

LỜI GIỚI THIỆU

Giáo trình “**Đo lường điện tử**” nhằm cung cấp cho học sinh những kiến thức cơ bản về phương pháp và kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý; phương pháp và kỹ thuật xây dựng một hệ đo từ đơn giản đến phức tạp; xử lý kết quả đo lường; khảo sát và thiết kế các mạch đo điện, điện tử để đo các đại lượng điện; Các thiết bị quan sát và ghi dạng tín hiệu

Khi biên soạn, nhóm biên soạn đã cố gắng cập nhật những kiến thức mới có liên quan đến nội dung chương trình đào tạo và phù hợp với mục tiêu đào tạo, nội dung lý thuyết và thực hành được biên soạn gắn với nhu cầu thực tế trong sản xuất đồng thời có tính thực tiễn cao. Nội dung giáo trình được biên soạn với dung lượng thời gian đào tạo 45 giờ gồm có:

- Chương 1: Đơn vị đo
- Chương 2: Sai số đo
- Chương 3: Thiết bị cơ điện
- Chương 4: Đo độ tự cảm và điện dung
- Chương 5: Đo điện trở
- Chương 6: Máy phát tín hiệu
- Chương 7: Đo lường bằng máy hiện sóng

Trong quá trình sử dụng giáo trình, tùy theo yêu cầu cũng như khoa học và công nghệ phát triển có thể điều chỉnh thời gian và bổ sung những kiến thức mới cho phù hợp. Trong giáo trình, chúng tôi có đề ra nội dung thực tập của từng bài để người học cũng cố và áp dụng kiến thức phù hợp với kỹ năng.

Tuy nhiên, tùy theo điều kiện cơ sở vật chất và trang thiết bị, các trường có thể sử dụng cho phù hợp. Mặc dù đã cố gắng tổ chức biên soạn để đáp ứng được mục tiêu đào tạo nhưng không tránh được những khiếm khuyết. Rất mong nhận được đóng góp ý kiến của các thầy, cô giáo, bạn đọc để nhóm biên soạn sẽ hiệu chỉnh hoàn thiện hơn. Các ý kiến đóng góp xin gửi về Khoa Điện – Điện tử - Tin học, Trường Cao đẳng nghề số 20/QK3.

Nam Định, tháng 11 năm 2016

Tham gia biên soạn

- 1. Bùi Trung Kiên*
- 2. Trần Minh Quang*

CHƯƠNG 1 ĐƠN VỊ ĐO

1. CÁC ĐƠN VỊ CƠ HỆ SI

1.1. Các đơn vị cơ bản

Hệ đo lường quốc tế (viết tắt **SI**) là **hệ đo lường** được sử dụng rộng rãi nhất. Nó được sử dụng trong hoạt động kinh tế, thương mại, khoa học, giáo dục và công nghệ của phần lớn các nước trên thế giới ngoại trừ **Mỹ**, **Liberia** và **Myanma**.

1.1.1. Đơn vị đo chiều dài

* **Mét** là **đơn vị đo khoảng cách**, một trong 7 đơn vị cơ bản trong **hệ đo lường quốc tế** (SI). **Định nghĩa** gần đây nhất của mét bởi **Viện Đo lường Quốc tế** (*Bureau International des Poids et Mesures*) vào năm 1998 là: "khoảng cách mà **ánh sáng** truyền được trong **chân không** trong khoảng **thời gian** của 1 / 299 792 458 giây".

Bội số	Tên	Kí hiệu	Bội số	Tên	Kí hiệu
10^0	mét	m			
10^1	đecamét	dam	10^{-1}	đêximét	dm
10^2	hêctômét	hm	10^{-2}	xentimét	cm
10^3	kilômét	km	10^{-3}	milimét	mm
10^6	mêgamét	Mm	10^{-6}	micrômét	µm
10^9	gigamét	Gm	10^{-9}	nanômét	nm
10^{12}	têramét	Tm	10^{-12}	picômét	pm
10^{15}	pêtamét	Pm	10^{-15}	femtômét	fm
10^{18}	examét	Em	10^{-18}	atômét	am
10^{21}	zêtamét	Zm	10^{-21}	zéptômét	zm
10^{24}	yôtamét	Ym	10^{-24}	yóctômét	ym

1.1.2. Đơn vị đo khối lượng

* Kilôgam (viết tắt là kg) là **đơn vị đo khối lượng**, một trong bảy đơn vị đo cơ bản của **hệ đo lường quốc tế** (SI), được định nghĩa là "khối lượng của khối kilôgam chuẩn quốc tế, làm từ **hợp kim platin-iridi**, được tổ chức **BIPM** lưu giữ trong điều kiện miêu tả theo BIPM 1998".

* Khối kilôgam tiêu chuẩn được lưu giữ tại BIMP được chế tạo từ 90% platin và 10% iridi thành một hình trụ tròn đường kính 39 mm, cao 39 mm.

1.1.3. Đơn vị đo thời gian

* Trong **khoa đo lường**, giây (viết tắt là s) là **đơn vị đo thời gian**, một trong 7 đơn vị cơ bản trong **hệ đo lường quốc tế** (SI).

* Định nghĩa quen thuộc của giây vốn là khoảng **thời gian** bằng 1/60 của **phút**, hay 1/3600 của **giờ**. Định nghĩa chính xác gần đây nhất của **Viện Đo lường Quốc tế** (Bureau International des Poids et Mesures) vào năm 1998 là:

Khoảng thời gian bằng 9 192 631 770 lần chu kỳ của bức xạ điện từ phát ra bởi nguyên tử Ce 133 khi thay đổi trạng thái giữa hai mức năng lượng đáy siêu tinh vi.

$$* 1s = 10^3ms = 10^6\mu s = 10^9ns$$

1.1.4. Đơn vị đo cường độ dòng điện

* Đơn vị đo cường độ dòng điện A được định nghĩa từ năm 1948 là dòng điện cố định, nếu nó chạy trong hai dây dẫn song song dài vô hạn có tiết diện không đáng kể, đặt cách nhau 1 mét trong chân không, thì sinh ra một lực giữa hai dây này bằng 2×10^{-7} **niuton** trên một mét chiều dài.

