

TRẦN BẢO (Chủ biên) - TRẦN QUANG UY

EBOOKBKMT.COM
Tài liệu kỹ thuật miễn phí

CƠ SỞ ĐO LƯỜNG HỌC



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

TRẦN BẢO (Chủ biên) – TRẦN QUANG UY

EBOOKBKMT.COM
Tài liệu kỹ thuật miễn phí

CƠ SỞ ĐO LƯỜNG HỌC

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

Lời nói đầu

Cùng với sự phát triển của xã hội loài người, việc nghiên cứu, tìm hiểu về các phép đo cũng ngày càng phát triển. Hiện nay, đã hình thành một lĩnh vực khoa học là “đo lường học”, tương ứng với thuật ngữ tiếng Anh là “metrology”. Đo lường học được định nghĩa là khoa học về phép đo, nó bao gồm tất cả các khía cạnh lý thuyết và thực tiễn có liên quan đến phép đo, với bất kỳ độ không đảm bảo đo nào của phép đo và trong tất cả các lĩnh vực khoa học hoặc công nghệ nào mà phép đo xuất hiện.

CƠ SỞ ĐO LƯỜNG HỌC tóm lược những nội dung cơ bản và tổng quát của khoa học đo. Cuốn sách bao gồm những nội dung chính:

Chương 1. Đối tượng và nhiệm vụ của Đo lường học

Chương 2. Đại lượng, đơn vị và hệ đơn vị

Chương 3. Chuẩn đo lường

Chương 4. Sai số của phép đo

Chương 5. Độ không đảm bảo đo

Chương 6. Phương pháp đo và phân loại phương pháp đo

Chương 7. Phương tiện đo

Chương 8. Hiệu chuẩn phương tiện đo và liên kết chuẩn đo lường

Đây là môn học rất cần thiết không những cho sinh viên các trường Đại học, Cao đẳng và Trung cấp mà còn cho tất cả mọi người quan tâm đến lĩnh vực Đo lường học, một vấn đề rất thời sự hiện nay.

Lần đầu xuất bản, cuốn sách không thể tránh khỏi những thiếu sót. Rất mong nhận được những ý kiến đóng góp của bạn đọc, các góp ý xin gửi về: Công ty Cổ phần Sách Đại học Dạy nghề – Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, 25 Hàn Thuyên, Hà Nội. Điện thoại: 043.8264974; hoặc gọi trực tiếp cho tác giả theo số 0982 793 776. Hội Đo lường Việt Nam, Số 8 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội.

Xin chân thành cảm ơn.

TÁC GIẢ

Chương 1

ĐỐI TƯỢNG VÀ NHIỆM VỤ CỦA ĐO LƯỜNG HỌC

1.1. ĐO LƯỜNG HỌC – KHOA HỌC VỀ CÁC PHÉP ĐO

Ngay từ thời cổ xưa, khi biết cách chế tạo công cụ lao động để sản xuất ra của cải vật chất, con người đã có nhu cầu cân, đong, đo, đếm. Những đại lượng được đo đầu tiên là những đại lượng liên quan mật thiết đến đời sống con người như độ dài (ước lượng khoảng cách từ nơi định cư của bộ lạc tới địa điểm săn bắn), khối lượng (xác định lượng ngũ cốc hoặc sản phẩm quý như kim loại, đá quý), dung tích (xác định lượng rượu trong các chum vại), thời gian (định lịch làm mùa, sắp xếp công việc trong ngày). Sau này, do yêu cầu xây dựng các thành lũy, lăng tẩm, đền đài... của vua chúa, các phép đo về diện tích, thể tích và góc, cạnh của các khối hình học phức tạp khác nhau cũng được phát triển nhanh chóng.

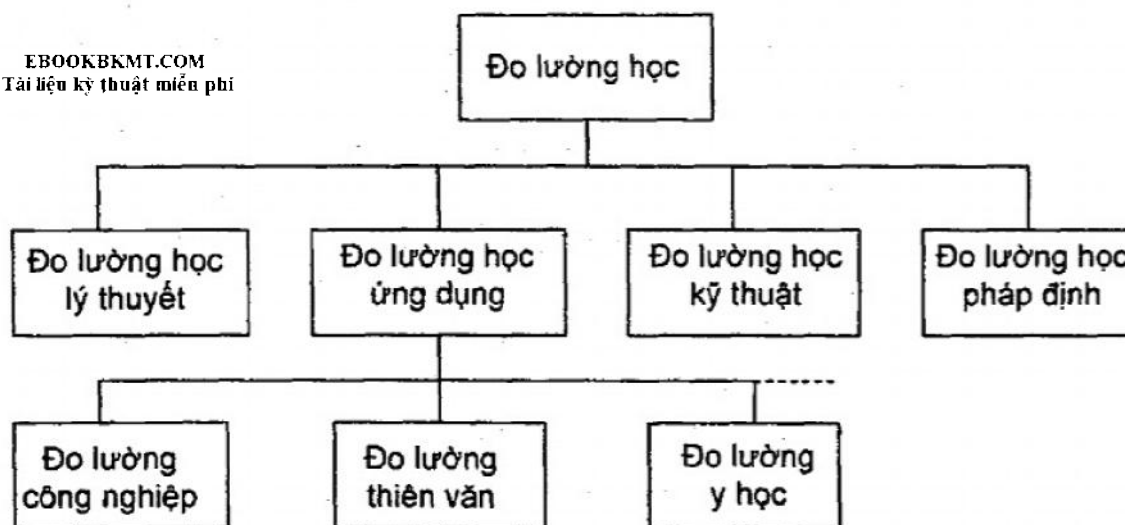
Các phép đo không chỉ giúp định lượng những mối quan hệ đã biết về mặt định lượng, mà quan trọng hơn còn là để hiểu biết được sâu sắc các hiện tượng tự nhiên, giúp con người thích nghi với thế giới trong đó mình tồn tại. Lord Kelvin, nhà vật lý học người Anh (1824 – 1907) đã nói: “Nếu bạn có thể đo được sự vật, hiện tượng và quá trình đang nói tới và biểu thị nó bằng các con số thì có thể nói rằng bạn đã hiểu biết phần nào về những đối tượng đó, đã nhận thức được đối tượng đó”.

Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6165:1996 Đo lường học – Thuật ngữ chung và cơ bản (TCVN 6165:1996 hoàn toàn tương đương với tiêu chuẩn quốc tế VIM:1993 International vocabulary of basic and general terms in metrology), phép đo được định nghĩa là tập hợp các thao tác để xác định giá trị của đại lượng. VIM:2007 định nghĩa phép đo là quá trình đạt được bằng thực nghiệm một hay một số giá trị đại lượng có thể quy cho đại lượng một cách hợp lý. Những nội dung được trình bày trong các phần tiếp theo sẽ làm rõ thêm định nghĩa này. Có thể nói vắn tắt bản chất của phép đo chính là việc so sánh đại lượng cần đo với một đại lượng cùng loại đã được

chọn làm đơn vị. Ví dụ, đo độ dài của tấm vải là so sánh độ dài đó với một độ dài đã được chọn làm đơn vị là “mét” để xem nó lớn hơn hay bé hơn “mét” bao nhiêu lần.

Cùng với sự phát triển của xã hội loài người, việc nghiên cứu, tìm hiểu về các phép đo cũng ngày càng phát triển. Hiện nay đã hình thành một lĩnh vực khoa học là “đo lường học”, tương ứng với thuật ngữ tiếng Anh là “metrology”. Đo lường học được định nghĩa là khoa học về phép đo. Nó bao gồm tất cả các khía cạnh lý thuyết và thực tiễn có liên quan đến phép đo, với bất kỳ độ không đảm bảo đo nào của phép đo và trong tất cả các lĩnh vực khoa học hoặc công nghệ nào mà phép đo xuất hiện.

EBOOKBKMT.COM
Tài liệu kỹ thuật miễn phí



Hình 1.1. Sơ đồ phân loại đo lường học

Có thể đề cập tới các lĩnh vực chủ yếu của đo lường học sau đây:

Đo lường học lý thuyết (còn gọi là lý thuyết đo – theoretical metrology): là phần đo lường học nghiên cứu những vấn đề lý thuyết chung về phép đo như: đại lượng, đơn vị, xử lý kết quả đo...

Đo lường học ứng dụng (applied metrology): là phần đo lường học nghiên cứu về các phép đo trong một lĩnh vực nhất định. Đo lường học ứng dụng lại có thể phân ra theo đại lượng như: đo độ dài, đo khối lượng, đo áp suất... hoặc theo lĩnh vực áp dụng như: đo lường công nghiệp, đo lường thiên văn, đo lường y học...

Đo lường học kỹ thuật (còn gọi là kỹ thuật đo – technical metrology): là phần đo lường học nghiên cứu kỹ thuật thực hiện phép đo, tức nghiên cứu về phương tiện đo như các đặc trưng kỹ thuật và đo lường của phương tiện đo, phân loại phương tiện đo, định mức sai số và cấp chính xác của phương tiện đo...

Đo lường học pháp định (legal metrology): là phần đo lường học nghiên cứu về đơn vị đo, phương pháp và phương tiện đo trong mối liên quan với những yêu cầu có tính chất bắt buộc về mặt kỹ thuật và pháp lý nhằm mục đích duy trì sự đảm bảo chung trên quan điểm an toàn và sai số đo hợp lý.

Đến đây, cần làm rõ thêm một vài khía cạnh xung quanh thuật ngữ “đo lường” đang được dùng phổ biến trong đời sống, sản xuất, tài liệu khoa học kỹ thuật cũng như trong nhiều văn bản của Nhà nước.

Có thể hiểu “đo lường” là “phép đo” hoặc lĩnh vực khoa học nghiên cứu về phép đo, tức “đo lường học”, tùy theo ngữ cảnh khi nó được dùng như là một danh từ. Có thể hiểu “đo lường” là “đo”, là một thao tác cụ thể nhằm xác định giá trị của đại lượng khi nó được dùng như một động từ. Cũng có thể dùng thuật ngữ này như một tính từ để chỉ một vấn đề, một nội dung nào đó có liên quan đến việc xác định giá trị của đại lượng, ví dụ như “hoạt động đo lường”, “quản lý đo lường”, “đảm bảo đo lường cho chất lượng sản phẩm”...

1.2. MỘT SỐ VẤN ĐỀ CỦA ĐO LƯỜNG HIỆN ĐẠI

Hiện nay, đo lường học đang đứng trước nhiều nhiệm vụ quan trọng. Giải quyết tốt các nhiệm vụ này, đo lường học sẽ đóng góp tích cực vào việc thúc đẩy tiến bộ khoa học, công nghệ và nâng cao hiệu quả chung của nền kinh tế quốc dân.

Trước hết, đó là vấn đề thống nhất đơn vị đo theo Hệ đơn vị quốc tế (SI), hệ đơn vị tiên tiến nhất hiện nay. Giải quyết được vấn đề này sẽ tạo ra những tiền đề thuận lợi cho việc trao đổi, giao lưu kinh tế và khoa học kỹ thuật.

Trong nhiều ngành khoa học kỹ thuật hiện nay đã xuất hiện các yêu cầu về độ chính xác của phép đo bằng với độ chính xác của một số chuẩn cao nhất. Tiếp tục hoàn thiện và nâng cao độ chính xác của chuẩn cao nhất đang là một yêu cầu bức thiết. Người ta rất quan tâm đến việc sử dụng các hằng số vật lý cơ bản và các hằng số nguyên tử để giải quyết nhiệm vụ này.

Độ chính xác của các chuẩn ngày càng cao, số phương tiện đo được sản xuất và sử dụng ngày càng nhiều làm cho vấn đề truyền đạt đơn vị từ chuẩn cao nhất xuống đến các phương tiện đo thông thường nhất càng trở nên quan trọng và phức tạp. Đo lường học phải nghiên cứu các phương tiện

và phương pháp để giải quyết tốt vấn đề này với mức độ suy giảm độ chính xác và chi phí ít nhất.

Nhu cầu mở rộng các phép đo chính xác đến miền giá trị rất lớn và rất bé của đại lượng đo (khối lượng rất lớn, rất bé; tần số, nhiệt độ, áp suất siêu cao và siêu thấp...) đòi hỏi phải truyền đạt cỡ đơn vị đến các phương tiện đo hoạt động trong dải giá trị trên. Không thể giải quyết yêu cầu này nếu chỉ dùng một chuẩn cao nhất cho một loại đại lượng nào đó, đo lường học phải nghiên cứu chế tạo những chuẩn đặc biệt, độc lập với nhau cho mỗi loại đại lượng ấy để các hệ thống đo đáp ứng nhiệm vụ trên.

Một vấn đề cũng rất có ý nghĩa đối với đo lường học là nâng cao độ chính xác của các phép đo trong những điều kiện rất không ổn định, trong chế độ động, với các gia tốc lớn; ở nhiệt độ, áp suất và tần số cao nhất, thấp nhất...

Sự phát triển của hệ thống đo lường và đo lường – điều khiển đã làm thay đổi về chất lượng bản thân quá trình đo. Ngoài các đại lượng ra, người ta còn so sánh được cả các quá trình có nhiều tham số và đặc trưng. Đo lường học cần nghiên cứu để đảm bảo tính thống nhất, đúng đắn và chính xác của lĩnh vực đo lường – điều khiển này.

Hiện nay, các vấn đề về số hoá, tự động hoá, tin học hoá quá trình đo; các vấn đề về công nghệ tiết kiệm năng lượng và nguồn lực sẽ có ảnh hưởng quyết định đến sự phát triển tương lai của khoa học và công nghệ. Đo lường học là một bộ phận có tính chất quyết định trong những công nghệ này của thế kỷ XXI. Những lĩnh vực đo sau đây có khả năng phát triển rất mạnh mẽ:

- Vi điện tử;
- Công nghệ nano;
- Công nghệ hệ thống micro;
- Photon học;
- Siêu dẫn;
- Phần mềm.

Đo lường trong lĩnh vực hoá học cũng rất quan trọng đối với sức khoẻ, y học, nông nghiệp, thực phẩm, môi trường, hoá phân tích... Vấn đề liên kết các đại lượng vật lý trong hoá học với đơn vị cơ bản mol và các đơn vị dẫn xuất SI khác cũng đang cần giải quyết.

Trong lĩnh vực lý thuyết, nhiệm vụ quan trọng là tiếp tục phát triển lý thuyết toán thống kê và hàm ngẫu nhiên để ứng dụng vào việc xử lý các kết quả đo, thống nhất cách tính toán và trình bày độ không đảm bảo của phép đo (độ không đảm bảo đo).

Việc áp dụng rộng rãi các phương pháp kiểm tra và điều chỉnh tự động yêu cầu bổ sung thêm cho hoàn chỉnh các khái niệm và quan niệm đo lường đã được hình thành. Các phương pháp và phương tiện đo dùng trong y học, trong xây dựng, trong công nghiệp hoá và trong các lĩnh vực khoa học – công nghệ khác đòi hỏi phải hoàn thiện thêm. Đặc biệt các phương pháp và phương tiện đo dùng trong thử nghiệm và kiểm tra chất lượng sản phẩm đang ngày càng là một nội dung quan trọng của đo lường học. Đã hình thành và ngày càng phát triển một lĩnh vực đo mới: lĩnh vực đo lường chất lượng.

Trong lĩnh vực đo lường học pháp định cần nghiên cứu các biện pháp về quản lý, các quy định, các điều lệ... làm cơ sở pháp lý cho việc đảm bảo tính thống nhất và độ chính xác cần thiết của phép đo trong từng nước cũng như trên toàn thế giới.

Đo lường học và tiêu chuẩn hoá có mối liên hệ mật thiết với nhau. Cần nghiên cứu để giải quyết một số vấn đề của đo lường học bằng con đường tiêu chuẩn hoá như vấn đề thống nhất đơn vị đo, vấn đề xây dựng các cơ sở pháp lý để đảm bảo tính thống nhất và độ chính xác cần thiết của các phép đo và phương tiện đo...

Những vấn đề trên cũng đang đặt ra đối với các cán bộ nghiên cứu khoa học đo lường ở nước ta, có khác chăng so với các nước tiên tiến chỉ là ở phạm vi và trình độ của những vấn đề cần giải quyết mà thôi.

1.3. CÁC TỔ CHỨC ĐO LƯỜNG QUỐC TẾ

1.3.1. Công ước Mét và Viện cân đo quốc tế (BIPM)

Năm 1790, Quốc hội lập hiến Pháp quyết định xây dựng một hệ đơn vị đo lường làm “mẫu mực” cho toàn thế giới, đó là “Hệ mét” (xem mục 2.7.1).

Năm 1875, “Hội nghị quốc tế về mét” được tổ chức tại Paris, gồm đại biểu của 17 nước công nghiệp tiên tiến nhất châu Âu lúc ấy như: Pháp, Đức, Anh, Áo, Bỉ, Canada, Bungari, Nga, Thụy Sĩ, Thụy Điển... Ngày 20/05/1875, Hội nghị đã thông qua và ký kết “Công ước Mét” (La Convention du Mètre) công nhận Hệ mét làm cơ sở để thống nhất đo lường trong từng nước và giữa các nước với nhau và quyết định thành lập Viện cân đo quốc tế (Le Bureau International des Poids et Mesures – BIPM) có trụ sở đặt tại dinh Breteuil (Sèvres, gần Paris).

Cơ quan cao nhất của Công ước Mét là Đại hội cân đo toàn thể (La Conférence Générale des Poids et Mesures – CGPM), còn gọi là Đại hội cân đo quốc tế, gồm đại diện của cơ quan Chính phủ tất cả các nước thành viên. Đại hội cử ra Ủy ban cân đo quốc tế (Le Comité International des Poids et Mesures – CIPM) gồm 18 thành viên, họp thường kỳ hàng năm tại BIPM. Giữa hai kỳ CGPM, CIPM chịu trách nhiệm thực hiện các công việc đã được Đại hội quyết định, chỉ đạo và giám sát hoạt động thường xuyên của BIPM và định kỳ báo cáo cho Chính phủ các nước thành viên, chuẩn bị các báo cáo và đề nghị để trình ra CGPM và thực hiện các công việc khác của Công ước. Đại hội cân đo toàn thể – CGPM họp ít nhất 6 năm một lần để thông qua báo cáo của Ủy ban cân đo quốc tế – CIPM về kết quả công việc đã tiến hành; phê chuẩn các định nghĩa mới về đơn vị cơ bản, về tổ chức của Viện cân đo quốc tế – BIPM; thảo luận các vấn đề cần nghiên cứu để phổ biến và phát triển Hệ đơn vị quốc tế – SI. Đến nay đã có gần 60 nước thuộc mọi châu lục tham gia là thành viên của Công ước Mét. Việt Nam đã tham gia Công ước Mét với tư cách là thành viên hợp tác từ năm 2004.

Viện cân đo quốc tế (BIPM) được thành lập năm 1875 theo quyết định của các nước tham gia Công ước Mét như đã nói ở trên. Với tư cách là một trung tâm khoa học quốc tế về đo lường, BIPM có các nhiệm vụ sau đây:

- Thiết lập chuẩn và các thang đo lường cơ bản cho những đại lượng vật lý quan trọng;
- Bảo quản các chuẩn gốc quốc tế;
- Tiến hành so sánh các chuẩn quốc gia với chuẩn quốc tế;
- Thực hiện và phối hợp việc xác định các hằng số vật lý cơ bản liên quan đến đơn vị và chuẩn đơn vị đo lường.

1.3.2. Tổ chức đo lường pháp định quốc tế (OIML)

Ngày 12/10/1955 tại Paris, các nước phát triển như Mỹ, Liên Xô (cũ), Pháp, Anh, Nhật, Ba Lan, Áo, Thụy Sĩ, Hà Lan, Đức, Tiệp Khắc, Bỉ, Đan Mạch... đã cùng nhau ký kết Công ước thành lập “Tổ chức đo lường pháp định quốc tế” (La Convention Institute une Organisation Internationale de Métrologie Légale) viết tắt theo tiếng Pháp là OIML. Đây là một tổ chức liên chính phủ với mục tiêu chủ yếu là điều hoà, phối hợp trên phạm vi quốc tế những quy định mang tính chất quản lý và kỹ thuật đối với phương tiện đo ở những nước khác nhau. Công việc này không chỉ tạo thuận lợi cho giao lưu giữa các nước về phương tiện đo mà cả trong việc trao đổi các hàng hoá, dịch vụ thương mại khác nữa. Đến nay đã có gần 100 nước trên toàn thế giới tham gia OIML, gồm trên 50 nước là thành viên chính thức và trên 40 nước là thành viên hợp tác. Việt Nam là thành viên hợp tác của OIML từ năm 1994.

Cơ quan cao nhất của OIML là Hội nghị quốc tế về đo lường pháp định (La Conférence Internationale de Métrologie Légale), gồm đại diện của tất cả các nước thành viên, thường không quá 6 năm họp một lần. Những khuyến nghị có tính chất quốc tế của OIML được thông qua tại các Hội nghị này. Hội nghị cử ra Ủy ban quốc tế về đo lường pháp định (Le Comité International de Métrologie Légale – CIML) gồm đại diện của tất cả các nước thành viên do Chính phủ nước đó chỉ định. Ủy ban họp thường kỳ hàng năm và có nhiệm vụ chuẩn bị cũng như thực hiện các quyết định của Hội nghị quốc tế về đo lường hợp pháp, giám sát hoạt động các Ban kỹ thuật... Thành phần của các Ban kỹ thuật do CIML quyết định dựa trên đăng ký tự nguyện của các nước thành viên. Nhiệm vụ của các Ban kỹ thuật này là dự thảo và soát xét các khuyến nghị và các tài liệu của OIML. Các khuyến nghị và các tài liệu này sau khi được CIML hoặc Hội nghị quốc tế về đo lường pháp định thông qua sẽ là căn cứ để các nước thành viên phối hợp các quy định luật pháp về đo lường với nhau trên phạm vi toàn thế giới.

Chương 2

ĐẠI LƯỢNG, ĐƠN VỊ VÀ HỆ ĐƠN VỊ

2.1. ĐẠI LƯỢNG

Theo TCVN 6165:1996 VIM:1993, đã định nghĩa đại lượng đo được (gọi tắt là đại lượng) là “thuộc tính của một hiện tượng, vật thể, hoặc chất có thể phân biệt được về mặt định tính và xác định được về mặt định lượng”. VIM:2007 định nghĩa đại lượng là tính chất của một hiện tượng, vật thể hoặc chất mà độ lớn của nó có thể được diễn đạt bằng một số và một mốc quy chiếu; mốc quy chiếu ở đây có thể là đơn vị đo, thủ tục đo, mẫu chuẩn hoặc một tổ hợp của chúng.

Có thể xem xét đại lượng dưới hai khía cạnh: định tính và định lượng.

Về mặt định tính, có thể quy cho khái niệm “đại lượng” những ý nghĩa chung, tức có thể chia đại lượng thành từng loại đại lượng như độ dài, khối lượng, thời gian, thể tích, nhiệt độ, áp suất, cường độ dòng điện, điện trở, điện áp... Những đại lượng thuộc cùng một loại có thể so sánh với nhau.

Về mặt định lượng, mỗi loại đại lượng trên lại có thể biểu hiện ra dưới nhiều hình thức và mức độ riêng biệt khác nhau. Như chu vi, đường kính của một hình tròn; chiều dài, chiều rộng, chiều cao một cái bàn; rất lớn như khoảng cách từ trái đất đến mặt trăng; rất nhỏ như bán kính của các hạt sơ cấp... đều thuộc loại đại lượng “độ dài”. Lượng gạo chứa trong một bì gạo, lượng kim loại trong một dây dẫn điện, lượng xi măng trong một bao chứa... đều thuộc loại đại lượng “khối lượng”...

Để mô tả sự khác nhau về mặt số lượng giữa các đại lượng, người ta đưa ra khái niệm “kích thước” của một đại lượng với ý nghĩa là hàm lượng về mặt số lượng của nó.

Giữa các kích thước của từng loại đại lượng tồn tại những mối liên hệ nhất định nào đó. Nghiên cứu chi tiết những mối liên hệ này, thấy chúng có

cấu trúc về mặt logic giống như mối liên hệ giữa các dạng số (số nguyên, số hữu tỷ, số thực, vectơ, ma trận...). Vì vậy, có thể dùng tập hợp các dạng số với những mối liên hệ xác định giữa chúng (như “lớn hơn”, “nhỏ hơn”, “bằng”, “tổng”,...) làm mô hình cho đại lượng, cũng có ý nghĩa là cho các kích thước của đại lượng với những mối liên hệ xác định giữa các kích thước này. Nếu giữa mô hình và bản thân đại lượng có một sự phù hợp đủ chính xác và chặt chẽ thì việc nghiên cứu các đại lượng và mối liên hệ giữa các đại lượng này có thể chuyển về việc nghiên cứu các mô hình của nó. Sự có mặt mối liên hệ này hay mối liên hệ khác trong tập hợp các kích thước của đại lượng xác định các nguyên tắc, mà theo đó dạng số có thể dùng làm kích thước của đại lượng. Theo những mối liên hệ này, có thể chia đại lượng thành ba nhóm. Việc đo các đại lượng của ba nhóm được thực hiện khác nhau về nguyên tắc.

Nhóm thứ nhất là các đại lượng mà trong tập hợp các kích thước của nó chỉ có mối liên hệ kiểu “rắn hơn” “mềm hơn”; “nóng hơn”, “lạnh hơn”, “nóng như nhau”... Trong toán học mối liên hệ này gọi là mối liên hệ thứ bậc và tương đương. Những mối liên hệ như vậy được xây dựng bắt nguồn từ những kiến thức vật lý đại cương hoặc từ thực nghiệm với sự giúp đỡ của các phương tiện kỹ thuật (phương tiện đo) hay của người quan sát. Hầu như không có khó khăn gì để nhận thấy gỗ thì rắn hơn cao su, nhưng để phân biệt được sự khác nhau về độ cứng giữa các mẫu độ cứng thì phải có các phương tiện đo. Thuộc nhóm đại lượng này, ví dụ như độ cứng được định nghĩa là khả năng của một vật chống lại sự xâm nhập của một vật khác vào nó, hoặc như nhiệt độ được hiểu đơn giản là mức độ nóng của một vật.

Nhóm đại lượng thứ hai có đặc điểm là mối liên hệ thứ bậc và tương đương không chỉ có giữa các kích thước của đại lượng mà còn có giữa hiệu của các cặp kích thước. Thuộc nhóm đại lượng này, ví dụ như thời gian, điện thế, năng lượng, nhiệt độ xác định theo nhiệt kế thủy ngân... Khả năng so sánh hiệu của các kích thước bắt nguồn từ chính định nghĩa của đại lượng, như hiệu nhiệt độ được xem là bằng nhau nếu khoảng cách giữa các vạch tương ứng trên thang nhiệt kế thủy ngân là bằng nhau. Phương pháp khắc độ của thang đo trong trường hợp này không có ý nghĩa quyết định. Hiển nhiên là việc kiểm tra sự bằng nhau của các hiệu nhiệt độ với quan niệm giản đơn nhiệt độ là mức độ nóng của một vật là không thể thực hiện được.

Thuộc nhóm thứ ba là những đại lượng mà trong tập hợp các kích thước của nó ngoài các mối liên hệ đã nêu trên còn tồn tại mối liên hệ gọi là các phép toán tương tự như phép cộng và phép trừ số học. Phép toán được coi là xác định nếu kết quả của nó (tổng hoặc hiệu) cũng là kích thước của chính đại lượng vật lý đó và tồn tại một phương pháp kỹ thuật để thực hiện nó. Phép cộng đồng thời xác định phép nhân kích thước của đại lượng với một số nguyên bất kỳ nào đó. Kết quả phép nhân như vậy chính là một tổng đơn giản kích thước của đại lượng đã cho. Thuộc nhóm này, ví dụ như độ dài, khối lượng, áp suất, nhiệt độ nhiệt động lực...

Tổng hai khối lượng đặt trên một đĩa cân hai cánh tay đòn bằng nhau chính là khối lượng cần đặt lên đĩa cân bên kia để làm cho cân trở về thăng bằng; còn hiệu hai khối lượng chính là khối lượng cần thêm vào bên đĩa cân nhẹ hơn để cân trở về thăng bằng. Điện thế hoặc thời gian không phải là một đại lượng như vậy vì hiệu hai điện thế không còn là điện thế nữa, hiệu hai thời điểm không còn là thời điểm nữa.

Cần lưu ý rằng định nghĩa của nhiều đại lượng không phải là không thay đổi. Nó thường xuyên được làm cho chính xác thêm. Việc làm chính xác thêm định nghĩa của các đại lượng được tiến hành theo hướng cho phép ngày càng khám phá ra nhiều hơn những mối liên hệ trong tập hợp các kích thước, từ đó cho phép đưa chúng vào nhóm đại lượng thứ ba hoặc thứ hai để có thể làm đơn giản biểu thức giải tích của các định luật vật lý.

Không phải là ngẫu nhiên mà nhiệt độ được nhắc tới ở cả ba nhóm. Đầu tiên, nhiệt độ được định nghĩa là mức độ nóng của một vật. Với định nghĩa đó, chỉ có thể đưa nhiệt độ vào các định luật vật lý dưới một dạng không tường minh, ví dụ, phương trình trạng thái của khí lý tưởng trong trường hợp này chỉ có thể viết dưới dạng:

$$pV = f(\theta)$$

với $f(\theta)$ là một hàm số nào đó hoàn toàn không xác định của nhiệt độ.

Định nghĩa nhiệt độ gắn với thang nhiệt kế thủy ngân đã cho phép đưa nhiệt độ vào nhóm đại lượng thứ hai và nhờ đó đã đưa được nó vào một số phương trình vật lý tuy còn rất hạn chế. Chỉ với định nghĩa nhiệt độ gắn với thang nhiệt độ nhiệt động lực của Kenvin và sự dẫn nở của khí lý tưởng, nhiệt độ mới được đưa vào nhóm thứ ba, mới thực sự trở thành một đại lượng đo được (xem phần chuẩn đơn vị nhiệt độ Kenvin).

VIM:2007 đã trình bày khái niệm “đại lượng thứ tự” (ordinal quantity): đại lượng thứ tự là đại lượng được định nghĩa bằng một thủ tục đo quy ước, có mối liên hệ thứ tự tổng quát theo độ lớn với các đại lượng khác cùng loại được định nghĩa, nhưng giữa các đại lượng đó không có các phép toán đại số. Ví dụ như độ cứng Rockwell C, số octan của xăng dầu, cường độ động đất theo thang Richter...

2.2. MÔ TẢ ĐỊNH LƯỢNG ĐẠI LƯỢNG

Để có thể mô tả định lượng các đại lượng, tức để đo nó, cần xây dựng khái niệm “phép chuyển đổi đo lường”. Phép chuyển đổi đo lường là việc thiết lập mối quan hệ đơn trị giữa các kích thước của hai đại lượng; trong phép chuyển đổi đó mọi mối liên hệ và các phép toán đã được xác định cho một tập hợp nào đó các kích thước của đại lượng chuyển đổi là được bảo toàn. Trong đa số trường hợp, các phép chuyển đổi đo lường được thực hiện bằng các phương tiện kỹ thuật gọi là “bộ chuyển đổi đo”. Đại lượng chuyển đổi gọi là đại lượng vào, kết quả của sự chuyển đổi gọi là đại lượng ra. Tập hợp các kích thước của đại lượng vào – đại lượng chịu sự chuyển đổi bằng bộ chuyển đổi đo – gọi là dải chuyển đổi.

Phép chuyển đổi đo lường là tuyến tính nếu khi ta tăng đại lượng chuyển đổi Q lên ΔQ thì đại lượng ra R – kết quả của phép chuyển đổi – cũng tăng (hoặc giảm) ΔR và khi tăng ΔQ lên n lần thì ΔR cũng sẽ tăng (hoặc giảm) n lần. Tất nhiên ΔQ và n phải sao cho Q và $Q+\Delta Q$ nằm trong dải chuyển đổi.

Dễ dàng thấy rằng nhờ các phép cộng kích thước của nhóm ba và hiệu các kích thước của nhóm hai cũng như phép nhân chúng với một số nguyên nào đó có thể kiểm tra về lý thuyết và thực nghiệm phép chuyển đổi tuyến tính giữa các đại lượng đó với nhau. Tất cả các đại lượng này đều có thể chuyển đổi lẫn nhau bằng phép chuyển đổi đo lường tuyến tính. Còn sự tuyến tính của phép chuyển đổi đo lường có sự tham gia của các đại lượng thuộc nhóm một là không thể kiểm tra được.

Từ phép cộng và phép nhân các kích thước thuộc nhóm đại lượng thứ ba, có thể lập biểu thức:

$$nQ = m[Q]$$

Trong đó: Q là kích thước của đại lượng, $[Q]$ là một kích thước nào đó của đại lượng cùng loại được chọn làm đơn vị, m và n là những số nguyên dương bất kỳ.

Từ mối liên hệ trên, ta có:

$$Q = q[Q], \text{ với } q = \frac{m}{n} \quad (2.1)$$

q là trị số và $q[Q]$ là giá trị của đại lượng Q . Trong TCVN 6165:1996 đã định nghĩa giá trị đại lượng là “độ lớn của một đại lượng riêng biệt thường được diễn tả bằng một đơn vị đo nhân với một số” và trị số của đại lượng là “thương số giữa giá trị của đại lượng và đơn vị dùng để biểu thị nó”. Ví dụ: 12 m; 5,3 kg là giá trị độ dài, khối lượng của một vật, trong đó trị số là 12 và 5,3. Từ khái niệm về giá trị và trị số, có thể định nghĩa đơn vị là đại lượng mà trị số của nó được quy định là bằng 1.

VIM:2007 đã định nghĩa giá trị đại lượng một cách tổng quát hơn: giá trị đại lượng là một số và một sự quy chiếu cùng nhau thể hiện độ lớn của đại lượng. Tùy theo sự quy chiếu, giá trị đại lượng có thể là tích của một số và đơn vị đo; một số và sự quy chiếu về một thủ tục đo hoặc một số và một mẫu chuẩn.

Từ (2.1) suy ra rằng, trị số của đại lượng thuộc nhóm thứ ba cho biết giá trị của đại lượng cần đo lớn hơn hoặc nhỏ hơn bao nhiêu lần giá trị được coi làm đơn vị. Đó chính là bản chất của phép đo đã nói tới ở phần trên.

Phương trình cơ bản của phép đo (2.1) chỉ ra rằng trị số phụ thuộc vào kích thước của đơn vị.

Với đơn vị $[Q]_1$, $[Q]_2$ trị số của cùng một đại lượng sẽ là:

$$q_1 = \frac{Q}{[Q]_1} \text{ và } q_2 = \frac{Q}{[Q]_2}$$

Suy ra:

$$q_2 = q_1 \cdot \frac{[Q]_1}{[Q]_2} = k_{1-2} \cdot q_1 \quad (2.2)$$

k_{1-2} được gọi là hệ số chuyển đổi. Nó là một hệ số cần nhân với trị số theo đơn vị thứ nhất để nhận được trị số của cùng đại lượng theo đơn vị thứ hai. Biểu thức (2.2) cho thấy trị số của đại lượng thuộc nhóm thứ ba là duy nhất đối với phép biến đổi đồng dạng.

2.3. PHƯƠNG TRÌNH VẬT LÝ

Giữa các đại lượng tồn tại những mối liên hệ khách quan nhất định nào đó. Những mối liên hệ này thường được diễn tả bằng các biểu thức toán học gọi là các phương trình vật lý. Các phương trình này hoặc là để định nghĩa đại lượng hoặc là để mô tả định luật vật lý, nó có vai trò quan trọng trong việc xây dựng các đơn vị sẽ được trình bày trong các phần dưới của cuốn sách.

Có hai loại phương trình được sử dụng trong khoa học và kỹ thuật. Phương trình giữa các đại lượng trong đó các ký hiệu đặc trưng cho giá trị của đại lượng (trị số x đơn vị), ví dụ như $v = \frac{l}{t}$, $p = \frac{m}{v}$, $F = ma...$, và phương trình giữa các trị số của đại lượng, trong đó các ký hiệu là đặc trưng cho trị số của đại lượng theo những đơn vị nhất định. Phương trình giữa các đại lượng không phụ thuộc vào việc chọn đơn vị, phương trình giữa các trị số phụ thuộc vào việc chọn đơn vị, vì vậy thường người ta ưu tiên dùng phương trình giữa các đại lượng.

Nếu mô tả vận tốc v theo kilômét trên giờ, đoạn đường đi được l theo mét và thời gian t theo giây, ta có thể viết phương trình giữa các đại lượng (tức phương trình giữa các giá trị) v , l , t như sau:

$$v_{\text{km/h}} \cdot \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{l_m \cdot \text{m}}{t_s \cdot \text{s}}$$

Trong đó $v_{\text{km/h}}$, l_m , t_s là trị số của vận tốc, đoạn đường đi được và thời gian tính theo đơn vị km/h, m và s.

Phương trình giữa các trị số của v , l và t sẽ là:

$$v_{\text{km/h}} = \frac{\text{h}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{km}} \cdot \frac{l_m}{t_s} \cdot 3600 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{l_m}{t_s} = 3,6 \cdot \frac{l_m}{t_s}$$

Hệ số tỷ lệ 3,6 rõ ràng phụ thuộc vào việc chọn đơn vị dùng. Như vậy, từ một phương trình liên hệ giữa các đại lượng sẽ dẫn tới nhiều phương trình liên hệ giữa các trị số với các hệ số tỷ lệ khác nhau phụ thuộc vào việc chọn các đơn vị đo. Vì lẽ đó, trong phương trình giữa các trị số phải luôn luôn chỉ rõ đơn vị dùng, ví dụ $v_{\text{km/h}} = 3,6 \frac{l_m}{t_s}$ mà không viết $v = 3,6 \frac{l}{t}$.

Để thuận lợi cho việc sử dụng các phương trình vật lý, khi xây dựng các hệ đơn vị thường người ta cố gắng để khi sử dụng hệ đơn vị ấy phương trình giữa các đại lượng sẽ trùng với phương trình giữa các trị số, khi đó không còn phân biệt giữa hai loại phương trình này nữa.

Trong một số phương trình vật lý còn có các hằng số rút ra từ thực nghiệm, gọi là các hằng số thực nghiệm. Quan hệ thực nghiệm giữa các đại lượng thường diễn tả bằng phương trình giữa các trị số. Phương trình này có thể chuyển thành phương trình giữa các đại lượng với một hay nhiều hằng số thực nghiệm nhưng cần chú ý là trị số của các hằng số thực nghiệm này cũng phụ thuộc vào việc chọn đơn vị đo như đối với các đại lượng khác.

Ví dụ, trong trường hợp đơn vị đo độ dài là mét, thời gian là giây, thực nghiệm đã tìm ra mối liên hệ giữa trị số chiều dài l và chu kỳ dao động T của con lắc như sau:

$$T_s = 2,006(l_m)^{1/2}$$

Biểu thức trên có thể viết dưới dạng:

$$\frac{T}{s} = 2,006 \left(\frac{l}{m} \right)^{1/2}$$

với T và l là giá trị của đại lượng theo đơn vị giây và mét. Phương trình thực nghiệm thành phương trình liên hệ giữa các đại lượng:

$$T = C.l^{1/2}$$

với C là hằng số thực nghiệm có giá trị trong trường hợp này là bằng 2,006 s/m. Với những đơn vị đo khác C sẽ có những trị số khác.

Trong các phương trình vật lý, cần chú ý đến một loại hệ số tỷ lệ khác nữa gọi là các thừa số. Các thừa số này phụ thuộc vào định nghĩa của các đại lượng có mặt trong phương trình và không phụ thuộc vào các đơn vị đo. Ví dụ động năng của một hạt có khối lượng m và vận tốc v được định nghĩa bằng biểu thức:

$$E_d = \frac{1}{2}mv^2$$

Hoặc điện dung của một tụ điện cầu bán kính r trong môi trường có hằng số điện môi ϵ (hợp lý hoá) là:

$$C = 4\pi\epsilon r$$

Hằng số thực nghiệm và thừa số trong các phương trình vật lý khác với hệ số tỷ lệ phụ thuộc đơn vị dùng ở chỗ nó đặc trưng cho tính chất nhất định nào đó của đối tượng vật lý mà phương trình mô tả.

2.4. ĐẠI LƯỢNG CƠ BẢN, ĐƠN VỊ CƠ BẢN. HỆ ĐẠI LƯỢNG, HỆ ĐƠN VỊ

Nếu các phương trình vật lý bằng các số đại lượng có liên quan tới chúng thì tất cả các đại lượng sẽ được xác định không phải là đại lượng nọ qua đại lượng kia. Nhưng số các phương trình trong một ngành khoa học bất kỳ thường ít hơn số đại lượng đưa vào chúng. Vì vậy, cần tách ra một nhóm riêng các đại lượng nào đó. Số K các đại lượng này phải bằng hiệu số giữa số n đại lượng và số m các phương trình độc lập giữa chúng. Các đại lượng này hoàn toàn độc lập với các đại lượng khác và gọi là các đại lượng cơ bản, đơn vị ứng với các đại lượng này gọi là đơn vị cơ bản. Tất cả các đại lượng và đơn vị còn lại đều được xác định một cách đơn trị qua các đại lượng và đơn vị cơ bản gọi là đại lượng và đơn vị dẫn xuất. Tập hợp các đại lượng cơ bản và các đại lượng dẫn xuất tạo thành từ các đại lượng cơ bản này gọi là một hệ đại lượng. Người ta thường dùng ký hiệu thứ nguyên của các đại lượng cơ bản (xem phần khái niệm về thứ nguyên) để ký hiệu hệ đại lượng. Ví dụ hệ đại lượng cơ LMT; với các đại lượng cơ bản là độ dài l , khối lượng m và thời gian t ; hệ đại lượng LMTI bao gồm đại lượng cơ và đại lượng điện từ với các đại lượng cơ bản là độ dài l , khối lượng m , thời gian t và cường độ dòng điện I . Như vậy, có thể nói, đại lượng cơ bản là những đại lượng khi đưa vào một hệ đại lượng nào đó nó được quy ước là độc lập về mặt hàm số với đại lượng khác của hệ này.

Hệ đơn vị cũng được tạo thành tương tự như hệ đại lượng. Nó là một tập hợp các đơn vị cơ bản và các đơn vị dẫn xuất tạo thành từ các đơn vị cơ bản này ứng với một hệ đại lượng nào đó. Dễ thấy rằng kích thước của đơn vị dẫn xuất hoàn toàn phụ thuộc vào kích thước của các đơn vị cơ bản, còn kích thước của đơn vị cơ bản được lựa chọn tùy ý và độc lập với các đơn vị khác khi xây dựng hệ đơn vị.

Vấn đề thường đặt ra khi xây dựng một hệ đơn vị là chọn bao nhiêu và chọn đơn vị gì làm đơn vị cơ bản. Đo lường học chưa giải quyết được vấn đề này về mặt lý thuyết. Cơ sở cao nhất của sự lựa chọn hiện nay là tính hiệu quả và tính tiện dụng của hệ đơn vị được xây dựng. Một cơ sở thực tế cho việc chọn các đơn vị cơ bản là phải chọn như thế nào để thể hiện được nó với độ chính xác cao nhất mà trình độ khoa học, công nghệ hiện tại cho phép (xem phần chuẩn các đơn vị cơ bản).

Cho tới nay, trong lĩnh vực cơ, các đại lượng cơ bản được chọn là độ dài, khối lượng, thời gian với các đơn vị cơ bản là mét, kilôgam và giây. Để xây dựng được các đơn vị trong lĩnh vực điện từ, nhiệt, quang và hoá lý, ngoài 3 đại lượng và đơn vị cơ bản của lĩnh vực cơ ra, người ta đã chọn thêm 4 đại lượng cơ bản nữa là cường độ dòng điện, nhiệt độ, cường độ sáng và lượng chất với các đơn vị cơ bản tương ứng là ampe, kenvin, candela và mol.

2.5. THỨ NGUYÊN CỦA ĐẠI LƯỢNG

Bất cứ một đại lượng Q nào cũng có thể được diễn đạt qua các đại lượng khác bằng một phương trình. Sự thể hiện đó có thể gồm một tổng các số hạng. Mỗi số hạng này có thể được diễn đạt như là một tích lũy thừa của các đại lượng cơ bản $A, B, C, \dots$ thuộc tập hợp các đại lượng đã chọn lựa, đôi khi tích này được nhân với thừa số ξ , tức là $\xi A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$, trong đó tập hợp các số mũ ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$) là như nhau đối với từng số hạng. Khi đó thứ nguyên của đại lượng Q được mô tả bằng một tích thứ nguyên:

$$\dim Q = A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$$

Trong đó $A, B, C, \dots$ là ký hiệu thứ nguyên của các đại lượng cơ bản $A, B, C, \dots$ và $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ được gọi là các số mũ thứ nguyên.

VIM:2007 định nghĩa thứ nguyên của đại lượng là biểu thức về sự phụ thuộc của một đại lượng vào các đại lượng cơ bản của hệ đại lượng như là tích lũy thừa của các thừa số tương ứng với đại lượng cơ bản, bỏ qua mọi thừa số bằng số. Như vậy, thứ nguyên của một đại lượng chính là tích các đại lượng cơ bản đã được nâng lên lũy thừa tương ứng. Nó cho biết khi kích thước của các đại lượng cơ bản thay đổi thì kích thước của đại lượng dẫn xuất thay đổi thế nào.

Một đại lượng mà tất cả số mũ thứ nguyên của nó bằng không ($A^0 B^0 C^0 \dots = 1$) được gọi là đại lượng không thứ nguyên hoặc đại lượng thứ nguyên một.

Trong Hệ đại lượng quốc tế (ký hiệu theo tiếng Anh là ISQ – International System of Quantities) là hệ đại lượng dựa trên 7 đại lượng cơ bản là độ dài, khối lượng, thời gian, cường độ dòng điện, nhiệt độ, lượng chất, cường độ sáng, ta có thứ nguyên của các đại lượng cơ bản này được mô tả tương ứng như sau: $\dim(l) = L$; $\dim(m) = M$; $\dim(t) = T$; $\dim(I) = I$; $\dim(\theta) = \theta$; $\dim(n) = N$; $\dim(J) = J$ và thứ nguyên của đại lượng Q bất kỳ trong hệ đại lượng đó sẽ là:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \theta^\epsilon N^\zeta J^\eta$$

2.6. HỆ ĐƠN VỊ NHẤT QUÁN

Các đơn vị có thể được chọn tùy ý. Nhưng nếu chọn đơn vị một cách độc lập cho từng đại lượng thì sẽ làm xuất hiện các thừa số bổ sung trong các phương trình giữa các trị số. Tuy vậy, có thể chọn một hệ đơn vị sao cho để các phương trình giữa các trị số có cùng một dạng (bao gồm cả các thừa số) đúng như phương trình tương ứng giữa các đại lượng. Một hệ đơn vị được xác định như vậy gọi là hệ đơn vị nhất quán đối với hệ đại lượng và hệ phương trình đang nói tới. Khi sử dụng hệ đơn vị này, phương trình giữa các đại lượng sẽ trùng với phương trình giữa các trị số như đã phân tích ở mục 2.3. Hệ đơn vị quốc tế (SI) là một hệ đơn vị nhất quán.

Ví dụ, phương trình liên hệ giữa động năng E_d của một hạt có khối lượng m và vận tốc v là:

$$E_d = \frac{1}{2}mv^2$$

Phương trình trên có thể viết theo tích của trị số và đơn vị:

$$\{E_d\}[E_d] = \frac{1}{2}\{m\}[m]\{v\}^2[v]^2$$

với ký hiệu $\{E_d\}$ là trị số của động năng theo đơn vị là $[E_d]$...

Điều kiện nhất quán đòi hỏi phương trình giữa các trị số phải có dạng như phương trình giữa các đại lượng:

$$\{E_d\} = \frac{1}{2}\{m\}\{v\}^2 \quad (2.3)$$

Điều kiện thoả mãn nếu các đơn vị được chọn sao cho:

$$[E_d] = [m][v]^2 \quad (2.4)$$

Từ 2.3 và 2.4 ta thấy đơn vị nhất quán của động năng phải bằng 2 lần động năng của một hạt có khối lượng 1 đơn vị chuyển động với vận tốc 1 đơn vị. Nói một cách khác, nó bằng động năng của một hạt có khối lượng 2 đơn vị chuyển động với vận tốc 1 đơn vị hoặc bằng động năng của hạt có khối lượng 1 đơn vị chuyển động với vận tốc $\sqrt{2}$ đơn vị. Điều này có thể suy ra bằng cách sau:

$$[E_d] = \frac{1}{2} \cdot (2[m][v]^2) = [m][v]^2 \text{ hoặc } [E_d] = \frac{1}{2} \cdot [m](\sqrt{2}[v])^2 = [m][v]^2$$

Như vậy, trong một hệ nhất quán với các đơn vị cơ bản là mét, kilôgam và giây, đơn vị động năng sẽ là động năng của một hạt có khối lượng 2 kg chuyển động với vận tốc 1m/s hoặc là động năng của một hạt có khối lượng 1kg chuyển động với vận tốc $\sqrt{2}$ m/s hoặc là 2 lần động năng của một hạt có khối lượng 1kg chuyển động với vận tốc 1m/s.

2.7. MỘT SỐ HỆ ĐƠN VỊ QUEN THUỘC TRƯỚC ĐÂY

2.7.1. Hệ mét

Trước cách mạng tư sản dân quyền Pháp (1789) ở Pháp cũng như ở các nước khác trên thế giới, đơn vị đo lường không thống nhất và rất hỗn loạn. Năm 1790, Quốc hội lập hiến Pháp quyết định xây dựng một hệ đơn vị đo lường “văn minh” làm mẫu mực cho toàn thế giới. Một số nhà bác học nổi tiếng lúc ấy (Borda, Monge, Laplace...) đề nghị lấy “mét” làm đơn vị gốc – do đó có tên Hệ mét – và định nghĩa mét qua độ dài kinh tuyến Quả Đất (xem phần chuẩn đơn vị cơ bản).

Có độ dài của mét, người ta định nghĩa luôn đơn vị khối lượng là khối lượng của một đêximét khối nước tinh khiết ở nhiệt độ 4°C và gọi là kilôgam.

Về đại lượng dung tích cần cho giao lưu kinh tế lúc ấy thì người ta lấy thể tích của 1 kilôgam nước tinh khiết đó (tức 1 đêximét khối) làm đơn vị là lít.

Ngoài mét, kilôgam và lít ra, người ta còn dựa vào đơn vị mét để định nghĩa một số đơn vị thông dụng khác như mét vuông, héc-ta, mét khối.

Như vậy là đã xây dựng được một hệ đơn vị xuất phát từ đơn vị mét – một Hệ mét – với Quả Đất và nước tinh khiết làm chuẩn thiên nhiên, Quả Đất và nước tinh khiết đều được coi là bất di bất dịch sẽ cho phép sao tạo lại mét và kilôgam.

Hệ mét đã được xây dựng trên cơ sở những chuẩn thiên nhiên đó. Đây là một tư tưởng vĩ đại của những người sáng lập ra Hệ mét.

Ngoài những đơn vị trên, những người xây dựng Hệ mét còn đề ra cách lập ước và bội (đơn vị lớn hơn và bé hơn) theo nguyên lý thập phân, nghĩa là đơn vị này lớn hơn hay bé hơn đơn vị trước đó 10 lần, với các tiếp đầu ngữ được quy định, rất tiện lợi cho việc tính toán.

Chuẩn gốc thiên nhiên và ước bội thập phân là hai đặc điểm quan trọng nhất đã chỉ đạo việc xây dựng Hệ mét. Ngoài ra Hệ mét còn có ưu điểm là tính thực dụng: các đơn vị chính có cỡ để sử dụng trong đời sống hàng ngày.

Tuy nhiên, Hệ mét chưa thực sự là một hệ đơn vị theo những quan niệm chặt chẽ về một hệ như hiện nay. Năm 1832, nhà bác học người Đức Gauss đã đưa ra những phương pháp xây dựng hệ đơn vị như là một tập hợp các đơn vị cơ bản và đơn vị dẫn xuất. Ông đã xây dựng một hệ đơn vị dựa trên cơ sở ba đơn vị được chọn tùy ý và độc lập với nhau là đơn vị độ dài, khối lượng, thời gian. Tất cả các đơn vị còn lại được xây dựng dựa vào ba đơn vị cơ bản này. Các hệ đơn vị được xây dựng như vậy với 3 đơn vị cơ bản độ dài, khối lượng, thời gian, Gauss gọi là hệ tuyệt đối. Ông đã chọn 3 đơn vị cơ bản là milimét (mm), miligam (mg) và giây (s).

Sau này, với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, dựa vào Hệ mét và với phương pháp Gauss đề xuất, người ta đã xây dựng nhiều hệ đơn vị khác nhau. Nhưng dù có khác, các nguyên tắc “chuẩn thiên nhiên” và “ước bội thập phân” của Hệ mét luôn được cố gắng quán triệt. Mỗi ngành kỹ thuật có phạm vi “thực dụng” riêng với những “cỡ” đơn vị rất khác nhau, nên mỗi lĩnh vực khoa học kỹ thuật đề ra một hệ thực dụng riêng cho mình. Tất cả đều có thể coi là con đẻ của Hệ mét, vì đơn vị của độ dài, của khối lượng đều xuất phát từ mét và kilôgam.

2.7.2. Hệ CGS

Hệ CGS được xây dựng theo phương pháp của Gauss với 3 đơn vị cơ bản là centimét (cm) cho độ dài, gam (g) cho khối lượng và giây (s) cho thời gian. Hệ được Hội nghị quốc tế lần thứ nhất các nhà điện học đưa ra năm 1881 với tên hai đơn vị dẫn xuất quan trọng nhất: dyn để đo lực và ec để đo công. Đơn vị công suất trong hệ này là ec trên giây (ec/s); đơn vị độ nhớt động là stoc (St), độ nhớt động lực là poadơ (P).

Đơn vị áp suất trong hệ CGS là dyn trên centimét vuông (dyn/cm²). Trước đây, đơn vị này gọi là bar, nhưng về sau người ta đã đổi tên gọi của nó là bari, còn tên bar dùng để chỉ đơn vị áp suất bằng 10⁵ niuton trên mét vuông (10⁵ N/m²). Như vậy, bari (tức dyn trên centimét vuông) bằng microbar (10⁻⁶ bar).

Việc áp dụng hệ CGS vào lĩnh vực điện từ có nhiều phức tạp. Chính do sự phức tạp này mà cho tới nay đã có 7 loại hệ CGS dùng cho lĩnh vực này. Dưới đây kể ra 3 hệ phổ biến nhất.

Hệ CGSe, còn gọi là hệ tĩnh điện tuyệt đối, xây dựng trên cơ sở 3 đơn vị cơ bản centimét, gam, giây. Từ định luật Coulomb của tĩnh điện trong chân không:

$$F = k \frac{qq'}{r^2}$$

Với hệ số tỷ lệ k lấy bằng 1 suy ra đơn vị điện tích và từ đó suy ra các đơn vị điện từ khác. Trong hệ này, hằng số điện môi trong chân không là đại lượng không thứ nguyên và bằng 1, hệ số từ thẩm trong chân không là đại lượng có thứ nguyên và khác 1.

Hệ CGSm, còn gọi là hệ tĩnh từ tuyệt đối, cũng xây dựng trên cơ sở 3 đơn vị cơ bản centimét, gam, giây như hệ CGSe. Từ định luật Coulomb của tĩnh từ trong chân không:

$$F = k \frac{mm'}{r^2}$$

Với hệ số tỷ lệ k lấy bằng 1 suy ra đơn vị từ khối và từ đó suy ra các đơn vị điện từ khác. Trong hệ này, hệ số từ thẩm trong chân không là đại lượng không thứ nguyên và bằng 1, hằng số điện môi trong chân không là đại lượng có thứ nguyên và khác 1.

Hệ CGS đối xứng, còn gọi là hệ Gauss, trong đó đơn vị điện là của hệ CGSe và đơn vị từ là của hệ CGSm. Trong hệ này hằng số điện môi và hệ số từ thẩm trong chân không đều là đại lượng không thứ nguyên và bằng 1.

Hệ CGS có đặc điểm là xây dựng cân đối và có logic, nó là một hệ nhất quán, do đó được dùng rất rộng rãi trong vật lý để mô tả các đại lượng cần đo và để tính toán. Tuy vậy, các hằng số vật lý được diễn tả theo đơn vị CGS (dyn, ec...), các đơn vị của đại lượng điện... có kích thước không thuận lợi cho việc sử dụng trong thực tế.

2.7.3. Hệ MKgIS

Khi xây dựng Hệ mét, như đã nói trong phần trên, kilôgam được chọn làm đơn vị khối lượng. Việc dùng kilôgam làm đơn vị khối lượng mà lúc ấy

thường nhầm là đơn vị trọng lượng và tiếp đó làm đơn vị lực đã dẫn đến sự ra đời của hệ đơn vị với 3 đơn vị cơ bản là mét cho độ dài, kilôgam lực cho lực và giây cho thời gian. Kilôgam lực (kgf) là lực gây ra cho khối lượng bằng khối lượng chuẩn gốc quốc tế của kilôgam gia tốc $9,806\,65\text{ m/s}^2$ (gia tốc rơi tự do chuẩn).

Hệ này rất phổ biến trong cơ học và trong kỹ thuật. Nó còn được gọi một cách không chính thức là “hệ kỹ thuật”. Nguyên nhân làm cho hệ MKgIS được dùng rộng rãi là sự thuận lợi của việc diễn tả theo đơn vị trọng lượng và kích thước thực dụng của đơn vị cơ bản kilôgam lực.

Do xây dựng Hệ mét lúc đầu kilôgam được dùng làm đơn vị trọng lượng chứ chưa phải là đơn vị khối lượng nên ở một số nước (như vương quốc Bỉ) hệ MKgIS đã có tên đầu tiên là Hệ mét. Tuy nhiên, cùng với sự lan truyền của hệ MKgIS trong kỹ thuật, những nhược điểm của nó cũng bộc lộ ra rất rõ rệt. Những nhược điểm này gắn liền với việc lấy đơn vị lực làm đơn vị cơ bản thay cho đơn vị khối lượng.

Nhược điểm thứ nhất là đơn vị lực không thể hiện chính xác được bằng đơn vị khối lượng. Mà một trong những nguyên tắc để chọn đơn vị cơ bản là phải chọn sao cho có thể thể hiện được nó với độ chính xác cao nhất.

Nhược điểm thứ hai nằm trong tên gọi đơn vị lực – kilôgam lực và tên gọi đơn vị khối lượng – kilôgam. Sự gần nhau của hai tên gọi này dẫn đến nhiều nhầm lẫn. Chính vì vậy để khắc phục nhược điểm này, nhiều nước (như Áo, Cộng hoà liên bang Đức) đã dùng tên kilôpôn thay cho tên gọi kilôgam lực.

Nhược điểm thứ ba thể hiện ở chỗ MKgIS là một hệ không nhất quán trong lĩnh vực điện từ. Đơn vị công và năng lượng trong hệ MKgIS là kilôgam lực mét, trong hệ đơn vị điện thực dụng lại là jun. Vì vậy khi chuyển từ đại lượng cơ sang đại lượng điện (hoặc sang đại lượng nhiệt, đại lượng quang...) phải dùng hệ số chuyển đổi trong tính toán.

Đơn vị khối lượng trong hệ MKgIS là khối lượng của một vật nhận gia tốc 1 m/s^2 khi có 1 kgf tác dụng. Đơn vị này – kilôgam lực giây bình phương trên mét ($\text{kgf.s}^2/\text{m}$) – đôi khi được gọi là đơn vị khối lượng kỹ thuật hay đơn vị khối lượng quán tính, mặc dù cả hai tên này đều không được đề nghị trong bất cứ một kiến nghị nào về đơn vị. Đơn vị khối lượng của hệ MKgIS – kilôgam lực giây bình phương trên mét ($\text{kgf.s}^2/\text{m}$) – bằng $9,81$ kilôgam, đơn vị khối lượng của Hệ đơn vị quốc tế (SI).

2.7.4. Hệ MTS

Hệ MTS được xây dựng với 3 đơn vị cơ bản là mét cho độ dài, tấn (t) cho khối lượng và giây cho thời gian. Hệ này đã được công nhận là hệ đo lường hợp pháp ở Pháp năm 1919. Việc chọn tấn làm đơn vị cơ bản là để đạt được sự tương ứng giữa đơn vị độ dài và thể tích, cũng như giữa đơn vị độ dài và khối lượng (với độ chính xác đủ dùng cho phần lớn các công việc tính toán trong kỹ thuật thì 1 tấn tương đương với khối lượng của 1 mét khối nước). Ngoài ra, đơn vị công và năng lượng (kilôjun – kJ), đơn vị công suất (kilôoát – kW) của hệ này là trùng với đơn vị bội của đơn vị điện thực dụng.

Đơn vị lực của hệ này là sten (sn) là lực gây ra cho khối lượng 1 tấn gia tốc 1 mét trên giây bình phương; đơn vị áp suất là poazơ (pz), bằng 1 sten trên mét vuông.

2.7.5. Hệ đơn vị điện từ tuyệt đối thực dụng

Hệ đơn vị điện từ CGS có cỡ đơn vị không thực dụng, có đơn vị quá lớn, lại có đơn vị quá bé so với những nhu cầu thông thường trong đời sống, trong sản xuất. Hội nghị quốc tế lần thứ nhất các nhà điện học năm 1881 đã xây dựng hệ đơn vị điện từ tuyệt đối thực dụng dẫn xuất từ hệ CGSm nhưng có cỡ đơn vị khắc phục được nhược điểm trên của hệ CGS bằng cách nhân các đơn vị của hệ này với lũy thừa bậc nào đó của 10. Các đơn vị điện thực dụng sau đây đã được thông qua đầu tiên:

- Đơn vị điện trở thực dụng là “ôm” (Ω), bằng 10^9 đơn vị điện trở của hệ CGSm;
- Đơn vị điện thế thực dụng là “vôn” (V), bằng 10^8 đơn vị điện thế của hệ CGSm;
- Đơn vị cường độ dòng điện thực dụng là “ampe” (A), bằng 10^{-1} đơn vị cường độ dòng điện của hệ CGSm;
- Đơn vị điện dung thực dụng là “fara” (F), bằng 10^{-9} đơn vị điện dung của hệ CGSm.

Thừa số nhân của đơn vị điện trở và đơn vị điện thế được lấy bằng 10^9 và 10^8 là để cho đơn vị “ôm” và “vôn” xấp xỉ với điện trở của một cột thủy ngân dài 100 cm, tiết diện 1 mm^2 và sức điện động của pin chuẩn Daniell đã được dùng làm đơn vị điện trở và điện thế rất phổ biến lúc bấy giờ.

Hội nghị quốc tế lần thứ hai các nhà điện học năm 1889 đã quy định thêm 3 đơn vị điện từ thực dụng nữa:

- Đơn vị điện năng “jun” (J), bằng 10^7 đơn vị điện năng của hệ CGSm;
- Đơn vị công suất “oát” (W), bằng 10^7 đơn vị công suất của hệ CGSm;
- Đơn vị tự cảm “henry” (H), bằng 10^9 đơn vị tự cảm CGSm.

Ủy ban kỹ thuật điện quốc tế (IEC) và các Đại hội cân đo quốc tế (CGPM) sau này đã quy định nhiều đơn vị điện từ thực dụng khác nữa như “vêbe” (Wb), “tesla” (T), “simen” (S)...

2.7.6. Các đơn vị điện từ quốc tế

Do những khó khăn trong việc thể hiện chính xác các đơn vị điện từ tuyệt đối thực dụng theo quy định lý thuyết nêu trên, nên Hội nghị quốc tế các nhà điện học lần thứ ba họp năm 1893 ở Chicagô đã công nhận các đơn vị điện từ quốc tế. Các đơn vị này khác đơn vị điện từ tuyệt đối thực dụng ở chỗ được định nghĩa qua chính các chuẩn để thể hiện nó chứ không phải là qua các đơn vị tuyệt đối tương ứng.

Hội nghị trên đã xây dựng 3 đơn vị quốc tế cơ bản: “ôm quốc tế” định nghĩa qua chuẩn thủy ngân; “ampe quốc tế” định nghĩa qua bình điện phân chuẩn với dung dịch điện phân là nitrat bạc (còn gọi là vôn tamét); “vôn quốc tế” được định nghĩa qua pin chuẩn Clara. Các đơn vị điện từ khác (“culông quốc tế”, “fara quốc tế”...) được dẫn xuất từ 3 đơn vị cơ bản này.

Để phân biệt với các hệ đơn vị điện từ tuyệt đối xây dựng trên cơ sở các đơn vị độ dài, khối lượng và thời gian, người ta gọi tập hợp gồm các đơn vị cơ bản “ôm quốc tế”, “ampe quốc tế”, “vôn quốc tế” và các đơn vị điện từ dẫn xuất từ chúng là “các đơn vị điện từ quốc tế”.

Đại hội quốc tế các nhà điện học năm 1908 ở Luân Đôn đã hoàn thành việc xây dựng các đơn vị điện từ quốc tế và phân ranh giới rõ ràng giữa các đơn vị tuyệt đối thực dụng và đơn vị quốc tế. Đại hội đã kiến nghị công nhận các đơn vị “ôm quốc tế”, “ampe quốc tế”, “vôn quốc tế” và “oát quốc tế”. Những đơn vị này với độ chính xác đạt được lúc ấy là cơ sở pháp lý để thể hiện ôm và ampe quốc tế.

Sau đại hội trên, các đơn vị điện từ quốc tế đã được công nhận về pháp lý tại rất nhiều nước và được sử dụng rất rộng rãi cho đến khi Ủy ban cân

do quốc tế quyết định ngừng sử dụng các đơn vị này bắt đầu từ ngày 01/01/1948 và chuyển sang các đơn vị điện từ tuyệt đối thực dụng với mối liên hệ sau: $1 \Omega_{qt} = 1,000\,49 \Omega_{td}$; $1 V_{qt} = 1,000\,34 V_{td}$. Ký hiệu qt và td để chỉ đơn vị quốc tế và đơn vị tuyệt đối.

2.7.7. Hệ MKSA

Cơ sở của hệ đơn vị này đã được nhà bác học người Ý Giorgi nêu lên từ năm 1901. Cũng vì vậy mà hệ này có tên là “Hệ Giorgi” do Ủy ban kỹ thuật điện quốc tế đề nghị năm 1958, tuy nhiên tên này không được dùng rộng rãi lắm. Các đơn vị cơ bản của hệ MKSA là mét, kilôgam, giây và ampe.

Trong hệ MKSA lực đo bằng niutơn (N), công và năng lượng đo bằng jun (J), công suất đo bằng oát (W). Các đơn vị cơ như vậy là hoàn toàn phù hợp với các đơn vị điện từ của hệ tuyệt đối thực dụng như ampe, vôn, ôm, culông... Hệ MKSA chính là phần đơn vị trong lĩnh vực điện từ của Hệ đơn vị quốc tế (SI), trong đó các đơn vị dẫn xuất được dẫn xuất qua các phương trình điện từ đã hợp lý hoá.

Trong hệ MKSA hợp lý hoá hằng số điện môi trong chân không $\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2}$ F/m và hệ số từ thẩm trong chân không $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

2.7.8. Các đơn vị ngoài hệ

Trong thực tế người ta còn sử dụng một số đơn vị không nằm trong một hệ đơn vị nào gọi là đơn vị ngoài hệ. Kích thước các đơn vị này được chọn tùy ý và thường có liên quan đến việc tạo điều kiện thuận lợi để đo một đại lượng nào đó. Ví dụ như lịch sử xuất hiện đơn vị áp suất “atmôtphê” (at) bằng áp suất của 1 kilôgam lực trên 1 centimét vuông chính là vì atmôtphê gần bằng áp suất trung bình của khí quyển ở điều kiện chuẩn.

Dưới đây là một số đơn vị ngoài hệ đã được sử dụng tương đối rộng rãi:

- Độ dài: + angstrom, ký hiệu Å, bằng 10^{-10} m;
- + đơn vị thiên văn, ký hiệu au, bằng $1,495\,0 \cdot 10^{11}$ m;
- + năm ánh sáng, ký hiệu ly, bằng $9,460\,73 \cdot 10^{15}$ m;
- + parsec, ký hiệu pc, bằng $3,084 \cdot 10^{16}$ m.

- Diện tích: + a, ký hiệu a, bằng 100 m^2 ;
+ hecta, ký hiệu ha, bằng $10\,000 \text{ m}^2$.
- Dung tích: lít, ký hiệu l hoặc L, bằng 10^{-3} m^3 .
- Khối lượng: carat, ký hiệu ct, bằng 0,2 g.
- Áp suất: + atmôtphe, ký hiệu at, bằng 98 066,5 Pa;
+ bar, ký hiệu bar, bằng 10^5 Pa ;
+ milimét thủy ngân, ký hiệu mmHg, bằng 133,322 Pa.
- Nhiệt lượng: calo, ký hiệu cal, bằng 4,186 8 J.
- Năng lượng điện: + êlectron vôn, ký hiệu eV, bằng $1,602\,177 \cdot 10^{-19} \text{ J}$;
+ oát giờ, ký hiệu W.h, bằng 3 600 J.
- Liều chiếu: ronghen, ký hiệu R, bằng $2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$.
- Liều hấp thụ: rad, ký hiệu rd, bằng 0,01 Gy,
- Hoạt độ: curi, ký hiệu Ci, bằng $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.

Đề đo thời gian cũng có những đơn vị ngoài hệ rất phổ biến từ mấy ngàn năm nay như: phút, ký hiệu min, bằng 60 s; giờ, ký hiệu h, bằng 60 min; ngày, ký hiệu d, bằng 24 h.

Trong các đơn vị ngoài hệ còn có các đơn vị thực chất là ước hoặc bội của đơn vị trong hệ nhưng có tên riêng như: micrông (mc) bằng 10^{-6} mét thực chất là micrômét (μm), tấn (t) bằng 1000 kilôgam, thực chất là megagam (Mg)...

2.7.9. Đại lượng, đơn vị tương đối và lôgarit

Trong khoa học và kỹ thuật các đại lượng tương đối và lôgarit cùng các đơn vị của nó được dùng rất rộng rãi. Các đại lượng này đặc trưng cho thành phần và tính chất của vật liệu, tỷ số giữa các đại lượng lực và năng lượng, ví dụ như độ dẫn dài tương đối, tỷ trọng, điện môi và từ thẩm tương đối, công suất khuếch đại và công suất suy giảm...

Đại lượng tương đối chính là tỷ số không thứ nguyên của đại lượng với một đại lượng cùng loại được chọn làm gốc. Khối lượng nguyên tử hoặc phân tử tương đối của các nguyên tố hoá học mô tả bằng tỷ số giữa khối lượng của nó với $1/12$ khối lượng nguyên tử cacbon 12 cũng được coi là đại lượng tương đối.

