

Bài 14: XÁC ĐỊNH HỆ SỐ LỰC CĂNG MẶT NGOÀI CỦA CHẤT LỎNG

1. Mục đích yêu cầu

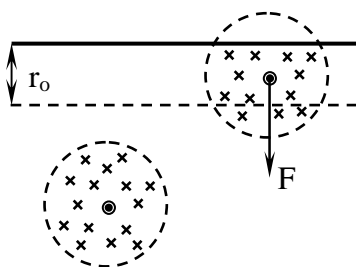
1.1. Mục đích: Mục đích của bài thí nghiệm này là trang bị cho sinh viên những kiến thức và kỹ năng thực nghiệm cần thiết để xác định hệ số lực căng mặt ngoài của chất lỏng.

1.2. Yêu cầu

1. Nắm được cơ sở lý thuyết của thí nghiệm.
2. Nắm được cấu tạo và hoạt động của thiết bị thí nghiệm dùng để xác định hệ số lực căng mặt ngoài của chất lỏng. Biết sử dụng cân kỹ thuật.
3. Biết cách tiến hành thí nghiệm nhằm xác định hệ số lực căng mặt ngoài của chất lỏng.
4. Viết được báo cáo thí nghiệm, tính được các sai số theo yêu cầu.

2. Cơ sở lý thuyết

Theo lý thuyết Frenkel về chất lỏng, các phân tử chất lỏng sắp xếp gần nhau tới mức mà lực hút giữa chúng có cường độ khá lớn. Lực hút này lại giảm nhanh theo khoảng cách, cho nên với một khoảng cách r_0 đủ lớn nào đó, có thể bỏ qua lực hút giữa các phân tử. Khoảng cách r_0 này gọi là bán kính tương tác phân tử, còn mặt cầu bán kính r_0 bao quanh một phân tử gọi là mặt cầu tương tác phân tử. Bán kính tương tác phân tử cỡ bằng ba lần đường kính hiệu dụng của một phân tử chất lỏng.



Hình 1

Mỗi một phân tử chất lỏng chịu lực hút của các phân tử lân cận nằm trong phạm vi mặt cầu tương tác phân tử có tâm trùng với vị trí của phân tử chất lỏng mà ta quan tâm. Ta dễ thấy, đối với phân tử nằm cách mặt thoáng của chất lỏng một khoảng lớn hơn r_0 thì lực tác dụng tổng hợp lấy trung bình là bằng không. Nhưng nếu phân tử nằm cách mặt thoáng một khoảng nhỏ hơn r_0 thì hiện tượng xảy ra sẽ khác. Nguyên nhân là vì mật độ phân tử có trong pha hơi hoặc chất khí trên bề mặt chất lỏng nhỏ hơn nhiều so với mật độ phân tử trong chất lỏng. Do đó số phân tử có bên trong phần hình cầu nhô lên phía trên mặt thoáng sẽ ít hơn nhiều so với số phân tử có trong phần còn lại của hình cầu. Kết quả là mỗi phân tử có mặt trong một lớp chất lỏng với chiều dày r_0 ở sát

mặt thoáng sẽ chịu tác dụng của một lực tổng hợp hướng vào bên trong chất lỏng. Càng gần mặt thoáng, cường độ của lực này càng lớn.

Muốn đưa một phân tử chất lỏng từ trong lòng chất lỏng ra lớp bề mặt, cần phải tốn một công để chống lại tác dụng của lực tổng hợp đó. Khi một phân tử chất lỏng di chuyển từ bên trong ra gần mặt thoáng, động năng của nó giảm đi và biến thành thế năng. Như vậy, mỗi phân tử chất lỏng ở bên trong lớp lân cận mặt thoáng với bề dày r_0 có một thế năng bổ sung. Xét về tổng thể, toàn bộ lớp chất lỏng sát bề mặt có một năng lượng bổ sung. Năng lượng bổ sung này tạo thành một phần của nội năng của chất lỏng, và gọi là năng lượng bề mặt của chất lỏng.