* 1 Ampe tương ứng với dòng chuyển động của $6,24150948 \cdot 10^{18}$ **điện tử e** (1 culông) trên giây qua 1 diện tích dây dẫn.

$$1 \text{ Ampe} = 1 \text{ culông} / \text{giây}$$

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$$

Bội số	Tên gọi	Ký hiệu	Ước số	Tên gọi	Ký hiệu
10^0	Ampe	A			
10^1	đêca Ampe	daA	10^{-1}	đêxi Ampe	dA
10^2	hécô Ampe	hA	10^{-2}	xenti Ampe	cA
10^3	kilô Ampe	kA	10^{-3}	mili Ampe	mA
10^6	mêga Ampe	MA	10^{-6}	micrô Ampe	μ A
10^9	giga Ampe	GA	10^{-9}	nanô Ampe	nA
10^{12}	têra Ampe	TA	10^{-12}	picô Ampe	pA
10^{15}	pêta Ampe	PA	10^{-15}	femtô Ampe	fA
10^{18}	êxa Ampe	EA	10^{-18}	atô Ampe	aA
10^{21}	zêta Ampe	ZA	10^{-21}	zeptô Ampe	zA
10^{24}	yôta Ampe	YA	10^{-24}	yôctô Ampe	yA

1.1.5. Đơn vị đo nhiệt độ: Đơn vị đo nhiệt độ **độ Celsius** hay **Kelvin**

* **Độ Celsius** ($^{\circ}\text{C}$ hay **độ C**) là Đơn vị đo nhiệt độ là độ bách phân hay **độ Celsius** (C), có nghĩa là thang **thủy ngân** giữa điểm **đóng băng** và điểm **sôi** của nước nguyên chất được chia thành một trăm phần bằng nhau. Nước sôi vì thế là 100 độ Celsius và nước đóng băng có 0 độ Celsius. Đây là đơn vị đo lường nhiệt độ của hệ mét trong sử dụng thông thường.

* **Độ Kelvin** (°K hay **độ K**): Mỗi **độ K** trong **nhật giai** Kenvin (1K) bằng một độ trong nhật giai **Celsius** (1 °C) và 0 °C ứng với 273,15K.

Nhiệt độ trong nhật giai Kelvin đôi khi còn được gọi là **nhật độ tuyệt đối**, do 0K ứng với **nhật độ nhỏ nhất** mà **vật chất** có thể đạt được. Tại 0K, trên lý thuyết, mọi **chuyển động nhiệt** hỗn loạn đều ngừng.

1.1.6. Đơn vị đo lượng chất **mol**

* **Mol** là một số chứa $6,023 \times 10^{23}$ các **hạt vi mô** như **phân tử**, **nguyên tử** và **ion**.

* **Khối lượng mol nguyên tử** của một **nguyên tố** là **khối lượng** của 1 mol ($6,023 \times 10^{23}$) nguyên tử của nguyên tố đó; khối lượng mol phân tử của một chất là khối lượng của 1 mol phân tử của chất đó; vân vân... (Số $6,023 \times 10^{23}$ được gọi là **số Avogadro**.)

Thí dụ: khối lượng mol nguyên tử của **oxi** là 16 g; khối lượng mol phân tử của oxi là 32 g; khối lượng mol ion của **hydro** là 1 g...

1.1.7. Đơn vị đo cường độ sáng **candela**

Candela hay còn được gọi là **nến** (*Candle*), là đơn vị đo cường độ chiếu sáng, là cường độ chiếu sáng theo một hướng cho trước của một nguồn phát ra bức xạ đơn sắc với tần số 540×10^{12} héc và cường độ bức xạ theo hướng đó là 1/683 oát trên một **Steradian**.

1.2. Đơn vị đo lực

* **Newton** (viết tắt là N) là **đơn vị đo lực** trong **hệ đo lường quốc tế** (SI), lấy tên của nhà bác học **Isaac Newton**. Nó là một **đơn vị dẫn xuất trong SI** nghĩa là nó được định nghĩa từ các đơn vị đo "cơ bản". Cụ thể **lực** bằng **khối lượng nhân gia tốc** (**định luật 2 Newton**).

1 Newton là lực gây ra cho một vật có khối lượng 1 kilôgam gia tốc 1 mét trên giây bình phương. Theo phương diện đại số:

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}.$$

Một số ví dụ

- 1 N là lực gây ra bởi trọng lượng so với **Trái Đất** của một vật có khối lượng xấp xỉ 102 g ($\frac{1}{9,8}$ kg) (tương đương một quả táo nhỏ).

- Trên bề mặt Trái Đất, một khối lượng 1 kg sinh ra một lực cỡ 9.81 N (hướng xuống). Một khối lượng 1 kg tương ứng với 10 N là một khối lượng thường dùng trong đời sống hàng ngày và trong kỹ thuật.

- Vì Newton là một lực khá nhỏ, do đó người ta cũng thường dùng một đơn vị khác để biểu diễn lực là kilonewtons hay kN, trong đó 1 kN = 1 000 N.

- Trong điều kiện tiêu chuẩn, 1 **tấn** (1 000 kg) gây ra trọng lực là 9.8 kN (hay 1 000 kgf).

1.3. Đơn vị công :

* Đại lượng được đo bằng tích số của lực và quãng đường dịch chuyển của điểm đặt của lực gọi là công.

* Đơn vị đo lường của công là 1 Jun (viết tắt là J) = 1Nm.

1.4. Đơn vị năng lượng

* **Electronvolt** hay **electronvôn**, ký hiệu **eV**, là một đơn vị đo lường năng lượng được dùng nhiều trong vật lý hạt nhân và vật lý lượng tử.

* 1 eV được định nghĩa là năng lượng tương đương với thế năng tĩnh điện mà một hạt tích điện dương với điện tích bằng giá trị tuyệt đối của điện tích electron có được khi nằm trong điện thế 1 V so với một điểm làm mốc điện thế nào đó. Trong SI:

$$1 \text{ eV} = 1 \text{ e} \cdot 1 \text{ V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ W} \cdot \text{s} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Các bội số thường dùng là keV, MeV, GeV.

* Liên hệ với tốc độ ánh sáng và khối lượng (từ công thức $E = m \cdot c^2$) là:

Năng lượng $E = 1 \text{ eV}$ tương đương với khối lượng $m = 1 \text{ eV}/c^2 = 1,8 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$

Liên hệ với hằng số Boltzmann và nhiệt độ:

$$1 \text{ eV}/k_B = 11604,505 \text{ K}$$

1.5. Đơn vị công suất

* **Đơn vị đo công suất** là đơn vị đo của đại lượng vật lý công suất.

Trong hệ đo lường quốc tế, đơn vị đo công suất là **Watt** (viết tắt là W), lấy tên theo James Watt.

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ J/s}$$

* Ngoài ra, các tiền tố cũng được thêm vào đơn vị này để đo các công suất nhỏ hay lớn hơn như mW, MW.

