặt ngoài của nó nhỏ nhất để thế năng của chất lỏng là cực tiểu. Vì vậy mặt ngoài chất lỏng luôn có xu hướng co về diện tích nhỏ nhất, tính chất này cho phép ta coi mặt ngoài như một màng căng. Tính chất như một màng căng của mặt ngoài chất lỏng có được là do tại chu tuyến mặt ngoài luôn tồn tại các lực vuông góc với đường chu tuyến đó, tiếp tuyến với mặt ngoài và luôn có xu hướng làm giảm diện tích mặt ngoài khỏi chất lỏng. Lực này gọi là *lực căng mặt ngoài*.

*Hệ số căng mặt ngoài* là đại lượng vật lý về tỷ số bằng lực căng  $\Delta F$  tác dụng lên một đơn vị của đường chu tuyến mặt ngoài  $\Delta l$ :

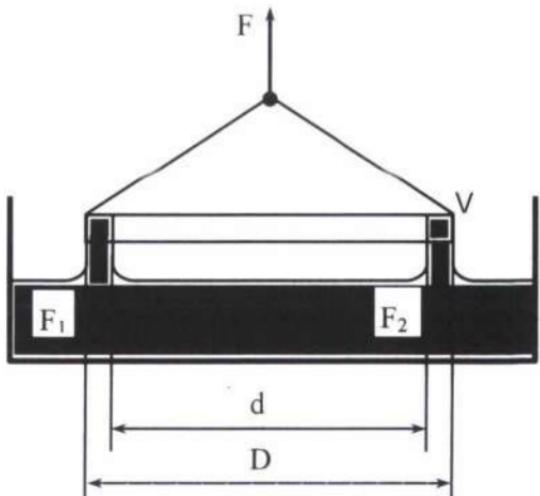
$$\alpha = \frac{\Delta F}{\Delta l}$$

Hệ số căng mặt ngoài còn là nồng độ cần thiết để tạo ra một đơn vị diện tích mặt ngoài chất lỏng.

### 11.3.2. Phương pháp xác định hệ số căng mặt ngoài

Có nhiều phương pháp xác định hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng, ở đây ta nêu ra một phương pháp xác định hệ số căng mặt ngoài hay dùng, đó là phương pháp tách vành kim loại ra khỏi mặt chất lỏng.

Vì vật rắn bị chất lỏng làm dính ướt, nên khi kéo chúng lên để bứt ra khỏi mặt chất lỏng, thì đồng thời cũng



Hình 11.2

có một lượng chất lỏng bị kéo lên theo, làm diện tích mặt ngoài của chất lỏng bị tăng lên. Nhưng mặt ngoài của chất lỏng, luôn có xu hướng co lại, do tác dụng của lực căng mặt ngoài. Nếu vật rắn tiếp xúc với mặt chất lỏng chịu tác dụng một lực kéo  $F$ , có trị số đúng bằng lực căng mặt ngoài của chất lỏng thì vật rắn sẽ bị bứt ra khỏi mặt chất lỏng.

Xét một vành kim loại có đường kính ngoài  $D$ , đường kính trong  $d$ , nằm tiếp xúc với mặt nước. Khi tác dụng lên vành kim loại một lực kéo  $F$  để nâng nó lên cao (Hình 11.2) sẽ tạo ra một màng nước giữa vành kim loại và mặt nước. Mặt phía ngoài của màng nước này kéo vành kim loại xuống dưới một lực:

$$F_1 = \alpha \cdot \pi \cdot D \quad (11.1)$$

Mặt phía trong của màng nước kéo vành kim loại xuống dưới bằng một lực:

$$F_2 = \alpha \cdot \pi \cdot d \quad (11.2)$$

Khi vành kim loại vừa bị bứt ra khỏi mặt nước, thì lực kéo  $F$  nâng vành kim loại lên cao có tổng số đúng bằng lực căng tổng hợp, kéo vành kim loại xuống dưới, nghĩa là:

$$F = F_1 + F_2 = \alpha \cdot \pi \cdot D + \alpha \cdot \pi \cdot d = \alpha \cdot \pi (D + d) \quad (11.3)$$

Nếu đo được đường kính trong  $d$ , đường kính ngoài  $D$  của vành kim loại và xác định được lực kéo  $F$  ta có thể xác định hệ số căng mặt ngoài  $\alpha$ .

#### 11.4. Trình tự thí nghiệm

- Đo đường kính ngoài  $D$  và đường kính trong  $d$  của vành kim loại bằng thước kẹp.

- Đo lực kéo  $F$  bứt vành kim loại ra khỏi mặt nước bằng cân kỹ thuật.

**Chú ý:** Trước khi cân cần chỉnh lại cân sao cho vị trí cân bằng của cân khi làm việc không tài về đúng vị trí số 0 trên bảng chia  $T$ .

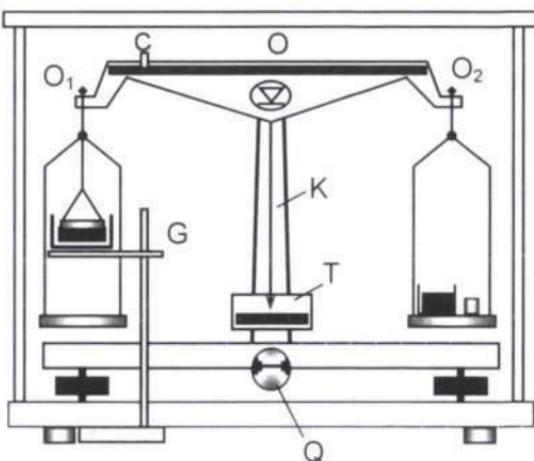
+ Treo vành kim loại vào đĩa cân bên trái, đặt cốc nhựa nhỏ (sau này sẽ đựng cát) và các quả cân vào đĩa cân bên phải. Xoay nhẹ núm Q theo chiều kim đồng hồ để “mở cân” và thêm bớt các quả cân sao cho kim E cân bằng ở vị trí  $a_m = 0$  trong bảng T. Xoay nhẹ núm Q theo chiều ngược lại để “khóa cân”, ghi nhận khối lượng  $m_1$  của các quả cân.

+ Đặt đĩa thủy tinh lên giá đỡ G. Điều chỉnh giá đỡ G sao cho mặt dưới của vành kim loại vừa tiếp xúc với mặt nước trong đĩa thủy tinh. Vặn núm N để cân về vị trí “làm việc”. Vành kim loại bị màng nước kéo xuống làm cho đòn cân bị lệch đi (Hình 11.3). Đổ dần cát khô vào cốc nhỏ ở đĩa cân bên phải cho tới khi vành kim loại bị bứt khỏi mặt nước.

+ Xác định khối lượng  $m$  của lượng cát khô bằng cách: Dịch giá đỡ G ra ngoài, đưa vành kim loại ra khỏi cân bên trái và lau khô, sau đó treo vào vị trí cũ. Bớt ra trên đĩa phải một số quả cân (ước chừng cân bằng với lượng cát). Xoay ốc N để “mở cân”, thêm bớt các quả cân sao cho kim E lại cân bằng tại vị trí  $a_m$  lúc đầu. Ghi nhận khối lượng  $m_2$  của các quả cân. Khi đó trọng lượng  $P = mg$  (với  $m = m_1 - m_2$ ) của lượng cát khô đúng bằng lực kéo  $F$  bứt vành kim loại ra khỏi mặt nước và hệ số căng mặt ngoài của nước là:

$$\alpha = \frac{F}{\pi(D+d)} = \frac{mg}{\pi(D+d)}. \quad (11.4)$$

Thực hiện 5 lần các phép đo: D, d, m ghi vào Bảng 11.1. Sau khi thực hiện xong thí nghiệm thu gọn, xếp gọn dụng cụ.



Hình 11.3. Bố trí các vật trên cân

## 11.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Nêu đặc điểm của lực căng mặt ngoài. Viết biểu thức tính, ý nghĩa vật lý và đơn vị đo hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng?
2. Trình bày cách xác định hệ số căng mặt ngoài của chất lỏng bằng phương pháp tách vành kim loại sử dụng trong bài.
3. Ta gặp những loại sai số nào khi xác định hệ số căng mặt ngoài theo phương pháp tách vành kim loại? Sai số nào là chủ yếu, tại sao?
4. Xây dựng công thức tính sai số tỉ đối của phép đo  $\alpha$ .

# HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM

## XÁC ĐỊNH HỆ SỐ CĂNG MẶT NGOÀI CỦA CHẤT LỎNG

Họ và tên .....

Xác nhận của GV

Lớp học phần.....

Ngày thực hành.....

### I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm

.....  
.....  
.....

### II. Kết quả thí nghiệm

#### A. Bảng số liệu

Bảng 11.1

Lần đo	$D$ (mm)	$\Delta D_i$ (mm)	$d$ (mm)	$\Delta d_i$ (mm)	$m_1$ (g)	$m_2$ (g)	$m = m_1 - m_2$ (g)	$\Delta m_i$ (g)
1								
2								
3								
TB					X	X		

#### B. Kết quả

##### 1. Tính sai số tương đối của phép đo

$$\delta = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta \pi}{\pi} + \frac{\Delta D + \Delta d}{D + d} = \dots = \dots (\%)$$

Trong đó:

$$\Delta D = \overline{\Delta D} + \Delta D_{dc} = \dots ; \Delta d = \overline{\Delta d} + \Delta d_{dc} = \dots ; \Delta m = \overline{\Delta m} + \Delta m_{dc} = \dots$$

## 2. Tính giá trị trung bình của phép đo

$$\bar{\alpha} = \frac{\overline{m.g}}{\pi(\overline{D} + \overline{d})} = \dots \text{ (N/m)}$$

## 3. Tính sai số tuyệt đối của phép đo

$$\Delta\alpha = \delta\bar{\alpha} = \dots \text{ (N/m)}$$

## 4. Viết kết quả của phép đo

$$\alpha = \bar{\alpha} \pm \Delta\alpha = \dots \text{ (N/m)}$$

## III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

## BÀI 12. XÁC ĐỊNH NHIỆT DUNG RIÊNG CỦA CHẤT RẮN

### 12.1. Mục đích thí nghiệm

Khảo sát quá trình trao đổi nhiệt giữa các vật trong bình nhiệt lượng kế, áp dụng định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng (nguyên lý thứ nhất nhiệt động học) đối với hệ vật cô lập trong đó chỉ xảy ra quá trình trao đổi nhiệt, từ đó xác định được nhiệt dung riêng của chất rắn.

### 12.2. Thiết bị thí nghiệm

- Bình nhiệt lượng kế có điện trở nung nóng.
- Mẫu chất lỏng có nhiệt dung đã biết (nước).
- Mẫu chất rắn có nhiệt dung riêng chưa biết.
- Nhiệt kế hiện số ( $-50 \div +150^{\circ}\text{C}$ , chính xác  $0,1^{\circ}\text{C}$ ).
- Nguồn điện ổn áp một chiều  $0 \div 12\text{V}/3\text{A}$ .
- Đồng hồ bấm giây hiện số, chính xác  $0,01\text{ s}$ .
- Cốc thuỷ tinh  $250\text{ cm}^3$ .
- Cân kỹ thuật  $0 \div 200\text{ g}$ , chính xác  $0,02\text{ g}$ ; hộp quả cân  $0 \div 200\text{ g}$ .
- Dây nối mạch điện, dài  $60\text{ cm}$ , hai đầu cốt.