Đại lượng tương đối có thể diễn tả theo các đơn vị không thứ nguyên (khi tỷ số giữa hai đại lượng cùng loại bằng 1), theo phần trăm (khi tỷ số giữa hai đại lượng cùng loại bằng 10^{-2}), theo phần nghìn (tỷ số bằng 10^{-3}) hoặc theo phần triệu (khi tỷ số bằng 10^{-6}).

Đại lượng lôgarit chính là lôgarit (thập phân, tự nhiên hoặc với cơ số 2) của tỷ số không thứ nguyên của hai đại lượng cùng loại. Đại lượng lôgarit dùng để mô tả mức áp suất âm thanh, độ khuếch đại, độ suy giảm, quãng tần số...

Đơn vị của đại lượng lôgarit là ben, ký hiệu là B, định nghĩa bằng biểu thức:

$$1B = \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{ với } P_2 = 10 P_1$$

Trong đó P_1 và P_2 là đại lượng có mang năng lượng cùng loại ví dụ như công suất, năng lượng, mật độ năng lượng...

Trong trường hợp đại lượng lôgarit là tỷ số của hai đại lượng cùng loại về lực như điện thế, cường độ dòng điện, áp suất, cường độ trường... ben được định nghĩa bằng công thức:

$$1B = 2 \lg \frac{F_2}{F_1}, \text{ với } F_2 = \sqrt{10} F_1$$

Đơn vị ước của ben là dexiben (đ) bằng 0,1 B.

Một đơn vị khác của đại lượng lôgarit là nêpe (Np) xác định từ biểu thức:

$$1 Np = \ln \frac{F_2}{F_1}, \text{ với } \frac{F_2}{F_1} = e,$$

hoặc:
$$1 Np = 0,5 \ln \frac{P_2}{P_1}, \text{ với } \frac{P_2}{P_1} = e^2$$

Trong đó, P_1, P_2 là đại lượng cùng loại về năng lượng và F_1, F_2 là đại lượng cùng loại về lực, e là cơ số của lôgarit tự nhiên.

Giữa ben và nêpe có liên hệ: $1 Np = 0,868 6 B$.

2.8. HỆ ĐƠN VỊ QUỐC TẾ SI

2.8.1. Xây dựng hệ đơn vị quốc tế

Việc cùng một lúc tồn tại nhiều hệ đơn vị khác nhau, kể cả các đơn vị ngoài hệ, đã gây nhiều khó khăn và rắc rối khi chuyển từ hệ đơn vị này sang hệ đơn vị khác. Điều này cũng gây ra nhiều khó khăn trong việc trao đổi, giao lưu về kinh tế, về khoa học – kỹ thuật giữa các nước với nhau. Yêu cầu thống nhất đơn vị đo lường đặt ra ngày càng cấp bách trong phạm vi từng nước và trên phạm vi toàn thế giới.

Có thể lập một hệ đơn vị đo lường “vạn năng” và “quốc tế” không? Nghĩa là nó phải tương đối thích hợp với nhiều lĩnh vực khoa học và sản xuất, đồng thời phải được đa số các nước trên thế giới công nhận.

Do Hệ mét được lan rộng khắp thế giới, nên hệ cần xây dựng phải là một hệ “con đẻ” của Hệ mét: đơn vị độ dài phải xuất phát từ mét, đơn vị khối lượng từ kilôgam, đơn vị thời gian từ giây; cỡ các đơn vị phải thực dụng trong nhiều lĩnh vực; đơn vị dẫn suất phải xây dựng theo nguyên tắc nhất quán; ước và bội của các đơn vị phải theo nguyên tắc thập phân.

Ngoài ra, về mặt điện từ, hệ này phải bao gồm các đơn vị điện từ thực dụng quen thuộc từ lâu như ampe, vôn, ôm, fara, henry...; về định nghĩa các đơn vị cơ bản hệ này phải phản ánh được các thành tựu lớn lao về khoa học đo lường hiện nay.

Năm 1954, Ủy ban cân đo quốc tế đã thành lập một Tiểu ban để nghiên cứu xây dựng Hệ đơn vị quốc tế. Năm 1956, Tiểu ban đã xây dựng xong dự thảo Hệ đơn vị quốc tế và được Ủy ban cân đo quốc tế thông qua. Đại hội cân đo quốc tế lần thứ XI họp ở Pari năm 1960 đã phê chuẩn hệ này và gọi là “Hệ đơn vị quốc tế” viết tắt là SI (từ chữ Pháp *Système International d’Unités*), làm cơ sở thống nhất đo lường trên toàn thế giới. Các Đại hội cân đo quốc tế sau đó đã tiếp tục bổ sung, hoàn thiện SI nhằm đáp ứng các yêu cầu ngày càng cao của sản xuất và khoa học – kỹ thuật.

Hệ đơn vị quốc tế ra đời đánh dấu một tiến bộ lớn lao của khoa học đo lường, là kết quả của nhiều năm nghiên cứu, chuẩn bị, là thành tựu chung của nhiều nhà bác học các nước, của các tổ chức quốc tế về đo lường, tiêu chuẩn hoá, vật lý và kỹ thuật điện.

2.8.2. Nội dung Hệ đơn vị quốc tế

2.8.2.1. Đơn vị cơ bản của SI

Hệ đơn vị quốc tế gồm 7 đơn vị cơ bản. Các đơn vị cơ bản của SI đã được lựa chọn trên các cơ sở sau: Hệ phải bao gồm được tất cả các lĩnh vực khoa học kỹ thuật; tạo các tiền đề xây dựng đơn vị dẫn xuất cho các đại lượng vật lý khác nhau; cỡ các đơn vị cơ bản phải thực dụng và đã quen thuộc; tạo điều kiện chế tạo được chuẩn các đơn vị với độ chính xác cao nhất. Dưới đây là bảng ghi tóm tắt các đơn vị cơ bản của SI.

Bảng 2.1. Đơn vị cơ bản SI

Đại lượng	Tên đơn vị	Ký hiệu
Độ dài	mét	m
Khối lượng	kilôgam	kg
Thời gian	giây	s
Cường độ dòng điện	ampe	A
Nhiệt độ nhiệt động lực	kenvin	K
Cường độ sáng	candela	cd
Lượng chất	mol	mol

Các đơn vị cơ bản trên sẽ được trình bày chi tiết trong chương sau.

2.8.2.2. Đơn vị dẫn xuất SI

Đơn vị dẫn xuất SI được xây dựng trên cơ sở các đơn vị cơ bản SI và dựa vào nguyên tắc nhất quán như đã trình bày trong mục 2.6. Bảng sau đây trình bày các đơn vị dẫn xuất SI được thông qua năm 1960.

Bảng 2.2. Đơn vị dẫn xuất của SI

STT	Tên đại lượng	Tên đơn vị	Ký hiệu	Thể hiện theo đơn vị cơ bản thuộc hệ SI
1	Góc phẳng	radian	rad	m/m
2	Góc khối	stêradian	sr	m ² /m ²
3	Diện tích	mét vuông	m ²	m.m
4	Thể tích	mét khối	m ³	m.m.m
5	Tần số	héc	Hz	s ⁻¹

STT	Tên đại lượng	Tên đơn vị	Ký hiệu	Thể hiện theo đơn vị cơ bản thuộc hệ SI
6	Khối lượng riêng	kilôgam trên mét khối	kg/m^3	kg.m^{-3}
7	Vận tốc	mét trên giây	m/s	m.s^{-1}
8	Vận tốc góc	radian trên giây	rad/s	s^{-1}
9	Gia tốc	mét trên giây bình phương	m/s^2	m.s^{-2}
10	Gia tốc góc	radian trên giây bình phương	rad/s^2	s^{-2}
11	Lực	niuton	N	m.kg.s^{-2}
12	Áp suất	pascal	Pa	$\text{m}^{-1}.\text{kg.s}^{-2}$
13	Độ nhớt động lực	niuton giây trên mét bình phương	N.s/m^2	$\text{m}^{-1}.\text{kg.s}^{-1}$
14	Độ nhớt động học	mét vuông trên giây	m^2/s	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
15	Công, năng lượng, nhiệt lượng	jun	J	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-2}$
16	Công suất	oát	W	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}$
17	Điện lượng	culông	C	s.A
18	Điện thế, hiệu điện thế, suất điện động	vôn	V	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}.\text{A}^{-1}$
19	Cường độ điện trường	vôn trên mét	V/m	$\text{m.kg.s}^{-3}.\text{A}^{-1}$
20	Điện trở	ôm	Ω	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-3}.\text{A}^{-2}$
21	Điện dung	fara	F	$\text{m}^{-2}.\text{kg}^{-1}.\text{s}^4.\text{A}^2$
22	Từ thông	vêbe	Wb	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-1}$
23	Độ tự cảm	henry	H	$\text{m}^2.\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-2}$
24	Cảm ứng từ	tesla	T	$\text{kg.s}^{-2}.\text{A}^{-1}$
25	Cường độ từ trường	ampe trên mét	A/m	$\text{m}^{-1}.\text{A}$
26	Suất từ động	ampe	A	A
27	Quang thông	lumen	lm	cd
28	Độ chói	candela trên mét vuông	cd/m^2	$\text{m}^{-2}.\text{cd}$
29	Độ rọi	lux	lx	$\text{m}^{-2}.\text{cd}$

2.8.2.3. Đơn vị ước và bội của SI

Đơn vị ước và bội của SI được thành lập theo nguyên tắc thập phân, mỗi đơn vị lớn hơn hoặc bé hơn nhau 10 lần, bằng cách ghép tên (hoặc ký hiệu) của tiếp đầu ngữ ước, bội với tên (hoặc ký hiệu) của đơn vị. Các tiếp đầu ngữ ước bội thập phân của SI cho trong bảng 2.3.

Bảng 2.3. Các tiếp đầu ngữ ước bội thập phân của SI

Hệ số	Tiếp đầu ngữ		Hệ số	Tiếp đầu ngữ	
	Tên	Ký hiệu		Tên	Ký hiệu
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tara	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10	deca	da	10^{-24}	yocto	y

2.8.2.4. Ưu điểm của Hệ đơn vị quốc tế

Hệ đơn vị quốc tế có nhiều ưu điểm nổi bật. Dưới đây nêu một vài ưu điểm chính:

– Đây là một hệ đơn vị đo vạn năng, có thể bao gồm tất cả các lĩnh vực khoa học, kỹ thuật và các ngành kinh tế quốc dân. Khi thông qua Hệ đơn vị quốc tế năm 1960, người ta mới xây dựng 29 đơn vị dẫn xuất cho 4 lĩnh vực: cơ, điện từ, nhiệt và quang. Nhưng dựa vào các đơn vị cơ bản, bằng phương pháp dẫn xuất nhất quán, hệ này có thể mở rộng ra cho các đơn vị dẫn xuất của nhiều lĩnh vực khác một cách dễ dàng.

– Hệ đơn vị đo này đã giải quyết được vấn đề thống nhất hoá các đơn vị cho tất cả các dạng đo khác nhau. Ví dụ: đã thay một loạt đơn vị áp suất khác nhau (átmôtphê, milimét thuỷ ngân, milimét cột nước, bar, dyn trên centimét vuông, kilôgam lực trên centimét vuông...) bằng đơn vị pascan

(tức niutơn trên mét vuông); thay các đơn vị công và năng lượng (kilôgam lực mét, ec, calo, kilôcalo, kilôoát, êlectron vôn...) bằng một đơn vị jun để đo công và tất cả các dạng năng lượng.

– Cỡ của các đơn vị cơ bản và của hầu hết các đơn vị dẫn xuất rất thực dụng, phù hợp với yêu cầu thông thường của sản xuất và đời sống. Ví dụ: đơn vị diện tích – mét vuông, đơn vị thể tích – mét khối, đơn vị điện thế – vôn, đơn vị điện trở – ôm...

– Là một hệ nhất quán. Vì vậy trong hệ đơn vị này các phương trình vật lý có dạng đơn giản, thuận tiện cho tính toán. Nó cũng là một hệ thập phân với nhiều tiếp đầu ngữ mới.

– Trong Hệ đơn vị quốc tế, đơn vị khối lượng (kilôgam) và đơn vị lực (niutơn) được phân biệt với nhau rất rõ ràng.

– Đa số các đơn vị SI đều là những đơn vị quen thuộc từ trước tới nay nên dùng đơn vị SI không có khó khăn gì nhiều, các phương tiện đo không phải thay đổi quá tốn kém.

– Về mặt điện từ, SI là một hệ MKSA hợp lý hoá với những thứ nguyên đơn giản. Hệ này cho phép trình bày điện từ học một cách sâu sắc hơn so với các hệ CGS cũ.

– Tạo điều kiện đơn giản các phương trình, các công thức, tránh phải đưa vào các hệ số chuyển đổi xuất hiện do các đại lượng trong những phương trình và công thức ấy diễn tả theo những hệ đơn vị khác nhau.

– Định nghĩa các đơn vị cơ bản phản ánh được những thành tựu mới trong khoa học đo lường, cho phép thể hiện đơn vị với độ chính xác cao nhất.

– Góp phần tinh giản quá trình giảng dạy trong các trường trung học và đại học do bớt được nhiều thời gian nghiên cứu các hệ đơn vị và các đơn vị ngoài hệ phức tạp.

– Tạo điều kiện thuận lợi cho việc giao lưu kinh tế, khoa học, kỹ thuật và văn hoá giữa các nước với nhau.

Do có những ưu điểm trên, nên hiện nay hầu hết các nước trên thế giới đã công nhận Hệ đơn vị quốc tế và lấy nó làm cơ sở để thống nhất đơn vị trong phạm vi quốc gia.

2.8.3. Các tiêu chuẩn quốc tế về đơn vị SI

Trên cơ sở Hệ đơn vị quốc tế (SI) được Đại hội cân đo quốc tế (CGPM) lần thứ XI năm 1960, thông qua và trên cơ sở các quyết định bổ sung, phát triển SI của các CGPM sau đó, Tổ chức tiêu chuẩn hoá quốc tế (ISO) đã xây dựng và ban hành bộ tiêu chuẩn về “Đại lượng và đơn vị”. Bộ tiêu chuẩn này mang số hiệu ISO 31 được công bố lần đầu tiên năm 1974, tiếp đó được soát xét và công bố lần thứ 2 vào năm 1982 và lần thứ 3 vào năm 1992.

Bộ tiêu chuẩn ISO 31:1992 đã được nước ta chấp nhận hoàn toàn chuyển thành tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) gồm các tiêu chuẩn sau:

TCVN 6398-0:1998 ISO 31-0:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 0: Nguyên tắc chung;

TCVN 6398-1:1998 ISO 31-1:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 1: Không gian và thời gian;

TCVN 6398-2:1998 ISO 31-2:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 2: Hiện tượng tuần hoàn và có liên quan;

TCVN 6398-3:1998 ISO 31-3:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 3: Cơ học;

TCVN 6398-4:1999 ISO 31-4:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 4: Nhiệt;

TCVN 6398-5:1999 ISO 31-5:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 5: Điện và từ;

TCVN 6398-6:1999 ISO 31-6:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 6: Ánh sáng và bức xạ điện từ liên quan;

TCVN 6398-7:1999 ISO 31-7:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 7: Âm học;

TCVN 6398-8:1999 ISO 31-8:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 8: Hoá lý và vật lý phân tử;

TCVN 6398-9:2000 ISO 31-9:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 9: Vật lý nguyên tử và hạt nhân;

TCVN 6398-10:2000 ISO 31-10:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 10: Phản ứng hạt nhân và bức xạ ion hoá;

TCVN 6398-11:2000 ISO 31-11:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 11: Dấu hiệu và ký hiệu toán học dùng trong khoa học vật lý và công nghệ;

TCVN 6398-12:2000 ISO 31-12:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 12: Số đặc trưng;

TCVN 6398-13:2000 ISO 31-13:1992 Đại lượng và đơn vị – Phần 13: Vật lý chất rắn.

Hiện nay, để đáp ứng những yêu cầu đo lường mới, Tổ chức tiêu chuẩn hoá quốc tế và Ủy ban kỹ thuật điện quốc tế (IEC) đã và đang cùng soát xét, bổ sung, phát triển bộ tiêu chuẩn ISO 31:1992 thành bộ tiêu chuẩn ISO 80000 và IEC 80000 dưới tên chung “Đại lượng và đơn vị”.

ISO 80000 gồm 12 tiêu chuẩn thành phần: Phần 1: Tổng quát; Phần 2: Dấu hiệu và ký hiệu dùng trong khoa học tự nhiên và công nghệ; Phần 3: Không gian và thời gian; Phần 4: Cơ học; Phần 5: Nhiệt động lực học; Phần 7: Ánh sáng; Phần 8: Âm học; Phần 9: Hoá lý và vật lý phân tử; Phần 10: Vật lý nguyên tử và hạt nhân; Phần 11: Số đặc trưng; Phần 12: Vật lý chất rắn.

IEC 80000 gồm 3 tiêu chuẩn thành phần: Phần 6: Điện từ; Phần 13: Khoa học và công nghệ thông tin; Phần 14: Đo sinh học từ xa liên quan đến sinh lý học người.

2.8.4. Đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam

Đơn vị đo lường hợp pháp, gọi tắt là đơn vị hợp pháp, là đơn vị đo lường quy định và cho phép sử dụng bằng luật pháp. Pháp lệnh Đo lường (1999) của nước ta đã công nhận Hệ đơn vị quốc tế (SI) và giao Chính phủ quy định đơn vị đo lường hợp pháp phù hợp với SI. Ngày 28/09/2001, Thủ tướng Chính phủ đã ký Nghị định số 65/2001/NĐ-CP ban hành hệ thống đơn vị đo lường hợp pháp của nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam.

Gần đây nhất, ngày 15/08/2007, Thủ tướng Chính phủ lại ký Nghị định số 134/2007/NĐ-CP Quy định về đơn vị đo lường chính thức thay thế Nghị định 65/2001/NĐ-CP. Tuy nhiên, nội dung hai Nghị định về cơ bản là như nhau.

Theo Nghị định trên, đơn vị đo lường hợp pháp của nước ta gồm trên 100 đơn vị được quy định cụ thể cho hơn 100 đại lượng thuộc các lĩnh vực: không gian, thời gian và hiện tượng tuần hoàn; cơ; nhiệt; điện từ; ánh sáng và bức xạ điện từ liên quan; âm; hoá lý và vật lý phân tử; bức xạ ion hoá. Đây hoàn toàn là các đơn vị được thiết lập trên cơ sở SI, ước bội thập phân của các đơn vị này và một số đơn vị ngoài SI được dùng theo thông lệ quốc tế. Ngoài ra, Nghị định còn cho phép sử dụng tất cả các đơn vị dẫn xuất nhất quán từ SI khác và các đơn vị theo thang đo quy ước mà quốc tế đã thống nhất. Những đơn vị này cũng được xem là đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam.

2.8.5. Nguyên tắc viết giá trị của đại lượng

Khi viết giá trị của đại lượng cần tuân theo các nguyên tắc thống nhất của quốc tế và nước ta đã chấp nhận thể hiện trong Nghị định về đơn vị như:

+ Không dùng dấu chấm (.) mà dùng khoảng cách bằng một ký tự để phân các nhóm số. Ví dụ, không viết 299.792.458 m/s mà viết 299 792 458 m/s.

+ Tên đơn vị viết bằng chữ thường, dù xuất phát từ tên riêng. Ví dụ: mét, giây, ampe, kenvin, pascan...

+ Ký hiệu đơn vị nói chung bằng chữ thường, trừ trường hợp khi tên đơn vị xuất phát từ một tên riêng thì chữ cái thứ nhất trong ký hiệu được viết hoa. Ví dụ: m, s, A, K, Pa...

+ Khi một đơn vị được tạo thành bằng cách nhân hai hay nhiều đơn vị, dùng dấu chấm cao giữa dòng (trong các hệ với bộ ký tự hạn chế có thể sử dụng dấu chấm trên cùng dòng) hoặc khoảng cách bằng một ký tự để chỉ phép nhân này. Ví dụ đơn vị công là niuton mét có ký hiệu là N.m hoặc N m.

+ Khi một đơn vị được tạo thành bằng cách chia một đơn vị cho đơn vị khác, dùng gạch ngang (—), gạch chéo (/) hoặc lũy thừa âm để chỉ phép chia này. Ví dụ: đơn vị vận tốc mét trên giây, ký hiệu là $\frac{m}{s}$, hoặc m/s, hoặc $m.s^{-1}$, hoặc $m s^{-1}$. Riêng trường hợp sau dấu gạch chéo có dấu nhân hoặc chia, phải để các dấu này trong ngoặc đơn. Ví dụ: đơn vị nhiệt dung riêng jun trên kilôgam kenvin ký hiệu là $J/(kg.K)$, hoặc $\frac{J}{kg.K}$, hoặc $\frac{J}{kgK}$, hoặc $J.kg^{-1}.K^{-1}$, hoặc $J kg^{-1} K^{-1}$.

+ Ký hiệu đơn vị phải để sau và trên cùng một dòng với trị số của đại lượng, kể cả khi trị số là số thập phân; giữa số sau cùng và ký hiệu phải có khoảng cách bằng một ký tự. Ví dụ: 125,452 36 m; 9,25 kg...

+ Khi ghi giá trị đại lượng có kèm theo độ lệch, trị số và độ lệch phải đặt trong dấu ngoặc hoặc viết ký hiệu đơn vị lần lượt sau trị số và độ lệch. Ví dụ: $(100,0 \pm 0,1)$ g hoặc $100,0 g \pm 0,1 g$.

Chương 3

CHUẨN ĐO LƯỜNG

3.1. KHÁI NIỆM, PHÂN LOẠI CHUẨN

Theo TCVN 6165-1996, chuẩn đo lường, hay vắn tắt là chuẩn, được 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 hoặc một hay nhiều giá trị của đại lượng để dùng làm mốc so sánh”. Ví dụ như chuẩn khối lượng 1 kg; chuẩn điện trở 100 Ω ; ampe mét chuẩn; chuẩn tần số xesi; điện cực hydrogen chuẩn; dung dịch chuẩn cortisol trong huyết thanh người có nồng độ đã được chứng nhận... VIM:2007 đã trình bày khái niệm chuẩn đo lường tổng quát hơn, có gắn với độ không đảm bảo đo: chuẩn đo lường là sự thể hiện định nghĩa của đại lượng đã cho, với giá trị đại lượng được công bố và độ không đảm bảo đo kèm theo, dùng để làm mốc quy chiếu.

Như vậy, chuẩn đo lường chính là sự thể hiện bằng vật chất độ lớn của đơn vị đo lường theo định nghĩa. Về bản chất, chuẩn cũng là các thiết bị đo lường, nhưng khác với các thiết bị đo lường thông thường ở chỗ các thiết bị đo này không dùng cho các phép đo thực tế hàng ngày, nó chỉ dùng để đặc trưng cho đơn vị, để truyền đơn vị đến các chuẩn và các phương tiện đo khác có độ chính xác thấp hơn, như dùng để kiểm định, hiệu chuẩn, đánh giá thiết bị đo và các phép đo, để khắc độ thiết bị đo khi chế tạo... Hệ thống chuẩn đo lường là cơ sở kỹ thuật quan trọng nhất để đảm bảo tính thống nhất và độ chính xác cần thiết của phép đo trong phạm vi quốc gia và quốc tế.

Trường hợp chuẩn được tạo thành từ một tập hợp các vật đo tương tự nhau hoặc từ các phương tiện đo được sử dụng kết hợp với nhau, gọi là chuẩn nhóm. Ví dụ, chuẩn đơn vị vôn (V) là một nhóm gồm 20 pin chuẩn, giá trị chuẩn vôn này là giá trị trung bình của 20 pin chuẩn đó. Trường hợp chuẩn được tạo thành từ một tập hợp các chuẩn với những giá trị được chọn một cách riêng biệt hoặc phối hợp với nhau để cung cấp các dãy giá trị của các đại lượng cùng loại, gọi là bộ chuẩn. Ví dụ như bộ can chuẩn, bộ quả cân chuẩn, bộ mật độ kế chuẩn... dùng để xác định độ dài, khối lượng, mật độ... ở những dải giá trị khác nhau.

Chuẩn nhóm và bộ chuẩn có thể có thành phần không đổi hoặc thay đổi.

Có thể phân loại chuẩn theo độ chính xác hoặc mục đích sử dụng của chuẩn.

Căn cứ theo độ chính xác có thể phân loại chuẩn thành chuẩn đầu, chuẩn thứ, chuẩn bậc I, bậc II...

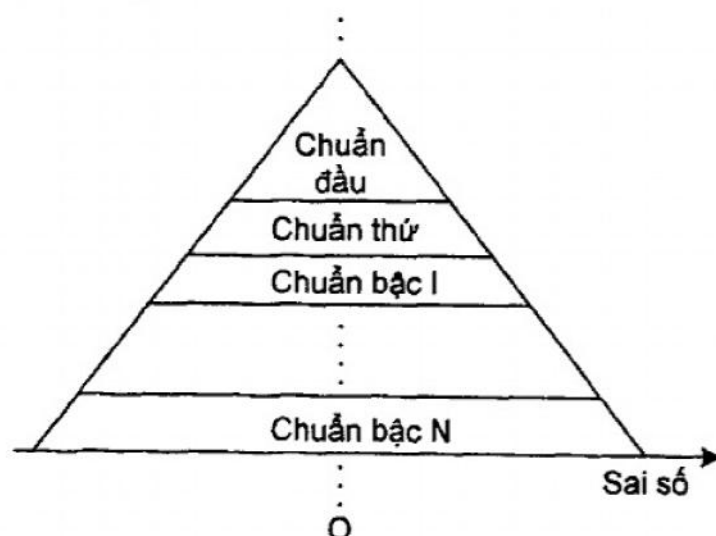
Chuẩn đầu: là chuẩn được chỉ định hay được thừa nhận rộng rãi là có chất lượng về mặt đo lường cao nhất và giá trị của nó được chấp nhận không dựa vào các chuẩn khác của cùng đại lượng. Khái niệm chuẩn đầu này được dùng như nhau đối với đại lượng cơ bản và cả đại lượng dẫn xuất. Ví dụ: Bình điểm ba của nước là chuẩn đầu của nhiệt độ nhiệt động lực; chuẩn đầu áp suất dựa trên cơ sở các phép đo riêng rẽ khối lượng và diện tích; chuẩn gốc quốc tế của kilôgam là một vật mẫu được chọn theo quy ước...

Chuẩn thứ: 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.

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

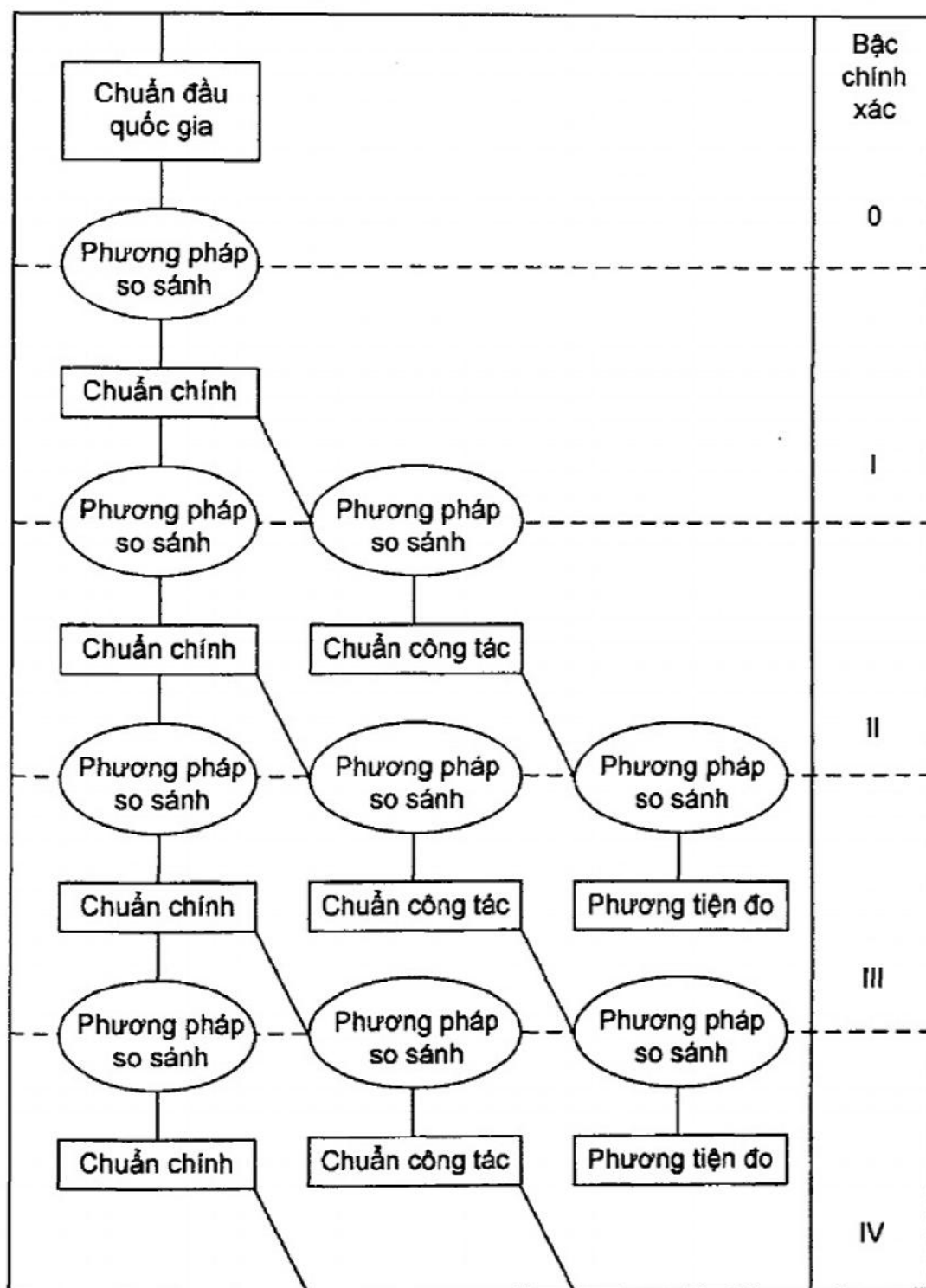
Dễ thấy rằng, độ chính xác của chuẩn sẽ giảm dần từ chuẩn đầu đến chuẩn thứ, chuẩn bậc I, chuẩn bậc II... Có thể dùng sơ đồ kim tự tháp để minh họa cách phân loại chuẩn nêu trên.



Hình 3.1. Phân loại chuẩn theo độ chính xác

Số bậc N bằng bao nhiêu là tùy thuộc yêu cầu của từng lĩnh vực đo. Ví dụ lĩnh vực dung tích có chuẩn đầu, chuẩn bậc I, bậc II; lĩnh vực độ dài có

chuẩn đầu, chuẩn thứ và tới chuẩn bậc V; lĩnh vực khối lượng có chuẩn đầu, chuẩn thứ, quả cân cấp chính xác E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3 (theo ký hiệu của Tổ chức đo lường pháp định quốc tế – OIML về cấp chính xác của quả cân), như vậy lĩnh vực khối lượng có tới 9 bậc chuẩn.



Hình 3.2. Phân loại chuẩn theo độ chính xác và theo chức năng sử dụng

Theo chức năng, mục đích sử dụng có thể phân loại chuẩn thành: chuẩn quốc tế, chuẩn quốc gia, chuẩn chính, chuẩn công tác.

Chuẩn quốc tế: 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: 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: 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 dùng để hiệu chuẩn các chuẩn đo lường khác thuộc một loại đã cho.

Chuẩn công tác: là chuẩn được dùng thường xuyên để hiệu chuẩn hoặc kiểm tra vật đo, phương tiện đo hoặc mẫu chuẩn. Chuẩn công tác thường xuyên được hiệu chuẩn bằng cách so sánh với chuẩn chính.

Có thể minh họa tóm tắt các cách phân loại chuẩn trên bằng sơ đồ trên hình 3.2.

Mẫu chuẩn

Mẫu chuẩn về thành phần và tính chất của các chất và vật liệu, hay vắn tắt là mẫu chuẩn (RM – Reference Material) được xem như một dạng đặc biệt của chuẩn đo lường.

Mẫu chuẩn được định nghĩa là vật liệu hoặc chất có một hay nhiều giá trị về tính chất của nó được xác định đủ đồng nhất và tốt để hiệu chuẩn một thiết bị, đánh giá một phương pháp đo hoặc để ấn định các giá trị của vật liệu. Mẫu chuẩn có thể là một chất khí đơn, khí hỗn hợp, chất lỏng hoặc chất rắn. Ví dụ mẫu chuẩn đất canxi pha sét để hiệu chuẩn thiết bị phân tích đất và thành phần gồm $(0,36 \pm 0,10) \mu\text{g/g}$ cadmium (Cd), $(32,6 \pm 1,4) \mu\text{g/g}$ đồng (Cu), $(81,3 \pm 3,7) \mu\text{g/g}$ thiếc (Zn)...; dung dịch chuẩn $(6 \div 8) \text{pH} \pm 0,005$ đ.v pH để hiệu chuẩn pH mét; khí chuẩn ôxy trong nitơ $(0 \div 25) \% \text{V} \pm 0,006 \%$ để hiệu chuẩn thiết bị phân tích khí...

Mẫu chuẩn được chứng nhận (CRM – Certified Reference Material) là mẫu chuẩn có kèm theo giấy chứng nhận, trong đó một hay nhiều giá trị về tính chất của nó được chứng nhận theo một thủ tục nhằm thiết lập sự liên kết

với việc thể hiện chính xác đơn vị mà theo đó các giá trị về tính chất được biểu thị ra và mỗi giá trị được chứng nhận có kèm theo độ không đảm bảo đo tương ứng với mức tin cậy quy định. Các mẫu chuẩn đã được chứng nhận thường được chuẩn bị theo lô, các giá trị về tính chất được xác định bằng các phép đo trên mẫu đại diện cho lô với giới hạn không đảm bảo đã định.

Vai trò của mẫu chuẩn đang ngày càng trở nên quan trọng, đặc biệt đối với việc đảm bảo độ chính xác của các thiết bị phân tích và thử nghiệm để xác định thành phần và tính chất của các chất và vật liệu biểu thị theo đơn vị tương đối. Những thiết bị đó có thể nêu ra như: sắc ký khí, phổ kế khối lượng quang phổ kế hấp thụ, phân cực kế, khúc xạ kế, các thiết bị phân tích khí...

3.2. CHUẨN CỦA CÁC ĐƠN VỊ CƠ BẢN

3.2.1. Chuẩn đơn vị độ dài – mét

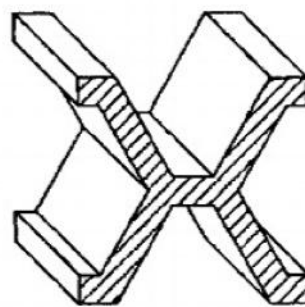
Các đơn vị đo độ dài đầu tiên đã được lựa chọn một cách khá tùy tiện và độc đoán. Thời cổ xưa đơn vị đo độ dài là bước chân, gang tay, bàn chân, khuỷu tay... Năm 1101 vua Henry I nước Anh quy định đơn vị độ dài là khoảng cách từ đỉnh mũi đến đầu ngón tay chỏ khi nhà vua dang tay ra. Dễ thấy rằng những chuẩn đơn vị độ dài như vậy không thể đạt độ chính xác cao.

Cuối thế kỷ 18, khi xây dựng Hệ mét, người ta đã chọn đơn vị độ dài là mét và định nghĩa mét là độ dài bằng $1/10$ triệu của phần tư kinh tuyến quả đất.

Năm 1799, dựa vào kết quả đo cung kinh tuyến quả đất đi qua Paris, người ta đã chế tạo chuẩn của đơn vị mét. Chuẩn này là một thước hình hộp chữ nhật bằng platin, có tiết diện $25\text{ mm} \times 4\text{ mm}$, hai đầu được đánh rất bóng và có độ dài đúng bằng 1 m theo định nghĩa. Thước được bảo quản ở Viện lưu trữ quốc gia của Pháp gọi là “*mét lưu trữ*”.

Việc đo đạc độ dài kinh tuyến quả đất ở thế kỷ XIX đã cho thấy “*mét lưu trữ*” ngắn hơn một ít so với độ dài mét theo định nghĩa lý thuyết. Sau này những phép đo chính xác, tin cậy hơn cho thấy độ dài kinh tuyến của quả đất không cố định do sự thay đổi hình dạng của quả đất. Vì vậy năm 1872, Ủy ban quốc tế về chuẩn gốc của Hệ mét, được thành lập theo sáng kiến của Viện hàn lâm khoa học Pêtéc-bua (Nga), đã quyết định bỏ định nghĩa mét dựa vào độ dài kinh tuyến của quả đất và lấy ngay độ dài “*mét lưu trữ*” làm đơn vị mét.

Theo quyết định trên, người ta đã dựa vào “mét lưu trữ” để chế tạo 31 chuẩn mét. Các chuẩn này được chế tạo bằng platin-iridi, một hợp kim nổi tiếng là bền chắc, dài 102 cm, tiết diện chữ X nội tiếp được trong một hình lập phương tương tự mỗi cạnh 20 mm (hình 3.3). Chuẩn ký hiệu N°6 ở 0 °C có độ dài đúng bằng “mét lưu trữ”, đã được Đại hội cân đo quốc tế (CGPM) I họp năm 1889 công nhận là chuẩn quốc tế của mét. 30 chuẩn còn lại được phân chia bằng cách bốc thăm cho các nước để dùng làm chuẩn quốc gia.



Hình 3.3. Chuẩn đơn vị mét tiết diện chữ X

Dựa vào chuẩn gốc quốc tế trên, năm 1927 CGPM lần thứ VII đã thông qua định nghĩa của đơn vị mét: “Mét là khoảng cách ở 0 °C giữa hai trục của hai vạch giữa khắc ở hai đầu một thanh bằng platin-iridi bảo quản ở Viện cân đo quốc tế và được Đại hội cân đo quốc tế lần thứ I công nhận là chuẩn gốc của mét, trong điều kiện thanh đó đặt dưới khí áp chuẩn và tựa trên hai con lăn đường kính không bé hơn 1 cm đặt đối xứng trong một mặt phẳng ngang cách nhau 517 mm”. Định nghĩa này được dùng mãi cho đến CGPM lần thứ XI năm 1960.

Chuẩn mét theo định nghĩa trên có những nhược điểm sau:

- Về tính cố định: dù được chế tạo bằng một hợp kim rất tốt, chuẩn mét vẫn có thể dài ra, hoặc ngắn lại do sự sắp xếp của các tinh thể hợp kim.

- Về tính chính xác: việc xác định trục của hai vạch giữa theo định nghĩa mét rất khó khăn, mỗi vạch này rộng chừng 0,8 μm , với kính hiển vi phóng đại 100 lần có thể xác định trục với độ chắc chắn 0,2 μm , tức độ chính xác của bản thân chuẩn là khoảng $4 \cdot 10^{-7}$. Hơn nữa độ lớn của chuẩn phụ thuộc khá nhiều vào nhiệt độ, nhiệt độ thay đổi 1 độ, chuẩn này thay đổi 9 μm , muốn chính xác đến 0,01 μm phải ổn định đến 10^{-3} độ, đây là một việc khá khó khăn.

- Hơn nữa, vì một lý do nào đó, chuẩn bị phá hủy thì việc tái tạo lại rất khó khăn. Ngoài ra, mỗi lần muốn so sánh quốc tế, các nước lại phải mang chuẩn của mình tới Paris, đây cũng là điều không thuận lợi cho việc bảo quản và khai thác chuẩn.

Vì những lý do trên, với mong muốn có một chuẩn mét đạt độ chính xác cao hơn và gắn liền được với một hiện tượng tự nhiên không bị phá

huỷ, CGPM lần thứ XI năm 1960 ở Paris khi thông qua hệ SI đã định nghĩa: “*Mét là độ dài bằng 1 650 763,73 lần bước sóng bức xạ trong chân không ứng với sự chuyển giữa các mức $2p^{10}$ và $5d^5$ của nguyên tử krypton 86*”. Viện cân đo quốc tế và nhiều Viện đo lường quốc gia của các nước đã chế tạo ra “đèn krypton” để thể hiện đơn vị mét theo định nghĩa này. Trong những điều kiện bảo quản và sử dụng đặc biệt đã được quy định và với trang thiết bị cần thiết kèm theo, có thể thể hiện và truyền đơn vị mét với độ không đảm bảo khoảng 5.10^{-9} .

Đại hội cân đo quốc tế (CGPM) lần thứ XVII, năm 1983 đã có quyết định mới về định nghĩa đơn vị độ dài mét. Thay vì định nghĩa dựa trên cơ sở bức xạ ứng với các mức $2p^{10}$ và $5d^5$ của nguyên tử krypton 86, mét giờ đây được định nghĩa là *độ dài quãng đường ánh sáng đi được trong chân không trong khoảng thời gian bằng 1/299 792 458 giây*. Với định nghĩa này người ta đã thực hiện được ý định liên kết chuẩn đơn vị độ dài với chuẩn đơn vị thời gian. Chuẩn đơn vị thời gian – giây – đã đạt tới độ chính xác rất cao và nhờ việc cố định một giá trị cho vận tốc ánh sáng, định nghĩa mới trên cho phép thể hiện đơn vị mét với độ chính xác cao hơn nhiều so với đèn krypton 86. CGPM lần thứ XV, năm 1975, đã ấn định vận tốc ánh sáng trong chân không là:

$$c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

Với giá trị vận tốc ánh sáng cố định nêu trên, việc thể hiện mét có thể thực hiện bằng bất cứ một nguồn bức xạ điện từ nào có tần số đã biết hoặc có thể đo được. Ủy ban cân đo quốc tế (CIPM) đã chọn ra một tập hợp các chuyển dời nguyên tử và phân tử có bước sóng và tần số xác định. Ở những bước sóng và tần số này, các bức xạ khác nhau là có thể ổn định được. Hiện nay, lade khí hêli (He) neon (Ne) ổn định iốt (I) ở bước sóng khoảng 633 nm (633.10^{-9} m) được dùng rất phổ biến để thể hiện đơn vị độ dài mét.

Thuật ngữ lade (laser) là viết tắt của cụm từ “light amplification by stimulated emission of radiation”, nghĩa là khuếch đại ánh sáng bằng bức xạ cưỡng bức. Các bộ phận chính của một lade là môi trường hoạt tính (môi trường phát ra bức xạ), thiết bị bơm năng lượng và bộ cộng hưởng.

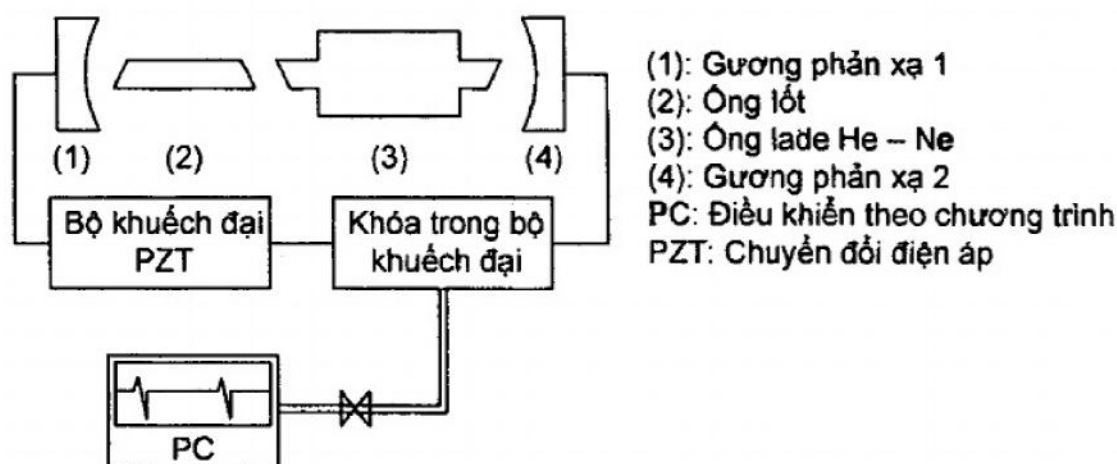
Lade hêli–neon là loại máy phát lượng tử quang học dùng hỗn hợp khí phổ biến nhất. Môi trường hoạt tính ở đây là hỗn hợp khí hêli và neon chứa đầy trong ống thủy tinh ở áp suất thấp. Hỗn hợp khí được kích thích (bơm

năng lượng) bằng trường điện từ cao tần hoặc bằng cách cho dòng điện một chiều đi qua nó. Khi đó đa số các hạt (phân tử, ion, nguyên tử) sẽ ở trạng thái bị kích thích. Một chuyển mức ngẫu nhiên của hạt từ mức năng lượng cao E_2 xuống mức năng lượng thấp E_1 sẽ bức xạ một photon (lượng tử ánh sáng) có tần số và bước sóng xác định:

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h} \text{ và } \lambda = \frac{c}{f}$$

Photon này truyền dọc theo trục ống, khi gặp hạt ở trạng thái kích thích khác, nó gây bức xạ cưỡng bức kết hợp với photon sơ cấp. Nhờ phản xạ đi và phản xạ lại nhiều lần tại các gương (bộ cộng hưởng) ở hai đầu ống khí, cường độ bức xạ cưỡng bức tăng lên liên tục. Lade khí hêli–nêon ngoài ánh sáng đỏ tươi ở vùng quang phổ nhìn thấy được ($\lambda = 633 \text{ nm}$), còn phát ra bức xạ trong vùng hồng ngoại với bước sóng 1 150 nm và 3 390 nm.

Ống iốt được lắp vào bên trong hốc lade, ở đó sự bức xạ quang học là rất mạnh (cỡ 10 mW). Điều này làm cho các tín hiệu hấp thụ bão hoà hết sức hẹp. Lade được điều chỉnh và được giữ cố định tại một trong bảy vạch hấp thụ của iốt dưới sự kiểm soát của một máy tính. Người ta đã đo cẩn thận tần số của các vạch hấp thụ này bằng cách so sánh với chuẩn thời gian xesi.



Hình 3.4. Sơ đồ khối lade He–Ne ổn định I

Phần lớn Viện đo lường quốc gia của các nước phát triển hiện nay đều dùng lade He–Ne ổn định I làm chuẩn đầu quốc gia cho đơn vị độ dài mét. Các chuẩn độ dài dùng trong thực tế như can chuẩn, thước vạch được so sánh với bước sóng chuẩn của bức xạ do lade He–Ne ổn định I phát ra bằng các máy giao thoa quang điện. Các lade này đã “thương mại hoá”, được bán bình thường trên thị trường, với độ chính xác tốt hơn 1.10^{-10} .

Các đợt so sánh quốc tế đối với các lade He-Ne ổn định I ở bước sóng khoảng 633 nm tiến hành tại Viện cân đo quốc tế đã cho biết độ không đảm bảo có thể đạt tới vài phần 10^{-11} . Việc sử dụng lade điôt có đường tăng ích rộng hơn nhiều so với các lade khí, kết hợp với kỹ thuật làm ổn định bằng các tia nguyên tử hoặc phân tử, tạo điều kiện cải thiện quan trọng về độ tái lập của các lade. Các dây tần số mới liên kết chuẩn tần số xesi ở 9 GHz với các tần số quang học, sẽ chuyển sự cải tiến về độ tái lập này thành sự cải tiến về độ chính xác.

3.2.2. Chuẩn đơn vị khối lượng – kilôgam

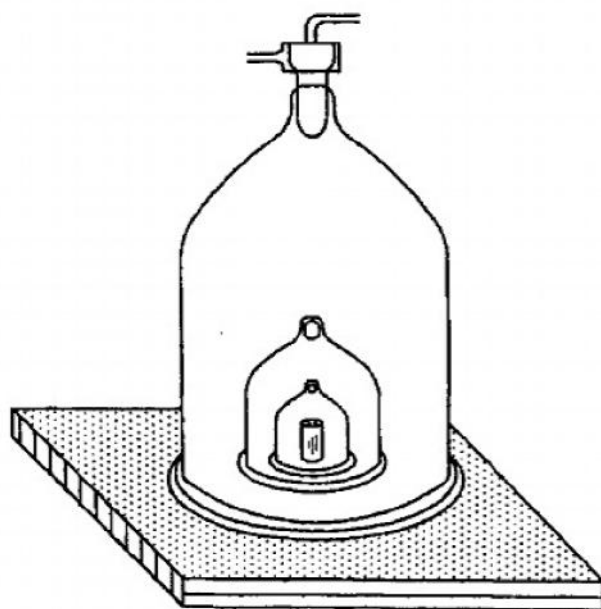
Khi xây dựng Hệ mét, định nghĩa đơn vị khối lượng “kilôgam” là *khối lượng của một đêximét khối nước tinh khiết ở nhiệt độ 4°C*, nhiệt độ mà nước có khối lượng riêng lớn nhất. Vào thời kỳ này, xác định được chính xác khối lượng của một thể tích nước nhất định nào đó bằng cách cân liên tiếp trong không khí và trong nước một khối trụ rỗng bằng đồng có kích thước đã được xác định cẩn thận. Dựa vào các phép cân này, năm 1799 người ta đã chế tạo hai quả chuẩn đầu tiên của kilôgam bằng platin. Đây là những quả cân hình trụ có đường kính và chiều cao bằng nhau và bằng 39 mm. Một quả được bảo quản ở phòng vĩ độ (Viện thiên văn quốc gia Pháp), một quả được coi là chính, bảo quản ở Viện lưu trữ quốc gia Pháp và gọi là “*kilôgam lưu trữ*”.

Cuối thế kỷ 19 người ta đã tiến hành đo lại rất cẩn thận khối lượng của 1 dm³ nước tinh khiết ở 4 °C. Kết quả cho thấy nó nhỏ hơn khối lượng của “*kilôgam lưu trữ*” 0,028 g. Hơn nữa việc so sánh “*kilôgam lưu trữ*” với định nghĩa lý thuyết rất khó khăn và độ chính xác đạt được không cao (khoảng $2-3 \cdot 10^{-5}$) trong khi đó nếu so sánh các quả chuẩn kilôgam với nhau thì dễ dàng hơn và đạt độ chính xác cao hơn. Vì vậy năm 1872, Ủy ban quốc tế về chuẩn gốc của Hệ mét đã quyết định lấy ngay khối lượng của “*kilôgam lưu trữ*” làm đơn vị đo khối lượng. Trên cơ sở quyết định này, dựa vào “*kilôgam lưu trữ*” người ta đã chế tạo chuẩn gốc quốc tế mới của kilôgam và những chuẩn sao của nó để phân phát cho các nước. Chuẩn gốc quốc tế mới của kilôgam được bảo quản tại Viện cân đo quốc tế (BIPM). Cũng như chuẩn mét, những chuẩn này được chế tạo bằng hợp kim platin-iridi, có hình dạng và kích thước giống như “*kilôgam lưu trữ*”. Đại hội cân đo quốc tế lần thứ nhất họp năm 1889 đã công nhận định nghĩa mới của kilôgam:

kilôgam là khối lượng của chuẩn gốc quốc tế kilôgam. Định nghĩa này còn được dùng cho đến hiện nay.

Để so sánh chuẩn gốc quốc tế kilôgam với chuẩn kilôgam của các nước khác người ta dùng phương pháp cân đối trên cân chuẩn điều khiển từ xa. Cân được đặt trong phòng có nhiệt độ ổn định. Trước khi so sánh, các quả cân chuẩn được đặt vào trong hòm cân ít nhất là 24 giờ để đạt được trạng thái cân bằng nhiệt độ. Khi xử lý kết quả đo, phải hiệu chỉnh ảnh hưởng của áp suất và độ ẩm không khí. Độ chính xác của phép so sánh này hiện tại có thể đạt tới 10^{-9} , một độ chính xác khá cao.

Một nguyên nhân quan trọng ảnh hưởng đến độ chính xác của chuẩn kilôgam là bề mặt của nó. Bằng kính hiển vi điện tử (phóng đại khoảng 3000 lần) hoặc chụp bằng tia rơnghen người ta đã phát hiện những vết lõm trên mặt quả cân chuẩn. Bề mặt tiếp xúc thực tế với môi trường lớn hơn là ta tưởng. Khối lượng chuẩn sẽ tăng khi “bắn” và sẽ giảm khi được lau chùi sạch hoặc bị hao mòn.



Hình 3.5. Chuẩn gốc quốc tế của kilôgam

Hình 3.5 mô tả quả chuẩn gốc quốc tế của kilôgam đặt trong 3 quả chuông bằng thủy tinh đã được rút hết không khí.

Các quả kilôgam chuẩn bằng platin–iridi (Pt–Ir) có khối lượng tăng lên như là một hàm của thời gian. Sự tăng này phụ thuộc vào điều kiện môi trường bảo quản và vào chất lượng bề mặt quả chuẩn. Phần lớn sự dịch

chuyển khối lượng này do quá trình làm sạch quả chuẩn gây ra. Khối lượng thường tăng nhiều hơn khoảng 1µg/tháng, vào tháng thứ ba và tư sau khi làm sạch. Tiếp đó giảm xuống trung bình còn 1µg/năm với những chu kỳ quan sát dài. Đây là vấn đề đang được nghiên cứu ở BIPM.

Việc dẫn truyền đơn vị khối lượng từ chuẩn gốc quốc tế của kilôgam có một nhược điểm quan trọng: cho đến nay vẫn chưa có cách nào để đánh giá sự thay đổi khối lượng theo thời gian của chuẩn quốc tế. Sự cách biệt nhau giữa khối lượng của 40 quả chuẩn gốc kilôgam quốc gia Pt-Ir được chế tạo cùng thời gian với chuẩn quốc tế đã lên tới vài trăm microgam. Các thí nghiệm độc lập liên kết khối lượng hoặc các đại lượng có liên quan với các hằng số vật lý cơ bản hiện mới chỉ đạt độ chính xác vài phần 10^{-7} , tương đương với vài phần mười miligam so với khối lượng 1 kilôgam của chuẩn.

Một trong các hướng được đưa ra để theo dõi độ ổn định và đặt cơ sở cho định nghĩa mới của kilôgam là dựa vào sự so sánh năng lượng điện với năng lượng cơ bằng cách sử dụng cân đòn. Lực trọng trường tác động lên khối lượng 1kg trước hết được làm cân bằng bằng lực điện từ gây ra do dòng điện I chạy qua một cuộn dây treo trong từ trường. Sau đó cuộn dây được làm cho chuyển động trong từ trường với vận tốc v và đo hiệu điện thế U qua cuộn dây. Mối liên hệ giữa các đại lượng đã được đo là:

$$mgv = IU$$

Bằng cách đo cường độ dòng điện I và hiệu điện thế U theo điện thế qua lớp tiếp xúc Josephson (tỷ lệ với $2e/h$, e là điện tích của điện tử và h là hằng số Plank) và điện trở lượng tử Hall (tỷ lệ với h/e^2), khối lượng m có thể đo được bằng hằng số Plank h với điều kiện đo được gia tốc trọng trường g . Độ chính xác của các thực nghiệm được tiến hành như trên chỉ bị giới hạn bởi độ chính xác của sự tỷ lệ giữa hiệu điện thế Josephson và điện trở lượng tử Hall với $2e/h$ và h/e^2 , và bởi độ chính xác của việc đo g hiện đã đạt được khoảng một vài phần 10^{-9} .

Độ chính xác của việc xác định hằng số Plank h gần đây đã được cải thiện rất nhiều. NIST (Viện quốc gia về chuẩn và công nghệ Mỹ) đã xác định được h với độ không đảm bảo 9.10^{-8} và đang hoàn thiện để giảm xuống dưới 1.10^{-8} . Một định nghĩa mới về kilôgam theo hướng cố định hằng số Plank h xuất phát từ biểu thức quen thuộc $E = mc^2$ và $E = h\nu$ đang được khẩn trương nghiên cứu đề xuất.

3.2.3. Chuẩn đơn vị thời gian – giây

Nguyên nhân sinh ra ngày và đêm là sự tự quay của quả đất xung quanh trục của nó. Từ lâu người ta đã dựa vào chu kỳ quay này để xây dựng đơn vị thời gian. Giây được định nghĩa là *khoảng thời gian bằng $1/86\,400$ ngày mặt trời trung bình*. Ngày mặt trời trung bình là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp “mặt trời trung bình” đi qua cùng một điểm cao nhất nào đó. “Mặt trời trung bình” được hiểu là một mặt trời tưởng tượng chuyển động đều (một cách tương đối có thể xem là mặt trời chuyển động so với quả đất) theo đường xích đạo và thực hiện một vòng quay của nó trên vòm trời mất một khoảng thời gian đúng bằng khoảng thời gian mà mặt trời thực chuyển động không đều theo quỹ đạo elip thực của nó.

Nhưng rất tiếc là sự tự quay của quả đất không đều đặn và phức tạp. Ngoài biến đổi trường kỳ (khoảng 5 thế kỷ chu kỳ tự quay của quả đất dài thêm 1 giây) còn có những biến đổi theo mùa và bất thường khác không tính toán được. Độ chính xác của việc xác định ngày mặt trời trung bình chỉ đạt 10^{-7} .

Sau một thời gian nghiên cứu, Đại hội cân đo quốc tế lần thứ XI năm 1960 đã công nhận định nghĩa mới của giây gọi là giây ephemerit. Định nghĩa này không dựa vào sự tự quay của quả đất xung quanh trục của nó mà dựa vào sự chuyển động của quả đất xung quanh mặt trời. Cơ sở của định nghĩa này độ dài của năm trôpic. Năm trôpic là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp mặt trời đi qua điểm xuân phân. Giây được định nghĩa là *khoảng thời gian bằng $1/31\,556\,925,974\,7$ của năm trôpic tính cho năm 1900, tháng giêng, ngày 0 lúc 12 giờ theo lịch thiên văn* (tức là 31 tháng 12 năm 1899). Do hiện tượng tuế sai của quả đất, do sự chuyển động của quả đất xung quanh mặt trời không hoàn toàn đều đặn nên độ dài của năm trôpic có thay đổi. Nhưng bằng quan sát thực nghiệm, nhà thiên văn Mỹ Newcom đã đưa ra được một công thức tuyến tính, cho phép xác định chính xác độ dài của năm trôpic cho một thời điểm nào đó tính từ thời điểm gốc mà Newcom đã chọn: ngày 0 tháng giêng năm 1900. Định nghĩa của giây dựa vào độ dài của năm trôpic cho thời điểm gốc đó, về lý thuyết cho phép xác định giây chính xác tới 10^{-10} (1000 lần chính xác hơn định nghĩa cũ). Trong thực tế, đơn vị thời gian chính xác thường được thể hiện bằng đồng hồ thạch anh (các bộ dao động điện tử với bộ phận cộng hưởng thạch anh áp điện). Các tín hiệu thời gian được lấy ra từ đây và được phát đi bằng sóng

vô tuyến. Độ chính xác thực tế đạt được của giây theo định nghĩa trên vào khoảng 10^{-9} . Độ chính xác này cũng không đáp ứng được yêu cầu trong lĩnh vực đo tần số và thời gian. Thêm vào đó, xác định giây theo định nghĩa trên đòi hỏi một thời gian quan sát thiên văn hàng chục năm. Nhu cầu tìm một chuẩn tự nhiên mới cho đơn vị thời gian để khắc phục các nhược điểm trên lại xuất hiện.

Từ những năm 50 người ta đã chế tạo các chuẩn tần số – thời gian nguyên tử và phân tử mới. Cơ sở của các chuẩn này là khả năng bức xạ và hấp thụ năng lượng của phân tử và nguyên tử dịch chuyển giữa hai mức năng lượng trong dải tần số vô tuyến. Hiện nay có một số loại chuẩn tần số – thời gian phân tử và nguyên tử được sử dụng rộng rãi sau đây:

- Bộ dao động phân tử với chùm tia phân tử amoniac (NH_3) chế tạo dựa trên cơ sở phân chia các nguyên tử amoniac theo hai mức năng lượng bằng điện trường chọn lọc và điều tiêu.

- Chuẩn với chùm tia nguyên tử xesi dựa trên cơ sở chọn lọc các nguyên tử xesi theo các mức có cấu tạo siêu tinh tế bằng từ trường không đồng nhất.

- Bộ dao động nguyên tử hydro sử dụng sự dịch chuyển lượng tử đơn giản nhất trong trạng thái cơ bản của nguyên tử hydro để phát dao động điện từ.

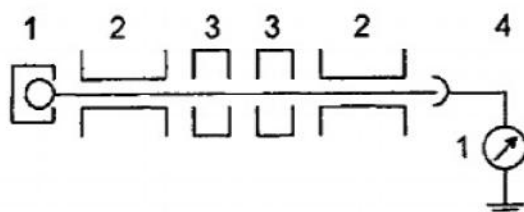
Năm 1967, Đại hội cân đo quốc tế lần thứ XIII đã công nhận định nghĩa mới của giây – giây nguyên tử. Theo định nghĩa này, giây là *khoảng thời gian bằng 9 192 631 770 chu kỳ bức xạ ứng với sự chuyển giữa hai mức siêu tinh tế $F = 4, m_F = 0$ và $F = 3, m_F = 0$ của nguyên tử xesi 133 khi không bị nhiễu loạn bởi trường ngoài*. Định nghĩa này bảo đảm độ lớn của “giây nguyên tử” bằng độ lớn “giây thiên văn” nhưng với độ chính xác cao hơn nhiều.

Trạng thái cơ bản của nguyên tử xesi 133 được đặc trưng bằng hai số lượng tử $F = 4$ và $F = 3$. Trong từ trường hai mức này lại tách thành 16 phân mức gọi là các mức siêu tinh tế ký hiệu bằng hai số lượng tử (F, m_F) với m_F là hình chiếu của F lên phương của từ trường.

Trong 16 mức này, có hai mức $F = 4, m_F = 0$ và $F = 3, m_F = 0$ trên thực tế giữ nguyên không phụ thuộc vào trường ngoài nếu trường ngoài không lớn lắm. Hai mức này đã được lấy để định nghĩa giây nguyên tử. Trong chuẩn đồng hồ nguyên tử xesi người ta đã giảm được cường độ từ trường

đến mức để tần số ứng với sự dịch chuyển giữa hai mức trên chỉ sai lệch vào khoảng 10^{-12} so với tần số dịch chuyển khi hoàn toàn không có từ trường ngoài. Sự phụ thuộc của tần số dịch chuyển vào các tham số khác như điện trường, áp suất, mật độ chùm tia... còn nhỏ hơn 10^{-12} .

Ống tia nguyên tử xesi dùng làm chuẩn tần số thời gian có sơ đồ cấu tạo nguyên tắc như hình 3.6.



Hình 3.6. Sơ đồ cấu tạo ống tia nguyên tử xesi

Chùm tia nguyên tử xesi phát ra từ lò (1) qua một khe hẹp và hướng theo trục của ống tia. Lò làm bằng kim loại bền vững với các chất kiềm và có nhiệt độ vào khoảng $(100 - 150)^\circ\text{C}$. Dưới tác dụng của từ trường không đồng nhất của nam châm (2), các nguyên tử xesi chuyển động theo những phương khác nhau và chỉ những nguyên tử nào có mức năng lượng với $F = 4, m_F = 0$ và $F = 3, m_F = 0$ mới tới được hộp cộng hưởng (3). Một tín hiệu siêu cao tần được đưa tới hộp cộng hưởng. Tần số của tín hiệu này có thể thay đổi trong phạm vi gần với tần số $9\,192\,631\,770\text{ Hz}$. Do tác động của tín hiệu này các nguyên tử xesi sẽ thực hiện sự chuyển từ trạng thái $F = 4, m_F = 0$ sang trạng thái $F = 3, m_F = 0$ và ngược lại. Từ trường của nam châm (2) tiếp đó có tác dụng làm cho chỉ những nguyên tử thực hiện sự chuyển mức từ trạng thái $F = 4, m_F = 0$ sang trạng thái $F = 3, m_F = 0$ và ngược lại là đến được bộ thu (4). Bộ thu có giấy vonfram đốt nóng, làm ion hoá các nguyên tử xesi đi tới và tạo thành một dòng điện ở bộ phận chỉ thị (5).

Nếu tần số của tín hiệu đưa vào đúng bằng tần số dịch chuyển, nghĩa là bằng $9\,192\,631\,770\text{ Hz}$, dòng ở bộ phận chỉ thị sẽ cực đại. Nếu tần số của tín hiệu đưa vào có những sai lệch so với tần số dịch chuyển, dòng chỉ thị sẽ giảm. Để đảm bảo sự hoạt động chính xác, tất cả các hệ thống trên phải đặt trong một bình chân không cao, bao quanh bằng chất cách tử và đặt trong bình điều nhiệt.

Độ chính xác của những chuẩn tần số xesi trong phòng thí nghiệm tốt nhất hiện nay là khoảng $3 \cdot 10^{-14}$. Tuy nhiên, để thực hiện đơn vị giây của hệ

SI cần phải có một thang thời gian mà đơn vị của thang này có thể dựa một cách chắc chắn vào đơn vị giây của SI. Phổ biến đơn vị thời gian, tạo ra và duy trì một thang thời gian trên phạm vi thế giới là một trong các nhiệm vụ chính của BIPM. Thang thời gian được tính toán và phổ biến đi từ BIPM là thời gian thế giới phối hợp (Coordinated Universal Time – UTC).

Quá trình tính toán và phổ biến đơn vị thời gian giây và UTC tóm tắt như sau:

(a) Đơn vị giây SI được duy trì bằng một số nhỏ (< 5) chuẩn xesi.

(b) Một số lớn (~ 230) chuẩn xesi thương mại của khoảng 60 phòng thí nghiệm vòng quanh trên thế giới thường xuyên được so sánh với nhau bằng cách sử dụng các vệ tinh GPS (Global Positioning System – Hệ thống định vị toàn cầu).

(c) BIPM sử dụng phương pháp lấy trung bình có trọng số các số liệu của các chuẩn để tính toán ra thời gian nguyên tử quốc tế (International Atomic Time – TAI) là thang thời gian liên tục với độ ổn định lâu dài tốt nhất có thể được.

(d) UTC đạt được bằng cách hiệu chỉnh TAI với một sự bù trừ để thỉnh thoảng tăng hoặc giảm bằng cách gài vào các bước nhảy âm hoặc dương của giây, như vậy thang thời gian UTC được giữ cùng pha với sự quay của quả đất và giữ được độ chính xác của thang thời gian nguyên tử.

(e) UTC được phổ biến thông qua “*Thông báo T*” hàng tháng của BIPM. Thông báo này cung cấp sự sai khác giữa UTC và UTC_i của tất cả các phòng thí nghiệm tham gia ở các thời điểm khác nhau đều đặn 10 ngày.

Độ chính xác của việc thể hiện giây, và do đó độ chính xác của UTC, khoảng $3 \cdot 10^{-14}$, chỉ đạt được đối với chu kỳ dài hơn 10^7 giây. Đối với các chu kỳ ngắn hơn, made hydro có độ ổn định tốt hơn xesi. Nhưng vì sự tương tác của H₂ với thành buồng chứa dẫn đến những sự dịch chuyển tần số không thể dự báo từ lý thuyết, nên made H₂ chỉ có thể phục vụ như là một chuẩn có chất lượng cao. Tuy vậy, độ ổn định của made H₂ có thể đạt tới $1 \cdot 10^{-15}$ trong khoảng thời gian 10^4 s và nó là ưu việt so với chuẩn xesi trong tất cả các chu kỳ ngắn hơn 10^7 s. Có thể hy vọng rằng sự phát triển của các chuẩn tần số dựa trên cơ sở các bẫy ion hoặc các nguyên tử lạnh sẽ đưa tới các chuẩn có độ chính xác tốt hơn ít nhất là hai bậc so với các chuẩn

tần số xesi tốt nhất hiện nay. Tuy nhiên, chưa chắc chắn là các chuẩn tần số mới trên cơ sở các bẫy ion hoặc các nguyên tử lạnh này sẽ hoạt động như là các đồng hồ chạy liên tục. Thay vào đó, chúng có thể được sử dụng tức thời để hiệu chuẩn tần số của các máy đo hydro, những máy này sẽ trở thành các đồng hồ chuẩn chính chạy liên tục phục vụ cho thang thời gian thế giới.

3.2.4. Chuẩn đơn vị cường độ dòng điện – ampe

Cường độ dòng điện được định nghĩa là điện lượng đi qua tiết diện của dây dẫn trong một đơn vị thời gian và do đó đơn vị cường độ dòng điện sẽ được xác định qua đơn vị điện lượng. Như vậy, một cách tự nhiên, có thể chọn đơn vị điện cơ bản là một điện tích nào đó, ví dụ, điện tích của một electron hoặc của một số nhất định electron. Tuy nhiên, hiện nay chưa xác định được các điện tích như thế với một độ chính xác cần thiết đủ để làm chuẩn nên người ta đã chọn đơn vị cường độ dòng điện – ampe – làm đơn vị cơ bản.

Thực tế không xác định được đơn vị ampe qua điện lượng, nên người ta thường dựa vào các hiện tượng hoặc tác dụng của dòng điện gây ra đối với môi trường xung quanh như sự nóng lên của dây dẫn, sự kết tủa của các chất ở âm cực khi dòng điện đi qua chất điện phân, các tác dụng cơ học của dòng điện đối với một nam châm hoặc một dây dẫn có dòng điện đi qua... để xác định đơn vị ampe.

Năm 1893, Hội nghị quốc tế các nhà điện học ở Chicago đã định nghĩa *ampe là cường độ của một dòng điện không đổi khi đi qua một dung dịch nitrat bạc (AgNO_3) thì làm thoát ra ở âm cực 0,011 18 gam bạc trong 1 giây*. Ampe này gọi là “*ampe quốc tế*”. Độ lớn của nó được lấy bằng 1/10 đơn vị cường độ dòng điện trong hệ CGSm để những tính toán dùng các công thức điện từ có liên quan đến những đơn vị tuyệt đối CGSm (hay CGSe) và những đơn vị quốc tế được đơn giản.

Để thể hiện định nghĩa trên của ampe, người ta dùng một bình điện phân đặc biệt gọi là vôn-tamét.

