

PHÉP ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG VẬT LÝ VÀ SAI SỐ

1. Phép đo các đại lượng vật lý

Mỗi tính chất vật lý của một vật, một hệ vật hoặc một quá trình đều được đặc trưng bởi một đại lượng vật lý, ví dụ như: độ dài, khối lượng, thời gian, nhiệt độ, vận tốc, gia tốc... Để xác định một cách định tính và định lượng các đại lượng vật lý, người ta phải tiến hành các phép đo. Đo một đại lượng vật lý tức là so sánh đại lượng đó với một đại lượng cùng loại mà ta quy ước chọn làm đơn vị đo.

Trong các tài liệu vật lý của Việt Nam, người ta thống nhất sử dụng các đơn vị đo được quy định trong bảng đơn vị đo lường hợp pháp của nước Cộng hòa Xã hội chủ nghĩa Việt Nam, đó là các đơn vị đo thuộc hệ SI (Hệ đơn vị quốc tế - *Système International d'Unités*). Các đơn vị chính thức của hệ đơn vị SI bao:

- Bảy đơn vị cơ bản, đó là các đơn vị đo: độ dài - mét (m); khối lượng - kilôgam (kg); thời gian - giây (s); nhiệt độ - Kenvin (K); cường độ dòng điện - ampe (A); cường độ ánh sáng - candela (cd); lượng vật chất - mol (mol).

- Hai đơn vị phụ dùng để đo góc phẳng và góc khối là radian (rad) và stêradian (sr)

- Khoảng 200 đơn vị dẫn xuất được tạo nên từ các đơn vị cơ bản như: đơn vị đo vận tốc - mét trên giây (m/s); đơn vị cường độ điện trường - vôn trên mét (V/m)...

Người ta phân chia các phép đo vật lý thành hai loại, đó là phép đo trực tiếp và phép đo gián tiếp.

- Phép đo trực tiếp là phép đo mà kết quả của nó được đọc trực tiếp ngay trên thang đo (hoặc trên bộ hiển thị số) của dụng cụ đo.

- Phép đo gián tiếp là phép đo giá trị của đại lượng cần đo được suy ra từ giá trị của đại lượng đo trực tiếp thông qua một biểu thức toán học.

Kết quả của phép đo một đại lượng vật lý được biểu diễn bởi một giá trị bằng số kèm theo đơn vị đo tương ứng. Ví dụ: độ dài của cạnh bàn $L = 1,002$ m; khối lượng của một vật $m = 151,6$ g.

2. Sai số của phép đo các đại lượng vật lý

Khi thực hiện phép đo một đại lượng vật lý không có nghĩa là xác định được giá trị thực (giá trị chân lý) của đại lượng đó, mà là tìm được khoảng trong đó chứa giá trị thực của đại lượng cần đo với xác suất nhất định. Khoảng này càng bé thì phép đo càng chính xác, hay là sai số càng bé. Do đó, khi đo một đại lượng vật lý, phải xác định sai số của phép đo.

Có nhiều nguyên nhân khác nhau dẫn đến sai số. Có thể kể ra một số nguyên nhân dẫn đến sai số như: độ nhạy và độ chính xác của các dụng cụ đo bị giới hạn, khả năng có hạn của giác quan người đo, điều kiện các lần đo không thật ổn định, lý thuyết của phương pháp đo chỉ gần đúng...

Người ta phân loại các sai số xuất hiện trong một phép đo theo hai cách như sau:

Phân loại theo quy luật xuất hiện của sai số: Theo cách phân loại này, sai số gồm hai loại là sai số ngẫu nhiên và sai số hệ thống.

- *Sai số ngẫu nhiên* làm cho kết quả đo khi thì lớn hơn, khi thì nhỏ hơn giá trị thực của đại lượng cần đo. Có nhiều nguyên nhân gây ra sai số ngẫu nhiên, ví dụ như do giác quan của người làm thí nghiệm, điều kiện thí nghiệm thay đổi ngẫu nhiên ngoài khả năng khống chế của người đo... Sai số ngẫu nhiên là sai số *không thể loại trừ hoàn toàn được*. Ta chỉ có thể giảm thiểu giá trị của nó bằng cách thực hiện phép đo cẩn thận, nhiều lần, trong cùng một điều kiện, sau đó xác định giá trị trung bình của nó dựa trên cơ sở của phép tính xác suất thống kê.