Một đơn vị đo công suất hay gặp khác dùng để chỉ công suất động cơ là mã lực (viết tắt là HP): 1 HP = 0,736 kW

* Trong truyền tải điện, đơn vị đo công suất hay dùng là KVA (kilô Volt Ampe): 1 KVA = 1000 VA = 1000 W

Volt-Ampe, còn được viết tắt là **VA**, là đơn vị đo công suất dòng điện. Nó được tính bằng cách nhân hiệu điện thế tính theo Volt với cường độ dòng điện tính

theo **Ampere**. Đơn vị này thường được sử dụng cho **công suất biểu kiến** của mạch **điện xoay chiều**.

Trong mạch **điện một chiều** (DC), VA tương đương với **Watt**. Tuy nhiên trong dòng điện xoay chiều, VA thường dùng để tính **công suất biểu kiến**, còn **Watt** dùng để tính **công suất thực**. Trên cùng một mạch điện xoay chiều, công suất biểu kiến thường có độ lớn lớn hơn công suất thực; ví dụ trong **bộ lưu điện** (UPS), một VA công suất biểu kiến có thể tương đương với khoảng 1,6 Watt công suất thực (**hệ số công suất** lúc đó là $1/1,6 = 0,625$).

Khi thêm các **tiền tố SI**, chúng ta có các đơn vị như:

kVA = 1.000 VA (tiền tố k nghĩa là **kilo**)

MVA = 1.000.000 VA (tiền tố M nghĩa là **mega**)

Đơn vị **kVA** thường được sử dụng trong **công nghiệp** để tính công suất truyền tải điện năng của các **máy biến thế**.

2. CÁC ĐƠN VỊ ĐIỆN HỆ SI

2.1. Các đơn vị của dòng điện và điện tích

* **Cường độ dòng điện**

- Cường độ dòng điện *qua một bề mặt* được định nghĩa là lượng điện tích di chuyển qua bề mặt đó trong một đơn vị thời gian. Nó thường được ký hiệu bằng chữ **I**. Trong hệ **SI**, cường độ dòng điện có đơn vị **ampe**.

$$I = \frac{Q}{t} = (q_1 + q_2 + q_n)/t$$

- Cường độ dòng điện trung bình trong một khoảng thời gian được định nghĩa bằng thương số giữa điện lượng chuyển qua bề mặt được xét trong khoảng thời gian đó và khoảng thời gian đang xét: $I_{tb} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

Trong đó : I_{tb} là cường độ dòng điện trung bình, đơn vị là **A** (ampe)

ΔQ là điện lượng chuyển qua bề mặt được xét trong khoảng thời gian Δt , đơn vị là **C** (coulomb)

Δt là khoảng thời gian được xét, đơn vị là **s** (giây)

Khi khoảng thời gian được xét vô cùng nhỏ, ta có cường độ dòng điện tức thời: $I = dQ/dt$

* **Mật độ dòng điện**

- Một cách tổng quát, **mật độ dòng** chảy bất kỳ là cường độ dòng qua đơn vị **diện tích** mặt cắt **vuông góc** với dòng đó, với dòng có thể là dòng điện, dòng nước,... Đối với dòng điện, mật độ dòng được gọi là **mật độ dòng điện**.

- Cường độ dòng tổng quát liên hệ với mật độ dòng tổng quát trên một bề mặt bất kỳ qua công thức: $\Phi = j \cdot A$

với: φ là cường độ dòng. Nếu dòng là dòng điện, nó đo bằng **ampe**

A diện tích mà dòng đi qua, đo bằng **mét vuông**

j là mật độ dòng. Nếu dòng là dòng điện, nó đo bằng **A/m²**

* **Điện tích**

- Coulomb hay Culông, kí hiệu C, là đơn vị đo điện tích Q trong hệ **SI**, lấy tên theo **nhà vật lý** người **Pháp Charles Augustin de Coulomb**.

- Một Coulomb tương ứng với lượng điện tích chạy qua một diện tích dây dẫn có cường độ dòng điện 1 **Ampère** trong vòng 1 giây.

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$$

- Một **proton** có điện tích bằng $1,60219 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, hay $+1e$. Một **electron** có điện tích bằng $-1,60219 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, hay $-1e$.

2.2. Sức điện động, hiệu điện thế và điện áp

* **Sức điện động** của nguồn: một đại lượng vật lý có giá trị là điện áp hở mạch của nguồn, đo bằng đơn vị “vôn” và được ký hiệu là V .

* **Điện thế** đặc trưng cho điện trường về phương diện tạo ra thế năng của điện tích q :

$$V_M = \frac{A_{M\infty}}{q}$$

Trong đó: V_M là điện thế tại điểm M

$A_{M\infty}$ là công của điện trường trong sự dịch chuyển của điện tích q từ điểm M đến vô cùng.

* **Hiệu điện thế** (còn gọi là điện áp) là mức chênh lệch điện thế giữa 2 điểm. Khi có sự chênh lệch về điện thế giữa 2 điểm (hiệu điện thế khác 0) và 2 điểm được nối với nhau bằng 1 vật dẫn điện thì sẽ có dòng điện đi qua vật dẫn (hiện tượng dẫn điện).

Nếu khoảng cách giữa 2 điểm đủ gần và hiệu điện thế giữa 2 điểm đủ lớn thì dòng điện có thể phóng qua giữa 2 điểm mà không cần vật dẫn (hiện tượng phóng điện)

2.3. Điện trở và điện dẫn

* **Điện trở** là **đại lượng vật lý** đặc trưng cho tính chất cản trở **dòng điện** của một vật thể **dẫn điện**. Nó được định nghĩa là tỉ số của **hiệu điện thế** giữa hai đầu vật thể đó với **cường độ dòng điện** đi qua nó: $R=U/I$

Trong đó:

U : là hiệu điện thế giữa hai đầu vật dẫn điện, đo bằng **vôn** (V).

I : là cường độ dòng điện đi qua vật dẫn điện, đo bằng **ampe** (A).

R : là điện trở của vật dẫn điện, đo bằng **Ohm** (Ω).

Giá trị điện trở càng lớn thì độ dẫn điện càng kém. Định nghĩa trên chính xác cho **dòng điện một chiều**. Đối với **dòng điện xoay chiều**, khái niệm sự cản trở dòng điện được mở rộng ra thành **trở kháng**, trong đó điện trở là phần **trở kháng thuần** của trở kháng tổng cộng.

- Điện trở của dây dẫn

Điện trở R của dây dẫn có thể tính như sau: $R = \rho \frac{L}{S}$

L là **chiều dài** của dây dẫn, đo theo **mét**

S là tiết diện (diện tích xung quanh, được xem như mặt cắt hình tròn), đo theo **m²**

ρ (**tiếng Hy Lạp: rô**) là **điện trở suất** (hay còn gọi là **điện trở riêng** hoặc **suất điện trở**) của vật liệu, được đo bằng ôm·met ($\Omega \cdot m$)

Điện trở suất là thước đo khả năng kháng lại dòng điện của vật liệu.