### 12.3. Cơ sở lý thuyết

#### 12.3.1. Khái niệm nhiệt dung riêng

Nhiệt dung riêng  $c$  của một lượng chất là đại lượng có trị số bằng lượng nhiệt  $Q$  cần phải tiêu tốn để nung nóng  $1\text{ kg}$  chất này tăng thêm  $1^{\circ}\text{C}$ :

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} \quad (12.1)$$

Ở đây  $m$  là khối lượng và  $T_2 - T_1 = \Delta T$  là khoảng biến thiên nhiệt độ của lượng chất. Đơn vị đo của  $c$  là  $\text{J/kg.K}$ . Công thức (12.1) xác định giá trị trung bình của nhiệt dung riêng  $c$  trong khoảng nhiệt độ từ  $T_1$  đến  $T_2$ . Nếu bỏ qua sự phụ thuộc nhiệt độ của nhiệt dung riêng  $c$  trong khoảng nhiệt độ này, thì ta có:

$$Q = c.m.(T_2 - T_1) \quad (12.2)$$

Trong một hệ vật cô lập (không trao đổi công và nhiệt với bên ngoài), nếu chỉ xảy ra quá trình trao đổi nhiệt giữa các vật trong hệ thì tổng đại số các lượng nhiệt do các vật thu vào và tỏa ra trong hệ có giá trị bằng không:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0 \quad (12.3)$$

Phương trình này được suy ra từ nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học - gọi là *phương trình cân bằng nhiệt*, nó biểu diễn định luật bảo toàn năng lượng đối với hệ vật cô lập.

### 12.3.2. Phương pháp nhiệt lượng kế

*Nhiệt lượng kế* (Hình 12.1) có cấu tạo gồm: cốc kim loại 1 và que khuấy 2 đặt trong bình trụ 3 có vỏ cách nhiệt và nắp đậy kín, phía dưới nắp đậy có hai thanh đồng gắn với điện trở  $R$ , một nhiệt kế NK để đo nhiệt độ bên trong bình.

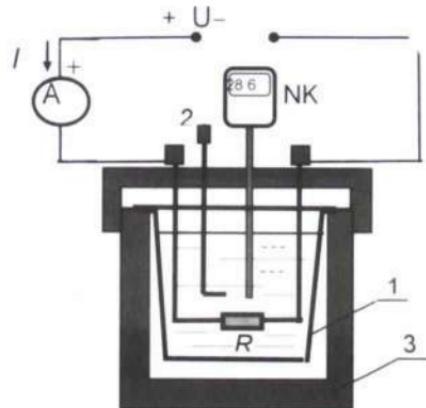
Ta đặt khối kim loại khối lượng  $M$  và đồ  $m$  gam chất lỏng vào cốc kim loại, sau đó làm nóng chúng bằng cách cho dòng điện  $I$  chạy qua điện trở  $R$ , lấy từ nguồn điện áp một chiều  $U$ . Sau khoảng thời gian  $\tau$ , lượng nhiệt Jun-Lenxơ tỏa ra trên điện trở  $R$  là:

$$Q = R I^2 \cdot \tau = U I \cdot \tau \quad (12.4)$$

Lượng nhiệt  $Q$  này truyền cho khối chất lỏng và hệ bình nhiệt lượng kế, làm nhiệt độ của cả hệ tăng từ giá trị ban đầu  $T_1$  đến giá trị cực đại  $T_2$ .

Khối chất lỏng thu nhiệt lượng:

$$Q_1 = c_{cl} \cdot m \cdot (T_2 - T_1) \quad (12.5)$$



Hình 12.1. Nhiệt lượng kế

Bình nhiệt lượng kế thu nhiệt lượng:

$$Q_2 = C^* \cdot (T_2 - T_1) \quad (12.6)$$

Khối kim loại thu nhiệt lượng:

$$Q_3 = c_{cr} M \cdot (T_2 - T_1) \quad (12.7)$$

Trong đó  $c_{cl}$  và  $c_{cr}$  là *nhiệt dung riêng* của khối chất lỏng và khối chất rắn,  $C^*$  là *nhiệt dung* của hệ bình nhiệt lượng kế, có giá trị bằng lượng nhiệt cần thiết phải truyền cho bình nhiệt lượng kế để nhiệt độ của bình tăng thêm  $1^\circ\text{C}$ .

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng cho quá trình trao đổi nhiệt nói trên, ta có:

$$Q = U.I.\tau = (c_{cl} \cdot m + c_{cr} M + C^*) \cdot (T_2 - T_1) \quad (12.8)$$

Nếu chất lỏng ta sử dụng là một chất lỏng mẫu (đã biết nhiệt dung riêng  $c$ ), biết trước được  $C^*$ , đo được  $M$ ,  $m$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $\tau$  và  $T = T_2 - T_1$  tương ứng, từ (12.8) ta có thể xác định được nhiệt dung  $c_{cr}$  của khối chất rắn theo công thức:

$$c_{cr} = \frac{U.I.\tau}{M.(T_2 - T_1)} - \frac{C^*}{M} - \frac{m.c_{cl}}{M} = \frac{U.I.\tau}{M.T} - \frac{C^*}{M} - \frac{m.c_{cl}}{M} \quad (12.9)$$

## 12.4. Trình tự thí nghiệm

### 12.4.1. Cân khối lượng của các vật trên cân kỹ thuật bằng phương pháp cân Mendeleev

Cân kỹ thuật sử dụng trong thí nghiệm này có phạm vi cân từ  $0 \div 200$  g, chính xác  $0,02$  g (Xem lại bài số 3).

Thực hiện theo các bước sau:

– Kiểm tra vị trí số 0 của cân không tải.

– Lau sạch các đĩa cân. Điều chỉnh trụ cân thẳng đứng sao cho đầu dây dọi nằm đối diện ngay trên đầu mũi nhọn ở đế cân. Gạt con mă về vị trí số 0 trên cánh tay đòn cân bên trái.

- Đặt quả cân 200 g lên đĩa trái làm bì. Lau khô cốc kim loại 1 và đặt nó lên đĩa cân bên phải. Thêm bớt các quả cân có khối lượng  $m_1$  lên đĩa phải để kim cân thăng bằng ở vị trí  $a_m$  trên bảng chia. Đọc và ghi giá trị  $m_1$ .

Đổ 100 ml nước vào cốc rồi đặt cốc chứa chất lỏng lên đĩa cân phải. Thêm bớt các quả cân trên đĩa phải để kim cân lại thăng bằng ở vị trí  $a_m$  như trên. Đọc và ghi giá trị  $m_2$  của các quả cân trên đĩa phải.

Khối lượng nước là:  $m = m_1 - m_2$

Ghi giá trị của  $m$  vào bảng 12.1.

- Đặt quả cân 200 g lên đĩa trái làm bì. Trên đĩa phải đặt các quả cân có khối lượng  $m_1'$  sao cho kim cân thăng bằng ở vị trí  $a_n$  trên bảng chia. Đọc và ghi giá trị của  $m_1'$ .

Đặt khối kim loại lên đĩa cân phải. Thêm bớt các quả cân trên đĩa phải để kim cân lại thăng bằng ở vị trí  $a_n$  như trên. Đọc và ghi giá trị  $m_2'$  của các quả cân trên đĩa phải.

Khối lượng khối kim loại là:  $M = m_1' - m_2'$

Ghi giá trị của  $M$  vào bảng 12.1.

#### 12.4.2. Xác định nhiệt dung riêng của chất rắn

- Đặt cốc đựng chất lỏng vào bình nhiệt lượng kế. Đậy kín nắp bình nhiệt lượng kế để điện trở  $R$  nhúng ngập trong chất lỏng của cốc kim loại 1.

- Kiểm tra hoạt động của nhiệt kế hiện số NK bằng cách: bật hai công tắc ở mặt sau của nó sang các vị trí "TEST" và "ON" để kiểm tra giá trị "0" của thang đo (có thể là 0.0 hoặc  $0.1^{\circ}\text{C}$ ). Sau đó, gạt công tắc bên trái sang vị trí "RUN" và giữ nguyên vị trí "ON" của công tắc bên phải để hiển thị nhiệt độ trong phòng.

- Cắm nhiệt kế NK vào bình nhiệt lượng kế sao cho đầu dưới của nó nằm gần phía trên điện trở  $R$ . Kéo que khuấy 2 lít xuống để đảo nhẹ nước trong cốc. Chờ  $2 \div 3$  phút, đọc và ghi giá trị ổn định của nhiệt độ ban đầu  $T_1$  của hệ nhiệt lượng kế.

- Mắc nối tiếp điện trở  $R$  của bình nhiệt lượng kế và ampe kế hiện số A, rồi nối với hai cực + và - của bộ nguồn điện U theo sơ đồ Hình 12.1.

- Vặn núm xoay  $N_1$  trên mặt nguồn điện U (Hình 12.2) ngược chiều kim đồng hồ về vị trí tận cùng bên trái. Bật công tắc K: đèn LED phát sáng, báo hiệu nguồn điện sẵn sàng hoạt động. (Có thể thử hoạt động của nguồn bằng cách vặn tiếp núm xoay  $N_1$  thuận chiều kim đồng hồ đồng thời quan sát hai đồng hồ Vôn, Ampe trên mặt bộ nguồn, sau đó tắt nguồn ngay).

- Xoay núm  $N_1$  đến vị trí tận cùng phải để lấy điện áp ra U tối đa. Công tắc K vẫn ở trạng thái ngắt điện.

- Bấm đồng thời núm khởi động START của đồng hồ bấm giây và công tắc K của nguồn điện U để tiến hành phép đo đúng thời điểm bắt đầu có dòng điện  $I$  chạy qua điện trở  $R$ .

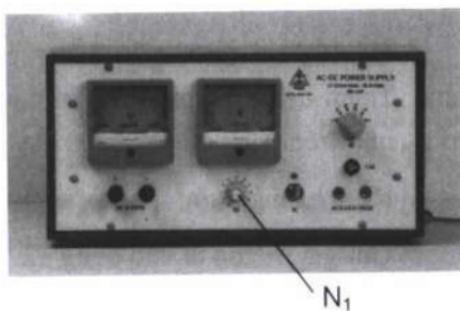
- Sau khoảng thời gian  $\tau$  (cỡ 5-10 phút), bấm đồng thời núm STOP của đồng hồ bấm giây hiện số và công tắc K của nguồn điện U để ngắt điện.

Tiếp tục khuấy nhẹ chất lỏng trong cốc kim loại I và theo dõi nhiệt độ trên nhiệt kế NK cho tới khi nhiệt độ đạt giá trị cực đại  $T_2$ .