- *Sai số hệ thống* là sai số lặp lại một cách có tính quy luật. Sai số hệ thống làm cho kết quả đo luôn lệch về một phía (lớn hơn hoặc nhỏ hơn) so với giá trị thực cần đo. Nguyên nhân gây ra sai số hệ thống có thể là do dụng cụ đo không chuẩn, do lý thuyết đo chưa hoàn chỉnh. Sai số hệ thống là sai số có thể loại trừ được. Về nguyên tắc người làm thí nghiệm phải chú ý để loại trừ sai số hệ thống.

Phân loại theo nguyên nhân dẫn đến sai số: Theo cách phân loại này, sai số gồm hai loại:

- *Sai số liên quan tới dụng cụ (gọi tắt là sai số dụng cụ):* là sai số phát sinh do những nguyên nhân liên quan đến dụng cụ, thiết bị đo được sử dụng trong phép đo. Bản thân sai số dụng cụ cũng đã gồm hai thành phần là sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên. Sai số hệ thống của một dụng cụ đo chủ yếu liên quan đến việc thiết kế chế tạo và hiệu chỉnh của dụng cụ đo đó. Vì thế, trong khuôn khổ môn học, ta không đặt ra vấn đề loại trừ sai số hệ thống (nếu có) của dụng cụ đo.

- *Sai số không liên quan tới dụng cụ:* là tất cả những sai số xuất hiện trong quá trình đo nhưng không liên quan đến dụng cụ đo. Sai số này cũng bao gồm hai thành phần là sai số ngẫu nhiên và sai số hệ thống. Sai số hệ thống ở đây chủ yếu liên quan tới lý thuyết của phép đo và cách thức bố trí thí nghiệm. Với quy ước rằng, các phương pháp đo trong quá trình thực hành vật lý đại cương đã được lựa chọn tối ưu, sai số hệ thống này *đã được loại trừ*. Như vậy, sai số không liên quan tới dụng cụ đo chỉ có một thành phần là sai số ngẫu nhiên. Sai số này không thể loại trừ hoàn toàn được, mà chỉ có thể làm giảm thiểu bằng cách lặp lại phép đo nhiều lần trong cùng một điều kiện.

Tóm lại, khi đo các đại lượng vật lý ta cần phải quan tâm đến hai loại sai số là *sai số dụng cụ* và *sai số ngẫu nhiên* (không liên quan đến dụng cụ).

3. Cách xác định sai số của phép đo trực tiếp

Sai số tuyệt đối ΔA của phép đo trực tiếp bằng tổng của sai số ngẫu nhiên và sai số dụng cụ ΔA_{dc} . Việc xác định sai số ngẫu nhiên của một phép đo khá phức tạp và phải dựa vào việc ứng dụng lý thuyết xác suất thống kê. Để đơn giản, trong giáo trình này, ta quy ước lấy sai số ngẫu nhiên bằng sai số tuyệt đối trung bình $\overline{\Delta A}$ của phép đo. Như vậy ta có:

$$\Delta A = \overline{\Delta A} + \Delta A_{dc}$$

a. Cách xác định sai số tuyệt đối trung bình $\overline{\Delta A}$ của phép đo:

Giả sử khi đo trực tiếp n lần một đại lượng vật lý trong cùng một điều kiện, ta nhận được các giá trị tương ứng là A_1, A_2, \dots, A_n . Theo quy luật xác suất, các giá trị A_1, A_2, \dots, A_n được phân bố về cả hai phía xung quanh giá trị thực A_0 của đại lượng đó. Gọi \overline{A} là giá trị trung bình của n lần nói trên, tức là:

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

Khi đó ta dễ thấy rằng giá trị trung bình \overline{A} sẽ xấp xỉ bằng giá trị thực A_0 và số lần đo n càng lớn thì \overline{A} càng sát với A_0 .