Ở trạng thái cân bằng, thế năng đạt cực tiểu, do đó một giọt chất lỏng nếu không chịu tác dụng của một tác nhân bên ngoài nào sẽ có hình dạng sao cho mặt thoáng của nó có diện tích nhỏ nhất, tức là có dạng hình cầu.

Do năng lượng bề mặt, các chất lỏng luôn có xu hướng thu nhỏ diện tích bề mặt. Tức là chất lỏng thể hiện giống như bị giam trong một màng đàn hồi bị căng và luôn có xu hướng co lại (mặc dù trên thực tế không hề tồn tại một màng thực như thế, vì các phân tử ở gần bề mặt cũng giống hệt như các phân tử ở sâu bên trong chất lỏng).

Muốn làm tăng diện tích mặt ngoài của chất lỏng, cần phải thực hiện công để kéo các phân tử ở sâu trong chất lỏng ra lớp sát mặt ngoài của nó. Công ΔA làm tăng thêm diện tích ΔS của mặt ngoài chất lỏng có trị số tỷ lệ thuận với ΔS :

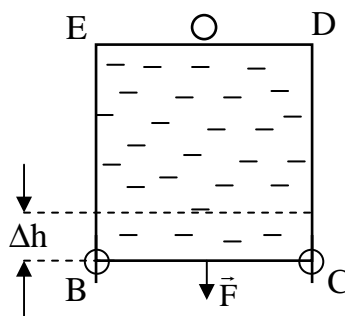
$$\Delta A = \sigma \Delta S = na \Delta S \quad (1)$$

trong đó a là công trung bình cần thiết để kéo một phân tử từ phía trong ra lớp sát mặt ngoài chất lỏng có chiều dày bằng r_0 , n là số phân tử có trong lớp bề mặt với chiều dày r_0 và ứng với một đơn vị

diện tích mặt ngoài. Tích $\sigma = na$ gọi là *hệ số lực căng mặt ngoài* của chất lỏng.

Để xác định lực căng mặt ngoài của chất lỏng, ta dùng một khung dây hình chữ nhật BCED trong đó cạnh BC có thể trượt tự do dọc theo hai cạnh BE và CD (hình 2). Nhúng khung dây vào trong khung dịch xà phòng theo phương thẳng đứng rồi nhấc nó ra khỏi dung dịch, trên khung dây xuất hiện một màng xà phòng: đó là một lớp chất lỏng có hai mặt thoáng (mặt tự do) ở hai phía của khung dây. Do lực tương tác phân tử, mặt ngoài của lớp chất lỏng bị co lại và kéo cạnh BC dịch chuyển. Lực làm cho mặt ngoài chất lỏng co lại gọi là lực căng mặt ngoài. Lực căng mặt ngoài hướng vuông góc với đường giới hạn mặt thoáng của chất lỏng và có phương tiếp tuyến với mặt thoáng chất lỏng. Khi đó công của ngoại lực F thực hiện để chống lại lực căng mặt ngoài khi kéo cạnh khung BC dịch chuyển một đoạn Δh bằng:

$$\Delta A = F \Delta h \quad (2)$$



Hình 2

Mặt khác, theo công thức (1):

$$\Delta A = \sigma \Delta S = \sigma 2L \Delta h \quad (3)$$

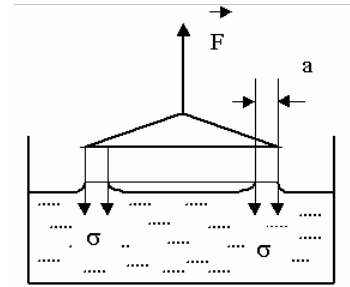
với L là độ dài của cạnh khung BC và $\Delta S = 2L \Delta h$ là độ biến thiên diện tích mặt thoáng về cả hai phía của lớp chất lỏng trên khung dây $BCDE$. So sánh các công thức (2) và (3), ta suy ra:

$$\sigma = \frac{F}{2L} \quad (4)$$

ở đây $F/2$ là lực tác dụng lên một phía của cạnh khung BC .