Đọc và ghi giá trị của  $T = T_2 - T_1$ ,  $\tau$ ,  $I$ ,  $U$  vào Bảng 12.1.

#### Chú ý:

- Thực hiện các phép đo các đại lượng  $m$ ,  $M$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $\tau$ ,  $T = T_2 - T_1$  ba lần (chú ý chọn  $\tau$  như nhau trong các lần đo khác nhau). Sau mỗi lần đo cần lau sạch nước trên điện trở và que đo của nhiệt kế rồi mới tiếp tục lần đo lại từ bước 12.4.1.



Hình 12.2: Nguồn điện

- Ghi *độ chính xác và giới hạn thang đo* của các dụng cụ dùng trong thí nghiệm này vào Bảng 12.1.

- Kết thúc thí nghiệm, đổ nước vào bình chứa, rửa sạch cốc, lau khô khói kim loại, cốc kim loại và đặt cốc kim loại vào bình nhiệt lượng kế. Tắt tất cả các nguồn điện của nguồn ổn áp, nhiệt kế hiện số, tháo mạch điện, sắp xếp dụng cụ gọn gàng.

### 12.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Định nghĩa nhiệt dung riêng của một chất. Phân biệt khái niệm và đơn vị đo nhiệt dung C với nhiệt dung riêng c của một khối chất.

2. Mô tả cấu tạo và nguyên tắc hoạt động của bình nhiệt lượng kế. Trình bày phương pháp xác định nhiệt dung riêng c của chất lỏng trong thí nghiệm này. Từ đó rút ra công thức tính nhiệt dung riêng c.

3. Chứng minh:

$$\frac{\Delta \underline{c}_{cr}}{\underline{c}_{cr}} = \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\bar{U}\bar{I}\Delta\tau + \bar{U}\bar{\tau}\Delta I + \bar{\tau}\bar{I}\Delta U + \bar{T}\Delta C^* + \bar{T}\bar{m}\Delta c_{cl} + \bar{T}\bar{c}_{cl}\Delta m + (\bar{C}^* + \bar{m}\bar{c}_{cl})\Delta T}{\bar{U}\bar{I}\bar{\tau} - \bar{T}(\bar{C}^* + \bar{m}\bar{c}_{cl})}$$

Từ đó dự đoán các nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sai số lớn của phép đo.

HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
XÁC ĐỊNH NHIỆT DUNG RIÊNG CỦA CHẤT RẮN

Họ và tên .....

Xác nhận của GV

Lớp học phần.....

Ngày thực hành.....

**I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm**

.....  
.....  
.....

**II. Kết quả thí nghiệm**

**1. Bảng 12.1**

$$\Delta m_{dc} = \Delta M_{dc} \dots \dots \text{ (g)} ; \delta_V = \dots \dots ; \delta_A = \dots \dots$$

$$C^* = \dots \pm \dots \text{ (J/độ)}; c_{cl} = \dots \pm \dots \text{ (J/độ)}; \Delta T_{dc} = \dots (^{\circ}\text{C})$$

Lần đo	m	M	U (V)	I (A)	$\tau$ (s)	$T = T_2 - T_1 (^{\circ}\text{C})$
1						
2						
3						
Trung bình						

**2. Xử lý số liệu**

a) Tính sai số tương đối

$$\delta = \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\bar{U}\bar{I}\Delta\tau + \bar{U}\bar{\tau}\Delta I + \bar{\tau}\bar{I}\Delta U + \bar{T}\Delta C^* + \bar{T}\bar{m}\Delta c_{cl} + \bar{T}\bar{c}_{cl}\Delta m + \left(\bar{C}^* + \bar{m}\bar{c}_{cl}\right)\Delta T}{\bar{U}\bar{I}\bar{\tau} - \bar{T}\left(\bar{C}^* + \bar{m}\bar{c}_{cl}\right)}$$

b) Tính giá trị trung bình

$$\bar{c}_{cr} = \frac{\bar{U}\bar{I}\bar{\tau}}{\bar{M}\bar{T}} - \frac{\bar{C}^*}{\bar{M}} - \frac{\bar{m}\bar{c}_{cl}}{\bar{M}} = \dots \text{ (J/g.K)}$$

c) Tính sai số tuyệt đối

$$\Delta c_{cr} = \delta \cdot \bar{c}_{cr} = \dots \text{ (J/g.K)}$$

d) Viết kết quả đo

$$c = \bar{c} \pm \Delta c = \dots \pm \dots \text{ (J/g.K)}$$

### III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

---



---



---



---

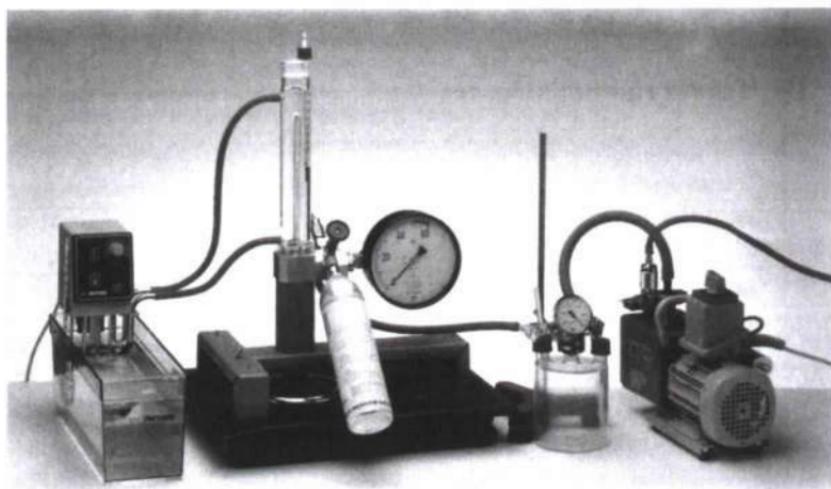
## Bài 13. KHẢO SÁT CÁC PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI VÀ XÁC ĐỊNH ĐIỂM TỚI HẠN CỦA CHẤT KHÍ

### 13.1. Mục đích thí nghiệm

- Khảo sát quá trình đẳng nhiệt của etan ở một số nhiệt độ.
- Xác định các thông số trạng thái ở điểm tới hạn của etan.
- Tính hằng số Van der Waals và bán kính của các phân tử etan.

### 13.2. Dụng cụ thí nghiệm

#### 13.2.1. Thành phần thiết bị



**Hình 13.1. Bộ thí nghiệm khảo sát các phương trình trạng thái  
và điểm tới hạn**

*Mỗi bộ thí nghiệm bao gồm*

- Bể chứa 6 lít.
- Phụ kiện lắp ngoài cho bộ ống nhiệt.
- Bộ ống nhiệt nhúng chìm Alpha A, 230 V.
- Bình thủy tinh 3 cỗ, 500 ml, 2 x Gl 18/8, 1 x 25/12

- Áp kế, giới hạn đo 0 - 1000 mbar.
- Ống thủy tinh.
- Ống thủy tinh, có góc vuông.
- Van thủy tinh 3 chiều.
- Kẹp góc vuông.
- Kẹp đa năng.
- Nhiệt kế, -10 - +100 °C
- Ống cao su, đường kính d = 8 mm.
- Ống cao su cho kết nối bơm chân không đường kính 6mm.
- Ống cao su cho kết nối bơm chân không đường kính 8mm.
- Ống cao su đường kính 10 mm.
- Kẹp ống, cho đường kính 12-20 mm.
- Kẹp ống, cho đường kính 8-16 mm.
- Kẹp ống, cho đường kính 5-12 mm.
- Đệm cao su.
- Bình khí nén, SF6.
- Thanh chốt, có độ rộng 15 mm.
- Đầu kết nối ống, ID 6-10mm.
- Dé đỡ 3 chân.
- Thanh đỡ, 500 mm.
- Khay đựng (chứa được thủy ngân).
- Adapter cho bơm chân không.
- Bơm chân không, 1 cấp.
- Tấm lọc dầu cho bơm chân không, DN 16 KF.
- Bộ dụng cụ khảo sát điểm tối hạn.

### 13.2.2. Mô tả thí nghiệm

Hình 13.1 là ảnh chụp các thiết bị được sử dụng để khảo sát các quá trình đẳng nhiệt của một chất khí ở các nhiệt độ khác nhau (trong thí nghiệm này chất khí được sử dụng là etan). Các thiết bị bao gồm một ống thủy tinh đã được lắp đầy với khí etan. Ống thủy tinh này được bao quanh bởi một lớp nước mà nhiệt độ trong đó có thể thay đổi bằng cách sử dụng nhiệt trong bể nước. Điều này cho phép ta có thể kiểm soát nhiệt độ của khí trong thí nghiệm. Áp lực của khí có thể được kiểm soát bằng một cột thủy ngân có nối với các ống mao dẫn chứa khí.

Các đường đẳng nhiệt p - V của etan được đo trong khoảng nhiệt độ từ  $24^{\circ}\text{C}$  đến  $38^{\circ}\text{C}$ , mỗi lần đo gia tăng nhiệt độ thêm  $2^{\circ}\text{C}$ . Lưu ý rằng cần điều khiển chính xác nhiệt độ, nếu có sự thay đổi nhỏ về nhiệt thì cần ghi lại nhiệt độ trạng thái ổn định thực tế của số đo của thí nghiệm. Ghi lại các giá trị áp suất sau mỗi lần gia tăng thể tích  $0,1\text{ cm}^3$ .

Sau khi thu thập số liệu thực nghiệm, vẽ đường đẳng nhiệt pV của etan từ đó có thể xác định nhiệt độ tới hạn và áp suất tới hạn. Sử dụng các kết quả này để xác định hằng số Van der Waals và ước tính bán kính phân tử etan.

#### \* Một số lưu ý:

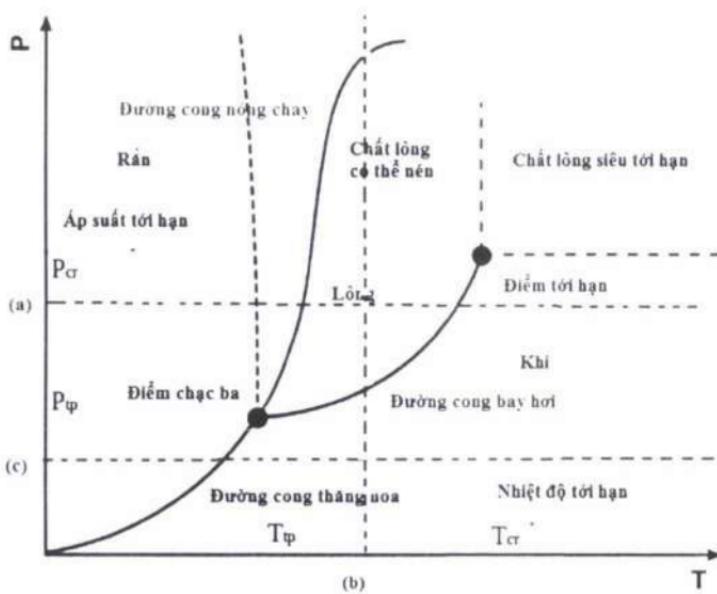
- Bất cứ khi nào hoàn thành thí nghiệm thì piston phải được hạ xuống tận cùng (nghĩa là bánh xe quay ngược hết mức).
- Áp suất trong các dụng cụ không được lớn hơn 6 Mpa.
- Quan sát các quá trình chuyển pha của khí là rất cần thiết trong thí nghiệm này. Khi làm thí nghiệm yêu cầu phải ghi chi tiết, chính xác tất cả các quá trình chuyển pha mà ta có thể quan sát được ở tất cả các điểm trong thí nghiệm. Nếu không ghi chú chi tiết, có thể sẽ không thể giải thích các số liệu thực nghiệm thu được.