- Điện trở suất (Electrical resistivity) là **đại lượng** đặc trưng cho khả năng cản trở dòng điện của mỗi chất. Điện trở suất nói nên tính cản trở sự chuyển dời có hướng của các hạt mang điện của mỗi chất.

Đơn vị của điện trở suất trong **hệ đơn vị chuẩn SI** là **Ohm.met ($\Omega \cdot m$)**.

Điện trở suất (thường được ký hiệu là ρ) của một chất được **định nghĩa** bởi **điện trở** của một khối chất có chiều dài 1 m và tiết diện 1 m², hay một cách tổng quát, nó được cho bởi công thức: $\rho = R \frac{S}{L}$

với R là điện trở, S là **tiết diện** ngang, L là chiều dài của khối vật dẫn.

Điện trở suất của một số vật liệu:

Kim loại	Điện trở suất (Ωm)	Hệ số nhiệt điện trở
Bạc	$1,59 \times 10^{-8}$	0,0038
Đồng	$1,72 \times 10^{-8}$	0,0039
Vàng	$2,44 \times 10^{-8}$	0,0034
Nhôm	$2,82 \times 10^{-8}$	0,0039
Sắt	$1,0 \times 10^{-7}$	0,005
Bạch kim	$1,1 \times 10^{-7}$	0,00392
Chì	$2,2 \times 10^{-7}$	0,0039
Mangan	$4,4 \times 10^{-7}$	0,000002
Constantan	$4,9 \times 10^{-7}$	0,00001

Thủy ngân	$9,8 \times 10^{-7}$	0,0009
Cacbon	$3,5 \times 10^{-5}$	-0,0005
Gecmani	$4,6 \times 10^{-1}$	-0,048
Silic	$6,40 \times 10^2$	-0,048
Thủy tinh	10^{10} to 10^{14}	-0,075

* **Điện dẫn suất:** là khả năng dẫn điện của các vật liệu điện hay điện dẫn suất còn là nghịch đảo của điện trở suất: $\sigma = 1/\rho$

Trong hệ SI: σ có đơn vị chuẩn là S/m (Siemens trên mét), các đơn vị biến đổi khác như S/cm, m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$ và S·m/mm² cũng thường được dùng, với 1 S/cm = 100 S/m và 1 m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$ = S·m/mm² = 10⁶ S/m.

2.4. Từ thông và cường độ từ thông

* **Từ thông** là thông lượng đường sức từ đi qua một diện tích bề mặt nhất định.

* Từ thông liên hệ trực tiếp với mật độ từ thông. Từ thông là tích phân của phép nhân vô hướng giữa mật độ từ thông với vectơ thành phần diện tích, trên toàn bộ diện tích.

$$\Phi_m = \iint_S B \cdot dS$$

Theo ký hiệu toán học:

Với: Φ_m là từ thông; **B** là mật độ từ thông

Trong hệ đo lường quốc tế, đơn vị đo từ thông là Weber (Wb), và đơn vị đo mật độ từ thông là Weber trên mét vuông, hay Tesla.

2.5. Độ tự cảm

- Độ tự cảm hay còn gọi là điện cảm là 1 đại lượng đặc trưng cho khả năng lưu giữ năng lượng dưới dạng từ trường của một cuộn dây.

- Đơn vị độ tự cảm là Henry (H)

$$H = \Omega \cdot s = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$$

2.6. Điện dung

- Để đặc trưng cho khả năng tích trữ năng lượng điện của tụ điện, người ta đưa ra khái niệm là điện dung của tụ điện. Điện dung càng cao thì khả năng tích trữ năng lượng của tụ điện càng lớn và ngược lại.

- Giá trị điện dung được đo bằng đơn vị Fara (kí hiệu là F).

$$F = \Omega^{-1} \cdot s = \text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

- Giá trị F là rất lớn nên thông thường trong các mạch điện tử, các giá trị tụ chỉ đo bằng các giá trị nhỏ hơn như micro fara (μF), nano Fara (nF) hay pico Fara (pF). $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{nF} = 10^{12} \text{pF}$

CHƯƠNG 2 SAI SỐ ĐO

1. ĐO LƯỜNG

1.1. Độ chính xác và mức chính xác

Độ chính xác sẽ chỉ mức độ gần đúng mà giá trị đo được sẽ đạt so với giá trị đúng của đại lượng cần đo.

1.1.1. Độ chính xác của độ lệch đầy thang.

- Thông thường, thiết bị đo điện tử tương tự thường có độ chính xác cho dưới dạng phần trăm của độ lệch toàn thang đo [fsd - full scale deflection].

- Nếu đo điện áp bằng đồng hồ điện áp [voltmeter], đặt ở thang đo 100V (fsd), với độ chính xác là $\pm 4\%$, chỉ thị số đo điện áp là 25V, số đo sẽ có độ chính xác trong khoảng $25V \pm 4\%$ của phép đo, hay $(25 - 4)V$ đến $(25 + 4)V$, tức là trong khoảng 21V đến 29V. Đây là độ chính xác $\pm 16\%$ của 25V. Điều này được gọi là sai số giới hạn.

1.1.2. Độ chính xác động và thời gian đáp ứng.

- Một số thiết bị đo, nhất là trong công nghiệp dùng để đo các đại lượng biến thiên theo thời gian. Hoạt động của thiết bị đo ở các điều kiện như vậy được gọi là điều kiện làm việc động. Do vậy, độ chính xác động là độ gần đúng mà giá trị đo được sẽ bằng giá trị đúng mà nó sẽ dao động theo thời gian, khi không tính sai số tĩnh.

- Khi thiết bị đo dùng để đo đại lượng thay đổi, một thuật ngữ khác gọi là đáp ứng thời gian được dùng để chỉ khoảng thời gian mà thiết bị đo đáp ứng các thay đổi của đại lượng đo. Độ trì hoãn đáp ứng của thiết bị đo được gọi là độ trễ [lag].

1.2. Các tiêu chuẩn

* **Khái niệm:** Để thống nhất quản lý đo lường, đảm bảo đo lường cho công nghiệp, thương mại, đời sống thì mỗi quốc gia đều tổ chức hệ thống mẫu chuẩn và truyền chuẩn của quốc gia đó.

Theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) 6165-1996 chuẩn đo lường định nghĩa như sau: “ Chuẩn là vật đo, phương tiện đo, mẫu chuẩn hoặc hệ thống đo để định nghĩa, thể hiện, duy trì hoặc tái tạo đơn vị một hay nhiều giá trị của đại lượng dùng để làm mốc so sánh”.