Ta định nghĩa *sai số tuyệt đối của lần đo thứ i* là $\Delta A_i = |A_i - \overline{A}|$. Như vậy ta có:

$$\begin{aligned} \Delta A_1 &= |A_1 - \overline{A}| \\ \Delta A_2 &= |A_2 - \overline{A}| \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta A_n &= |A_n - \overline{A}| \end{aligned} \quad (2)$$

Sai số tuyệt đối trung bình của phép đo gồm n lần đo, gọi tắt là *sai số tuyệt đối trung bình*:

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

b. Cách xác định sai số dụng cụ ΔA_{dc} :

Sai số dụng cụ ΔA_{dc} gồm có hai thành phần là sai số liên quan tới *độ phân giải của dụng cụ* ΔA_{dpg} và sai số liên quan tới *cấp chính xác của dụng cụ* ΔA_{ccx} .

$$\Delta A_{dc} = \Delta A_{dpg} + \Delta A_{ccx} \quad (4)$$

Nguyên nhân dẫn đến sự xuất hiện thành phần sai số ΔA_{dpg} là do khi đọc kết quả theo thang đo của dụng cụ, ta không thể đạt được mức chính xác cao hơn một độ chia nhỏ nhất của thang đo.

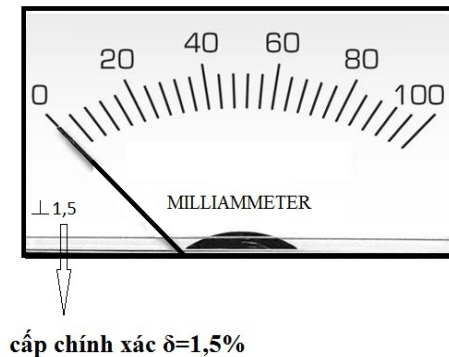
Nguyên nhân dẫn đến sự xuất hiện của thành phần sai số ΔA_{ccx} liên quan tới khâu thiết kế, chế tạo và hiệu chỉnh dụng cụ đo, chủ yếu là do những sai số không thể tránh khỏi trong quá trình sản xuất hàng loạt. Vì thế tùy theo trình độ của dây chuyền công nghệ, nhà sản xuất chỉ có thể đảm bảo được cấp chính xác mà họ ghi trên mặt máy đo.

Đối với các dụng cụ đo chỉ thị bằng kim, người ta quy ước lấy thành phần ΔA_{dpg} bằng giá trị của một độ chia nhỏ nhất của thang đo; thành phần ΔA_{ccx} được xác định thông qua *cấp chính xác* của dụng cụ. Theo quy ước, nếu cấp chính xác của dụng cụ bằng δ thì thành phần ΔA_{ccx} của sai số dụng cụ được tính theo công thức sau::

$$\Delta A_{ccx} = \delta \cdot A_{\max} / 100 \quad (5)$$

Trong đó δ là cấp chính xác, A_{\max} là giá trị cực đại của thang đo.

Ví dụ: Ta có một Ampe kế như hình 1



Hình 1. Cách ghi cấp chính xác trên mặt của của một ampe kế

- Ampe kế có thang đo $I_{\max} = 100 \text{ mA}$ và được chia thành 25 vạch thì giá trị một độ chia nhỏ nhất của thang đo bằng 4 mA. Theo quy ước, ta lấy $\Delta I_{\text{dpg}} = 4 \text{ mA}$.
- Thông thường, nhà sản xuất đều ghi cấp chính xác của nó ngay trên mặt dụng cụ hoặc trong tài liệu kỹ thuật đi kèm. Hình 1 cho ta thấy một cách ghi cấp chính xác, ampe kế này có cấp chính xác là 1,5. Suy ra:

$$\Delta I_{\text{ccx}} = \delta \cdot I_{\max} / 100 = 1,5 \cdot 100 / 100 = 1,5 \text{ mA}$$

Điều đó có nghĩa là nhà sản xuất cam kết rằng dụng cụ này đã được chế tạo và hiệu chỉnh với mức chính xác mà sai số ứng với mỗi kết quả đo không vượt quá 1,5mA.