### 13.3. Cơ sở lý thuyết

#### 13.3.1. Giản đồ pha, điểm chắc ba

Chúng ta đã sử dụng giản đồ pV để nghiên cứu sự biểu hiện của vật chất kể cả phương trình trạng thái của nó. Một giản đồ khác rất có ích để

mô tả các pha của vật chất và sự chuyển pha được gọi là giản đồ pha. Giản đồ pha là giản đồ với các trục là áp suất  $p$  và nhiệt độ  $T$ .



Hình 13.2. Đồ thị chuyển pha

Thực tế mỗi pha của vật chất chỉ ổn định trong một vùng áp suất và nhiệt độ nhất định. Thông thường, sự chuyển pha chỉ xảy ra dưới các điều kiện cân bằng pha giữa hai pha và ở một áp suất cho trước thì sự chuyển pha chỉ xảy ra ở một nhiệt độ xác định.

Giản đồ pha cho thấy một pha nào đó của vật chất chỉ tồn tại ở một điều kiện của một tổ hợp nào đó của áp suất và nhiệt độ. Ở trên đồ thị mỗi một điểm trong hình tương ứng với một giá trị áp suất  $p$  và nhiệt độ  $T$  xác định. Tại mỗi điểm chỉ có một pha duy nhất tồn tại trừ các điểm nằm trên đường cong trong hình 13.2.

Tại các điểm nằm trên các đường cong thì hai pha có thể đồng thời tồn tại ở điều kiện cân bằng pha. Ví dụ ở hình 13.2 đường cong nóng chảy phân chia hai pha rắn và lỏng, đường cong bay hơi phân chia hai pha khí và lỏng còn đường cong thẳng hoa phân chia hai pha rắn và khí.

- Nếu ta tăng nhiệt độ của một chất mà vẫn giữ áp suất không đổi (đẳng áp) thì nó sẽ đi qua một chuỗi các trạng thái được biểu diễn bằng

đường nằm ngang (a) ở trong hình 13.2 thì vật chất chuyển từ pha khí sang pha lỏng rồi từ pha lỏng sang rắn khi đường (a) cắt các đường cong nóng chảy và bay hơi.

- Nếu chúng ta nén một chất mà vẫn giữ nguyên nhiệt độ không đổi (đẳng nhiệt) ví dụ như đường (b) trong hình 13.2 thì vật chất chuyển từ pha khí sang pha lỏng rồi từ lỏng sang rắn khi đường (b) cắt các đường cong bay hơi và nóng chảy.

- Khi áp suất đủ thấp thì quá trình nung nóng đẳng áp (đường nằm ngang (c) trong hình 13.2) có thể làm cho vật chất chuyển thẳng từ pha rắn sang pha khí mà không cần qua pha lỏng. Quá trình này gọi là quá trình thăng hoa. Ví dụ ở điều kiện tiêu chuẩn (nhiệt độ và áp suất bình thường) có sự thăng hoa ở long não (còn gọi là băng phiến). Sự thăng hoa xuất hiện tại nhiệt độ là giao điểm của đường thẳng (c) với đường cong thăng hoa.

Trong hình 13.2, giao điểm chung của ba đường cong thăng hoa, nóng chảy và bay hơi gọi là điểm chạc ba (hay điểm ba). Đối với mỗi chất thì điểm chạc ba của nó là điểm duy nhất mà tại đó tất cả ba pha có thể đồng tồn tại.

Bảng sau đây trình bày điểm chạc ba của một số chất:

Chất	Nhiệt độ, $^{\circ}\text{K}$	Áp suất Pa
Hydro	13,84	7040
Nitơ	63,18	12500
Ôxy	54,36	152
Nước	273,16	6100
Cacbon níc	216,55	517000

Cũng từ giản đồ pha, ta thấy rằng sự cân bằng pha giữa hai pha lỏng và khí chỉ gây ra khi áp suất và nhiệt độ nhỏ hơn áp suất và nhiệt độ của điểm tới hạn (là điểm nằm ở đỉnh của vùng cân bằng pha giữa pha khí và lỏng). Điểm tới hạn nằm ở cuối đường cong bay hơi. Áp suất ứng với điểm tới hạn gọi là áp suất tới hạn  $p_c$  còn nhiệt độ gọi là nhiệt độ tới hạn  $T_c$ .

Từ giàn đồ pha cũng thấy rõ ràng là khi nén đẳng nhiệt một chất ở nhiệt độ  $T > T_c$  thì chất khí không thể ở trong pha lỏng được.

Giản đồ pha rất có ích khi nghiên cứu pha của vật chất trong điều kiện áp suất và nhiệt độ nhất định.

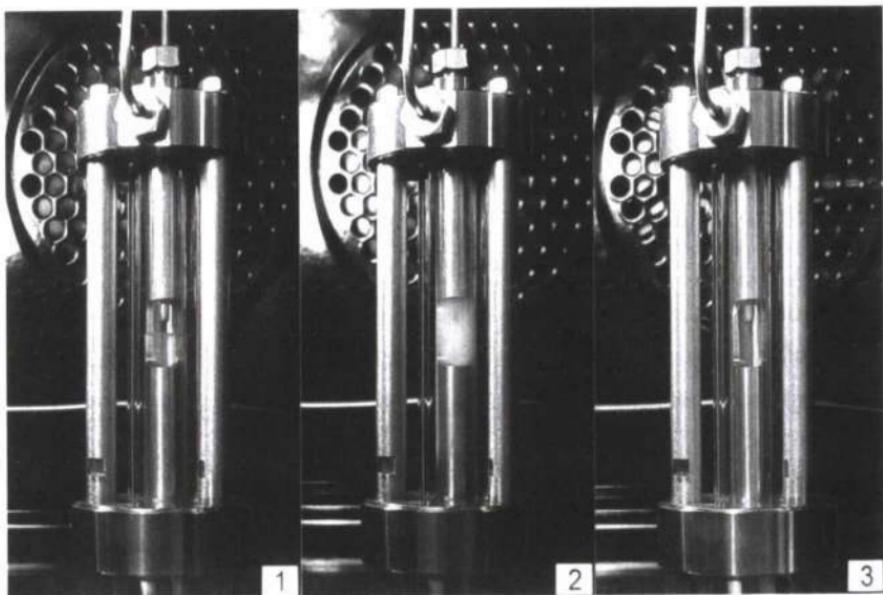
### 13.3.2. Điểm tới hạn

Trong nhiệt động lực học, *điểm tới hạn* (hay *trạng thái tới hạn*) là điểm cuối cùng trên đường cong cân bằng pha. Ví dụ nổi bật nhất là điểm tới hạn chất lỏng - hơi, điểm cuối cùng của đường cong áp suất - nhiệt độ chỉ ra các điều kiện mà tại đó chất lỏng và hơi của nó có thể cùng tồn tại. Tại điểm tới hạn, được định nghĩa theo *nhiệt độ tới hạn*  $T_c$  và *áp suất tới hạn*  $p_c$ , ranh giới pha không còn nữa. Các ví dụ khác là các điểm tới hạn của chất lỏng - chất lỏng trong các hỗn hợp.

Để đơn giản và rõ ràng, xét một ví dụ cụ thể điểm tới hạn của một chất ở giữa hai trạng thái lỏng - hơi. Hình 13.2 biểu diễn đồ thị PT của một *chất tinh khiết*. Các trạng thái thường rắn, lỏng và hơi được phân cách bởi ranh giới trạng thái, nghĩa là kết hợp áp suất nhiệt độ nơi hai trạng thái có thể cùng tồn tại. Tại điểm ch靑 ba, có cả ba trạng thái cùng tồn tại. Tuy nhiên, ranh giới lỏng - hơi kết thúc tại một điểm gọi là *điểm tới hạn* với nhiệt độ tới hạn  $T_c$  và áp suất tới hạn  $p_c$ . Trong nước, các điểm tới hạn xảy ra ở vào khoảng nhiệt độ 647 K ( $374^\circ\text{C}$ ;  $705^\circ\text{F}$ ) và áp suất 22,064 MPa (3200 PSIA hoặc 218 atm).

Trong vùng lân cận của điểm tới hạn, các tính chất vật lý của chất lỏng và hơi đều thay đổi đáng kể, dẫn đến cả hai trạng thái ngày càng trở nên giống nhau hơn. Ví dụ, nước lỏng trong điều kiện bình thường là gần như không nén được, có hệ số giãn nở nhiệt thấp, có hằng số điện môi cao và là một dung môi tốt cho chất điện giải. Gần điểm tới hạn, tất cả các đặc tính này đều thay đổi ngược lại: nước trở nên nén được, hệ số giãn nở nhiệt cao, hằng số điện môi thấp, là một dung môi có hại cho điện giải và thích hợp để trộn với các loại khí không cực và phân tử hữu cơ.

Bên trên điểm tới hạn, trạng thái của vật chất được kết nối liên tục với cả thể lỏng và thể khí (có thể chuyển trạng thái trực tiếp mà không cần giai đoạn chuyển tiếp). Nó được gọi là chất lỏng siêu tới hạn.