Năm 1948, Đại hội cân đo quốc tế lần thứ IX đã công nhận một định nghĩa mới của ampe thay cho định nghĩa dựa trên phương pháp hoá học trình bày ở trên. Cơ sở của định nghĩa này là định luật Ampe về sự tương tác giữa các dòng điện. Phép đo lực do một dây dẫn này tác dụng lên một dây dẫn khác khi có dòng điện chạy qua có thể thực hiện chính xác hơn

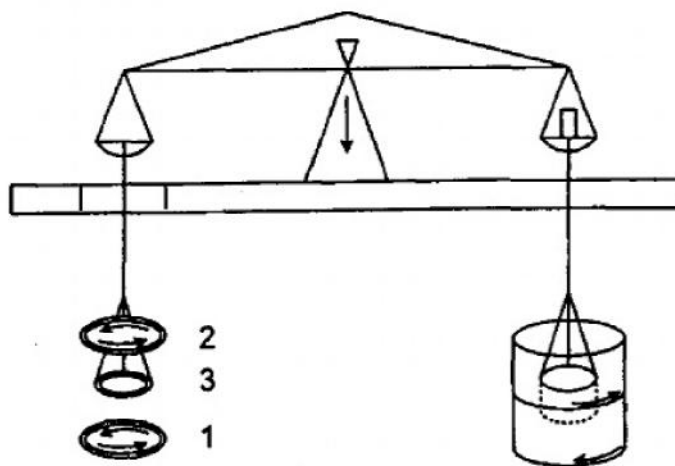
phép đo lường vật chất xuất hiện ở âm cực nên định nghĩa này của ampe tạo điều kiện để chế tạo chuẩn ampe với độ chính xác cao hơn. Theo định nghĩa này, *ampe là cường độ của một dòng điện không đổi theo thời gian, khi chạy qua hai dây dẫn thẳng song song, dài vô hạn, có tiết diện nhỏ không đáng kể, đặt trong chân không, cách nhau 1 m, thì gây trên mỗi mét dài của dây dẫn một lực bằng $2 \cdot 10^{-7}$ niuton*. Ampe này gọi là “ampe tuyệt đối”. Lực tác dụng được lấy bằng $2 \cdot 10^{-7}$ niuton là để ampe theo định nghĩa này đúng bằng 1/10 đơn vị cường độ dòng điện của hệ CGSm.

Trong thực tế không thể tạo thành các dây dẫn dài vô hạn, tiết diện nhỏ không đáng kể nên người ta thường thay bằng các dây dẫn hữu hạn. Nhưng dựa vào định luật Ampe có thể tính được lực tương tác do các dây dẫn có kích thước hữu hạn này gây ra với một độ chính xác cao. Ví dụ lực tương tác giữa hai cuộn dây có dòng điện chạy qua thì tỷ lệ với tích cường độ các dòng điện này:

$$F = kI_1I_2, \text{ nếu } I_1 = I_2 = I, F = kI^2$$

với I_1 và I_2 là cường độ dòng điện chạy qua hai cuộn dây, k là hệ số tỷ lệ, còn gọi là hệ số điện động của hệ thống. Hệ số tỷ lệ k phụ thuộc vào vị trí tương hỗ, vào hình dạng và kích thước của cuộn dây, vào đường kính tiết diện dây dẫn, đơn vị để đo lực và đo cường độ dòng điện, hệ số từ thẩm của môi trường... và được xác định bằng thực nghiệm. Biểu thức trên là cơ sở để chế tạo cân dòng điện, thiết bị thể hiện đơn vị ampe trong thực tế.

Sơ đồ nguyên tắc của một cân dòng điện cho trong hình 3.7



Hình 3.7. Sơ đồ nguyên tắc cân dòng điện

Cuộn dây di động (3) được treo trên một đĩa cân, các cuộn dây cố định (1) và (2) có cùng một dòng điện I đi qua, dòng điện trong cuộn dây (1) và (3) cùng chiều; trong cuộn (2) và (3) ngược chiều nhau. Như vậy cuộn (1) và (3) sẽ đẩy nhau, cuộn (2) và (3) sẽ hút nhau nhằm tăng lực tác dụng vào cuộn dây di động. Các cuộn dây thường chế tạo dưới dạng hình trụ, cuộn dây di động (3) đặt đồng trục bên trong hai cuộn dây cố định (1) và (2). Lực điện động tác dụng lên cuộn động được cân bằng bằng trọng lượng của các quả cân đặt trên đĩa cân bên kia. Theo định luật 2 của Niuton, trọng lượng này bằng:

$$F = mg$$

với m là khối lượng các quả cân, g là gia tốc rơi tự do tại nơi đặt cân. Suy ra:

$$I = \frac{mg}{k}$$

Sai số thể hiện ampe bằng cân dòng điện phụ thuộc vào sai số xác định kích thước hình học các cuộn dây, nhiệt độ của các cuộn dây, sai số của cân và quả cân; sai số của việc biết g ; sự ổn định vị trí tương đối giữa các cuộn dây. Ví dụ, để xác định ampe với độ chính xác 10^{-5} thì việc xác định kích thước hình học của các cuộn dây và việc sắp xếp chúng phải chính xác đến $0,1 \mu\text{m}$. Do những khó khăn như vậy nên việc nghiên cứu thể hiện ampe bằng cân dòng điện thường mất rất nhiều thời gian.

Việc thể hiện trực tiếp ampe bằng “cân dòng điện” thông qua việc đo lực tác dụng giữa các cuộn dây có dòng điện chạy qua theo định nghĩa hiện nay được thực hiện không còn lâu nữa. Độ chính xác trước đây đạt được vào khoảng một vài phần 10^{-6} do độ không đảm bảo liên quan đến kích thước hình học của dây dẫn mang điện. Việc thể hiện ampe tốt nhất bây giờ được thực hiện bằng một tập hợp các công việc thể hiện vôn, ôm và oát. Vôn được thể hiện bằng cách sử dụng một cái cân trong đó lực tĩnh điện được đo bằng lực cơ học. Ôm được thể hiện bằng tụ điện Thompson-Lampard. Oát được thể hiện theo tính chất điện có thể so sánh với oát được thể hiện theo tính chất cơ bằng cách sử dụng một cân đòn. Ampe có thể được dẫn xuất từ tập hợp các kết quả của bất cứ hai thí nghiệm nào trong ba thí nghiệm này. Độ chính xác đạt được cỡ 4.10^{-7} .

Các chuẩn vôn và ôm của phòng thí nghiệm dựa trên hiệu ứng Josephson và hiệu ứng lượng tử Hall có độ tái lập tốt hơn so với những

chuẩn trên khoảng ba bậc (trong trường hợp hiệu ứng Josephson) hoặc hai bậc (trong trường hợp hiệu ứng lượng tử Hall). Ủy ban cân đo quốc tế (CIPM) đã ấn định các giá trị quy ước cho hằng số Josephson K_J và hằng số von Klitzing R_K để tạo thuận lợi cho các chuẩn Josephson và Hall đạt được một độ tái lập cao.

Hằng số Josephson K_J được xác định như là tỷ số của tần số với hiệu thế ứng với bậc $n = 1$ trong hiệu ứng Josephson. Hằng số này được xem là giống hệt như tỷ số $2e/h$, trong đó e là điện tích của điện tử và h là hằng số Plank. Giá trị quy ước được chọn chính xác cho K_J là 483 597,9 GHz/V và được ký hiệu là K_{J-90} .

Tương tự, hằng số von Klitzing R_K được xác định như là tỷ số của hiệu thế Hall đối với dòng tương ứng với bậc $i = 1$ trong hiệu ứng lượng tử Hall. Hằng số này được xem là giống hệt như tỷ số h/e^2 . Giá trị quy ước được chọn cho R_K là 25 812,807 Ω và được ký hiệu là R_{K-90} .

Việc sử dụng hiệu ứng Josephson và hiệu ứng lượng tử Hall tuy có làm cho các chuẩn chính của đơn vị vôn và ôm được duy trì với độ tái lập cao nhưng vẫn chưa có đơn vị điện mới nào được định nghĩa. Vôn và ôm vẫn định nghĩa như trước đây và phép đo sức điện động hoặc điện trở thực hiện bằng các phương tiện được hiệu chuẩn so với hiệu ứng Josephson hoặc hiệu ứng lượng tử Hall chế tạo theo vôn và ôm của SI. Kết quả độ chính xác của các phép đo như thế luôn bị giới hạn bởi độ không đảm bảo của sự nhận biết các hằng số Josephson và von Klitzing đối với SI, độ không đảm bảo này cỡ khoảng 4.10^{-7} , dù rằng các phép đo đó có khả năng tái lập cao hơn giá trị này.

Khả năng tái tạo vôn và ôm dựa trên cơ sở hiệu ứng lượng tử vĩ mô cho phép thống nhất một cách rộng rãi trên phạm vi quốc tế các phép đo điện ở một trình độ cao hơn so với trước đây. Cũng từ đó, việc liên kết chuẩn của các đơn vị điện đã được cải tiến rất nhiều. Việc so sánh các chuẩn Josephson trong một số phòng thí nghiệm quốc gia được tiến hành bằng cách sử dụng hệ thống Josephson có thể vận chuyển được của BIPM và hiện nay các phép so sánh tương ứng đang được thực hiện bằng cách sử dụng hệ thống lượng tử Hall có thể vận chuyển được. Những so sánh như thế là cần thiết, không phải vì có sự nghi ngờ nào đó về tính phổ biến của hiệu Josephson hoặc hiệu ứng lượng tử Hall, mà là để kiểm tra các hệ thống

phức tạp bao quanh chúng nhằm làm cho các chuẩn chính 1 vôn hoặc 1 ôm được vận hành một cách đúng đắn ở nhiệt độ phòng. Bằng cách tương tự, các phiên bản có tính thương mại của những hệ thống này cần thiết phải được hiệu chuẩn tại phòng thí nghiệm quốc gia. Việc hiệu chuẩn này đảm bảo cho các chuẩn 1 vôn, 1 ôm do một hệ thống thí nghiệm mới hoặc một thiết bị có tính thương mại cung cấp chỉ sai khác khoảng một vài phần 10^{-10} so với 1 vôn hoặc 1 ôm trong các phòng thí nghiệm quốc gia.

Việc liên kết chuẩn trên phạm vi thế giới đối với vôn và ôm sẽ được đảm bảo thông qua một số lượng nhỏ các Viện đo lường quốc gia có hệ thống Josephson và hệ thống lượng tử Hall. Những hệ thống này được duy trì một cách cẩn thận để định kỳ so sánh lẫn với nhau thông qua các chuẩn lưu động của BIPM. Những chuẩn được chứng minh là tốt này sẽ được dùng làm chuẩn quốc gia, chuẩn khu vực để hiệu chuẩn các chuẩn Josephson và chuẩn lượng tử Hall địa phương.

3.2.5. Chuẩn đơn vị nhiệt độ – kenvin

Nhiệt độ là một khái niệm phức tạp nhưng lại thường gặp trong đời sống cũng như khoa học – kỹ thuật. Thông thường người ta cho nhiệt độ là đại lượng đặc trưng cho mức độ nóng của một vật. Tuy nhiên, cảm giác nóng lạnh còn phụ thuộc nhiều vào chủ quan nên để thấy rằng quan niệm trên là thiếu chính xác.

Lý thuyết động học phân tử đã tìm ra sự liên kết giữa vận tốc bình phương trung bình $\bar{u}^2$ của các phân tử khí lý tưởng với nhiệt độ tuyệt đối T của nó như sau:

$$\frac{1}{2}m\bar{u}^2 = \frac{3}{2}kT,$$

Trong đó, m là khối lượng phân tử khí và k là hằng số Boltzmann.

Công thức trên cho ta một khái niệm chính xác về nhiệt độ: nhiệt độ tuyệt đối của khí lý tưởng tỷ lệ với động năng trung bình trong chuyển động tịnh tiến của các phân tử khí.

Kinh nghiệm cho thấy khi nhiệt độ thay đổi thì tính chất các vật thay đổi (thể tích, điện trở...) nên để đo nhiệt độ trước tiên người ta chọn một vật nào đó gọi là vật nhiệt biểu và một đặc trưng vật lý nào đó của vật để dựa

vào sự thay đổi của đặc trưng này mà đánh giá sự thay đổi của nhiệt độ, đặc trưng vật lý đó gọi là dấu hiệu nhiệt biểu. Sau đó, vấn đề quan trọng còn lại là xây dựng một thang nhiệt độ (còn gọi là nhiệt giai), tức là chọn những điểm mốc nhiệt độ và cách chia độ giữa những điểm mốc đó.

Năm 1742, nhà vật lý Thụy Điển Celsius chế tạo nhiệt kế thủy ngân với thang nhiệt độ có 2 điểm mốc: điểm tan của nước đá cho là 0 độ và điểm sôi của nước cho là 100 độ. Vậy 1 độ Celsius (1°C) là $1/100$ khoảng giữa điểm sôi của nước và điểm tan của nước đá. Thang nhiệt độ này còn gọi là thang nhiệt giai bách phân hay nhiệt giai Celsius (ký hiệu là t). Cách chia này còn được mở rộng ra trên 100°C , và dưới 0°C . Nhiệt giai Celsius được dùng rất phổ biến.

Nhiệt kế với đơn vị nhiệt độ như trên thuận tiện và đơn giản nhưng có nhiều nhược điểm rất cơ bản. Thang nhiệt giai, do đó đơn vị nhiệt độ, còn phụ thuộc vào vật cụ thể dùng làm nhiệt biểu nên chưa cho phép đo nhiệt độ một cách chính xác vì sự dẫn nở của thủy ngân hoặc rượu... không phụ thuộc hoàn toàn bậc nhất vào nhiệt độ. Thêm vào đó, đến một giới hạn nhiệt độ nào đó vật nhiệt biểu sẽ bốc hơi hoặc đông đặc

Vấn đề đặt ra là phải xây dựng được một nhiệt giai – một đơn vị nhiệt độ – thoát ra ngoài tính chất thực nghiệm trên đây, tức không phụ thuộc vào một vật nhiệt biểu cụ thể nào nữa. Những thành công trong việc nghiên cứu các tính chất của chất khí đã cho phép giải quyết nhiệm vụ trên đến một mức độ nhất định nào đó. Với một khối khí nhất định sự phụ thuộc giữa áp suất và nhiệt độ khi thể tích giữ không đổi được biểu thị bằng định luật Gay–Lussac:

$$p_t = p_0(1 + \alpha_p \cdot t), \text{ với } V = \text{const}$$

Trong đó: p_0 : áp suất khí ở 0°C ;

p_t : áp suất khí ở $t^{\circ}\text{C}$;

$$\alpha_p: \text{hệ số nhiệt áp suất, } \alpha_p = \frac{1}{273,15} \text{ } 1/\text{độ}.$$

Công thức trên cho phép xây dựng thang nhiệt độ và nhiệt kế khí, trong đó nhiệt độ được xác định theo sự thay đổi của áp suất. Năm 1889, Đại hội cân đo quốc tế lần thứ I đã lấy thang bách phân của nhiệt kế khí hydro làm thang nhiệt độ chuẩn. Trong một phạm vi nhiệt độ nhất định, định luật

Gay–Lussac hoàn toàn đúng với mọi chất khí nên thang nhiệt độ này đã phần nào thoát ra khỏi tính chất thực nghiệm. Tuy nhiên, ở nhiệt độ càng thấp thì khí thực càng xa với khí lý tưởng và định luật Gay–Lussac càng ít đúng. Đồng thời những nhiệt kế khí cũng chưa cho phép ta đo được những nhiệt độ bất kỳ vì ở nhiệt độ quá cao chất khí sẽ thẩm thấu qua thành bình, ở nhiệt độ quá thấp chất khí sẽ hoá lỏng.

Để làm đơn giản công thức Gay–Lussac, nhà vật lý học người Anh Lord Kelvin đã xây dựng thang nhiệt độ Kelvin (còn gọi là thang nhiệt độ tuyệt đối, ký hiệu là T), liên hệ với thang nhiệt độ bách phân Celsius bằng biểu thức:

$$T = t + 273,15^{\circ}\text{C},$$

với T là nhiệt độ biểu thị theo đơn vị độ Kenvin ($^{\circ}\text{K}$) và t là nhiệt độ biểu thị theo đơn vị độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Với mối liên hệ đó, định luật Gay–Lussac có dạng:

$$p_t = p_0 \alpha_p T$$

Thang nhiệt độ Kenvin có ý nghĩa vật lý sâu sắc và nó chính là thang nhiệt độ đang cần tìm.

Định luật Carnot cho biết: trong số các động cơ nhiệt làm việc tuần hoàn giữa nguồn nóng và nguồn lạnh như nhau thì những động cơ làm việc theo chu trình Carnot thuận nghịch có hiệu suất lớn nhất, hiệu suất này không phụ thuộc tác nhân cũng như cơ cấu máy mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nóng và lạnh.

Nếu chu trình Carnot thực hiện với khí lý tưởng, hiệu suất η của động cơ được tính bằng công thức:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

với: Q_1 – nhiệt lượng nhận được từ nguồn nóng,

Q_2 – nhiệt lượng thải ra nguồn lạnh,

T_1 – nhiệt độ nguồn nóng,

T_2 – nhiệt độ nguồn lạnh.

Từ các công thức trên suy ra: $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$

$\frac{Q_2}{Q_1}$ không phụ vào tác nhân và vì Q_1, Q_2 có thể đo được (bản chất nó

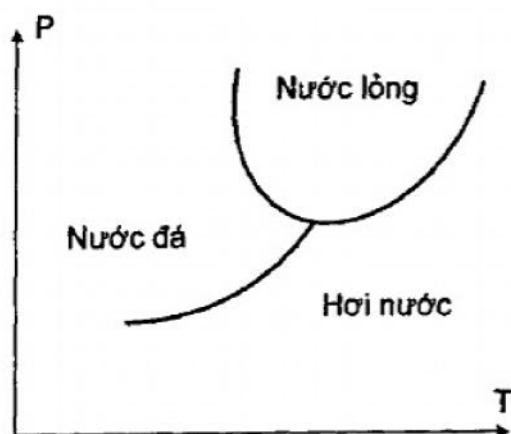
là công) nên từ biểu thức trên có thể xác định được $\frac{T_2}{T_1}$. Nếu biết một trong

hai nhiệt độ T_1 hoặc T_2 sẽ suy ra được nhiệt độ kia. Như vậy thang nhiệt độ tuyệt đối của Kelvin đã thoát khỏi tính chất thực nghiệm và mang một ý nghĩa sâu sắc, nó không phụ thuộc vào bản chất của vật dùng làm nhiệt biểu nữa, ta gọi những thang nhiệt độ như vậy là thang nhiệt độ nhiệt động lực.

Để xây dựng thang nhiệt độ tuyệt đối ta cần chọn 2 điểm nhiệt độ mốc. Nếu $T_2 = 0^\circ\text{K}$ thì:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1$$

vì $\eta \leq 1$ nên 0°K là nhiệt độ thấp nhất mà ta có thể đạt được, 0°K gọi là độ không tuyệt đối, nó được chọn làm điểm mốc thứ nhất của thang nhiệt độ Kelvin.



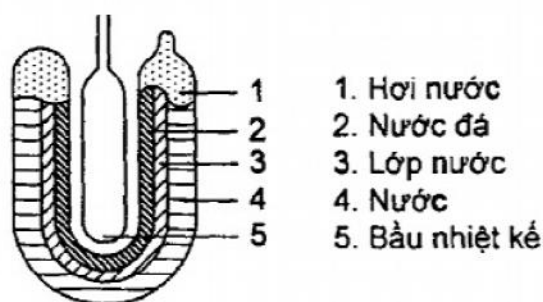
Hình 3.8. Điểm ba của nước

Sai số của việc thể hiện điểm sôi của nước vào khoảng từ $0,002^\circ\text{C}$ đến $0,01^\circ\text{C}$, của điểm tan nước đá từ $0,0002^\circ\text{C}$ đến $0,001^\circ\text{C}$. Trong khi đó điểm ba của nước có thể xác định với một sai số không lớn hơn $0,0001^\circ\text{C}$. Điểm ba của nước là nhiệt độ mà tại đó cũng tồn tại ba trạng thái (pha) của nước: rắn, lỏng, hơi (hình 3.8). Điểm ba không phụ thuộc vào áp suất; chỉ ở một áp suất và nhiệt độ xác định ba trạng thái của nước mới tồn tại; còn điểm sôi của nước hay điểm tan của nước đá thay đổi tùy theo sự thay đổi của áp suất bên ngoài nên khó xác định chính xác hơn so với điểm ba của nước.

Đại hội cân đo quốc tế lần thứ X năm 1954 đã quyết định lấy điểm ba của nước làm điểm mốc thứ hai của thang nhiệt độ nhiệt động lực Kenvin và đã xác định điểm ba của nước cao hơn điểm tan của nước đá là $0,01\text{ }^{\circ}\text{K}$, tức $273,16\text{ }^{\circ}\text{K}$ (ứng với $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$). Như vậy $1\text{ }^{\circ}\text{K}$ bằng $1/273,16$ khoảng giữa điểm ba của nước và độ không tuyệt đối.

Đại hội cân đo lần thứ XI năm 1960 đã lấy “độ Kenvin” làm đơn vị cơ bản của hệ SI để đo nhiệt độ và Đại hội cân đo quốc tế lần thứ XIII năm 1967 đã quyết định lấy tên “kenvin” (ký hiệu là K) thay cho tên “độ Kenvin” (ký hiệu $^{\circ}\text{K}$) và định nghĩa: *kenvin bằng $1/273,16$ của nhiệt độ nhiệt động lực tại điểm ba của nước.*

Sơ đồ bình thể hiện điểm ba của nước cho trong bình 3.9.



Hình 3.9. Bình điểm ba của nước

Chu trình Carnot thực hiện với khí lý tưởng nên trong thực tế ta chỉ có thể thực hiện thang nhiệt độ nhiệt động lực Kenvin một cách gần đúng. Các chất khí rất loãng như hêli, nitơ, hydro... có tính chất rất gần với khí lý tưởng, vì vậy người ta thường thể hiện đơn vị kenvin thông qua các nhiệt kế khí hydro, nitơ, hêli... và quy định cách hiệu chỉnh cho đúng với thang nhiệt độ nhiệt động lực.

Các nhiệt kế chuẩn đầu khác cũng được sử dụng là nhiệt kế khí âm học (the acoustic gas thermometer), nhiệt kế bức xạ toàn phần (the total radiation thermometer), nhiệt kế tiếng ồn (the noise thermometer).

Nét chung đối với các phương trình trạng thái của tất cả các nhiệt kế chuẩn đầu là có mặt hoặc của R (hằng số khí) hoặc của k (hằng số Boltzmann). Vì $R = N_A k$; với N_A là hằng số Avogadro, nên chỉ cần R hoặc k là đủ. Các hằng số vật lý cơ bản này cung cấp hệ số chuyển đổi giữa đại lượng nhiệt và cơ. Các giá trị của chúng được thiết lập bằng cách tiến hành một thực nghiệm nhiệt biểu học chuẩn đầu có sử dụng một trong các nhiệt kế đã nêu ở trên tại nhiệt độ điểm ba của nước $T = 273,16\text{ K}$ chính xác.

Người ta sử dụng các nhiệt kế chuẩn đầu với giá trị của R hoặc k được xác định như trên để thực hiện phép đo T tiếp theo ở những nhiệt độ khác nhau theo đơn vị kenvin.

Mỗi nhiệt kế chuẩn đầu nói trên cũng có thể được dùng để xác định T mà không cần sử dụng hoặc R hoặc k bằng cách thiết lập các phép đo tỷ số đối với điểm ba của nước.

Như vậy là việc đo nhiệt độ không thể chính xác hơn so với khả năng có thể tạo ra trạng thái cân bằng nhiệt của điểm ba của nước. Trong tình huống thứ nhất, cần có điểm ba của nước để xác định R hoặc k và trong tình huống thứ hai điểm ba của nước hoạt động trực tiếp như là một nhiệt độ chuẩn.

Về nguyên tắc không thể đo R hoặc k với độ chính xác tương đối tốt hơn độ chính xác thể hiện điểm ba của nước. Trong bất cứ một thí nghiệm nào để đo một trong các hằng số này đều phải thiết lập phương trình trạng thái cân bằng nhiệt mà trong đó nhiệt độ nhiệt động lực của nó là đã biết. Nhiệt độ nhiệt động lực này chỉ có thể đo được bằng cách quy chiếu về điểm ba của nước. Tuy nhiên, điều này không ngăn cản để có thể một ngày nào đó trong tương lai trạng thái nhiệt có được khả năng tái tạo lại cao hơn so với khả năng có thể có của điểm ba của nước. Và như vậy sẽ có thể tiến tới định nghĩa lại đơn vị kenvin bằng một phần nhiệt độ nhiệt động lực của trạng thái này. Để duy trì sự liên tục, nhiệt độ của nó trước hết sẽ được đo với độ chính xác cao nhất có thể có bằng điểm ba của nước.

Các phép đo nhiệt độ thực tế không thực hiện bằng nhiệt kế chuẩn đầu vì những nhiệt kế này rất phức tạp và sử dụng khó khăn. Để cung cấp các phương tiện có khả năng tái tạo lại, để đánh giá, lại vẫn chính xác cho các phép đo nhiệt độ, người ta đã liên tiếp thiết lập các thang nhiệt độ quốc tế phù hợp với thực tế.

Thang nhiệt độ hiện nay là thang nhiệt độ quốc tế 1990, viết tắt là ITS-90, bao gồm:

(a) Một tập hợp các điểm mốc (thường là điểm tan, điểm đông đặc hoặc điểm ba của các chất khí hoặc kim loại) có nhiệt độ xác định đã được chọn lựa gần với các nhiệt độ nhiệt động lực đến mức có thể có được. Những nhiệt độ này được xác định trước bằng các nhiệt kế chuẩn đầu.

(b) Các nhiệt kế chuẩn thứ nội suy với các phương trình nội suy xác định.

(c) Tập hợp các hướng dẫn và khuyến nghị cho việc thiết lập thang.

ITS-90 xác định đại lượng T_{90} (và cả $t_{90} = T_{90} - 273,16$ K), được xem là nhiệt độ thực dụng quốc tế mà đơn vị của nó là kenvin. T_{90} chính là đại lượng kế tục T_{68} , đại lượng đã được xác định bằng thang nhiệt độ thực dụng quốc tế trước đây (ITS-68). Sự khác nhau giữa các nhiệt độ được đo theo ITS-90 và ITS-68 được lập thành bảng và được viết là $T_{90} - T_{68}$. Ở nhiệt độ phòng, $T_{90} - T_{68} \approx 5$ mK và tại $t \approx 100$ °C, $T_{90} - T_{68} \approx 25$ mK.

Việc liên kết chuẩn quốc tế trong lĩnh vực đo được đảm bảo thông qua việc hiệu chuẩn các nhiệt kế thực hành ITS-90 và thông qua các đợt so sánh quốc tế định kỳ việc thể hiện IST-90 trong các phòng thí nghiệm đo lường quốc gia. Trên toàn giải từ nhiệt độ hêlium lỏng (khoảng -270 °C) đến khoảng 500 °C, ITS-90 có thể thực hiện được với độ chính xác vài milikenvin. Phương tiện nội suy của ITS-90 từ $13,8$ K (điểm ba của hydro) đến 926 °C (điểm đông đặc của thiếc) là nhiệt kế điện trở platin. Đây là phương tiện thực tế được dùng trong các lĩnh vực công nghiệp. Về nhiệt biểu điện trở platin công nghiệp, ta có bảng tham khảo thoả thuận quốc tế để tra cứu sự phụ thuộc của điện trở vào nhiệt độ. Người ta cũng sử dụng một số cặp nhiệt điện đã được tiêu chuẩn hoá. Những cặp nhiệt điện này có các bảng tham khảo quốc tế đã được tính theo ITS-90. Những bảng tham khảo quốc tế của nhiệt kế điện trở và cặp nhiệt điện này cho phép liên kết chuẩn với ITS-90 và từ đó đạt tới được các nhiệt độ động lực.

3.2.6. Chuẩn đơn vị cường độ sáng – candela

Các nguồn sáng thiên nhiên thường có cường độ sáng quá lớn hoặc quá bé và rất không ổn định. Vì vậy, để xây dựng đơn vị cơ bản cường độ sáng, người ta không thể dựa vào các chuẩn thiên nhiên như thường mong muốn mà phải dựa vào các nguồn sáng nhân tạo rất khác nhau để làm chuẩn cho đơn vị cường độ sáng. Đa số các chuẩn này đều có tên gọi giống nhau là “nến”. Trong số các chuẩn này, người ta hay nhắc đến nhất là chuẩn Violle, đèn Hefner và nến quốc tế.

Hội nghị quốc tế về điện năm 1881 đã công nhận cường độ sáng là đơn vị Violle. Đơn vị Violle do nhà vật lý học Pháp Jules Violle sáng tạo ra, được định nghĩa là cường độ sáng bức xạ bởi 1 cm² trên mặt một khối platin nóng chảy theo phương thẳng góc với mặt này. Hội nghị quốc tế về điện họp ở

Gienève năm 1889 đã thông qua đơn vị thực dụng của cường độ sáng, nó có độ lớn bằng $1/20$ đơn vị Violle và gọi là “nền thập phân”. Chuẩn Viônơ tuy đã đơn giản hơn nhiều chuẩn cường độ sáng khác nhưng chưa phải có thể chế tạo lặp lại được dễ dàng với mức chính xác cần thiết. Chỉ cần platin chứa một chút silic hoặc cacbon là cường độ sáng có thể thay đổi tới 1%.

Thực hiện chuẩn đơn vị Violle trong thực tế có nhiều khó khăn nên Hội nghị quốc tế về điện năm 1893 đã công nhận đèn Hefner là chuẩn cường độ sáng. Đèn Hefner do nhà vật lý người Đức Friedrich Alteneck Hefner chế tạo ra năm 1884, là loại đèn dùng chất đốt ở thể lỏng. Đơn vị cường độ sáng được định nghĩa là cường độ sáng của đèn Hefner, đốt bằng axêtat amyl, có ngọn lửa cao 40 mm và rộng 8 mm. Đơn vị này còn gọi là “nền Hefner”.

Đèn điện sợi than và sợi kim loại ra đời đã tạo điều kiện cải tiến thêm một bước chuẩn đơn vị cường độ sáng. Với một thể hiệu và một cường độ dòng điện ổn định, đèn cho một cường độ sáng xác định. Cường độ dòng điện và thể hiệu dễ giữ ổn định, dễ kiểm tra, đèn điện lại dễ sử dụng và dùng được trong một thời gian lâu, do đó tạo điều kiện thể hiện đơn vị cường độ sáng với độ chính xác cao hơn các chuẩn trước. Vì những lý do trên, năm 1909, ba nước Anh, Pháp, Mỹ đã họp hội nghị tại Gienève thoả thuận lấy đơn vị cường độ sáng là cường độ sáng trung bình của một số đèn điện dây tóc cacbon đặt tại Viện đo lường của ba nước. Đơn vị này được dẫn suất từ đơn vị Violle – nền thập phân và gọi là “nền quốc tế”. Hội nghị quốc tế về ánh sáng họp năm 1921 cũng công nhận đơn vị cường độ sáng này.

Tất cả các chuẩn đơn vị cường độ sáng kể trên đều có nhiều nhược điểm. Cường độ sáng của các chuẩn còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố, nên độ chính xác của chuẩn thấp, đặc biệt là phụ thuộc vào quá trình chế tạo nên chưa thật khách quan và khó lặp lại hoàn toàn. Những thành tựu của Kirchhoff, Wien và nhất là của Plank trong các công trình nghiên cứu về vật đen tuyệt đối đã mở ra một hướng mới để xây dựng chuẩn đơn vị cường độ sáng.

Vật đen tuyệt đối (còn gọi là vật bức xạ toàn phần) theo định nghĩa là một vật có khả năng hấp thụ hoàn toàn các bức xạ ở mọi nhiệt độ và với mọi bước sóng. Năm 1900, Plank đã chứng minh rằng ở những vật đen tuyệt đối như vậy năng suất bức xạ chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ T của nó mà không phụ thuộc vào bản chất vật đó là gì.

Thành tựu lý thuyết trên là cơ sở cho sự ra đời của “nền mới”. Đơn vị nền mới đã được CIPM công nhận năm 1946, Đại hội cân đo quốc tế lần thứ IX năm 1948 đổi tên đơn vị “nền mới” thành “candela”. Đại hội cân đo quốc tế lần thứ XI công nhận candela là đơn vị cơ bản của hệ SI. Đại hội cân đo quốc tế lần thứ XIII năm 1967 đã hoàn thiện thêm định nghĩa của candela: *candela là cường độ sáng phát ra từ mặt có diện tích $1/600\,000\text{ m}^2$ của vật bức xạ toàn phần theo phương thẳng góc với mặt ở nhiệt độ bằng nhiệt độ đông đặc của platin dưới áp suất $101\,325\text{ Pa}$.*

Sai số của chuẩn candela phụ thuộc vào nhiều yếu tố: platin có đủ tinh khiết không; ống bức xạ có hoàn toàn ở nhiệt độ đông đặc của platin và có thường xuyên bức xạ 100% bức xạ toàn phần không; tiết diện bức xạ có cố định và phù hợp với kết quả đo nó trước khi thí nghiệm không... Do phức tạp như vậy, độ chính xác của việc thể hiện candela chỉ vào khoảng 2.10^{-3} .

Những tiến bộ trong lĩnh vực đo công suất quang học đã tạo thuận lợi để chuyển sang một định nghĩa mới của candela dựa trên cơ sở máy tách sóng. Và Đại hội cân đo quốc tế lần thứ XVI, năm 1979, đã quyết định định nghĩa mới của candela như sau: *candela là cường độ sáng, theo một phương xác định, của một nguồn phát ra bức xạ đơn sắc có tần số 540.10^{12} héc và có cường độ bức xạ theo phương đó là $1/683$ oát trên steradian.*

Cường độ sáng là một đại lượng lý sinh. Để liên hệ nó với cường độ bức xạ cần thiết phải xây dựng một hệ số trọng lượng về mặt lý sinh. Đó là phổ độ nhạy $V(\lambda)$. Năm 1971, Ủy ban quốc tế về chiếu sáng (CIE) đã đưa ra đề nghị về các giá trị của $V(\lambda)$ đối với sự nhìn photopic (ánh sáng đã được thích nghi). Năm 1972, CIPM đã khuyến nghị sử dụng các giá trị $V(\lambda)$ này. Trước đó, một hàm khác, $V'(\lambda)$, cho sự nhìn scotopic (bóng tối đã được thích nghi) cũng được CIE đưa ra năm 1951. Hàm $V'(\lambda)$ này đã được CIPM phê chuẩn năm 1976.

Các đại lượng trắc quang được xác định theo các số hạng thuần túy vật lý là các đại lượng tỷ lệ với tổng hoặc tích phân của phân bố phổ công suất được lấy trọng số theo một hàm xác định của bước sóng. Đơn vị quang thông và cường độ sáng được dẫn suất bằng các đèn tungsten nóng sáng. Trước năm 1979, các đèn chuẩn được hiệu chuẩn bằng cách so sánh với độ chói của vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ đông đặc của platin. Sau khi có định nghĩa mới của candela năm 1979, phép hiệu chuẩn này được thực hiện bằng cách so sánh với bức xạ đơn sắc theo quy định trong định nghĩa, hoặc với một vài bức xạ khác có tính đến $V(\lambda)$ hoặc $V'(\lambda)$.

Hiện nay có thể thực hiện các phép đo chính xác hơn nhiều bằng cách đo bức xạ phổ với các máy tách sóng được hiệu chuẩn so với bức xạ kế nhiệt độ thấp. Theo hướng này, người ta hy vọng rằng một sự liên kết chuẩn rộng rãi trên thế giới cho các phép đo bức xạ phổ sẽ có thể đạt được độ không đảm bảo thấp hơn 0,05 %. Độ ổn định và sự dễ dàng của việc sử dụng các máy tách sóng photodiốt silic sẽ cho phép đạt được những độ không đảm bảo thấp này một cách rộng rãi.

3.2.7. Chuẩn đơn vị lượng chất – mol

Đại hội cân đo quốc tế lần thứ XIV, năm 1971 đã công nhận đơn vị lượng chất “mol” (ký hiệu cũng là “mol”) là đơn vị cơ bản thứ bảy của SI và định nghĩa: *mol là lượng chất của một hệ chứa một số thực thể cơ bản bằng tổng số nguyên tử trong 0,012 kg cacbon 12*. Khi dùng mol phải chỉ rõ thực thể cơ bản, chúng có thể là nguyên tử, phân tử, ion, điện tử và các hạt hoặc các nhóm đặc trưng của các hạt.

Định nghĩa trên là duy nhất trong số các định nghĩa đơn vị cơ bản của SI mà trong đó vừa xác định đơn vị vừa đồng thời xác định bản chất của đại lượng có đơn vị đang được định nghĩa. Nguyên tắc của các phép đo dựa trên cơ sở định nghĩa mol như giải thích dưới đây.

Trường hợp đơn giản nhất, giả thiết chất tinh khiết được tạo thành từ các nguyên tử, X là ký hiệu hoá học của các nguyên tử này. Một mol các nguyên tử X theo định nghĩa gồm số nguyên tử đúng bằng số nguyên tử ^{12}C có trong 0,012 kg cacbon 12. Vì không thể đo được chính xác khối lượng của nguyên tử cacbon 12 – ký hiệu là $m(^{12}\text{C})$, và cả khối lượng của nguyên tử X – ký hiệu là $m(\text{X})$, nên ta dùng tỷ số $m(\text{X})/m(^{12}\text{C})$. Tỷ số này có thể được xác định chính xác, ví dụ bằng phổ kế khối lượng. Khối lượng tương đương với 1 mol của X là $[m(\text{X})/m(^{12}\text{C})] \times 0,012 \text{ kg}$. Ta nói khối lượng mol (tỷ số của khối lượng và lượng chất) của X – ký hiệu là $M(\text{X})$ – là:

$$M(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{m(^{12}\text{C})} \times 0,012 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

Lượng chất n_{X} tương đương với một khối lượng m_{X} đã cho của X sẽ là:

$$n_{\text{X}} = \frac{m_{\text{X}}}{M(\text{X})} \times \frac{\text{kg}}{\text{kg.mol}^{-1}} = \frac{m_{\text{X}}}{M(\text{X})} \text{ mol}$$

Trường hợp phức tạp hơn, chất được tạo thành từ phân tử, các phân tử này lại là sự kết hợp của các nguyên tử, hoặc tổng quát hơn là tổng hợp của các chất... cách giải thích cũng tương tự như trên.

Có các phương pháp đo lường chất khác nhau dựa trên các định luật vật lý và hoá lý. Ví dụ:

(1) Với các khí lý tưởng, 1 mol các hạt của bất cứ khí nào cũng chiếm một thể tích như nhau ở nhiệt độ T và áp suất p (xấp xỉ $0,0224 \text{ m}^3$ ở $T = 273,15 \text{ K}$ và $p = 101325 \text{ Pa}$). Đây là cơ sở của phương pháp đo tỷ số lượng chất của hai chất khí bất kỳ (phải hiệu chỉnh nếu các chất khí không là lý tưởng).

(2) Đối với các phản ứng điện phân định lượng, tỷ số lượng chất có thể nhận được bằng cách đo điện lượng. Ví dụ 1 mol Ag và $(1/2)$ mol Cu tự lại ở catốt là do cùng một điện lượng gây ra (xấp xỉ 96485 C).

(3) Áp dụng các định luật về dung dịch cực kỳ loãng cũng là một phương pháp xác định tỷ số lượng chất.

Sự phát triển các phương pháp như trên và việc áp dụng nó cho các hệ thống sinh học phức tạp hơn là một quá trình còn cần nhiều thời gian nghiên cứu. Tuy nhiên, đó chính là con đường để có thể thiết lập được một hệ thống có tính chất quốc tế rộng rãi của các phép đo phân tích hoá học chính xác theo đơn vị mol.

Chương 4

SAI SỐ CỦA PHÉP ĐO

4.1. SAI SỐ VÀ PHÂN LOẠI SAI SỐ CỦA PHÉP ĐO

Trước hết, cần phân biệt giá trị thực và giá trị thực quy ước của đại lượng.

Giá trị thực của đại lượng là giá trị phản ánh thuộc tính của đối tượng đã cho bằng một phương pháp lý tưởng phù hợp với nó cả về số lượng và chất lượng. Giá trị thực không phụ thuộc vào phương pháp, phương tiện nhận biết chúng, đó là “chân lý” của đại lượng đo mà phép đo cố gắng đạt tới.

Ngược lại, kết quả của phép đo (vấn đề là kết quả đo) là sản phẩm của trình độ nhận thức của chúng ta. Nó phụ thuộc không những vào bản thân đại lượng đo, mà còn phụ thuộc vào phương pháp đo, phương tiện đo, người đo, điều kiện môi trường trong đó phép đo được thực hiện...

Như vậy giữa kết quả đo và giá trị thực của đại lượng đo bao giờ cũng có một sự sai khác gọi là sai số của phép đo.

$$\text{Sai số của phép đo} = \text{Kết quả đo} - \text{Giá trị thực}$$

Giá trị thực là “lý tưởng”, ta chỉ có thể tiệm cận đến nó, không thể biết được nó một cách hoàn toàn. Vì vậy, để nhận được những thông tin, dù chỉ là gần đúng về sai số của phép đo, người ta thay giá trị thực bằng giá trị thực quy ước.

Theo TCVN 6165-1996, giá trị thực quy ước là “giá trị quy cho một đại lượng riêng biệt và được chấp nhận, đôi khi bằng thoả ước, có độ không đảm bảo phù hợp với mục đích đã định”. Đó chính là giá trị tìm được bằng thực nghiệm và gần với giá trị thực đến mức đủ sử dụng cho một mục đích nhất định.

$$\text{Sai số của phép đo} = \text{Kết quả đo} - \text{Giá trị thực quy ước}$$

Có thể phân loại sai số của phép đo theo hình thức biểu thị hoặc theo quy luật xuất hiện chúng.

Theo hình thức biểu thị, có sai số tuyệt đối và sai số tương đối của phép đo.

Sai số tuyệt đối (Δ) của phép đo là hiệu giữa kết quả đo (X_d) và giá trị thực quy ước (X) của đại lượng đo:

$$\Delta = X_d - X \quad (4.1)$$

Sai số tương đối (δ) của phép đo là tỷ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị thực quy ước của đại lượng đo. Sai số tương đối thường được tính theo %:

$$\delta \% = \frac{\Delta}{X} \cdot 100 \% \quad (4.2)$$

Theo quy luật xuất hiện, ta có sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên và sai số thô của phép đo.

Sai số hệ thống là phần sai số không đổi hoặc thay đổi theo một quy luật xác định khi đo lặp lại cùng một đại lượng. Quy luật này không phụ thuộc vào số lần đo lặp nhiều hay ít. Trong đa số trường hợp, sai số hệ thống có thể xác định được bằng thực nghiệm và có thể loại trừ được khỏi kết quả đo. Cần lưu ý rằng sai số hệ thống chưa phát hiện được còn nguy hiểm hơn cả sai số ngẫu nhiên vì nó luôn luôn làm cho kết quả đo không đúng. Việc nghiên cứu sai số hệ thống của phép đo là rất quan trọng, nó cho ta cơ sở để quyết định xem có thể bỏ qua sai số đó hoặc phải tìm cách loại trừ.

Khi đo lặp lại cùng một đại lượng trong các điều kiện như nhau ta vẫn nhận được các giá trị khác nhau. Sự khác nhau này gây ra bởi những yếu tố xuất hiện và biến mất một cách ngẫu nhiên hoặc với một cường độ rất khó đoán trước như sự lệch của các phần tử cấu thành phương tiện đo theo phương của nó, sự thay đổi không điều chỉnh được của các mômen ma sát trong các bộ tựa, những thăng giáng nhỏ của điều kiện môi trường những biến động trong sự chú ý của người đo... Sai số của phép đo do những yếu tố ngẫu nhiên này gây ra gọi là sai số ngẫu nhiên. Đây là phần sai số của phép đo thay đổi một cách ngẫu nhiên khi đo lặp lại cùng một đại lượng.

Sai số thô của phép đo là sai số vượt quá sai số mong đợi trong những điều kiện đã cho một cách rõ rệt. Sai số thô gây ra do những sai hỏng trầm trọng của phương tiện đo, sai sót lớn của người thao tác hoặc sự thay đổi đột ngột của điều kiện môi trường. Sai số thô nhiều khi rất khó phát hiện vì có thể nhầm với sai số hệ thống hoặc sai số ngẫu nhiên. Tuy nhiên, bằng sự cẩn thận của người thao tác, bằng sự giúp đỡ của phương tiện đo hoàn hảo hơn... có thể phân biệt và khắc phục loại sai số này.

4.2. QUY TẮC LÀM TRÒN SỐ

Sai số phép đo cho biết con số nào trong trị số của kết quả đo là đáng nghi ngờ. Vì vậy, nếu biểu thị sai số bằng nhiều chữ số thì không có ý nghĩa, nên trong trị số của sai số người ta chỉ giữ lại một con số có nghĩa hoặc hai con số nếu con số thứ hai bằng 5. Với những phép đo quan trọng và chính xác mới giữ lại hai con số có nghĩa trong trị số của sai số.

Khi làm tròn trị số của kết quả đo, ta căn cứ vào bậc có nghĩa của sai số. Ví dụ, khi sai số là ± 5 , con số tận cùng sẽ là con số ứng với hàng đơn vị, khi sai số là $\pm 0,02$, con số tận cùng sẽ là số lẻ phần trăm,... Để làm tròn số cuối cùng, áp dụng các quy tắc sau đây (TCVN 1517-88).

1. Nếu kế tiếp con số cuối cùng cần để lại khi quy tròn là các con số 0, 1, 2, 3 hay 4, thì khi quy tròn, con số cuối cùng sẽ không thay đổi (quy tròn xuống hay giảm).

Ví dụ: $2,12 \approx 2,1$; $6,343 \approx 6,34$

2. Nếu kế tiếp con số cuối cùng cần để lại khi quy tròn là các con số 6, 7, 8 hay 9 thì khi quy tròn, con số cuối cùng sẽ tăng thêm 1 (quy tròn lên hay quy tròn tăng).

Ví dụ: $3,141\ 59 \approx 3,141\ 6$; $8,248 \approx 8,25$

3. Nếu kế tiếp con số cuối cùng cần để lại khi quy tròn là con số 5 và sau con số 5 có ít nhất một con số khác không thì khi quy tròn con số cuối cùng đó sẽ tăng thêm 1 (quy tròn tăng).

Ví dụ: $4,350\ 1 \approx 4,4$

4. Nếu kế tiếp con số cuối cùng cần để lại khi quy tròn là con số 5 và biết rõ con số 5 này đã được quy tròn như thế nào thì con số 5 đó sẽ được quy tròn xuống theo quy tắc 1 nếu như nó đã được quy tròn lên và sẽ được quy tròn lên theo quy tắc 2 nếu như nó đã được quy tròn xuống.

Ví dụ: $6,314\ 9$ đã được quy tròn thành $6,315$ nếu tiếp tục sẽ được quy tròn thành $6,31$.

$4,185\ 2$ đã quy tròn thành $4,185$, nếu tiếp tục sẽ quy thành $4,19$.

5. Nếu kế tiếp con số cuối cùng cần để lại khi quy tròn là con số đúng 5 (sau nó chỉ toàn là số 0) thì có thể tùy ý quy tròn lên hay quy tròn xuống.

Nhưng nếu cần sử dụng số quy tròn trong khi tính toán thì nên quy tròn như thế nào để con số cuối cùng là con số chẵn. Như vậy, con số cuối cùng đó sẽ không thay đổi nếu nó đã là con số chẵn và sẽ tăng thêm 1 nếu nó là con số lẻ (quy tắc số chẵn).

Ví dụ: $\frac{1}{16} = 0,0625 \approx 0,062$; $\frac{3}{4} = 0,75 \approx 0,8$.

6. Nếu kế tiếp con số cuối cùng cần để lại khi quy tròn là con số 5 nhưng không biết nó là con số đúng 5 hay đã được quy tròn, thì xem con số 5 đó là con số đúng và quy tròn theo quy tắc 5.

Trong khi áp dụng các quy tắc quy tròn nói trên, cần phải kết hợp xem xét kỹ việc định mức của các đặc trưng. Ví dụ, nếu quy định khe hở giữa hai chi tiết không được quá 4 mm, thì nếu kết quả đo là 4,4 mm, ta không được phép quy tròn là 4 vì như vậy khe hở từ chỗ không đạt yêu cầu (vượt quá 4 mm), lại trở nên đạt yêu cầu.

Trước và trong quá trình tính toán cần phân tích các số được quy tròn vì nếu quy tròn không cẩn thận có thể làm méo mó kết quả đo. Ví dụ, nếu trước khi nhân ta lấy tròn 645,49 thành 645 và nhân với 9 ta sẽ được 5 805. Nếu khi nhân ta chưa quy tròn thì kết quả sẽ là 5 809,41 và quy tròn là 5 809. Tuy nhiên, không nên làm những phép tính thừa mà sau đó ta sẽ quy tròn và bỏ đi một số con số. Sai lầm thường mắc trong khi tính toán là khi chia ta phải viết thêm nhiều con số không vào bên phải số bị chia. Ví dụ, khi chia 798 cm cho π (lấy bằng 3,14) và được 254,15. Có thể tiếp tục chia nữa, song thực tế có thể ngừng phép chia sớm hơn, chẳng hạn ở trị số 254, vì kết quả phép đo là 798 cm có nghĩa là kết quả đo chỉ có thể xác định đến hàng đơn vị cm.

Tóm lại khi quy tròn kết quả đo. Ngoài việc lấy sai số của phép đo và cách quy tròn số làm cơ sở, ta cần cân nhắc kỹ lưỡng để vừa thuận tiện cho tính toán vừa không ảnh hưởng đến độ chính xác có thể đạt được của kết quả đo.

4.3. SAI SỐ HỆ THỐNG CỦA PHÉP ĐO

4.3.1. Phân loại sai số hệ thống của phép đo

Có thể phân loại sai số hệ thống theo nguyên nhân xuất hiện hoặc theo quy luật xuất hiện.

a) Phân loại sai số hệ thống theo nguyên nhân xuất hiện

Theo nguyên nhân xuất hiện, sai số hệ thống được phân thành các loại sau đây:

Sai số do phương tiện đo:

Sai số hệ thống của phương tiện đo là một trong những thành phần sai số hệ thống quan trọng nhất của phép đo. Nguồn gốc của loại sai số này trước hết nằm ngay trong cấu trúc của chính phương tiện đo. Ví dụ như sai số ở những dụng cụ có bộ phận động gây ra do độ hở của trục quay so với ổ đỡ do đó dẫn đến sự dịch chuyển tự do nào đó của bộ phận động, tùy theo từng loại dụng cụ, người ta gọi đó là “độ rơ”, “khe hở”, “bước chết”, “bước không tải”,... Để giảm sự dịch chuyển tự do này, phải tăng ma sát giữa các phần tử động và tĩnh của cơ cấu đo. Nhưng việc tăng ma sát lại có thể là nguyên nhân sinh ra các sai số lớn khác. Khi thiết kế, người ta cố gắng giải quyết một cách tối ưu mối quan hệ giữa các ảnh hưởng xấu do ma sát và do độ dịch chuyển tự do gây ra, tuy nhiên không hoàn toàn loại trừ được loại sai số này.

Sai số do phương tiện đo còn bắt nguồn từ công nghệ chế tạo nó. Không có quá trình công nghệ nào chế tạo được cân có hai cánh tay đòn hoàn toàn cân bằng nhau, chế tạo được cầu đo có tỷ số giữa các nhánh hoàn toàn đúng như trong thiết kế,... Một nguyên nhân quan trọng nữa gây ra sai số hệ thống của các phương tiện đo là những thiếu sót khi khắc vạch thang đọc. Người ta dựa vào giá trị của vật đo chuẩn hoặc số chỉ của phương tiện đo chuẩn để ghi khắc các vạch chia trên thang đọc bằng một phương pháp nào đó (kể cả trực tiếp ghi khắc bằng tay). Sai số của vật đo và phương tiện đo chuẩn, những sai số của phương pháp ghi khắc và của người thực hiện... làm cho các vạch chia trên thang đọc không thể hoàn toàn chính xác.

Sai số do phương tiện đo còn bắt nguồn từ sự mài mòn, già lão của các bộ phận cấu thành phương tiện đo, của nguyên vật liệu dùng để chế tạo các bộ phận này. Thường sau một thời gian, phương tiện đo không còn giữ được những đặc trưng đo lường như ban đầu nữa. Có rất nhiều ví dụ về loại sai số này, như sau một thời gian sử dụng, khối lượng thật của quả cân sẽ giảm đi do bị mài mòn. Manganin là một hợp kim có điện trở suất lớn và hệ

số nhiệt điện trở nhỏ nên được dùng nhiều trong công nghiệp chế tạo phương tiện đo điện, nhưng nhược điểm của nó là điện trở lại thay đổi theo thời gian do sự già lão của các tinh thể, dù sự thay đổi này chậm nhưng đây cũng là nguyên nhân gây ra sai số hệ thống của các phương tiện đo có những bộ phận chế tạo từ manganin,...

Sai số do lắp đặt phương tiện đo:

Ở nhiều phương tiện đo, đặc biệt là các phương tiện đo mà nguyên lý hoạt động của nó trong chừng mực nào đó có liên quan tới sự cân bằng trọng lượng cơ học, tính đúng đắn của số chỉ phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa các bộ phận động và bộ phận tĩnh. Vì vậy, nếu lắp đặt phương tiện đo không đúng cũng sẽ gây ra một sai số nào đó. Ví dụ như khi sử dụng cân đĩa, cân phân tích,... nếu đặt nó trên một hệ không thẳng bằng thì dao tựa sẽ không tiếp xúc hoàn toàn với gối làm cho tính chất động của cân thay đổi và phép đo sẽ luôn luôn phạm một sai số nhất định.

Sai số do lắp đặt phương tiện đo không đúng còn tồn tại trong nhiều loại phương tiện đo có cấu tạo kiểu con lắc như các máy thử nghiệm với lực kế con lắc, trong các phương tiện đo có phần động treo như điện kế... Ở các áp kế chịu tải, pít-tông và xi-lanh lệch khỏi vị trí thẳng đứng cũng sẽ làm thay đổi giá trị và phương của lực tác dụng và do đó gây ra một sai số hệ thống nhất định.

Vì những lý do nêu trên trong nhiều loại phương tiện đo, người ta thường lắp thêm ống thủy (nivô) để có thể lắp đặt chúng đúng vị trí thẳng bằng.

Sai số do ảnh hưởng của điều kiện môi trường:

Các điều kiện môi trường khi tiến hành phép đo nếu không được chú ý đúng mức sẽ gây ra sai số hệ thống của phép đo. Các điều kiện môi trường có thể là nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, từ trường và điện trường ngoài...

Nhiệt độ môi trường là một đại lượng có ảnh hưởng lớn đến kết quả đo, nhất là khi nó tác động không đồng đều lên phương tiện đo và đối tượng đo. Như trong phép cân chính xác, một trong hai cánh tay đòn bị đốt nóng sẽ làm tăng sự không đều nhau giữa hai đòn cân; sức điện động của pin chuẩn thay đổi mạnh ngay cả khi hai nhánh bình của pin có một hiệu nhiệt độ nhỏ. Nhiệt độ cũng có ảnh hưởng rất lớn đối với phép đo độ dài. Người ta đã tiến hành nghiên cứu kỹ những ảnh hưởng này để tìm cách khắc phục

nó. Chẳng hạn, kết quả nghiên cứu quá trình thay đổi nhiệt độ kim loại khi để nó trong môi trường không khí đã giúp đề ra được các chế độ sử dụng vật đo độ dài bằng thép không gỉ, như quy định trước khi sử dụng vật đo bậc II có độ dài 100 mm phải để nó trong môi trường nhiệt độ đã cho ít nhất là 1,5 giờ.

Từ trường tồn tại trong môi trường đo rất đa dạng. Đó là từ trường không đổi của Trái Đất, từ trường do các thiết bị điện, do các dây dẫn điện phát sinh ra... Ảnh hưởng của từ trường lên số chỉ của phương tiện đo phụ thuộc vào cường độ từ trường và vào nguyên lý cấu tạo của nó. Cần chú ý rằng từ trường không chỉ ảnh hưởng đến số chỉ của các phương tiện đo có nguyên lý cấu tạo liên quan đến các hiện tượng điện từ, mà còn ảnh hưởng đến số chỉ của tất cả các phương tiện đo có phần động cấu tạo từ các vật liệu từ (thép, niken,...). Ví dụ nếu các lò xo trong phương tiện đo không được chế tạo từ các vật liệu kháng từ thì dưới tác dụng của từ trường nó sẽ bị từ hoá, các vòng lò xo riêng biệt sẽ dính lại với nhau, kim chỉ của các đồng hồ đo sẽ dừng lại hoặc chỉ không đúng...

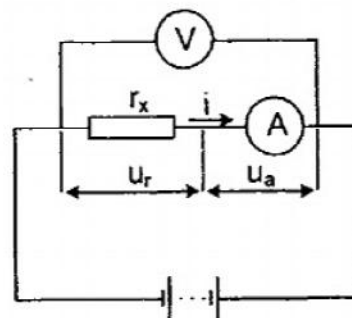
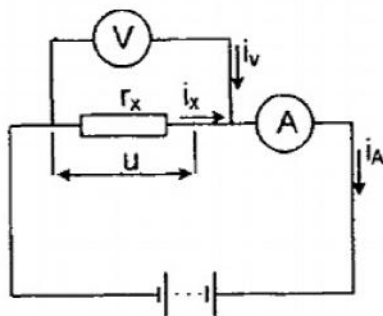
Áp suất và độ ẩm không khí cũng ảnh hưởng quan trọng đến kết quả của nhiều phép đo. Trong các phép đo nhiệt độ chính xác ta phải dùng các điểm nhiệt độ chuẩn ứng với các trạng thái đông đặc hay nóng chảy của một loại nguyên tố hoá học tinh khiết nào đó, điểm nhiệt độ này phụ thuộc vào áp suất của khí quyển. Độ ẩm cũng gây nên những sai số phụ nào đó trong kết quả đo, ví dụ như kích thước hình học hoặc điện trở của đối tượng đo, của các bộ phận cấu thành phương tiện đo có thể thay đổi do tính hút ẩm của vật liệu.

Để khắc phục các ảnh hưởng của điều kiện môi trường, người ta thường đề ra một số quy định cho từng loại phép đo cụ thể.

Sai số do phương pháp đo (sai số lý thuyết):

Nguyên nhân gây ra sai số hệ thống này nằm ngay trong bản thân phương pháp đo. Sai số do phương pháp đo gây ra gọi là sai số lý thuyết. Ta xét một số ví dụ quen thuộc về loại sai số này.

Khi đo điện trở bằng vônmét và ampemét, có thể dùng các sơ đồ như hình 4.1 và 4.2.



Hình 4.1. Đo điện trở bằng vôn-mét Hình 4.2. Đo điện trở bằng am-pemét

Theo sơ đồ 4.1:

$$r_x = \frac{u}{i_a}$$

trong đó u là điện áp trên r_x đo bằng vôn-mét V; i_a là cường độ dòng điện đo bằng am-pemét A. Như vậy i_a sẽ lớn hơn dòng đi qua r_x một chút ($i_a = i_x + i_v$), do đó giá trị điện trở r_x đo bằng phương pháp này sẽ nhỏ hơn giá trị thật của nó.

Theo sơ đồ 4.2 điện áp đo bằng vôn-mét V sẽ lớn hơn điện áp trên r_x một giá trị u_A là điện áp rơi trên điện trở của am-pemét. Giá trị điện trở r_x đo theo phương pháp này sẽ lớn hơn giá trị thật của nó một đại lượng bằng điện trở của am-pemét.

Tuỳ theo mức độ của những sai số do phương pháp đo gây ra và yêu cầu của phép đo mà cần nhắc xem có nên hiệu chỉnh kết quả đo hay không. Ví dụ trong các trường hợp trên, nếu độ chính xác của phép đo r_x không đòi hỏi cao và nếu điện trở của vôn-mét lớn hơn so với r_x (với sơ đồ 4.1) hoặc nếu điện trở của am-pemét nhỏ so với r_x (với sơ đồ 4.2) thì không cần hiệu chỉnh kết quả đo. Trong trường hợp ngược lại, phải tính toán để hiệu chỉnh kết quả đo như trong ví dụ về hiệu chỉnh kết quả đo dưới đây.

Sai số do chủ quan người đo:

Thường mỗi người tiến hành phép đo có thói quen, một cá tính nhất định nào đó. Các thói quen và cá tính này hình thành do đặc điểm của cơ thể, do tập quán lâu ngày, do trình độ... Các thói quen và cá tính đó đều gây nên những sai số hệ thống nhất định khi tiến hành phép đo, ví dụ luôn luôn nhìn lệch kim chỉ về một phía, luôn luôn làm nghiêng phương tiện đo một góc nhất định nào đó.

b) Phân loại sai số hệ thống theo quy luật xuất hiện

Căn cứ vào đặc điểm xuất hiện, sai số hệ thống của phép đo thường được chia thành hai loại: sai số hệ thống không đổi và sai số hệ thống biến đổi.

Sai số hệ thống không đổi: là sai số hệ thống có giá trị và dấu không đổi trong suốt quá trình đo. Sai số này gặp rất nhiều trong thực tế. Ví dụ như sai số của phép đo do sai số của các loại vật đo (quả cân, bình đong, thước vạch, hộp điện trở...) hoặc sai số do khắc độ các phương tiện đo gây ra.

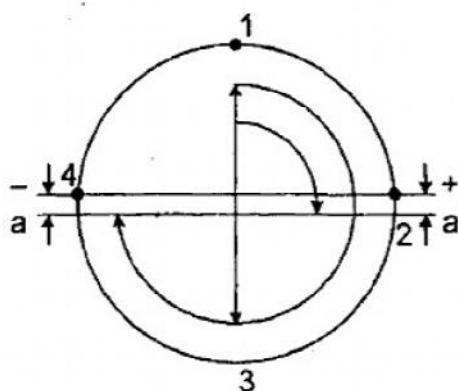
Sai số hệ thống biến đổi: là sai số của phép đo có giá trị và dấu thay đổi trong quá trình đo. Người ta chia sai số hệ thống biến đổi thành một số loại sau đây:

Sai số giảm dần hoặc tăng dần trong quá trình đo:

Một ví dụ điển hình về loại sai số này là sai số gây ra do sự giảm điện áp của nguồn nuôi mạch đo. Chúng ta đều biết, ở giai đoạn đầu pin và ắc quy phóng điện nhanh, sau đó, trong một thời gian dài, hiện tượng phóng điện xảy ra chậm và đều đặn. Ở giai đoạn cuối, sự phóng điện lại một lần nữa tăng nhanh làm cho điện áp giảm mạnh. Vì vậy những mạch đo dùng nguồn nuôi này sẽ có sai số hệ thống tăng hoặc giảm trong quá trình đo.

Sai số có giá trị biến đổi một cách tuần hoàn:

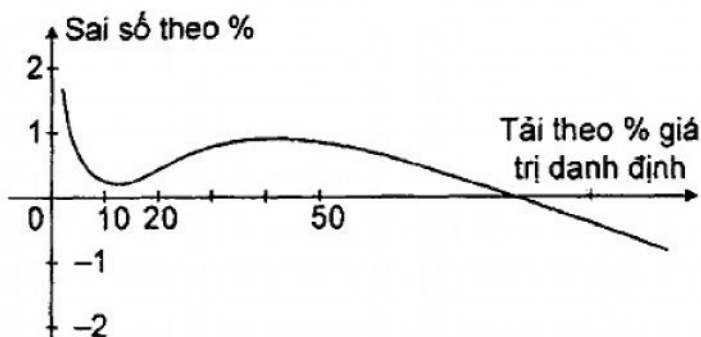
Xét một ví dụ về loại sai số này xuất hiện ở những phương tiện đo có thang đọc tròn (đồng hồ bấm giây, đồng hồ so,...) khi trụ quay của kim chỉ không hoàn toàn trùng với tâm của thang đọc. Hình 4.3 mô tả trường hợp trụ quay nằm phía dưới tâm của thang đọc và cả hai cùng nằm trên đường thẳng đứng chia thang đọc thành hai phần bằng nhau. Ở vị trí (1) và (3), số chỉ của kim phù hợp với giá trị thực tế của đại lượng đo. Ở vị trí (2), số chỉ của kim lớn hơn giá trị thực tế, phép đo có sai số $+a$. Ở vị trí (4), số chỉ nhỏ hơn giá trị thực tế, phép đo có sai số $-a$. Sự thay đổi này diễn ra một cách tuần hoàn theo từng vòng quay của kim chỉ.



Hình 4.3. Trụ quay không trùng với tâm thang đọc

Sai số có giá trị và dấu biến đổi theo một quy luật phức tạp:

Người ta thường diễn tả quy luật này bằng đồ thị hay một công thức nào đó. Ví dụ, sai số của phép đo điện năng do sai số của công tơ điện gây ra. Sai số này phụ thuộc phức tạp vào tải. Đồ thị hình 4.4 diễn tả sự phụ thuộc giữa sai số và tải của công tơ điện.



Hình 4.4. Sai số và tải của công tơ điện

Ta xét một ví dụ nữa về sai số hệ thống biến đổi của phép đo xuất hiện khi nhiệt độ lệch khỏi nhiệt độ tiêu chuẩn là nhiệt độ của môi trường dùng để xác định giá trị của vật đo hoặc để khắc độ phương tiện đo. Sai số này thường được biểu diễn bằng một công thức có dạng tổng quát.

$$\Delta I_1 = (\alpha t + \beta t^2) I_{t_0}$$

Trong đó ΔI_1 là sai số xuất hiện khi nhiệt độ thay đổi $y = t_d - t_0$ độ, với t_0 là nhiệt độ tiêu chuẩn và t_d là nhiệt độ môi trường khi đo; α , β là các hệ số nhiệt độ vật liệu; I_{t_0} là giá trị đại lượng đo ở nhiệt độ tiêu chuẩn t_0 .

4.3.2. Loại trừ sai số hệ thống của phép đo

Trong kết quả đo, sự tồn tại của sai số hệ thống chưa phát hiện được là rất nguy hiểm. Chính sai số hệ thống, chứ không phải sai số ngẫu nhiên, nhiều khi là nguyên nhân dẫn đến các kết luận khoa học sai lầm, làm cho cấu trúc của phương tiện đo không hoàn hảo, làm xuất hiện phế phẩm trong sản xuất,...

Để loại trừ sai số hệ thống của phép đo, người ta thường áp dụng một số biện pháp dưới đây:

- Loại bỏ các nguyên nhân gây ra sai số trước khi đo;
- Loại trừ sai số trong quá trình đo;
- Đưa các số hiệu chỉnh vào kết quả đo;
- Đánh giá giới hạn của sai số hệ thống, nếu như không thể loại trừ được nó.

Dưới đây, lần lượt xét chi tiết các biện pháp trên.

a) Loại bỏ các nguyên nhân gây ra sai số trước khi đo

Đây là cách loại trừ sai số hệ thống hợp lý nhất, nó làm cho phép đo có thể tiến hành nhanh chóng và đơn giản hơn nhiều. Căn cứ vào các nguyên nhân gây ra sai số hệ thống đã trình bày ở trên, người ta thường tiến hành một số biện pháp dưới đây:

- Kiểm định, hiệu chuẩn phương tiện đo đúng thời hạn quy định. Kết quả kiểm định, hiệu chuẩn sẽ cho biết phương tiện đo có còn sử dụng được cho mục đích đã định hay không, cần phải hiệu chỉnh, sửa chữa phương tiện đo thế nào hoặc cần phải hiệu chỉnh kết quả đo ra sao. Biện pháp này cho phép loại trừ sai số hệ thống do sự không hoàn hảo của phương tiện đo gây ra.

- Lắp đặt phương tiện đo cẩn thận, theo đúng tư thế quy định của nó.

- Để các thay đổi của điều kiện môi trường không gây ra sai số hệ thống người ta thường dùng các thiết bị phụ để giữ cho các điều kiện môi trường nằm trong giới hạn cho phép. Ví dụ dùng máy điều hoà khí hậu để ổn định nhiệt độ, độ ẩm; dùng các màn chắn kim loại để ngăn chặn ảnh hưởng của từ trường,...

b) Loại trừ sai số hệ thống trong quá trình đo

Loại trừ sai số trong quá trình đo là một biện pháp có hiệu quả để loại trừ các thành phần sai số hệ thống do phương tiện đo, do việc lắp đặt phương tiện đo và do các ảnh hưởng môi trường gây ra. Phần dưới đây trình bày một số phương pháp loại trừ sai số hệ thống trong quá trình đo. Những phương pháp này đều dựa trên cơ sở đo lặp một số lần. Vì vậy, đại lượng đo trong trường hợp này phải ổn định.

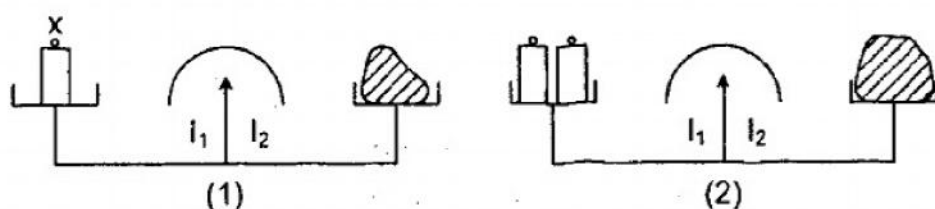
Phương pháp thế:

Nội dung cơ bản của phương pháp này là thay thế đối tượng đo bằng một vật đo đã biết giá trị ở trong cùng một điều kiện giống như đối với đối tượng đo. Phương pháp này thường dùng cho những phép đo trong đó đại lượng cần đo được so sánh với vật đo đã biết giá trị.

Ta xét một vài ví dụ áp dụng phương pháp này.

Trong các phép đo khối lượng chính xác người ta hay dùng phương pháp cân Borda (hình 4.5). Đặt khối lượng cần cân x lên đĩa cân. Trên đĩa cân bên kia đặt một vật nào đó để cân trở về vị trí cân bằng. Sau đó, bỏ khối

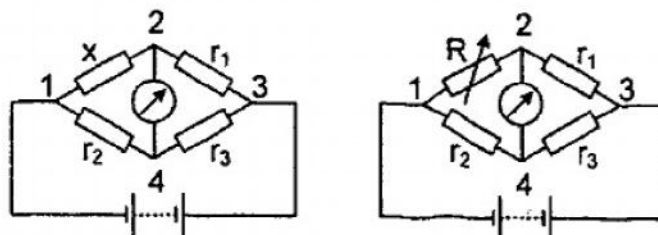
lượng cần cân ra và thay vào đó một số quả cân nào đó cho đến khi cân trở lại thăng bằng. Khối lượng quả cân phải đặt lên đĩa cho ta khối lượng cần đo. Bằng phương pháp này ta đã loại trừ được sai số do hai cánh tay đòn không bằng nhau gây ra.