Như vậy, sai số của ampe kế sẽ là: $(\Delta I)_{\text{dc}} = 4 \text{ mA} + 1,5 \text{ mA} = 5,5 \text{ mA}$

Đối với các dụng cụ đo có bộ chỉ thị hiện số, các thành phần ΔA_{dpg} và ΔA_{ccx} của sai số được xác định như sau: sai số ΔA_{dpg} lấy bằng một đơn vị nhỏ nhất mà dụng cụ đo được, sai số ΔA_{ccx} tính giống như đối với dụng cụ chỉ thị bằng kim.

Ví dụ: Một vôn kế hiện số có cấp chính xác $\delta = 1$, ta dùng thang đo có giá trị cực đại $U_{\max} = 10,0\text{V}$, giá trị hiệu điện thế đo hiện trên màn hình là 5,7V; như vậy ΔA_{dpg} bằng một đơn vị nhỏ nhất mà dụng cụ đo được là 0,1V. Như vậy, sai số dụng cụ của vôn kế này bằng: $(\Delta U)_{\text{dc}} = 1\% \cdot 10\text{V} + 0,1\text{V} = 0,2\text{V}$

Một số lưu ý:

- Nếu không biết cấp chính xác của dụng cụ đo, người ta quy ước lấy sai số dụng cụ bằng ΔA_{dpg} , nghĩa là bằng giá trị một độ chia nhỏ nhất của thang đo, tức là khi đó ta tạm lấy $\Delta A_{\text{dc}} = \Delta A_{\text{dpg}}$.

- Nếu trong hai số hạng ΔA_{ccx} và ΔA_{dpg} có một số lớn hơn số kia từ 5 lần trở lên, người ta quy ước chỉ giữ lại số hạng lớn hơn và bỏ qua số hạng nhỏ hơn.

c. Sai số tương đối:

Ngoài sai số tuyệt đối (ΔA), độ chính xác của kết quả phép đo còn được đánh giá bằng sai số tương đối của đại lượng cần đo. Đó là tỷ số giữa sai số tuyệt đối ΔA với giá trị trung bình \bar{A} :

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} \quad (6)$$

Sai số tương đối trung bình ε biểu diễn theo tỷ lệ phần trăm (%).

Chú ý: Trong trường hợp chỉ đo được một lần hoặc điều kiện đo không giữ được ổn định trong các lần đo thì sai số tuyệt đối lấy bằng sai số dụng cụ.

4. Cách xác định sai số của phép đo gián tiếp

Như đã trình bày ở trên, phép đo gián tiếp là phép đo mà kết quả của nó được xác định thông qua biểu thức toán học biểu diễn sự phụ thuộc giữa đại lượng cần đo với một số đại lượng khác đã biết qua phép đo trực tiếp.

Giả sử đại lượng cần đo A liên hệ với các đại lượng đo trực tiếp X, Y, Z theo hàm số:

$$A = f(X, Y, Z) \quad (7)$$

$$\left. \begin{array}{l} X = \bar{X} \pm \Delta X \\ Y = \bar{Y} \pm \Delta Y \\ Z = \bar{Z} \pm \Delta Z \end{array} \right\} \text{ là kết quả của các phép đo trực tiếp.}$$

Tính giá trị trung bình của đại lượng (\bar{A}) theo biểu thức:

$$\bar{A} = f(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}) \quad (8)$$

Sai số của đại lượng A xác định theo một trong hai phương pháp sau:

a) Trường hợp hàm $f(X, Y, Z)$ là một tổng hoặc một hiệu của các đại lượng đo trực tiếp. Khi đó ta tính sai số tuyệt đối trước, sau đến giá trị trung bình \bar{A} và suy ra sai số tương đối. Sai số tuyệt đối tính theo các bước sau:

- Tính vi phân toàn phần hàm $f(X, Y, Z)$.

$$dA = \frac{\partial A}{\partial X} dX + \frac{\partial A}{\partial Y} dY + \frac{\partial A}{\partial Z} dZ \quad (9)$$

- Thay các dấu vi phân "d" bằng dấu sai số " Δ ".

$$\Delta A = \frac{\partial A}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial A}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial A}{\partial Z} \Delta Z$$

- Lấy tổng giá trị tuyệt đối của các vi phân riêng phần:

$$\Delta A = \left| \frac{\partial A}{\partial X} \right| \Delta X + \left| \frac{\partial A}{\partial Y} \right| \Delta Y + \left| \frac{\partial A}{\partial Z} \right| \Delta Z \quad (10)$$

b) Trường hợp hàm $f(X, Y, Z)$ là một tích, thương, lũy thừa của các đại lượng đo trực tiếp X, Y, Z . Khi đó ta tính sai số tương đối trước, theo các bước sau:

- Lấy loga cơ số e hàm số A : $\ln A = \ln f(X, Y, Z)$.

- Tính vi phân toàn phần của $\ln A$:

$$d(\ln A) = \frac{dA}{A} \quad (11)$$

- Rút gọn biểu thức của vi phân toàn phần $\frac{dA}{A}$ bằng cách gộp những vi phân riêng phần chứa cùng vi phân của biến số dX, dY, dZ .

- Lấy tổng giá trị tuyệt đối của các vi phân riêng phần. Thay dấu vi phân "d" bằng dấu sai số " Δ ", đồng thời thay X, Y, Z bằng các giá trị trung bình, các sai số $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ bằng các giá trị sai số tuyệt đối của chúng.

Sau khi xác định được sai số tương đối ε ta tính giá trị trung bình \bar{A} theo (8) và tính sai số tuyệt đối theo công thức sau:

$$\Delta A = \varepsilon \bar{A}$$

5. Quy tắc làm tròn sai số và viết kết quả đo:

Các sai số tuyệt đối và tương đối được quy tròn sao cho chúng chỉ viết tối đa với hai chữ số có nghĩa. (Trong một số, tất cả các chữ số tính từ trái qua phải, kể từ chữ số khác không đầu tiên, gọi là chữ số có nghĩa. Ví dụ: số 0,23 có hai chữ số có nghĩa là 2 và 3; số 0,1020 có 4 chữ số có nghĩa là 1, 0, 2 và 0).

Để làm tròn sai số ta cần nhớ các quy tắc sau:

- Sai số tuyệt đối của phép đo không bao giờ nhỏ hơn sai số của dụng cụ.
- Nếu chữ số có nghĩa đầu tiên của sai số tuyệt đối lớn hơn 2 thì giữ lại một chữ số có nghĩa sau khi đã làm tròn. Nếu chữ số có nghĩa đầu tiên của sai số tuyệt đối nhỏ hơn hoặc bằng 2, thì giữ lại hai chữ số có nghĩa sau khi đã làm tròn.
- Sai số tương đối làm tròn đến chữ số có nghĩa thứ hai.

Chú ý: Việc làm tròn số được thực hiện theo quy tắc chung: nếu chữ số đầu tiên ở phần bỏ đi nhỏ hơn 5 thì chữ số đứng bên trái nó được giữ nguyên, nếu lớn hơn hoặc bằng 5 thì chữ số đứng bên trái nó được tăng lên một đơn vị.