Như vậy, hệ số lực căng mặt ngoài σ có trị số bằng lực tác dụng lên một đơn vị dài của đường giới hạn mặt ngoài của chất lỏng. Đơn vị đo σ là Niuton trên mét (N/m). Trị số của σ phụ thuộc bản chất và trạng thái của chất lỏng, đồng thời phụ thuộc vào bản chất và trạng thái của môi trường của chất khí nằm tiếp xúc ở phía trên mặt chất lỏng. Trong khoảng nhiệt độ không lớn, hệ số σ giảm tuyến tính theo sự tăng của nhiệt độ t .

Theo công thức (4), ta có thể xác định hệ số lực căng mặt ngoài σ của chất lỏng bằng cách đo lực kéo F tác dụng vuông góc với mặt thoáng của chất lỏng để kéo các vật rắn bứt ra khỏi mặt thoáng của chất lỏng. Vì các vật rắn bị chất lỏng làm dính ướt, nên khi kéo để bứt chúng ra khỏi mặt thoáng của chất lỏng đồng thời cũng có một lượng chất



Hình 3

lỏng bị kéo lên theo, nghĩa là diện tích mặt thoáng của chất lỏng tăng lên. Nhưng mặt thoáng của chất lỏng luôn có khuynh hướng co lại do tác dụng của lực căng mặt ngoài của chất lỏng. Nếu vật rắn tiếp xúc với mặt thoáng của 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 thoáng của chất lỏng.

Xét một vòng kim loại có đường kính ngoài D và đường kính trong d nằm tiếp xúc với mặt nước. Khi tác dụng lên vòng kim loại một lực kéo F để nâng nó lên cao (hình 3) sẽ tạo ra một màng nước giữa vòng kim loại và mặt nước. Mặt phía ngoài của màng nước này kéo vòng kim loại xuống dưới bằng một lực căng $F_1 = \sigma \pi D$, mặt phía trong của màng nước kéo vòng kim loại xuống dưới bằng lực căng $F_2 = \sigma \pi d$.

Khi vòng kim loại vừa bị bứt ra khỏi mặt nước, thì lực kéo F nâng vòng kim loại lên có trị số đúng bằng lực căng tổng hợp kéo vòng kim loại xuống dưới, nghĩa là:

$$F = F_1 + F_2 = \sigma \pi D + \sigma \pi d$$

hay $F = \sigma \pi (D + d)$

Từ đó suy ra hệ số lực căng mặt ngoài σ của nước bằng :

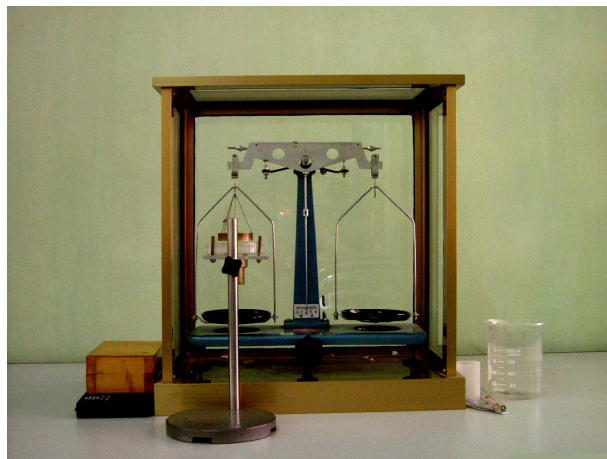
$$\sigma = \frac{F}{\pi(D + d)} \quad (5)$$

Trong thí nghiệm này, ta sẽ xác định hệ số lực căng mặt ngoài σ của nước bằng cách dùng thước kẹp để đo đường kính ngoài D và đường kính trong d của vòng kim loại và dùng cân kỹ thuật để đo lực kéo F bứt vòng kim loại ra khỏi mặt nước.