Hình 4.5. Phương pháp cân Borda

Mendêlêep đã hoàn chỉnh thêm phương pháp trên. Đặt một bộ quả cân đầy đủ lên đĩa cân và cân bằng với một tải trọng nào đó trên đĩa cân bên kia. Sau đó, đặt khối lượng cần cân vào đĩa có quả cân và rút dần một số quả cân ra cho đến khi cân thăng bằng. Khối lượng các quả cân rút ra cho ta khối lượng cần đo. Phương pháp Mendêlêep không những khắc phục được sai số do hai cánh tay đòn không đều nhau gây ra mà còn giữ được độ nhạy của cân không đổi khi cân các khối lượng khác nhau. Ta đều biết độ nhạy của cân có cánh tay đòn đều ít nhiều phụ thuộc vào tải trọng. Do đó chỉ có thể giữ được độ nhạy lớn nhất của nó khi cân với cùng một tải trọng. Hiện nay người ta đã chế tạo được nhiều loại cân chính xác theo phương pháp này, trong đó các quả cân được lấy ra bằng đòn bẩy điều khiển từ bên ngoài và có một thang dọc để đọc khối lượng các quả cân đã lấy ra.

Phương pháp thế cũng được dùng rộng rãi để đo các đại lượng điện như điện trở, điện dung, điện cảm,... theo phương pháp chỉ "0" trên các dụng cụ so sánh như cầu đo, máy bù (hình 4.6).



Hình 4.6. Phương pháp thế

Trình tự tiến hành phép đo về nguyên tắc hoàn toàn giống phép cân đã trình bày ở trên. Đưa đối tượng đo vào một nhánh nào đó của mạch đo, rồi cân bằng cầu đo, sau đó thay thế đối tượng đo bằng một vật đo cùng loại

với đối tượng đo có giá trị điều chỉnh được như magasin điện trở, điện dung, điện cảm, tụ điện hoặc điện cảm biến đổi... Thay đổi giá trị của các vật đo này cho đến khi mạch đo trở lại thăng bằng. Khi đó giá trị vật đo cho ta giá trị đại lượng cần đo. Phương pháp này giúp ta khắc phục được sai số do sự không cân bằng của các nhánh cầu, ảnh hưởng của từ trường, điện trường đến các mạch đo, các ảnh hưởng tương hỗ giữa các phần tử riêng biệt của mạch đo...

Phương pháp bù sai số theo dấu:

Nội dung của phương pháp này là tiến hành đo hai lần như thế nào đó để sai số tác động đến kết quả đo ở mỗi lần có dấu ngược nhau. Những sai số này, chúng ta đã hiểu được bản chất nhưng chưa biết được giá trị cụ thể của nó, sẽ được loại trừ khỏi kết quả đo cuối cùng khi tính giá trị trung bình. Gọi x_1 , x_2 là kết quả của từng lần đo, x_d là giá trị của đại lượng đo, Δ là sai số hệ thống, ta có:

$$x_1 = x_d + \Delta; x_2 = x_d - \Delta$$

Giá trị trung bình sẽ là:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2} = x_d \quad (4.3)$$

Khi muốn nâng cao độ chính xác của kết quả đo, có thể tiến hành một số lần đo lặp nhưng phải tính toán số lần đo sao cho số sai số mang dấu dương bằng số sai số mang dấu âm.

Phương pháp bù sai số theo dấu có phạm vi áp dụng hẹp. Nó chỉ được dùng để loại trừ sai số gây ra từ những nguồn có tác dụng theo một hướng nhất định.

Một trong những ví dụ điển hình về phương pháp này là việc loại trừ sai số do ảnh hưởng của từ trường trái đất gây ra. Để khắc phục loại sai số này người ta đo hai lần. Lần đầu để phương tiện đo ở một vị trí bất kỳ nào đó. Sau đó quay phương tiện đo đi 180° trên cùng một mặt phẳng như trước và đo lần thứ hai. Sai số ở mỗi lần đo sẽ có dấu ngược nhau.

Phương pháp bù sai số theo dấu cũng có thể dùng để loại trừ sai số do từ trường của các nguồn khác không phải là trái đất sinh ra những phải hết sức thận trọng vì sự phân bố của từ trường trong những trường hợp này có thể không đều. Sai số của từ trường gây ra ở những vị trí khác nhau không

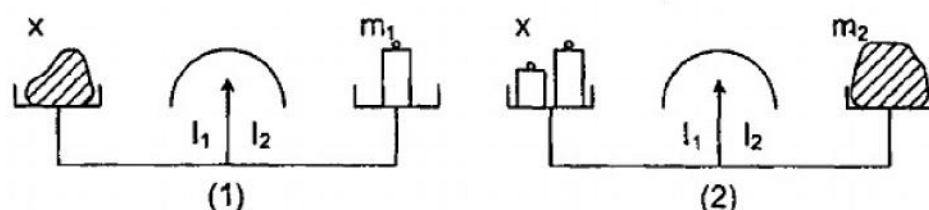
chỉ khác nhau về dấu mà còn khác nhau về độ lớn. Tuy nhiên phương pháp này có thể áp dụng rất có hiệu quả để phát hiện ảnh hưởng của từ trường đối với phương tiện đo. Bằng một lần đo lặp theo phương pháp bù sai số theo dấu, có thể khẳng định được ảnh hưởng đó thay đổi hay ổn định.

Phương pháp bù sai số theo dấu cũng có thể dùng để loại trừ các sai số do hiện tượng từ trễ (từ trễ trong các vật liệu sắt từ, từ trễ trong các vật liệu đàn hồi...) gây ra.

Phương pháp hoán vị:

Về nguyên tắc, phương pháp hoán vị rất gần với phương pháp bù sai số theo dấu. Nội dung của phương pháp này là tiến hành đo hai lần sao cho nguyên nhân gây ra sai số ở lần đo thứ nhất tác động lên kết quả của lần đo thứ hai một cách ngược lại. Phương pháp hoán vị được dùng rất rộng rãi. Ta xét một vài ví dụ dưới đây:

Trong các phép đo khối lượng chính xác bằng cân đều tay đòn, người ta rất hay dùng phương pháp hoán vị, còn gọi là phương pháp Gauss (hình 4.7).



Hình 4.7. Phương pháp hoán vị

Đặt khối lượng cần cân x lên đĩa cân. Trên đĩa cân bên kia để một số quả cân cho đến khi cân thăng bằng, tổng số khối lượng các quả cân lúc đó là m_1 . Ta có:

$$x = \frac{l_2}{l_1} m_1 \quad (4.4)$$

trong đó l_2/l_1 là tỷ số thực của hai cánh tay đòn.

Đổi x sang đĩa cân bên kia, và vì l_1 không thực sự bằng l_2 nên để cân trở lại vị trí cân bằng, ta phải đặt lên đĩa cân bên kia một số quả cân với khối lượng m_2 . Ta có:

$$m_2 = \frac{l_2}{l_1} x \quad (4.5)$$

Trong hai biểu thức trên, sai số gây ra do sự không đều nhau của hai cánh tay đòn đã được đưa vào dưới dạng hệ số l_2/l_1 . Hệ số này có thể trình bày dưới dạng:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{l_1 + (l_2 - l_1)}{l_1} = 1 + \frac{l_2 - l_1}{l_1} = 1 + d$$

với $d = \frac{l_2 - l_1}{l_1}$ là sai số tương đối do sự không đều nhau của hai cánh tay đòn gây ra.

Biểu thức (4.4) và (4.5) có thể viết dưới dạng:

$$x = m_1 + m_1 d$$

$$m_2 = x + x d$$

Suy ra:

$$x = \frac{m_1 + m_2 + (m_1 - x)d}{2}$$

Vì d và $m_1 - x$ rất nhỏ so với m_1 , m_2 và x nên tích của chúng có thể bỏ qua. Kết quả ta được:

$$x = \frac{m_1 + m_2}{2} \quad (4.6)$$

và như vậy đã loại trừ được sai số do sự không đều nhau của hai cánh tay đòn gây ra.

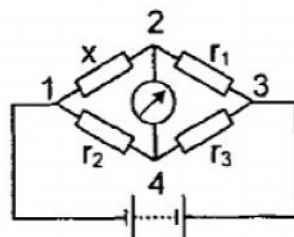
Công thức (4.3) và (4.6) có dạng giống nhau. Tuy nhiên, cần lưu ý là biểu thức (4.3) đã nhận được từ phương pháp bù sai số theo dấu, nó phản ánh chính xác bản chất của việc loại trừ sai số, còn biểu thức (4.6) là biểu thức gần đúng.

Đặc điểm của phương pháp hoán vị là nó cũng có thể dùng để xác định tỷ số thực sự giữa các cánh tay đòn. Từ (4.4) và (4.5) ta có:

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1}} \approx 1 + \frac{m_2 - m_1}{2m_1} \quad (4.7)$$

Phương pháp hoán vị cũng được dùng để đo các đại lượng điện, đặc biệt là để đo điện trở dòng điện một chiều bằng cầu đo có các nhánh cầu bằng nhau (hình 4.8).

Ví dụ trong các nhánh cầu có $r_2 = r_3 = 1\,000\,\Omega$. Lắp điện trở cần đo x vào một nhánh cầu. Cầu đạt tới trạng thái cân bằng với $r'_1 = 1\,000,4\,\Omega$. Đổi vị trí giữa r'_1 và x . Cầu trở về vị trí cân bằng với $r''_1 = 1\,000,2\,\Omega$.



Hình 4.8. Phương pháp hoán vị

Áp dụng các công thức (4.6) và (4.7), ta có:

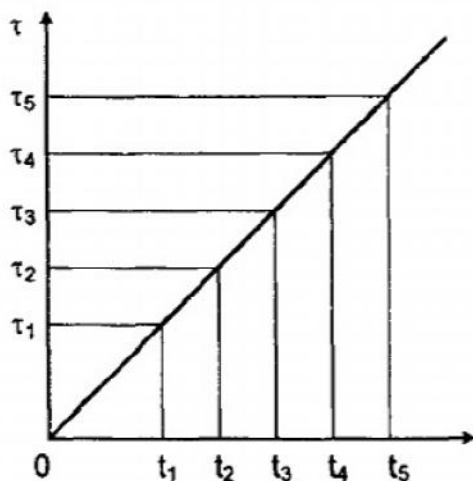
$$x = \frac{1\,000,4 + 1\,000,2}{2} = 1\,000,3\,\Omega$$

Tỷ số thực tế của điện trở hai nhánh cầu 3 và 2 là:

$$\frac{r_3}{r_2} = 1 + \frac{1\,000,4 - 1\,000,2}{2 \cdot 1\,000,2} = 1,0001$$

Phương pháp đối xứng:

Phương pháp đối xứng dùng để loại trừ sai số hệ thống tăng (hay giảm) dần trong quá trình đo. Sự tăng hay giảm này tỷ lệ bậc nhất với thời gian (hoặc với một đại lượng nào khác). Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc này là một đường thẳng (hình 4.9).



Hình 4.9. Phương pháp đối xứng

Nội dung của phương pháp là tiến hành nhiều lần đo liên tiếp. Mỗi lần đo cách nhau một khoảng thời gian bằng nhau. Giả sử tiến hành đo 5 lần và bắt đầu ở thời điểm t_1 , lúc đó có sai số τ_1 .

Vì t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 là những thời điểm cách đều nhau nên ta có:

$$\frac{\tau_1 + \tau_5}{2} = \frac{\tau_2 + \tau_4}{2} = \tau_3$$

với $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$ là sai số ứng với các thời điểm t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 .

Nếu tiến hành đo một số lần chẵn, ví dụ 6 lần ta có:

$$\frac{\tau_1 + \tau_6}{2} = \frac{\tau_2 + \tau_5}{2} = \frac{\tau_3 + \tau_4}{2}$$

Lấy lại ví dụ cân bằng cân hai cánh tay đòn bằng nhau. Giả sử sai số gây ra do sự không cân bằng nhau của hai cánh tay đòn tăng dần với thời gian theo hàm số bậc nhất. Tiến hành 4 lần cân theo phương pháp cân Borda (hình 4.5).

1. Khối lượng cần cân x được cân bằng với một vật có khối lượng z . Giả thiết lần đo này ứng với thời điểm t_1 , ta có:

$$x = \left(\frac{l_2}{l_1} + \tau_1 \right) z$$

Trong đó l_2/l_1 là tỷ số của hai cánh tay đòn khi chưa có sai số tăng dần tác dụng, τ_1 là sai số của tỷ lệ hai cánh tay đòn tại thời điểm t_1 .

2. Lấy x ra, cân bằng khối lượng z bằng các quả cân có khối lượng m_1 . Lần đo này ứng với thời điểm t_2 , ta có:

$$m_1 = \left(\frac{l_2}{l_1} + \tau_2 \right) z$$

trong đó τ_2 là sai số tỷ lệ cánh tay đòn ở thời điểm t_2 .

3. Giữ nguyên phép đo 2 và làm cân bằng tại thời điểm t_3 . Lúc này sai số tăng dần đã tới giá trị τ_3 nên khối lượng quả cân để cân bằng với z sẽ thay đổi, ta gọi khối lượng đó là m_2 :

$$m_2 = \left(\frac{l_2}{l_1} + \tau_3 \right) z$$

4. Lấy các quả cân ra và đặt x vào, tiến hành phép đo này ở thời điểm t_4 , sai số tăng dần đã đạt tới giá trị τ_4 . Muốn cân trở về thăng bằng, ta phải thêm vào x hoặc z một khối lượng quả cân nào đó:

$$x \pm m = \left(\frac{l_2}{l_1} + \tau_4 \right) z$$

trong đó dấu cộng (+) biểu thị m được thêm vào x , dấu trừ (-) biểu thị m được thêm vào z .

Kết quả trung bình của lần cân thứ nhất và thứ tư là:

$$x \pm \frac{m}{2} = \left(\frac{l_2}{l_1} + \frac{\tau_1 + \tau_4}{2} \right) z$$

Của lần cân thứ hai và ba là:

$$\frac{m_1 + m_2}{2} = \left(\frac{l_2}{l_1} + \frac{\tau_2 + \tau_3}{2} \right) z$$

Ta đã có:

$$\frac{\tau_1 + \tau_4}{2} = \frac{\tau_2 + \tau_3}{2}$$

Nên suy ra:

$$x \pm \frac{m}{2} = \frac{m_1 + m_2}{2}$$

$$x = \frac{m_1 + m_2 \pm m}{2}$$

Như vậy ta đã loại trừ được không chỉ sai số hệ thống tăng dần do thay đổi của hai cánh tay đòn gây ra mà còn loại trừ được cả sai số hệ thống không đổi do sự không đều nhau ($l_2/l_1 \neq 1$) của hai cánh tay đòn gây ra.

Ta nên dùng phương pháp đối xứng ngay cả trong trường hợp khi khả năng có hay không có sai số hệ thống tăng hay giảm dần còn chưa rõ ràng. Bằng một số lần đo theo phương pháp đối xứng kết hợp với một phương pháp loại trừ sai số hệ thống không đổi nào đó, ta có thể loại bỏ được sai số hệ thống tăng hay giảm dần nếu nó thực sự có.

c) Hiệu chỉnh kết quả đo

Người ta thường hiệu chỉnh kết quả đo bằng hai cách. Trong phần lớn các trường hợp, kết quả đo được cộng đại số (có chú ý đến dấu) với một số gọi là số hiệu chỉnh, số này có giá trị bằng giá trị của sai số nhưng với dấu ngược lại. Cũng có trường hợp kết quả đo được hiệu chỉnh bằng cách nhân với một số không thứ nguyên gọi là hệ số hiệu chỉnh, hệ số này có thể lớn hơn hoặc bé hơn 1. Dễ dàng nhận thấy rằng, kết quả được hiệu chỉnh chỉ có độ chính xác cao khi số hiệu chỉnh phải đủ nhỏ so với giá trị của đại lượng đo hoặc hệ số hiệu chỉnh xấp xỉ bằng 1.

Hệ số hiệu chỉnh được cho dưới dạng một số có 1 đơn vị và 2 số thập phân. Số thập phân thứ nhất được lấy bằng "0" vì nếu bằng 1, hệ số hiệu chỉnh sẽ là 1,1 tương ứng với sai số 10% là sai số quá lớn rất ít gặp trong các phép đo. Do đó hệ số hiệu chỉnh thường là 1,01; 1,02; 1,03;... Khi nhân kết quả đo với hệ số này, ta chỉ cần nhân nó với số phần trăm trong hệ số hiệu chỉnh rồi cộng với kết quả đo. Ví dụ, số chỉ của một dụng cụ đo là 85, hệ số hiệu chỉnh là 1,02. Hai phần trăm của 85 là 1,70. Kết quả đo sau khi đã được hiệu chỉnh sẽ là $85 + 1,70 = 86,7$.

Cách tính đơn giản trên cũng áp dụng được cho trường hợp khi hệ số hiệu chỉnh bé hơn 1. Cũng ví dụ trên, nếu hệ số hiệu chỉnh là 0,96, làm như sau: $85.0,96 = 85(1 - 0,04) = 85 - 3,4 = 81,6$

Đôi khi cũng gặp những phương tiện đo mà số chỉ của nó phải nhân với một hệ số gọi là hệ số quy đổi, hệ số này có thể là 2; 2,5; 3; 5; 10; 20;... Trong những trường hợp này, không nên kết hợp hệ số hiệu chỉnh với hệ số quy đổi vì phép tính sẽ trở nên phức tạp.

Xét một ví dụ bằng số. Giả sử hệ số hiệu chỉnh là 0,96 và hệ số quy đổi là 3. Kết hợp lại được hệ số 2,88. Nếu số chỉ của phương tiện đo chẳng hạn là 115. Khi đó việc nhân 115 với 2,88 rõ ràng sẽ phức tạp hơn nhân lần lượt với 0,96 và 3.

Hiệu chỉnh kết quả đo bằng cách nhân nó với hệ số hiệu chỉnh là một biện pháp ưu việt để loại trừ sai số hệ thống khi sai số hệ thống này tỷ lệ với số chỉ của phương tiện đo trong một phạm vi đo nhất định nào đó. Trong một số trường hợp, để thuận lợi cho người sử dụng, kèm theo từng giá trị danh định của vật đo hay số chỉ của phương tiện đo, người ta cho giá trị thực quy ước tương ứng của nó, tức giá trị đã được hiệu chỉnh. Biện pháp này được dùng rất nhiều đối với vật đo, đặc biệt là đối với các bộ vật đo. Khi sử dụng bộ vật đo, phải tính tổng giá trị của các vật đo được sử dụng. Việc cộng giá trị thực quy ước của các vật đo này có phức tạp hơn một chút so với cộng các giá trị danh định của nó nhưng ta nhận được ngay kết quả đo đúng, tránh được việc phải cộng từng giá trị danh định với số hiệu chỉnh và do đó giảm được những sai lầm do tính toán gây ra. Đôi khi người ta còn cho cả giá trị của sai số bên cạnh giá trị thực quy ước của vật đo hoặc số chỉ của phương tiện đo. Điều này không phải là thừa vì nó cho phép xác định được chắc chắn dấu của số hiệu chỉnh.

Một trong những nhiệm vụ quan trọng của việc kiểm định, hiệu chuẩn phương tiện đo là xác định các số hiệu chỉnh để đưa vào kết quả đo nhằm loại trừ phần sai số hệ thống còn lại do các phương tiện đo gây ra.

Để loại trừ sai số do phương pháp đo gây ra, cần biết thông số của các phương tiện đo được sử dụng. Giá trị các thông số này cho phép ta tính toán được số hiệu chỉnh cần phải đưa vào kết quả đo. Ví dụ, khi đo điện trở bằng ampemét và vônmet, cần phải biết điện trở của nó với mức độ chính xác cần thiết. Chẳng hạn khi đo điện trở r_x theo sơ đồ 4.2, ta nhận được số chỉ của ampemét và vônmet là $U = 7,5 \text{ V}$ và $I = 3 \text{ A}$. Theo định luật Ôm $r_x = 2,5 \Omega$. Điện trở của ampemét là $0,2 \Omega$. Giá trị thực tế của r_x sẽ là $r_x = 2,5 \Omega - 0,2 \Omega$.

Về nguyên tắc, ngay trước khi tiến hành phép đo, phải phát hiện tất cả các sai số của vật đo và của phương tiện đo cũng như các số liệu và các mối phụ thuộc khác cần thiết cho việc xác định và sử dụng số hiệu chính. Tuy nhiên cũng có thể xác định chúng sau khi đo mà không làm ảnh hưởng gì đến mức độ chính xác của việc hiệu chỉnh. Ví dụ, trong việc xác định chính xác các thời điểm dựa trên cơ sở các quan trắc và các phép đo thiên văn, số hiệu chính được xác định sau khi đo.

d) Đánh giá giới hạn sai số hệ thống

Có nhiều trường hợp không thể loại trừ được sai số hệ thống và trong thực tế còn nhiều phương tiện đo có sai số hệ thống chưa được nghiên cứu một cách đầy đủ. Cũng có những phương tiện đo, sai số hệ thống của nó đã được nghiên cứu và xác định cụ thể, nhưng không áp dụng được phương pháp hiệu chỉnh kết quả đo. Tiêu biểu cho các phương tiện đo này là nhóm các phương tiện đo tích phân, thường gọi là máy đếm. Việc hiệu chỉnh số chỉ này của máy đếm chỉ có thể áp dụng trong một số trường hợp rất hạn chế, không tiêu biểu cho mục đích và điều kiện sử dụng của nó. Nguyên nhân là vì quy luật biến đổi của sai số hệ thống trong những trường hợp này quá phức tạp.

Xét một ví dụ đã được nêu trong phần phân loại sai số hệ thống, về sai số của các máy đếm điện năng (thường gọi là công tơ điện). Về nguyên tắc tốc độ quay của đĩa công tơ ở từng thời điểm tỷ lệ với công suất tiêu thụ. Nhưng thực tế, nó không thực sự tỷ lệ với công suất do có sai số hệ thống, sai số này thay đổi theo giá trị “tải” – tức là thay đổi theo công suất.

Hình 4.4 biểu thị mối phụ thuộc giữa sai số công tơ điện và công suất tiêu thụ, công suất này được biểu thị theo phần trăm của công suất danh định. Mỗi giá trị công suất ứng với một sai số nhất định. Việc dùng các sai số này để hiệu chỉnh số chỉ của công tơ chỉ có thể làm được khi công suất tiêu thụ không đổi trong suốt quá trình đo. Trong thực tế, công tơ đo các giá trị công suất thay đổi, vì vậy, việc tính toán các số hiệu chỉnh vô cùng khó khăn, trên thực tế không thể thực hiện được.

Gặp những trường hợp nêu trên, cần phải tiến hành đánh giá, xem xét một giới hạn có thể nào đó của sai số hệ thống. Trong ví dụ đã nêu, cũng có thể cho sai số của công tơ là sai số ngẫu nhiên vì nguyên nhân xuất hiện của nó chưa được biết. Nhưng điều này không đúng vì sai số phụ thuộc vào

công suất tiêu thụ. Giá trị công suất tiêu thụ không phải là đại lượng ngẫu nhiên mà phụ thuộc vào chế độ làm việc của các thiết bị sử dụng, năng lượng tiêu thụ. Trong đa số các trường hợp, sai số đo của công tơ nhỏ hơn sai số cực đại. Sai số chỉ đạt tới giá trị cực đại trong trường hợp chế độ năng lượng tiêu thụ được giữ luôn luôn không đổi và ứng với giá trị năng lượng mà ở đó sai số có giá trị lớn nhất (xem đồ thị hình 4.4). Điều này rất ít khi xảy ra trong thực tế.

Từ các điều phân tích ở trên, có thể kết luận rằng nếu sai số của công tơ là 2% thì sai số của phép đo điện năng sẽ nhỏ hơn 2% và chỉ trong trường hợp rất xấu, sai số của phép đo mới đạt đến giá trị này.

Những lập luận trình bày cho công tơ điện cũng có thể áp dụng để xem xét, đánh giá giới hạn sai số hệ thống của những phép đo được tiến hành bằng các phương tiện đo tích phân khác.

4.4. SAI SỐ NGẪU NHIÊN CỦA PHÉP ĐO

4.4.1. Ý nghĩa của lý thuyết xác suất đối với việc nghiên cứu sai số ngẫu nhiên của phép đo

Khi đo lặp lại cùng một đại lượng trong các điều kiện như nhau (cùng một phương tiện đo; cùng một phương pháp; cùng điều kiện môi trường; địa điểm; cùng một người đo; và thực hiện trong một thời gian ngắn) vẫn nhận được các giá trị khác nhau. Sự khác nhau này gây ra bởi những yếu tố xuất hiện và biến mất một cách ngẫu nhiên hoặc với một cường độ rất khó đoán trước. Sai số của phép đo do những yếu tố ngẫu nhiên gây ra gọi là sai số ngẫu nhiên.

Con người còn hiểu biết ít về bản chất của sai số ngẫu nhiên cũng như về các nguyên nhân xuất hiện chúng. Chỉ có thể nói rằng có rất nhiều yếu tố ngẫu nhiên gây ra sai số này. Mỗi yếu tố có tác động không đáng kể đến kết quả đo nhưng tổng các tác động lại có thể gây ra những sai số lớn. Ở một thời điểm nhất định, các nguyên nhân này xuất hiện một cách ngẫu nhiên do đó sai số do tác động của chúng gây ra cũng sẽ xuất hiện một cách ngẫu nhiên không theo một mối liên hệ có quy luật với sai số trước và sau đó. Tuy không thể biết trước được sai số xảy ra trong mỗi lần đo riêng rẽ nhưng nếu tiến hành đo lặp lại nhiều lần lại thấy chúng xuất hiện theo một quy luật

nào đó. Nhiệm vụ cơ bản khi nghiên cứu ảnh hưởng của sai số ngẫu nhiên đến kết quả đo là nghiên cứu tính chất của tập hợp các giá trị nhận được từ một dãy lần đo lặp lại. Lý thuyết xác suất cung cấp phương pháp toán học để mô tả một cách định lượng tính chất, quy luật các hiện tượng ngẫu nhiên trong các tập hợp lớn dù nhận thức của con người còn hiểu biết ít về các hiện tượng ngẫu nhiên đó. Lý thuyết xác suất được sử dụng để nghiên cứu sai số ngẫu nhiên là dựa trên sự tương tự giữa sự xuất hiện sai số ngẫu nhiên khi đo lặp lại nhiều lần và sự xuất hiện các biến cố ngẫu nhiên.

Tuy nhiên, cần hiểu rằng lý do của việc ứng dụng lý thuyết xác suất không phải là do thiếu hiểu biết về bản chất của sai số ngẫu nhiên. Vấn đề cơ bản là sai số ngẫu nhiên do rất nhiều yếu tố kết hợp với nhau một cách ngẫu nhiên gây ra và không thể đánh giá được ảnh hưởng của từng yếu tố này.

Vậy xác suất là gì? Tung một đồng năm xu đồng chất và hoàn toàn đối xứng. Gọi A là biến cố “có mặt quốc huy lật lên trên”. Hãy đánh giá khả năng xuất hiện biến cố này, hay nói một cách khác, hãy tìm xác suất xuất hiện biến cố A.

Khi tung đồng xu, sẽ có hai trường hợp xảy ra:

1/ Mặt quốc huy lật lên trên hoặc

2/ Mặt có chữ số lật lên trên.

Hai trường hợp này là như nhau, ta nói đó là hai trường hợp đồng khả năng. Thấy rằng, chỉ khi trường hợp 1 xảy ra, biến cố A mới xuất hiện, tức chỉ có một trường hợp là thuận lợi cho việc xuất hiện biến cố A. Xác suất xuất hiện biến cố A sẽ là:

$$P(A) = \frac{1}{2}$$

Như vậy, xác suất để xuất hiện biến cố A được nghiên cứu trong một phép thử nào đó là tỷ số giữa những trường hợp thuận lợi cho biến cố A xuất hiện với số những trường hợp đồng khả năng có thể xảy ra trong phép thử đó. Nếu ký hiệu $P(A)$ là xác suất xuất hiện biến cố A, m là số những trường hợp thuận lợi để A xuất hiện, n là số những trường hợp đồng khả năng có thể xảy ra khi phép thử được thực hiện, ta có:

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

4.4.2. Hàm phân bố của kết quả quan trắc

Quy ước gọi mỗi lần đo riêng rẽ trong phép đo lặp là một quan trắc và giá trị của đại lượng đo nhận được ở mỗi lần quan trắc là kết quả quan trắc.

Phương pháp tổng quát nhất để mô tả đại lượng ngẫu nhiên là đưa ra hàm phân bố xác suất và hàm mật độ phân bố xác suất của nó.

Xem kết quả quan trắc X của một đại lượng đo không đổi Q như là đại lượng ngẫu nhiên. Trong các lần quan trắc khác nhau, nó nhận các giá trị x_i khác nhau. Giá trị x_i gọi là kết quả quan trắc riêng rẽ thứ i .

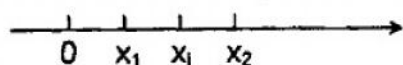
Xác suất để kết quả quan trắc X nhận giá trị x_i nhỏ hơn một giá trị ấn định x nào đó – ký hiệu là $P(x_i \leq x)$ tất nhiên thay đổi phụ thuộc vào giá trị x này.

Hàm số:

$$F_x(x) = P(x_i \leq x) = P(-\infty < x_i \leq x) \quad (4.8)$$

được gọi là hàm phân bố xác suất của kết quả quan trắc X .

Cho hai điểm x_1 và x_2 ($x_2 > x_1$) trên trục số:



Từ 4.8 suy ra:

$$P(x_1 < x_i \leq x_2) = F_x(x_2) - F_x(x_1) \quad (4.9)$$

Như vậy, nếu xem kết quả quan trắc X là đại lượng ngẫu nhiên thì dù không biết trước kết quả cụ thể của một lần đo nhưng nếu biết hàm phân bố xác suất của nó sẽ luôn tính được xác suất để kết quả từng lần quan trắc (lần đo) riêng rẽ nằm trong một khoảng xác định (x_1, x_2) nào đó.

Về bản chất kết quả đo quan trắc là đại lượng ngẫu nhiên liên tục, nó có thể nhận mọi giá trị trong một khoảng nào đó trên trục số. Trong thực tế không có phương tiện đo nào cho phép đọc mọi giá trị của đại lượng cần đo. Mỗi phương tiện đo có khả năng phân giải nhất định. Tuy nhiên để đơn giản ta coi phương tiện đo có độ phân giải nhỏ tùy ý, nghĩa là xem kết quả quan trắc X là đại lượng ngẫu nhiên liên tục.

Sai số ngẫu nhiên Ψ của kết quả quan trắc cũng được xem là đại lượng ngẫu nhiên, nó nhận những giá trị Ψ_i ($\Psi_i = x_i - Q$) khác nhau ở những lần

quan trắc khác nhau. Hàm phân bố xác suất của nó nhận được bằng cách đổi gốc toạ độ hàm phân bố $F_x(x)$ về điểm $x - Q$ (trục số mới $x' = x - Q$):

$$F_\Psi(x') = P(\Psi_i \leq x') = P(x_i - Q \leq x - Q) = P(x_i \leq x) \quad (4.10)$$

Như vậy xác suất để $\Psi_i \leq x'$ cũng là xác suất để $x_i \leq x$.

Hàm mật độ phân bố xác suất $p_x(x)$ của kết quả quan trắc và $p_\Psi(x')$ của sai số ngẫu nhiên của nó được định nghĩa là:

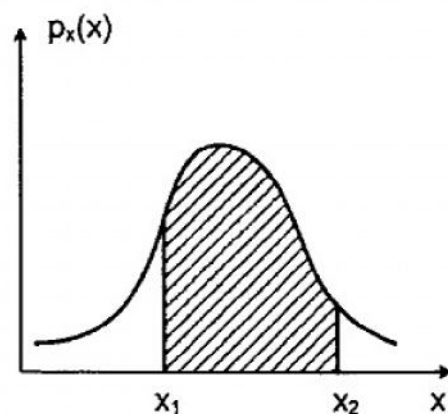
$$p_x(x) = \frac{dF_x(x)}{dx} \text{ và } p_\Psi(x') = \frac{dF_\Psi(x')}{dx'} \quad (4.11)$$

nghĩa là hàm phân bố là nguyên hàm của hàm mật độ phân bố:

$$P(x_1 < x_i \leq x_2) = F_x(x_2) - F_x(x_1) = \int_{x_1}^{x_2} p_x(x) dx \quad (4.12)$$

Hàm mật độ phân bố cho phép hình dung mức độ tập trung (mật độ) của kết quả quan trắc xung quanh mỗi giá trị x quy định.

Như vậy xác suất để kết quả quan trắc nhận giá trị nằm trong khoảng (x_1, x_2) hoặc để sai số ngẫu nhiên của nó nằm trong khoảng $(x'_1 = x_1 - Q; x'_2 = x_2 - Q)$ sẽ bằng tích phân của hàm mật độ phân bố lấy trên đoạn đó. Xác suất này có giá trị bằng phần diện tích nằm dưới đường cong mật độ phân bố $p_x(x)$ và giới hạn bởi hai đường thẳng $x = x_1$ và $x = x_2$ (hình 4.10). Xác suất để kết quả quan trắc nhận giá trị bất kỳ nào đó sẽ bằng toàn bộ diện tích giới hạn bởi đường cong mật độ phân bố và trục hoành và bằng 1.



Hình 4.10. Xác suất để kết quả quan trắc nằm trong một khoảng

4.4.3. Hàm phân bố thực nghiệm

Để biết được hình dạng cụ thể của hàm phân bố xác suất cũng như hàm mật độ phân bố của kết quả quan trắc X người ta thường phải xây dựng hàm phân bố thực nghiệm dựa trên một số kết quả đã quan trắc được.

Giả sử ta đo lặp lại một đại lượng nào đó bằng phương tiện đo có phạm vi đo thích hợp và khả năng phân giải h . Kết quả ta được các giá trị

$x_1, x_2, \dots, x_k$ trong đó một số kết quả có thể trùng nhau. Gọi m_i ($i = 1, 2, \dots$) là số lần xuất hiện giá trị x_i .

$$\sum_{i=1}^k m_i = n$$

Tỷ số $\frac{m_i}{n}$ gọi là tần số xuất hiện giá trị x_i . Gọi n_x là số kết quả quan trắc có giá trị nhỏ hơn x thì hàm số:

$$F_x(x) = \frac{n_x}{n}$$

được gọi là hàm phân bố thực nghiệm của kết quả quan trắc X . Khi n khá lớn hàm phân bố thực nghiệm sẽ xấp xỉ hàm phân bố (lý thuyết) của đại lượng X .

Nếu theo trục Ox , trên các khoảng chia có độ lớn h ta dựng các hình chữ nhật với chiều cao m_i/nh thì được biểu đồ cột của phân bố tần suất. Đường nối đỉnh các cột của biểu đồ tần suất biểu thị mật độ phân bố thực nghiệm của đại lượng ngẫu nhiên được xét.

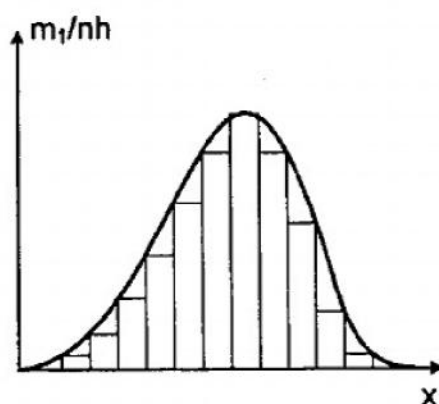
Ví dụ cho dãy kết quả của 20 lần đo lặp độ dài của một chi tiết:

12,313	12,313	12,315	12,312	12,312
12,314	12,314	12,313	12,314	12,313
12,312	12,312	12,310	12,312	12,315
12,311	12,313	12,316	12,314	12,314

Ta có bảng phân bố tần suất:

x_i	m_i	m_i/n	n_x/n
12,310	1	0,05	0,05
12,311	2	0,10	0,15
12,312	4	0,20	0,35
12,313	6	0,30	0,65
12,314	4	0,20	0,85
12,315	2	0,10	0,95
12,316	1	0,05	1,00
	20		

Từ các kết quả trên ta lập được biểu đồ hình cột (hình 4.11). Đường nối đỉnh các cột biểu thị mật độ phân bố thực nghiệm của kết quả quan trắc.



Hình 4.11. Biểu đồ cột

Nếu tăng số lần đo n lên khá lớn và h đủ nhỏ thì mật độ phân bố thực nghiệm sẽ xấp xỉ mật độ phân bố (lý thuyết) của kết quả quan trắc.

4.4.4. Phân bố chuẩn và các đặc trưng của phân bố chuẩn

Như đã trình bày ở trên, nếu tăng số lần quan trắc n (tức số lần đo lặp) lên rất lớn và lấy khoảng phân lớp h khá nhỏ thì biểu đồ phân bố thực nghiệm của kết quả quan trắc sẽ tiệm cận với đường cong mật độ phân bố lý thuyết của nó, đó là đường mật độ phân bố chuẩn, nó có dạng đối xứng hình chuông (hình 4.12). Phân bố chuẩn là phân bố mà hàm mật độ phân bố xác suất có dạng:

$$p_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.12)$$

Phân bố này hoàn toàn xác định qua hai tham số μ và σ nên thường được ký hiệu là $N(\mu, \sigma)$. Phân bố chuẩn do nhà toán học Gauss tìm ra nên đôi khi còn được gọi là phân bố Gauss.

Hai đặc trưng quan trọng nhất của phân bố là kỳ vọng toán và phương sai.

Kỳ vọng của đại lượng ngẫu nhiên (ở đây là kết quả quan trắc X) thường ký hiệu là $M[X]$ và được xác định bằng công thức:

$$M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x p_x(x) dx$$

Với phân bố chuẩn, kỳ vọng toán sẽ là:

$$M[X] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \mu$$

Nếu hình dung hình nằm dưới đường cong phân bố có khối lượng thì kỳ vọng toán học ứng với hoành độ trọng tâm của hình, nên còn gọi kỳ vọng toán học là tâm phân bố. Nếu sai số hệ thống đã được loại trừ thì trong phân bố chuẩn của kết quả quan trắc, kỳ vọng toán $M[X]$ tương ứng với giá trị thực của đại lượng đo. Trong phân bố chuẩn của sai số ngẫu nhiên, kỳ vọng toán $M[\Psi]$ tương ứng với giá trị sai số ngẫu nhiên $\Psi = 0$.

Dựa vào kỳ vọng toán, có thể định nghĩa chính xác hơn sai số ngẫu nhiên và sai số hệ thống của phép đo.

Sai số ngẫu nhiên là hiệu giữa kết quả quan trắc và kỳ vọng toán của nó:

$$\Psi = X - M[X]$$

Sai số hệ thống không đổi là hiệu giữa kỳ vọng toán của kết quả quan trắc và giá trị thực của đại lượng đo:

$$\theta = M[X] - Q$$

Đặc trưng cho sự phân tán của kết quả quan trắc so với kỳ vọng toán học người ta đưa vào đại lượng gọi là phương sai của kết quả quan trắc (ký hiệu là $D[X]$), với định nghĩa:

$$D[X] = M[(X - M[X])^2]$$

Với phân bố chuẩn, đã chứng minh được phương sai của kết quả quan trắc là:

$$D[X] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \sigma^2,$$

Như vậy hai tham số μ và σ^2 của phân bố chuẩn chính là kỳ vọng toán và phương sai của nó.

Trường hợp đặc biệt, khi $\mu = 0$ và $\sigma = 1$, hàm mật độ phân bố chuẩn có dạng:

$$P_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

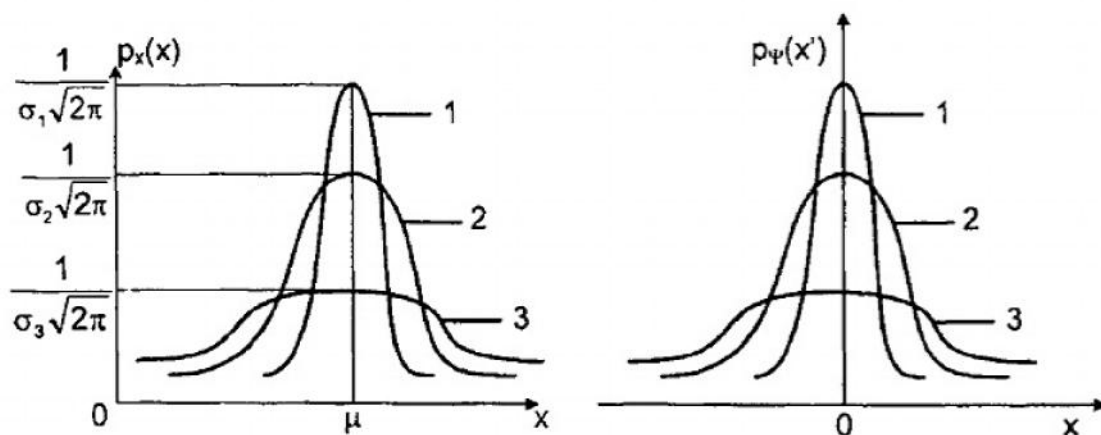
Ta gọi là hàm phân bố chuẩn hoá và ký hiệu là $N(0,1)$.

Trong thực tế người ta dùng đại lượng $\sqrt{D[X]}$ để đặc trưng cho sự phân tán của kết quả quan trắc (đại lượng này cùng thứ nguyên với đại lượng đo) và gọi là độ lệch bình phương trung bình. Với phân bố chuẩn, độ lệch bình phương trung bình chính là tham số σ :

$$\sqrt{D[X]} = \sqrt{\sigma^2} = \sigma$$

Ý nghĩa hình học của σ thể hiện ở chỗ nó chính là khoảng cách từ điểm uốn của đường mật độ phân bố chuẩn đến trục đối xứng đi qua tâm phân bố.

Chú ý rằng phân bố của kết quả quan trắc X và sai số ngẫu nhiên Ψ chỉ khác nhau về gốc toạ độ nên chúng chỉ khác nhau về trục đối xứng còn phương sai (và độ lệch bình phương trung bình σ) là như nhau:



Hình 4.12. Phân bố chuẩn với σ khác nhau

Hình 4.12 vẽ một số đường cong phân bố chuẩn của kết quả quan trắc và của sai số ngẫu nhiên với các phương sai khác nhau.

Ta thấy đường cong phân bố có dạng đối xứng hình chuông qua trục $x = \mu$ (hoặc $x' = 0$). Tại $x = \mu$ và $x' = 0$ mật độ phân bố xác suất đạt cực đại và bằng:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

Độ lệch bình phương trung bình σ càng bé đường cong càng nhọn, phần lớn các giá trị của từng lần đo riêng rẽ tập trung gần kỳ vọng toán học, nói cách khác phần lớn sai số đo ngẫu nhiên sẽ gần với giá trị "0". Điều này có nghĩa là phép đo nào có σ càng bé, ảnh hưởng của sai số ngẫu nhiên đến kết quả đo càng nhỏ.

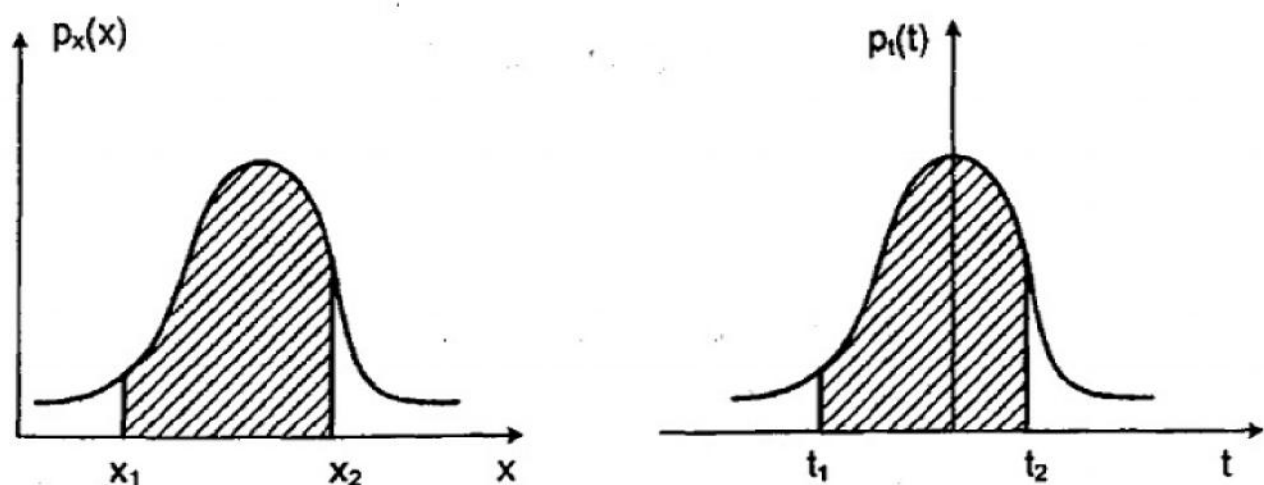
cong phân bố là hai đặc điểm rất quan trọng giúp ta đánh giá một cách định lượng sự khác biệt của các phân bố khác so với phân bố chuẩn và giữa các phân bố chuẩn với nhau.

4.4.5. Xác suất để kết quả quan trắc có phân bố rơi vào một khoảng cho trước và xác suất để đảm bảo một độ lệch đã cho nào đó

Nếu dãy kết quả quan trắc x_i tuân theo phân bố chuẩn $N(\mu, \sigma)$ thì xác suất để giá trị x_i nằm trong khoảng (x_1, x_2) theo (4.12):

$$P(x_1 < x_i \leq x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

Xác suất này biểu thị diện tích giới hạn bởi đường cong phân bố $N(\mu, \sigma)$ và hai cận $x = x_1$; $x = x_2$. Phần diện tích này tương ứng với phần diện tích giới hạn bởi đường cong chuẩn hoá $N(0, 1)$ và hai cận $t_1 = \frac{x_1 - \mu}{\sigma}$ và $t_2 = \frac{x_2 - \mu}{\sigma}$.



Hình 4.13. Đường cong chuẩn hoá

Do đó có thể viết:

$$P(x_1 < x_i \leq x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) \quad (4.13)$$

với:
$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t'^2}{2}} dt' \quad (4.14)$$

Nếu dùng μ làm ước lượng cho giá trị thực Q thì có thể tính được xác suất đảm bảo để x_i có độ lệch so với μ – độ lệch này cũng chính là sai số ngẫu nhiên Ψ_i ở lần quan trắc thứ i – nhỏ hơn một số dương ε cho trước. Ta có:

$$P(|x_i - \mu| < \varepsilon) = (\mu - \varepsilon < x_i < \mu + \varepsilon)$$

Theo (4.13) với lưu ý ở đây ta đã chọn $x_1 = \mu - \varepsilon$ và $x_2 = \mu + \varepsilon$, nên:

$$P(\mu - \varepsilon < x_i < \mu + \varepsilon) = \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)$$

Nếu lấy $\varepsilon = t\sigma$, thì

$$P(\mu - t\sigma < x_i < \mu + t\sigma) = 2\Phi(t) \quad (4.15)$$

Theo (4.14), $2\Phi(t)$ cũng chính là giá trị của hàm tích phân xác suất $\Phi(t)$ nếu lấy:

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Trong thực tế người ta đã tính sẵn và cho dưới dạng bảng các giá trị tích phân xác suất $\Phi(t)$ với các giá trị t khác nhau. Bảng 4.1 cho các giá trị của hàm $\Phi(t)$ theo các giá trị t và bảng 4.2 cho các giá trị của t theo các giá trị $\Phi(t)$. Hai bảng này cho phép tính được dễ dàng xác suất ứng với các $\varepsilon = t\sigma$ khác nhau và ngược lại.

Bảng 4.1. Giá trị tích phân xác suất $\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ theo các giá trị t cho trước

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,95	0,6579	1,85	0,9357	2,75	0,9940
0,05	0,0399	1,00	0,6827	1,90	0,9426	2,80	0,9949
0,10	0,0797	1,05	0,7063	1,95	0,9488	2,85	0,9956
0,15	0,1192	1,10	0,7287	2,00	0,9545	2,90	0,9963
0,20	0,1585	1,15	0,7499	2,05	0,9596	2,95	0,9968
0,25	0,1974	1,20	0,7699	2,10	0,9643	3,0	0,99730
0,30	0,2358	1,25	0,7887	2,15	0,9684	3,1	0,99806
0,35	0,2737	1,30	0,8064	2,20	0,9722	3,2	0,99862
0,40	0,3108	1,35	0,8230	2,25	0,9756	3,3	0,99904

0,45	0,3473	1,40	0,8385	2,30	0,9786	3,4	0,99932
0,50	0,3829	1,45	0,8529	2,35	0,9812	3,5	0,99954
0,55	0,4177	1,50	0,8664	2,40	0,9836	3,6	0,99968
0,60	0,4515	1,55	0,8798	2,45	0,9857	3,7	0,99978
0,65	0,4843	1,60	0,8904	2,50	0,9876	3,8	0,99986
0,70	0,5161	1,65	0,9011	2,55	0,9892	3,9	0,99990
0,75	0,5467	1,70	0,9109	2,60	0,9907	4,0	0,999936
0,80	0,5763	1,75	0,9199	2,65	0,9920	4,5	0,999994
0,85	0,6047	1,80	0,9281	2,70	0,9931	5,0	0,9999994
0,90	0,6319						

Bảng 4.2. Giá trị t theo giá trị tích phân xác suất cho trước

$\Phi(t)$	$1-\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	$1-\Phi(t)$	t
0,50	0,50	0,675	0,992	0,008	2,652
0,60	0,40	0,842	0,993	0,007	2,697
0,70	0,30	1,036	0,994	0,006	2,748
0,75	0,25	1,150	0,995	0,005	2,807
0,80	0,20	1,282	0,996	0,004	2,878
0,85	0,15	1,440	0,997	0,003	2,968
0,90	0,10	1,645	0,998	0,002	3,090
0,95	0,05	1,960	0,999	0,001	3,219
0,96	0,04	2,054	0,9995	$5 \cdot 10^{-4}$	3,481
0,97	0,03	2,170	0,9999	$1 \cdot 10^{-4}$	3,891
0,98	0,02	2,326	0,99999	$1 \cdot 10^{-5}$	4,417
0,99	0,01	2,576	0,999999	$1 \cdot 10^{-6}$	4,892
0,991	0,009	2,612	0,9999999	$1 \cdot 10^{-7}$	5,327

4.4.6. Ước lượng thống kê các thông số của phân bố chuẩn

Như đã trình bày, phân bố chuẩn hoàn toàn được xác định bởi hai thông số: kỳ vọng toán μ và độ lệch bình phương trung bình σ . Nói chung các thông số này chưa được biết. Để ước lượng các giá trị của chúng, phải sử dụng các số liệu nhận được khi tiến hành đo lặp một đại lượng trong các điều kiện như nhau. Người ta thường lấy giá trị trung bình số học $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.16)$$

và độ lệch chuẩn thực nghiệm s hay vắn tắt là độ lệch chuẩn (còn gọi là độ lệch bình phương trung bình thực nghiệm):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.17)$$

để ước lượng cho μ và σ , trong đó x_i là giá trị nhận được ở lần quan trắc (lần đo riêng rẽ) thứ i và n là số lần quan trắc (số lần đo lặp).

Lý thuyết đã chứng minh khi tần số đo lặp n tăng lên vô hạn thì $\bar{x}$ và s sẽ tiến dần tới kỳ vọng toán μ và độ lệch bình phương trung bình σ của phân bố. Nếu giả thiết sai số hệ thống đã được loại trừ thì kỳ vọng toán của phân bố chính là giá trị thực Q của đại lượng, vì vậy khi n khá lớn $\bar{x}$ sẽ xấp xỉ Q .

Giá trị xuất phát để tính s là độ lệch khỏi giá trị trung bình v_i của từng lần quan trắc riêng rẽ:

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad (4.18)$$

Biểu thức của v_i chính là biểu thức của sai số ngẫu nhiên Ψ_i trong đó giá trị thực Q đã được thay bằng giá trị trung bình số học $\bar{x}$.

Dùng $\bar{x}$ làm ước lượng cho giá trị thực Q , ta đã phạm một sai số α :

$$\alpha = \bar{x} - Q = \frac{\Psi_1 + \Psi_2 + \dots + \Psi_n}{n} = \frac{\sum \Psi_i}{n}$$

Về bản chất sai số này cũng là sai số ngẫu nhiên nhưng nhỏ hơn nhiều so với sai số ngẫu nhiên Ψ_i của từng lần đo riêng rẽ. Gọi α là sai số ngẫu nhiên của giá trị $\bar{x}$ (tức kết quả đo). Khi n tăng lên rất lớn, α sẽ tiến đến "0".

Từ trên, ta có:

$$\Psi_i - v_i = \bar{x} - Q = \alpha$$

Như vậy là khi dùng độ lệch khỏi giá trị trung bình v_i thay cho sai số ngẫu nhiên Ψ_i , đã phạm một sai số như khi thay giá trị thực Q bằng giá trị trung bình $\bar{x}$.

Từ (4.18) ta có:

$$\sum_i v_i = \sum_i x_i - n \cdot \bar{x} = 0$$

Tức tổng các độ lệch khỏi giá trị trung bình là bằng "0". Vì vậy để đánh giá độ phân tán của kết quả quan trắc, phải lấy bình phương trung bình theo công thức (4.17). Trong (4.17) chia cho $n-1$ chứ không chia cho n là để cho s gần đúng với σ hơn.

Độ lệch khỏi giá trị trung bình còn một tính chất quan trọng nữa: tổng bình phương các độ lệch có giá trị nhỏ nhất:

$$\sum_i v_i^2 = \min$$

Điều này có nghĩa là thay $\bar{x}$ bằng một giá trị bất kỳ x^* nào đó, đều có tổng bình phương các độ lệch $u_i = x_i - x^*$ luôn luôn lớn hơn $\sum v_i^2$. Có thể thấy rõ tính chất này trong kết quả tính toán 10 kết quả quan trắc dưới đây. Cột 4 bảng 4.3 cho độ lệch u tính với một giá trị nhỏ hơn giá trị trung bình, cột 5 cho $\sum u_i^2$. Kết quả tính toán cho thấy $\sum u_i^2$ lớn hơn $\sum v_i^2$.

Bảng 4.3. Tính tổng bình phương độ lệch khỏi giá trị trung bình và độ lệch khỏi một giá trị chọn tùy ý

x_i	$v_i = x_i - \bar{x}$	v_i^2	$u_i = x_i - 5304,7$	u_i^2
5304,5	-0,3	0,09	-0,2	0,04
5305,2	+0,4	0,16	+0,5	0,25
5304,3	-0,5	0,25	-0,4	0,16
5304,9	+0,1	0,01	+0,2	0,04
5304,8	0	0	+0,1	0,01
5305,0	+0,2	0,04	+0,3	0,09
5304,6	-0,2	0,04	-0,1	0,01
5305,1	+0,3	0,09	+0,4	0,16
5304,7	-0,1	0,01	0	0
5304,9	+0,1	0,01	+0,2	0,04
$\bar{x} = 5304,8$	$\sum v_i = 0$	$\sum v_i^2 = 0,70$	$\sum u_i = 10$	$\sum u_i^2 = 0,80$

Khi tính toán $\bar{x}$ và s , thường phải tính toán với nhiều giá trị thực nghiệm khác nhau, để đơn giản, dưới đây trình bày một phương pháp tính thông dụng.

Chọn một giá trị gần với giá trị trung bình và ký hiệu là x^* . Tính độ lệch e_i của x_i so với x^* :

$$e_i = x_i - x^*$$

Lấy tổng e_i theo n lần đo lặp và chia cho n :

$$\frac{\sum_i e_i}{n} = \frac{\sum_i x_i}{n} - \frac{nx^*}{n}$$

Suy ra:

$$\bar{x} = x^* + \frac{\sum_i e_i}{n} \quad (4.19)$$

Ví dụ: Cần tính giá trị trung bình của 15 kết quả đọc sau: 798, 796, 803, 795, 804, 789, 801, 791, 794, 809, 806, 792, 807, 800, 797.

Để tính e_i , chọn $x^* = 800$:

x_i	e_i	x_i	e_i
789	-11	800	0
791	-9	801	+1
792	-8	803	+3
794	-6	804	+4
795	-5	806	+6
796	-4	807	+7
797	-3	809	+9
798	-2		$\sum e_i = -18$

Theo (4.19): $\bar{x} = 800 - \frac{18}{15} = 798,8$

Phương pháp mô tả ở trên cho phép tính độ lệch khỏi giá trị trung bình không phải bằng cách tính độ lệch của từng giá trị x_i so với giá trị trung bình, mà bằng cách tính độ lệch của nó so với một giá trị lựa chọn tùy ý x^* .

Từ (4.19), ta có:

$$v_i = x_i - \bar{x} = x_i - \bar{x} - \frac{\sum e_i}{n}$$

Vì $x_i - \bar{x} = e_i$, nên:

$$v_i = e_i - \frac{\sum e_i}{n} \quad (4.20)$$

Biểu thức (4.20) có thể dùng để tính độ lệch khỏi giá trị trung bình v_i .

Xét một cách tính $\sum v_i$ nữa. Bình phương biểu thức 4.20 rồi lấy tổng theo n lần đo lặp:

$$\sum v_i^2 = \sum e_i^2 - \frac{2 \sum e_i \sum e_i}{n} + \frac{n(\sum e_i)^2}{n^2}$$

Suy ra:

$$\sum v_i^2 = \sum e_i^2 - \frac{(\sum e_i)^2}{n} \quad (4.21)$$

Nhân biểu thức (4.20) với v_i :

$$v_i^2 = v_i e_i - \frac{v_i \sum e_i}{n}$$

Xác định biểu thức trên cho n lần đo và lấy tổng của nó:

$$\sum v_i^2 = \sum (v_i e_i) - \sum (v_i) \frac{\sum e_i}{n}$$

Vì $\sum e_i = 0$, nên:

$$\sum v_i^2 = \sum (v_i e_i) \quad (4.22)$$

Biểu thức (4.21) và (4.22) cho phép tính tổng bình phương độ lệch khỏi giá trị trung bình và kiểm tra xem tính có đúng không. Bảng 4.4 cho ví dụ về kết quả tính v_i và $\sum v_i^2$ theo phương pháp trên.

**Bảng 4.4. Tính giá trị trung bình và
tổng bình phương độ lệch khỏi giá trị trung bình**

x_i	$e_i = x_i - 800$	$v_i = e_i - \frac{\sum e_i}{n}$	e_i^2	$v_i e_i$
789	-11	-9,8	121	+107,8
791	-9	-7,8	81	+70,2
792	-8	-6,8	64	+54,4
794	-6	-4,8	36	+28,8
795	-5	-3,8	25	+19,9
796	-4	-2,8	16	+11,2
797	-3	-1,8	9	+5,4
798	-2	-0,8	4	+1,6
800	0	+1,2	0	0
801	+1	+2,2	1	+2,2
803	+3	+4,2	9	+12,6
804	+4	+5,2	16	+20,8
806	+6	+7,2	36	+43,2
807	+7	+8,2	49	+57,4
809	+9	+10,2	81	+91,8
$\bar{x} = 798,8$	$\sum e_i = -18$ $\frac{\sum e_i}{n} = -\frac{18}{15}$ $= -1,2$	Kiểm tra: $\sum v_i =$ $-38,4 + 38,4$	$\sum e_i^2 = 548$ $\sum v_i^2 = 548 - \frac{18^2}{15}$ $= 526,4$	$\sum (v_i e_i) = 526,4$ $s = \sqrt{\frac{526,4}{14}} = 6,13$

4.4.7. Phân bố Student

Năm 1908, W.S Gross, một nhà hoá học đã công bố một bài báo lấy bút danh là "Student" nghiên cứu sự phân bố sai số của giá trị trung bình khi số lần đo ít. Biểu thức phân bố Student phức tạp nên không trình bày ở đây. Trong thực tế, người ta sử dụng các bảng giá trị của P_s và t_s (chữ s là ký hiệu chỉ xác suất và t được tính theo phân bố Student, t phụ thuộc vào xác suất tin cậy P_s và số lần đo lặp lại n). Bảng 4.5 cho các giá trị t_s ứng với các xác suất tin cậy P_s và với số lần đo n khác nhau. Bảng 4.6 cho giá trị xác suất tin cậy P_s ứng với các giá trị t_s và n khác nhau. Khi $n \rightarrow \infty$ phân bố trở về phân bố chuẩn như đã nói ở trên. Hàng cuối cùng của bảng cho các giá trị ứng với $n \rightarrow \infty$.

Bảng 4.5. Giá trị t_s ứng với xác suất tin cậy P_s và số lần đo n khác nhau

P_s n	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,000	1,376	1,963	3,08	6,31	12,71	31,8	36,7	636,6
3	0,816	1,061	1,336	1,886	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
4	0,765	0,978	1,250	1,638	2,35	3,18	4,45	5,84	12,9
5	0,741	0,941	1,190	1,533	2,13	2,77	3,75	4,60	8,61
6	0,727	0,920	1,156	1,476	2,02	2,57	3,37	4,03	6,86
7	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,45	3,14	3,71	5,96
8	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,36	3,00	3,50	5,40
9	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,31	2,90	3,36	5,04
10	0,703	0,883	1,101	1,383	1,833	2,26	2,82	3,25	4,78
11	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,23	2,76	3,17	4,59
12	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,20	2,72	3,11	4,49
13	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,18	2,68	3,05	4,32
14	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,16	2,65	3,01	4,22
15	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,14	2,62	2,98	4,14
16	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,13	2,60	2,95	4,07
17	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,58	2,92	4,02
18	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,11	2,57	2,90	3,96
19	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,10	2,55	2,88	3,92
20	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,09	2,54	2,86	3,88
∞	0,674	0,842	1,036	2,282	1,645	1,960	2,33	2,58	3,29

Bảng 4.6. Giá trị xác suất tin cậy P_s tương ứng với các giá trị t_s và n khác nhau

t_s n	2	2,5	3	3,5
2	0,705	0,758	0,795	0,823
3	0,816	0,870	0,905	0,928
4	0,861	0,912	0,942	0,961
5	0,884	0,933	0,960	0,975
6	0,898	0,946	0,970	0,983
7	0,908	0,953	0,976	0,987
8	0,914	0,959	0,980	0,990
9	0,919	0,963	0,983	0,992
10	0,923	0,966	0,985	0,993
11	0,927	0,969	0,987	0,994
12	0,929	0,970	0,988	0,995
13	0,931	0,972	0,989	0,996
14	0,933	0,974	0,990	0,996
15	0,935	0,974	0,990	0,996
16	0,936	0,975	0,991	0,997
17	0,937	0,976	0,992	0,997
18	0,938	0,977	0,992	0,997
19	0,939	0,978	0,992	0,998
20	0,940	0,978	0,993	0,998
∞	0,955	0,988	0,997	0,9995

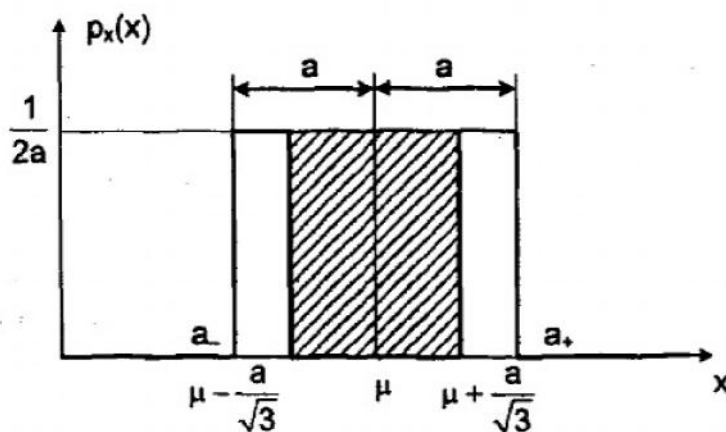
4.4.8. Một vài phân bố khác

Xét thêm một vài phân bố khác, những phân bố này sẽ được sử dụng để đánh giá độ không đảm bảo của phép đo trình bày trong chương 5.

a) Phân bố chữ nhật

Phân bố chữ nhật (hình 4.14) là phân bố thông dụng nhất sau phân bố chuẩn. Phân bố này dựa trên giả thiết là các giá trị dao động trong khoảng hữu hạn nhưng ta không biết rõ về quá trình trong đó giá trị nào có khả năng xuất hiện nhiều hơn nên ta phải coi mọi giá trị đều có xác suất xuất hiện như nhau. Ta nói xác suất để giá trị x_i nằm trong khoảng từ a_- đến a_+ là bằng 1 và xác suất để x_i nằm ngoài khoảng đó là bằng không.

Kỳ vọng toán học μ là điểm giữa của khoảng $x = (a_- + a_+) / 2$ với phương sai $D[X] = (a_+ - a_-)^2 / 12$. Nếu hiệu $a_+ - a_-$ được viết là $2a$ thì $D[X] = a^2 / 3$ và độ lệch bình phương trung bình (độ lệch chuẩn) là $a/\sqrt{3}$ (độ lệch bình phương trung bình trong phân bố chuẩn là σ).

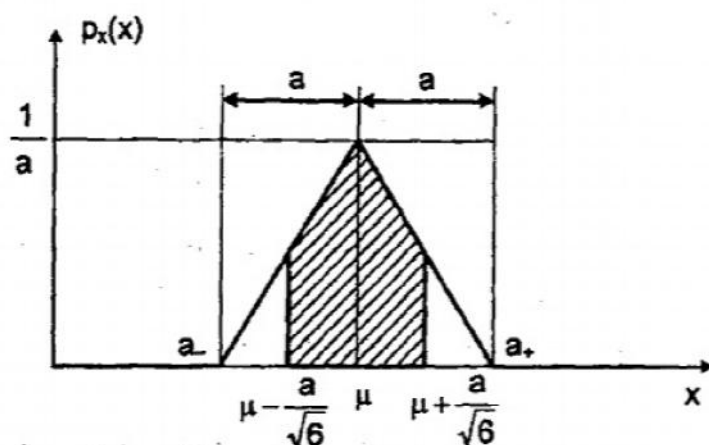


Hình 4.14. Phân bố chữ nhật

b) Phân bố tam giác

Trong phân bố chữ nhật, xem các giá trị x_i nằm trong khoảng từ a_- đến a_+ có xác suất xuất hiện bằng 1 và nằm ngoài khoảng đó có xác suất xuất hiện là 0. Sự không liên tục của hàm phân bố xác suất như vậy là phi vật lý và trong một số trường hợp, phân bố đó được xem là quá “bi quan”. Thực tế là người ta mong muốn các giá trị gần với biên sẽ ít xuất hiện hơn so với các giá trị gần với điểm giữa của khoảng. Điều này có nghĩa là phân bố chữ nhật đối xứng được thay thế bằng phân bố hình thang đối xứng có hai cạnh bên bằng nhau (hình thang cân), độ rộng của đáy dưới là $a_+ - a_- = 2a$ và đáy trên là $2a\beta$, với $0 \leq \beta \leq 1$. Khi $\beta \rightarrow 1$, phân bố hình thang tiến tới phân bố hình chữ nhật và khi $\beta = 0$ ta có phân bố tam giác.

Với phân bố tam giác, kỳ vọng toán μ cũng là điểm giữa của khoảng $x = (a_- + a_+) / 2$ và độ lệch bình phương trung bình (độ lệch chuẩn) là $a / \sqrt{6}$. Phân bố tam giác nằm giữa phân bố chuẩn và phân bố chữ nhật nếu xét theo kích thước của độ lệch chuẩn.

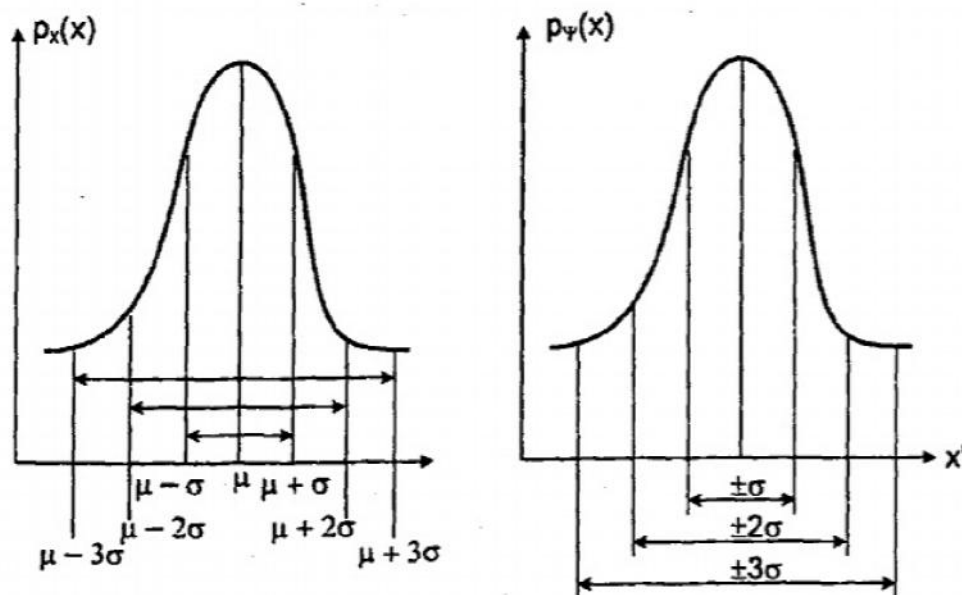


Hình 4.15. Phân bố tam giác

4.4.9. Xử lý, đánh giá sai số ngẫu nhiên

a) Với các phép đo một lần và độ lệch chuẩn σ đã biết

Trong biểu thức (4.15), $-\sigma$ và $+\sigma$ chính là giới hạn dưới và giới hạn trên của khoảng mà với một xác suất nhất định sai số ngẫu nhiên của kết quả quan trắc sẽ nằm trong khoảng đó. Trong đo lường gọi đó là giới hạn tin cậy. Hình 4.16 minh họa một số giới hạn tin cậy với $t = 1; 2$ và 3 , tương ứng với xác suất tin cậy là $0,6827; 0,9545$ và $0,9973$.



Hình 4.16. Một số giới hạn tin cậy

Như vậy, với những phép đo 1 lần, kết quả đo sẽ là:

$$Q = X \pm t\sigma, \text{ với } P = \dots$$

Điều này có nghĩa là với xác suất tin cậy P , giá trị thực của đại lượng đo sẽ nằm trong khoảng từ $X - t\sigma$ đến $X + t\sigma$.