Người ta quy ước viết kết quả đo dưới một trong hai dạng sau :

$$A = \bar{A} \pm \Delta A \quad (12)$$

$$A = \bar{A} \pm \varepsilon(\%) \quad (13)$$

* *Ví dụ về phép đo trực tiếp:* Dùng thước kẹp có độ chính xác 0,1mm để đo 5 lần đường kính D của một ống trụ, được các giá trị dưới đây:

Lần đo	$D_i(\text{mm})$	$\Delta D_i (\text{mm})$
1	15,6	0,0
2	15,5	0,1
3	15,7	0,1
4	15,6	0,0
5	15,5	0,1

Giá trị trung bình:

$$\bar{D} = \frac{15,6 + 15,5 + 15,7 + 15,6 + 15,5}{5} = 15,58\text{mm} = 15,6\text{mm}$$

Từ đó tính được sai số ΔD_i tương ứng (cột 3). Sai số tuyệt đối trung bình $\overline{\Delta D}$ là:

$$\overline{\Delta D} = \frac{0,0 + 0,1 + 0,1 + 0,0 + 0,1}{5} = 0,06\text{mm} = 0,1\text{mm}$$

Sai số dụng cụ trong trường hợp này bằng 0,1mm nên sai số tuyệt đối của phép đo là:

$$\Delta D = 0,1\text{mm} + 0,1\text{mm} = 0,2\text{ mm}$$

Kết quả là: $D = (15,6 \pm 0,2)\text{ mm}$.

Sai số tương đối của phép đo tính: $\varepsilon = \frac{0,2}{15,6} = 0,01282$

Làm tròn theo quy tắc (b) ta được $\varepsilon = 0,013 = 1,3\%$.

* *Ví dụ về phép đo gián tiếp*: Xác định lực hướng tâm của một vật chuyển động trên đường tròn theo công thức $F = \frac{mv^2}{R}$.

Ta đo được các số liệu:

$$m = (15,5 \pm 0,2)\text{ kg}; v = (3,45 \pm 0,01)\text{ m/s}; R = (150 \pm 5)\text{ m}.$$

Xử lý số liệu như sau:

- Tính $\ln F$: $\ln F = \ln m + 2\ln v - \ln R$.

- Tính vi phân của $\ln F$:

$$\frac{dF}{F} = \frac{dm}{m} + 2\frac{dv}{v} - \frac{dR}{R}$$

Suy ra:
$$\varepsilon = \frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta m}{m} + 2\frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta R}{R}$$

Thay số:

$$\varepsilon = \frac{0,2}{15,5} + 2\frac{0,01}{3,45} + \frac{5}{150} = 0,0519 \approx 0,052 = 5,2\%.$$

$$\bar{F} = \frac{15,5 \cdot (3,45)^2}{150} = 1,2299\text{N}$$

Ta có: $\Delta F = \varepsilon \bar{F} = 0,052 \cdot 1,2299 = 0,0639 \approx 0,06\text{ N}$

Kết quả: $F = (1,23 \pm 0,06)\text{N}$.

Chú ý:

- Trong trường hợp sai số có giá trị lớn, ta thực hiện qui tắc làm tròn đối với các chữ số có nghĩa đầu tiên, số chữ số có nghĩa phải được lấy đến bậc tương ứng với độ lớn của nó. Ví dụ: không được viết $A = 9490 \pm 384\text{ cm}$, mà phải viết là: $A = 9500 \pm 400\text{ cm}$

- Trong một tổng có nhiều sai số tương đối, nếu số hạng nào nhỏ hơn 1/10 số hạng lớn nhất thì bỏ qua số hạng đó với điều kiện tổng của tất cả các số hạng bỏ đi vẫn nhỏ hơn nhiều so với số hạng lớn còn lại.

- Nếu trong công thức tính đại lượng cần đo A có chứa những số cho trước (không ghi sai số kèm theo) thì sai số của chúng được lấy bằng một đơn vị của chữ số cuối cùng của nó. Ví dụ: Nếu $L = 15,0\text{mm}$ thì lấy $\Delta L = 0,1\text{mm}$.

- Đối với các hằng số (như π , g , $e\ldots$) thì giữ lại số chữ số sao cho sai số tương đối của hằng số đó nhỏ hơn 1/10 so với sai số tương đối lớn nhất có trong công thức. Trong

trường hợp này ta có thể coi hằng số là một số đúng và bỏ qua sai số tương đối của hằng số khi tính sai số của phép đo.