3. Dụng cụ

Bộ thí nghiệm xác định hệ số lực căng mặt ngoài của chất lỏng (hình 4) gồm:

1. Cân kỹ thuật 0-200g, độ chính xác $2 \cdot 10^{-2}$ g;
2. Hộp quả cân 0-200g;
3. Vòng kim loại có dây treo;
4. Đĩa thủy tinh;
5. Giá đỡ đĩa thủy tinh;
6. Cốc nhựa nhỏ;
7. Lọ thủy tinh đựng nước;
8. Ống nhỏ nước.



Hình 4: Bộ thí nghiệm xác định hệ số lực căng mặt ngoài của chất lỏng

4. Trình tự thí nghiệm

4.1. Đo đường kính ngoài D và đường kính trong d bằng thước kẹp (xem bài 1)

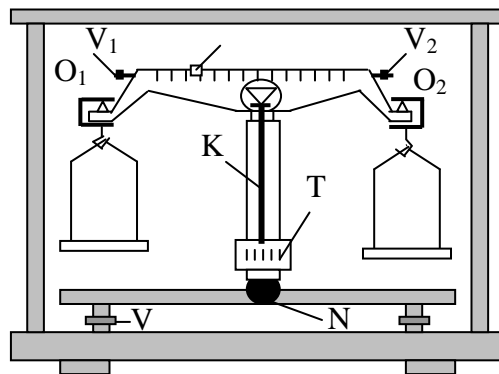
Với mỗi đường kính, dùng thước kẹp tiến hành đo 5 lần ở các vị trí khác nhau của vòng kim loại. Đọc và ghi giá trị tương ứng của D và d trong mỗi lần đo vào bảng số liệu.

4.2. Đo lực kéo F bứt vòng kim loại khỏi mặt nước bằng cân kỹ thuật

4.2.1. Cân kỹ thuật (hình 5)

Là dụng cụ dùng để đo khối lượng của các vật trong giới hạn 0 đến 200g, chính xác tới 0,02g. Cấu tạo của nó gồm phần chính là một đòn cân làm bằng hợp kim nhẹ, trên đòn cân có các độ chia từ 0 đến 50, ở chính giữa thân của đòn cân có gắn một con dao O hình lăng trụ tam giác bằng thép cứng, cạnh của dao O quay xuống phía dưới và tựa trên một gối đỡ phẳng ngang (bằng đá mã não) đặt ở đỉnh của trụ cân. Ở hai đầu đòn cân có hai con dao O_1 và O_2 giống như con dao O , các cạnh của hai con dao này quay lên phía trên, đặt song song và cách đều cạnh của con dao O , nên các cánh tay của đòn cân $OO_1 = L_1$ và $OO_2 = L_2$ có độ dài bằng nhau. Hai chiếc móc mang hai đĩa

cân giống nhau được đặt tựa trên cạnh của hai dao O_1 và O_2 . Mặt dưới của đế cân có hai vít xoay V dùng để điều chỉnh cho trụ cân thẳng đứng. Đòn cân được nâng lên hoặc hạ xuống nhờ một núm xoay N ở phía chân của trụ cân. Khi hạ đòn cân xuống, cạnh của con dao O không tựa vào mặt gối đỡ trên trụ cân: cân ở trạng thái “ngỉ”. Khi nâng đòn cân lên, cạnh của dao O tựa trên mặt gối đỡ, đòn cân có thể dao động nhẹ quanh cạnh của con dao O : cân ở trạng thái “hoạt động”. Nhờ một kim chỉ thị K gắn thẳng đứng ở chính giữa đòn cân (phía dưới con dao O) và một thước nhỏ T gắn ở chân trụ cân, ta có thể xác định được vị trí cân bằng của đòn cân khi nó ở trạng thái “hoạt động”. Trong trường hợp này, đầu dưới của kim K đứng yên hoặc dao động đều về hai phía số 0 của thước T .