Chọn xác suất tin cậy và giới hạn tin cậy bằng bao nhiêu là tùy từng điều kiện cụ thể. Ví dụ nếu ta thoả mãn với xác suất tin cậy là 0,995 (tức 99,5%) thì có nghĩa là cứ trong 200 lần đo ta đồng ý để trung bình có 1 lần đo mà sai số của nó vượt quá giới hạn $\pm 2,8\sigma$; nói cách khác, là ta đồng ý để chỉ có 1 kết quả đo riêng rẽ nằm ngoài giới hạn $\mu \pm 2,8\sigma$.

Nếu giới hạn tin cậy là $\pm 3\sigma$, xác suất tin cậy sẽ là 99,73%. Trường hợp này có nghĩa là cứ trong 370 lần đo, trung bình sẽ có 1 lần đo có sai số vượt quá giới hạn $\pm 3\sigma$.

Trường hợp nếu xuất hiện sai số vượt ra ngoài giới hạn tin cậy sẽ đem lại thiệt hại lớn, thì người ta lấy giới hạn là $\pm 4\sigma$, hoặc $\pm 5\sigma$, ứng với các xác suất tin cậy 0,999936 và 0,999994. Với những xác suất tin cậy lớn, để thuận tiện, người ta dùng xác suất bất lợi tức xác suất để sai số vượt quá giới hạn đã cho, xác suất này bằng $1 - \Phi(t)$. Trong trường hợp giới hạn tin cậy là $\pm 4\sigma$ và $\pm 5\sigma$ xác suất bất lợi là $6,4 \cdot 10^{-5}$ và $6 \cdot 10^{-7}$.

Ví dụ 1: Một phương pháp đo có độ lệch bình phương trung bình là 0,2 %. Tính xác suất để sai số ngẫu nhiên của phép đo một lần không vượt quá $\pm 0,5 \%$ và $\pm 0,6 \%$.

Ta có $\sigma = 0,2 \% = 0,002$.

Với các giá trị $\varepsilon = 0,5 \%$ và $0,6 \%$, các giá trị t sẽ là:

$$t = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{0,005}{0,002} = 2,5$$

$$t = \frac{0,006}{0,002} = 3$$

Bảng 4.1 cho ta xác suất tin cậy ứng với $t = 2,5$ là 0,9876 và với $t = 3$ là 0,9973.

Ví dụ 2: Sai số ngẫu nhiên của phép đo một lần có thể bằng bao nhiêu nếu phương pháp đo đã cho có $\sigma = 0,01$ và biết rằng cứ trong 100 lần đo thì trung bình có 1 lần sai số vượt quá giới hạn giá trị quy định.

Bài toán trên có nghĩa là tìm giới hạn tin cậy của sai số với $\sigma = 0,01$ và xác suất tin cậy là 0,99.

Bảng 4.2 cho t ứng với $P = 0,99$ là 2,576; ta có:

$$\pm \varepsilon = \pm 2,576 \cdot 0,01 = \pm 0,02576 \approx \pm 0,026$$

b) Với phép đo lặp lại nhiều lần

Giữa $\bar{x}$ và giá trị thực Q có một sai khác α như đã trình bày trong 4.4.6, đây chính là sai số ngẫu nhiên của giá trị trung bình, cũng tức là của kết quả đo.

Sai số ngẫu nhiên của từng lần đo riêng rẽ tuân theo phân bố chuẩn, nên sai số ngẫu nhiên của giá trị trung bình cũng tuân theo phân bố chuẩn nhưng với phương sai bé hơn.

Lý thuyết đã chứng minh phương sai này nhỏ hơn phương sai của kết quả quan trắc n lần, do đó độ lệch bình phương trung bình của $\bar{x}$ sẽ là:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Nếu thay σ bằng giá trị gần đúng s theo (4.17) thì độ lệch chuẩn thực nghiệm (độ lệch bình phương trung bình) của $\bar{x}$ sẽ là:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}$$

Tương tự như phần trên ta đã có $\varepsilon = \pm t\sigma$, ở đây cũng có thể lập các giới hạn tin cậy trên và dưới $E = \pm t\sigma_{\bar{x}}$ cho sai số ngẫu nhiên của giá trị trung bình, đây chính là giới hạn trên và dưới của khoảng mà với một xác suất nhất định sai số ngẫu nhiên của giá trị trung bình sẽ nằm trong khoảng đó. Bảng 4.1 và 4.2 cũng được dùng để tính các giới hạn tin cậy và xác suất tin cậy này.

Ví dụ, xác suất tin cậy để sai số ngẫu nhiên của giá trị trung bình không vượt quá $\pm \sigma_{\bar{x}}$ ($t = 1$) là 0,68. Vì $\sigma_{\bar{x}}$ nhỏ hơn σ của kết quả quan trắc $\sqrt{n}$ lần nên nếu tăng số lần đo lên 100 lần thì sẽ nhận được với cùng xác suất ấy một kết quả đo có sai số giảm đi 10 lần. Tuy nhiên cần lưu ý rằng số lần đo lặp càng nhiều thì việc duy trì các điều kiện như nhau của một phép đo lặp càng khó khăn. Trong thực tế chỉ cần tăng số lần đo lên 2, 3, 4... lần cũng đã có thể nâng cao được đáng kể độ chính xác của phép đo.

Kết quả cuối cùng của phép đo được viết dưới dạng:

$$Q = \bar{x} \pm t\sigma_{\bar{x}}, \text{ với } P = \dots$$

hoặc nếu ước lượng $\sigma_{\bar{x}}$ qua $s_{\bar{x}}$ thì:

$$Q = \bar{x} \pm \frac{t}{\sqrt{n}}s, \text{ với } P = \dots$$

Điều này có nghĩa là với xác suất tin cậy P , giá trị thực Q của đại lượng đo sẽ nằm trong khoảng từ $\bar{x} - t\sigma_{\bar{x}}$ đến $\bar{x} + t\sigma_{\bar{x}}$.

Xét một vài ví dụ sau đây:

Ví dụ 1: Tính độ lệch bình phương trung bình của giá trị trung bình với các số liệu cho trong bảng 4.4.

Ta có: $\sum v_i^2 = 526,4$

Suy ra: $s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{526,4}{15 \times 14}} \approx \sqrt{2,5} \approx 1,58.$

Ví dụ 2: Xác định xác suất để sai số ngẫu nhiên của giá trị trung bình trong 49 lần đo không vượt quá 0,3 % và 1,2 % khi $\sigma = 0,03$.

Trước hết, tính độ lệch bình phương trung bình của giá trị trung bình:

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,03}{\sqrt{49}} = \frac{0,03}{7}$$

Các giá trị tương ứng là:

$$ts_{\bar{x}} = 0,003; \quad t = \frac{0,003 \cdot 7}{0,03} = 0,7$$

$$ts_{\bar{x}} = 0,012; \quad t = \frac{0,012 \cdot 7}{0,03} = 2,8$$

Theo bảng 4.1, với $t = 0,7$ xác suất tin cậy là $0,5161 \approx 52\%$; với $t = 2,8$, xác suất tin cậy sẽ là $0,9949 \approx 99,5\%$.

Ví dụ 3: Xác định giới hạn tin cậy cho sai số của giá trị trung bình trong 64 lần đo ứng với các xác suất tin cậy là 90 % và 99,8 % khi $\sigma = 0,04$.

Ta có độ lệch bình phương trung bình $s_{\bar{x}}$ là:

$$s_{\bar{x}} = \frac{0,04}{\sqrt{64}} = 0,005$$

Với $P = 0,90$, bảng 4.2 cho $t = 1,645$. Giới hạn tin cậy sẽ là:

$$\pm ts_{\bar{x}} = \pm 1,645.0,005 \approx \pm 0,008$$

Với $P = 0,998$, bảng 4.2 cho $t = 3,09$. Giới hạn tin cậy sẽ là:

$$\pm ts_{\bar{x}} = \pm 3,09.0,005 \approx \pm 0,015$$

c) Sai số giới hạn cho phép

Khi nghiên cứu một phương pháp đo hoặc khi tiến hành một phép đo người ta thường cho một sai số giới hạn nào đó. Có thể quy định sai số giới hạn để sai số của kết quả những phép đo một lần hoặc sai số của giá trị trung bình không được vượt qua.

Từ những nội dung đã trình bày ở trên, các sai số giới hạn cho phép đo chính là $\pm t\sigma$ và $\pm t\sigma_{\bar{x}}$. Tuy nhiên, muốn áp dụng các phương pháp tính toán ở trên cần phải biết ứng với sai số cho phép đó xác suất tin cậy là bao nhiêu. Nếu người ta không nói tới xác suất này thì thường hiểu nó có giá trị là 0,9973, khi đó $t = 3$ (quy tắc 3σ).

Chú ý là ở đây đang đề cập đến sai số ngẫu nhiên với giả thiết các sai số hệ thống đã được loại trừ. Trong trường hợp sai số cho phép là sai số hệ thống hoặc là sai số tổng (sai số hệ thống + sai số ngẫu nhiên) không được phép áp dụng các điều đã trình bày ở trên. Một vấn đề nữa cần lưu ý là khi xác định hoặc quy định giới hạn tin cậy cho sai số của những phép đo một lần ta phải nghiên cứu trước phương pháp đo đó để xác định độ lệch bình phương trung bình dù chỉ là gần đúng.

Ví dụ: Để nghiên cứu một phương pháp đo, người ta tiến hành đo bằng phương pháp đó 20 lần một đại lượng không đổi, các kết quả đo cho trong bảng 4.7 phải trả lời được các câu hỏi sau:

- Phương pháp trên có dùng được cho các phép đo một lần với sai số tương đối cho phép quy định là 0,5 % và xác suất tin cậy bằng 0,9973 không?
- Với các phép đo một lần và xác suất tin cậy bằng 96,0 %, phương pháp này thích hợp cho những phép đo nào?
- Giới hạn tin cậy của sai số của giá trị trung bình khi thực hiện 10 lần đo và xác suất tin cậy bằng 99,9 % là bao nhiêu?
- Phải tiến hành đo bao nhiêu lần bằng phương pháp này để sai số của giá trị trung bình không vượt quá 0,1% với xác suất tin cậy là 99 %?

Kết quả tính độ lệch khỏi giá trị trung bình v_i và tổng bình phương các độ lệch $\sum v_i^2$ cho trong cột 2 và 3 của bảng 4.7.

Bảng 4.7. Độ lệch và tổng bình phương độ lệch

x	v_i	v_i^2	x	v_i	v_i^2
238,39	+0,83	0,6889	237,56	0	0
238,12	+0,56	0,3136	237,55	-0,01	0,0001
237,92	+0,36	0,1296	237,54	-0,02	0,0004
237,80	+0,24	0,0576	237,50	-0,05	0,0025
237,21	+0,15	0,0225	237,48	-0,08	0,0064
237,65	+0,09	0,0081	237,39	-0,17	0,0289
236,61	+0,05	0,0025	237,28	-0,28	0,0784
237,59	+0,03	0,0009	237,16	-0,40	0,1600
237,58	+0,02	0,0004	237,04	-0,52	0,2704
237,57	+0,01	0,0001	236,75	-0,81	0,6561
Σ			$+2,34 - 2,34$ $\Sigma v_i = 0$		
			$\bar{x}_{20} = 237,56$ $\Sigma v_i^2 = 2,43$		

Tính độ lệch chuẩn s:

$$s = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2,43}{19}} \approx 0,36$$

– Với $P = 0,9937$, thì $t = 3$. Giới hạn tin cậy:

$$\pm \epsilon = \pm(3.0,36) = \pm 1,08$$

Diễn đạt sai số theo hình thức tương đối so với $\bar{x}$ của 20 lần đo ($\bar{x}_{20} = 273,56$), sai số này là $\pm 0,454 \%$. Vì $0,454 < 0,5$ nên có thể coi phương pháp này thích hợp cho các phép đo 1 lần đã nêu trên.

– Với $P = 0,96$, $t = 2,054$, ta có $\pm \epsilon = \pm(2,054.0,36) \approx \pm 0,722$ hoặc bằng $\pm 0,3 \%$ (so với $\bar{x}_{20}$).

Phương pháp này thích hợp cho những phép đo 1 lần có sai số không được vượt quá $\pm 0,3 \%$.

– Tính độ lệch bình phương trung bình của giá trị trung bình trong 10 lần đo:

$$S_{x10} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,36}{\sqrt{10}} = 0,114$$

Với $P = 0,999$, $t = 3,291$, ta có:

$$\pm E = \pm(0,114.3,291) \approx \pm 0,374$$

Để biểu thị giới hạn tin cậy % theo giá trị đại lượng cần đo (sai số tương đối) ta phải tính giá trị trung bình của 10 lần đo. Giả sử $\bar{x}_{10} = 237$. Khi đó $\pm E = \pm 0,16\%$ giá trị đại lượng cần đo với xác suất tin cậy là 99,9%.

– Với $P = 0,99$, $t = 2,576 \approx 2,6$. Ta tính giới hạn tin cậy ứng với 0,1% theo giá trị $\bar{x} = 200$, giá trị trung bình này thu được từ một dãy đo khác cũng bằng phương pháp trên.

$$\pm E = \pm 200.0,001 = \pm 0,2$$

Tính độ lệch bình phương trung bình của giá trị trung bình:

$$s_{\bar{x}} = \frac{E}{t} = \frac{0,2}{2,6} = 0,077$$

Vì $s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$, suy ra:

$$n = \left(\frac{s}{s_{\bar{x}}}\right)^2 = \left(\frac{0,36}{0,077}\right)^2 \approx 22$$

d) Đánh giá sai số ngẫu nhiên khi số lần đo ít và σ chưa biết

Độ lệch bình phương trung bình thực nghiệm s tính từ các độ lệch khỏi giá trị trung bình v_i chỉ gần đúng với giá trị thực của độ lệch bình phương trung bình lý thuyết σ của phân bố chuẩn. Khi số lần đo n càng ít thì việc tính toán giới hạn tin cậy và xác suất tin cậy theo các công thức đã trình bày càng ít chính xác. Vì vậy khi số lần đo ít và σ chưa biết, không được phép dùng các công thức của phân bố chuẩn. Chỉ có thể dùng các công thức trên nếu về mặt thực nghiệm chúng ta đã xác định được σ với một số lần đo đủ lớn (thường $n > 20$) cho một phương pháp nhất định nào đó. Khi số lần đo ít và σ chưa biết, phải dùng các bảng 4.5 và 4.6 (P_s và t_s) để tính giới hạn tin cậy và xác suất tin cậy.

Khi cần tìm xác suất tin cậy, sử dụng bảng 4.6 thuận lợi hơn. Bảng 4.6 cho P_s ứng với các giá trị $t_s = 2; 2,5; 3$ và $3,5$ và số lần đo n khác nhau, n càng lớn phân bố Student càng gần phân bố chuẩn. Xét một vài ví dụ áp dụng phân bố Student.

Ví dụ 1: Cân 6 lần một chi tiết làm bằng vật liệu quý, có các kết quả sau: 72,361; 72,357; 72,352; 72,344; 72,346; 72,340 (g). Tính giới hạn tin cậy của sai số của giá trị trung bình với xác suất tin cậy là 0,99.

Ta có: $\bar{x} = 72,350$ g

Tính độ lệch khỏi giá trị trung bình (theo mg) và tổng bình phương của nó:

v_i	v_i^2
+11	121
+7	49
+2	4
-4	16
-6	36
-10	100
$\sum v_i^2 = 326$	

$$s = \sqrt{\frac{326}{5}} \approx 8,06 \text{ mg}; s_{\bar{x}} = \frac{8,06}{\sqrt{6}} = 3,29 \text{ mg}$$

Theo bảng 4.5, với $n = 6$ và $P_s = 0,99$ ta có $t_s = 4,03$. Khoảng tin cậy của sai số của giá trị trung bình là: $\pm E = \pm t_s s_{\bar{x}} = \pm 4,03 \cdot 3,29 \approx \pm 13 \text{ mg}$

Kết quả đo cuối cùng có thể viết là: $(72,350 \pm 0,013)$ g, với $P = 99\%$

Ví dụ 2: Đo 10 lần độ dài của thanh kim loại, ta có kết quả: 358,59; 358,55; 358,53; 358,52; 358,51; 358,49; 358,48; 358,46; 358,45; 358,42 (mm). Tính xác suất tin cậy cho trường hợp sai số của giá trị trung bình không vượt quá giới hạn $\pm 0,05$ mm.

Ta có: $\bar{x} = 358,50 \text{ mm}$; $\sum v_i^2 = 0,023 \text{ mm}$

$$\text{Suy ra: } s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{0,023}{10 \cdot 9}} \approx 0,016 \text{ mm}; t_s = \frac{0,05}{0,016} \approx 3$$

Bảng 4.5 cho ứng với $n = 10$ và $t_s = 3$, xác suất tin cậy $P_s = 0,985$.

4.4.10. Giá trị trung bình có trọng lượng

Khi tiến hành một số loạt phép đo lặp của cùng một đại lượng, với điều kiện tiến hành mỗi loạt phép đo không giống nhau (phương tiện đo, người quan trắc, thời điểm, phòng thí nghiệm, số phép đo trong mỗi loạt,... khác nhau), thường có những phép đo tỏ ra kém tin cậy hơn (số lần đo quá ít, độ phân tán lớn). Khi đó, không thể coi giá trị trung bình của các loạt đo có vai trò quan trọng như nhau; mặt khác, cũng không thể bỏ qua các kết quả của từng loạt đo, mặc dù kém tin cậy, vì chúng vẫn có thể đóng góp nâng cao độ chính xác của kết quả cuối cùng. Trong những trường hợp này, người ta xử lý bằng cách gán cho mỗi giá trị trung bình của mỗi loạt đo một hệ số trọng lượng tùy theo mức độ tin cậy của chúng.

Nếu gọi p_i ($i = 1, 2, \dots$) là hệ số trọng lượng của loạt đo thứ i với trung bình $\bar{x}_i$ thì giá trị trung bình có trọng lượng $\bar{x}_0$ của các kết quả đo được xác định theo công thức:

$$\bar{x}_0 = \frac{\bar{x}_1 p_1 + \bar{x}_2 p_2 + \dots + \bar{x}_m p_m}{p_1 + p_2 + \dots + p_m} \quad (4.23)$$

Có nhiều phương pháp xác định hệ số trọng lượng, trong đó đơn giản nhất là coi p_i tỷ lệ nghịch với phương sai $\sigma_{\bar{x}}^2$ (hoặc ước lượng của chúng) của trung bình mỗi loạt đo tương ứng:

$$p_1 : p_2 : \dots : p_m = \frac{1}{s_{\bar{x}_1}^2} : \frac{1}{s_{\bar{x}_2}^2} : \dots : \frac{1}{s_{\bar{x}_m}^2} \quad (4.24)$$

Ví dụ: Kết quả của ba loạt phép đo ba người thao tác như sau:

$$\bar{x}_1 = 20000,45 \quad s_{\bar{x}_1} = 0,05$$

$$\bar{x}_2 = 20000,15 \quad s_{\bar{x}_2} = 0,20$$

$$\bar{x}_3 = 20000,60 \quad s_{\bar{x}_3} = 0,10$$

Theo (4.24):

$$p_1 : p_2 : p_3 = \frac{1}{0,05^2} : \frac{1}{0,20^2} : \frac{1}{0,10^2} = \frac{1}{0,0025} : \frac{1}{0,04} : \frac{1}{0,01} = 400 : 25 : 100 = 16 : 1 : 4$$

Từ đó ta có thể lấy $p_1 = 16$, $p_2 = 1$; $p_3 = 4$.

Kết quả đo cuối cùng là:

$$\bar{x}_0 = \frac{20000,45 \cdot 16 + 20000,15 \cdot 1 + 20000,60 \cdot 4}{16 + 1 + 4} = 20000,46$$

Nếu các kết quả quan trắc của các loạt đo có độ phân tán như nhau ($s = \text{const}$) khi đó $s^2_{\bar{x}} = s^2 / n_i, i = 1, 2, \dots, m$, trong đó n_i là số lần đo của loạt thứ i . Bởi vậy, (4.24) có dạng: $p_1: p_2: \dots: p_m = n_1: n_2: \dots: n_m$

và ta có thể lấy $p_i = n_i, i = 1, 2, \dots, m$. Thay các giá trị p_i vào (4.23) ta có:

$$\bar{x}_0 = \frac{\bar{x}_1 p_1 + \bar{x}_2 p_2 + \dots + \bar{x}_m p_m}{p_1 + p_2 + \dots + p_m} = \frac{\bar{x}_1 n_1 + \bar{x}_2 n_2 + \dots + \bar{x}_m n_m}{n_1 + n_2 + \dots + n_m} \quad (4.25)$$

Mẫu số chính là tổng số các lần đo n của toàn bộ các loạt phép đo. Mỗi số hạng của tử số là tổng các kết quả quan trắc của tất cả các loạt phép đo tương ứng, bởi vậy tử số chính là tổng của toàn bộ các kết quả quan trắc của tất cả các loạt phép đo. Như vậy kết quả (4.25) có thể viết:

$$\bar{x}_0 = \frac{\sum x_i}{n}$$

đó chính là kết quả trung bình theo cách tính thông thường. Độ lệch chuẩn của trung bình có trọng lượng các kết quả quan trắc xác định theo (4.23) được tính theo công thức:

$$s_{\bar{x}_0} = \sqrt{\frac{\sum_i p_i (x_i - \bar{x}_0)^2}{m(m-1) \sum p_i}} \quad (4.26)$$

Ví dụ: Theo các kết quả của ví dụ trên ta có:

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_0 = -0,01$$

$$\bar{x}_2 - \bar{x}_0 = -0,31$$

$$\bar{x}_3 - \bar{x}_0 = 0,14$$

$$s_{\bar{x}_0} = \sqrt{\frac{16 \cdot 0,01^2 + 0,31^2 + 4 \cdot 0,14^2}{3(3-1)(16+1+4)}} \approx 0,037$$

4.4.11. Sai số ngẫu nhiên của phép đo gián tiếp

Trong phép đo gián tiếp, giá trị đại lượng đo tìm được trên cơ sở mối quan hệ đã biết giữa đại lượng đo và các đại lượng khác được đo trực tiếp. Một cách tổng quát, có thể diễn tả mối quan hệ này bằng một hàm:

$$Q = f(X, Y, Z, \dots) \quad (4.27)$$

Trong đó, Q là đại lượng cần đo; $X, Y, Z, \dots$ là các đại lượng có giá trị xác định bằng phép đo trực tiếp.

Bằng các phương pháp trình bày trong các phần trên, có thể xác định được sai số ngẫu nhiên của từng phép đo trực tiếp các đại lượng $X, Y, Z, \dots$. Kết quả đo đại lượng Q sẽ được xác định qua kết quả đo đại lượng X, Y, Z bằng công thức (4.27). Vấn đề đặt ra là sai số ngẫu nhiên của phép đo gián tiếp đại lượng Q sẽ như thế nào?

Có thể sử dụng một số công thức tính sai số đơn giản dưới đây.

Giả sử sai số ngẫu nhiên của phép đo trực tiếp các đại lượng $X, Y, Z, \dots$ đã được xác định là $\Psi_x, \Psi_y, \Psi_z, \dots$. Sai số ngẫu nhiên Ψ_Q của phép đo gián tiếp đại lượng Q tính theo công thức:

$$\Psi_Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial X} \Psi_x\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial Y} \Psi_y\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial Z} \Psi_z\right)^2 + \dots}$$

Với $\partial Q / \partial X; \partial Q / \partial Y; \partial Q / \partial Z, \dots$ là đạo hàm riêng của hàm Q theo $X, Y, Z, \dots$.

Ký hiệu: $D_x = \frac{\partial Q}{\partial X} \Psi_x; D_y = \frac{\partial Q}{\partial Y} \Psi_y; D_z = \frac{\partial Q}{\partial Z} \Psi_z, \dots$ và gọi chúng là những sai số thành phần của phép đo gián tiếp, ta có:

$$\Psi_Q = \sqrt{D_x^2 + D_y^2 + D_z^2 + \dots} \quad (4.28)$$

Vận dụng công thức (4.28) cho một số dạng của hàm $f(X, Y, Z, \dots)$:

– Mỗi quan hệ giữa đại lượng Q và X, Y, Z có dạng:

$$Q = aX + bY + cZ$$

Từ (4.28) có: $\Psi_Q = \sqrt{a^2 \Psi_x^2 + b^2 \Psi_y^2 + c^2 \Psi_z^2}$

Nếu $a = b = c = 1$, thì: $\Psi_Q = \sqrt{\Psi_x^2 + \Psi_y^2 + \Psi_z^2}$

– Mỗi quan hệ giữa Q và X, Y, Z có dạng: $Q = kX^a Y^b Z^c$

với k là một hệ số tỷ lệ không thứ nguyên nào đó.

Nếu các đại lượng X, Y, Z là khác loại ta dùng hình thức sai số tương đối và công thức (4.28) thành:

$$\frac{\Psi_Q}{Q} = \sqrt{a^2 \left(\frac{\Psi_x}{X}\right)^2 + b^2 \left(\frac{\Psi_y}{Y}\right)^2 + c^2 \left(\frac{\Psi_z}{Z}\right)^2}$$

Nếu $a = b = c = 1$, thì:

$$\frac{\Psi_Q}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\Psi_x}{X}\right)^2 + \left(\frac{\Psi_y}{Y}\right)^2 + \left(\frac{\Psi_z}{Z}\right)^2}$$

4.4.12. Loại bỏ sai số thô

Trong một dãy kết quả quan trắc, nếu thấy những kết quả có độ sai lệch quá lớn, phải đặt vấn đề nghi ngờ và tìm cách kiểm tra xem chúng có mắc những sai số thô hay không.

Từ những kết quả tính toán trong các phần trên, nếu kết quả quan trắc có phân bố chuẩn và số quan trắc tương đối lớn, xác suất để một kết quả quan trắc bình thường vượt quá giá trị trung bình $3s$ hay $4s$ sẽ rất nhỏ, bởi vậy nếu có kết quả quan trắc nào vượt ra ngoài giới hạn này, có thể coi kết quả đó mắc sai số thô và loại bỏ chúng trong quá trình xử lý kết quả đo.

Tuy nhiên cần lưu ý rằng, kết quả quan trắc bình thường (không mắc sai số thô) cũng có thể vượt ra ngoài giới hạn này (với xác suất p_k nào đó) bởi vậy khi coi kết quả quan trắc như vậy là mắc sai số thô (và loại bỏ nó) ta đã mắc một sai lầm. Xác suất mắc sai lầm chính là bằng p_k và được gọi là mức ý nghĩa.

Một quy tắc thường được sử dụng khi tiến hành loại bỏ kết quả quan trắc mắc sai số thô trong trường hợp số quan trắc không lớn như sau:

Giả sử trong $n + 1$ kết quả quan trắc có một kết quả lớn một cách không bình thường, ký hiệu là $x_{\max}$. Từ n kết quả đo còn lại, xác định trung bình $\bar{x}_n$ và độ lệch chuẩn s . Theo bảng 4.8, với mức ý nghĩa p_k cho trước, tìm số t ứng với n đã biết. Nếu $x_{\max} - \bar{x}_n > t.s$ thì kết quả $x_{\max}$ bị coi là mắc sai số thô. Nếu $x_{\max} - \bar{x}_n < t.s$ thì không có cơ sở để coi $x_{\max}$ mắc sai số thô. Nếu số liệu nghi ngờ là số quá nhỏ, ký hiệu là $x_{\min}$, thì lập hiệu $\bar{x}_n - x_{\min}$ và cũng tiến hành theo thủ tục tương tự.

Ví dụ: Với các số liệu nhận được trong bảng 4.4, tiến hành thêm lần đo thứ 16, kết quả là 771, kết quả này nhỏ một cách không bình thường. Lập hiệu:

$$\bar{x}_{15} - x_{\min} = 798,8 - 771 = 27,8$$

Với mức ý nghĩa $p_k = 0,005$, theo bảng 4.8 với $n = 15$ ta được $t = 4,28$; $t.s = 4,28.6,13 = 26,24 < 27,8$. Vậy kết quả quan trắc này cần loại bỏ.

Bảng 4.8. Giá trị t

n	$p_k = 0,05$	$p_k = 0,02$	$p_k = 0,01$	$p_k = 0,005$
2	15,56	38,97	77,96	779,7
3	4,97	8,04	11,46	36,5
4	3,56	5,08	6,53	14,46
5	3,04	4,10	5,04	9,43
6	2,78	3,64	4,36	7,41
7	2,62	3,36	3,96	6,37
8	2,51	3,18	3,71	5,73
9	2,43	3,05	3,54	5,31
10	2,37	2,96	3,41	5,01
11	2,33	2,89	3,31	4,79
12	2,29	2,83	3,23	4,62
13	2,26	2,78	3,17	4,48
14	2,24	2,74	3,12	4,37
15	2,22	2,71	3,08	4,28
16	2,20	2,68	3,04	4,20
17	2,18	2,66	3,01	4,13
18	2,17	2,64	3,00	4,07
19	2,16	2,62	2,95	4,02
20	2,145	2,60	2,93	3,98
∞	1,96	2,33	2,58	3,29

Chương 5

ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO

5.1. KHÁI NIỆM ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO

Mục đích của phép đo là để xác định giá trị của đại lượng cần đo. Việc xác định này đặc trưng bằng độ chính xác theo yêu cầu của phép đo, trong đó, độ chính xác được hiểu là mức độ gần nhau giữa kết quả đo và giá trị thực của đại lượng.

Trong các phần trên đã phân tích thành phần sai số ngẫu nhiên và thành phần sai số hệ thống của phép đo. Ở đây nhắc lại khái niệm về hai thành phần sai số này.

Sai số ngẫu nhiên của phép đo là kết quả của một phép đo trừ đi kết quả trung bình từ một số vô hạn các phép đo cùng một đại lượng trong điều kiện lặp lại. Nó chính là sai số của phép đo trừ đi sai số hệ thống. Vì chỉ có thể thực hiện một số hữu hạn các phép đo, nên cũng chỉ có thể xác định một ước lượng của sai số ngẫu nhiên mà thôi. Không thể thực hiện việc hiệu chỉnh sai số ngẫu nhiên, nhưng có thể giảm nó bằng tăng số lượng lần đo lặp lại n . Sai số hệ thống của phép đo là kết quả trung bình từ một số vô hạn các phép cùng một đại lượng trong điều kiện lặp lại trừ đi giá trị thực của đại lượng. Nó chính là sai số của phép đo trừ đi sai số ngẫu nhiên. Giống như giá trị thực, sai số hệ thống và nguyên nhân xuất hiện nó không thể biết được một cách hoàn toàn. Có thể làm giảm sai số hệ thống bằng cách sử dụng số hiệu chỉnh hoặc hệ số hiệu chỉnh. Bản thân các số hiệu chỉnh hoặc hệ số hiệu chỉnh cũng là những ước lượng đối với giá trị thực của chính nó, chúng cũng không hoàn toàn chính xác.

Như vậy là giá trị của đại lượng cần đo chưa bao giờ được biết một cách hoàn toàn. Độ không đảm bảo của phép đo phản ánh sự thiếu các thông tin chính xác về giá trị của đại lượng đo. Kết quả của phép đo sau khi hiệu chỉnh các ảnh hưởng hệ thống đã biết, vẫn chỉ là giá trị ước lượng của đại lượng cần đo do ảnh hưởng của các tác động ngẫu nhiên và sự không đầy đủ, không hoàn hảo của việc hiệu chỉnh đối với các ảnh hưởng hệ thống gây ra.

Độ không đảm bảo đo – measurement uncertainty (gọi tắt là độ không đảm bảo – uncertainty) được định nghĩa là thông số gắn với kết quả của phép đo, đặc trưng cho sự phân tán của các giá trị có thể quy cho đại lượng đo một cách hợp lý. Thông số ở đây có thể là độ lệch chuẩn (xem 4.4.6); bội số của độ lệch chuẩn hoặc nửa độ rộng của một khoảng có mức tin cậy (xác suất tin cậy) xác định.

Độ không đảm bảo của phép đo thường gồm nhiều thành phần. Các thành phần này đều được đặc trưng qua độ lệch chuẩn rút ra từ phân bố thống kê, từ các thông số có sẵn hoặc từ sự phán đoán như sẽ thấy ở những phân tích dưới đây.

Kết quả của phép đo nêu trong định nghĩa độ không đảm bảo ở trên được hiểu là ước lượng tốt nhất về giá trị của đại lượng đo và về tất cả các thành phần của độ không đảm bảo, bao gồm cả những thành phần do các ảnh hưởng hệ thống như các thành phần gắn với những sự hiệu chỉnh và gắn với các chuẩn đo lường dùng làm mốc so sánh gây ra.

Độ không đảm bảo đo là sự thể hiện một thực tế: với một đại lượng đo và một kết quả đo đã cho của nó, không phải chỉ có một giá trị, mà là có vô số giá trị phân bố xung quanh kết quả đo đó, những giá trị này phù hợp với tất cả các quan trắc, các hiểu biết của con người về thế giới tự nhiên và đều có thể quy cho giá trị của đại lượng đo với một xác suất (mức độ) tin cậy nhất định nào đó.

Hướng dẫn về trình bày độ không đảm bảo đo do Viện cân đo quốc tế (BIPM) cùng với 6 tổ chức quốc tế: Tổ chức tiêu chuẩn hoá quốc tế (ISO), Ủy ban kỹ thuật điện quốc tế (IEC), Liên đoàn quốc tế về hoá học lâm sàng và phòng thí nghiệm y học (IFCC), Hiệp hội quốc tế về hoá học tinh khiết và hoá học ứng dụng (IUPAC), Hiệp hội quốc tế về vật lý lý thuyết và vật lý ứng dụng (IUPAP) và Tổ chức đo lường pháp định quốc tế (OIML) đồng công bố năm 1993 đã định nghĩa và phân loại các độ không đảm bảo như sau:

Độ không đảm bảo chuẩn (u): là độ không đảm bảo của kết quả phép đo được thể hiện như là độ lệch chuẩn.

Độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp (u_c): là độ không đảm bảo chuẩn của kết quả phép đo khi kết quả này nhận được từ giá trị của một số các đại lượng khác. Độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp bằng dương căn bậc hai của tổng phương sai hoặc hiệp biến của các đại lượng nói trên, những phương sai hoặc hiệp biến này được lấy trọng số tùy theo kết quả của phép đo biến đổi phụ thuộc vào sự thay đổi của các đại lượng này như thế nào.

Độ không đảm bảo mở rộng (U): là đại lượng xác định một khoảng bao quanh kết quả đo với hy vọng rằng nó sẽ phủ một phần lớn phân bố của các giá trị có thể quy cho đại lượng đo một cách hợp lý.

$$U = k \cdot u_c$$

với k là hệ số phủ, thường nằm trong khoảng $2 \div 3$.

Về cách đánh giá độ không đảm bảo, hướng dẫn trên phân ra:

Đánh giá loại A (về độ không đảm bảo): Phương pháp đánh giá độ không đảm bảo bằng cách phân tích thống kê một loạt các kết quả quan trắc.

Đánh giá loại B (về độ không đảm bảo): Phương pháp đánh giá độ không đảm bảo bằng phương pháp khác với phương pháp sử dụng phân tích thống kê một loạt các kết quả quan trắc.

5.2. ĐÁNH GIÁ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO

5.2.1. Đặt vấn đề

Thường đại lượng đo Y không đo được trực tiếp mà được xác định qua N các đại lượng $X_1, X_2, \dots, X_N$ nhờ hàm số:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (5.1)$$

Tập hợp các đại lượng vào $X_1, X_2, \dots, X_N$ có thể được phân ra:

– Các đại lượng có giá trị và độ không đảm bảo của nó được xác định trực tiếp từ phép đo hiện hành. Ví dụ từ phép đo một lần; từ một dãy kết quả quan trắc lặp lại hoặc từ việc đánh giá dựa trên kinh nghiệm, bao gồm cả việc xác định các giá trị hiệu chỉnh đối với các đại lượng ảnh hưởng như nhiệt độ môi trường, áp suất, độ ẩm...

– Các đại lượng có giá trị và độ không đảm bảo được đưa vào phép đo từ các nguồn bên ngoài. Như các đại lượng gắn với các chuẩn đo lường đã được hiệu chuẩn, các mẫu chuẩn đã được chứng nhận, các số liệu tra cứu lấy từ các sổ tay...

Như vậy, giá trị ước lượng của đại lượng đo Y, ký hiệu là y, nhận được từ biểu thức 5.1 bằng cách sử dụng các ước lượng đầu vào $x_1, x_2, \dots, x_N$ cho các giá trị của N đại lượng X_1, X_2, X_N :

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (5.2)$$

Độ lệch chuẩn ước lượng gắn với ước lượng đầu ra hoặc kết quả của phép đo y gọi là độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp và được ký hiệu là $u_c(y)$. Độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp này được xác định từ các độ lệch chuẩn ước lượng gắn với từng ước lượng đầu vào x_i , độ lệch chuẩn ước lượng này được gọi là độ không đảm bảo chuẩn và ký hiệu là $u(x_i)$.

Để tiện sử dụng khi đánh giá độ không đảm bảo, lập thêm bảng 5.1 phân bố Student cho biết giá trị của t , ứng với các bậc tự do v và mức tin cậy (xác suất tin cậy) P khác nhau (lưu ý v ở đây chính là $n - 1$).

Bảng 5.1. Phân bố Student (t_v)

Số bậc tự do v	Mức tin cậy/xác suất tin cậy P					
	68,27 ^(a)	90,00	95,00	95,45 ^(a)	99,00	99,73 ^(a)
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,8
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8	1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9	1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10	1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11	1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12	1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13	1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14	1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15	1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16	1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17	1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18	1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48

Số bậc tự do v	Mức tin cậy/xác suất tin cậy P					
	68,27 ^(a)	90,00	95,00	95,45 ^(a)	99,00	99,73 ^(a)
19	1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20	1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25	1,02	1,71	2,06	2,12	2,79	3,33
30	1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35	1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000
(a) Các giá trị này ứng với giá trị k = 1, 2 và 3						

5.2.2. Đánh giá độ không đảm bảo chuẩn loại A

Như trong phân sai số ngẫu nhiên đã trình bày, từ một dãy kết quả quan trắc độc lập lặp lại q_k ta tính được ước lượng của kỳ vọng μ_q , tức giá trị trung bình:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k$$

Ước lượng cho phương sai σ^2 của hàm phân bố xác suất của q :

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2$$

Phương sai thực nghiệm $s^2(q_k)$ và dương căn bậc hai của nó – $s(q_k)$ – gọi là độ lệch chuẩn thực nghiệm, hay vắn tắt là độ lệch chuẩn, đặc trưng cho sự tản mạn của các kết quả quan trắc xung quanh giá trị trung bình $\bar{q}$:

$$\sqrt{s^2(q_k)} = s(q_k)$$

Ước lượng tốt nhất cho phương sai của trung bình, $\sigma^2(\bar{q}) = \frac{\sigma^2}{n}$, là:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n}$$

Dương căn bậc hai của $s^2(\bar{q})$ gọi là độ lệch chuẩn thực nghiệm của giá trị trung bình:

$$\sqrt{s^2(\bar{q})} = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}} = s(\bar{q})$$

Phương sai và độ lệch chuẩn thực nghiệm của giá trị trung bình, thể hiện mức độ tốt như thế nào của việc dùng $\bar{q}$ làm ước lượng cho kỳ vọng μ_q của q và được dùng làm thước đo độ không đảm bảo của q :

$$u(q) = s(\bar{q})$$

Ta gọi đó là độ không đảm bảo chuẩn loại A.

5.2.3. Đánh giá độ không đảm bảo chuẩn loại B

Trường hợp các giá trị ước tính x_i của đại lượng vào X_i không nhận được trực tiếp từ các kết quả quan trắc lặp lại, độ không đảm bảo chuẩn $u(x_i)$ sẽ được đánh giá bằng sự phán đoán khoa học dựa vào tất cả các thông tin thích hợp và sự biến đổi có thể có của X_i . Đó là: các số liệu đo trước kia; kinh nghiệm hay kiến thức chung về tính chất, trạng thái của các vật liệu, phương tiện có liên quan; các quy định kỹ thuật của người chế tạo; số liệu trong giấy chứng nhận hiệu chuẩn; độ không đảm bảo có từ các số liệu tra cứu...

– Trường hợp ước lượng của giá trị q được lấy từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn hoặc từ tài liệu kỹ thuật khác, trong đó độ không đảm bảo của nó được xác định là một bội số của độ lệch chuẩn, thì độ không đảm bảo chuẩn $u(q)$ đơn giản là giá trị độ không đảm bảo được trích dẫn nêu trên chia cho số nhân.

Ví dụ, giấy chứng nhận hiệu chuẩn xác nhận khối lượng của một quả cân chuẩn bằng kim loại m có giá trị danh nghĩa 1kg là 1 000,000 325g và độ không đảm bảo của giá trị này là 24 μ g tại mức độ lệch chuẩn 3. Độ không đảm bảo chuẩn của quả cân trên đơn giản là:

$$u(m) = \frac{24\mu\text{g}}{3} = 8\mu\text{g}$$

– Trường hợp giá trị của q được xác định là nằm trong khoảng từ “ a_- đến a_+ ” và nếu phân bố của giá trị là gần phân bố chuẩn thì ước lượng tốt nhất của q là giá trị nằm ở giữa khoảng và nửa độ rộng khoảng được ký hiệu là a $a = \frac{a_+ - a_-}{2}$ thì độ không đảm bảo chuẩn $u(q)$ là một bội của a , hệ

số nhân phụ thuộc vào xác suất tin cậy P đã chọn. Ví dụ, nếu dựa trên cơ sở thông tin đã biết, có thể kết luận là có cơ hội “50 × 50” để giá trị của q nằm trong khoảng a_- đến a_+ (tức xác suất để giá trị q nằm trong khoảng đó là 50%), thì $u(q) = 1,48 a$, vì phân bố chuẩn với kỳ vọng μ và độ lệch chuẩn σ thì khoảng $\mu \pm \sigma/1,48$ sẽ bao gồm 50 % phân bố.

– Trường hợp xác suất để giá trị q nằm trong khoảng từ a_- đến a_+ bằng 1 và đều nhau, còn xác suất để giá trị q nằm ngoài khoảng đó bằng 0, ta sẽ có phân bố chữ nhật với phương sai $u^2(q)$:

$$u^2(q) = \frac{(a_+ - a_-)^2}{12}, \text{ với } a = \frac{a_+ + a_-}{2}, u^2(q) = \frac{a^2}{3}$$

$$\text{Và độ không đảm bảo chuẩn } u(q) \text{ sẽ là: } u(q) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (5.4)$$

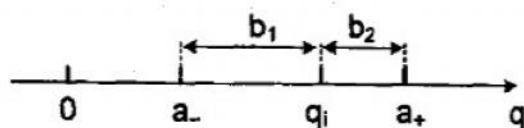
Ví dụ: Số tay kỹ thuật cho giá trị hệ số dẫn nở nhiệt tuyến tính của Cu tinh khiết ở 20 °C, $\alpha_{20}(\text{Cu})$, là $16,52 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ và sai số của giá trị này không vượt quá $0,40 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Từ thông tin này có thể cho rằng giá trị $\alpha_{20}(\text{Cu})$ nằm trong khoảng $16,12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ tới $16,92 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ có cùng một xác suất như nhau nhưng rất khác nhau cho $\alpha_{20}(\text{Cu})$ nằm ngoài khoảng này. Phương sai của phân bố chữ nhật đối xứng các giá trị có thể có của $\alpha_{20}(\text{Cu})$ theo nửa độ rộng $a = 0,40 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ là:

$$u^2(\alpha_{20}) = (0,40 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})^2 / 3$$

và độ không đảm bảo chuẩn $u(\alpha_{20})$ là:

$$u(\alpha_{20}) = (0,40 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})^2 / \sqrt{3} = 0,23 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

– Trường hợp đường bao trên a_+ và dưới a_- không đối xứng với ước lượng tốt nhất q_i của q (tức giá trị này không nằm ở giữa khoảng), cũng có nghĩa khi đường bao dưới được viết là $a_- = q_i - b_1$ và đường bao trên được viết là $a_+ = q_i + b_2$ với $b_1 \neq b_2$.



Vì q_i (giả sử là kỳ vọng của q) không nằm ở tâm của khoảng từ a_- đến a_+ nên phân bố xác suất của q không thể đồng đều trong toàn khoảng. Tuy nhiên, vì thông tin có sẵn không đủ để chọn một phân bố phù hợp, nên trường hợp này cách tính xấp xỉ đơn giản nhất là:

$$u^2(q) = \frac{(b_1 + b_2)^2}{12} = \frac{(a_+ - a_-)^2}{12} \quad (5.5)$$

Đó cũng chính là phương sai của phân bố chữ nhật với độ rộng toàn khoảng là $b_1 + b_2$.

Ví dụ: Nếu trong ví dụ về $\alpha_{20}(\text{Cu})$ nêu trên, giá trị hệ số được đưa ra trong sổ tay $\alpha_{20}(\text{Cu}) = 16,52 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ và nó xác định rằng giá trị nhỏ nhất có thể là $16,40 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ và giá trị lớn nhất có thể là $16,92 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Khi đó ta có $b_1 = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ và $b_2 = 0,40 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$:

$$u(\alpha_{20}) = \frac{(0,40 + 0,12)10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{12}} = \frac{(16,92 - 16,40) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{12}} = 0,15 \cdot 10^{-6} (^\circ\text{C}^{-1})$$

– Trong trường hợp phân bố tam giác, với độ rộng của đáy dưới $a_+ - a_- = 2a$, ta có phương sai: $u^2(q) = \frac{a^2}{6}$

Và độ không đảm bảo chuẩn sẽ là: $u(q) = \frac{a}{\sqrt{6}}$

Ví dụ: Nhiệt độ môi trường được khống chế sao cho nó chỉ dao động trong khoảng $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$. Trong trường hợp này giá trị mong muốn duy nhất là $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, các giá trị cách xa $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ hơn $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ là những giá trị ta không mong muốn. Phân bố ở đây sẽ là phân bố tam giác với bề rộng giới hạn $2a$ là $4 \text{ } ^\circ\text{C}$. Độ không đảm bảo chuẩn là:

$$u(T) = \frac{2^\circ\text{C}}{\sqrt{6}}$$

5.2.4. Đánh giá độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp u_c

a) Các đại lượng đầu vào không tương quan với nhau

Từ $y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ và từ các thành phần độ không đảm bảo đã được đánh giá như trên đối với từng đại lượng X_i , phương sai tổng hợp của $u_c(y)$ là:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (5.6)$$

Đạo hàm $\partial f / \partial x_i$ gọi là hệ số độ nhạy, mô tả ước lượng đầu ra y thay đổi thế nào theo các giá trị ước lượng của đại lượng vào $x_1, x_2, \dots, x_N$. Sự thay đổi của y do sự thay đổi nhỏ Δx_i của ước lượng đầu vào x_i được cho bằng công thức: $(\Delta y)_i = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) (\Delta x_i)$.

Nếu sự thay đổi trên sinh ra bởi độ không đảm bảo chuẩn của ước lượng x_i thì sự thay đổi tương ứng trong y là $(\partial f / \partial x_i) u(x_i)$. Vì vậy phương sai tổng hợp $u_c^2(y)$ có thể xem là tổng các số hạng, mỗi số hạng này thể hiện phương sai ước tính liên quan đến từng giá trị đầu vào x_i . Có thể viết biểu thức (5.6) như sau:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \equiv \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad (5.7)$$

trong đó: $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$; $u_i(y) \equiv |c_i| u(x_i)$

Ta có:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2}$$

Nếu Y có dạng $Y = c X_1^{p_1} X_2^{p_2} \dots X_N^{p_N}$ với các số mũ p_i dương hoặc âm và có độ không đảm bảo không đáng kể thì biểu thức (5.6) có thể diễn tả như sau:

$$\left[\frac{u_c(y)}{y} \right]^2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{p_i u(x_i)}{x_i} \right]^2 \quad (5.8)$$

Biểu thức trên giống (5.7) nhưng phương sai tổng hợp $u_c^2(y)$ được thể hiện là phương sai tổng hợp tương đối $[u_c(y)/y]^2$ và phương sai ước tính $u^2(x_i)$ được thể hiện như phương sai tương đối ước tính $[u(x_i)/x_i]^2$.

Ví dụ:

Ước tính giá trị của đại lượng đo U là $U = \bar{U} + \Delta \bar{U}$, với $\bar{U} = 0,928\,571$ V; $u(\bar{U}) = 12\,\mu\text{V}$; số hiệu chỉnh $\Delta \bar{U} = 0$ và $u(\Delta \bar{U}) = 8,7\,\mu\text{V}$. Ta có: $\partial U / \partial \bar{U} = \partial U / \partial \Delta \bar{U} = 1$; nên phương sai tổng hợp liên quan đến U là:

$$u_c^2(U) = 1 \cdot u^2(\bar{U}) + 1 \cdot u^2(\Delta \bar{U}) = (12\,\mu\text{V})^2 + (8,7\,\mu\text{V})^2 = 219 \cdot 10^{-12} \text{ V}^2;$$

và độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp $u_c(U)$ là:

$$u_c(U) = \sqrt{219 \cdot 10^{-12} \text{ V}^2} = 15\,\mu\text{V}$$

b) Các đại lượng đầu vào có tương quan

Các công thức tính toán đưa ra ở trên chỉ đúng trong trường hợp các đại lượng đầu vào độc lập với nhau, tức không có tương quan gì với nhau.

Hai đại lượng cùng thay đổi đồng thời gọi là có tương quan với nhau. Khi các đại lượng đầu vào có tương quan với nhau, ta có $u_c^2(y)$ là:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j)$$

hoặc:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \quad (5.9)$$

Trong đó x_i, x_j là ước lượng của X_i và X_j và $u(x_i, x_j) = u(x_j, x_i)$ là ước lượng của hiệp biến (hiệp phương sai) gắn với x_i và x_j . Bậc tự do của tương quan giữa x_i và x_j đặc trưng bằng ước lượng của hệ số tương quan.

Mức độ tương quan giữa hai đại lượng x_i và x_j đặc trưng bằng hệ số tương quan ước tính $r(x_i, x_j)$:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)} \quad (5.10)$$

Ta có $r(x_i, x_j) = r(x_j, x_i)$ và $-1 \leq r(x_i, x_j) \leq +1$. Nếu x_i và x_j độc lập với nhau, $r(x_i, x_j) = 0$ và sự thay đổi của đại lượng này không kéo theo sự thay đổi của đại lượng kia.

Từ (5.10) và với hệ số độ nhạy $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$, có thể diễn đạt (5.9) như sau:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \quad (5.11)$$

Với những trường hợp mà tất cả các giá trị ước tính của đại lượng đầu vào là có tương quan $r(x_i, x_j) = 1$, biểu thức (5.11) được viết đơn giản là:

$$u_c^2(y) = \left[\sum_{i=1}^N c_i u(x_i) \right]^2 = \left[\sum_{i=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right]^2$$

Trường hợp hai đại lượng x_i, x_j được đo đồng thời dưới cùng một điều kiện n lần (tức có n cặp giá trị đo cho x_i, x_j), thì hiệp biến của $\bar{x}_i$ và $\bar{x}_j$ được ước lượng bằng $s(\bar{x}_i; \bar{x}_j)$:

$$s(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j) \quad (5.12)$$

Nếu chỉ có hai đại lượng đầu vào X_i, X_j , hệ số tương quan theo (5.10) sẽ đơn giản là:

$$r(x_i, x_j) = r(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = \frac{s(\bar{x}_i, \bar{x}_j)}{s(\bar{x}_i)s(\bar{x}_j)} \quad (5.13)$$

5.2.5. Đánh giá độ không đảm bảo mở rộng

Độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp $u_c(y)$ đã được sử dụng rộng rãi để thể hiện độ không đảm bảo của kết quả đo, tuy nhiên vẫn cần thiết phải đưa ra một cách đánh giá độ không đảm bảo để xác định một khoảng xung quanh kết quả phép đo mà khoảng này hy vọng có thể bao gồm một phần lớn phân bố của các giá trị có thể quy cho đại lượng đo một cách hợp lý. Khoảng đó được gọi là độ không đảm bảo mở rộng và ký hiệu là U :

$$U = k u_c(y)$$

Kết quả phép đo sẽ được thể hiện là:

$$Y = y \pm U$$

Điều trên có nghĩa là giá trị ước tính tốt nhất có thể quy cho Y là y và khoảng từ $(y-U)$ đến $(y+U)$ là khoảng có thể hy vọng phủ phần lớn phân bố các giá trị có thể quy cho Y một cách hợp lý. Khoảng này có thể diễn tả là:

$$y - U \leq Y \leq y + U$$

Vấn đề là chọn hệ số phủ k bằng bao nhiêu? k được chọn trên cơ sở mức độ tin cậy (xác suất tin cậy) mà khoảng $y \pm U$ đòi hỏi. Thường k được lấy như sau:

– Nếu đại lượng đo Y đơn giản là $Y = X$ và nếu X được ước lượng bằng $\bar{X}$ của n các quan trắc lặp lại độc lập X_i với độ lệch chuẩn của trung bình là $s(\bar{X})$ thì ước lượng tốt nhất của Y là:

$$y = \bar{X}, \text{ với } u_c(y) = s(\bar{X})$$

Để tính độ không đảm bảo mở rộng $U = ku_c(y)$, k được lấy chính là bảng t_s , tra theo bảng phân bố Student (Bảng 5.1), giá trị này phụ thuộc n và P (ở đây bậc tự do $v = n - 1$):

$$U = ku_c(y) = t_s u_c(y) \quad (5.15)$$

– Trường hợp $u_c^2(y)$ là tổng hai hoặc nhiều phương sai thành phần được ước lượng $u_i^2(y) = c_i^2 u^2(x_i)$ thì phân bố Student không còn phù hợp hoàn toàn nữa. Ta phải tính bậc tự do hiệu dụng v_{eff} theo công thức Welch Satterthwaite, để rồi từ v_{eff} này sử dụng Bảng 5.1 phân bố t_s một cách gần đúng. Công thức đó là:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^4 u^4(x_i)}{v_i}} \quad (5.16)$$

Trong đó các $u(x_i)$ là hoàn toàn độc lập với nhau và $v_{\text{eff}} \leq \sum_{i=1}^N v_i$; v_i là bậc tự do của $u(x_i)$.

Bậc tự do của độ không đảm bảo chuẩn $u(x_i)$ nhận được từ đánh giá loại A là $v_i = n - 1$. Nếu m tham số được ước lượng bằng cách làm khớp đường cong với n điểm đo theo phương pháp bình phương tối thiểu thì bậc tự do của độ không đảm bảo chuẩn của từng tham số sẽ là $n - m$. Nếu $u(x_i)$ nhận được từ đánh giá loại B với phân bố chữ nhật hoặc tam giác thì $v_i = \infty$. Với các trường hợp khác, có thể sử dụng công thức dưới đây để tính v_i :

$$v_i = \frac{1}{2} \frac{u^2(x_i)}{\sigma^2[u(x_i)]} \approx \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \quad (5.17)$$

Tỷ số $\sigma^2[u(x_i)]/u^2(x_i)$ được xem như sự đánh giá về độ không đảm bảo tương đối của $u(x_i)$. Ví dụ với $n = 10$ kết quả quan trắc ($v_i = n - 1$), “độ không đảm bảo của độ không đảm bảo” này là 24% và với $n = 50$, nó sẽ là 10%.

Từ v_{eff} đã tính được, độ không đảm bảo mở rộng U sẽ là:

$$U = ku_c(y) = t_s(v_{\text{eff}}) u_c(y) \quad (5.18)$$

Xét một ví dụ sau đây.

Coi $Y = f(X_1, X_2, X_3) = bX_1X_2X_3$; các ước lượng x_1, x_2, x_3 của các đại lượng đầu vào có phân bố chuẩn. X_1, X_2, X_3 là các trung bình số học của $n_1 = 10; n_2 = 5; n_3 = 15$ các quan trắc lặp lại độc lập tương ứng cùng với độ không đảm bảo tương đối:

$$u(x_1)/x_1 = 0,25\%;$$

$$u(x_2)/x_2 = 0,57\%;$$

$$u(x_3)/x_3 = 0,82\%.$$

Tính v_{eff} và độ không đảm bảo mở rộng của y .

Trường hợp này: $c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i} = \frac{Y}{X_i}$ và áp dụng công thức (5.8) ta có:

$$\left[\frac{u_c(y)}{y} \right]^2 = \sum_{i=1}^3 \left[\frac{u(x_i)}{x_i} \right]^2 = (1,03\%)^2$$

$$v_{\text{eff}} = \frac{[u_c(y)/y]^4}{\sum_{i=1}^3 \frac{[u(x_i)/x_i]^4}{v_i}} = \frac{1,03^4}{\frac{0,25^4}{10-1} + \frac{0,57^4}{5-1} + \frac{0,82^4}{15-1}} = 19,0$$

Lấy $P = 95\%$ và $v = 19$, ta có $t_s = 2,09$. Vậy độ không đảm bảo mở rộng tương đối ứng với mức tin cậy 95% ở trường hợp này là:

$$k \left[\frac{u_c(y)}{y} \right] = 2,09 \times 1,03\% = 2,2\%$$

5.2.6. Thông báo độ không đảm bảo

Lấy ví dụ với một quả cân chuẩn có khối lượng danh nghĩa $m_s = 100\text{g}$.

Khi đánh giá độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp u_c , thông báo như sau:

“ $m_s = (100,021\,47 \pm 0,000\,35)\text{ g}$, số sau ký hiệu $\pm$ là trị số của (độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp) u_c và không phải là khoảng tin cậy”.

Khi đánh giá độ không đảm bảo mở rộng U , thông báo như sau:

“ $m_s = (100,021\,47 \pm 0,000\,97)\text{ g}$, số sau ký hiệu $\pm$ là trị số của (độ không đảm bảo mở rộng) $U = k u_c$ với bậc tự do $v = 9$ và mức tin cậy là 95%”.

5.2.7. Trình tự đánh giá và thể hiện độ không đảm bảo đo

Từ những nội dung đã trình bày, có thể tóm tắt quá trình tính toán, thể hiện độ không đảm bảo đo như sau:

– Thể hiện về mặt toán học mối quan hệ giữa đại lượng đo Y và các đại lượng vào X_i mà Y phụ thuộc:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

– Xác định giá trị ước lượng x_i của các đại lượng vào X_i bằng phân tích thống kê dãy các kết quả quan trắc hoặc bằng các phương pháp khác như đã trình bày.

– Đánh giá độ không đảm bảo chuẩn $u(x_i)$ của mỗi ước lượng đầu vào x_i .

– Đánh giá các hiệp biến gắn với các đại lượng vào có tương quan.

– Tính toán kết quả đo, đó là ước lượng y của đại lượng Y , từ mỗi liên hệ hàm ở mục 1.

– Xác định độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp $u_c(y)$ của kết quả đo y từ các độ không đảm bảo chuẩn và các hiệp biến liên quan tới các đại lượng đầu vào.

– Nếu cần thiết, tính toán độ không đảm bảo mở rộng $U = k u_c(y)$ với việc chọn k theo mức tin cậy mà khoảng yêu cầu.

– Thông báo độ không đảm bảo như đã trình bày ở mục 5.2.6.

Để minh họa, xét một số ví dụ sau.

Ví dụ 1: Để kiểm tra một bể bơi 50m trước khi thi, dùng một thước dây tốt và một giá đỡ lực căng đặc biệt để đo. Ảnh hưởng của nhiệt độ và độ dẫn của thước không đáng kể. Thực hiện 6 lần đo, có các kết quả 50,005; 49,999; 50,003; 49,998; 50,004; 50,001 (m). Thước được bảo đảm có sai số vạch chia không vượt quá $\pm 3\text{mm}$. Tính chiều dài đo được của bể bơi, độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp u_c và độ không đảm bảo mở rộng U với mức tin cậy 95%.

Ta có: Chiều dài đo được của bể bơi (R) = Số đọc của thước (L) + Số hiệu chỉnh (C):

$$R = L + C; \quad \frac{\partial R}{\partial L} = 1; \quad \frac{\partial R}{\partial C} = 1$$

$$\bar{x} = \frac{50,005 + 49,999 + 50,003 + 49,998 + 50,004 + 50,001}{6} = 50,001\,667\text{m}$$

Phân tích độ không đảm bảo loại A: Từ $\bar{x}$ và các kết quả quan trắc ở trên tính được:

$$s = 2,804\,76\text{mm}$$

Độ không đảm bảo loại A:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{2,80476}{\sqrt{6}} = 1,145\,0\text{mm}$$

Độ không đảm bảo loại B:

Sai số vạch chia của thước không vượt quá $\pm 3\text{ mm}$; nó thể hiện nửa độ rộng của một phân bố chữ nhật với số bậc tự do bằng vô cùng. Như vậy:

$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{3}{\sqrt{3}} = 1,732, \text{ tức } u_B = 1,732\text{mm}$$

Các hệ số độ nhạy c_i đều bằng 1, nên:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 2,076\text{mm} \approx 2,08\text{mm}$$

Số bậc tự do hiệu dụng v_{eff} bằng:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{u_A^4}{\gamma_A} + \frac{u_B^4}{\gamma_B}} = \frac{(2,076)^4}{\frac{1,1450^4}{6-1} + \frac{1,732^4}{\infty}} = 54,1 \approx 54$$

Tra bảng, lấy t_s ứng với $\gamma = 54$ và $P = 95\%$, ta có $t_s = 2,01$

$$U = k u_c = 2,01 \cdot 2,08 = 4,2\text{ mm}$$

Chiều dài bề bơi được thông báo như sau:

“ $R = (50,001\,7 \pm 0,004\,2)\text{ m}$, số sau ký hiệu $\pm$ là trị số của $U = k u_c$ với bậc tự do $v = 54$ và mức tin cậy là 95% ”.

Ví dụ 2: Để xác định khối lượng một vật, ta cân lặp 10 lần trên một cân điện tử được các giá trị, tính theo đơn vị gam (g), như sau: 936,5; 936,4; 936,1; 936,8; 936,7; 936,4; 936,1; 936,4; 936,5 và 936,3.

Để xác định số hiệu chỉnh cho số chỉ của cân đã dùng 7 quả cân chuẩn và cân chúng trên cân điện tử 10 lần, được các giá trị, tính theo đơn vị gam (g), như sau: 936,0; 936,2; 936,0; 936,1; 936,0; 935,9; 936,0; 936,1; 936,1; 936,1.

Độ không đảm bảo của từng quả cân chuẩn nhận được từ giấy chứng nhận hiệu chuẩn kèm theo ứng với các mức tin cậy 99 % cho trong bảng sau và những độ không đảm bảo đã cho này có thể tin là đúng đến 20 % của giá trị đã cho.

Quả cân (g)	Độ không đảm bảo
500	$1,00 \cdot 10^{-3}$
300	$6,0 \cdot 10^{-4}$
100	$2,0 \cdot 10^{-4}$
20	$4 \cdot 10^{-5}$
10	$2 \cdot 10^{-5}$
5	$1 \cdot 10^{-5}$
1	$1 \cdot 10^{-5}$

Tìm khối lượng của vật và độ không đảm bảo của nó ?

Ta thực hiện các bước tính toán như sau:

– Tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của giá trị trung bình:

Từ 10 giá trị cân lặp m_i của vật, ta tính được $\bar{m}$; $s(m_i)$; $s(\bar{m})$:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^{10} m_i}{10} = 936,420\text{g};$$

$$s(m_i) = \sqrt{\frac{\sum (m_i - 936,420)^2}{10 - 1}} = 0,225\text{g}$$

$$s(\bar{m}) = \frac{s(m_i)}{\sqrt{10}} = 0,071\text{g}$$

Bậc tự do ở đây là: $\nu = 10 - 1 = 9$.

– Tính độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp của tổng các quả cân chuẩn:

+ Khối lượng tổng cộng M của các quả cân chuẩn:

$$M = \sum_{i=1}^7 M_i = 936,000\text{g}$$

+ Tìm độ không đảm bảo chuẩn của từng quả cân. Đã biết $P = 99 \%$, muốn biết t_s , phải biết bậc tự do ν tương ứng. Theo thông báo, độ không đảm bảo đã cho của quả cân có thể tin là đúng đến 20% của giá trị đã cho, điều này có nghĩa là:

$$\frac{\sigma[u(M_i)]}{u(M_i)} = 20\% = 0,20$$

Áp dụng công thức (5.17), ta có:

$$v_i = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0,20} \right)^2 = 12,5 \approx 12$$

Bảng 5.1 cho ứng với $P = 99\%$ và $v = 12$ có $t_s = 3,05$. Vậy:

$$u(M_1) = 1,00 \cdot 10^{-3} / 3,05 = 3,278\,69 \cdot 10^{-4}$$

$$u(M_2) = 6,0 \cdot 10^{-4} / 3,05 = 1,967\,21 \cdot 10^{-4}$$

$$u(M_3) = 2,0 \cdot 10^{-4} / 3,05 = 6,557\,3 \cdot 10^{-5}$$

$$u(M_4) = 4 \cdot 10^{-5} / 3,05 = 1,311\,4 \cdot 10^{-5}$$

$$u(M_5) = 2 \cdot 10^{-5} / 3,05 = 6,557 \cdot 10^{-6}$$

$$u(M_6) = 1 \cdot 10^{-5} / 3,05 = 3,278 \cdot 10^{-6}$$

$$u(M_7) = 1 \cdot 10^{-5} / 3,05 = 3,278 \cdot 10^{-6}$$

– Tính độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp của tổng các quả cân chuẩn

$$u_c(M), \text{ với } M = \sum_{i=1}^7 M_i :$$

$$\text{Có hàm: } M = M_1 + M_2 + \dots + M_7$$

$$\text{Áp dụng công thức (5.6), với lưu ý ở đây là: } \frac{\partial M}{\partial M_i} \equiv c_i \equiv 1$$

Ta có:

$$u_c(M) = \sqrt{\sum_{i=1}^7 [1 \cdot u(M_i)]^2} = 3,882\,4 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

– Tính bậc tự do hiệu dụng của $u_c(M)$:

Áp dụng công thức (5.16), với lưu ý ở đây $c_i \equiv 1$ và các bậc tự do v_i ứng với từng $u(M_i)$ đều là 12,5. Ta có:

$$v_{eff} = \frac{(3,8824 \cdot 10^{-4})^4}{\frac{[1,3,27869 \cdot 10^{-4}]^4}{12,5} + \dots + \frac{[1,3,278 \cdot 10^{-6}]^4}{12,5}} = 21,7$$

Tóm tắt kết quả tính toán cho các quả cân chuẩn:

$$M = \sum M_i = 936 \text{ g}$$

$$u_c(M) = 3,8824 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

$$v_M \approx 22$$

– Tính số hiệu chỉnh “b” cho số chỉ của cân:

Số chỉ trung bình của 10 lần cân lặp các quả cân chuẩn là:

$$\overline{M_{sc}} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} M_{sci} = 936,05 \text{ g}$$

$$s(M_{sci}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (M_{sci} - 936,05)^2}{10-1}} = 0,084983658 \text{ g}$$

$$s(\overline{M_{sc}}) = \frac{0,084983658}{\sqrt{10}} = 0,0268741925 \text{ g}$$

Số hiệu chỉnh cho số chỉ của cân là:

$$b = M - \overline{M_{sc}} = 936 - 936,05 = -0,05 \text{ g}$$

– Tính độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp của số hiệu chỉnh b:

$$u_c(b) = \sqrt{\left[\frac{\partial b}{\partial M} u(M) \right]^2 + \left[\frac{\partial b}{\partial \overline{M_{sc}}} u(\overline{M_{sc}}) \right]^2}$$

Vì $\frac{\partial b}{\partial M} = \frac{\partial b}{\partial \overline{M_{sc}}} = 1$ nên ta có:

$$u_c(b) = \sqrt{(1,38824 \cdot 10^{-4})^2 + [1,0,0268742]^2} = 2,688 \cdot 10^{-2} \text{ g}$$

$$v_b = \frac{(2,688 \cdot 10^{-2})^4}{\frac{[1,38824]^4}{21,7} + \frac{[1,0,0268742]^4}{9}} = 9,004$$

Tóm tắt kết quả tính toán cho số hiệu chỉnh:

$$b = -0,05 \text{ g};$$

$$u_c(b) = 2,688 \cdot 10^{-2} \text{ g};$$

$$v_b = 9.$$

– Khối lượng “m” của vật cân cân:

Ta có:

$$m = \bar{m} + b = 936,42 + (-0,05) = 936,37 \text{ g}$$

Vì $\frac{\partial m}{\partial m} = \frac{\partial m}{\partial b} = 1$, nên độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp của m là:

$$\begin{aligned} u_c(m) &= \sqrt{[1 \cdot u(m)]^2 + [1 \cdot u(b)]^2} \\ &= \sqrt{[1,0,071]^2 + [1,0,0268]^2} \\ &= 0,076\,085\,738\,5\text{ g} \end{aligned}$$

Như vậy ta có: $u_c(m) = 0,076\text{ g}$.

Bậc tự do v_m là:

$$v_m = \frac{(0,076)^4}{\frac{[1,0,071]^4}{9} + \frac{[1,0,027]^4}{9}} = 11,515$$

Tóm tắt các tính toán cho khối lượng của vật:

$$m = 936,37\text{ g}$$

$$u_c(m) = 0,076\text{ g}$$

$$v_m \approx 11.$$

– Thông báo kết quả

Phép đo khối lượng trên có thể thông báo như sau: “Khối lượng của vật $m = (936,370 \pm 0,076)\text{g}$, số sau ký hiệu $\pm$ là trị số của độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp u_c và không phải là khoảng tin cậy”.

Ngoài ra, với bậc tự do đã tính được $v_m = 11,5 \approx 11$ và mức tin cậy được lấy tùy theo yêu cầu. Bảng 5.1 cho phép xác định được hệ số phủ k ($k = t_s$), từ đó tính được độ không đảm bảo mở rộng $U = k u_c(m)$ ứng với mức tin cậy đã chọn.

Chương 6

PHƯƠNG PHÁP ĐO VÀ PHÂN LOẠI PHƯƠNG PHÁP ĐO

6.1. PHÂN LOẠI PHƯƠNG PHÁP ĐO

TCVN 6165:1996 (VIM:1993) đã định nghĩa phương pháp đo là trình tự logic của các thao tác được mô tả một cách tổng quát để thực hiện phép đo. Như vậy, phương pháp đo chính là cách thức sử dụng nguyên lý đo và phương tiện đo. Trong đó nguyên lý đo được hiểu là cơ sở khoa học của phép đo, cơ sở khoa học này về bản chất có thể là vật lý, hoá học hoặc sinh học. Ví dụ hiệu ứng nhiệt điện để đo nhiệt độ, hiệu ứng Josephson để đo hiệu điện thế, sự hấp thụ năng lượng dùng để đo nồng độ lượng chất, sự giảm nồng độ đường trong máu thỏ nhện ăn dùng để đo nồng độ insulin trong chất pha chế thuốc...