6. Phương pháp biểu diễn kết quả phép đo bằng đồ thị

Phương pháp biểu diễn kết quả các phép đo bằng đồ thị được ứng dụng khá thường xuyên trong thí nghiệm vật lý cũng như trong hoạt động thực tế của người kỹ sư. Nguyên nhân là vì phương pháp này cho phép biểu diễn một cách trực quan nhất diễn biến của các quá trình cần khảo sát giúp nhanh chóng tìm ra những quy luật đặc trưng của các đại lượng mà ta nghiên cứu và cho phép so sánh một cách khá dễ dàng quy luật phụ thuộc thực nghiệm với quy luật lý thuyết. Ngoài ra phương pháp xử lý kết quả bằng đồ thị còn cho phép tìm ra các quy luật thực nghiệm mô tả sự tương quan giữa các đại lượng vật lý đo được, kiểm tra mối liên hệ hàm số giữa các đại lượng vật lý và thông qua đó xác định được một số thông số có liên quan tới mối liên hệ hàm số đó...

Kỹ năng vận dụng phương pháp biểu diễn và xử lý kết quả thực nghiệm bằng đồ thị sẽ hình thành dần dần trong quá trình học tập. Trong thực nghiệm vật lý và trong kỹ thuật, người còn ta đưa ra một số quy định cụ thể và khá chặt chẽ để đảm bảo tính khoa học và tính chính xác của các kết quả được suy ra từ việc vận dụng phương pháp đồ thị. Tuy nhiên ở giai đoạn học vật lý đại cương chúng ta chỉ cần nắm được những kỹ thuật đơn giản nhất của phương pháp này mà thôi.

Cụ thể, ta cần nắm được một số quy định đơn giản nhất và luyện tập để hình thành một số kỹ năng cơ bản nhất về xử lý kết quả thực nghiệm bằng đồ thị, đó là: vẽ đồ thị, xử lý các số liệu trên cơ sở sử dụng đồ thị vẽ được, so sánh các quy luật phụ thuộc thực nghiệm với lý thuyết, tính toán các thông số mô tả mối tương quan hàm số giữa các đại lượng cần khảo sát và tính đạo hàm bằng phương pháp đồ thị. Ta sẽ mô tả quá trình biểu diễn và xử lý kết quả đo bằng phương pháp đồ thị thông qua một ví dụ cụ thể như sau:

Giả sử khi nghiên cứu sự phụ thuộc của điện trở R của một dây đồng vào nhiệt độ, qua thí nghiệm ta nhận được bảng số liệu sau:

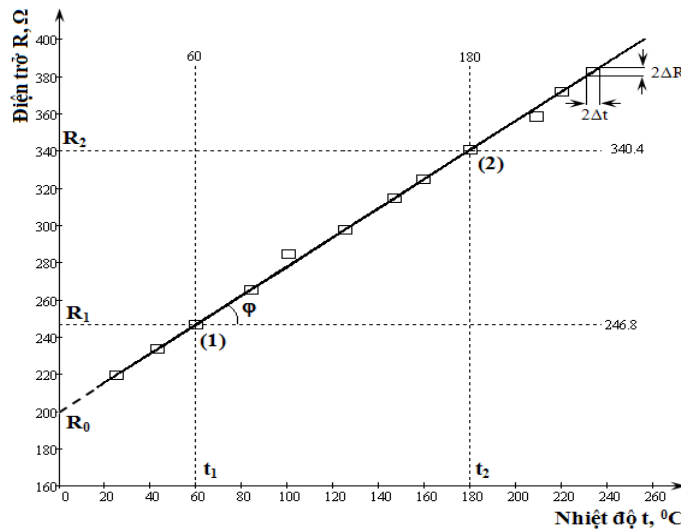
$t(^{\circ}\text{C})$	25	43	60	84	100	125	147	160	180	210	220	234
$R(\Omega)$	219.5	233.5	246.8	265.5	284.5	297.5	314.6	324.8	340.4	358.8	371.6	382.5

Để biểu diễn và xử lý các kết quả nhận được ở trên bằng phương pháp đồ thị, ta thực hiện các bước như sau :

1. Vẽ đồ thị: Ta biết rằng $R_t = R_0(1 + \alpha t)$; trong đó R_0 và R_t là điện trở của dây ở nhiệt độ 0°C và ở $t^{\circ}\text{C}$; α là hệ số nhiệt điện trở của đồng.