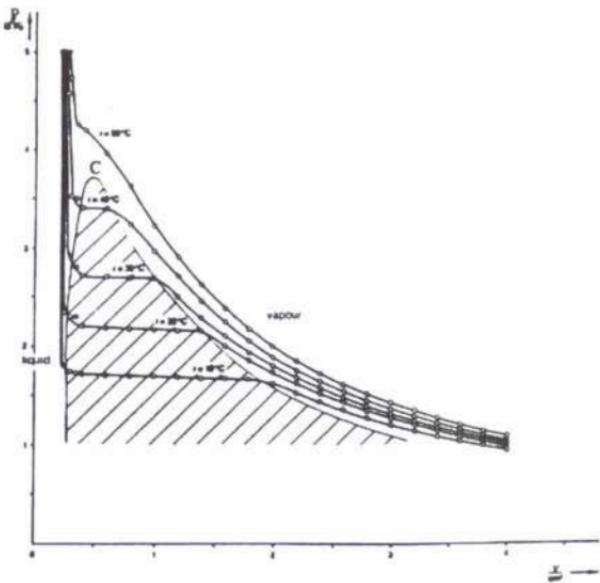


**Hình 13.3. Các quá trình biến đổi pha của Etan**

1. Etan gần tới hạn, pha lỏng và khí cùng tồn tại
2. Điểm tới hạn ( $32,17^{\circ}\text{C}$ ; 48,72 bar), ánh opal
3. Etan siêu tới hạn, lỏng

### 13.3.3. Khảo sát đường đẳng nhiệt PV

Xét một hệ nhiệt với các thông số trạng thái  $p$ ,  $V$ ,  $T$ . Chúng ta biết rằng các trạng thái cân bằng của hệ trong một trạng thái được quy định duy nhất bởi hai trong các thông số trạng thái này và  $p$ ,  $V$ ,  $T$  được liên hệ với nhau thông qua các phương trình trạng thái. Nếu ban đầu khí ở thể hơi chúng ta tiến hành nén khí đẳng nhiệt thì khi áp suất tăng, thể tích giảm cho đến điểm xảy ra sự ngưng tụ và giọt chất lỏng bắt đầu xuất hiện. Khi bắt đầu chuyển pha, mặc dù các chất ở hai pha đều ở nhiệt độ và áp suất tương tự nhau nhưng chúng có mật độ chất rất khác nhau. Nếu tiếp tục nén khí (ví dụ đường  $t = 10^{\circ}\text{C}$  trong đồ thị hình 13.4) các chất khí chuyển sang dạng lỏng và áp suất hầu như không thay đổi cho đến khi toàn bộ chất khí ngưng tự hết thành dạng lỏng. Sau khi chuyển hoàn toàn từ pha khí sang pha lỏng, chỉ cần một sự thay đổi nhỏ về thể tích cũng làm áp suất tăng đáng kể.



Hình 13.4. Họ các đường đẳng nhiệt PV của  $\text{SF}_6$ .

Ta có thể thấy ở dưới  $46^\circ \text{C}$  các đường đẳng nhiệt được đặc trưng bởi một đoạn bằng phẳng do quá trình hoá lỏng khí (cân bằng khí – lỏng). Điểm tới hạn được xác định (điểm C) khi không xảy ra quá trình chuyển pha khí – lỏng tại nhiệt độ  $T_{\text{CR}} = 46^\circ \text{C} = 319 \text{ K}$  và áp suất  $P_{\text{CR}} = 3,8 \text{ MPa}$ .

Có một nhiệt độ tới hạn,  $T_c$ , mà trên đó quá trình nén đẳng nhiệt không tạo ra quá trình chuyển đổi pha lỏng – hơi. Khi nén mật độ khí của hệ tăng lên, di chuyển liên tục từ một chất lỏng có mật độ thấp đến một chất lỏng có mật độ cao. Tại các điểm quan trọng (điểm C trong hình 13.4) hơi nước và các chất lỏng đã trở nên không thể phân biệt với mật độ tương tự. Đó là phương pháp để sử dụng pha khí từ trên nhiệt độ  $T_c$  và bay hơi từ nhiệt độ dưới  $T_c$ . Hay nói một cách khác nén khí sẽ không gây ra sự ngưng tụ.

Các phương trình trạng thái của khí lý tưởng được đưa ra bởi,

$$pV_m = RT \quad (13.1)$$

Trong đó  $p$  là áp suất,  $V_m$  thể tích mol,  $T$  Nhiệt độ K và  $R$  là hằng số khí.

Đối với các khí thực, tương tác phân tử (chủ yếu là lực hút giữa các phân tử) và khối lượng của các phân tử phải được đưa vào trong tính

toán. Phương trình trạng thái Van der Waals được sử dụng rộng rãi với khí thực sự là

$$\left( p + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b) = RT \quad (13.2)$$

Trong đó  $a$  và  $b$  là hằng số Van der Waals

Số hạng  $\frac{a}{V_m^2}$  có được là do lực tương tác giữa các phân tử (lực hút đóng vai trò làm giảm áp suất khí lên thành bình). Số hạng  $b$  là số hạng hiệu chỉnh cho thể tích riêng của khí. Trên cơ sở các thể tích riêng  $b$ , bán kính của các phân tử khí có thể được tính theo phương trình:

$$b = 4N_A \frac{4}{3} r^3 \pi \quad (13.3)$$

Với  $N_A$  là số Avogadro và  $r$  là bán kính Van der Waals của phân tử

Để xác định thực nghiệm hằng số Van der Waals và các thông số tương tác ta tiến hành đo các thông số tới hạn của khí. Có thể sử dụng các phương trình sau:

$$V_c = \frac{3RT_{cr}}{8p_{cr}} \quad (13.4)$$

$$a = 3P_c V_c^2 \quad (13.5)$$

$$b = \frac{V_c}{3} \quad (13.6)$$

#### 13.4. Trình tự thí nghiệm

Để khảo sát quá trình đẳng nhiệt và vẽ đồ thị  $PV$  của quá trình đẳng nhiệt của etan, ta tiến hành đo áp suất và thể tích của khí etan tại các nhiệt xác định (nhiệt độ từ  $24^{\circ}\text{C}$  đến  $38^{\circ}\text{C}$ , mỗi lần đo gia tăng nhiệt độ thêm  $2^{\circ}\text{C}$ ). Với mỗi nhiệt độ xác định, quá trình đẳng nhiệt được khảo sát bằng cách tăng thể tích  $V$  (mỗi lần tăng  $0,1\text{ cm}^3$ ) và đo áp suất tương ứng.

Sau khi thu thập số liệu thực nghiệm, vẽ đường đẳng nhiệt  $pV$  của etan từ đó có thể xác định nhiệt độ tới hạn  $T_c$  và áp suất tới hạn  $P_c$ . Sử dụng các kết quả này để xác định hằng số Van der Waals và ước tính bán kính phân tử etan theo công thức (13.4), (13.5) và (13.6).

## Bài 14. XÁC ĐỊNH NHIỆT NÓNG CHÀY CỦA NƯỚC ĐÁ

### 14.1. Mục đích thí nghiệm

- Nghiên cứu nhiệt lượng cần cung cấp cho quá trình biến đổi pha từ rắn sang lỏng.
- Biết cách đo nhiệt nóng chảy của một chất rắn kết tinh cụ thể.
- Hiểu phương pháp hiệu chỉnh nhiệt độ khi hệ vật không hoàn toàn cách nhiệt.

### 14.2. Thiết bị thí nghiệm

- Bình nhiệt lượng kế có điện trở nung nóng
- Mẫu chất lỏng có nhiệt dung đã biết (nước).
- Mẫu chất rắn có nhiệt dung riêng chưa biết (nước đá).
- Nhiệt kế hiện số ( $-50 \div +150^{\circ}\text{C}$ , chính xác  $0,1^{\circ}\text{C}$ ).
- Nguồn điện ổn áp một chiều  $0 \div 12\text{V}/3\text{A}$ .
- Đồng hồ bấm giây hiện số, chính xác  $0,01\text{ s}$ .
- Cốc thuỷ tinh  $250\text{ cm}^3$ .
- Cân kỹ thuật  $0 \div 200\text{ g}$ , chính xác  $0,02\text{ g}$ ; hộp quả cân  $0 \div 200\text{g}$ .
- Dây nối mạch điện, dài  $60\text{ cm}$ , hai đầu cốt.

### 14.3. Cơ sở lý thuyết

#### 14.3.1. Khảo sát quá trình biến đổi pha

Vật rắn kết tinh, khi được truyền nhiệt lượng thì các hạt ở nút mạng tinh thể sẽ dao động mạnh lên và nhiệt độ của vật rắn sẽ tăng theo cho tới khi vật rắn bắt đầu nóng chảy. Nếu tiếp tục truyền nhiệt lượng thì vật rắn bắt đầu quá trình nóng chảy, song nhiệt độ của vật rắn không tăng

nữa. Lúc đó nhiệt lượng truyền cho vật rắn có tác dụng phá vỡ mạng tinh thề, vật rắn bắt đầu chuyển sang pha lỏng.

Nhiệt độ nóng chảy của vật rắn phụ thuộc áp suất. Nhiệt nóng chảy của một số chất là đại lượng Vật lý đo bằng nhiệt lượng cần cung cấp cho một đơn vị khối lượng chất ấy nóng chảy hoàn toàn ở nhiệt độ nóng chảy.

Trong hệ SI, nhiệt nóng chảy đo bằng J/Kg, trong hệ CGS, nhiệt nóng chảy đo bằng cal/gam.

Cần chú ý rằng ở nhiệt độ nóng chảy vật chất có thể ở đồng thời hai pha rắn và lỏng, và nhiệt độ nóng chảy của một chất không nguyên chất bao giờ cũng bị hạ thấp xuống so với nhiệt độ nóng chảy của chất nguyên chất.

Các biến đổi pha có kèm theo sự hấp thụ hay toả nhiệt và sự biến đổi thể tích riêng gọi là các dạng chuyển pha loại I.

Các biến đổi pha xảy ra không kèm theo sự hấp thụ hay toả nhiệt và sự biến đổi thể tích riêng gọi là các dạng chuyển pha loại II.

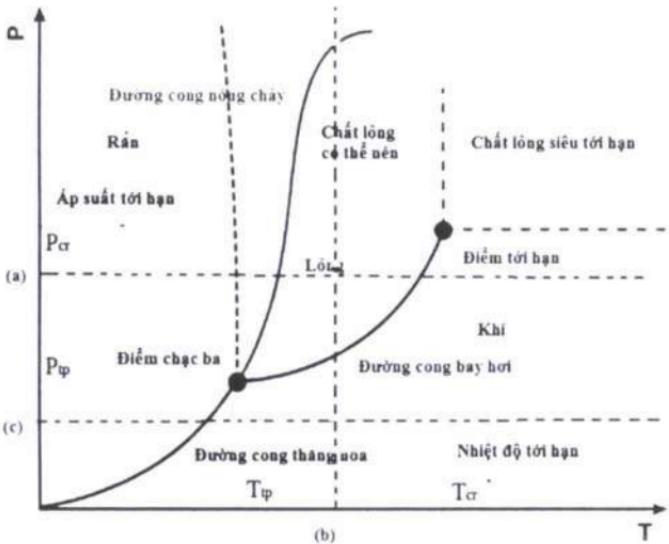
**Ví dụ:** Sự chuyển của chất từ trạng thái sắt từ sang trạng thái thuận từ ở điểm Curi, kèm theo sự thay đổi về cản bàn cấu trúc của kim loại, hay tính siêu dẫn ở nhiệt độ thấp, khi đó điện trở kim loại giảm đến giá trị không.

Trong khuôn khổ bài thí nghiệm này, chúng ta chỉ xét tới dạng chuyển pha loại I.

Phương trình Clapeyron – Claussius:

$$T \cdot \frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{v_2 - v_1} \quad (14.1)$$

Trong đó: T là nhiệt giai tuyệt đối;  $\lambda$  là nhiệt nóng chảy riêng (đối với trường hợp nóng chảy của vật rắn);  $v_1, v_2$  là thể tích riêng của thể rắn và thể lỏng mô tả sự biến thiên của áp suất hơi bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ đối với các quá trình xảy ra trong hệ theo đường bão hòa.