Hiện nay đã nghiên cứu được nhiều phương pháp đo có khả năng loại trừ khá tốt các sai số hệ thống do nguyên lý đo không tối ưu gây ra (sai số phương pháp), đồng thời đảm bảo cho kết quả đo có một độ tin cậy nhất định nào đó.

Khoa học kỹ thuật càng phát triển, số phương pháp đo ngày càng tăng và càng đa dạng. Tuy nhiên có thể sắp xếp chúng theo một đặc trưng chung nhất định đó là cách so sánh đại lượng đo với đơn vị đo. Theo cách này các phương pháp đo được chia thành hai nhóm: phương pháp đánh giá trực tiếp và phương pháp so sánh với vật đo.

Phương pháp đánh giá trực tiếp: là phương pháp đo trong đó giá trị đại lượng được đọc trực tiếp ngay trên bộ phận chỉ của phương tiện đo. Đo theo phương pháp này, người đo không phải thực hiện thêm một thao tác nào ngoài việc đưa đại lượng đo vào phương tiện đo. Ví dụ cân một vật trên cân đồng hồ, đo dòng điện bằng ampemét, đo nhiệt độ bằng nhiệt kế. Các phương tiện đo dùng trong phương pháp đánh giá trực tiếp đã được so sánh với vật đo đặc trưng cho đơn vị đo trong quá trình khắc độ thang đọc.

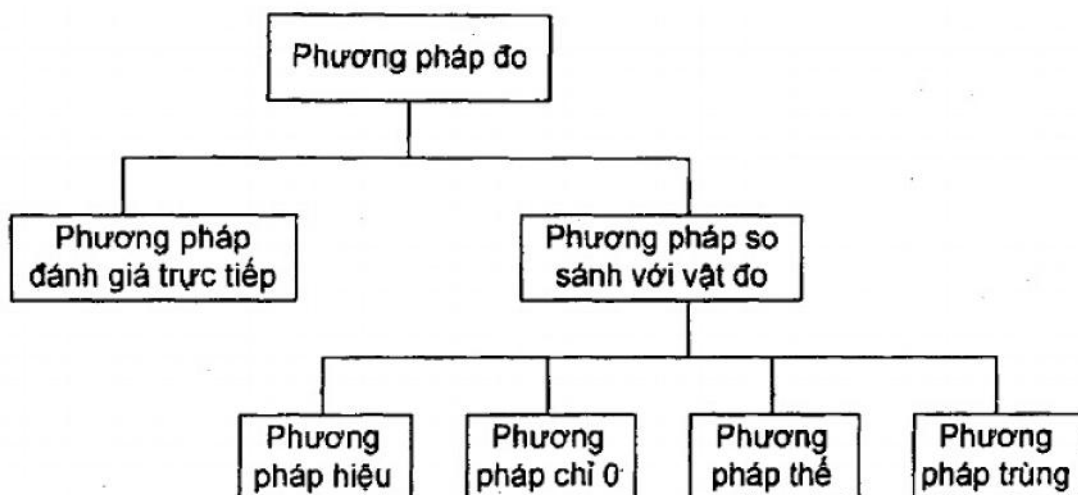
Phương pháp đo này rất đơn giản, mất ít thời gian, không cần tính toán nên được sử dụng nhiều trong sản xuất, ngay tại hiện trường. Độ chính xác của phương pháp này không cao do sai số khắc độ thang đọc, sai số đọc, do tác động của các đại lượng ảnh hưởng...

Phương pháp so sánh với vật đo: là phương pháp đo trong đó đại lượng đo được so sánh với đại lượng thể hiện bằng vật đo. Vật đo có độ lớn điều chỉnh được và có độ chính xác cao đã được lắp sẵn trên phương tiện đo, như máy bù, cầu đo hoặc ghép thành bộ với thiết bị đo. Quá trình so sánh có thể tiến hành với chính đại lượng đo hoặc thông qua đại lượng khác có liên quan với nó. Ví dụ, so sánh điện áp cần đo với điện áp mẫu hoặc đo điện trở bằng cách đo điện áp rơi trên điện trở đó (bởi một dòng điện đã biết) với điện áp mẫu lấy từ thiết bị so sánh ra.

Phương pháp so sánh cho khả năng nhận được kết quả đo với độ chính xác cao hơn phương pháp đánh giá trực tiếp. Sai số của phương pháp này chủ yếu xác định bởi sai số của vật đo dùng để so sánh và độ nhạy của dụng cụ hiển thị (điện kế, ống nghe, dao động ký...). Thực hiện phép đo theo phương pháp này đòi hỏi nhiều thời gian và điều kiện khắc khe, nên nó được dùng chủ yếu ở trong phòng thí nghiệm.

Phương pháp so sánh với vật đo được phân thành: phương pháp hiệu, phương pháp chi không (trong đó có phương pháp xung đối), phương pháp thế, phương pháp trùng.

Phương pháp hiệu: là phương pháp so sánh trong đó hiệu của đại lượng đo và đại lượng thể hiện bằng vật đo tác động lên dụng cụ chỉ thị. Đặc trưng của phương pháp đo này là người ta đo hiệu giữa đại lượng đo và đại lượng thể hiện bằng vật đo. Giá trị của vật đo được chọn gần với giá trị của đại lượng đo, điều này cho phép với một vật đo có độ chính xác cao người ta chỉ cần một phương tiện đo thông thường (độ chính xác thấp) cũng vẫn thu được kết quả đo có độ chính xác cao. Phương pháp này rất có ý nghĩa vì trong thực tế việc chế tạo một vật đo có độ chính xác cao dễ dàng hơn chế tạo một phương tiện đo có cùng độ chính xác. Giá trị đại lượng đo bằng tổng giá trị của vật đo và giá trị hiệu trên. Hiệu này đôi khi thể hiện ngay bằng độ lệch còn dư trên dụng cụ chỉ thị, vì thế các dụng cụ chỉ thị cũng thường được khắc vạch theo đơn vị của đại lượng đo.



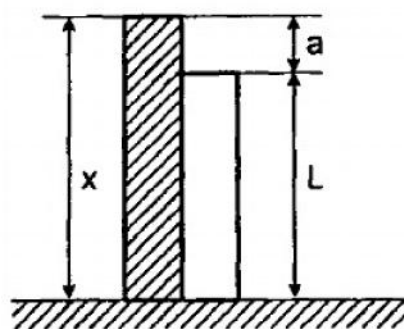
Hình 6.1. Phân loại phương pháp đo

Ví dụ: Để đo độ dài thanh kim loại x người ta đo hiệu a giữa x và thước L có độ dài đã biết với độ chính xác cần thiết (hình 6.2). Sai số đo a là $\pm\alpha$. Kết quả đo a sẽ là $a \pm \alpha$ hoặc $a(1 \pm \alpha/a)$, với α/a là sai số tương đối của phép đo a .

Tương tự như trên, kết quả phép đo x biểu thị bằng: $x = L \pm a(1 \pm \frac{\alpha}{L+a})$ với $\frac{\alpha}{L+a}$ là sai số tương đối của phép đo x .

So sánh hai biểu thức sai số tương đối ta thấy $\frac{\alpha}{L+a} < \frac{\alpha}{a}$ rất nhiều vì L rất lớn so với a .

Giả sử $L = 100\text{mm}$, $a = 1\text{mm}$ và $\alpha/a = 1\%$ tức $0,01$ thì $\frac{\alpha}{L+a} \approx \frac{\alpha}{L} = 0,0001$ hoặc $0,01\%$.

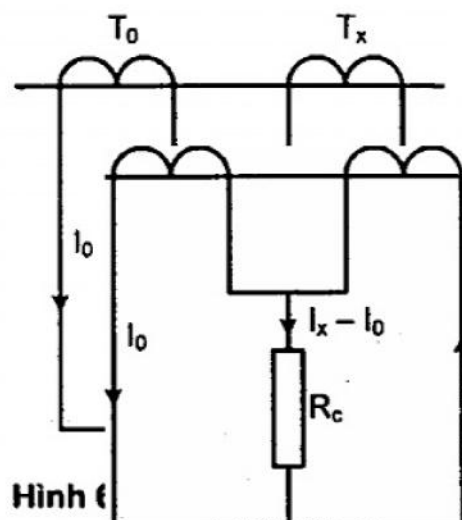


Hình 6.2. Phương pháp hiệu

Như vậy là bằng phương pháp hiệu có thể dùng phương tiện đo có độ chính xác thô (1%) mà kết quả đo vẫn đạt độ chính xác cao (0,01%), tất nhiên khi đó L phải có sai số bé hơn 0,01%.

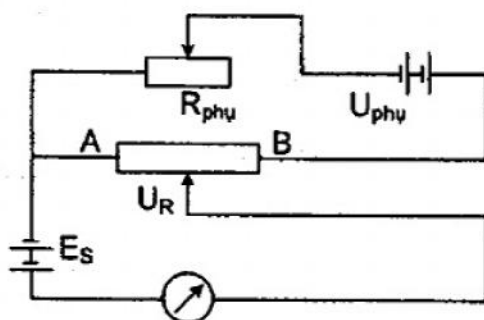
Sau đây là một ví dụ thứ hai về phép đo theo phương pháp hiệu, phương pháp này thường được dùng để kiểm định, hiệu chuẩn biến dòng, biến áp đo lường, tức là xác định sai số của hệ số biến đổi dòng, áp và sai số góc f_k, f_0 của chúng (hình 6.3).

Biến dòng mẫu T_0 và biến dòng kiểm T_x được đấu như hình vẽ: cuộn sơ cấp của chúng đấu nối tiếp nhau có dòng I_1 qua; hai cuộn thứ cấp đấu sao cho dòng thứ cấp I_0, I_x qua R_c chuẩn có chiều ngược nhau. Hiệu hai dòng sẽ gây ra trên R_c một độ sụt áp tỷ lệ thuận với hiệu hệ số biến dòng của máy tức là tỷ lệ thuận với sai số của hệ số biến dòng của máy cần kiểm tra (sai số của hệ số biến dòng trên máy chuẩn coi như bằng không).



Hình 6.3

Phương pháp chỉ “0”: là phương pháp đo trong đó tác dụng của các đại lượng so sánh được điều chỉnh để đưa số chỉ trên dụng cụ chỉ thị về vạch “0”. Đo theo phương pháp này đại lượng đo và vật đo (cùng bản chất) tác dụng đồng thời lên dụng cụ chỉ thị; điều chỉnh vật đo cho tới khi dụng cụ chỉ thị đạt trạng thái cân bằng, lúc đó giá trị đại lượng đo bằng giá trị vật đo. Phương pháp chỉ “0” rất phổ biến, ví dụ như phép đo điện áp E_x trên máy bù (vì điện áp E_x và điện áp mẫu U_k được mắc xung đối nhau qua điện kế nên trong đo lường điện phương pháp chỉ “0” còn được gọi là phương pháp xung đối, hình 6.3); đo khối lượng trên cân hai cánh tay đòn bằng nhau; đo nhiệt độ bằng quang hoá kế...



Hình 6.4. Phương pháp chỉ 0

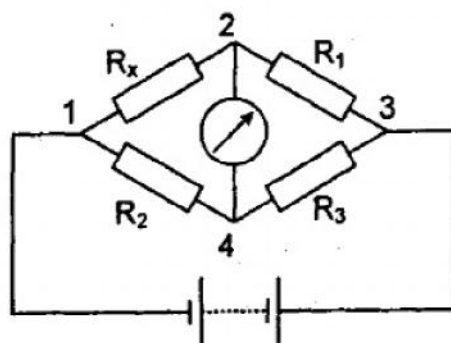
Khi đại lượng đo không mang năng lượng như điện trở, điện dung, điện cảm... ta không dùng phương pháp so sánh trực tiếp như trên. Trong trường hợp này dụng cụ so sánh, ví dụ cầu đo, phải chứa nguồn điện để gây ra điện áp rơi trên các đại lượng đo. Sau đó cân bằng điện áp trên các nhánh cầu sẽ suy ra độ lớn của điện trở, điện cảm, điện dung...

Phương pháp chỉ “0” là trường hợp đặc biệt của phương pháp hiệu. Trong phương pháp hiệu nếu điều chỉnh vật đo để hiệu bằng “0” ta sẽ có phương pháp chỉ “0”.

Đặc điểm trong phương pháp chỉ “0” là vật đo có giá trị điều chỉnh được, ví dụ như hộp điện trở biến đổi, hộp điện cảm biến đổi hoặc bộ quả cân... do đó dải đo tương đối rộng. Tuy nhiên việc thay đổi giá trị của vật đo không phải lúc nào cũng thuận tiện hoặc làm được. Để khắc phục nhược điểm này người ta dùng một vật đo có giá trị nhỏ để đo một đại lượng có giá trị lớn hơn nó nhiều lần như khi đo khối lượng bằng cân bàn tỷ lệ, cân treo...

Phương pháp chỉ “0” được áp dụng rộng rãi trong đo lường điện, khối lượng, quang học, nhiệt học... Ưu điểm của nó so với phương pháp hiệu (chủ yếu trong đo lường điện) là phép đo không tiêu thụ năng lượng của đối tượng đo nên kết quả đo đạt độ chính xác cao.

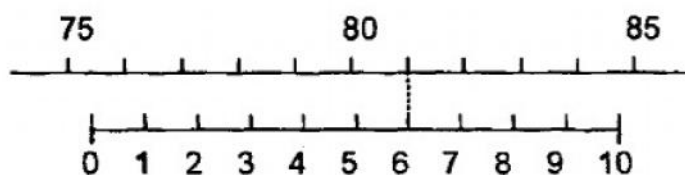
Phương pháp thế: là phương pháp đo trong đó đại lượng đo được thay thế bởi đại lượng thể hiện bằng vật đo. Thực chất của phép đo theo phương pháp này là đại lượng đo sau khi đã được cân bằng trên phương tiện đo (ví dụ ở cầu đo bằng cách điều chỉnh các nhánh còn lại, hình 6.4; hoặc ở cân đều tay đòn bằng cách điều chỉnh bi ở bên đĩa cân kia) được thay thế bằng vật đo, sau đó điều chỉnh vật đo để cho dụng cụ chỉ thị trở lại trạng thái cân bằng cũ. Đại lượng đo có giá trị bằng độ lớn của vật đo đã được điều chỉnh. Đo bằng phương pháp thế đạt độ chính xác cao so với các phương pháp so sánh khác vì đại lượng đo và vật đo cùng được đặt vào một phần tử của phương tiện đo (trên cùng một đĩa cân, trong cùng một nhánh cầu) do đó loại trừ được sai số do tính không đối xứng của mạch đo gây ra, như sự không bằng nhau của hai cánh tay đòn trong cân đều tay đòn, cũng như các ảnh hưởng khác của dung kháng, của nhiệt độ trong các nhánh cầu...



Hình 6.5. Phương pháp thế

Phương pháp thế là một trong các phương pháp đo để loại trừ sai số hệ thống của phương tiện đo. Trong lĩnh vực đo lường khối lượng nó được coi như phương pháp đo chính xác nhất và đôi khi còn gọi là phương pháp cân lặp, hoặc phương pháp cân Borda.

Phương pháp trùng: là phương pháp đo trong đó giá trị đại lượng đo được xác định bằng cách sử dụng sự trùng của vạch trên thang đo hoặc của tín hiệu đặc trưng cho giá trị của đại lượng đo với vạch hoặc tín hiệu tương tự của đại lượng cùng loại có giá trị đã biết chính xác. Ví dụ muốn biết 1 inch bằng bao nhiêu mm, người ta đặt hai thước khắc vạch theo milimét (mm) và theo inch (in) sao cho vạch "0" của chúng trùng nhau, rồi quan sát kỹ trên hai thước để tìm một cặp vạch trùng khít nhau, kết quả cho ta: vạch 127 mm trùng với vạch 5 in, vạch 254 mm trùng với vạch 10 in, từ đó suy ra 1 in bằng 25,4 mm.



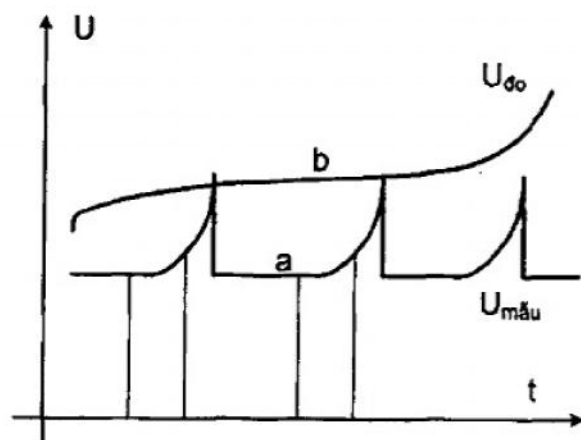
Hình 6.6. Phương pháp trùng

Du xích trên thước cặp cũng được chế tạo theo nguyên lý của phương pháp trùng. Giả sử thang chính của thước cặp khắc vạch theo mm, thang du xích có 10 vạch, giá trị mỗi vạch 0,9 mm, độ chênh lệch giữa giá trị vạch trên thang chính và thang du xích là 0,1 mm. Khi vạch "0" của thang du xích nằm giữa các vạch trên thang chính có nghĩa là ngoài phần nguyên mm đọc trên thang chính còn phải cộng thêm một số phần mười mm (0,1 mm) nào đó (gọi là x). Để xác định x, ta tìm xem vạch thứ mấy của thang du xích trùng khít với một vạch nào đó của thang chính, ví dụ vạch số 6 (hình 6.6) ta có:

$$0,1\text{mm} \cdot x = 1\text{mm} \cdot 6 - 0,9\text{mm} \cdot 6 = 0,1\text{mm} \cdot 6 = 0,6\text{mm}.$$

Để thấy ngay x chính là số đọc được trên thang du xích. Hình vẽ 6.6 cho giá trị đo đọc được là 75,6 mm.

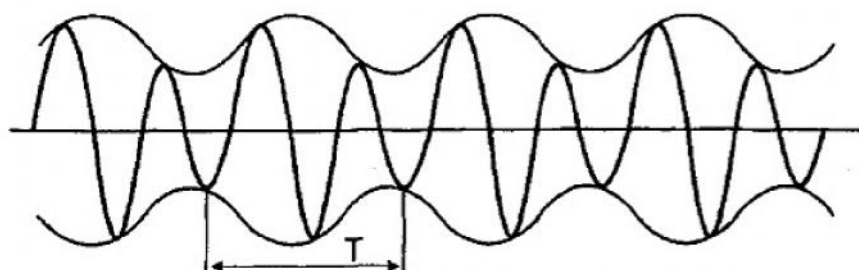
Phương pháp này cũng thường được dùng trong phương tiện đo hiện số, giá trị đại lượng đo xác định theo số xung đếm được kể từ lúc phát xung đếm a đến điểm trùng phùng b của giá trị đo với vật đo mẫu biến thiên theo quy luật nhất định. Biết số xung sẽ suy ra U mẫu do đó suy ra U đo (hình 6.7).



Hình 6.7. Nguyên lý trùng tín hiệu

Nguyên lý trùng của các tín hiệu cũng được sử dụng rộng rãi để thu các tín hiệu tần số, thời gian (theo phương pháp du xích). Ngoài ra nó còn được dùng làm cơ sở cho các phép đo độ dài, tốc độ vòng quay bằng cách sử dụng các hiện tượng phách, giao thoa và hoạt nghiệm.

Hiện tượng phách: Tổng hai dao động cao tần có tần số gần nhau sẽ cho một dao động với tần số bằng hiệu hai tần số thành phần, đó là hiện tượng phách. Hiện tượng này có thể quan sát trên dao động ký, bằng tai nghe... Ví dụ tổng hợp hai dao động có tần số 100 kHz và 100,1 kHz, dao động tổng hợp sẽ có tần số 0,1 kHz, trong tai nghe ta sẽ nghe thấy âm thanh lúc to, lúc nhỏ theo tần số 0,1 kHz, chu kỳ một phách sẽ là khoảng thời gian giữa 2 âm thanh cực tiểu liên tiếp (hình 6.8).



Hình 6.8. Hiện tượng phách

Hiện tượng phách được ứng dụng trong kỹ thuật vô tuyến để so sánh một dao động với một dao động có tần số biết trước. Người ta điều chỉnh tần số chuẩn cho tới khi tần số phách bằng 0, hoặc bằng một giá trị nhất định nào đó. Biết tần số chuẩn, tần số phách, sẽ suy ra tần số cần đo.

Hiện tượng giao thoa: Phách là tổng hợp của hai sóng bất kỳ có tần số gần bằng nhau, còn giao thoa là tổng hợp của hai sóng có cùng tần số gọi là hai sóng kết hợp (vì vậy trong hiện tượng giao thoa hai sóng này thường xuất phát từ cùng một nguồn).

Ở một điểm nào đó trong trường quan sát nếu ta nhận được hai sóng kết hợp có cùng biên độ nhưng khác pha nhau:

$$y_1 = a \sin\left(\frac{2\pi \times t}{T} + \varphi_1\right) \text{ và } y_2 = a \sin\left(\frac{2\pi \times t}{T} + \varphi_2\right)$$

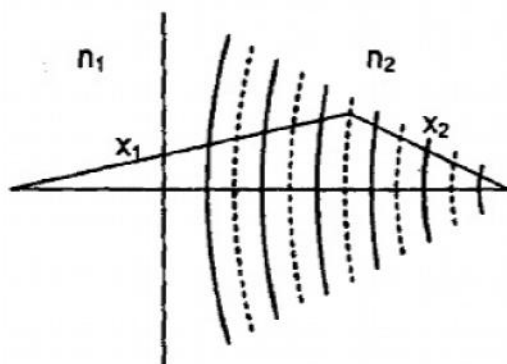
thì dao động tổng hợp được mô tả bằng biểu thức:

$$y = A \sin\left(\frac{2\pi \times t}{T} + \varphi\right)$$

với φ_1 là pha của dao động thứ nhất, φ_2 là pha của dao động thứ hai, φ và A là pha và biên độ của dao động tổng hợp. Biên độ A có giá trị bằng:

$$A = 2a \cos \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}$$

Ở điểm có $\varphi_1 - \varphi_2 = 2k\pi$, tức hai dao động thành phần đồng pha, dao động tổng hợp có biên độ cực đại. Ở điểm hai dao động thành phần ngược pha nhau, dao động tổng hợp có biên độ cực tiểu. Trong trường hợp giao thoa ta sẽ quan sát thấy các vân tối, vân sáng xen kẽ nhau (hình 6.9). Vân sáng là quỹ tích những điểm tại đó hai dao động thành phần đồng pha, vân tối là quỹ tích những điểm tại đó hai dao động thành phần ngược pha nhau.



Tại một thời điểm nào đó hình ảnh của trường giao thoa phụ thuộc vào độ lệch pha $\varphi_1 - \varphi_2$, tức phụ thuộc vào điểm quan sát, ngược lại tại một điểm nhất định, thì hình ảnh lại phụ thuộc trạng thái dao động của hai nguồn. Có thể biểu thị hiệu số pha $\varphi_1 - \varphi_2$ thông qua hiệu số quang lộ $L_1 - L_2$ với định nghĩa:

$$L_1 - L_2 = x_1 n_1 - x_2 n_2$$

với x_1, x_2 là quãng đường hình học của tia sáng truyền từ hai nguồn tới điểm xét; n_1, n_2 là chiết suất của tia sáng đối với hai môi trường.

Nếu tại thời điểm nào đó $L_1 - L_2 = k\lambda$ thì ở những điểm đó hai dao động tới đồng pha và tạo thành vân sáng ($k = 0, 1, 2, \dots$ và λ là bước sóng ánh sáng tới).

Nếu $L_1 - L_2 = (2k + 1) \lambda/2$, tại những điểm đó, hai dao động tới ngược pha và tạo thành vân tối.

Hai vân sáng tối liên tiếp cách nhau $\lambda/2$, hai vân sáng liên tiếp cách nhau một bước sóng.

Hiện tượng giao thoa ánh sáng được ứng dụng rộng rãi trong các phép đo độ dài với độ chính xác cao bằng giao thoa kế (hình 6.10) trong đó:

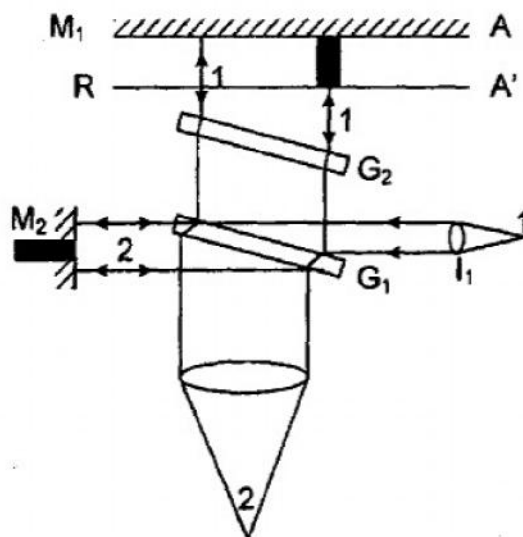
AA' : độ dài cần đo;

M_1 : gương phẳng cố định;

M_2 : gương phẳng chuyển dịch nhờ một vít đẩy tế vi sao cho mặt phẳng ảnh R của nó qua G_1 lần lượt chuyển dần từ mặt A tới mặt A' một đoạn bằng chiều dài muốn đo AA' ;

G_1, G_2 : hai gương bán mạ bạc có cùng độ dày.

Trong giao thoa kế, giao thoa của hai sóng từ hai nguồn sáng M_1, M_2 tương đương với sự giao thoa của hai sóng từ hai nguồn M_1 và R rọi tới.



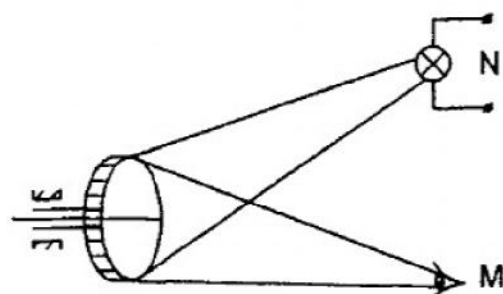
Hình 6.10. Giao thoa kế

Phép đo trên giao thoa kế được tiến hành như sau: đếm số vân sáng biến mất tại một điểm nào đó trong trường giao thoa khi chuyển dịch một trong hai nguồn sáng (ví dụ gương M_2 trong hình 6.10) đi một đoạn bằng chiều dài muốn đo AA' . Tích giữa bước sóng ánh sáng thí nghiệm và số vân đếm được cho ta độ dài AA' .

Giao thoa kế còn được dùng để xác định chính xác hệ số nở nhiệt của chất rắn, đo chiết suất chất khí, chất lỏng và thử nghiệm phẩm chất của thấu kính.

Hiện tượng hoạt nghiệm: Một trong những phương pháp đo vận tốc quay chính xác nhất là phương pháp sử dụng hiệu ứng hoạt nghiệm.

Nguyên lý phương pháp này như sau: mắt người có thể giữ lại hình ảnh của vật lâu tới 1/10 giây sau khi vật biến mất, vì vậy nếu đánh dấu một điểm nào đó trên trục quay bằng một vạch kẻ màu (hình 6.11, N là nguồn sáng và M là mắt người quan sát) rồi chiếu sáng trục bằng những chớp sáng tuần hoàn thì khi tần số quay của trục và tần số chớp sáng bằng nhau ta sẽ thấy vạch hầu như đứng yên. Nếu tần số chớp sáng N khác tần số quay f của trục, vạch sẽ chuyển động quay với tần số $f - N$, dấu của hiệu này sẽ xác định phương quay: + vạch quay theo chiều quay của trục, - vạch quay theo chiều ngược lại.



Hình 6.11. Hiện tượng hoạt nghiệm

Để có những chớp sáng với tần số nhất định người ta dùng các đèn phóng điện chất khí đặc biệt; tần số chớp sáng có thể điều chỉnh được. Mắt phát hiện được sự quay của vạch dù rất chậm. Người đo điều chỉnh tần số chớp sáng cho đến khi vạch đứng yên. Khi đó, tần số quay bằng tần số chớp sáng.

Người quan sát nhìn thấy một vạch đứng yên không chỉ trong trường hợp $N_1 = f$, mà cả trong trường hợp $N_2 = f/2$; $N_3 = f/3$,... $N_k = f/k$... Giả sử trong khi đo với N_k ta thấy vạch màu đứng yên, giảm tần số chớp sáng xuống N_{k+1} ta lại thấy vạch màu đứng yên. Tỷ số: $\frac{N_k}{N_{k+1}} = \frac{f/k}{f/(k+1)} = \frac{k+1}{k}$ chỉ bằng

2 trong trường hợp $k = 1$, tức trường hợp $N_1 = f$, còn trong các trường hợp khác tỷ số này nhất định sẽ nhỏ hơn 2. Bằng cách này ta xác định được chính xác lúc nào tần số quay và tần số chớp sáng thực sự bằng nhau.

Phương pháp đo trên tương tự như phương pháp trùng khi so sánh đại lượng đo với vật đo. Độ chính xác của phương pháp này phụ thuộc độ chính xác của việc tạo các tần số chớp sáng, của việc đo tần số này và của phép ghi thời điểm vạch đứng yên...

Ưu điểm của phép đo bằng hoạt nghiệm là không tiêu thụ năng lượng của đối tượng đo. Điều này đặc biệt quan trọng đối với đối tượng đo có công suất nhỏ, như động cơ công suất nhỏ, tuabin khí, con quay...

6.2. PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐIỆN CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN

Cùng với sự phát triển của khoa học và sản xuất, số đại lượng đòi hỏi phải đo ngày càng nhiều và càng đa dạng, trong đó các đại lượng không điện như cơ, quang, nhiệt, âm, hoá lý... chiếm số đông so với các đại lượng điện từ. Đo các đại lượng không điện này bằng phương pháp đo điện là con đường có hiệu quả để giải quyết nhu cầu trên. Đặc điểm của phương pháp này là không đo chính đại lượng cần đo mà đo các tín hiệu điện biến đổi từ đại lượng đo bằng các phương pháp đo điện quen thuộc. Vì vậy, trong các phương tiện đo theo phương pháp này bao giờ cũng có bộ chuyển đổi đại lượng cần đo thành một đại lượng nào đó có thể đo bằng phương pháp đo điện. Phương pháp này tạo điều kiện nâng cao độ chính xác của phép đo, đồng thời mở ra khả năng đo một số đại lượng mà trước kia tưởng như không đo được. Lý do là đo bằng phương pháp điện có một số ưu điểm như tính vạn năng, quán tính nhỏ (có thể đo được những thông số biến thiên theo thời gian rất nhanh), khuếch đại lớn, đo từ xa, truyền được kết quả đi xa...

Phương pháp đo các đại lượng không điện bằng phương pháp điện rất khác nhau, chủ yếu là do sự khác nhau về cơ sở vật lý của bộ chuyển đổi.

6.2.1. Hiệu ứng nhiệt điện

Hai sợi kim loại khác bản chất hàn với nhau thành mạch kín, khi có chênh lệch nhiệt độ giữa hai đầu mối hàn, trong mạch kín sẽ xuất hiện sức điện động phụ thuộc chênh lệch nhiệt độ Δt và bản chất cặp dây kim loại. Ứng dụng hiệu ứng này trong sản xuất cặp nhiệt điện để đo nhiệt độ đầu nóng (ví dụ đưa vào lò) khi nhiệt độ mối hàn lạnh giữ không đổi thông qua việc đo sức điện động bằng milivôn mét. Phép đo nhiệt độ này đạt độ chính xác khá cao.

6.2.2. Hiệu ứng nhiệt – điện trở

Dây kim loại hoặc bán dẫn bị nóng, điện trở sẽ thay đổi, do đó dòng điện biến thiên. Ứng dụng hiện tượng này người ta sản xuất ra phương tiện đo nhiệt độ theo điện trở gọi là nhiệt kế điện trở. Phần tử điện trở nhiệt phải làm bằng kim loại tinh khiết hoặc bán dẫn, có hệ số nhiệt điện trở ổn định và rất cao, cho phép đo những biến thiên nhiệt độ nhỏ hoặc nhiệt độ của những vật có kích thước bé.

6.2.3. Hiệu ứng tensor

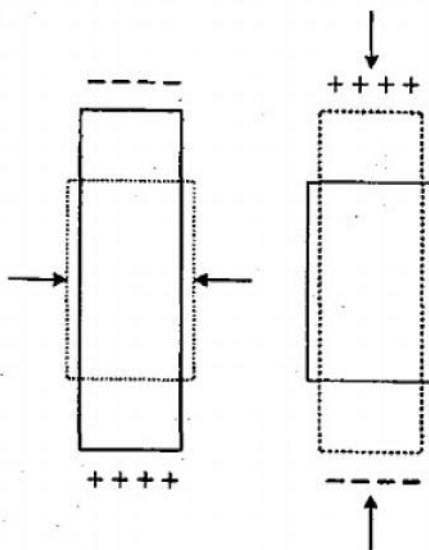
Nếu tác dụng vào vật dẫn một lực nén nào đó, ví dụ của chất khí hoặc chất lỏng, thì kích thước hình học và sự sắp xếp các tinh thể kim loại của vật sẽ thay đổi dẫn tới sự thay đổi điện trở thuần của nó. Hiện tượng thay đổi điện trở này gọi là hiệu ứng tensor và được dùng để chế tạo các bộ phận chuyển đổi làm nhiệm vụ chuyển đổi thông tin vào (lực nén ứng lực hoặc những biến dạng cỡ rất nhỏ) thành những biến đổi của điện trở để đo bằng phương pháp điện. Các điện trở tensor này thường được sử dụng bằng hai cách:

- Đặt nằm trong thể tích bị nén, đại lượng vào bộ chuyển đổi là áp suất chất khí, chất lỏng. Dựa vào nguyên tắc này người ta chế tạo ra áp kế điện trở để đo áp suất cao và siêu cao.

- Dán lên mặt bị biến dạng, điện trở biến thiên tỷ lệ với độ biến dạng. Cách này thường được dùng để nghiên cứu độ biến dạng của các phần tử máy khi làm việc, hoặc của mặt cầu khi xe đi qua.

6.2.4. Hiệu ứng áp điện

Dưới tác dụng của lực cơ học, một số chất có cấu tạo tinh thể (ví dụ thạch anh...) sẽ bị phân cực điện theo một hướng nhất định và do đó xuất hiện hiệu điện thế giữa hai mặt tinh thể đó. Hiện tượng này gọi là hiện tượng áp điện thuận (hình 6.12).



Hình 6.12. Hiệu ứng áp điện

Ngược lại nếu tinh thể nằm trong điện trường (bị phân cực) nó sẽ bị biến dạng, đó là hiệu ứng nghịch.

Đặc điểm của hiệu ứng áp điện là:

- Độ lớn hiệu điện thế phụ thuộc cường độ lực tác dụng và không có quán tính;

- Khi thay đổi chiều hoặc hướng tác dụng của lực (nén, dãn), điện áp xuất hiện trên mặt tinh thể sẽ thay đổi dấu;

- Thay đổi dấu điện áp, chiều biến dạng của tinh thể cũng sẽ thay đổi.

Hiệu ứng áp điện được ứng dụng rất rộng rãi trong đo lường:

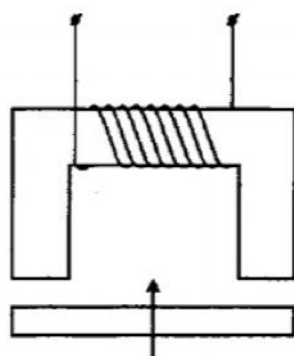
- Hiệu ứng thuận: dùng làm bộ chuyển đổi để đo lực, áp suất, chấn động, tần số dao động. Vì tinh thể nhỏ, bền, do đó hiệu ứng này rất có triển vọng sử dụng trong đo lường cơ khí.

- Hiệu ứng nghịch: tinh thể áp điện được dùng như phần tử bức xạ siêu âm và tạo ra các chuyển dịch nhỏ trong role áp điện, dùng làm phần tử ổn định dao động trong máy phát vô tuyến...

6.2.5. Hiện tượng cảm ứng, điện cảm, từ giảo

- Hiện tượng cảm ứng: Ở cuộn dây chuyển dịch trong từ trường gây ra bởi nam châm tĩnh sẽ xuất hiện một suất điện động cảm ứng. Độ lớn của suất điện động này phụ thuộc tốc độ chuyển dịch. Bộ biến đổi cảm ứng chính là một máy phát điện nhỏ được lắp trong các phương tiện đo độ dịch chuyển cỡ nhỏ, ví dụ phương tiện đo bánh răng, đo tốc độ vòng quay, đo mômen quay...

- Hiện tượng điện cảm: Trên mạch từ có quấn cuộn dây (hình 6.13), người ta thay đổi mạch từ bằng cách chuyển dịch phần tử sắt, hoặc đưa vật không nhiễm từ vào khe không khí, điện cảm của cuộn dây sẽ thay đổi dẫn tới tổng trở Z của mạch có cuộn dây biến thiên. Bộ chuyển đổi điện cảm này được sử dụng trong các máy đo các đại lượng rất khác nhau, ví dụ như tốc độ, gia tốc, lực và lưu lượng chất lỏng, chất khí... nhưng không chính xác bằng các máy đo theo phương pháp giao thoa.



Hình 6.13. Hiện tượng điện cảm

– Hiện tượng từ giảo: Độ từ thẩm của chất sắt từ sẽ thay đổi khi nó chịu tác dụng của một lực cơ học (kéo, nén, uốn, xoắn) và ngược lại khi đưa chất sắt từ vào trong từ trường thì nó sẽ bị biến dạng cơ học. Đó là hiện tượng từ giảo.

Ứng dụng hiện tượng này trong bộ biến đổi từ giảo để đo những dao động âm, siêu âm thông qua việc đo sự biến thiên của tổng trở trong mạch đo.

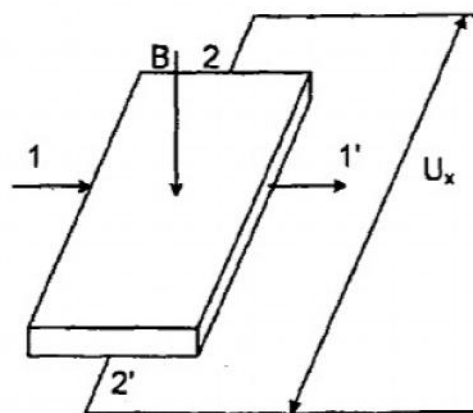
6.2.6. Hiệu ứng từ Hall

Một tấm vật dẫn hoặc bán dẫn có dòng điện I chạy qua từ cực 1 – 1' (hình 6.14) đặt trong từ trường có cường độ cảm ứng từ B , giữa hai cực 2–2' thẳng góc với B sẽ xuất hiện một điện áp U_x . Giá trị điện áp này khi hở mạch sẽ tỷ lệ thuận với cường độ dòng điện và cảm ứng từ B :

$$U_x = S_x \cdot I \cdot B$$

với S_x là độ nhạy của bộ biến đổi, phụ thuộc vào vật liệu và kích thước của nó.

Hiện tượng này được sử dụng trong bộ chuyển đổi galvanic từ để đo B theo U_x khi I không đổi. Phương tiện đo dựa vào hiệu ứng Hall ngày càng được dùng phổ biến để đo cường độ cảm ứng từ do nó có một số ưu điểm nổi bật như: độ nhạy cao, đọc ngay được độ lớn của B , kích thước bộ chuyển đổi nhỏ, có thể đo được ở những khe rất nhỏ.



Hình 6.14. Hiệu ứng từ Hall

6.2.7. Điện dung tụ phẳng

Điện dung của tụ phẳng được tính theo công thức:

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

với: S là diện tích phần đối diện trên hai tấm tụ điện;

ϵ là hằng số điện môi;

d là khoảng cách giữa hai tấm.

Thông số điện dung của tụ có thể thay đổi theo d , ϵ , S . Bản thân ϵ của một chất lại phụ thuộc nhiệt độ và độ ẩm. Bộ chuyển đổi điện dung dùng tụ phẳng được sử dụng trong các phương tiện đo các độ chuyển dịch nhỏ cỡ 10^{-7} đến 10^{-3} m, hoặc đo bề dày lớp điện môi, đo độ ẩm của các hạt, các sản phẩm.

6.2.8. Hiệu ứng quang điện

Dưới tác dụng của ánh sáng, điện trở một số chất sẽ thay đổi hoặc điện tử tự do của lớp kim loại nhạy ánh sáng phủ mặt trong bóng đèn chân không sẽ bứt ra và bị điện trường đẩy chạy về anốt tạo thành dòng quang điện. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng quang điện trong và ngoài.

Người ta ứng dụng hiệu ứng này để chế tạo ra các bộ chuyển đổi quang điện, như tế bào quang điện, bộ nhân quang photodiôt, quang điện trở, đèn ba cực quang... Những chuyển đổi này được sử dụng trong các phương tiện đo các đại lượng đặc trưng của ánh sáng, để điều khiển tự động các mạch đo theo tín hiệu ánh sáng...

6.2.9. Hiệu ứng quang nhiệt

Độ chói của vật phát sáng ở nhiệt độ cao phụ thuộc vào nhiệt độ của nó, mặt khác nhiệt độ của dây tóc trong bóng đèn khi có dòng điện đi qua lại phụ thuộc cường độ dòng điện. Do đó người ta đã dùng các bộ chuyển đổi là những đèn nhiệt độ để chế tạo quang hoá kế đo từ xa nhiệt độ cao của các đối tượng không lại gần được (lò, các ngôi sao...) căn cứ theo hiện tượng trùng nhau giữa độ chói của đối tượng đo và đèn chuẩn.

6.2.10. Độ pH và chuyển đổi gavanic

Ở nước nguyên chất thường có một số rất ít phân tử bị phân ly thành ion H^+ và OH^- , song nồng độ OH^- và H^+ luôn luôn bằng nhau.

Nếu cho thêm axit vào nước nguyên chất, số ion H^+ trong dung dịch tăng lên và OH^- giảm xuống, kết quả số ion H^+ (phân tử mang chức năng axit) lớn hơn số ion OH^- (phân tử mang chức năng kiềm) và dung dịch sẽ mang tính chất axit.

Người ta làm thí nghiệm và khẳng định rằng với dung dịch nước nguyên chất hoặc có pha axit, bazơ bất kỳ, bao giờ $a_{H^+} \times a_{OH^-}$ cũng là hằng số ở nhiệt độ nhất định. Ở 25 °C, tích này bằng 10^{-14} (a_{H^+} , a_{OH^-} là độ hoạt tính của H^+ và OH^- , phụ thuộc vào nồng độ của chúng).

Như vậy để đặc trưng cho tính chất của một dung dịch, có thể căn cứ vào độ hoạt tính của ion H^+ .

$a_{H^+} = a_{OH^-} = 10^{-7}$: nước trung tính;

$a_{H^+} > a_{OH^-}$: nước mang tính axit (ví dụ: $a_{H^+} = 10^{-5}$; $a_{OH^-} = 10^{-9}$);

$a_{H^+} < a_{OH^-}$: nước mang tính kiềm (ví dụ: $a_{H^+} = 10^{-8}$; $a_{OH^-} = 10^{-6}$).

Tuy nhiên để thuận tiện người ta thường đặc trưng tính chất của một dung dịch thông qua một hệ số gọi là độ pH với định nghĩa: độ pH của dung dịch có giá trị bằng $-\log$ của hoạt tính của ion H^+ :

$$pH = -\log a_{H^+}$$

Thực chất của độ pH là với nồng độ ion H^+ khác nhau (a_{H^+} khác nhau) khi nhúng một điện cực nào đó vào dung dịch sẽ hình thành một hiệu điện thế xác định giữa cực và lớp dung dịch tiếp xúc với cực. Hiệu điện thế này là hàm số của độ hoạt tính a_{H^+} , tức là hàm của độ pH và được tính theo công thức Nernst:

$$E(U) = -0,059 \text{ pH ở } 25^\circ\text{C}$$

Độ hoạt tính của H^+ trong dung dịch có thể xác định bằng cách dùng chất chỉ thị màu, song để xác định định lượng, người ta thường dùng phương pháp điện, thông qua việc đo điện thế tiếp xúc giữa cực và chất lỏng do ion H^+ gây ra (pH).

Đo điện thế (bằng phương pháp bù) sẽ suy ra độ pH, tức độ hoạt tính của dung dịch. Phương tiện đo chứa phần tử chuyển đổi nồng độ H^+ (a_{H^+}) sang điện thế để đo độ pH bằng phương pháp điện gọi là pH mét.

pH mét sử dụng rất nhiều trong y tế, nông nghiệp, công nghiệp, chế biến thực phẩm để đo độ axit của dung dịch.

6.2.11. Hiện tượng ion hoá

Dưới tác dụng của tia phóng xạ (α , γ ...) hoặc các nguồn ion hoá khác (ngọn lửa, dòng điện tử bay nhanh) các phân tử khí sẽ bị ion hoá, cường độ dòng điện ion hoá phụ thuộc vào mật độ điện tích tạo thành, tức phụ thuộc vào nồng độ khí nghiên cứu. Vậy thông qua cường độ dòng ion hoá, xác định được nồng độ phần trăm của các khí thành phần đã được tách ra từ một hỗn hợp khí.

Bộ chuyển đổi nồng độ – ion hoá được ghép vào thiết bị phân tích khí, có bộ phận khuếch đại sẽ cho phép đo được nồng độ khí. Phương tiện đo này được gọi là sắc ký khí được dùng nhiều trong các lĩnh vực nghiên cứu sinh vật, y tế, vũ trụ, điều tra hình sự. Trong công nghiệp hoá dầu, phương pháp phân tích bằng sắc ký khí chiếm tới 80 – 95 % tổng số các phép phân tích.

6.3. NHỮNG PHÁT TRIỂN MỚI VỀ PHƯƠNG PHÁP ĐO

Cùng với sự phát triển của khoa học và công nghệ, trong những thập kỷ gần đây đã có những phát triển mới, rất nhanh về cách sử dụng nguyên lý đo và phương tiện đo. Từ những phương pháp đo tĩnh cơ bản ban đầu, người ta đã xây dựng lý luận, phương pháp và thiết bị đo động, đo quá trình nhanh, đo quá trình ngẫu nhiên, đo điều khiển từ xa, đo tự động... Kỹ thuật đo đã có những phát triển hết sức to lớn về phương pháp tổ chức các hệ thống đo lường. Đó là sự tổng hợp các phương pháp của kỹ thuật tin học, kỹ thuật mạch điện tử và kỹ thuật cảm biến (sensor). Trong đó, việc ứng dụng kỹ thuật tin học (vi xử lý – vi tính) là một yếu tố nổi bật và phổ biến đang tạo nên những thay đổi to lớn trong việc cải tiến và phát triển phương pháp đo và phương tiện đo. Có thể nêu một số hướng lớn của việc áp dụng tổng hợp kỹ thuật tin học, kỹ thuật điện tử và kỹ thuật cảm biến cho đo lường dưới đây:

- Mở rộng khả năng, nâng cao tốc độ và tính linh hoạt của việc thu nhận và xử lý các đại lượng đo. Đã và sẽ xuất hiện những hệ thống đo hợp bộ chuyên dùng để điều khiển, điều chỉnh quá trình công nghệ, quan sát và dự báo khí tượng; những hệ thống đo tự động thực hiện việc xử lý số liệu, tự động phân tích kết quả đo, tự động quyết định thời gian lấy mẫu, tự động lưu giữ số liệu, tự động mã hoá và giao tiếp đối thoại...

- Mở rộng và hoàn thiện khả năng lưu giữ, quản lý và khai thác các kho số liệu đo lớn. Các kết quả đo được thường xuyên lưu giữ vào kho và được các bộ phận khác nhau trong hệ xâm nhập đọc ra để sử dụng, để tính toán cho việc tự động phục hồi lại quá trình; hiển thị hoặc in ra dưới dạng số, biểu đồ, đồ thị... cho người hoặc máy sử dụng.

- Điều khiển và quản lý việc truyền số liệu đo và lệnh điều khiển từ xa. Nội dung cơ bản của việc đo lường – điều khiển từ xa là mã hoá – giải mã – hiệu chỉnh sai sót – truyền và phân phối số liệu đo, truyền và phân phối lệnh từ nơi gửi đến nơi nhận. Sự tích hợp kỹ thuật tin học, kỹ thuật điện tử và kỹ thuật cảm biến đang tạo ra những điều kiện và khả năng phong phú để giải quyết các nhiệm vụ đo lường trong từng công đoạn của quá trình đo lường – điều khiển từ xa.

Chương 7

PHƯƠNG TIỆN ĐO

Trong chương này sẽ lần lượt trình bày những kiến thức chung về phương tiện đo như định nghĩa, phân loại, các đặc trưng kỹ thuật và đo lường cơ bản của phương tiện đo... Những dạng đặc biệt của phương tiện đo như vật đo, bộ chuyển đổi đo, hệ thống đo cũng được mô tả trong chương này.

7.1. PHƯƠNG TIỆN ĐO

7.1.1. Định nghĩa và phân loại

Phương tiện đo là thiết bị được dùng độc lập hoặc cùng với các thiết bị phụ để thực hiện phép đo.

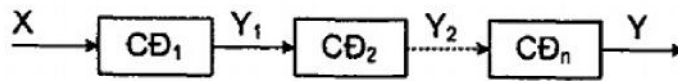
Về phương diện cấu trúc, một phương tiện đo bất kỳ bao gồm tập hợp các phần tử chuyển đổi – đó là các thành phần cấu tạo chính của phương tiện đo, và các chi tiết phụ tuy không tham gia trực tiếp vào phép chuyển đổi đo nhưng cần thiết để đảm bảo điều kiện hoạt động cho các thành phần cấu tạo chính.

Có thể phân loại phương tiện đo theo nguyên lý cấu trúc hoặc theo cách biểu thị ra giá trị của đại lượng đo, thường gọi là số chỉ của phương tiện đo.

Theo nguyên lý cấu trúc, phương tiện đo có thể chia thành 4 nhóm.

a) Phương tiện đo tác động trực tiếp

Phương tiện đo tác động trực tiếp là phương tiện đo có cấu trúc theo kiểu biến đổi thẳng (không có khâu phản hồi), trong đó đại lượng cần đo X sau một hoặc một số lần biến đổi (thông qua các chuyển đổi $CD_1, CD_2...$) liên tiếp theo một hướng xác định thành đại lượng có giá trị thích hợp Y tác động trực tiếp lên cơ cấu đo và hiển thị để biểu thị kết quả ra số chỉ (sơ đồ khối hình 7.1).



Hình 7.1. Sơ đồ khối phương tiện đo tác động trực tiếp

Một số ví dụ về phương tiện đo tác động trực tiếp:

- Áp kế màng xếp: trong đó áp suất đo tác động trực tiếp vào màng xếp là phần tử đàn hồi và làm dịch chuyển cơ cấu chỉ thị để biểu thị kết quả đo ra số chỉ.

- Lưu lượng kế kiểu tuabin: rôto quay với tốc độ tỷ lệ với tốc độ dòng chảy. Nhờ cuộn cảm biến, tốc độ quay của rôto được biến đổi thành các xung dòng điện. Các xung này tác động trực tiếp vào cơ cấu đo thích hợp để biểu thị kết quả đo ra số chỉ.

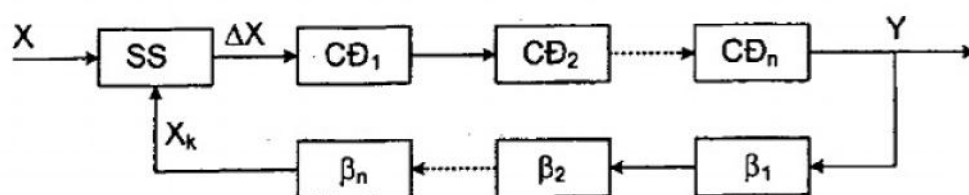
- Ampe mét từ điện: đại lượng cần đo là cường độ dòng điện được biến đổi thông qua mạch sun để có giá trị thích hợp tác động vào cơ cấu đo kiểu từ điện. Thông qua tương tác điện – từ trường, điện năng biến thành cơ năng làm dịch chuyển cơ cấu chỉ thị để biểu thị kết quả đo ra số chỉ.

- Nhiệt kế công nghiệp loại tiếp xúc sử dụng hiệu ứng nhiệt – điện động hoặc nhiệt – điện trở, trong đó nhiệt độ đo được biến đổi thành tín hiệu điện tác động trực tiếp vào cơ cấu đo và hiển thị...

Phương tiện đo tác động trực tiếp có ưu điểm là dễ dàng sử dụng như một thiết bị độc lập để thực hiện phép đo, có khả năng đo nhanh, bền. Vì vậy chúng được sử dụng phổ biến trong công nghiệp để đo và kiểm tra quá trình sản xuất. Độ chính xác của loại phương tiện đo này phụ thuộc vào độ chính xác của các khâu biến đổi và thường không cao lắm vì một phần năng lượng của đối tượng đo bị tiêu hao trong quá trình đo.

b) Phương tiện đo so sánh

Phương tiện đo so sánh là phương tiện đo trong đó phép đo được thực hiện bằng cách so sánh đại lượng đo với vật độ tương ứng. Quá trình đo thực hiện như sau: trước tiên đại lượng đo X và đại lượng thể hiện bằng vật độ X_0 được biến đổi thành đại lượng thích hợp thuận tiện cho việc so sánh. Quá trình so sánh diễn ra trong suốt quá trình đo giữa đại lượng đo X và đại lượng X_k tỷ lệ với X_0 theo một chu trình khép kín (sơ đồ khối hình 7.2).



Hình 7.2. Sơ đồ khối phương tiện đo so sánh

Qua bộ so sánh ta có: $X - X_k = \Delta X$. Phép so sánh ở trạng thái cân bằng khi $\Delta X = 0$ và kết quả đo được biểu thị thông qua đại lượng thể hiện bằng vật đo: $X = X_k = k \cdot X_0$; trong đó k là hệ số tỷ lệ. Trong trường hợp này độ chính xác của phương tiện đo phụ thuộc vào độ chính xác của vật đo và độ nhạy của thiết bị chỉ cân bằng. Phép so sánh ở trạng thái không cân bằng khi: $X - X_k = \Delta X \neq 0$.

Kết quả phép đo được đánh giá qua ΔX và độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào độ chính xác của việc xác định ΔX . Giá trị ΔX càng nhỏ (so với X) phép đo càng chính xác.

Phương tiện đo so sánh được sử dụng rộng rãi trong các phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn vì chúng có độ chính xác cao. Ví dụ về phương tiện đo so sánh như: cân đĩa, cầu đo, máy bù, máy đo ứng suất và biến dạng, áp kế pittông...

c) Phương tiện đo tổng

Phương tiện đo tổng là phương tiện đo xác định giá trị của đại lượng đo bằng cách cộng các giá trị thành phần của đại lượng đo nhận được đồng thời hoặc kế tiếp từ một nguồn hoặc nhiều nguồn.

Ví dụ về loại phương tiện đo tổng như cân toa xe tính tổng, đồng hồ đo tổng công suất điện... Độ chính xác của phương tiện đo tổng không cao, chúng thường được sử dụng để kiểm tra vật liệu cung cấp đầu vào trong các quá trình sản xuất.

d) Phương tiện đo tích phân

Là phương tiện đo xác định giá trị của đại lượng đo bằng cách tích phân một đại lượng đối với đại lượng khác. Ví dụ về phương tiện đo tích phân như: đồng hồ đo điện năng (công tơ điện), cân băng tải tự động... Phương tiện đo tích phân được dùng rộng rãi trong giao nhận, lưu thông, phân phối vật tư, hàng hoá và trong sản xuất.

Theo cách biểu thị ra số chỉ, phương tiện đo có thể chia thành hai nhóm.

e) Phương tiện đo hiển thị

Là phương tiện đo biểu thị ra số chỉ. Sự biểu thị ra số chỉ có thể là tương tự (ta có phương tiện đo tương tự) hoặc hiện số (ta có phương tiện đo hiện số).

Phương tiện đo tương tự (analog): là phương tiện đo trong đó tín hiệu ra hoặc hiển thị là một hàm liên tục của đại lượng đo hoặc tín hiệu vào. Phương tiện đo tương tự chính là các phương tiện đo tác động trực tiếp theo cách phân loại nêu trên.

Phương tiện đo hiện số (digital): là phương tiện đo có đầu ra hoặc chỉ thị hiện số. Trong phương tiện đo hiện số, sử dụng các thành tựu của kỹ thuật điện tử và kỹ thuật máy tính để biến đổi và chỉ thị đại lượng đo qua các khâu: mã hoá – giải mã và đưa ra bộ hiện số. Phương tiện đo hiện số cho phép đạt độ chính xác cao hơn phương tiện đo tương tự vì ở dụng cụ này phép đo thường được thực hiện theo nguyên lý so sánh và trong kết quả đo không chứa sai số đọc. Tuy nhiên sai số của phương tiện đo này có chứa thành phần sai số gây ra bởi các phép mã hoá tín hiệu và sự thay đổi của các đại lượng ảnh hưởng (nhiệt độ, độ ẩm môi trường, nhiễu điện – từ trường...).

f) Phương tiện đo tự ghi

Là phương tiện đo có ghi lại số chỉ. Cần chú ý rằng sự ghi lại có thể là tương tự (liên tục hoặc không liên tục) hoặc là hiện số; giá trị của nhiều đại lượng có thể được ghi lại (hiển thị đồng thời); phương tiện đo tự ghi cũng có thể biểu thị ra số chỉ.

Có thể phân loại phương tiện đo tự ghi theo chức năng đo, cách ghi số chỉ hoặc sơ đồ cấu trúc.

Theo chức năng đo, ta có:

- Loại phương tiện một kênh là loại chỉ dùng một bút ghi duy nhất tương ứng với đầu vào chỉ có một đại lượng đo duy nhất.
- Loại phương tiện nhiều kênh là loại cùng một lúc ghi lại đồng thời giá trị của nhiều đại lượng đo.

Theo cách ghi số chỉ ta có:

- Phương tiện tự ghi trên băng giấy;
- Phương tiện tự ghi trên băng từ;
- Phương tiện tự ghi, in bằng máy vi tính.

Theo sơ đồ cấu trúc, ta có:

- Phương tiện tự ghi tác động trực tiếp (không có phản hồi);
- Phương tiện tự ghi so sánh (có mạch phản hồi).

Phương tiện đo tự ghi thường được sử dụng để ghi lại các tín hiệu thay đổi theo thời gian như để theo dõi các quá trình công nghệ trong sản xuất, trong nghiên cứu khoa học cũng như trong y tế... Thông thường phương tiện đo tự ghi không chỉ đo các đại lượng khác nhau mà còn tự động ghi lại sự thay đổi giá trị của các đại lượng này theo thời gian.

7.1.2. Cơ cấu hiển thị của phương tiện đo

Là bộ phận của phương tiện đo để biểu thị ra số chỉ. Tương tự như cách phân loại phương tiện đo nêu ở phần trên, cơ cấu hiển thị có thể là:

- Cơ cấu hiển thị tương tự: tạo ra số chỉ tương tự.
- Cơ cấu hiển thị hiện số: tạo ra số chỉ hiện số.
- Cơ cấu ghi: bộ phận để thực hiện việc ghi số chỉ.

a) Cơ cấu hiển thị tương tự

Cơ cấu hiển thị tương tự có số chỉ là hàm liên tục của đại lượng đo hoặc tín hiệu vào.

Cơ cấu hiển thị tương tự được sử dụng phổ biến đối với nhóm phương tiện đo tác động trực tiếp, trong đó đại lượng cần đo sau khi biến đổi thành đại lượng có giá trị thích hợp tác động trực tiếp vào cơ cấu của bộ phận chỉ. Bộ phận chỉ là phần tử cố định hoặc di động của cơ cấu chỉ mà vị trí của nó so với dấu hiệu của thang đo cho phép xác định giá trị đại lượng đo. Trong phương tiện đo tương tự, cơ cấu hiển thị có nhiệm vụ biến đổi một phần năng lượng của đại lượng đo thành cơ năng làm di chuyển phần động của bộ phận chỉ (thường là kim chỉ hoặc vệt sáng) lệch đi một góc α (hoặc chuyển dịch thẳng d) so với vị trí tĩnh ban đầu của nó. Tùy theo nguyên lý biến đổi, giá trị của đại lượng đo có thể tỷ lệ tuyến tính hoặc không tuyến

tính so với góc lệch α (hoặc chuyển dịch d). Phương trình biểu thị mối quan hệ tỷ lệ này được gọi là phương trình đặc tính thang đo.

b) Cơ cấu hiển thị hiện số

Để tạo ra chỉ thị hiện số, người ta ứng dụng kỹ thuật điện tử và kỹ thuật máy tính để biến đổi đại lượng đo và đưa vào bộ chỉ thị số.

Bộ chỉ thị số thông thường bao gồm:

- Bộ biến đổi A/D có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu đo thành tín hiệu dưới dạng mã nhị phân.

- Bộ mã nhị thập phân BCD có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu mã nhị phân thành tín hiệu mã nhị thập phân.

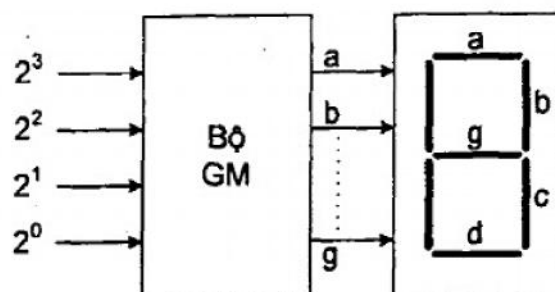
- Bộ giải mã GM có nhiệm vụ biến tín hiệu mã nhị phân thành số trong hệ thập phân.

Sơ đồ khối của bộ chỉ thị hiện số được trình bày trên hình 7.3.



Hình 7.3. Sơ đồ khối bộ chỉ thị hiện số

Để thể hiện thông tin đo ra con số trong hệ thập phân, các tín hiệu đã được mã hoá của đại lượng đo có nhiệm vụ điều khiển để bật sáng chỉ thị số. Có nhiều loại chỉ thị số quang học khác nhau như bộ chỉ thị số bằng đèn sợi đốt, đèn điện tích (đèn khí), LED tinh thể lỏng. Phổ biến hơn cả trong số đó là các bộ hiện số bằng LED 7 vạch được trình bày trên hình 7.4.



Hình 7.4. Giải mã chỉ thị số

Rõ ràng nếu tất cả các vạch từ a đến g đều sáng ta nhận được số 8. Nếu chỉ vạch b và c ta có số 1, nếu chỉ vạch g không sáng ta có số 0...

c) Cơ cấu ghi

Cơ cấu ghi nhằm mục đích ghi lại những tín hiệu đo thay đổi theo thời gian. Việc ghi có thể thực hiện bằng nhiều cách khác nhau như ghi bằng bút mực trên băng giấy; ghi bằng ánh sáng (chụp ảnh); ghi lên băng hay đĩa từ; ghi bằng nhiệt làm cháy vật chất trên bề mặt vật mang; ghi trên máy vi tính...

Tuỳ theo tốc độ ghi, người ta chia ra:

- Ghi tốc độ thấp: khi tín hiệu đo có tần số thấp hơn 10 Hz;
- Ghi tốc độ cao: khi tín hiệu đo có tần số dưới 100 Hz;
- Ghi tốc độ rất cao: khi tín hiệu đo có tần số trên 100 Hz

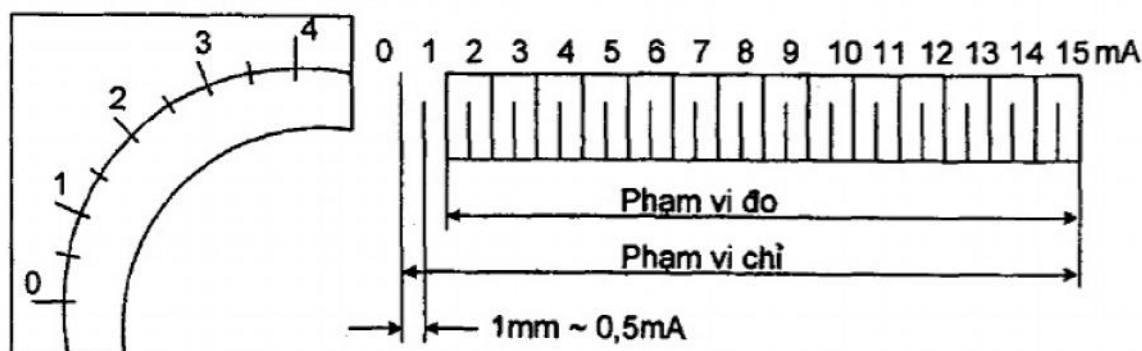
Để ghi các tín hiệu có tốc độ rất cao, người ta thường sử dụng thiết bị ghi là dao động ký điện từ hoặc máy vi tính. Dao động ký điện từ hiện đại có thể có hai hay nhiều tia điện từ, có cài đặt bộ vi xử lý để nhớ lại một đoạn tín hiệu ra máy in hoặc ghi vào băng hay đĩa từ để lưu giữ.

7.1.3. Các đặc trưng cơ bản của phương tiện đo

Các đặc trưng cơ bản của phương tiện đo là các đặc trưng phản ánh tính chất và trạng thái hoạt động của phương tiện đo như thang đo, phạm vi chỉ, phạm vi đo, khoảng đo, độ nhạy, độ động, độ phân giải, độ ổn định, độ trôi, độ chính xác... Ngoài ra còn có đặc trưng phụ như kích thước, khối lượng... Dưới đây giới thiệu các đặc trưng cơ bản nói trên.

Thang đo: là tập hợp các dấu hiệu được sắp xếp thứ tự với cách đánh số nhất định tạo thành một bộ phận thuộc cơ cấu chỉ của phương tiện đo. Trên thang đo người ta định nghĩa một số đặc trưng dưới đây:

– *Chiều dài thang đo*: là độ dài của đường tròn giữa dấu hiệu đầu và cuối thang và đi qua điểm giữa của tất cả các dấu hiệu thang ngắn nhất của một thang đã cho (đường — trên các hình 7.5). Cần chú ý rằng đường tròn có thể là thực hoặc tưởng tượng, cong hoặc thẳng. Chiều dài thang đo biểu thị theo đơn vị độ dài, không phụ thuộc đơn vị của đại lượng đo hoặc đơn vị ghi khắc trên thang.



Hình 7.5. Một số đặc trưng thang đo

– *Độ chia thang đo*: phần thang đo giữa hai dấu hiệu thang liên tiếp bất kỳ.

– *Chiều dài độ chia*: khoảng cách giữa hai dấu hiệu liên tiếp của thang đo được đo dọc theo đường tròn như chiều dài thang đo. Chiều dài độ chia được diễn tả theo đơn vị độ dài, không phụ thuộc đơn vị của đại lượng đo hoặc đơn vị ghi khắc trên thang. Ví dụ khoảng cách đó là 1mm trên hình 7.5.

– *Giá trị độ chia*: hiệu giữa các giá trị tương ứng với hai dấu hiệu thang liên tiếp. Ví dụ trên hình 7.5 có giá trị độ chia 0,5mA.

Như trên đã phân tích trong phương tiện đo tương tự, phương trình đặc tính thang đo biểu thị mối quan hệ tỷ lệ giữa đại lượng đo và chuyển dịch (góc lệch α hoặc chuyển dịch thẳng d) của phần động của bộ phận chỉ. Tuy theo nguyên lý hoạt động của cơ cấu đo, phương trình đặc tính thang đo có thể là tuyến tính hoặc không tuyến tính. Ta có:

Thang đo tuyến tính: là thang đo trong đó mỗi chiều dài độ chia liên hệ với giá trị độ chia tương ứng bằng một hệ số tỷ lệ không đổi trên toàn thang đo. Trường hợp thang đo tuyến tính có giá trị độ chia không đổi gọi là thang đo đều.

Thang đo không tuyến tính: là thang đo trong đó mỗi chiều dài độ chia liên hệ với giá trị độ chia tương ứng bằng một hệ số tỷ lệ thay đổi trên toàn thang đo. Một số thang đo không tuyến tính có tên riêng như thang lôgarit, thang bình phương... Trên thang đo không tuyến tính mỗi vạch chia có một độ nhạy khác nhau. Phần đầu của thang thường các vạch sát nhau, độ nhạy rất thấp so với giữa và cuối thang, do đó độ nhạy không còn là đặc trưng chung của phương tiện đo. Trong trường hợp này người ta thường nói đến độ nhạy trung bình hoặc độ nhạy thấp nhất, độ nhạy lớn nhất.

Tuỳ theo giá trị giới hạn trên, giới hạn dưới của các số chỉ cực trị trong phạm vi chỉ, phân biệt:

Thang đo ẩn "0": là thang đo trong đó phạm vi thang không có giá trị "0".

Thang đo mở rộng: là thang đo trong đó một phần của phạm vi thang chiếm chiều dài lớn hơn các phần khác không theo cùng tỷ lệ.

Tất cả các thang đo đều biểu thị ra số chỉ nhờ mặt số; đó là phần cố định hoặc di động của cơ cấu chỉ có mang thang đo hoặc các thang đo.

Tuỳ thuộc vào bản chất của cơ cấu chỉ và cấp chính xác của phương tiện đo tương ứng, người ta thiết kế nhiều loại mặt số khác nhau. Ví dụ mặt

số phẳng hình cung tròn với góc lệch của kim chỉ là $\pm 45^\circ$ về hai phía so với trục thẳng đứng hoặc là góc bằng 90° ; ở một số phương tiện đo mặt số có dạng hình tang trống hoặc hình đĩa mang các số và chuyển động so với bộ phận chỉ hoặc cửa sổ cố định.

Phạm vi chỉ: là tập hợp các giá trị giới hạn bởi các số chỉ cực trị của thang đo. Các số chỉ cực trị chính là giá trị đầu và giá trị cuối của thang. Giá trị đầu thang và giá trị cuối thang là giá trị nhỏ nhất và lớn nhất được ghi khắc trên bộ phận chỉ. Phạm vi chỉ được diễn tả theo đơn vị ghi khắc trên bộ phận chỉ, không phụ thuộc đơn vị của đại lượng đo và thường được biểu thị trong khoảng giới hạn dưới và trên của thang. Ví dụ: 100°C đến 200°C ; 0V đến 300V. Ở đây 100°C và 0V là giá trị đầu của thang; 200°C và 300V là giá trị cuối của thang. Thang đo vẽ trên hình 7.5 có phạm vi chỉ là 15mA, ứng với giá trị đầu và cuối thang là 0mA và 15mA.