Hình 5

Có thể điều chỉnh vị trí cân bằng của đòn cân nhờ hai vít nhỏ V_1 và V_2 ở hai đầu của đòn cân. Toàn bộ cân được đặt trong một tủ kính bảo vệ tránh ảnh hưởng của gió khi cân “hoạt động”. Các quả cân từ 10mg đến 100g và chiếc kẹp dùng để lấy các quả cân này đựng trong một hộp gỗ nhỏ. Ngoài ra, còn có một quả cân nhỏ C - gọi là *con mã*, có thể dịch chuyển trên đòn cân dùng để thêm (hoặc bớt) những khối lượng nhỏ từ 20mg đến 1000mg trên đĩa cân bên phải.

Muốn cân một vật có khối lượng m ứng với trọng lượng $P = mg$, ta đặt vật lên đĩa cân bên trái. Sau đó, chọn các quả cân theo thứ tự từ lớn đến nhỏ và đặt chúng lên đĩa cân bên phải (kể cả con mã) cho tới khi vận nhẹ núm xoay N để cân ở trạng thái “hoạt động” có tải và đòn cân vẫn ở vị trí cân bằng. Khi đó tổng khối lượng m_0 của các quả cân đặt trên đĩa cân bên phải (kể cả con mã) ứng với trọng lượng $P_0 = m_0g$. Áp dụng quy tắc mômen lực đối với cạnh dao O khi cân “hoạt động” có tải trọng và đòn cân ở vị trí cân bằng, ta có:

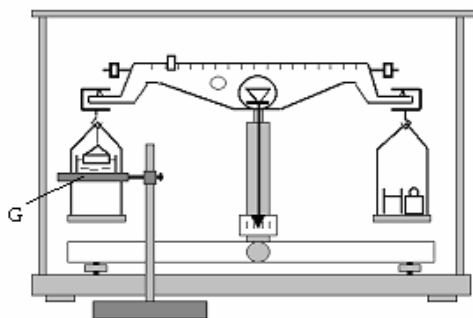
$$PL_1 = P_0L_2 \quad (6)$$

vì $L_1 = L_2$, nên $P = P_0$ và suy ra:

$$m = m_0 \quad (7)$$

Như vậy, khi cân “hoạt động” có tải và đòn cân ở vị trí cân bằng thì khối lượng của vật đặt trên đĩa cân bên trái đúng bằng tổng khối lượng của các quả cân đặt trên đĩa cân bên phải (gồm cả con mã trên đòn cân).

4.2.2. Đo lực kéo F bút vòng kim loại khỏi mặt nước



Hình 6

- Treo vòng kim loại vào chiếc móc của đĩa cân bên trái, rồi đặt chiếc cốc nhựa nhỏ và các quả cân theo thứ tự từ lớn đến nhỏ vào đĩa cân bên phải cho tới khi vặn núm N để nâng cân lên vị trí “làm việc” thì cân vẫn cân bằng. Sau đó vặn núm N để hạ cân xuống vị trí “nghỉ”.

- Đặt đĩa thủy tinh đựng nước lên giá đỡ G. Điều chỉnh giá đỡ G để vòng kim loại nằm tiếp xúc với mặt nước trong đĩa thủy tinh (hình 6). Vặn núm N để nâng cân lên vị trí “làm việc”. Vòng kim loại bị màng nước kéo xuống phía dưới làm cho đòn cân bị lệch đi. Dùng ống nhỏ từng giọt nước vào chiếc cốc nhựa trên đĩa cân bên phải cho tới khi vòng kim loại bút khỏi mặt nước.