Hình 14.1. Đồ thị chuyển pha

Trên giàn đồ áp suất – nhiệt độ (Hình 14.1) các quá trình chuyển pha được biểu diễn bằng các đường cong có một điểm chung:

Đường cong hoá hơi mô tả sự cân bằng của hệ lỏng – hơi;

Đường cong nóng chảy mô tả sự cân bằng của hệ rắn – lỏng;

Đường cong thẳng hoa mô tả cân bằng trong hệ rắn – hơi.

“Điểm chắc ba” (điểm ba) là điểm tại đó có tồn tại cả ba trạng thái rắn, lỏng, hơi bao hoà trên cùng một chất.

Nhiệt độ của điểm ba là nhiệt độ nóng chảy của chất dưới áp suất hơi bao hoà. Nếu chất ta khảo sát chịu áp suất lớn hơn thì nhiệt độ nóng chảy cũng biến đổi. Phần lớn các chất có  $v_2 > v_1$  và do đó  $\frac{dp}{dT} < 0$ , nghĩa là nhiệt độ nóng chảy tăng khi áp suất tăng.

Tuy nhiên, đối với một số chất như Bít mút, nước,... thì tại pha rắn – nóng chảy thì  $v_2 < v_1$ , do đó  $\frac{dp}{dT} > 0$ ; nghĩa là nhiệt độ nóng chảy giảm khi áp suất tăng. Điều này giải thích thí nghiệm khi đặt một sợi dây thép có buộc hai quả cân nặng vắt ngang qua một tảng nước đá thì sợi

dây sẽ nhanh chóng cưa đứt tầng nước đá, nhưng sau khi sợi dây đi qua thì tầng nước đá lại liền lại như chưa bị cắt đứt.

#### 14.3.2. Xác định nhiệt nóng chảy của nước đá.

Trong thí nghiệm này ta sử dụng một nhiệt lượng kế bên trong có chứa một chất lỏng đã biết nhiệt dung riêng (thường là nước).

Khi bỏ một miếng nước đá có nhiệt độ ban đầu là  $t$  ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ) vào nhiệt lượng kế có chứa một lượng chất lỏng (thường chứa từ  $\frac{1}{2} \rightarrow \frac{3}{4}$  bình trong nhiệt lượng kế) thì sẽ xảy ra quá trình trao đổi nhiệt và sự biến đổi pha của nước đá từ pha rắn sang pha lỏng. Quá trình này có thể mô tả như sau:

+ Nhiệt độ của nhiệt lượng kế và chất lỏng trong nhiệt lượng kế hạ từ  $t_1$  đến  $\theta$ . Nhiệt độ của nước đá tăng từ  $t^{\circ}\text{C}$  đến  $0^{\circ}\text{C}$  và bắt đầu nóng chảy khi tiếp tục được cung cấp nhiệt.

+ Khi đã nóng chảy hoàn toàn phần nước này tiếp tục tăng nhiệt độ từ  $0^{\circ}\text{C}$  lên đến nhiệt độ cân bằng  $\theta$ .

+ Sự trao đổi nhiệt trong nhiệt lượng kế sẽ ngừng lại khi nhiệt độ của cả hệ cân bằng tại nhiệt độ  $\theta$ .

Nhiệt lượng của nhiệt lượng kế, que khuấy, chất lỏng trong nhiệt lượng kế toả ra là:

$$Q_1 = (c_1.m_1 + c_2.m_2)(t_1 - \theta) \quad (14.2)$$

Nhiệt lượng mà nước đá hấp thụ để tăng từ nhiệt độ  $t^{\circ}\text{C}$  đến  $\theta$  là:

$$Q_2 = c.m.(0 - t) + \alpha.m + c_2.m.\theta \quad (14.3)$$

Nếu coi hệ nhiệt lượng kế - que khuấy - chất lỏng - nước đá là hệ kín thì ta có:  $Q_1 = Q_2$

$$\text{Hay } (c_1.m_1 + c_2.m_2)(t_1 - \theta) = c.m.(0 - t) + \alpha.m + c_2.m.\theta \quad (14.4)$$

Từ (14.4) ta dễ dàng suy ra:

$$\alpha = \frac{1}{m}(c_1.m_1 + c_2.m_2)(t_1 - \theta) - c_2.\theta + c.t \quad (14.5)$$

Trong đó:

$m_1, c_1$  là khối lượng, nhiệt dung riêng của nhiệt lượng kê và que khuấy;

$m_2, c_2$  là khối lượng, nhiệt dung riêng của chất lỏng chứa trong nhiệt lượng kê;

$m, c$  là khối lượng, nhiệt dung riêng của nước đá thả vào trong nhiệt lượng kê;

$t_1$  là nhiệt độ ban đầu của nhiệt lượng kê và chất lỏng chứa trong nhiệt lượng kê;

$t$  là nhiệt độ ban đầu của nước đá trước khi thả vào trong nhiệt lượng kê;

$\Theta$  là nhiệt độ lúc cuối cân bằng của hệ;

$\alpha$  là nhiệt độ nóng chảy của nước đá,

Công thức (14.5) cho kết quả đúng nếu nhiệt lượng kê cách nhiệt hoàn toàn đối với môi trường ngoài, nhưng thực tế không thể đạt được yêu cầu này. Nếu quá trình trao đổi nhiệt diễn ra nhanh thì ta có thể thấy rằng kết quả không bị thay đổi nhiều. Tuy nhiên nếu quá trình trao đổi nhiệt diễn ra trong một thời gian dài thì ta phải tiến hành hiệu chỉnh nhiệt độ trong quá trình trao đổi nhiệt do tác động từ bên ngoài.

#### 14.4. Trình tự thí nghiệm

- Xác định khối lượng của nhiệt lượng kê, que khuấy bằng phương pháp cân Mendeleev.

$$B_1 = M_1$$

$$B_1 = \text{Nhiệt lượng kê} + M_2$$

Xác định khối lượng nước trong nhiệt lượng kê (cho nước vào khoảng  $\frac{1}{2} \rightarrow \frac{3}{4}$  bình của nhiệt lượng kê).

$$B_1 = \text{Nhiệt lượng kê} + \text{Nước} + M_3$$

- Dùng nhiệt kế xác định nhiệt độ ban đầu  $t_1$  của nước và nhiệt lượng kế qua theo dõi nhiệt độ cứ 15 giây ghi một lần.

- Lấy miếng nước đá trong tủ lạnh (hoặc phích đá) to khoảng  $3 \times 4 \times 1$  cm cho nhanh vào nhiệt lượng kế. Dùng que khuấy đều và theo dõi nhiệt kế, cứ sau 15 giây lại ghi kết quả một lần. Lúc đầu nhiệt độ giảm nhanh, sau đó dừng lại và tăng chậm. Ghi kết quả sau khi nhiệt độ bắt đầu tăng chậm cho tới khi được 5 phút để vẽ đồ thị.

- Xác định khối lượng nước đá đã cho vào nhiệt lượng kế. Đặt nhiệt lượng kế lên cân ta có:

$$B_i = \text{Nhiệt lượng kế} + \text{Nước} + \text{Nước đá đã tan} + M_4$$

- Đọc nhiệt độ ban đầu của nước đá trong tủ lạnh hoặc theo số liệu đã cho.

- Áp dụng công thức (14.5) để tính nhiệt nóng chảy của nước đá.

#### 14.5. Câu hỏi kiểm tra

1. Các quá trình biến đổi pha loại I là gì? Nhiệt độ nóng chảy của một chất phụ thuộc các yếu tố nào?

2. Giải thích hiện tượng nóng chảy và hoá hơi bằng thuyết động học phân tử.

3. Tại sao phải hiệu chỉnh nhiệt độ  $t_1$  và  $\theta$ ? Trình bày phương pháp hiệu chỉnh nhiệt độ bằng đồ thị?

HƯỚNG DẪN VIẾT BÁO CÁO THÍ NGHIỆM  
**XÁC ĐỊNH NHIỆT NÓNG CHẤY CỦA NƯỚC ĐÁ**

Họ và tên ..... Xác nhận của GV  
Lớp học phần .....  
Ngày thực hành .....    

### I. Mục đích, yêu cầu thí nghiệm

.....  
.....  
.....

### II. Kết quả thí nghiệm

.....  
.....  
.....

#### A. Bảng số liệu

- Xác định giá trị một vạch chia của cân

**Bảng 14.1**

Lần đo	Độ chính xác của cân: ..... (mmg)			$t_1$	$\theta$	t	$A$
	$m_1 = M_1 - M_2$	$m_2 = M_2 - M_3$	$m_3 = M_3 - M_4$				
1							
2							
3							

**Bảng 14.2**

Độ chính xác của nhiệt kế:.....	(°C)
Độ chính xác của đồng hồ:.....	(s)
$\tau(s)$	
$t^{\circ}\text{C}$	

Vẽ đồ thị ngoại suy nhiệt độ trên hệ trục tọa độ  $t^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau$

Mỗi lần thí nghiệm với một bì khác nhau rồi tính nhiệt nóng chảy của nước đá  $\bar{\alpha}$

#### 4. Viết kết quả phép đo

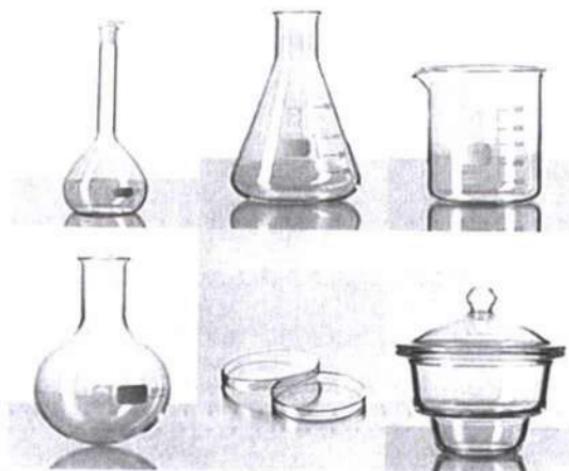
$$\equiv = \dots$$

#### III. Trả lời câu hỏi kiểm tra

**PHỤ LỤC 1**  
**GIỚI THIỆU DỤNG CỤ THƯỜNG DÙNG**  
**TRONG THÍ NGHIỆM VẬT LÍ**

**I. Các loại dụng cụ thuỷ tinh**

Trong các thí nghiệm Vật lí và hoá học có những thí nghiệm dùng đến dụng cụ thuỷ tinh, sứ, thạch anh,... Chất thuỷ tinh dùng trong thí nghiệm vật lí phải có tính bền vững về mặt hoá học, cơ học và chịu nhiệt. Những dụng cụ thí nghiệm chất lượng cao thường làm bằng các loại thuỷ tinh đặc biệt; trong vật lí thường phân loại thành các loại thành các loại thuỷ tinh chịu nhiệt (dùng để đốt nóng) và thuỷ tinh không chịu nhiệt. Trong các phòng thí nghiệm của chúng ta hiện nay có nhiều loại dụng cụ thuỷ tinh do các hãng của Đức sản xuất. Những dụng cụ trên vò có in một hình chữ nhật mài ráp (hoặc sơn tráng ráp) là những loại dụng cụ chế tạo bằng thuỷ tinh chịu nhiệt. Nhiệt độ chảy mềm của thuỷ tinh tuỳ loại từ  $565^{\circ}\text{C}$  đến  $625^{\circ}\text{C}$  và hệ số giãn nở vì nhiệt độ từ  $33 \cdot 10^{-7}/1^{\circ}\text{C}$  đến  $88 \cdot 10^{-7}/1^{\circ}\text{C}$ . Những dụng cụ bằng thuỷ tinh thạch anh đặc biệt chịu nhiệt tốt, tuy nhiên về hình dạng bên ngoài rất khó phân biệt.