Phạm vi đo: là tập hợp các giá trị của đại lượng đo mà sai số của phương tiện đo được xem là nằm trong giới hạn quy định. Song ở đây cần phân biệt phạm vi đo và phạm vi chỉ. Phạm vi chỉ được giới hạn bởi các số chỉ cực trị. Giá trị của các số chỉ này được gọi là giới hạn đo dưới và giới hạn đo trên. Phần lớn phạm vi đo trùng với phạm vi chỉ. Khi đó giới hạn đầu của phạm vi đo được xác định bằng dấu chấm ở dưới, hoặc giá trị đầu và giá trị cuối của phạm vi đo được nối với nhau bằng một vạch kẻ (hình 7.5). Một phương tiện đo có thể có nhiều phạm vi đo cùng với các cấp chính xác khác nhau và việc chuyển từ phạm vi đo này sang phạm vi đo khác được thực hiện qua các thao tác kỹ thuật.

Phạm vi danh định: Mỗi phương tiện đo đều có một hoặc nhiều thang đo. Mỗi thang đo được ghi khắc và thể hiện bằng phạm vi danh định, đó là phạm vi chỉ nhận được bằng cách đặt cụ thể các cơ cấu điều khiển của phương tiện đo.

Phạm vi danh định thường được thể hiện bằng giới hạn trên và dưới của nó; ví dụ " 100°C đến 200°C " hoặc " -10 V đến $+10\text{ V}$ "... Nếu gọi giới hạn dưới là "0" thì phạm vi danh định được thể hiện bằng giới hạn trên của nó. Ví dụ: phạm vi danh định " 0 V đến 100 V " được trình bày là " 100 V ".

Khoảng đo: là giá trị tuyệt đối của hiệu giữa hai giới hạn của phạm vi danh định. Ví dụ khoảng đo danh định ứng với phạm vi danh định " 100°C đến 200°C " là 100°C , khoảng đo ứng với phạm vi danh định " -10 V đến $+10\text{ V}$ " là 20 V ...

Giá trị danh định: là giá trị làm tròn hoặc gần đúng của một đặc trưng phương tiện đo, được dùng cho việc sử dụng nó. Ví dụ: giá trị 100 Ω ghi khắc trên một điện trở chuẩn; giá trị 1L ghi khắc trên bình dung tích một mức; giá trị điểm đặt của một bình điều nhiệt 25 °C; điện áp 380 V / 220 V ghi khắc trên mặt công tơ điện 3 pha.

Điều kiện vận hành quy định: Mỗi phương tiện đo đều có điều kiện vận hành quy định, đó là điều kiện sử dụng mà các đặc trưng đo lường đã quy định của phương tiện đo nằm trong giới hạn đã cho. Điều kiện vận hành quy định nói chung được xác định bởi các phạm vi hoặc giá trị quy định của đại lượng đo và đại lượng ảnh hưởng. Khi sử dụng phương tiện đo để thực hiện phép đo, người đo phải tuân thủ các quy định đó, ví dụ như vị trí đặt phương tiện đo, điều kiện nhiệt độ, độ ẩm, áp suất môi trường...

Điều kiện giới hạn: Để đảm bảo an toàn cho việc sử dụng phương tiện đo, nhà sản xuất còn đề ra các điều kiện giới hạn nhất định. Đó là các điều kiện cực trị phương tiện đo phải chịu mà không bị hỏng hóc và sai lệch các đặc trưng đo lường đã quy định khi hoạt động trở lại trong điều kiện vận hành ấn định trước.

Cần chú ý rằng các điều kiện giới hạn cho việc bảo quản, vận chuyển và vận hành có thể khác nhau; các điều kiện giới hạn có thể bao gồm giá trị giới hạn của đại lượng đo và đại lượng ảnh hưởng.

Điều kiện tiêu chuẩn: Khác với điều kiện vận hành, điều kiện tiêu chuẩn của phương tiện đo được quy định nghiêm ngặt hơn, đó là điều kiện sử dụng để thử nghiệm các đặc trưng đo lường của phương tiện đo hoặc để so sánh lẫn nhau các kết quả đo. Điều kiện tiêu chuẩn thường bao gồm các giá trị tiêu chuẩn hoặc các phạm vi tiêu chuẩn đối với các đại lượng ảnh hưởng tác động đến phương tiện đo. Trong quy trình thử nghiệm và kiểm định, hiệu chuẩn phương tiện đo, điều kiện tiêu chuẩn được coi là bắt buộc để thực hiện công việc thử nghiệm hoặc kiểm định, hiệu chuẩn theo quy định.

Hằng số phương tiện đo: Là hệ số mà số chỉ trực tiếp của phương tiện đo phải nhân với nó để có giá trị của đại lượng đo hoặc của đại lượng dùng để tính giá trị của đại lượng đo. Trong nhiều trường hợp hằng số phương tiện đo được ghi khắc trên phương tiện đo hoặc cho sẵn trong hướng dẫn sử dụng. Các phương tiện đo có nhiều thang đo với bộ chỉ thị đơn thường có nhiều hằng số khác nhau tương ứng với những thang đo khác nhau. Trước khi sử dụng một loại phương tiện đo nào đó, phải chọn thang đo thích hợp và tính các hằng số tương ứng. Nếu hằng số phương tiện đo bằng 1 thì không cần trình bày trên phương tiện đo.

Đặc trưng hưởng ứng: Là đặc trưng điển hình của phương tiện đo, nó biểu thị mối quan hệ giữa kích thích (thường là tác động vào của đại lượng đo) và hưởng ứng (đầu ra của phương tiện đo) tương ứng trong những điều kiện xác định. Ví dụ suất điện động của cặp nhiệt điện là một hàm của nhiệt độ đối với phương tiện đo nhiệt độ hoặc suất điện động là hàm của tốc độ dòng chảy đối với lưu tốc kế điện từ...

Mối quan hệ giữa kích thích và hưởng ứng có thể được diễn tả dưới dạng một hàm số, một bảng số hoặc bằng đồ thị. Khi kích thích thay đổi theo hàm thời gian thì một dạng của đặc trưng hưởng ứng là hàm truyền (phép biến đổi Laplace của hưởng ứng chia cho phép biến đổi đó của kích thích). Ví dụ, như kích thích của điện áp xoay chiều vào bộ khuếch đại thuật toán trong vônmet điện từ chẳng hạn.

Độ nhạy: Là đặc trưng quan trọng của phương tiện đo. Nó biểu thị tỷ số giữa sự thay đổi về hưởng ứng của phương tiện đo và sự thay đổi tương ứng của kích thích. Nếu biểu thị sự thay đổi của kích thích là dX và sự thay đổi của hưởng ứng là dY , ta có biểu thức để tính độ nhạy S :

$$S = \frac{dY}{dX} = F(X) \quad (7.1)$$

Đối với phương tiện đo tác động trực tiếp có nhiều khâu biến đổi liên tiếp như đã mô tả bằng sơ đồ khối hình 7.1 thì độ nhạy tổng cộng được tính là:

$$S = \frac{dY}{dX} = \frac{dY_1}{dX} \cdot \frac{dY_2}{dY_1} \cdot \dots \cdot \frac{dY_n}{dY_{n-1}} = S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n$$

Trong đó:

$$S_1 = \frac{dY_1}{dX}; S_2 = \frac{dY_2}{dY_1} \cdot \dots; S_n = \frac{dY_n}{dY_{n-1}}$$

là độ nhạy của các chuyển đổi thành phần.

Còn đối với phương tiện đo so sánh theo sơ đồ khối hình 7.2 độ nhạy tổng được tính là:

$$S = \frac{S_0}{1 + S_0 \beta_0} \quad (7.2)$$

Trong đó: $S_0 = S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n$ là độ nhạy của nhánh chuyển đổi thuận;

$\beta_0 = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_n$ là độ nhạy của nhánh chuyển đổi ngược.

Qua phân tích ta thấy phương tiện đo nào có độ nhạy càng cao càng phát hiện được những biến thiên nhỏ của đại lượng đo. Riêng đối với phương tiện đo so sánh độ nhạy càng cao càng dễ phát hiện được độ lệch còn dư ΔX của quá trình so sánh.

Độ nhạy của phương tiện đo còn cho biết số độ chia của thang đo tương ứng với biến thiên của một đơn vị đo. Ví dụ, khi cường độ dòng điện biến thiên 1mA, kim đồng hồ lệch đi 10 vạch, vậy phương tiện đo có độ nhạy theo dòng điện là $S_i = 10 \text{ vạch/mA}$. Ta thấy thứ nguyên của độ nhạy phụ thuộc vào thứ nguyên của đại lượng kích thích và thứ nguyên của hưởng ứng.

Ngưỡng độ nhạy: Trong thực tế sự thay đổi của kích thích – đại lượng đo dX – chỉ nhỏ dưới một giá trị nhất định ε nào đó người đọc đã không phát hiện được sự thay đổi tương ứng về hưởng ứng của phương tiện đo nên ε được gọi là ngưỡng độ nhạy của phương tiện đo. Như vậy, ngưỡng độ nhạy có cùng thứ nguyên với đại lượng đo. Nó cũng có thể được biểu thị theo phần trăm của tỷ số giữa đại lượng vào nhỏ nhất đã nêu ở trên và đại lượng vào được quy ước là danh định.

Độ phân giải của cơ cấu chỉ thị: Nói đến độ phân giải phải hiểu đó là độ phân giải của chỉ thị, nghĩa là sự khác nhau nhỏ nhất giữa các số chỉ của cơ cấu chỉ thị có thể phân biệt được một cách rõ ràng. Chẳng hạn đối với cơ cấu chỉ thị hiện số, độ phân giải là sự thay đổi số chỉ khi chữ số có nghĩa cuối cùng thay đổi một bậc. Một cách tương tự, khái niệm này cũng dùng cho cơ cấu ghi.

Vùng chết: Là khoảng cực đại trong đó kích thích có thay đổi về cả hai phía mà không tạo nên sự thay đổi hưởng ứng của phương tiện đo. Đối với một số phương tiện đo đặc biệt, vùng chết đôi khi được cố ý làm rộng ra để hạn chế sự thay đổi hưởng ứng đối với các thay đổi nhỏ của kích thích.

Độ ổn định: Là khả năng của phương tiện đo giữ không đổi các đặc trưng đo lường của nó theo thời gian. Độ ổn định có thể được định lượng theo một số cách, ví dụ:

- Theo khoảng thời gian trong đó đặc trưng đo lường thay đổi một lượng nhất định.
- Theo mức độ thay đổi của đặc trưng đo lường trong một khoảng thời gian xác định...

Độ trôi: Phương tiện đo sử dụng các phần tử chuyển đổi có đặc tính trễ, như đầu đo khối lượng – lực dùng cảm biến tensor, chuyển đổi áp từ đo lực và áp suất cùng với các thiết bị biến đổi điện tử, thường gây nên độ trôi. Đó là sự thay đổi từ từ các đặc trưng đo lường của phương tiện đo theo thời gian. Đối với các phương tiện đo như vậy, độ trôi cũng là một trong những đặc trưng cơ bản cần được khống chế. Thứ nguyên của độ trôi thường được biểu thị theo thứ nguyên của đơn vị đo và thứ nguyên của thời gian.

Độ đúng (của phương tiện đo): Là khả năng của phương tiện đo cho các số chỉ không có sai số hệ thống.

Độ lặp lại (của phương tiện đo): Là khả năng của phương tiện đo cho các số chỉ gần nhau khi đo lặp lại một đại lượng đo trong cùng điều kiện đo. Những điều kiện đo này bao gồm: giảm đến mức tối thiểu những thay đổi do người quan sát gây ra; cùng một thủ tục đo; cùng người quan sát; cùng phương tiện đo; cùng điều kiện sử dụng; cùng địa điểm đo; lặp lại trong thời gian ngắn. Độ lặp lại của phương tiện đo có thể được diễn tả định lượng bằng các đặc trưng phân tán của số chỉ.

Độ chính xác (của phương tiện đo): “Độ chính xác” của phương tiện đo là một khái niệm định tính. Đó là khả năng của phương tiện đo tạo ra hướng ứng sát với giá trị thực.

Cấp chính xác: Là nhóm các phương tiện đo đáp ứng những yêu cầu đo lường nhất định để đảm bảo cho sai số nằm trong giới hạn đã định. Cấp chính xác thường được biểu thị bằng một số hoặc ký hiệu theo quy ước và gọi là chỉ số cấp chính xác.

7.1.4. Sai số và cấp chính xác của phương tiện đo

Do tác động của yếu tố cấu trúc và chất lượng chế tạo cũng như nhiều yếu tố ngẫu nhiên khác, phương tiện đo luôn có sai số. Sai số của phương tiện đo được định nghĩa là *hiệu số chỉ của phương tiện đo trừ đi giá trị thực của đại lượng vào tương ứng*.

a) Các hình thức biểu thị sai số của phương tiện đo

Sai số của phương tiện đo được biểu thị dưới ba hình thức: sai số tuyệt đối, sai số tương đối và sai số quy đổi.

Sai số tuyệt đối: là hiệu giữa số chỉ của phương tiện đo và giá trị thực của đại lượng đo tương ứng:

$$\Delta X = X_{sc} - X_t \quad (7.3)$$

Trong đó: ΔX là sai số tuyệt đối;

X_{sc} là số chỉ của phương tiện đo;

X_t là giá trị thực của đại lượng đo tương ứng.

Chú ý rằng giá trị thực là giá trị đạt được của một phép đo hoàn hảo (là phép đo không có sai số) và trên thực tế không tồn tại phép đo hoàn hảo nên người ta phải thay giá trị thực bằng *giá trị thực quy ước*. Đó là giá trị quy cho một đại lượng riêng biệt và được chấp nhận, đôi khi bằng thoả ước, có độ không đảm bảo phù hợp với mục đích đã định. Ví dụ khi hiệu chuẩn phương tiện đo bằng phương pháp so sánh, giá trị thực quy ước được thể hiện bằng chuẩn. Độ không đảm bảo ở đây được khống chế bằng tỷ số giữa độ không đảm bảo của phương tiện đo cần hiệu chuẩn và phương tiện đo được chọn làm chuẩn. Vậy thực tế biểu thức tính sai số sẽ là:

$$\Delta X = X_{sc} - X_{tq} \quad (7.4)$$

Trong đó: X_{sc} là số chỉ của phương tiện đo;

X_{tq} là giá trị thực quy ước.

Sai số tuyệt đối được biểu thị theo đơn vị đo, song nó không đặc trưng cho độ chính xác của phương tiện đo (ví dụ khi đo đường kính của một ngẫu trục với sai số tuyệt đối bằng 1 mm là không chính xác nhưng khi đo khoảng cách từ trái đất đến mặt trăng với sai số 1 m lại chính xác hơn). Vì thế để đặc trưng cho độ chính xác của phương tiện đo người ta thường dùng hình thức biểu thị sai số tương đối.

Sai số tương đối: Là tỷ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị thực quy ước ứng với số chỉ phương tiện đo tính theo phần trăm và ký hiệu bằng chữ δ :

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{tq}} 100 \quad (7.5)$$

Trong đó: δ là sai số tương đối tính theo %;

ΔX là sai số tuyệt đối;

X_{tq} là giá trị thực quy ước ứng với số chỉ của phương tiện đo.

Sai số tương đối thể hiện mức độ chính xác của phương tiện đo. Sai số này càng nhỏ độ chính xác của phương tiện đo càng cao và ngược lại.

Sai số quy đổi: Là tỷ số giữa sai số tuyệt đối và một giá trị đã được quy ước đối với phương tiện đo, sai số quy đổi tính theo phần trăm và ký hiệu bằng chữ γ :

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_Q} 100 \quad (7.6)$$

Giá trị X_Q đối với phương tiện đo khác nhau đã được quy ước cụ thể trong các tài liệu hướng dẫn hoặc tiêu chuẩn liên quan. X_Q có thể là giới hạn đo trên, phạm vi danh định hoặc độ dài thang đo... Sau đây là một số ví dụ cụ thể:

– Đối với phương tiện đo có thang đo tuyến tính hoặc thang đo lũy thừa, nếu vạch “0” nằm ở mép hoặc ngoài thang, giá trị quy ước được lấy bằng giới hạn trên của phạm vi danh định.

– Đối với phương tiện đo có thang đo tuyến tính hoặc thang đo lũy thừa, nếu vạch “0” nằm ở trong phạm vi danh định thì giá trị quy ước được lấy bằng tổng số học giới hạn dưới và giới hạn trên của phạm vi danh định (không tính đến dấu).

– Đối với phương tiện đo đại lượng hoá lý, thang đo được khắc độ theo % nồng độ, giá trị quy ước được lấy theo quy định trong tiêu chuẩn của phương tiện đo tương ứng.

– Đối với phương tiện đo có thang đo lôgarit hoặc hypecbôn, giá trị quy ước được lấy bằng độ dài thang đo.

– Đối với phương tiện đo khác với các phương tiện đo đã kể trên thì giá trị quy ước được thiết lập trong tiêu chuẩn.

Sai số quy đổi thường được áp dụng cho những phương tiện đo mà ở đó sai số tuyệt đối không phụ thuộc giá trị đo. Khi đó, sai số quy đổi sẽ có một giá trị nhất định trên toàn thang đo, nó đặc trưng cho độ chính xác chung của cả thang đo. Dựa vào sai số quy đổi có thể so sánh dễ dàng độ chính xác của các phương tiện đo cùng loại có phạm vi đo khác nhau.

b) Phân loại sai số phương tiện đo

Có thể phân loại sai số phương tiện đo theo nguyên nhân gây ra nó hoặc theo điều kiện môi trường làm việc của phương tiện đo. Theo nguyên nhân gây ra nó, sai số phương tiện đo được chia ra: sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

Sai số hệ thống của phương tiện đo:

Sai số hệ thống của phương tiện đo là phần sai số có độ lớn không đổi hoặc thay đổi theo quy luật nhất định làm cho phương tiện đo không đúng. Nói chung sai số hệ thống của phương tiện đo thường là hàm của đại lượng đo, đại lượng ảnh hưởng và thời gian.

Khi là hàm của đại lượng đo, sai số hệ thống có hai thành phần: thành phần sai số do sự thiếu hoàn thiện về cấu trúc và thành phần sai số do sai sót trong công nghệ chế tạo. Thành phần thứ nhất thường có độ lớn không đổi đối với tất cả các phương tiện đo cùng kiểu. Thành phần thứ hai có giá trị khác nhau đối với mỗi phương tiện đo do sự không hoàn chỉnh về công nghệ chế tạo như trục quay của phần động lệch tâm, phần động không cân bằng hoàn toàn, độ chia thang đo ghi khắc không chính xác, lò xo bị biến dạng, hoặc do ảnh hưởng của từ trường nội bộ, hiện tượng trễ của vật liệu sắt từ... Để khắc phục và loại trừ thành phần sai số này, trước khi đưa phương tiện đo vào sử dụng, người ta tiến hành kiểm định hoặc hiệu chuẩn phương tiện đo. Từ kết quả kiểm định, hiệu chuẩn có thể suy ra số hiệu chính cho số chỉ của phương tiện đo.

Thành phần sai số hệ thống của phương tiện đo do các đại lượng ảnh hưởng của môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, điện từ trường,... gây ra thường thay đổi theo quy luật nhất định cùng với sự thay đổi của các đại lượng này. Trong phòng thí nghiệm, điều kiện môi trường có thể khống chế hoặc xác định nên thành phần sai số này có thể được hạn chế hoặc xác định thông qua các hàm ảnh hưởng nhất định. Khi sử dụng phương tiện đo tại hiện trường, điều kiện môi trường thay đổi ngẫu nhiên hoặc đột ngột, thành phần sai số trên không còn mang tính hệ thống nữa. Nó được xếp vào sai số ngẫu nhiên.

Sai số ngẫu nhiên của phương tiện đo:

Sai số ngẫu nhiên của phương tiện đo là phần sai số có độ lớn thay đổi một cách ngẫu nhiên không theo quy luật nhất định làm cho phương tiện đo không trung thành.

Nguyên nhân của phần sai số này là do những biến đổi ngẫu nhiên trong thông số của các phần tử cấu tạo, ma sát giữa phần động và phần tĩnh, sự không ổn định... Khi sản xuất phương tiện đo, người ta cố gắng hoàn thiện khâu thiết kế và công nghệ chế tạo để thành phần sai số ngẫu nhiên có giá trị đủ nhỏ so với sai số hệ thống và do đó có thể bỏ qua trong quá trình sử dụng.

Theo điều kiện môi trường làm việc, sai số của phương tiện đo chia ra:

Sai số cơ bản của phương tiện đo:

Là thành phần sai số của phương tiện đo được xác định trong điều kiện tiêu chuẩn. Điều kiện tiêu chuẩn được quy định cụ thể tùy theo loại phương tiện đo khác nhau. Thông thường điều kiện đó được xác định bởi: tư thế lắp đặt phương tiện đo; điều kiện môi trường như: nhiệt độ, áp suất khí quyển, độ ẩm, điện từ trường xung quanh...; tần số làm việc.

Trong thực tế sai số cơ bản của phương tiện đo có thể chứa hai thành phần:

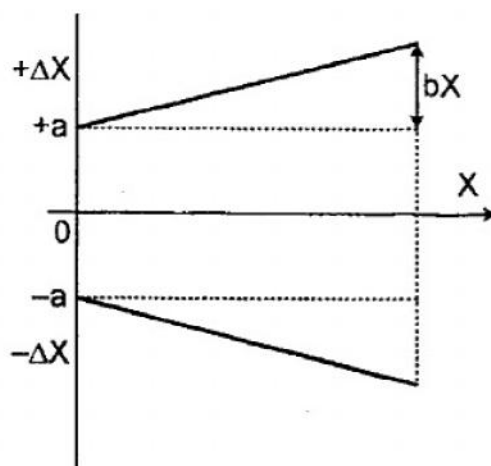
$$|\Delta X_0| = |a| + |bX| \quad (7.7)$$

Trong đó: ΔX_0 là sai số cơ bản;

a là thành phần không đổi theo đại lượng đo;

bX là thành phần biến đổi theo đại lượng đo.

Có thể biểu thị các thành phần sai số trên bằng đồ thị hình 7.6.



Hình 7.6. Thành phần sai số của phương tiện đo

Thành phần không đổi của sai số xác định chủ yếu bởi sự không hoàn thiện về cấu trúc của phương tiện đo. Còn thành phần biến đổi phụ thuộc vào công nghệ chế tạo và các đại lượng ảnh hưởng.

Đối với phương tiện đo có $|a| \gg |bX|$ (nghĩa là sai số gần như không đổi trên toàn phạm vi đo) thì sai số cơ bản được biểu thị bằng công thức đơn thức:

$$\Delta X_0 = \pm a \quad (7.8)$$

Còn đối với phương tiện đo có sai số là hàm của đại lượng đo, sai số cơ bản được biểu thị bằng công thức nhị thức:

$$\Delta X_0 = \pm (a + bX) \quad (7.9)$$

Sai số phụ của phương tiện đo:

Ngoài điều kiện tiêu chuẩn được thể hiện bằng các giá trị tiêu chuẩn (hoặc phạm vi tiêu chuẩn) của đại lượng ảnh hưởng người ta còn quy định miền mở rộng của đại lượng ảnh hưởng. Sai số của phương tiện đo xuất hiện khi một đại lượng ảnh hưởng vượt ra ngoài phạm vi tiêu chuẩn nhưng còn nằm trong miền mở rộng được gọi là *sai số phụ* của phương tiện đo đối với đại lượng ảnh hưởng đó. Thành phần sai số phụ thường được định mức riêng cho từng đại lượng ảnh hưởng, ứng với miền giá trị mở rộng của nó.

c) Định mức sai số cho phép và cấp chính xác

Sai số cho phép của phương tiện đo:

Một đặc trưng quan trọng của phương tiện đo là *sai số cơ bản cho phép* hay gọi tắt là *sai số cho phép*. Đó là các giá trị cực trị của sai số được cho phép bằng quy định kỹ thuật, luật lệ... đối với một loại phương tiện đo xác định.

Cấp chính xác của phương tiện đo:

Như đã định nghĩa ở phần 7.1.3 cấp chính xác là một đặc trưng tổng quát của phương tiện đo, xác định bởi giới hạn cho phép của sai số cơ bản, sai số phụ và các tính chất khác của phương tiện đo có ảnh hưởng đến độ chính xác như độ ổn định, độ nhạy, độ phân giải, độ lặp lại của phương tiện đo... Cơ sở để quy định và ký hiệu cấp chính xác là độ lớn của sai số cơ bản cho phép và hình thức biểu thị sai số đó.

Khi sản xuất phương tiện đo, nhà sản xuất phải định mức sai số cho phép và cấp chính xác của phương tiện đo theo nguyên tắc sau:

c1) Định mức sai số bằng cách đưa ra giới hạn sai số cho phép của sai số cơ bản dưới hình thức tuyệt đối $\pm \Delta X_{\text{ocp}}$, tương đối $\pm \delta_{\text{ocp}}$ hoặc quy đổi $\pm \gamma_{\text{ocp}}$ không đổi trên toàn bộ phạm vi đo. Trong trường hợp này sai số cho phép được xác định bởi thành phần không đổi của sai số.

Tuỳ theo hình thức biểu thị ta có các trường hợp sau:

– Định mức sai số cho phép dưới hình thức sai số tuyệt đối theo công thức:

$$\Delta X_{\text{ocp}} = \pm a \quad (7.10)$$

Trong đó: ΔX_{ocp} là sai số cơ bản cho phép;

a là hằng số biểu thị bằng đơn vị của đại lượng đo.

Phương tiện đo có sai số cho phép định mức theo công thức (7.10) thì cấp chính xác của nó được ký hiệu bằng số thứ tự hoặc bằng các chữ cái in hoa. Phương tiện đo có sai số cho phép lớn, cấp chính xác được ký hiệu bằng số lớn hoặc chữ cái đứng ở phía sau theo thứ tự bằng chữ cái. Ví dụ trong dãy cân chuẩn cấp chính xác 0; 1; 2; 3; 4; 5 thì cân chuẩn cấp 5 có sai số cho phép lớn nhất; trong dãy quả cân cấp chính xác E_1 ; E_2 ; F_1 ; F_2 ; M_1 ; M_2 ; M_3 thì quả cân cấp chính xác M_3 có sai số cho phép lớn nhất.

– Định mức sai số cho phép dưới hình thức sai số tương đối theo công thức:

$$\delta_{\text{ocp}} = \pm \frac{|\Delta X_{\text{ocp}}|}{X_{\text{iq}}} 100 = \pm c\% \quad (7.11)$$

Trong đó: δ_{ocp} là giới hạn sai số tương đối cho phép biểu thị bằng %;

X_{iq} là giá trị thực quy ước ứng với số chỉ của phương tiện đo;

$|\Delta X_{\text{ocp}}|$ là giới hạn sai số tuyệt đối cho phép không để ý đến dấu;

c là một hằng số.

– Định mức sai số cho phép dưới hình thức sai số quy đổi theo công thức:

$$\gamma_{\text{ocp}} = \pm \frac{|\Delta X_{\text{ocp}}|}{X_{\text{q}}} 100 = \pm d\% \quad (7.12)$$

Trong đó: γ_{ocp} là giới hạn sai số quy đổi cho phép biểu thị bằng %;

X_{q} là giá trị quy ước đối với từng loại phương tiện đo;

d là hằng số.

Phương tiện đo có sai số định mức theo công thức (7.11); (7.12) thì cấp chính xác của nó được ký hiệu bằng số c hoặc d . Nhà sản xuất ấn định các hằng số c và d bằng cách chọn trong dãy số thập phân sau:

$$k = [1; 1,5; (1,6); 2; 2,5; (3); 4; 5 \text{ và } 6] \cdot 10^n \text{ với } n = 1; 0; -1; -2; \dots \quad (7.13)$$

Với cùng một trị số n , số cấp chính xác được chọn sao cho độ chênh lệch về độ chính xác của các phương tiện đo thuộc các cấp kế nhau không quá nhỏ. Ký hiệu $1,6 \cdot 10^n$ và $3 \cdot 10^n$ chỉ dùng trong các lĩnh vực đo đặc biệt. Ví dụ, dãy cấp chính xác của đồng hồ đo điện kiểu cơ điện, được lập từ dãy số trên với $n = -1$ và 0 gồm 7 cấp chính xác sau:

$$0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0$$

Qua ký hiệu người sử dụng biết giới hạn sai số cho phép của phương tiện đo được thể hiện dưới dạng sai số quy đổi hay tương đối, người ta khoanh tròn cho ký hiệu cấp chính xác ứng với giới hạn sai số tương đối: 0,2, còn ký hiệu cấp chính xác ứng với sai số quy đổi không có khoanh tròn: 0,2. Trong trường hợp giá trị định mức trong công thức sai số quy đổi là chiều dài thang đo, người ta thêm dấu "v" vào dưới ký hiệu cấp chính xác 0,2.

c2) Đối với nhóm phương tiện đo có sai số cơ bản phụ thuộc vào đại lượng đo, để quy định sai số cho phép ta không thể dùng công thức đơn thức vì nó không phản ánh được toàn bộ sự phụ thuộc của sai số vào đại lượng đo, ta phải dùng công thức nhị thức:

$$\Delta X_{\text{ocp}} = \pm (a + bX) \quad (7.14)$$

Nếu giới hạn sai số cho phép được biểu thị dưới dạng sai số tương đối phụ thuộc vào giá trị đại lượng đo, ta có công thức:

$$\delta_{\text{ocp}} = \pm \frac{|\Delta X_{\text{ocp}}|}{X} \cdot 100 = \pm \left[c + d \left(\frac{X_k}{X} - 1 \right) \right] [\%] \quad (7.15)$$

Trong đó: δ_{ocp} là giới hạn sai số cho phép tính theo % so với giá trị đo X ;

X_k là giới hạn trên của phạm vi đo;

c, d là hằng số.

Trong trường hợp này cấp chính xác của phương tiện đo tương ứng được ký hiệu bằng chính hai số c, d dưới hình thức c/d với điều kiện $c > d$. Giá trị c, d được chọn trong dãy số thập phân nêu trên và tỷ số giữa chúng được quy định cụ thể trong các tài liệu kỹ thuật.

Cũng có thể dùng các công thức nhị thức có dạng khác để quy định sai số cho phép, ví dụ:

$$\delta_{\text{ocp}} = \pm \left[c + \frac{f}{X} \right] [\%] \quad (7.16)$$

Trong đó e và f là những hằng số. Trong trường hợp này, cấp chính xác được ký hiệu bằng con số e, giá trị của e cũng được lấy trong dãy số thập phân nêu trên.

c3) Đối với phương tiện đo không có giới hạn sai số cho phép (vì không có giá trị danh định) thì cấp chính xác sẽ được quyết định bởi đặc trưng đo lường khác và được ký hiệu theo một trong các cách trên tùy theo cách biểu thị các đặc trưng đó. Ví dụ với pin chuẩn, cơ sở để xếp loại cấp chính xác là độ thay đổi của sức điện động trong một năm. Độ thay đổi này tính tương đối theo % của sức điện động làm tròn được dùng để ký hiệu cấp chính xác cho pin chuẩn. Pin chuẩn công tác được sản xuất theo dãy cấp chính xác đã quy định sau đây:

Cấp chính xác	Độ thay đổi của sức điện động trong 1 năm	Độ thay đổi của sức điện động theo %
0,001	10 μV	$\Delta = (10 \mu\text{V} \times 100)/10^6 \mu\text{V} = 0,001$
0,002	20 μV	0,002
0,005	50 μV	0,005
0,02	200 μV	0,02

Như vậy khi biết cấp chính xác của phương tiện đo ta có thể xác định giới hạn sai số cơ bản cho phép tương ứng của phương tiện đo đó.

7.2. VẬT ĐO

7.2.1. Định nghĩa và phân loại

Vật đo là một dạng đặc biệt của phương tiện đo. Đó là thiết bị được dùng theo một cách cố định trong khi sử dụng nó để tái tạo hoặc cung cấp một hoặc nhiều giá trị đã biết của đại lượng đã cho. Ví dụ: quả cân, bình đong dung tích, bộ can chuẩn, mẫu chuẩn....

Tùy theo cách thể hiện giá trị đại lượng, vật đo được phân thành ba loại: vật đo đơn trị, đa trị và bộ vật đo.

Vật đo đơn trị: Là vật đo thể hiện một giá trị của đại lượng, ví dụ vật đo sức điện động là pin chuẩn Weston, vật đo độ cứng là tấm chuẩn độ cứng, vật đo khối lượng là các quả cân, vật đo độ dài là các miếng can chuẩn... Có một số vật đo chỉ sản xuất được theo loại đơn trị vì thể hiện

nhiều giá trị hoặc khó, hoặc không thực hiện được. Ví dụ như tấm chuẩn độ nhám, độ trắng; các mẫu chuẩn về độ tinh khiết như kẽm, vàng... để tạo các điểm mốc nhiệt độ. Một số vật đo khác được sản xuất cả theo loại đơn trị và đa trị hoặc thành bộ. Ví dụ: vật đo độ dài, vật đo điện dung, điện trở...

Vật đo đa trị: Là vật đo thể hiện một dãy giá trị liên tiếp của đại lượng. Ví dụ thước vạch 500 mm có vạch chia tới milimét, tụ xoay có điện dung biến thiên ($0 \div 150$) pF...

Bộ vật đo: Là một số vật đo được chọn lọc đặc biệt và được sử dụng kết hợp với nhau để thể hiện một dãy giá trị khác nhau của đại lượng. Ví dụ bộ quả cân phân tích trong dãy miligam gồm 1 quả 1 mg, 2 quả 2 mg, 1 quả 5 mg, 1 quả 10 mg; bộ can chuẩn, bộ cuộn điện trở chuẩn.... Thường bộ vật đo có độ chính xác cao hơn vật đo đa trị.

Những đặc trưng chính của vật đo là:

Giá trị danh định của vật đo: Là giá trị đại lượng ghi khắc trên vật đo. Ví dụ giá trị 200 g, 500 g ghi trên quả cân, 10Ω ghi trên cuộn điện trở; ($0 \div 250$) pF ghi trên tụ điện biến đổi... Các giá trị này được xác định trong quá trình sản xuất hàng loạt và trong sử dụng thông thường chúng được coi là thoả mãn về độ chính xác.

Giá trị thực quy ước của vật đo: Là giá trị thực tế của đại lượng thể hiện bởi vật đo, trong giá trị này người ta đã loại trừ sai số hệ thống, còn các tham số của sai số ngẫu nhiên đã được đưa về giá trị nhỏ nhất. Ví dụ $1,000\ 02 \Omega$ là giá trị thực quy ước của cuộn điện trở có giá trị danh định 1Ω tìm được khi hiệu chuẩn nó. Giá trị thực quy ước của vật đo được xác định bằng phương tiện đo và phương pháp đo nhất định tương ứng với cấp chính xác của nó. Người sử dụng cần đến giá trị thực quy ước của vật đo khi dùng nó làm chuẩn để kiểm định và hiệu chuẩn phương tiện đo, hoặc dùng trong các phép đo chính xác.

Sai số chứng nhận của vật đo: Là sai số của phép xác định giá trị thực quy ước của vật đo. Sai số này quyết định bởi độ chính xác của thiết bị chuẩn, phương pháp đo và môi trường đo. Thường trong giấy chứng nhận cấp cho vật đo chuẩn có ghi sai số chứng nhận, giá trị thực quy ước và giá trị danh định. Sai số chứng nhận được dùng làm căn cứ để phân loại các vật đo chuẩn thành bậc I, II, III... Nếu tiếp cận theo độ không đảm bảo đo thì

giá trị thực quy ước của vật đo sẽ được thông báo trong giấy chứng nhận hiệu chuẩn của nó có kèm theo độ không đảm bảo đo tương ứng ở mức tin cậy xác định.

Sai số của vật đo: Là hiệu giữa giá trị danh định và giá trị thực quy ước của vật đo. Sai số này phụ thuộc vào cấu trúc của vật đo, công nghệ chế tạo và điều kiện sử dụng nó. Tương tự như đối với phương tiện đo, sai số của vật đo được biểu thị dưới các hình thức:

– *Sai số tuyệt đối:* Đối với vật đo, sai số tuyệt đối ΔX là hiệu giữa giá trị danh định X_{dd} và giá trị thực X_t của đại lượng được thể hiện bởi vật đo. Song vì trong thực tế, ta chỉ xác định được giá trị gần đúng với giá trị thực nên khi tính sai số giá trị thực được thay bằng giá trị thực quy ước:

$$\Delta X = X_{dd} - X_{tq} \quad (7.17)$$

Trong đó: ΔX là sai số tuyệt đối;

X_{dd} là giá trị danh định;

X_{tq} là giá trị thực quy ước.

Sai số tuyệt đối có cùng đơn vị với đại lượng đo, song nó chưa phản ánh được độ chính xác của vật đo. Vì vậy, người ta thường sử dụng hình thức sai số tương đối và quy đổi.

– *Sai số tương đối:* Sai số tương đối của vật đo có giá trị bằng tỷ số giữa sai số tuyệt đối của vật đo và giá trị thực tương ứng của đại lượng mà nó thể hiện. Trong thực tế có thể thay giá trị thực bằng giá trị thực quy ước của đại lượng hoặc bằng giá trị danh định của vật đo.

Sai số tương đối là đại lượng không thứ nguyên và được biểu thị theo %:

$$\delta\% = \frac{\Delta X}{X_{dd, tq}} 100 [\%] \quad (7.18)$$

Sai số tương đối được coi là thước đo mức độ chính xác của vật đo.

Sai số quy đổi: Sai số quy đổi của vật đo có giá trị bằng tỷ số giữa sai số tuyệt đối của vật đo và giá trị đã được quy ước đối với vật đo. Ví dụ, với một vật đo đa trị thì giá trị quy ước này là phạm vi giá trị mà vật đo đa trị thể hiện.

$$\gamma\% = \frac{\Delta X}{D} 100 [\%] \quad (7.19)$$

Số hiệu chính của vật đo: Đại lượng có giá trị bằng sai số tuyệt đối của vật đo nhưng mang dấu ngược với dấu của sai số. Số hiệu chính này thể hiện độ lệch khỏi giá trị danh định của giá trị thực quy ước và được xác định khi hiệu chuẩn nó. Biết giá trị danh định và số hiệu chính, ta có thể tính được giá trị thực quy ước x_{tq} của đại lượng thể hiện bởi vật đo theo công thức:

$$x_{tq} = x_{dd} + \Delta_{hc} \quad (7.20)$$

với x_{dd} là giá trị danh định của vật đo, Δ_{hc} là số hiệu chính.

7.2.2. Quy định sai số cho phép và cấp chính xác của vật đo

Sai số cơ bản cho phép của vật đo đơn trị được quy định dưới dạng sai số tuyệt đối hoặc tương đối bằng một công thức đơn thức:

$$\Delta X_{ocp} = \pm a \quad (7.21)$$

$$\delta_{ocp} = \pm \frac{|\Delta X_{ocp}|}{X_{dd}} 100\% = \pm c [\%] \quad (7.22)$$

Trong đó: ΔX_{ocp} , δ_{ocp} là sai số cơ bản tuyệt đối và tương đối cho phép;

a là hằng số biểu thị theo đơn vị đại lượng đo;

X_{dd} là giá trị danh định của vật đo, c là hằng số.

Cách quy định và ký hiệu cấp chính xác của vật đo trong trường hợp này cũng tương tự như đối với cấp chính xác của phương tiện đo.

Đối với các vật đo không có giá trị danh định, người ta không quy định sai số cơ bản cho phép mà quy định dải giá trị thực quy ước của vật đo. Ví dụ giá trị thực quy ước của pin chuẩn cấp 0,001 được quy định là từ 1,018 59 V đến 1,018 63 V ở nhiệt độ 20 °C.

Sai số cơ bản cho phép của từng vật đo đa trị riêng biệt thường được quy định dưới dạng sai số quy đổi và cũng được biểu diễn bằng một công thức đơn thức:

$$\gamma_{ocp} = \pm \frac{|\Delta X_{ocp}|}{D} 100\% = \pm d [\%] \quad (7.23)$$

Trong đó: γ_{ocp} là sai số cơ bản quy đổi cho phép;

D là phạm vi giá trị mà vật đo đa trị thể hiện;

d là hằng số.

Để quy định sai số cơ bản cho phép của một bộ hay một hộp vật đo không thể dùng công thức đơn thức vì nó không phản ánh được toàn bộ sự phụ thuộc của sai số tương đối hoặc tuyệt đối của vật đo vào các giá trị danh định mà nó thể hiện. Trong trường hợp này phải dùng các công thức nhị thức:

$$\Delta X_{\text{ocp}} = \pm (a + bX)$$

$$\delta_{\text{ocp}} = \pm \left[c + d \left(\frac{X_k}{X} - 1 \right) \right] [\%] \quad (7.25)$$

Trong đó ΔX_{ocp} , δ_{ocp} là sai số cơ bản tuyệt đối và tương đối cho phép; a , b , c , d là những hằng số; X_k là giá trị đại lượng lớn nhất mà bộ hay hộp vật đo thể hiện, X là giá trị đại lượng đo thể hiện bằng vật đo.

Khi $X = X_k$ sai số cơ bản tương đối cho phép đạt tới giá trị $\delta = \pm c$; khi $X < X_k$ thì δ lớn hơn giá trị này. Ngoài công thức (7.24) và (7.25) ra cũng có thể dùng công thức:

$$\delta_{\text{ocp}} = \pm \left[c + d \left| \frac{X'}{X} - 1 \right| \right] [\%] \quad (7.26)$$

Trong đó X' là giá trị đại lượng đo bộ hay hộp vật đo thể hiện mà với giá trị này sai số cơ bản cho phép đạt giá trị bé nhất.

Cách quy định và ký hiệu cấp chính xác của vật đo trong các trường hợp nêu trên cũng tương tự như đối với cấp chính xác của phương tiện đo.

Nếu sự phụ thuộc của sai số cơ bản vào giá trị danh định của vật đo phức tạp hơn các công thức đã dẫn ra ở trên thì sai số cơ bản cho phép ứng với các giá trị danh định khác nhau của vật đo thường được cho dưới dạng bảng các giới hạn sai số tuyệt đối, ví dụ như đối với quả cân.

Ví dụ 1: Sai số cơ bản cho phép của vật đo độ dài cấp 2 có giá trị danh định 130 mm được cho theo công thức (7.21) và bằng:

$$\Delta = \pm 0,001 \text{ mm}$$

Ví dụ 2: Sai số cơ bản cho phép của bộ cân chuẩn hạng 1 được cho theo công thức (7.24):

$$\Delta = \pm (0,02 + 5 \cdot 10^{-4} L) \mu\text{m},$$

trong đó L là giá trị danh định của miếng cân chuẩn theo mm.

Ví dụ 3: Sai số cho phép của tụ điện chuẩn có điện dung nhỏ được quy định theo công thức (7.22) và thường có giá trị $\delta = \pm 0,05\%$ giá trị điện dung danh định.

Ví dụ 4: Sai số cho phép của hộp điện trở thập phân được quy định theo công thức nhị thức (7.25) dưới dạng:

$$\delta = \pm \left[k + F \frac{m}{R} \right] [\%]$$

với k là cấp chính xác của hộp điện trở, F là hằng số, R là điện trở chỉ trên hộp, m là số thập phân có trên hộp điện trở.

Ví dụ 5: Giá trị thực quy ước ở 20°C của pin chuẩn cấp chính xác 0,001 được quy định phải nằm trong phạm vi $(1,018\ 59 \div 1,018\ 63)\text{ V}$; cấp chính xác 0,02 phải nằm trong phạm vi $(1,018\ 6 \div 1,019\ 4)\text{ V}$.

7.3. BỘ CHUYỂN ĐỔI ĐO

7.3.1. Định nghĩa

Bộ chuyển đổi đo là thiết bị cung cấp đại lượng ở đầu ra có mối liên hệ xác định với đại lượng đầu vào. Bộ chuyển đổi đo là một dạng đặc biệt của phương tiện đo.

Đại lượng đầu vào cần biến đổi là đại lượng vật lý. Kết quả biến đổi ở đầu ra cũng là đại lượng vật lý. Như vậy giữa chúng có mối quan hệ hàm xác định. Quan hệ hàm này có thể tuyến tính hoặc phi tuyến. Trong kỹ thuật đo lường người ta mong muốn tạo ra các chuyển đổi tuyến tính để nâng cao độ chính xác của phép đo.

7.3.2. Phân loại bộ chuyển đổi đo

Cấu tạo của các bộ chuyển đổi đo rất đa dạng song đều dựa trên cơ sở các hiện tượng vật lý nhất định. Ví dụ cặp nhiệt điện sử dụng hiệu ứng suất nhiệt điện động; tenxơ đo biến dạng sử dụng hiệu ứng điện trở; chuyển đổi cảm ứng dựa trên quy luật biến thiên điện từ; chuyển đổi hoá điện dựa trên các hiện tượng hoá điện xảy ra khi có dòng điện đi qua bình điện phân...

Căn cứ vào vị trí lắp đặt của chuyển đổi trong kết cấu của phương tiện đo, các bộ chuyển đổi đo được phân thành:

– *Bộ chuyển đổi đo sơ cấp:* Là bộ chuyển đổi trực tiếp nhận đại lượng đo. Thường bộ chuyển đổi sơ cấp được chế tạo sao cho có các hình dạng phù hợp với chỗ đặt của điểm đo, cung cấp kèm theo thiết bị đo nên được gọi là đầu đo, bộ cảm biến hay tenxơ (sensor).

– *Bộ chuyển đổi đo trung gian*: là bộ chuyển đổi nằm ở sau bộ chuyển đổi sơ cấp.

– *Bộ chuyển đổi đo đầu ra*: là bộ chuyển đổi nằm ở đầu ra của phương tiện đo. Đại lượng ra có độ lớn và dạng thuận lợi cho việc truyền đi xa, chỉ thị, xử lý... Vì vậy bộ chuyển đổi này thường có kèm với cơ cấu đếm hoặc ghi để phản ánh giá trị đại lượng đo hoặc gắn liền với máy vi tính để tự động điều khiển quá trình đo.

Căn cứ theo số đại lượng vào, bộ chuyển đổi đo được phân thành:

– *Bộ chuyển đổi đo một đại lượng vào*: Hàm chuyển đổi có dạng $Y = f(X)$; đại lượng vào có thể là đại lượng điện, từ hoặc là đại lượng không điện như quang, nhiệt, độ dài... Ví dụ nhiệt ngẫu, tế bào quang điện là bộ chuyển đổi đo có một đại lượng vào.

– *Bộ chuyển đổi đo nhiều đại lượng vào*: Hàm chuyển đổi phụ thuộc nhiều đại lượng vào, nó có dạng $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Ví dụ bộ chuyển đổi Hall có 2 đại lượng vào là điện và từ.

Căn cứ theo bản chất đại lượng ra so với đại lượng vào, ta có:

– *Bộ chuyển đổi tỷ lệ*: Bản chất vật lý của đại lượng ra không thay đổi dưới tác dụng của bộ chuyển đổi này và hàm biến đổi có dạng tuyến tính. Bộ chuyển đổi tỷ lệ chính là các bộ khuếch đại đo lường; ví dụ biến dòng, biến áp, sun...

– *Các bộ chuyển đổi đo làm thay đổi bản chất vật lý của đại lượng vào*: Các chuyển đổi này được gọi tên theo các đại lượng có liên quan, ví dụ chuyển đổi nhiệt – điện, cơ – điện...

Căn cứ theo tính gián đoạn hoặc liên tục của đại lượng ra, ta có:

– *Bộ chuyển đổi tương tự – tương tự*: Là các bộ chuyển đổi đo có đại lượng đầu ra là hàm liên tục của đại lượng đầu vào.

– *Bộ chuyển đổi tương tự – số*: Là các bộ chuyển đổi đo biến đổi thông tin đo dạng biến thiên liên tục sang dạng gián đoạn hoặc ngược lại để phục vụ yêu cầu của kỹ thuật đo hiện số.

– *Bộ chuyển đổi số – số*: Là các bộ chuyển đổi đo biến đổi thông tin đo dưới dạng mã cơ số này sang mã cơ số khác. Ví dụ bộ chuyển đổi thông tin trong hệ đếm nhị phân sang thập phân. Bộ chuyển đổi loại này là phần tử không thể thiếu trong phương tiện đo hiện số.

7.3.3. Đặc trưng kỹ thuật của bộ chuyển đổi đo

Khi đánh giá bộ chuyển đổi đo hay khi phải so sánh chúng với nhau ta cần chú ý những đặc trưng cơ bản sau đây:

- Đặc tính của bộ chuyển đổi đo: là hàm biểu thị quan hệ phụ thuộc giữa đại lượng ra và đại lượng vào: $Y = f(X)$.

Hàm quan hệ này phải đơn trị, nghĩa là với một giá trị X ta luôn luôn chỉ nhận được một giá trị Y mà thôi.

- Tính ổn định của bộ chuyển đổi đo theo thời gian.

- Tín hiệu ra của bộ chuyển đổi đo phải thích hợp cho việc ghép nối vào thiết bị đo lường – điều khiển.

- Độ nhạy và sai số của bộ chuyển đổi đo: được định nghĩa tương tự như mục 7.1.3 và 7.1.4.

7.4. HỆ THỐNG ĐO

Hệ thống đo được định nghĩa là một tập hợp đầy đủ các phương tiện đo và thiết bị khác được liên kết lại để thực hiện những phép đo nhất định. Ví dụ: hệ thống tự động phân tích nồng độ vật chất trong công nghiệp, sinh hoá; hệ chẩn đoán kỹ thuật; hệ thống để đo độ dẫn điện của vật liệu bán dẫn; thiết bị để hiệu chuẩn nhiệt kế y học...

Trong các hệ thống đo nêu trên người ta phải giải quyết các vấn đề như: phân lớp và đặt tên cho các chế độ đo để xác định các đại lượng cần được đo, phạm vi đo, phương pháp đo, trình tự đo và xử lý kết quả đo, tìm ra các hệ số hiệu chỉnh và tự động xử lý kết quả đo thông qua máy vi tính.

Ngày nay, kỹ thuật vi tính và tự động hoá phát triển mạnh mẽ, vì vậy hệ thống đo càng được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như tự động điều khiển quá trình sản xuất; tự động kiểm tra chất lượng sản phẩm; tự động hiệu chuẩn phương tiện đo... Các nhà thiết kế hệ thống đo đang nghiên cứu ứng dụng thiết bị và kỹ thuật mới để không ngừng nâng cao hiệu quả và chất lượng của hệ thống đo.

7.5. ỨNG DỤNG

Ứng dụng kỹ thuật vi xử lý và vi tính trong việc phát triển phương tiện đo, hệ thống đo.

Việc sử dụng vi xử lý trong kỹ thuật đo lường đã mang lại một loạt những ưu thế cho phương tiện đo và hệ thống thông tin đo lường. Một số ưu điểm nổi bật:

- Ghép nối thiết bị đo với bàn phím cho phép đưa thông tin vào bằng bàn phím số hoặc đặt trước giá trị đo lường hay kiểm tra của thông số nào đó.

- Ghép nối với màn hình để đọc kết quả đo và cả sai số.
- Gia công kết quả đo theo các thuật toán đã định sẵn và đưa ra màn hình.
- Nối với máy in để in kết quả đo hay tự động vẽ lại các đường cong sau khi đã gia công kết quả bằng phép xây dựng đường cong thực nghiệm.
- Thay đổi toạ độ bằng cách đưa thêm vào các hệ số nhân thích hợp.
- Tiến hành tính toán khi thực hiện phép đo gián tiếp hay hợp bộ hay đo lường thống kê.
- Hiệu chỉnh được sai số của phép đo.
- Bù các kết quả đo bị sai lệch do ảnh hưởng của biến động các thông số như nhiệt độ, độ ẩm, tần số...
- Điều khiển các khâu của phương tiện đo cho phù hợp với đại lượng đo, ví dụ tự động chọn thang đo.
- Mã hoá các tín hiệu đo.
- Ghép nối với kênh liên lạc để truyền số đi xa.
- Ghép nối với bộ nhớ số liệu của kết quả đo hay các giá trị tức thời của tín hiệu đo.

Vì xử lý được ứng dụng rất hiệu quả trong hệ thống thông tin đo lường, cụ thể là trong các hệ thống đo lường nhiều kênh để đo nhiều điểm đo một cách tự động, trong các hệ thống kiểm tra tự động các thông số của đối tượng, kiểm tra phân loại sản phẩm (hệ thống nhận dạng), hệ thống chẩn đoán kỹ thuật, chẩn đoán bệnh (hệ chuyên gia) và hệ thống đo lường từ xa. Trong các hệ thống này việc xử lý thông tin đo đòi hỏi phải sử dụng các thuật toán phức tạp.

Sử dụng vi xử lý có thể thay thế cho một loạt các thao tác mà trong dụng cụ số không thực hiện được, ví dụ như phép nhân, phép tuyến tính hoá, điều khiển quá trình đo, điều khiển sự làm việc của các thiết bị vào và ra...

Trên đây mới chỉ liệt kê rất hạn chế những khả năng mà vi xử lý đem lại khi sử dụng chúng trong thiết bị đo. Tuy nhiên ta cũng thấy rõ việc sử dụng vi xử lý đã tạo ra một tiến bộ vượt bậc trong ngành kỹ thuật đo lường. Nó thực sự là một cuộc cách mạng, tức là vi xử lý và vi tính sẽ thay thế chức năng của một phương tiện đo và hệ thống đo thông thường trong tương lai.

Chương 8

HIỆU CHUẨN PHƯƠNG TIỆN ĐO VÀ LIÊN KẾT CHUẨN ĐO LƯỜNG

8.1. KHÁI NIỆM VÀ ĐỊNH NGHĨA

8.1.1. Hiệu chuẩn phương tiện đo

Truyền đạt chính xác độ lớn của đơn vị đo từ chuẩn cao nhất đến các phương tiện đo thông dụng nhất là biện pháp cơ bản để đảm bảo tính thống nhất và độ chính xác cần thiết của phương tiện đo và từ đó đảm bảo tính thống nhất và độ chính xác cần thiết của tất cả các phép đo trong từng nước và trên toàn thế giới. Hiệu chuẩn phương tiện đo là biện pháp quan trọng để đạt tới mục tiêu này.

VIM: 2007 đã định nghĩa hiệu chuẩn (calibration) là hoạt động trong những điều kiện quy định, bước thứ nhất là thiết lập mối liên hệ giữa các giá trị đại lượng có độ không đảm bảo đo do chuẩn đo lường cung cấp và các số chỉ (giá trị của đại lượng đo phương tiện đo cung cấp) tương ứng với độ không đảm bảo đo kèm theo và bước thứ hai là sử dụng thông tin này để thiết lập mối liên hệ cho việc nhận được kết quả đo từ số chỉ. Nói một cách đơn giản và cụ thể hơn, hiệu chuẩn chính là tập hợp các thao tác trong điều kiện quy định để thiết lập mối quan hệ giữa các giá trị của đại lượng được chỉ bởi phương tiện đo, hệ thống đo hoặc giá trị được thể hiện bằng vật đo hoặc mẫu chuẩn và các giá trị tương ứng thể hiện bằng chuẩn đo lường. Kết quả hiệu chuẩn cho phép hoặc xác định giá trị của đại lượng đo theo số chỉ hoặc xác định sự hiệu chỉnh đối với số chỉ.

Hiệu chuẩn cũng có thể xác định các tính chất đo lường khác, ví dụ, như tác động của đại lượng ảnh hưởng đến phương tiện đo...

Kết quả hiệu chuẩn được ghi trong một tài liệu thường được gọi là giấy chứng nhận hiệu chuẩn hoặc thông báo hiệu chuẩn. Hiệu chuẩn phương tiện đo rất cần thiết để mọi cơ sở sản xuất, kinh doanh, nghiên cứu biết được

tình trạng của phương tiện đo trong quá trình sử dụng, bảo quản chúng, từ đó có biện pháp xử lý, hiệu chỉnh, sử dụng kịp thời phù hợp với mục tiêu sản xuất, kinh doanh, nghiên cứu của mình.

Như vậy, xét về mặt kỹ thuật, nội dung cơ bản của việc hiệu chuẩn chính là việc so sánh phương tiện đo với chuẩn đo lường để đánh giá sai số và các đặc trưng kỹ thuật, đo lường khác của nó.

Kết hợp sự phân loại chuẩn và phương tiện đo theo độ chính xác với sự phân loại chuẩn và phương tiện đo theo mục đích và chức năng sử dụng của nó (xem mục 3.1), có thể tóm tắt bản chất kỹ thuật của việc hiệu chuẩn bằng sơ đồ hình 3.2. Lưu ý là các bậc chính xác 0, I, II... trình bày trong sơ đồ chỉ hoàn toàn mang tính ví dụ.

Trước hết, đơn vị được thể hiện bằng chuẩn đầu quốc gia, sau đó được truyền lần lượt đến các chuẩn chính ở các bậc chính xác khác nhau bằng việc hiệu chuẩn. Tùy theo độ chính xác mà phương tiện đo được hiệu chuẩn bằng cách so sánh với chuẩn công tác ở bậc chính xác này hay bậc chính xác khác. Tương tự như vậy, chuẩn công tác cũng sẽ được hiệu chuẩn bằng cách so sánh với chuẩn chính này hay chuẩn chính khác tùy theo độ chính xác của nó.

8.1.2. Liên kết chuẩn đo lường

Một đặc trưng quan trọng của việc hiệu chuẩn là phải đảm bảo tính liên kết chuẩn đo lường của nó.

TCVN 6165:1996 – VIM:1993 định nghĩa liên kết chuẩn đo lường (metrological traceability), hay vắn tắt là liên kết chuẩn (traceability), là tính chất của kết quả đo hoặc giá trị của một chuẩn mà nhờ đó có thể liên hệ tới những chuẩn đã định, thường là chuẩn quốc gia hay chuẩn quốc tế, thông qua một chuỗi so sánh không đứt đoạn với những độ không đảm bảo xác định. Chuỗi so sánh không đứt đoạn được gọi là chuỗi liên kết chuẩn.

VIM:2007 định nghĩa cụ thể hơn: Liên kết chuẩn là tính chất của kết quả đo nhờ đó kết quả có thể liên hệ tới mốc quy chiếu thông qua một chuỗi không đứt đoạn các phép hiệu chuẩn được lập thành tài liệu, mỗi phép hiệu chuẩn đóng góp vào độ không đảm bảo đo. Mốc quy chiếu ở đây có thể là định nghĩa của đơn vị đo thông qua việc thể hiện thực tế nó, hoặc một thủ tục đo, hoặc một chuẩn đo lường. Liên kết chuẩn đo lường yêu cầu phải có một sơ đồ hiệu chuẩn được thiết lập.

Phép hiệu chuẩn có tính liên kết chuẩn (a traceable calibration) đạt tới được khi từng phương tiện đo và chuẩn trong một hệ thống thứ bậc từ thấp nhất đến cao nhất, mở rộng tới chuẩn quốc gia và chuẩn quốc tế, đều đã được hiệu chuẩn một cách thích hợp. Các kết quả hiệu chuẩn được thể hiện thành tài liệu đủ để cung cấp những thông tin cần thiết chỉ ra rằng tất cả các phép hiệu chuẩn đều đã được thực hiện một cách đúng đắn và mỗi phép hiệu chuẩn này là một mắt xích liên tục trong chuỗi so sánh không đứt đoạn được gọi là chuỗi liên kết chuẩn như trên đã nói.

Sơ đồ hình 3.2 cũng đồng thời cho ta một hình ảnh cụ thể về liên kết chuẩn đo lường. Các phương tiện đo cũng như các chuẩn đều được đặt vào một mắt xích tương ứng trong chuỗi liên kết chuẩn. Kết quả cuối cùng là chúng đều được nối (so sánh) với chuẩn quốc gia trực tiếp hay gián tiếp. Có thể hình dung liên kết chuẩn đo lường như một dòng họ. Chuẩn đo lường quốc gia chính là “ông tổ” của một dòng họ các phép đo và phương tiện đo của một loại đại lượng tương ứng trong từng nước.

8.1.3. Kiểm định phương tiện đo

Kiểm định phương tiện đo, hoặc vắn tắt là kiểm định, là hoạt động thuộc lĩnh vực đo lường pháp định, thường được trình bày chi tiết trong các tài liệu về quản lý đo lường. Ở đây nêu vắn tắt khái niệm này chủ yếu là để phân biệt với khái niệm hiệu chuẩn đã nêu ở trên.

VIML:2000 đã định nghĩa kiểm định phương tiện đo (verification of measuring instrument) là hoạt động bao gồm việc kiểm tra và đóng dấu và/hoặc cấp một giấy chứng nhận kiểm định nhằm khẳng định và xác nhận phương tiện đo phù hợp với các yêu cầu luật pháp.

Xét về mặt kỹ thuật, nội dung cơ bản của việc kiểm định cũng tương tự như hiệu chuẩn. Đó là việc so sánh phương tiện đo với chuẩn đo lường tương ứng để đánh giá sai số và các đặc trưng kỹ thuật, đo lường khác của nó. Nhưng kiểm định khác với hiệu chuẩn ở chỗ sau khi tiến hành các thao tác kỹ thuật còn phải đối chiếu kết quả thu được với yêu cầu đã được luật pháp về đo lường quy định để xem phương tiện đo có phù hợp hay không. Chỉ phương tiện đo đạt yêu cầu mới được cấp giấy chứng nhận kiểm định hoặc đóng (in, dán) dấu kiểm định lên phương tiện đo để xác nhận tính hợp thức của nó trong sử dụng hoặc lưu thông; những phương tiện đo nào không đạt yêu cầu sẽ không được đưa vào lưu thông, sử dụng.

Như vậy, kiểm định là bắt buộc đối với các phương tiện đo nằm trong danh mục phải qua kiểm định do Nhà nước ban hành, nhằm mục đích đảm bảo an toàn và quyền lợi chung cho mọi người, cho toàn xã hội.

8.2. PHÒNG HIỆU CHUẨN VÀ CÁC HÌNH THỨC THỰC HIỆN VIỆC LIÊN KẾT CHUẨN

8.2.1. Phòng hiệu chuẩn

Việc hiệu chuẩn chủ yếu được thực hiện trong các phòng thí nghiệm mà ở đó các yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, rung động, sự cách ly khỏi các nhiễu loạn điện từ... được kiểm soát một cách chặt chẽ, hoặc được điều khiển, điều chỉnh theo yêu cầu.

Đo lường có một hệ thống các phòng thí nghiệm từ trình độ thấp nhất đến cao nhất. Thường đề cập đến các loại phòng thí nghiệm đo lường sau đây:

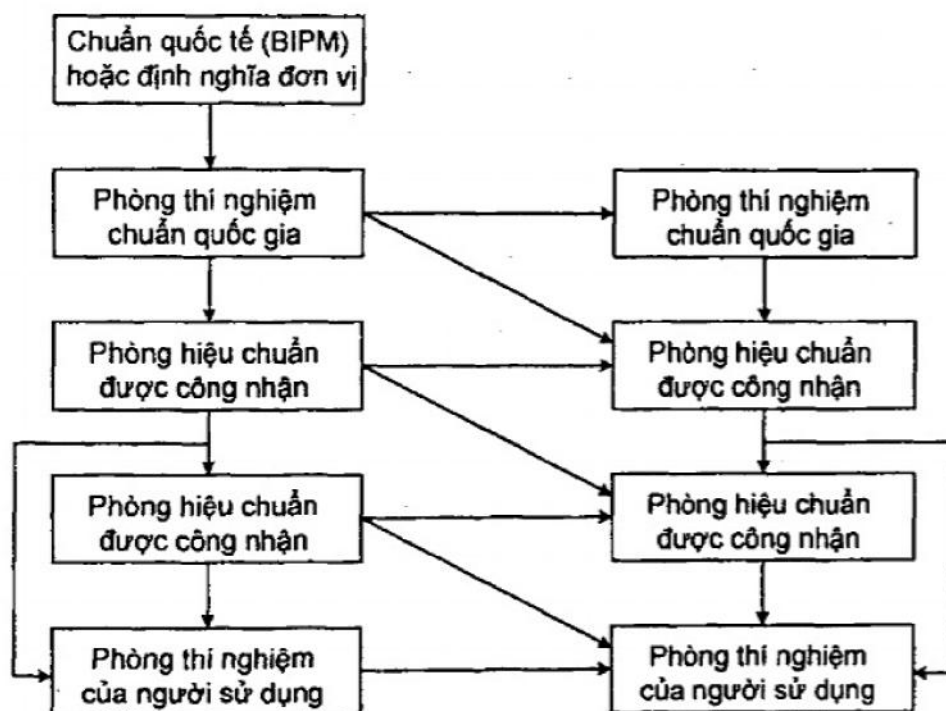
Phòng thí nghiệm chuẩn đầu (primary standard laboratory): là nơi thực hiện trình độ đo lường cao nhất. Những nghiên cứu về phương pháp đo mới chính xác hơn, các phép hiệu chuẩn chuẩn đầu, chuẩn thứ được thực hiện ở các phòng thí nghiệm này. Trong phạm vi từng nước, đây chính là các phòng thí nghiệm chuẩn quốc gia (national standard laboratory), hay vắn tắt là phòng chuẩn quốc gia, đây chính là Viện đo lường quốc gia – National Metrology Institute (NIM) – của mỗi nước.

Phòng thí nghiệm hiệu chuẩn, gọi tắt là phòng hiệu chuẩn (calibration laboratory): các phòng thí nghiệm này được định hướng trước hết vào việc thực hiện các phép hiệu chuẩn có tính chất phổ biến bằng cách sử dụng các chuẩn đo lường đã được hiệu chuẩn tại các phòng chuẩn quốc gia hoặc các phòng hiệu chuẩn có trình độ cao hơn. Một yêu cầu rất quan trọng đối với các phòng hiệu chuẩn là phải làm thế nào đó để có thể đưa trả lại phương tiện đo cho người sử dụng một cách nhanh nhất mà vẫn đảm bảo được chất lượng của việc hiệu chuẩn. Các phòng hiệu chuẩn lớn có thể hiệu chuẩn tới hàng nghìn phương tiện đo trong một năm.

8.2.2. Liên kết chuẩn

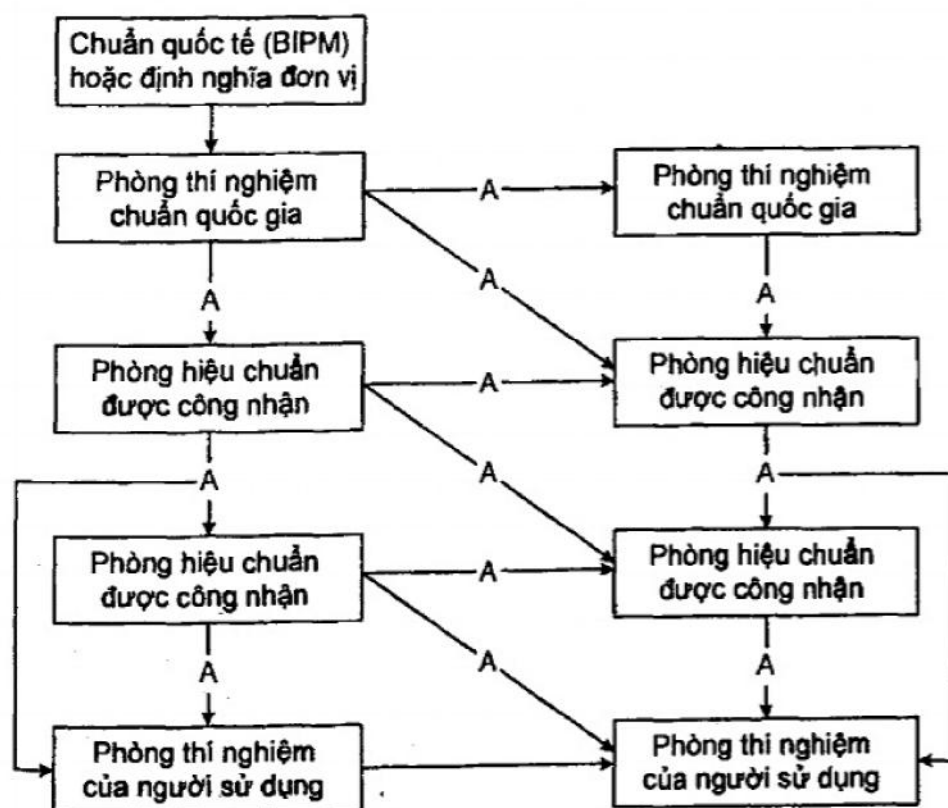
Nhìn một cách tổng quát, có hai hình thức để đảm bảo, duy trì liên kết chuẩn sau đây:

a) Liên kết chuẩn thông qua một hệ thống các phòng hiệu chuẩn kế tiếp nhau bắt đầu từ bậc chính xác thấp nhất là các phòng thí nghiệm của người sử dụng, tới phòng hiệu chuẩn được công nhận với các bậc chính xác khác nhau, rồi tới phòng thí nghiệm chuẩn quốc gia và cuối cùng là tới chuẩn quốc tế tại Viện cân đo quốc tế (BIPM) hoặc định nghĩa của đơn vị.



Hình 8.1. Liên kết chuẩn thông qua hệ thống phòng hiệu chuẩn kế tiếp

b) Liên kết chuẩn thông qua việc so sánh các kết quả đo, thử trên cùng một mẫu thử (ký hiệu là A) giữa các phòng thí nghiệm khác nhau.



Hình 8.2. Liên kết chuẩn thông qua việc so sánh các kết quả đo

Trong các sơ đồ trên có “phòng hiệu chuẩn được công nhận”. Đó là những phòng hiệu chuẩn đã được cơ quan công nhận có thẩm quyền đánh giá và công nhận đủ năng lực để thực hiện những phép hiệu chuẩn nhất định. Còn “phòng thí nghiệm của người sử dụng” là những phòng thí nghiệm sử dụng các chuẩn và phương tiện đo đã được hiệu chuẩn tại các phòng hiệu chuẩn có khả năng thích hợp để tiến hành các phép đo thực tế.

Nhánh bên trái của sơ đồ diễn đạt quá trình liên kết chuẩn ở các nước phát triển, trình độ chuẩn quốc gia đã đạt tới trình độ cần và có thể so sánh trực tiếp với chuẩn quốc tế. Nhánh bên phải diễn đạt quá trình liên kết chuẩn ở các nước đang phát triển. Chuẩn quốc gia ở các nước này chưa đạt tới trình độ so sánh trực tiếp với chuẩn quốc tế. Nó được so sánh với chuẩn quốc tế gián tiếp không qua chuẩn quốc gia (hoặc chuẩn có độ chính xác cao hơn) của một nước khác.