* Phân loại:

- Chuẩn đầu (Primary standard): là chuẩn được chỉ định hay thừa nhận rộng rãi là có chất lượng về mặt đo lường cao nhất và các giá trị của nó được chấp nhận không dựa vào các chuẩn khác của cùng đại lượng.

- Chuẩn thứ (Secondary standard): là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định

bằng cách so sánh với chuẩn đầu của cùng đại lượng.

- Chuẩn bậc I : là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định bằng cách so sánh với chuẩn thứ của cùng đại lượng.

*** Phân loại trên phạm vi quốc tế :**

- Chuẩn quốc tế (International standard) : là chuẩn được một hiệp định quốc tế công nhận để làm cơ sở ấn định giá trị cho các chuẩn khác của đại lượng có liên quan trên phạm vi quốc tế.

- Chuẩn quốc gia (National standard) : là chuẩn được một quyết định có tính chất quốc gia công nhận để làm cơ sở ấn định giá trị cho các chuẩn khác có liên quan trong một nước.

- Chuẩn chính (Reference standard) : là chuẩn thường có chất lượng cao nhất về mặt đo lường có thể có ở một địa phương hoặc một tổ chức xác định mà các phép đo ở đó đều được dẫn xuất từ chuẩn này.

- Chuẩn công tác (Working standard) : là chuẩn được dùng thường xuyên để hiệu chuẩn hoặc kiểm tra vật đo, phương tiện đo hoặc mẫu chuẩn.

- Chuẩn so sánh (Transfer standard) : là chuẩn được sử dụng như là một phương tiện để so sánh các chuẩn.

*** Một số chuẩn mẫu về các đại lượng điện :**

- Chuẩn dòng điện
- Chuẩn điện áp
- Chuẩn điện trở
- Chuẩn điện dung
- Chuẩn tần số

1.3. Kỹ thuật đo

1.3.1. Khái niệm chung

*** Đo lường :**

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng về đại lượng cần đo để có được kết quả bằng số so với đơn vị đo.

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng: $A = X/X_0 \Rightarrow X = A.X_0$

trong đó: A: con số kết quả đo

X: đại lượng cần đo

X₀: đơn vị đo

*** Đo lường học:** Đo lường học là ngành khoa học chuyên nghiên cứu để đo

các đại lượng khác nhau, nghiên cứu mẫu và đơn vị đo.

*** Kỹ thuật đo lường (KTĐL)**

KTĐL là ngành kỹ thuật chuyên môn nghiên cứu để áp dụng kết quả của đo lường học vào phục vụ sản xuất và đời sống xã hội.

1.3.2. Phân loại cách thực hiện phép đo

*** Đo trực tiếp** là cách đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một phép đo duy nhất. Nghĩa là, kết quả đo được chính là trị số của đại lượng cần đo mà không phải tính toán thông qua bất kỳ một biểu thức nào.

Nếu không tính đến sai số thì trị số đúng của đại lượng cần đo X sẽ bằng kết quả đo được A .

Phương pháp đo trực tiếp có ưu điểm là đơn giản, nhanh chóng và loại bỏ được sai số do tính toán. Ví dụ: Voltmet đo điện áp, ampemet đo cường độ dòng điện, oatmet đo công suất

*** Đo gián tiếp** là cách đo mà kết quả đo suy ra từ sự phối hợp kết quả của nhiều phép đo dùng cách đo trực tiếp. Nghĩa là, kết quả đo không phải là trị số của đại lượng cần đo, các số liệu cơ sở có được từ các phép đo trực tiếp sẽ được sử dụng để tính ra trị số của đại lượng cần đo thông qua một phương trình vật lý liên quan giữa các đại lượng này.

$$X = f(A_1, A_2, \dots, A_n)$$

Trong đó $A_1, A_2 \dots A_n$ là kết quả đo của các phép đo trực tiếp.

Ví dụ: để đo công suất (P) có thể sử dụng voltmet để đo điện áp (U), ampe met đo cường độ dòng điện (I), sau đó sử dụng phương trình: $P = U.I$ ta tính được công suất

Cách đo gián tiếp mắc phải nhiều sai số do sai số của các phép đo trực tiếp được tích lũy lại. Vì vậy cách đo này chỉ nên áp dụng trong các trường hợp không thể dùng dụng cụ đo trực tiếp mà thôi.

*** Đo tương quan** là phương pháp được sử dụng trong trường hợp cần đo các quá trình phức tạp mà ở đây không thể thiết lập một quan hệ hàm số nào giữa các đại lượng là các thông số của các quá trình nghiên cứu.

*** Đo hợp bộ** là phương pháp có được kết quả đo nhờ giải một hệ phương trình mà các thông số đã biết trước chính là các số liệu đo được từ các phép đo trực tiếp.

*** Đo thống kê** là phương pháp sử dụng cách đo nhiều lần và lấy giá trị trung bình để đảm bảo kết quả chính xác. Cách này được sử dụng khi đo tín hiệu ngẫu nhiên hoặc kiểm tra độ chính xác của dụng cụ đo.

1.3.2. Các đặc trưng của kỹ thuật đo lường

* Khái niệm về tín hiệu đo và đại lượng đo

- Tín hiệu đo lường là tín hiệu mang thông tin về giá trị của đại lượng đo lường.

- Đại lượng đo là thông số xác định quá trình vật lý của tín hiệu đo. Do quá trình vật lý có thể có nhiều thông số nhưng trong mỗi trường hợp cụ thể người ta chỉ quan tâm đến một hoặc một vài thông số nhất định.

Ví dụ: để xác định độ rung có thể xác định thông qua một trong các thông số như: biên độ rung, gia tốc rung, tốc độ rung ...

- Có nhiều cách để phân loại đại lượng đo, dưới đây là một số cách thông dụng.

+ Phân loại theo tính chất thay đổi của đại lượng đo:

Có hai loại đại lượng đo là:

. Đại lượng đo tiền định là đại lượng đo đã biết trước quy luật thay đổi theo thời gian của chúng.

. Đại lượng đo ngẫu nhiên là đại lượng đo mà sự thay đổi theo thời gian không theo một quy luật nhất định nào. Nếu ta lấy bất kỳ giá trị nào của tín hiệu ta đều nhận được đại lượng ngẫu nhiên.

Chú ý: Trên thực tế, đa số các đại lượng đo đều là ngẫu nhiên. Tuy nhiên, có thể giả thiết rằng trong suốt thời gian tiến hành phép đo đại lượng đo phải không đổi hoặc thay đổi theo quy luật đã biết trước, nghĩa là tín hiệu ở dạng biến đổi chậm. Còn khi đại lượng đo ngẫu nhiên có tần số thay đổi nhanh thì cần sử dụng phương pháp đo lường thống kê.