**Hình b.1. Một số dụng cụ thuỷ tinh dùng trong thí nghiệm**

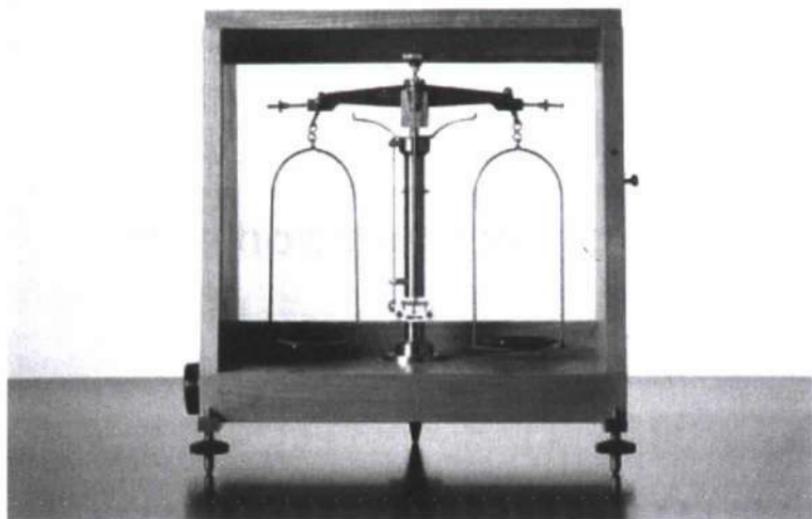
Các loại dụng cụ thuỷ tinh thường được sử dụng trong thí nghiệm  
Vật lí gồm:

1. Ống nghiệm
2. Cốc thuỷ tinh
3. Bình thuỷ tinh
4. Ống đong
5. các burét và pipet
6. Bình làm khô
7. Lọ pitcomet

## II. Các loại dụng cụ thường dùng trong thí nghiệm cơ học

### 2.1. Cân kỹ thuật

Cân kỹ thuật có độ chính xác từ 10 mg đến 25 mg. Cân kỹ thuật thường là loại cân quang và có tải trọng tối đa là 200 gam. Cân kỹ thuật có trục hãm cân nhằm làm cho cân không dao động gây ma sát vô ích khi không cần thiết. Khi sử dụng cân, cần kiểm tra bằng quả rơi lấp trên cân xem cân đã ở vị trí nằm ngang chưa.



Trên đĩa cân hoặc quang cân có đánh số hoặc đánh dấu, khi lắp cân cần lắp đúng bên, tránh nhầm lẫn. Để điều chỉnh thăng bằng đòn cân ta chỉnh các ốc vít ở đầu đòn cân. Các quả cân được đặt trong hộp và có kẹp để gấp các quả cân, tuyệt đối không dùng tay bốc quả cân. Chỉ đặt quả cân trên đĩa cân hoặc đúng vị trí của nó trong hộp, không đặt quả cân lung tung, tránh làm rơi, gây biến dạng, sứt...

\* **Những điểm cần chú ý khi sử dụng cân kỹ thuật:**

- Trước khi đặt quả cân hay vật lên đĩa, hoặc lấy ra đều phải hâm cân.
- Quả cân đặt trên đĩa phải, vật cần cân đặt trên đĩa trái (trong phương pháp cân thường). Bi phải đặt trên đĩa cân trái, quả cân và vật cần cân đặt trên đĩa cân phải (trong phương pháp cân Mendeleev).
- Khi xếp quả cân lên đĩa phải lấy từ quả to đến quả nhỏ.

## 2.2. Cân phân tích

Có nhiều loại cân phân tích nhưng có thể chia làm hai loại chính: Cân phân tích thường và cân phân tích điện. Cân phân tích có độ chính xác từ  $10^{-3}$  g -  $10^{-4}$  g. Loại cân phân tích thường có bộ phận chỉ thị là kim cân, giống cân kỹ thuật. Loại cân phân tích điện có bộ phận chỉ thị là hệ thống quang học hoặc hiện số. Cân phân tích điện có cấp chính xác cao có thể chỉ có một quả cân, vì nó được cấu tạo theo nguyên lý của phương pháp cân Mendeleev như loại cân S2000 của Anh, loại cân hiện số không cần quả cân. Loại cân phân tích có nguyên tắc sử dụng giống nhau, nên ở đây chỉ trình bày cách sử dụng cân phân tích thường.



**Hình b.3. Cân phân tích điện**

Các cân phân tích đều được đặt trong tủ kính có cánh hai bên và trước mặt. Khi cân mới mở cửa hai bên để lấy vật hoặc thay đổi quả cân, còn phải thường xuyên đóng để tránh ảnh hưởng của gió, độ ẩm,...

Quả cân phân tích rất chính xác, quả cân nhỏ nhất có khối lượng 5 mg. Ngoài ra để thay đổi khối lượng nhỏ, có thể sử dụng con mă (tối đa mỗi con mă là 10 mg), ta có thể thay đổi từng mg một bằng cách đặt con mă tại các vị trí khác nhau trên đòn cân. Các quả cân nhỏ thường được làm bằng nhôm hoặc được mạ vàng để tránh ôxy hoá. Cân phân tích phải được bảo quản trong các phòng khô ráo, không có hơi hoá chất và được đặt cố định trên giá chắc để hạn chế rung động. Cân phải để cố định, không di chuyển từ nơi này sang nơi khác. Mỗi cân phải có một chổi lông mềm để chải bụi trong cân.

#### \* *Những điểm cần chú ý khi sử dụng cân phân tích:*

Ngoài các chú ý như cân kỹ thuật, đối với cân phân tích khi được thực hiện phép cân còn cần làm theo các bước sau:

- Kiểm tra tình trạng của cân và các quả cân.

- Tìm điểm 0 thực của cân tức là vị trí của kim khi cân không tải ở vị trí cân bằng (thường ký hiệu là  $a_0$ ).

- Xác định giá trị của một độ chia bằng cách đặt 1 quả cân nhỏ có khối lượng  $m$  lên một đĩa cân và xác định giá trị cân bằng mới của kim (ký hiệu vị trí này là  $a$ ).

Khi đó ta có giá trị của một vạch chia là:  $\frac{m}{|a - a_0|}$  (mg/độ chia).

- Nghịch đảo của giá trị một độ chia gọi là độ nhạy của cân. Độ nhạy của cân lúc có tải và không tải thường khác nhau.

- Chỉ mở chốt hãm để cân dao động khi kim dao động quanh điểm giữa của thang chia độ. Nếu kim lệch về một bên thì phải hãm kim ngay.

### **III. Các dụng cụ thường dùng trong thí nghiệm nhiệt**

#### **3.1. Đèn khí đốt**

Để đốt nóng hoặc cung cấp nhiệt trong thí nghiệm ta thường dùng các loại đèn đốt bằng khí đốt. Bộ phận chủ yếu của đèn khí đốt là ngọn đèn. Cấu tạo của đèn nói chung gồm ống dẫn khí có khoá điều chỉnh, vòng điều chỉnh không khí vào đèn, ống thu lửa và đế đèn.

Muốn đốt đèn ta phải làm như sau: Vặn vòng điều chỉnh khí để không cho không khí vào đèn rồi mờ khoá điều chỉnh để khí đốt vào đèn với một lượng nhỏ rồi châm cho lửa cháy. Ngọn lửa lúc này đỏ và có khói. Muốn ngọn lửa không màu ta điều chỉnh vòng điều chỉnh khí để không khí vào thêm trong đèn. Chiều cao ngọn lửa được điều chỉnh bằng khoá điều chỉnh.



**Hình b.4. Đèn khí đốt dùng gas**

Khi mở vòng điều chỉnh khí nhiều quá thì ngọn lửa có thể bốc cháy bên trong ngọn đèn, sẽ nghe thấy tiếng phì phì đặc trưng, ngọn lửa kéo dài thành luỗi nhọn là đèn sẽ nóng nhiều. Lúc này cần vặn lại vòng điều chỉnh khí không cho không khí vào để đèn tắt rồi mới đốt lại đèn theo cách đã nói ở trên. Không nên để lửa cháy trong đèn, vì ngọn đèn sẽ quá nóng, thường ngọn lửa sẽ tắt và hơi đốt toả ra trong phòng, dễ gây hoả hoạn và gây cháy nổ. Để ngăn không cho ngọn lửa cháy vào trong đèn có thể chụp một lưới sắt trên đầu ngọn đèn.

Chú ý, khi dùng đèn khí nhất thiết phải theo đúng quy tắc đã chỉ dẫn.

### 3.2. Tủ sấy

Tủ sấy là loại dụng cụ đốt nóng có nhiệt độ tối đa là 200°C. Công suất tủ sấy thường từ 800 – 2500W. Thời gian để đạt nhiệt độ tối đa tùy theo công suất và dung tích tủ, trung bình từ 20 phút đến 60 phút kể từ lúc đóng công tắc điện. Tủ sấy có thể là hình hộp chữ nhật hoặc trụ tròn đặt nằm ngang.

Thành tủ gồm hai lớp băng kim loại, ở giữa có các chất cách nhiệt chèn chặt. Khoang tủ được chia làm 2 – 3 ngăn nhờ các giá đỡ kim loại. Trên nóc tủ có lỗ thông hơi và nhiệt kế, các lỗ này cũng có thể bố trí ở phía sau và phía trước tủ, phía đáy tủ, hai bên thành và phía trong có các dây may so đốt nóng. Để không khí trong tủ được điều hoà, có loại tủ sấy còn có quạt gió, như loại của Trung Quốc.



**Hình b.5. Tủ sấy**

Muốn sấy một vật, ta để vật đó trên giá trong tủ, đóng cửa và đóng công tắc điện. Điều chỉnh role nhiệt của tủ tới nhiệt độ cần thiết, thông thường sai số của các role này là 1°C hoặc 2°C, trong khoảng nhiệt độ

80°C - 150°C. Khoảng 20 phút đến 30 phút thì vật có thể đạt tới nhiệt độ của không khí trong buồng sấy.

\* **Những điểm cần lưu ý khi sử dụng tủ sấy:**

- Phải nối dây tiếp đất cho vỏ tủ để đề phòng rò điện.
- Không để các vật dễ cháy, nổ trong tủ sấy.
- Không vặn bộ phận role để giảm nhiệt độ vì như vậy dễ làm hỏng role. Muốn giảm nhiệt độ phải rút điện khỏi tủ hoặc tắt công tắc trên tủ.
- Khi lấy vật cần sấy ra khỏi tủ phải nhanh chóng đóng tủ lại để nhiệt độ trong tủ không giảm nhiều.