- Cân khối lượng m của lượng nước trong chiếc cốc nhựa bằng cách: dịch giá đỡ G ra ngoài, rồi đặt thêm các quả cân theo thứ tự từ lớn đến nhỏ lên đĩa cân bên trái cho tới khi cân bằng (trước khi cân khối lượng nước trong cốc nhựa phải nhẹ nhàng thấm hết nước bám trên vòng kim loại). Khi đó trọng lượng $P = mg$ của lượng nước trong chiếc cốc nhựa đúng bằng lực kéo F để bút vòng kim loại lên khỏi mặt nước. Theo (5), hệ số lực căng mặt ngoài σ của nước tính theo công thức:

$$\sigma = \frac{P}{\pi(D+d)} = \frac{mg}{\pi(D+d)} \quad (8)$$

- Thực hiện phép đo này 5 lần. Đọc và ghi khối lượng m của nước trong cốc nhựa ứng với mỗi lần đo vào bảng số liệu.

5. Báo cáo thí nghiệm

XÁC ĐỊNH HỆ SỐ LỰC CĂNG MẶT NGOÀI CỦA CHẤT LỎNG

Xác nhận của giáo viên

Lớp

KípNhóm

Họ tên.....

Mục đích thí nghiệm

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

Kết quả thí nghiệm

Bảng số liệu

- Độ chính xác của thước kẹp: ... 10^{-3} (m) - Độ chính xác của cân kỹ thuật: ... 10^{-3} (kg)						
Lần đo	D_i (10^{-3} m)	ΔD_i (10^{-3} m)	d_i (10^{-3} m)	Δd_i (10^{-3} m)	m_i (10^{-3} kg)	Δm_i (10^{-3} kg)
i = 1						
...						
5						
Trung bình	$\overline{D} = \dots$ (10^{-3} m)	$\overline{\Delta D} = \dots$ (10^{-3} m)	$\overline{d} = \dots$ (10^{-3} m)	$\overline{\Delta d} = \dots$ (10^{-3} m)	$\overline{m} = \dots$ (10^{-3} kg)	$\overline{\Delta m} = \dots$ (10^{-3} kg)

5.1. Sai số của D, d và m

$$\Delta D = (\Delta D)_{dc} + \overline{\Delta D} = \dots (10^{-3}\text{m})$$

$$\Delta d = (\Delta d)_{dc} + \overline{\Delta d} = \dots (10^{-3} \text{ m})$$

$$\Delta m = (\Delta m)_{dc} + \overline{\Delta m} = \dots (10^{-3} \text{ kg})$$

5.2. Hệ số lực căng mặt ngoài σ của nước

Sai số tương đối của δ .

$$\delta = \frac{\Delta \sigma}{\overline{\sigma}} = \frac{\Delta m}{\overline{m}} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta \pi}{\pi} + \frac{\Delta D + \Delta d}{\overline{D} + \overline{d}} = \dots = \dots$$

Giá trị trung bình của σ .

$$\overline{\sigma} = \frac{\overline{mg}}{\pi(\overline{D} + \overline{d})} = \dots = \dots (\text{N/m})$$

Sai số tuyệt đối của σ :

$$\Delta\sigma = \delta\bar{\sigma} = \dots = \dots \text{ (N/m)}$$

Kết quả của phép đo hệ số lực căng mặt ngoài:

$$\sigma = \bar{\sigma} \pm \Delta\sigma = \dots \pm \dots \text{ (N/m)}$$

6. Câu hỏi kiểm tra

1. Giải thích nguyên nhân gây nên lực căng mặt ngoài của chất lỏng. Nói rõ phương và chiều của lực căng này.
2. Nêu rõ biểu thức tính, ý nghĩa và đơn vị đo của hệ số lực căng mặt ngoài của chất lỏng.
3. Trình bày phương pháp xác định hệ số lực căng mặt ngoài của nước.
4. Mô tả cấu tạo của cân kỹ thuật và cách xác định khối lượng của một vật.