+ Phân loại theo cách biến đổi tín hiệu đo: Có hai loại tín hiệu đo là tín hiệu đo liên tục hay tương tự và tín hiệu đo rời rạc hay số. Khi đó ứng với 2 loại tín hiệu đo này có hai loại dụng cụ đo là dụng cụ đo tương tự và dụng cụ đo số.

+ Phân loại theo bản chất của đại lượng đo

. Đại lượng đo năng lượng là đại lượng mà bản thân nó mang năng lượng. Ví dụ: điện áp, dòng điện, sức điện động, công suất ...

. Đại lượng đo thông số là đại lượng đo các thông số của mạch

Ví dụ: điện trở, điện dung, điện cảm ...

. Đại lượng phụ thuộc vào thời gian. Ví dụ: tần số, góc pha, chu kỳ ...

. Đại lượng không điện. Để đo các đại lượng này bằng phương pháp điện cần biến đổi chúng thành các đại lượng điện

Ví dụ: để đo độ co giãn của vật liệu có thể sử dụng tenzo để chuyển sự thay

đổi của hình dạng thành sự thay đổi của điện trở và đo giá trị điện trở này để suy ra sự biến đổi về hình dạng.

* Điều kiện đo

Các thông tin đo lường bao giờ cũng gắn với môi trường sinh ra đại lượng đo. Môi trường ở đây có thể điều kiện môi trường tự nhiên và cả môi trường do con người tạo ra.

* Đơn vị đo

Mỗi một quốc gia có một tập quán sử dụng các đơn vị đo lường khác nhau. Để thống nhất các đơn vị này người ta thành lập Hệ đơn vị đo lường quốc tế.

* Thiết bị đo và phương pháp đo

- Thiết bị đo là thiết bị kỹ thuật dùng để gia công tín hiệu mang thông tin đo dạng tiện lợi cho người quan sát.

- Thiết bị đo gồm: thiết bị mẫu, chuyển đổi đo lường, dụng cụ đo lường, tổ hợp thiết bị đo lường và hệ thống thông tin đo lường.

- Phương pháp đo được chia làm 2 loại chủ yếu là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo so sánh.

* Người quan sát

Là người tiến hành đo hoặc gia công kết quả đo. Yêu cầu nắm được phương pháp đo, hiểu biết về thiết bị đo và lựa chọn dụng cụ hợp lý, kiểm tra điều kiện đo phải nằm trong chuẩn cho phép để sai số chấp nhận được) và biết cách gia công số liệu thu được sau khi đo.

* Kết quả đo

- Giá trị xác định bằng thực nghiệm được gọi là ước lượng của đại lượng đo, giá trị gần giá trị thực mà ở điều kiện nào đó có thể coi là thực.

- Sử dụng các phương pháp đánh giá sai số để đánh giá kết quả đo.

2. SAI SỐ

* *Sai số của phép đo*: là biểu hiện sự không chính xác của kết quả đo lường so với giá trị chính xác của đại lượng đo.

- Giá trị thực X_{th} của đại lượng đo: là giá trị của đại lượng đo xác định được với một độ chính xác nào đó (thường nhờ các dụng cụ mẫu có cấp chính xác cao hơn dụng cụ đo được sử dụng trong phép đo đang xét).

- Giá trị chính xác (giá trị đúng) của đại lượng đo thường không biết trước, vì vậy khi đánh giá sai số của phép đo người ta sử dụng giá trị thực X_{th} của đại lượng đo.

- Sai số là một trong những đặc tính cố hữu của kết quả đo lường, và không thể tránh khỏi vì mọi mẫu chuẩn dùng để so sánh đều có sai số nhất định dù ở bất kỳ cấp chính xác nào.

** Phân loại theo biểu thức*

- Sai số tuyệt đối là hiệu số giữa 2 trị số tuyệt đối của giá trị đo được và giá trị thực của đại lượng cần đo.

$$\Delta X = |X - X_{th}| \text{ với } X \text{ là giá trị đo được và } X_{th} \text{ là giá trị thực}$$

- Sai số tương đối là tỷ số của sai số tuyệt đối và trị số thực của đại lượng đo. Sai số tương đối biểu thị đầy đủ hơn sai số tuyệt đối.

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_{th}} \cdot 100\% \quad \text{sai số tương đối chân thực}$$

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% \quad \text{sai số tương đối danh định}$$

- Cấp chính xác của dụng cụ đo: là giá trị sai số cực đại mà dụng cụ đo mắc phải. Người ta quy định cấp chính xác của dụng cụ đo đúng bằng sai số tương đối quy đổi của dụng cụ đo và được nhà nước quy định cụ thể. (đôi khi người ta còn gọi đây là *sai số tương đối chiết hợp*, nó được ghi trực tiếp lên mặt dụng cụ đo).

$$\gamma_x \% = \frac{\Delta X_m}{X_m} \cdot 100\% \quad \Delta X_m \text{ là sai số tuyệt đối cực đại}$$

Ví dụ minh họa:

1. Một điện trở có giá trị trong khoảng $1,14k\Omega - 1,26k\Omega$

Tính sai số của điện trở này

Biết $R = 1,2k\Omega$ tại $25^\circ C$, tính giá trị lớn nhất tại $75^\circ C$, hệ số nhiệt là $500ppm/^\circ C$

$$\Delta R = 0,06k\Omega$$

$$\rightarrow R = 1,2 \pm 0,06 = 1,2k\Omega \pm 5\%$$

$$\text{Khi nhiệt độ tăng } 1^\circ C \text{ R tăng một lượng: } \frac{1,26 \cdot 10^3 \cdot 500}{10^6} = 0,63\Omega$$

$$\text{Vậy giá trị } R_{max} = 1,26 + 0,63 \cdot (75-25) \cdot 10^{-3} = 1,2915k\Omega$$

2. Một nguồn 12V được mắc với một điện trở $470\Omega \pm 10\%$. Điện áp của nguồn được đo bằng một vôn kế có khoảng đo 25V và độ chính xác là 3%.