### 3.3. Lò nung

Lò nung có cấu tạo gần giống tủ sấy, nhưng nhiệt độ trong lò có thể đạt tới 1000°C – 1200°C. Phía trong lò là gạch chịu lửa; bọc phía ngoài là vỏ kim loại. Miệng lò có nắp bằng gạch chịu lửa có đục lỗ nhỏ để quan sát trong lò. Lò nung dùng để đốt, nung nóng chảy vật liệu cần nghiên cứu... Quy trình sử dụng lò nung cũng giống như tủ sấy. Tuy nhiên, cần chú ý là nhiệt độ lò rất cao nên những vật nung trong lò cần được để hạ thấp nhiệt độ dần bằng cách mở cửa lò một lúc rồi mới đem ra, tránh sự thay đổi nhiệt độ đột ngột dễ gây nứt, vỡ,...



**Hình b.6. Lò nung**

### 3.4. Tủ lạnh

Tủ lạnh dùng để lưu giữ hoặc bảo quản vật phẩm, chất... cần giữ ở nhiệt độ thấp và cung cấp nước đá cho thí nghiệm. Nguyên tắc hoạt động làm lạnh của tủ lạnh dựa trên nguyên tắc cho bay hơi những chất lỏng dễ bay hơi như amoniac, freon 12 hoặc các hỗn hợp đặc biệt khác để hạ nhiệt độ.

*Mô hình nguyên lý của một tủ lạnh nén khô gồm các bộ phận cơ bản sau:*

- *Động cơ* dùng để hút khí, tác nhân làm lạnh từ dàn bay hơi 3, nén lại rồi bơm vào dàn ngưng hơi dưới áp suất cao. Động cơ – máy nén được lắp đồng trục và đặt trong vỏ hình trụ (thường gọi là blôc máy).

- *Dàn ngưng hơi* còn gọi là dàn nóng có dạng hình ruột gà phẳng, đặt sau tủ hoặc trong vách tủ lạnh, làm bằng ống thép hoặc đồng có đường kính trong 3 – 4 mm. Nó có tác dụng truyền nhiệt từ tác nhân sang môi trường xung quanh.

- *Dàn bay hơi* còn gọi là dàn lạnh là thiết bị trao đổi nhiệt, qua đó tác nhân làm lạnh theo nhiệt của buồng lạnh.

- *Ống mao dẫn* là một ống đồng có đường kính trong khoảng 0,8 mm dài 3m nối liền hai miền có áp suất cao và áp suất thấp của tổ hợp. Khi tổ hợp làm việc, ống này tạo ra một độ giảm áp suất cần thiết giữa các phần tác nhân làm lạnh đang đi vào dàn bay hơi và phần còn nằm lại ở dàn ngưng. Ống này có tác dụng như một van tiết lưu trong chu trình hoạt động của tủ lạnh. Ngoài ra để cho ống mao dẫn không bị tắc trong tủ còn có ống lọc 5 được đặt trước cửa của mao dẫn.

- *Chất làm lạnh* (tác nhân làm lạnh) được chứa trong ống ngưng hơi; khi máy nén – động cơ làm việc, áp suất trong dàn bay hơi sẽ giảm. Chất làm lạnh sẽ được hút vào dàn bay hơi và bị bay hơi; dẫn đến giảm nhiệt độ trong buồng lạnh. Hơi bay ra được hút vào xi lanh của máy nén và nén tới vài atmôtphe. Hơi bị nén nóng tới  $200^{\circ}\text{C}$  –  $300^{\circ}\text{C}$  rồi sang bộ phận ngưng tụ, ở đây hơi được làm lạnh đึง áp đến nhiệt độ bên ngoài và hoá lỏng. Chất lỏng được hút vào ống ngưng hơi và tiếp tục một chu trình mới.

Trong buồng lạnh có một rôle nhiệt đảm bảo cho máy nén hoạt động khi nhiệt độ buồng lạnh cao hơn nhiệt độ đã điều chỉnh.

\* **Những điểm cần lưu ý khi sử dụng tủ lạnh:**

- Tủ lạnh cần để gọn gàng một nơi cố định, tránh va chạm mạnh vì có thể làm hở ống dẫn chất làm lạnh.

- Không ngắt điện rồi đóng mạch ngay để tránh “sắc ga”. Khi đã ngắt điện thì ít nhất 5 phút sau mới lại được đóng điện lại.

- Không để vật nặng lên các ngăn tủ.

- Cần giữ tủ luôn sạch sẽ.

- Khi trong ngăn đá có phủ một lớp băng dày cần ngắt điện, xả đá rồi mới cắm điện tiếp. Không dùng các vật cứng, sắc để cạy đá.

### 3.5. Máy giữ nhiệt ổn định dùng chất lỏng

Máy giữ nhiệt ổn định dùng chất lỏng có tính chất giống tủ sấy nhưng ở đây dùng chất lỏng để điều hòa nhiệt độ. Nguyên tắc hoạt động của máy như sau:

Môtơ điện M nối liền với một bơm để đẩy nước lên vòi 1 rồi qua ống cao su vào vòi 2 trở về thùng chứa. Cuối môtơ M có cánh quạt 4 để khuấy nước. Ống ruột gà nối với nguồn lạnh nếu chế độ làm việc cần thấp hơn nhiệt độ phòng.

Bộ phận điều chỉnh nhiệt độ là một rơ le nhiệt kế thuỷ ngân 3 nối tiếp với bộ phận đun nóng 5. Khoảng nhiệt độ máy làm việc thường từ  $50^{\circ}\text{C}$  –  $200^{\circ}\text{C}$  tuỳ theo chất lỏng sử dụng trong máy. Công suất của máy từ 800W – 1200W.



*Hình b.7. Máy giữ nhiệt ổn định dùng chất lỏng*

**PHỤ LỤC 2:**  
**KHÓI LƯỢNG RIÊNG CỦA NƯỚC THEO NHIỆT ĐỘ**

$t (^{\circ}C)$	d ( $g/cm^3$ )	$t (^{\circ}C)$	d ( $g/cm^3$ )	$t (^{\circ}C)$	d ( $g/cm^3$ )
0	0,99987	25	0,99707	50	0,98807
3,98	1,00000	28	0,99623	55	0,98573
5	0,99999	30	0,99567	60	0,98324
10	0,99973	35	0,99406	70	0,97781
15	0,99913	38	0,99299	80	0,97183
18	0,99862	40	0,99224	90	0,96534
20	0,99823	45	0,99025	100	0,9583

---

**PHỤ LỤC 3:**  
**BẢNG NHIỆT ĐỘ VÀ ÁP SUẤT HƠI TỚI HẠN**  
**CỦA MỘT SỐ CHẤT**

Chất	Nhiệt độ tới hạn	Áp suất tới hạn (tuyệt đối)
Argon	-122,4 °C (150,8 K)	48,1 atm (4.870 kPa)
Ammoniac <sup>[4]</sup>	132,4 °C (405,5 K)	111,3 atm (11.280 kPa)
Brom	310,8 °C (584,0 K)	102 atm (10.300 kPa)
Caesium	1.664,85 °C (1.938,00 K)	94 atm (9.500 kPa)
Clo	143,8 °C (416,9 K)	76,0 atm (7.700 kPa)
Etanol	241 °C (514 K)	62,18 atm (6.300 kPa)
Flo	-128,85 °C (144,30 K)	51,5 atm (5.220 kPa)
Heli	-267,96 °C (5,19 K)	2,24 atm (227 kPa)
Hydro	-239,95 °C (33,20 K)	12,8 atm (1.300 kPa)
Krypton	-63,8 °C (209,3 K)	54,3 atm (5.500 kPa)
CH <sub>4</sub> (metan)	-82,3 °C (190,8 K)	45,79 atm (4.640 kPa)
Neon	-228,75 °C (44,40 K)	27,2 atm (2.760 kPa)
Nitơ	-146,9 °C (126,2 K)	33,5 atm (3.390 kPa)
Ôxy	-118,6 °C (154,6 K)	49,8 atm (5.050 kPa)
CO <sub>2</sub>	31,04 °C (304,19 K)	72,8 atm (7.380 kPa)
N <sub>2</sub> O	36,4 °C (309,5 K)	71,5 atm (7.240 kPa)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	654 °C (927 K)	45,4 atm (4.600 kPa)
Xenon	16,6 °C (289,8 K)	57,6 atm (5.840 kPa)
Liti	2.950 °C (3.220 K)	652 atm (66.100 kPa)
Thủy ngân	1.476,9 °C (1.750,1 K)	1.720 atm (174.000 kPa)
Lưu huỳnh	1.040,85 °C (1.314,00 K)	207 atm (21.000 kPa)
Sắt	8.227 °C (8.500 K)	
Vàng	6.977 °C (7.250 K)	5.000 atm (510.000 kPa)
Nhôm	7.577 °C (7.850 K)	
Nước	373,946 °C (647,096 K)	217,7 atm (22,06 MPa)

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Xuân Chi, Trần Chí Minh (2002), *Thí nghiệm thực tập vật lý đại cương*, tài liệu Đại học Bách Khoa Hà Nội.
2. Đào Văn Phúc, Phạm Việt Trinh (1990), *Cơ học*, Nxb Giáo dục.
3. Nguyễn Huy Sinh (2009), *Nhiệt học*, Nxb Giáo dục.
4. Phạm Quốc Triệu (2008), *Phương pháp thực nghiệm Vật lý*, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học quốc gia Hà Nội.
5. Nguyễn Duy Thắng (2006), *Thực hành Vật lí đại cương, dự án đào tạo giáo viên THCS*, Nxb Đại học Sư phạm.

**NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**

Địa chỉ: Phường Tân Thịnh - Thành phố Thái Nguyên - Tỉnh Thái Nguyên

Điện thoại: 0280 3840023; Fax: 0280 3840017

Website: [nxb.tnu.edu.vn](http://nxb.tnu.edu.vn) \* E-mail: [nxb.dhtn@gmail.com](mailto:nxb.dhtn@gmail.com)

---

**GIÁO TRÌNH**  
**THÍ NGHIỆM VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG**  
**Tập 1**

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*  
**PGS.TS. NGUYỄN ĐỨC HẠNH**  
Giám đốc - Tổng biên tập

*Biên tập:*

DƯƠNG MINH NHẬT

*Thiết kế bìa:*

LÊ THÀNH NGUYỄN

*Trình bày:*

LÊ THÀNH NGUYỄN

*Sửa bản in:*

BÙI BÍCH THUÝ

---

**ISBN: 978-604-915-398-3**

In 300 cuốn, khổ 16 x 24 cm, tại Xưởng in – Nhà xuất bản Đại học Thái Nguyên (Địa chỉ: phường Tân Thịnh, thành phố Thái Nguyên). Giấy phép xuất bản số 1982-2016/CXBIPH/03-77/ĐHTN. Quyết định xuất bản số: 66/QĐ-NXBĐHTN. In xong và nộp lưu chiểu quý I năm 2017.