Căn cứ vào các số liệu trên, ta tiến hành vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của điện trở vào nhiệt độ $R = f(t)$ như sau:

a) Trên giấy kẻ ô milimet, vẽ một hệ trục tọa độ vuông góc. Chọn trục tung là trục ứng với đại lượng R , trục hoành là trục ứng với đại lượng t . Chú ý chọn tỷ lệ thang đo ứng với các trục cho phù hợp để vẽ đồ thị được đẹp, cân đối, rõ ràng, chính xác.



b) Ứng với mỗi cặp giá trị tương ứng của R và t , ta đánh dấu một điểm trên mặt phẳng tọa độ đã chọn. Để thể hiện sai số của phép đo, tại mỗi điểm đó ta vẽ một hình chữ nhật (hoặc một chữ thập) có tâm tại điểm đó, có các cạnh ứng với các trục R và t có độ dài bằng $2 \Delta R$ và $2 \Delta t$ (các sai số này lấy bằng độ chính xác của các dụng cụ đo tương ứng, vì ở đây ta chỉ tiến hành đo mỗi điểm một lần).

c) Kẻ một đường thẳng liên tục, sắc nét sao cho các điểm đo đều nằm trên đường thẳng đó hoặc phân bố đều về cả hai phía và gần nó nhất. Đây chính là đồ thị của hàm thực nghiệm $R = f(t)$ cần vẽ. **Chú ý:** Nếu một chữ thập hay hình chữ nhật nào đó nằm cách quá xa đường đồ thị thì điểm đó là sai, cần đo lại hoặc loại bỏ.

1. Bằng cách ngoại suy đồ thị ta có thể tìm được giá trị R_0 . Cụ thể, kéo dài đường đồ thị đã vẽ, ta thấy nó cắt trục tung tại điểm ứng với giá trị 200Ω , đó chính là giá trị R_0 , là điện trở của dây đồng ở 0°C .

3. Từ đồ thị này, ta dễ dàng tính được giá trị trung bình của hệ số nhiệt điện trở α bằng phương pháp tính đạo hàm theo đồ thị. Để tính đạo hàm theo đồ thị, ta cần xác định góc nghiêng φ của đồ thị so với trục hoành, sau đó tính $\tan \varphi$ theo các số liệu trên đồ thị. Cụ thể, trong trường hợp này ta có:

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \tan \varphi = \frac{1}{R_0} \frac{(R_2 - R_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{1}{200} \frac{(340,4 - 246,8)}{(180 - 60)} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Chú ý: Trong quá trình vẽ đồ thị, nếu các điểm thực nghiệm được đo nhiều lần ở cùng một điều kiện thì các giá trị của chúng được biểu diễn dưới dạng sau:

$$\begin{array}{ccc} \overline{X_1} \pm \Delta X_1 & \overline{X_2} \pm \Delta X_2 & \overline{X_n} \pm \Delta X_n \\ \dots\dots\dots & & \\ \overline{Y_1} \pm \Delta Y_1 & \overline{Y_2} \pm \Delta Y_2 & \overline{Y_n} \pm \Delta Y_n \end{array}$$

Khi đó các cặp giá trị trung bình $(\overline{X_1}, \overline{Y_1}); (\overline{X_2}, \overline{Y_2}) \dots (\overline{X_n}, \overline{Y_n})$ tương ứng sẽ cho các điểm trên đồ thị, kích thước chữ thập hoặc các cạnh hình chữ nhật là các sai số tuyệt đối $(2\Delta X_1, 2\Delta Y_1); (2\Delta X_2, 2\Delta Y_2) \dots (2\Delta X_n, 2\Delta Y_n)$.