Tính công suất của điện trở và sai số của phép đo

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Ta có:

Vì Vôn kế có độ chính xác là 3% với khoảng đo 25V nên sai số tuyệt đối lớn nhất gặp phải là ΔU được tính bằng:

$$\Delta U = 25V \cdot 3\% = \pm 0,75V$$

$$\rightarrow U = 12V \pm 0,75V = 12V \pm 6,25\%$$

$$\rightarrow \delta(U^2) = 2 \cdot 6,25\% = 12,5\%$$

$$\rightarrow \delta\left(\frac{U^2}{R}\right) = 12,5\% + 10\% = 22,5\%$$

$$\text{Vậy: } P = \frac{12^2}{470} \pm 22,5\%$$

3. Một Vôn kế có thang đo 30V và độ chính xác 4%, ampe kế có thang đo 100mA và độ chính xác 1% được sử dụng để đo điện áp và dòng điện qua điện trở R. Kết quả đo là 25V và 90mA. Hãy tính giá trị R và Pmin và Pmax

$$\Delta U = 30V \cdot 4\% = 1,2V \Rightarrow U = 25V \pm 1,2V = 25V \pm 4,8\%$$

$$\Delta I = 100mA \cdot 1\% = 1mA \Rightarrow I = 90mA \pm 1mA = 90mA \pm 1,1\%$$

$$\rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{25}{0,09} \pm (4,8 + 1,1)\% = 277,78\Omega \pm 5,9\%$$

$$\rightarrow P = U \cdot I = 25 \cdot 0,09 \pm (4,8 + 1,1)\% = 2,25W \pm 5,9\% = 2,25W \pm 0,13W$$

$$P_{\min} = 2,25 - 0,13 = 2,12W = 2,25 \cdot (1 - 0,059)$$

$$\text{Vậy: } P_{\max} = 2,25 + 0,13 = 2,38W = 2,25 \cdot (1 + 0,059)$$

Sau đây là một số dạng sai số cụ thể

2.1. Sai số chủ quan

- Sai số chủ quan là sai số gây ra do người sử dụng. Ví dụ như do mắt kém, do cầu thả...

- Sai số chủ quan còn do lựa chọn phương pháp đo và dụng cụ đo không hợp lý, trình độ của người sử dụng thiết bị đo không tốt, thao tác không thành thạo...

- Loại trừ sai số chủ quan thì trước khi đo phải lựa chọn phương pháp đo, dụng cụ đo phù hợp với đại lượng cần đo, đồng thời người thực hiện phép đo phải sử dụng thành thạo dụng cụ đo, phải biết cách xác định giá trị đo một cách chính xác nhất.

2.2. Sai số khách quan

- Sai số khách quan là sai số gây ra do ảnh hưởng của điều kiện bên ngoài lên đối tượng đo cũng như dụng cụ đo. Ví dụ như nhiệt độ, độ ẩm...

- Ngoài ra sai số khách quan còn do dụng cụ đo lường không hoàn hảo.

- Để loại trừ sai số khách quan ta có thể sử dụng các loại dụng cụ đo có độ

chính xác cao, thực hiện đo lường trong các điều kiện tiêu chuẩn.

2.3. Sai số hệ thống

* **Khái niệm:** Sai số này do những yếu tố thường xuyên hay các yếu tố có quy luật tác động. Nó khiến cho kết quả đo có sai số của lần đo nào cũng như nhau, nghĩa là kết quả của các lần đo đều hoặc là lớn hơn hay bé hơn giá trị thực của đại lượng cần đo.

* **Phân loại:** Tùy theo nguyên nhân tác dụng, mà sai số hệ thống có thể phân thành các nhóm sau đây:

- Do dụng cụ, máy móc đo chế tạo không hoàn hảo.

Ví dụ: kim chỉ thị của thiết bị chỉ thị không chỉ đúng vị trí ban đầu, máy móc không được chuẩn lại thang độ với các máy chuẩn ...

- Do phương pháp đo, hoặc là do cách chọn dùng phương pháp đo không hợp lý; hoặc khi xử lý kết quả đo, khi tính toán để cho đơn giản hơn đã tự ý bỏ qua một số yếu tố nào đấy. Ví dụ như bỏ qua các ảnh hưởng ghép ký sinh của mạch đo...

- Do khí hậu, ví dụ nhiệt độ, độ ẩm khi tiến hành đo khác với điều kiện khí hậu tiêu chuẩn đã quy định trong quy trình sử dụng máy đo...

* **Phương pháp loại trừ:** Việc loại trừ sai số hệ thống có thể tiến hành bằng cách:

- Chuẩn bị tốt trước khi đo: phân tích lý thuyết; kiểm tra dụng cụ đo trước khi sử dụng; chuẩn bị trước khi đo; chỉnh "0" trước khi đo...

- Quá trình đo có phương pháp phù hợp: tiến hành nhiều phép đo bằng các phương pháp khác nhau; sử dụng phương pháp thế...

- Xử lý kết quả đo sau khi đo: sử dụng cách bù sai số ngược dấu (cho một lượng hiệu chỉnh với dấu ngược lại); trong trường hợp sai số hệ thống không đổi thì có thể loại được bằng cách đưa vào một lượng hiệu chỉnh hay một hệ số hiệu chỉnh:

- + Lượng hiệu chỉnh: là giá trị cùng loại với đại lượng đo được đưa thêm vào kết quả đo nhằm loại sai số hệ thống.

- + Hệ số hiệu chỉnh: là số được nhân với kết quả đo nhằm loại trừ sai số hệ thống.

Trong thực tế không thể loại trừ hoàn toàn sai số hệ thống. Việc giảm ảnh hưởng sai số hệ thống có thể thực hiện bằng cách chuyển thành sai số ngẫu nhiên.

2.4. Sai số ngẫu nhiên

* **Khái niệm:** Sai số ngẫu nhiên là sai số do các yếu tố biến đổi bất thường,

không có quy luật tác động. Tuy ta đã cố gắng thực hiện đo lường trong cùng một điều kiện và chu đáo như nhau, nhưng vì do nhiều yếu tố không biết, không khống chế được, nên đã sinh ra một loạt kết quả đo khác nhau.

Ví dụ: - Do điện áp cung cấp của mạch đo không ổn định

- Do biến thiên khí hậu của môi trường chung quanh xảy ra trong quá trình đo lường...

* **Phương pháp loại trừ:** với sai số ngẫu nhiên, ta không thể xử lý được. Vì không biết giá trị sai số là bao nhiêu, và theo chiều hướng nào, lớn hơn hay bé hơn giá trị thực tế. Để có thể “định lượng” được giá trị sai số ngẫu nhiên, tức là đánh giá được độ chính xác của kết quả đo, thì người ta dùng công cụ toán học là lý thuyết xác suất và thống kê.

Nhiệm vụ của việc tính toán sai số ngẫu nhiên là chỉ rõ giới hạn thay đổi của sai số của kết quả đo khi thực hiện phép đo nhiều lần, như vậy phép đo nào có kết quả với sai số ngẫu nhiên vượt quá giới hạn sẽ bị loại bỏ.

- Cơ sở toán học: việc tính toán sai số ngẫu nhiên dựa trên giả thiết là sai số ngẫu nhiên của các phép đo các đại lượng vật lý thường tuân theo luật phân bố chuẩn (luật phân bố Gauss-Gauss). Nếu sai số ngẫu nhiên vượt quá một giá trị nào đó thì xác suất xuất hiện sẽ hầu như bằng không và vì thế kết quả đo nào có sai số ngẫu nhiên như vậy sẽ bị loại bỏ.

- Các bước tính sai số ngẫu nhiên:

Xét n phép đo với các kết quả đo thu được là $x_1, x_2, \dots, x_n$.

+ Tính trị số trung bình cộng của n lần đo:

$$m_x = \bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

ở đây x_i là kết quả đo thứ i , mà đã loại bỏ sai số hệ thống.

+ Tính sai số trung bình bình phương:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

Nếu tiến hành đo rất nhiều lần, có thể coi như là một số liệu kết quả đo được, để rồi lại có thể xét sự phân bố ngẫu nhiên của tập hợp n kết quả đo bằng các $\bar{X}$, ta có giá trị trung bình bình phương của các $\bar{X}$ là:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

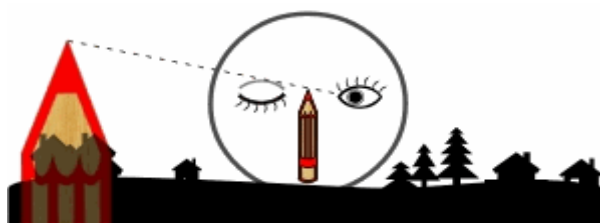
Để đảm bảo độ tin cậy phép đo ta thường lấy: $X = \bar{X} \pm 3 \cdot \sigma_{\bar{X}}$

3. THỊ SAI

3.1. Khái niệm

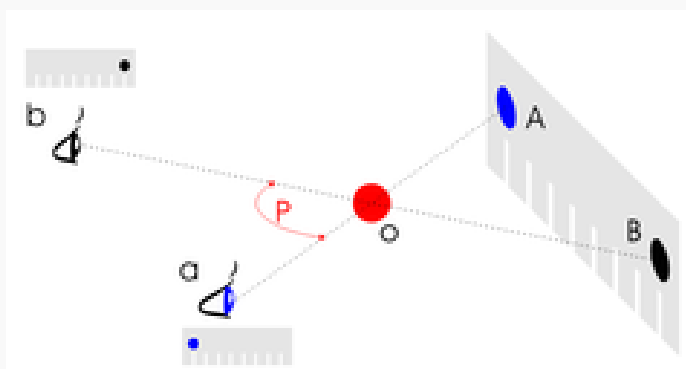
Thị sai là góc giữa hai đường thẳng đi qua hai điểm trong không gian đến vật thể được quan sát. Thị sai còn được dùng để định nghĩa sự thay đổi vị trí biểu kiến của một điểm trên một nền quan sát, khi nó được quan sát từ hai vị trí khác nhau. Vật thể càng xa vị trí quan sát, thì thị sai càng nhỏ.

Một ví dụ đơn giản về thị sai là việc quan sát vật thể đặt gần mắt người và được quan sát lần lượt bằng mắt trái hoặc mắt phải. Khi đó ảnh của vật thể sẽ chuyển dời biểu kiến so với nền quan sát. Vật thể đặt càng gần mắt thì chuyển dịch biểu kiến càng lớn.



Minh họa về thị sai.

3.2. Thị sai trong thiên văn học



Thị sai **P**, vị trí quan sát **a, b**; vị trí biểu kiến **A, B** của thiên thể **o** trên thiên cầu.

Thị sai trong thiên văn học là góc giữa hai hướng đi qua hai vị trí khác nhau đến thiên thể được quan sát. Khoảng cách của các vật thể trong vũ trụ và cả trên bề mặt Trái Đất được tính toán bằng cách xác định thị sai, vì thế thị sai trong thiên văn học thường được hiểu là khoảng cách.

Thị sai xuất hiện từ thay đổi vị trí biểu kiến của vật thể trên thiên cầu, được gây ra do sự thay đổi điểm gốc của hệ tọa độ gắn với người quan sát. Vị trí tức thời của một thiên thể là hình chiếu của thiên thể đó trên thiên cầu, theo tia chiếu đi qua vị trí người quan sát. Hình chiếu này phụ thuộc vào vị trí của người quan sát, vì từ các vị trí khác nhau trên bề mặt Trái Đất hay trong không gian, thiên thể được chiếu vào nhiều hướng khác nhau.

Sự thay đổi vị trí quan sát đối với thiên thể được quan sát là kết quả của chuyển động xoay của Trái Đất quanh trục của mình, chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời và chuyển động của Hệ Mặt Trời trong không gian. Những chuyển động tự nhiên này tạo ra khoảng cách giữa hai vị trí quan sát. Khi khoảng cách này càng lớn, thì sai càng lớn, ứng với khả năng xác định khoảng cách của thiên thể càng cao.

3.3. Thang khoảng cách vũ trụ

Thị sai là một nấc thang trong chiếc thang khoảng cách vũ trụ. Bằng cách đo khoảng cách đến một số các ngôi sao gần đó, các nhà thiên văn học đã có thể thiết lập mối liên hệ giữa màu sắc của một ngôi sao và độ sáng bản chất của nó, ví dụ, độ sáng khi quan sát từ một khoảng cách chuẩn. Những ngôi sao này sau đó trở thành những "ngọn nến chuẩn".

Sau đó nếu một ngôi sao ở quá xa để có thể đo thị sai của nó, các nhà thiên văn học có thể so sánh màu sắc của nó với quang phổ của một trong số các ngọn nến chuẩn và xác định độ sáng bản chất của nó. So sánh độ sáng này với độ sáng biểu kiến, chúng ta có thể có được phép đo tốt khoảng cách của nó bằng cách áp dụng quy luật $1/r^2$. Quy luật này chỉ ra rằng độ sáng biểu kiến của một nguồn sáng tỷ lệ thuận với bình phương khoảng cách của nó. Nếu bạn chiếu một hình vuông $1 \times 1\text{cm}^2$ lên màn hình, sau đó di chuyển máy chiếu ra khoảng cách xa gấp đôi, thì ảnh mới sẽ có diện tích gấp bốn ($2 \times 2\text{cm}^2$) so với ảnh cũ. Ánh sáng lan ra một diện tích lớn hơn 4 lần, và nó sẽ chỉ sáng bằng 1/4 so với khi chiếu ở khoảng cách gần hơn một nửa. Nếu bạn di chuyển máy chiếu ra xa gấp 3 lần, thì ánh sáng sẽ che phủ 9cm^2 và chỉ sáng bằng 1/9 mà thôi.

Nếu một ngôi sao được đo bằng cách này đến một phần của một cụm sao xa, chúng ta có thể giả định rằng tất cả các ngôi sao đó là có cùng khoảng cách, và chúng ta có thể thêm chúng vào danh sách các ngọn nến chuẩn.