8.3. PHÒNG HIỆU CHUẨN ĐƯỢC CÔNG NHẬN

Các phòng hiệu chuẩn có vai trò rất quan trọng trong việc đảm bảo tính liên kết chuẩn, và từ đó đảm bảo tính thống nhất và độ chính xác cần thiết của tất cả các phương tiện đo và phép đo trong phạm vi một nước cũng như trên phạm vi toàn thế giới. Công nhận phòng hiệu chuẩn là một hình thức đã được thừa nhận trên phạm vi quốc tế để đáp ứng một yêu cầu ngày càng cấp bách: đảm bảo và nâng cao không ngừng chất lượng hoạt động của phòng hiệu chuẩn, đảm bảo cho mọi kết quả hiệu chuẩn được công bố đều đạt độ chính xác theo yêu cầu.

Công nhận phòng hiệu chuẩn (calibration laboratory accreditation) là hoạt động của một cơ quan có thẩm quyền, gọi là cơ quan công nhận (accreditation body) nhằm thừa nhận chính thức phòng hiệu chuẩn đủ năng lực để thực hiện những phép hiệu chuẩn nhất định. Phòng hiệu chuẩn được thừa nhận như vậy gọi là “phòng hiệu chuẩn được công nhận” (accredited calibration laboratory).

Để thống nhất các chuẩn mực làm cơ sở đánh giá công nhận phòng hiệu chuẩn trên toàn thế giới, Tổ chức tiêu chuẩn hoá quốc tế (ISO) và Ủy ban kỹ thuật điện quốc tế (IEC) đã đồng công bố lần đầu tiên năm 1978 tài liệu “ISO/IEC Guide 25 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories – Yêu cầu chung về năng lực của phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn”. Qua nhiều lần soát xét, bổ sung, năm 1999 tài liệu này được công bố thành tiêu chuẩn quốc tế mang số hiệu ISO/IEC 17025. Phiên bản mới nhất được công bố là ISO/IEC 17025:2005. Đây là phiên

bản hiện hành của tiêu chuẩn quốc tế này. ISO/IEC 17025:2005 quy định các yêu cầu chung về năng lực thực hiện các phép thử và/hoặc hiệu chuẩn, bao gồm cả việc lấy mẫu. Tiêu chuẩn đề cập đến việc thử nghiệm và hiệu chuẩn được thực hiện bằng các phương pháp tiêu chuẩn, không tiêu chuẩn và các phương pháp do phòng thí nghiệm tự xây dựng. Đây chính là hệ thống quản lý chất lượng mà phòng hiệu chuẩn cần phải đạt tới để được công nhận.

Các phòng hiệu chuẩn được công nhận theo ISO/IEC 17025 là một trong các cơ sở quan trọng để thoả thuận công nhận lẫn nhau những kết quả đo do các phòng thí nghiệm này công bố trong phạm vi một nước cũng như giữa các nước với nhau.

8.4. THỎA THUẬN CÔNG NHẬN LẦN NHAU ĐỐI VỚI CHUẨN ĐO LƯỜNG QUỐC GIA VÀ GIẤY CHỨNG NHẬN HIỆU CHUẨN

Hiện nay, do sự trao đổi hàng hoá trên phạm vi toàn cầu và sự phân công lao động quốc tế phát sinh từ quá trình hợp nhất nền kinh tế thế giới, không còn cho phép hình dung đo lường chỉ như một hệ thống thuần túy có tính chất quốc gia nữa. Vấn đề công nhận kết quả đo, thử, kết quả hiệu chuẩn lẫn nhau trong từng nước, cũng như giữa các nước trong khu vực và trên phạm vi quốc tế đang ngày càng trở nên cần thiết để tạo điều kiện thuận lợi cho việc gỡ bỏ rào cản về mặt kỹ thuật. Yêu cầu thống nhất và chính xác về đo lường đang được đặt ra cấp bách trong phạm vi từng quốc gia cũng như trên toàn thế giới.

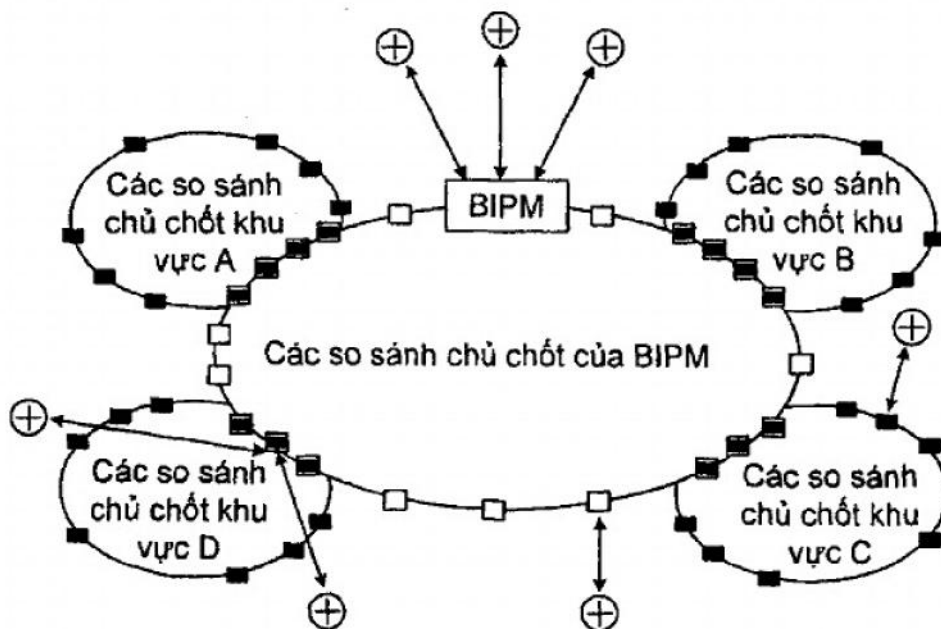
Cơ sở khoa học và kỹ thuật của sự thống nhất và chính xác về đo lường chính là hệ thống chuẩn đo lường. Căn cứ để thiết lập các chuẩn đo lường là Hệ đơn vị quốc tế – SI. Đây là một hệ đơn vị liên kết chặt chẽ với các hằng số cơ bản và các hằng số nguyên tử. Điều này tạo điều kiện để đạt được sự ổn định lâu dài và tính vạn năng của việc sử dụng các đơn vị đo lường trong tất cả các lĩnh vực khoa học. Như vậy, yêu cầu đặt ra đối với tất cả các phép đo là phải có thể truy nguyên về SI và phải gắn với một độ không đảm bảo được ước lượng một cách đúng đắn, chính xác và tin cậy. Người sử dụng phải có thể sử dụng chung và rộng rãi kết quả đo cho các mục đích từ cụ thể, thông thường, cho đến các mục đích ở tầm vĩ mô như để đánh giá sự thay đổi của môi trường làm căn cứ cho quyết định của Chính phủ các nước

về bảo vệ môi trường... Sự công nhận lẫn nhau đối với chuẩn đo lường và giấy chứng nhận hiệu chuẩn do các Viện đo lường quốc gia công bố là để phục vụ cho những mục đích nêu trên.

Thoả thuận công nhận lẫn nhau đối với chuẩn đo lường quốc gia và giấy chứng nhận hiệu chuẩn do các Viện đo lường quốc gia công bố, gọi tắt là Thoả thuận công nhận lẫn nhau – viết tắt theo tiếng Anh là MRA – The Mutual Recognition Agreement – do Ủy ban cân đo quốc tế (CIPM) soạn thảo và đã được Giám đốc Viện đo lường quốc gia các nước thành viên Công ước Mét ký kết tham gia chính thức tại Hội nghị cân đo toàn thể lần thứ 21 năm 1999. Phạm vi tham gia thoả thuận gồm hai nội dung:

1. *Mức độ tương đương của chuẩn đo lường quốc gia dựa trên cơ sở kết quả các đợt so sánh chủ chốt (The key comparison) về chuẩn đo lường do Viện cân đo quốc tế (BIPM) và các Tổ chức đo lường khu vực (RMO – Regional Metrology Organization) thực hiện*

Có thể hình dung các so sánh chủ chốt đó như trình bày trong sơ đồ hình 8.3.



Hình 8.3. Các so sánh chủ chốt của BIPM và RMO

Tham gia vào các so sánh chủ chốt của BIPM là các NMI chịu trách nhiệm thiết lập chuẩn đo lường quốc gia ở mỗi nước cho từng lĩnh vực đo lường tương ứng. Việc tham gia vào các so sánh của RMO dành cho tất cả các thành viên của RMO, bao gồm cả các NMI ngoài khu vực được mời tham dự.

Mỗi so sánh chủ chốt của BIPM đưa đến một giá trị quy chiếu của so sánh đó. Mức độ tương đương của các chuẩn đo lường được hiểu là mức độ phù hợp của chuẩn đó so với giá trị quy chiếu. Mức độ phù hợp này được mô tả định lượng bằng độ lệch của chuẩn đo lường so với giá trị quy chiếu tương ứng và độ không đảm bảo của độ lệch này (với hệ số phù $k = 2$). Do đó, mức độ phù hợp giữa hai cặp chuẩn đo lường quốc gia được diễn tả bằng hiệu giữa các độ lệch của chúng so với giá trị quy chiếu và độ không đảm bảo của hiệu này (với $k = 2$).

Kết quả các so sánh chủ chốt do RMO tổ chức được liên kết tới giá trị quy chiếu của các so sánh chủ chốt do BIPM tổ chức thông qua sự tham gia của một số NMI vào cả hai loại so sánh chủ chốt, của BIPM và của RMO.

2. Công nhận hiệu lực các giấy chứng nhận hiệu chuẩn và các giấy chứng nhận đo lường khác do NMI công bố

Nội dung này được trình bày trong danh mục những đại lượng mà các NMI tham gia thoả thuận sẽ công nhận hiệu lực giấy chứng nhận hiệu chuẩn lẫn nhau. Danh mục sẽ nêu rõ đối với từng NMI: tên đại lượng; phạm vi và khả năng về đo, hiệu chuẩn được thể hiện bằng độ không đảm bảo (với hệ số phù $k = 2$).

Để công nhận lẫn nhau về hiệu lực của giấy chứng nhận hiệu chuẩn, ngoài việc tham gia vào các so sánh chủ chốt và so sánh bổ sung, các NMI còn phải thiết lập và áp dụng một hệ thống chất lượng phù hợp với ISO/IEC 17025 cho các hoạt động hiệu chuẩn của mình. Hệ thống chất lượng này phải được đánh giá và công nhận bởi một cơ quan công nhận đáp ứng các yêu cầu của tiêu chuẩn quốc tế *ISO/IEC 17011:2004 Đánh giá sự phù hợp – Yêu cầu chung đối với cơ quan công nhận thực hiện việc công nhận các tổ chức đánh giá sự phù hợp*.

8.5. MỘT SỐ VẤN ĐỀ KỸ THUẬT CỦA HIỆU CHUẨN

8.5.1. Phương pháp hiệu chuẩn

a) Hiệu chuẩn bằng phương pháp so sánh trực tiếp

Phương pháp này dùng cách so sánh trực tiếp vật đo với vật đo chuẩn, phương tiện đo với phương tiện đo chuẩn để xác định sai số và các đặc trưng kỹ thuật, đo lường khác của nó.

Về vật đo, chỉ có thể so sánh trực tiếp các vật đo độ dài (thước vạch, thước cuộn...), các vật đo dung tích (ống đong, bình đong...) với nhau. Phương pháp này đơn giản, nhanh, nhưng độ chính xác thấp. Đối với các vật đo có độ chính xác cao người ta phải so sánh chúng với nhau qua một dụng cụ so sánh nào đó.

Hiệu chuẩn phương tiện đo bằng phương pháp so sánh trực tiếp được sử dụng phổ biến và được tiến hành trên cơ sở đo đồng thời cùng một đại lượng bằng hai phương tiện: phương tiện đo cần hiệu chuẩn và phương tiện đo chuẩn. Khi đó cần chú ý đảm bảo và kiểm tra tính đồng nhất của đại lượng đo. Ví dụ khi đặt một số nhiệt kế vào bình điều nhiệt thì nhiệt độ của mỗi nhiệt kế có thể khác nhau do kết cấu của bình điều nhiệt không tốt hoặc không hoàn hảo. Hoặc khi đặt cặp nhiệt điện vào lò thì sự không đồng đều của trường nhiệt độ lò sẽ ảnh hưởng đến số chỉ của cặp nhiệt điện.

Trong các quy trình hiệu chuẩn phương tiện đo đều có quy định cách đảm bảo tính đồng nhất của đại lượng đo, các thiết bị đảm bảo tính đồng nhất đó và cách kiểm tra các thiết bị.

b) Hiệu chuẩn vật đo bằng dụng cụ so sánh

Nội dung của phương pháp này là so sánh vật đo với vật đo chuẩn thông qua một dụng cụ so sánh. Độ chính xác của phương pháp hiệu chuẩn này phụ thuộc vào các đặc trưng đo lường của dụng cụ so sánh. Các dụng cụ so sánh được dùng phổ biến như: cân chuẩn các loại (hiệu chuẩn quả cân), cầu điện một chiều và xoay chiều (hiệu chuẩn điện trở, điện cảm, điện dung), điện thế kế (hiệu chuẩn điện trở, pin), máy so (hiệu chuẩn các miếng cân độ dài).

Dưới đây xem xét một vài đặc trưng đo lường của dụng cụ so sánh dùng để hiệu chuẩn.

Yêu cầu về độ nhạy của dụng cụ so sánh có thể diễn đạt như sau: dụng cụ so sánh phải có độ nhạy để có thể phát hiện được những thay đổi của đại lượng đo bé hơn giá trị sai số cho phép của vật đo chuẩn. Ví dụ cân hiệu chuẩn quả cân 1 kg có sai số cho phép là 500 mg. Ta phải dùng một quả cân chuẩn có sai số không vượt quá 100 mg. Khi đó cân dùng để so sánh phải có độ nhạy sao cho khi thay đổi khối lượng 100 mg thì kim chỉ của nó phải dịch chuyển đi ít nhất là một vạch trên thang.

Các phần tử cấu tạo của dụng cụ so sánh phải ổn định. Ví dụ yêu cầu quan trọng nhất của cân đòn tay đòn dùng làm dụng cụ hiệu chuẩn quả cân là tính ổn định của hai cánh tay đòn. Thực tế không bao giờ đạt được sự cân bằng tuyệt đối. Bằng phương pháp cân thế, cân đối có thể loại trừ ảnh hưởng của sự không cân bằng này. Nhưng những phương pháp này sẽ chỉ có giá trị khi độ không cân bằng nhỏ và ổn định vì trong khi cân lập, nếu độ không cân bằng của hai cánh tay đòn thay đổi, sẽ có sai số mới xuất hiện.

Tỷ số giữa các “nhánh” của cầu điện một chiều và xoay chiều có thể là 1: 1 cũng có thể là 1: 10; 1: 100; 1: 1 000... Độ ổn định của các tỷ số này, cũng tức là độ ổn định của tỷ số giữa điện trở của các nhánh, có ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của phép hiệu chuẩn.

Các đặc điểm của phương pháp trên được nêu trong các quy trình hiệu chuẩn hoặc các tài liệu hướng dẫn tương ứng. Phương pháp này cho phép đạt được một độ chính xác cao khi hiệu chuẩn. Nó được dùng khá nhiều, nhất là khi so sánh giữa các vật độ chuẩn với nhau.

c) Hiệu chuẩn phương tiện đo theo vật độ chuẩn:

Nội dung của các phương pháp này là dùng phương tiện đo đo đại lượng thể hiện bằng vật độ chuẩn hoặc đo một đại lượng nào đó mà đại lượng này lại đồng thời được so sánh với giá trị của vật độ chuẩn.

Ví dụ đơn giản của phương pháp này là việc hiệu chuẩn thước cặp. Người ta dùng thước cặp đo độ dài các miếng căn chuẩn. Hiệu số giữa số chỉ thước cặp và giá trị thực quy ước của căn chuẩn tương ứng chính là sai số của thước cặp tại vạch chia đó.

Nếu có vật độ chuẩn đa trị hoặc bộ vật độ chuẩn thì khi hiệu chuẩn người ta thường điều chỉnh vật độ chuẩn hoặc bộ vật độ chuẩn để kim chỉ của phương tiện đo dừng lại ở vạch cần kiểm tra. Ví dụ khi hiệu chuẩn ôm mét, người ta nối nó với hộp điện trở chuẩn. Điều chỉnh hộp điện trở chuẩn để kim chỉ của ôm mét dừng lại ở vạch cần kiểm tra. Giá trị điện trở cho trên hộp điện trở chuẩn là giá trị điện trở thực tế tương ứng với số chỉ của ôm mét.

Hiệu chuẩn vôn mét bằng điện thế kế (máy bù) là ví dụ về việc hiệu chuẩn bằng cách đo song song một đại lượng nào đó bằng phương tiện đo cần hiệu chuẩn và bằng vật độ chuẩn. Điện áp được tạo ra bằng nguồn dòng

nào đó và được điều chỉnh bằng biến trở. Do tác dụng của các điện áp này kim chỉ của vôn mét sẽ lệch tới các vạch xác định nào đó. Đồng thời điện áp này lại được đo bằng cách so sánh với sức điện động của pin chuẩn qua điện thế kế (máy bù).

d) Hiệu chuẩn từng phần phương tiện đo

Các phương pháp hiệu chuẩn trình bày ở trên là phương pháp hiệu chuẩn toàn phần phương tiện đo. Với cách này sai số được xác định như là sai số toàn phần duy nhất của phương tiện đo. Khi hiệu chuẩn toàn phần, phương tiện đo làm việc giống hệt như khi nó được sử dụng trong thực tế. Trong đa số trường hợp, độ chính xác của phương pháp hiệu chuẩn toàn phần là rất đáng tin cậy. Tuy nhiên, đôi khi hiệu chuẩn phương tiện đo theo phương pháp từng phần lại tỏ ra hợp lý hơn.

Nội dung của phương pháp từng phần có những nét giống như phương pháp đo gián tiếp. Khi hiệu chuẩn từng phần người ta đo thông số của các phần tử cấu tạo riêng rẽ của phương tiện đo và sau đó tính toán giá trị thực tế của các thông số đó. Phương pháp từng phần chỉ sử dụng khi đã biết chính xác quy luật tương tác giữa các phần tử riêng biệt của phương tiện đo và khi người ta có khả năng loại trừ các ảnh hưởng bên ngoài lên số chỉ của nó hoặc có thể tính toán được chính xác các ảnh hưởng này.

Nguyên nhân khiến người ta phải sử dụng phương pháp từng phần là vì trong một số trường hợp việc hiệu chuẩn toàn phần tốn nhiều thời gian và công sức, hoặc vì việc chọn vật đo chuẩn để hiệu chuẩn các phương tiện đo có số chỉ đa dạng rất phức tạp.

Trong thực tế, thường kết hợp hiệu chuẩn từng phần với hiệu chuẩn toàn phần. Ngoài việc kiểm tra các phần tử cấu tạo riêng rẽ của phương tiện đo và tính toán sai số ra, người ta còn hiệu chuẩn toàn phần phương tiện đo ở một vài số chỉ tiêu biểu. Ví dụ như khi hiệu chuẩn áp kế pittông, ngoài việc so sánh áp kế này với áp kế chuẩn có độ chính xác cao hơn, người ta còn xác định riêng rẽ khối lượng của các tải kèm theo; hoặc khi hiệu chuẩn vôn mét nhiều thang đo, có thể hiệu chuẩn toàn bộ vôn mét ở tất cả các thang hoặc cũng có thể chỉ hiệu chuẩn thật cẩn thận ở một, hai thang và sau đó đo các điện trở phụ, điện trở của cơ cấu đo, rồi tính ra các số hiệu chính (hoặc hệ số hiệu chỉnh) cho các thang khác.

Phương pháp hiệu chuẩn từng phần rất thích hợp đối với các phương tiện đo có cấu tạo phức tạp, đặc biệt là đối với các phương tiện đo mà cấu tạo gồm có dụng cụ so sánh và vật đo chuẩn lắp sẵn bên trong.

e) Hiệu chuẩn dụng cụ so sánh

Nếu không có vật đo chuẩn đi kèm, thì riêng dụng cụ so sánh chưa có thể dùng để đo. Tuy nhiên, chúng vẫn thường được xem như là một loại phương tiện đo.

Dụng cụ so sánh không cho các số chỉ diễn tả trực tiếp theo đơn vị đại lượng đo, mà cho biết tỷ số giữa giá trị đại lượng đo và giá trị vật đo, vì vậy việc hiệu chuẩn dụng cụ so sánh có điểm đặc biệt. Nhiệm vụ quan trọng đầu tiên là xác định độ chính xác của phép sao tỷ số hai giá trị trên, muốn vậy phải xác định độ chính xác của tỷ số các nhánh trong dụng cụ. Thường người ta sử dụng phương pháp hiệu chuẩn từng phần. Độ chính xác của tỷ số các “nhánh” có thể xác định bằng cách so sánh thử trên dụng cụ hai vật đo có giá trị đã biết hoặc bằng cách đo các phần tử riêng biệt tạo thành “nhánh” của dụng cụ.

Ví dụ độ chính xác của tỷ số tay đòn trong các cân đầu tay đòn (1: 1) hoặc không đều tay đòn (1: 10; 1: 100...) có thể xác định bằng cách đặt các quả cân chuẩn lên đĩa cân. Tùy theo đặc điểm cấu tạo của dao và tay đòn, các quả cân được đặt vào những vị trí khác nhau trên đĩa cân để xác định xem trong trường hợp phân bố khối lượng trên đĩa cân không đều thì tỷ số cánh tay đòn có thay đổi vượt quá phạm vi cho phép không.

Tỷ số các “nhánh” trong cầu đo điện được hiệu chuẩn bằng cách so sánh với tỷ số các điện trở của vật đo chuẩn hoặc bằng cách đo các phần tử riêng biệt (điện trở) tạo thành nhánh cầu. Người ta thường dùng phương pháp đo các phần tử riêng biệt khi số các tỷ số “nhánh” khá lớn. Nếu điện trở của các nhánh cầu không dùng làm vật đo điện trở thì có thể không cần biết giá trị chính xác của các điện trở này, mà chỉ cần sao cho tỷ số giữa chúng phù hợp với tỷ số danh định của cầu. Tuy nhiên, việc đảm bảo tính đúng đắn của tỷ số các nhánh bằng cách này trong nhiều trường hợp phức tạp hơn là việc đảm bảo tính đúng đắn của tỷ số các nhánh với các giá trị điện trở đã biết chính xác.

Với các dụng cụ so sánh có bộ phận chỉ “0” lắp ở trong thì một đặc trưng quan trọng là độ nhạy. Cần chú ý là ở các chế độ làm việc khác nhau độ nhạy của dụng cụ so sánh có thể thay đổi khá nhiều, ví dụ như với cân đều tay đòn.

g) Hiệu chuẩn bộ chuyển đổi đo

Đặc trưng cơ bản của bộ chuyển đổi đo là tỷ số giữa giá trị đại lượng đo ở đầu vào và đầu ra của bộ chuyển đổi. Các đại lượng ở đầu vào và ra này có thể khác nhau về kích thước và cả về bản chất. Kiểm tra sự đúng đắn của tỷ số trên, xem giá trị thực tế của chúng còn phù hợp với giá trị danh định không, là nhiệm vụ quan trọng nhất trong việc hiệu chuẩn bộ chuyển đổi đo. Việc xác định tỷ số của bộ chuyển đổi đo tương tự như việc xác định tỷ số của các nhánh trong dụng cụ so sánh. Trong phương pháp từng phần, người ta đo các phần tử cấu tạo riêng biệt của bộ chuyển đổi đó và tính toán ra tỷ số. Khi hiệu chuẩn toàn phần, cần kiểm tra bộ chuyển đổi đo trong trạng thái làm việc. Đo đại lượng vào, đại lượng ra bằng các phương tiện đo chuẩn hay các vật đo chuẩn. Tỷ số giữa các số chỉ của phương tiện đo và vật đo này là hệ số chuyển đổi thực tế của bộ chuyển đổi (đã kể cả số hiệu chỉnh nếu cần).

Trong một số trường hợp việc hiệu chuẩn bộ chuyển đổi có thể tiến hành bằng cách so sánh với bộ chuyển đổi đo chuẩn có độ chính xác cao hơn, ví dụ như khi hiệu chuẩn các máy biến dòng và biến áp đo lường. Phương pháp này khá tiện lợi, tuy nhiên, bản thân bộ chuyển đổi đo chuẩn cũng phải được hiệu chuẩn với độ chính xác cao hơn.

Cũng có thể hiệu chuẩn bộ chuyển đổi bằng cách tạo nên sự biến đổi nhờ một số phần tử có khả năng hiệu chuẩn tương đối dễ dàng. Ví dụ, khi hiệu chuẩn các biến dòng, biến áp đo lường có thể dùng các điện trở sun hoặc các bộ phận phân áp để chuyển đổi dòng hoặc thế.

8.5.2. Chọn chuẩn để hiệu chuẩn phương tiện đo

Tỷ số giữa độ không đảm bảo đo của chuẩn và độ không đảm bảo đo mong muốn của phương tiện đo cần hiệu chuẩn phải bằng bao nhiêu là tốt nhất? Hoặc diễn đạt theo sai số, thì tỷ số giữa sai số của chuẩn và sai số cho phép của phương tiện đo cần hiệu chuẩn phải bằng bao nhiêu là tốt nhất? Đây là một vấn đề phức tạp và cho đến nay vẫn chưa được trả lời một cách đầy đủ.

Khi chọn chuẩn, ngoài sai số của chuẩn và sai số cho phép của phương tiện đo ra còn phải chú ý đến mức độ tin cậy của việc xác định chính các sai số này. Khi đó xuất hiện nhiều khó khăn liên quan đến việc phải sử dụng lý thuyết xác suất. Thêm vào đó, sai số đặc trưng cho độ chính xác của một phương tiện đo thường chứa cả sai số ngẫu nhiên và sai số hệ thống, ngoài ra nó lại thay đổi theo tác động của các nguyên nhân bên ngoài.

Song các yêu cầu đặt ra với chuẩn trong một mức độ nào đó lại mâu thuẫn với nhau. Nếu sai số của phương tiện đòi hỏi phải được xác định với độ tin cậy càng cao thì yêu cầu chuẩn càng phải chính xác. Mặt khác chuẩn có độ chính xác càng cao thì điều kiện sử dụng, bảo quản càng phức tạp, giá càng đắt và so với các chuẩn chính xác thấp nhưng ổn định hơn thì nó cần phải kiểm tra thường xuyên hơn.

Trong trường hợp không cần xác định số hiệu chính có thể xem kết quả hiệu chuẩn phương tiện đo là đủ tin cậy nếu sai số của chuẩn bé hơn hoặc bằng 1/10 giới hạn sai số cho phép của phương tiện đo. Ví dụ phương tiện đo có sai số cho phép là 1% thì chuẩn dùng để hiệu chuẩn phải có sai số nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%.

Trường hợp cần xác định số hiệu chính thì cơ sở để chọn chuẩn không còn là sai số cho phép của phương tiện đo nữa mà là sai số của việc xác định số hiệu chính. Sai số này phụ thuộc vào mức độ ổn định của số chỉ, vào độ chính xác có thể đạt được của việc đọc số chỉ và vào một vài đặc trưng khác nữa của phương tiện đo cần hiệu chuẩn.

Xét ví dụ sau. Một phương tiện đo điện áp cấp 0,5, sai số cho phép của nó là $\pm 0,5\%$ giới hạn đo trên. Thang của dụng cụ có 100 vạch, sai số đọc có thể đạt tới $\pm 0,1$ vạch, tức $\pm 0,1\%$. Độ hồi sai của số chỉ bé hơn 0,1 vạch, như vậy trong thực tế không phát hiện được. Với đồng hồ này sau khi kiểm tra có thể gán cho nó những số hiệu chính sao cho khi dùng chúng, sai số của đồng hồ sẽ không vượt $\pm 0,1\%$. Trong trường hợp này, chuẩn dùng để hiệu chuẩn phải có sai số bé hơn hoặc bằng $\pm 0,01\%$ chứ không phải là $\pm 0,05\%$. Nhưng nếu dụng cụ có độ hồi sai của số chỉ tới 0,3 vạch, thì việc đưa ra các số hiệu chính trên là vô nghĩa và chuẩn dùng trong trường hợp này chỉ cần có sai số không vượt quá $\pm 0,5\%$ chứ không phải là $\pm 0,01\%$.

Tuy nhiên, kinh nghiệm cho thấy dùng tỷ số 1/10 là quá thừa trong nhiều trường hợp. Mặt khác, mức độ tin cậy của kết quả hiệu chuẩn trong những trường hợp khác nhau và với những cấu trúc khác nhau của phương tiện đo sẽ có giá trị khác nhau. Vì vậy người ta đã quy định trong các quy trình hiệu chuẩn, các tiêu chuẩn, hoặc các văn bản kỹ thuật khác các tỷ số 1: 3; 1: 4 hoặc 1: 5 cho từng loại phương tiện đo cụ thể. Sự ổn định số chỉ của chuẩn có vai trò quan trọng trong việc chọn tỷ số trên, độ hồi sai của số chỉ càng lớn thì tỷ số phải càng lớn, tức độ chính xác của chuẩn càng phải

cao. Song để khắc phục điều này, thường đề ra các yêu cầu cao đối với độ hồi sai của số chỉ. Tỷ số sai số cho phép nhỏ nhất là 1: 3. Tỷ số 1: 2 và bé hơn nữa cũng có thể được sử dụng với điều kiện là sai số ngẫu nhiên của chuẩn và phương tiện đo cần hiệu chuẩn nhỏ không đáng kể và độ chính xác của nó về cơ bản chỉ do sai số hệ thống quyết định.

Trong nhiều trường hợp cấp chính xác của phương tiện đo được xác định theo sai số quy đổi, nghĩa là sai số biểu thị bằng phần trăm của giới hạn đo trên. Vì vậy, khi đề ra các yêu cầu đối với chuẩn, điều quan trọng là phải làm sao để giới hạn đo trên của chuẩn bằng hay chỉ hơi lớn hơn giới hạn đo trên của phương tiện đo cần hiệu chỉnh.

8.5.3. Sơ đồ hiệu chuẩn

Để đảm bảo việc truyền đơn vị từ chuẩn đo lường đến các phương tiện đo được chính xác, thống nhất, cũng tức là để đảm bảo tính liên kết chuẩn, người ta thường xây dựng các sơ đồ hiệu chuẩn cho từng loại phương tiện đo. Những sơ đồ này còn được gọi là sơ đồ thứ bậc cho phương tiện đo.

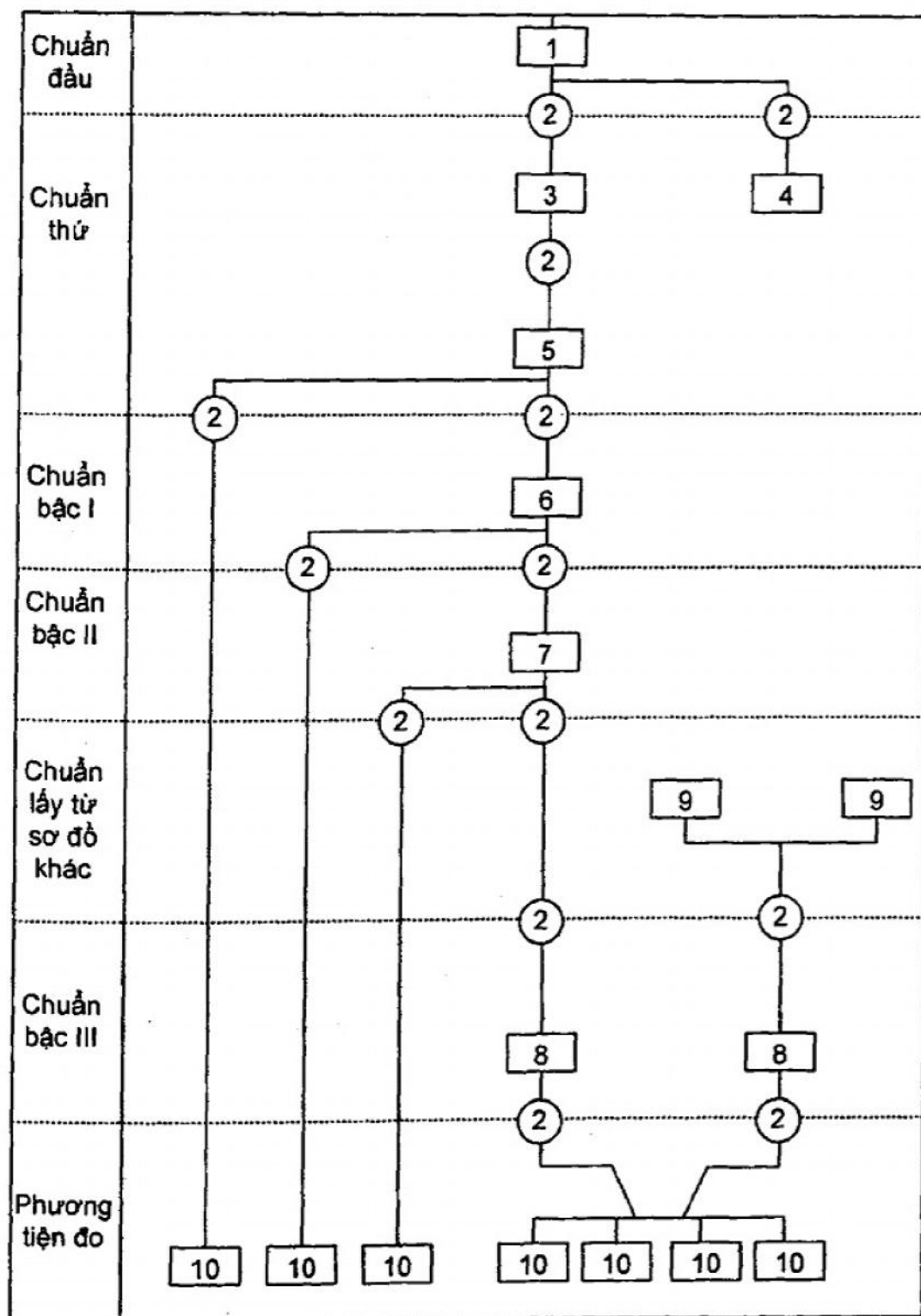
Sơ đồ hiệu chuẩn trình bày phương tiện, phương pháp và độ không đảm bảo của việc truyền đơn vị từ chuẩn đến các phương tiện đo.

Sơ đồ thường có hai phần: phần lời và phần vẽ. Phần lời có phần mở đầu trình bày đối tượng, phạm vi sử dụng của sơ đồ và phần ghi chú trình bày những vấn đề cần chú ý trong các nội dung của sơ đồ.

Phần vẽ là phần chủ yếu của sơ đồ hiệu chuẩn. Trong phần vẽ cần chỉ rõ tên gọi các chuẩn và phương tiện đo, những đặc trưng đo lường quan trọng nhất của chúng (phạm vi đo, độ không đảm bảo, cấp chính xác hoặc sai số cho phép), tên gọi các phương pháp hiệu chuẩn. Tên của chuẩn và phương tiện đo cùng với các đặc trưng đo lường của nó thường để trong khung hình chữ nhật. Tên phương pháp hiệu chuẩn thường để trong khung tròn hoặc ôvan tùy theo số từ nhiều hay ít. Sự phụ thuộc giữa các thành phần được biểu diễn bằng các đường nối.

Theo chiều ngang, phần vẽ được chia thành các khoảng, số các khoảng ứng với số bậc để truyền đơn vị. Trong sơ đồ hiệu chuẩn chung của một lĩnh vực thì khoảng 1 trình bày tên các chuẩn đầu, khoảng 2 trình bày tên chuẩn thứ. Tiếp đó là các khoảng trình bày chuẩn bậc I, bậc II... Khoảng cuối cùng trình bày các phương tiện đo theo thứ tự cấp chính xác giảm dần từ trái sang phải.

Dưới đây trình bày làm ví dụ về nội dung của một sơ đồ hiệu chuẩn nói chung. Sơ đồ cho thấy chuẩn đầu (ô 1) chính là “ông tổ” dòng họ của loại phương tiện đo và phép đo tương ứng được xác định trong sơ đồ.



Hình 8.4. Sơ đồ hiệu chuẩn

8.5.4. Chu kỳ hiệu chuẩn

Việc tiến hành hiệu chuẩn phương tiện đo sau những khoảng thời gian bảo quản hoặc sử dụng nhất định là biện pháp quan trọng để duy trì độ chính xác cần thiết của phương tiện đo. Thời gian giữa hai lần hiệu chuẩn liên tiếp gọi là chu kỳ hiệu chuẩn. Chu kỳ hiệu chuẩn được xác định cho từng loại phương tiện đo khác nhau trên cơ sở độ bền, điều kiện và tần số sử dụng nó...

Quy định khoảng thời gian giữa hai lần hiệu chuẩn sao cho khoa học và kinh tế là một vấn đề có ý nghĩa lớn, đồng thời cũng rất khó khăn. Thời gian này dài quá thì phương tiện đo có thể đã mất chính xác trước khi đến kỳ hiệu chuẩn tiếp. Ngắn quá thì sẽ mất công vô ích và ảnh hưởng đến việc khai thác sử dụng phương tiện đo. Để xác định chu kỳ hiệu chuẩn thích hợp, thường dùng một số phương pháp sau:

a) Phương pháp sơ đồ bậc thang

Mỗi lần hiệu chuẩn phương tiện đo, xem xét sai số của phương tiện đo nằm trong hay ngoài phạm vi cho phép. Nếu sai số nằm trong phạm vi cho phép thì điều chỉnh kéo dài chu kỳ hiệu chuẩn. Nếu ngược lại thì rút ngắn chu kỳ hiệu chuẩn. Thiết lập sơ đồ chu kỳ hiệu chuẩn sẽ được sơ đồ dạng bậc thang. Từ sơ đồ bậc thang này có thể dễ dàng điều chỉnh nhanh chu kỳ hiệu chuẩn của lần kế tiếp.

b) Phương pháp đồ thị kiểm tra

Từ quy trình hiệu chuẩn, chọn các điểm hiệu chuẩn quan trọng của phương tiện đo; tiến hành kiểm tra định kỳ theo một khoảng thời gian nhất định và vẽ đồ thị kết quả hiệu chuẩn của các điểm hiệu chuẩn đã chọn theo các lần kiểm tra. Từ các đồ thị tính được độ phân tán và độ trôi tại mỗi điểm hiệu chuẩn đã chọn. Độ trôi ở đây là độ trôi của một lần kiểm tra, hoặc trong trường hợp phương tiện đo rất ổn định, là độ trôi trung bình của một số lần kiểm tra. Từ những số liệu này có thể xác định được chu kỳ hiệu chuẩn tối ưu.

c) Phương pháp dựa vào thời gian sử dụng phương tiện đo

Cơ sở của phương pháp là dựa vào sự ổn định của phương tiện đo theo thời gian sử dụng thực tế. Phương tiện đo được đặt cùng với một phương

tiện phụ chỉ báo thời gian ; mỗi lần sử dụng phương tiện đo, thiết bị chỉ báo thời gian ghi lại. Thường xuyên kiểm tra các thông số đảm bảo độ ổn định của phương tiện đo. Vào thời điểm phương tiện đo không còn đảm bảo độ ổn định, ghi lại khoảng thời gian sử dụng thực tế này và tiến hành hiệu chuẩn lại phương tiện đo. Sau một số lần theo dõi sẽ tính toán được chu kỳ hiệu chuẩn hợp lý theo thời gian sử dụng thực tế phương tiện đo.

d) Phương pháp tự kiểm tra

Chọn một số thông số cơ bản của phương tiện đo; kiểm tra thường xuyên các thông số này bằng một thiết bị kiểm tra đơn giản được chế tạo riêng cho việc kiểm tra này. Nếu phát hiện phương tiện đo nằm ngoài dung sai cho phép, đó chính là thời điểm phương tiện đo cần được hiệu chuẩn lại.

e) Phương pháp thống kê

Căn cứ vào kết quả của một số lần hiệu chuẩn định kỳ nhất định để suy ra chu kỳ hiệu chuẩn cần thiết. Ví dụ, tiến hành hiệu chuẩn một loại phương tiện đo đều đặn mỗi quý một lần trong hai năm liền. Kết quả cho thấy trong hai năm ấy sai số của phương tiện này không thay đổi. Từ kết quả đó, có thể xác định chu kỳ hiệu chuẩn cần thiết cho loại phương tiện đo này là một năm. Đương nhiên, giữa các lần hiệu chuẩn định kỳ, phương tiện đo phải sử dụng, bảo quản đúng theo các điều kiện kỹ thuật đã quy định.

8.6. HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Trên cơ sở những thành tựu của cuộc cách mạng khoa học – công nghệ đang diễn ra, lĩnh vực hiệu chuẩn phương tiện đo cũng đã có sự phát triển mới về nhiều mặt, đặc biệt là đối với việc hiệu chuẩn các phương tiện đo điện, điện tử. Những phát triển mới trong lĩnh vực hiệu chuẩn được trình bày dưới đây.

8.6.1. Thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng

Các loại đồng hồ vạn năng hiện số và các loại thiết bị hiệu chuẩn đồng hồ đo đang được sử dụng phổ biến trong hầu hết các phòng thí nghiệm đo lường. Chức năng của các đồng hồ vạn năng hiện số đã được mở rộng nhiều. Để hiệu chuẩn các loại đồng hồ đo này, trước đây các phòng thí nghiệm đo lường cần phải có một bộ các thiết bị hiệu chuẩn đơn chức năng (SFC – single function calibrator), thực chất đó là một bộ các vật đo chuẩn riêng biệt về dòng, áp, điện trở... Dạng thiết bị mới nhất được sử dụng hiện

nay là các loại thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng (MFC – multifunction calibrator). Thiết bị này cung cấp gần như toàn bộ các chức năng cần thiết cho việc hiệu chuẩn các loại đồng hồ vạn năng hiện số.

Một thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng thường có thể cho ra các kích dòng và điện áp một chiều, xoay chiều. Nó cũng có thể cho ra các kích thích điện trở, kích thích tần số dải vô tuyến. Thực chất đó là những bộ vật đo chuẩn thể hiện nhiều giá trị khác nhau của một số đại lượng cần thiết, được liên kết với nhau trong một cấu trúc thống nhất về mặt thiết kế và chế tạo.

Các thiết bị hiệu chuẩn đơn chức năng có thể được dùng nhằm bổ sung cho các thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng để cung cấp các chức năng phụ thêm như các kích thích về điện dung, điện cảm, tần số...

8.6.2. Hiệu chuẩn artifact (artifact calibration)

Hiệu chuẩn artifact (artifact calibration) là phương pháp mới rất có tác dụng trong thiết kế phương tiện đo, phương tiện hiệu chuẩn và trong việc hiệu chuẩn chúng. Theo phương pháp truyền thống, người ta thực hiện ở bên ngoài các phép so sánh đo tỷ số giữa phương tiện đo cần hiệu chuẩn với các chuẩn. Với phương pháp hiệu chuẩn artifact, những phép so sánh trên được thực hiện bằng các thiết bị tỷ số và thiết bị đo lường lắp đặt ngay trong phương tiện đo. Bằng cách bao gồm trong đó cả điện áp một chiều có độ ổn định cao và các chuẩn, phương tiện đo có thể sử dụng các phương trình phần mềm bên trong để so sánh tính năng của nó với các chuẩn bên ngoài.

Hiệu chuẩn artifact làm giảm đáng kể việc hiệu chỉnh khi hiệu chuẩn và các chi phí cho việc bảo trì. Hiệu chuẩn artifact cũng làm tăng sự tin cậy của người sử dụng giữa các lần hiệu chuẩn. Có thể tóm tắt các lợi ích của phương pháp này như sau:

- Giảm bớt công sức cần thiết để thực hiện các phép hiệu chuẩn;
- Số lượng chuẩn cần cho việc hiệu chuẩn ít hơn;
- Loại trừ được sai số do người thao tác gây ra;
- Dễ dàng phát hiện sự hoạt động không ổn định hoặc sai sót.

Các phương tiện đo điện tử bao gồm một số lượng lớn chi tiết khác biệt nhau. Dạng mạch và giá trị của các chi tiết xác định các đặc trưng của

phương tiện đo. Vì giá trị của các chỉ tiết thường thay đổi theo thời gian nên phương tiện đo cần phải hiệu chuẩn định kỳ để đảm bảo được sự phù hợp liên tục với các quy định kỹ thuật thông qua việc hiệu chỉnh khi hiệu chuẩn.

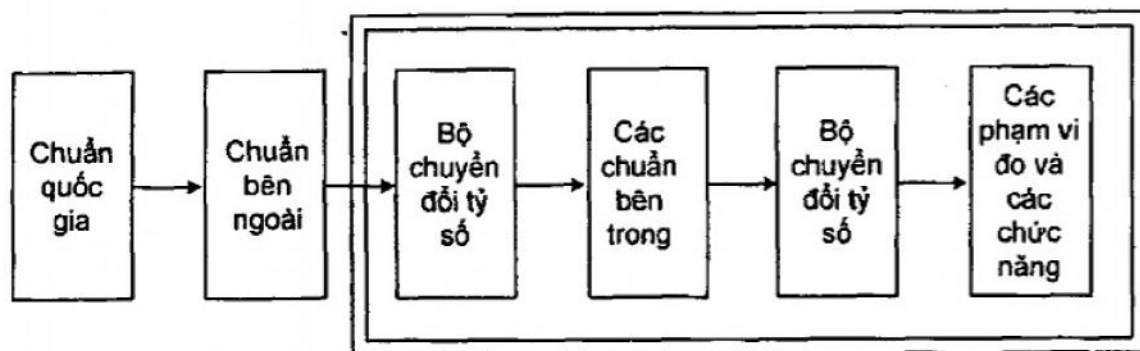
Những năm trước 1970, việc hiệu chỉnh khi hiệu chuẩn định kỳ thường là việc hiệu chỉnh có tính chất vật lý đối với các chỉ tiết bên trong phương tiện đo, ví dụ như xoay các chiết áp, các tụ điện biến đổi..., làm cho phương tiện đo phù hợp với các chuẩn bên ngoài.

Từ giữa những năm 70, các nhà thiết kế thiết bị bắt đầu sử dụng các mạch vi xử lý không chỉ để nâng cao khả năng và phạm vi hoạt động của phương tiện đo và thử nghiệm mà còn để đơn giản hoá quá trình hiệu chuẩn. Các phương tiện này đã được thiết kế và chứa các hệ số hiệu chỉnh phần mềm để bù trừ cho sai số khuếch đại và sai số điểm "0" ở từng phạm vi đo.

Những năm trước 1990, các phép hiệu chuẩn hộp kín (closed – case calibration) đã được đưa vào sử dụng đối với phần lớn các loại phương tiện đo. Sự hiệu chỉnh phần mềm bên trong đã thay thế cho việc phải tháo mở vỏ thiết bị để thực hiện sự hiệu chỉnh có tính chất vật lý đối với các chỉ tiết của thiết bị. Điều này đã làm đơn giản quá trình hiệu chuẩn, làm cho quá trình hiệu chuẩn được tự động hoá một cách dễ dàng.

Phương pháp hiệu chuẩn artifact cũng được áp dụng đối với các thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng. Trong những năm trước đây, việc hiệu chuẩn các thiết bị hiệu chuẩn phải thực hiện trong các phòng thí nghiệm đo lường cấp cao. Các hiệu chuẩn viên lành nghề phải sử dụng chuẩn đo lường chất lượng cao theo các quy trình đã được viết ra thành văn bản để hiệu chuẩn bằng tay các thiết bị hiệu chuẩn này. Nhờ phương pháp hiệu chuẩn artifact, hiện nay các thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng đã có thể tự hiệu chuẩn chính ngay tại nơi sử dụng. Các thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng này bao gồm các chuẩn chất lượng cao, bộ chia tỷ số, bộ dò không, các bộ chia thập phân và mạch vi xử lý lắp đặt ở bên trong. Mạch vi xử lý điều khiển chương trình cơ sở của các thủ tục hiệu chuẩn để thực hiện việc hiệu chuẩn này.

Một vấn đề quan trọng là phải đảm bảo sự liên kết chuẩn của hiệu chuẩn artifact. Người ta sử dụng các chuẩn ngoài đã được nối với chuẩn quốc gia để định kỳ kiểm tra lại sự phù hợp của các quá trình đo lường diễn ra bên trong thiết bị và các đặc trưng đầu ra của thiết bị. Sơ đồ sau là một ví dụ cho thấy chuỗi liên kết chuẩn không đứt đoạn của thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng đã nói tới ở trên.



Hình 8.5. Chuỗi liên kết chuẩn của thiết bị hiệu chuẩn

Những phát triển có tính chất cách mạng trong lĩnh vực hiệu chuẩn nêu trên là dựa trên cơ sở kỹ thuật thu nhỏ kích thước. Ví dụ như các bộ dò “không” được tạo thành trên vi mạch, các hệ thống tỷ số được rút gọn thành panen mạch đơn và mạch điện trở màng mỏng thay thế cho các điện trở kích thước công kênh...

8.6.3. Hiệu chuẩn tự động hoá

Tất cả các hoạt động trong quá trình hiệu chuẩn đều có thể được tự động hoá để làm cho quá trình hiệu chuẩn hợp lý hơn, để nâng cao độ chính xác và tính trung thực của các tài liệu và kết quả hiệu chuẩn. Mức độ tự động hoá này phụ thuộc vào phạm vi nhiệm vụ của từng người sử dụng, các yêu cầu về chất lượng và điều kiện kiểm tra.

a) Quá trình hiệu chuẩn

Để tiến hành tự động hoá quá trình hiệu chuẩn một cách có hiệu quả cần có sự hiểu biết kỹ lưỡng các hoạt động diễn ra trong quá trình và mối liên hệ của chúng với từng hoạt động khác. Sẽ có những hoạt động thích hợp nhiều hơn hoặc ít hơn đối với việc tự động hoá. Người quản lý phòng thí nghiệm phải tiếp cận với từng hoạt động một để phát triển tuần tự việc tự động hoá.

Quá trình hiệu chuẩn bao gồm nhiều nhiệm vụ. Những nhiệm vụ này có thể phân thành ba loại: hoạt động điều hành, các thao tác hàng ngày và hoạt động điều chỉnh. Sự liệt kê các công việc dưới đây là sự gợi ý giúp người quản lý phòng thí nghiệm xem xét để tự động hoá việc hiệu chuẩn các thiết bị của họ.

Các hoạt động điều hành: Công việc thuộc loại này là thiết lập các nhiệm vụ và quy trình hiệu chuẩn nói chung.

- Xác định các phương tiện đo cần hiệu chuẩn;

- Thiết lập chu kỳ hiệu chuẩn;
- Quy định một trình độ chất lượng chấp nhận được đối với phương tiện đo;
- Văn bản hoá nơi để và việc sử dụng phương tiện đo;
- Thiết lập quy trình hiệu chuẩn;
- Xác định hoặc là hiệu chuẩn phương tiện đo trong phòng thí nghiệm hoặc là tại chỗ trên dây chuyền sản xuất;
- Xác định các mức thành thạo cần thiết để quản lý công việc và để thực hiện các phép hiệu chuẩn;
- Xác định điều kiện môi trường và các thiết bị cần thiết phải cung ứng.

Các thao tác hàng ngày: Bao gồm các công việc thường xuyên của phòng hiệu chuẩn.

- Đưa phương tiện đo đến phòng thí nghiệm hiệu chuẩn hoặc hiệu chuẩn chúng tại chỗ;
- Xác định quy trình hiệu chuẩn thích hợp;
- Kiểm tra và sửa chữa các phương tiện hiệu chuẩn;
- Thực hiện việc kiểm tra khi hiệu chuẩn để phát hiện hoặc loại bỏ (theo một số điều kiện);
- Thực hiện việc hiệu chỉnh khi hiệu chuẩn;
- Duy trì các chuẩn đo lường;
- Cung cấp các báo cáo, giấy chứng nhận, nhãn dán và các tài liệu hiệu chuẩn thích hợp khác phù hợp với yêu cầu của người có phương tiện đo và của các chuyên gia đánh giá;
- Đưa các phương tiện đi vào hoạt động trở lại.

Các hoạt động điều chỉnh: Trong từng thời gian, phòng hiệu chuẩn soát xét và hiệu chỉnh các hoạt động của mình.

- Xác định các thiết bị sắp vượt giới hạn phù hợp và đưa chúng ra khỏi công việc;
- Tối ưu hoá chu kỳ hiệu chuẩn;
- Xác định lại các quy trình hiệu chuẩn;
- Cập nhật địa điểm thiết bị và hồ sơ người sử dụng.

b) Các hoạt động chủ yếu cần tự động hoá

Có ba hoạt động được xem là cốt lõi nhất đối với việc tự động hoá quá trình hiệu chuẩn.

Gọi lại: Quá trình hiệu chuẩn bắt đầu với việc nhận dạng thiết bị cần phải hiệu chuẩn, xác định vị trí về mặt vật lý của nó và thông báo ngày tháng yêu cầu cho người có thiết bị. Sự thông báo này phải đề cho người có thiết bị đủ thời gian chuẩn bị thiết bị thay thế.

Hiệu chuẩn: Cùng lúc với việc xác định vị trí về mặt vật lý của thiết bị, một quy trình hiệu chuẩn thích hợp cũng được xác định. Cán bộ đo lường có trình độ phải sẵn sàng xem xét lại quy trình để đảm bảo phù hợp với các yêu cầu đã định. Tiếp đó, kỹ thuật viên tiến hành hiệu chuẩn đối tượng theo quy định. Với các phép hiệu chuẩn thủ công, điều này bao gồm việc liên kết thiết bị cần hiệu chuẩn với các thiết bị kích thích theo hướng dẫn của quy trình. Kỹ thuật viên phải kiểm tra sự hưởng ứng hoặc đầu ra của thiết bị được hiệu chuẩn.

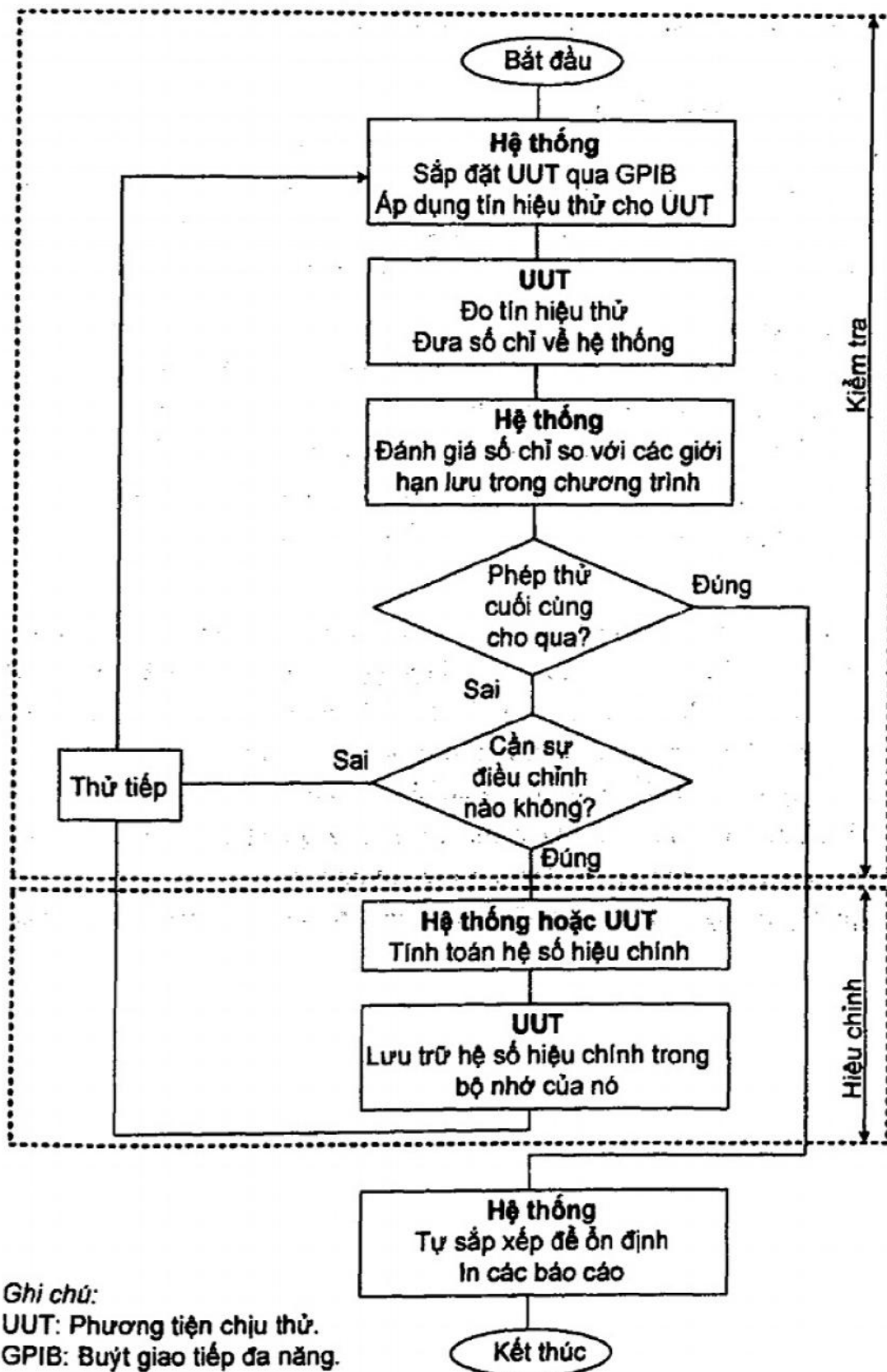
Tài liệu: Tài liệu về hiệu chuẩn có hai mục đích: để quản lý lịch sử của các thiết bị và để thông báo các kết quả hiệu chuẩn. Hồ sơ về lịch sử các thiết bị phải bao gồm những gì đã được thực hiện đối với thiết bị (thời gian thực hiện, với trang thiết bị gì, các kết quả và việc hiệu chuẩn lần sau vào lúc nào...).

Một giấy chứng nhận cần được cấp cho người sử dụng phương tiện đo. Người sử dụng cần giấy chứng nhận này để chứng minh sự liên kết chuẩn của phương tiện đo.

Tất cả những hoạt động trên tiêu phí khá nhiều sức lực và thời gian của phòng thí nghiệm. Thực hiện chúng trong điều kiện thủ công sẽ mắc nhiều nguồn sai số. Những nguồn sai số này có thể khắc phục bằng hiệu chuẩn tự động hoá.

c) Máy tính và phần mềm

Hiệu chuẩn tự động hoá chủ yếu nằm ở các máy tính để giúp cán bộ phòng hiệu chuẩn thực hiện các công việc của họ. Được dùng nhiều hiện nay là các máy tính cá nhân. Phần mềm của những máy tính này rất phong phú, được cung cấp rộng rãi trên thị trường, có thể dùng cùng với phần mềm hiệu chuẩn tự động hoá để thực hiện nhiệm vụ của một phòng hiệu chuẩn.



Hình 8.6. Sơ đồ hiệu chuẩn vòng kín

Hiện có hai loại phần mềm về đo lường đã được bán trên thị trường: phần mềm hiệu chuẩn và phần mềm quản lý công việc. Phần mềm hiệu chuẩn dùng để điều khiển các phép hiệu chuẩn cụ thể. Nó giúp duy trì một chuỗi không đứt đoạn các phép đo có thể truy nguyên được tới chuẩn đo lường quốc gia. Phần mềm quản lý công việc cung cấp các tài liệu và hồ sơ để sử dụng như là những bằng chứng của hệ thống chất lượng hoặc của sự tuân thủ hợp đồng về các phép đo có liên kết chuẩn.

Tân tiến nhất trong tự động hoá là hiệu chuẩn vòng kín (closed – loop calibration). Nó cho phép kỹ thuật viên nối phương tiện đo với thiết bị kích thích trực tiếp bằng thủ tục máy tính. Máy tính xác định địa chỉ của phương tiện chịu hiệu chuẩn và điều khiển toàn bộ việc hiệu chuẩn. Máy tính lập ra dữ liệu thử, phân tích các kết quả và hiệu chỉnh phương tiện chịu hiệu chuẩn theo yêu cầu. Sơ đồ hình 8.6 trình bày trình tự một phép hiệu chuẩn vòng kín.

Việc tự động hoá đem lại cho quá trình hiệu chuẩn rất nhiều ưu việt. Các phương tiện đo phải hiệu chuẩn được gọi lại đúng lúc. Các thủ tục chạy trơn tru, dữ liệu được báo cáo chính xác. Tối ưu hoá được việc sử dụng các nguồn lực về kỹ thuật, về con người. Các tài liệu được chuẩn bị theo các yêu cầu kỹ thuật. Thiết bị được trả lại nhanh chóng cho người sử dụng. Các dữ liệu phục vụ cho việc đánh giá và đưa ra quyết định mua sắm thông minh có thể sử dụng rất dễ dàng. Tất cả những ưu việt này làm cho vai trò của phòng thí nghiệm hiệu chuẩn ngày càng trở nên quan trọng và nổi bật./.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Pháp lệnh đo lường 1999 và những văn bản hướng dẫn thi hành. Nhà xuất bản Pháp lý; Bộ Khoa học và Công nghệ; Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, 2000 – 2008.
2. Lê Tâm (Chủ biên). Giải thích đơn vị đo lường hợp pháp của nước Việt Nam Dân chủ Cộng hoà. Nhà xuất bản Khoa học & Kỹ thuật, 1967.
3. OIML D2: 2007. *Legal units of measurement*.
4. The International System of Units (SI). BIPM, 1991, 1998, 2006.
5. TCVN 6398: 1998, 1999, 2000 / ISO 31: 1992. *Đại lượng và đơn vị / Quantities and units*.
6. ISO/IEC 80000: 2008. *Quantities and units*.
7. TCVN 6165: 1996 / VIM: 1993. *Đo lường học – Thuật ngữ chung và cơ bản/ Metrology – Vocabulary of basic and general terms*.
8. ISO/IEC Guide 99:2007, OIML V 2-200:2007. *International vocabulary of Metrology – Basic and general Concepts and associated terms (VIM)*.
9. OIML V 1:1978, 2000. *International Vocabulary of Terms in Legal Metrology (VIML)*.
10. *Guide to the estimation of uncertainty in measurement (GUM)*, 1995, ISO, BIPM, IEC, IFCC, IUPAC, IUPAP, and OIML.
11. TCVN 1517 – 88. *Quy tắc làm tròn số*.
12. TCVN 6163: 1996 / OIML D8. *Nguyên tắc lựa chọn, công nhận, sử dụng và duy trì chuẩn đo lường*.
13. TCVN 6164: 1996 / OIML – D5. *Nguyên tắc thiết lập hệ thống thứ bậc cho phương tiện đo*.
14. TCVN ISO 10012: 2006 / ISO 10012: 2003. *Hệ thống quản lý đo lường – Yêu cầu đối với quá trình đo và thiết bị đo / Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment*.

15. T.J.Quinn. *Base Units of the System International d'Unite's*, their Accuracy, Dissemination and International Traceability, Metrologia 1994/95 – 31.
16. The importance of measurement traceability and mutual recognition of measurement standards and calibration certificates issued by national metrology institutes (NMIs) as a basis for trade. The proposed global mutual recognition agreement (MRA) for NMIs. By Dr. Terry Quinn, President of BIPM. 2nd APEC conference on standards and conformance, 9/1998.
17. *Kỹ thuật đo lường và các hướng vận dụng kỹ thuật vi xử lý vi tính*. G.S. Nguyễn Bình Thành, Tuyển tập báo cáo khoa học tại Hội nghị Khoa học – Kỹ thuật đo lường lần thứ I.
18. Laport/Padelt. *Einheiten and Größenarten der Naturwissenschaften*. VEB Fachbuchverlag, 1964.
19. Burdun G.D. Markob.B.N. *Cơ sở Đo lường học*. Bản tiếng Nga. Nhà xuất bản Tiêu chuẩn, 1972.
20. Malikob G.Ph.Tiurin N.I. *Nhập môn đo lường học*. Bản tiếng Nga. Nhà xuất bản Ủy ban Tiêu chuẩn hoá – Dụng cụ đo lường thử nghiệm, 1966.
21. Calibration. *Philosophy in Practice*. Fluke Corporation, 1994.
22. Trần Bảo, Nguyễn Bình Minh, Phạm Văn Tiến. *Cơ sở đo lường học*. Cục Tiêu chuẩn – Đo lường – Chất lượng Nhà nước, 1983.

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
Chương 1. ĐỐI TƯỢNG VÀ NHIỆM VỤ CỦA ĐO LƯỜNG HỌC.....	5
1.1. ĐO LƯỜNG HỌC – KHOA HỌC VỀ CÁC PHÉP ĐO.....	5
1.2. MỘT SỐ VẤN ĐỀ CỦA ĐO LƯỜNG HIỆN ĐẠI.....	7
1.3. CÁC TỔ CHỨC ĐO LƯỜNG QUỐC TẾ.....	9
1.3.1. Công ước Mét và Viện cân đo quốc tế (BIPM)	9
1.3.2. Tổ chức đo lường pháp định quốc tế (OIML)	11
Chương 2. ĐẠI LƯỢNG, ĐƠN VỊ VÀ HỆ ĐƠN VỊ	12
2.1. ĐẠI LƯỢNG.....	12
2.2. MÔ TẢ ĐỊNH LƯỢNG ĐẠI LƯỢNG	15
2.3. PHƯƠNG TRÌNH VẬT LÝ.....	17
2.4. ĐẠI LƯỢNG CƠ BẢN, ĐƠN VỊ CƠ BẢN. HỆ ĐẠI LƯỢNG, HỆ ĐƠN VỊ.....	19
2.5. THỨ NGUYÊN CỦA ĐẠI LƯỢNG	20
2.6. HỆ ĐƠN VỊ NHẤT QUÁN	21
2.7. MỘT SỐ HỆ ĐƠN VỊ QUEN THUỘC TRƯỚC ĐÂY.....	22
2.7.1. Hệ mét.....	22
2.7.2. Hệ CGS	23
2.7.3. Hệ MKgls.....	24
2.7.4. Hệ MTS.....	26
2.7.5. Hệ đơn vị điện từ tuyệt đối thực dụng	26
2.7.6. Các đơn vị điện từ quốc tế.....	27
2.7.7. Hệ MKSA	28
2.7.8. Các đơn vị ngoài hệ	28
2.7.9. Đại lượng, đơn vị tương đối và lôgarit	29
2.8. HỆ ĐƠN VỊ QUỐC TẾ SI.....	31
2.8.1. Xây dựng hệ đơn vị quốc tế.....	31
2.8.2. Nội dung Hệ đơn vị quốc tế	32
2.8.3. Các tiêu chuẩn quốc tế về đơn vị SI.....	36
2.8.4. Đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam	37
2.8.5. Nguyên tắc viết giá trị của đại lượng	38
Chương 3. CHUẨN ĐO LƯỜNG.....	39
3.1. KHÁI NIỆM, PHÂN LOẠI CHUẨN	39
3.2. CHUẨN CỦA CÁC ĐƠN VỊ CƠ BẢN.....	43
3.2.1. Chuẩn đơn vị độ dài – mét	43
3.2.2. Chuẩn đơn vị khối lượng – kilôgam.....	47
3.2.3. Chuẩn đơn vị thời gian – giây	50
3.2.4. Chuẩn đơn vị cường độ dòng điện – ampe	54
3.2.5. Chuẩn đơn vị nhiệt độ – kenvin.....	58
3.2.6. Chuẩn đơn vị cường độ sáng – candela	64
3.2.7. Chuẩn đơn vị lượng chất – mol.....	67

Chương 4. SAI SỐ CỦA PHÉP ĐO.....	69
4.1. SAI SỐ VÀ PHÂN LOẠI SAI SỐ CỦA PHÉP ĐO.....	69
4.2. QUY TẮC LÀM TRÒN SỐ	71
4.3. SAI SỐ HỆ THỐNG CỦA PHÉP ĐO	72
4.3.1. Phân loại sai số hệ thống của phép đo	72
4.3.2. Loại trừ sai số hệ thống của phép đo.....	78
4.4. SAI SỐ NGẪU NHIÊN CỦA PHÉP ĐO	89
4.4.1. Ý nghĩa của lý thuyết xác suất đối với việc nghiên cứu sai số ngẫu nhiên của phép đo.....	89
4.4.2. Hàm phân bố của kết quả quan trắc.....	91
4.4.3. Hàm phân bố thực nghiệm	92
4.4.4. Phân bố chuẩn và các đặc trưng của phân bố chuẩn	94
4.4.5. Xác suất để kết quả quan trắc có phân bố rơi vào một khoảng cho trước và xác suất để đảm bảo một độ lệch đã cho nào đó	97
4.4.6. Ước lượng thống kê các thông số của phân bố chuẩn.....	99
4.4.7. Phân bố Student	104
4.4.8. Một vài phân bố khác	106
4.4.9. Xử lý, đánh giá sai số ngẫu nhiên	107
4.4.10. Giá trị trung bình có trọng lượng.....	115
4.4.11. Sai số ngẫu nhiên của phép đo gián tiếp.....	116
4.4.12. Loại bỏ sai số thô	118
Chương 5. ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO.....	120
5.1. KHÁI NIỆM ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO ĐO.....	120
5.2. ĐÁNH GIÁ ĐỘ KHÔNG ĐẢM BẢO	122
5.2.1. Đặt vấn đề.....	122
5.2.2. Đánh giá độ không đảm bảo chuẩn loại A	124
5.2.3. Đánh giá độ không đảm bảo chuẩn loại B.....	125
5.2.4. Đánh giá độ không đảm bảo chuẩn tổng hợp ưc	127
5.2.5. Đánh giá độ không đảm bảo mở rộng	130
5.2.6. Thông báo độ không đảm bảo.....	132
5.2.7. Trình tự đánh giá và thể hiện độ không đảm bảo đo.....	133
Chương 6. PHƯƠNG PHÁP ĐO VÀ PHÂN LOẠI PHƯƠNG PHÁP ĐO.....	139
6.1. PHÂN LOẠI PHƯƠNG PHÁP ĐO.....	139
6.2. PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐIỆN CÁC ĐẠI LƯỢNG KHÔNG ĐIỆN.....	149
6.2.1. Hiệu ứng nhiệt điện.....	149
6.2.2. Hiệu ứng nhiệt – điện trở.....	149
6.2.3. Hiệu ứng tensor	150
6.2.4. Hiệu ứng áp điện.....	150
6.2.5. Hiện tượng cảm ứng, điện cảm, từ giảo.....	151
6.2.6. Hiệu ứng từ Hall	152
6.2.7. Điện dung tụ phẳng.....	152
6.2.8. Hiệu ứng quang điện.....	153
6.2.9. Hiệu ứng quang nhiệt.....	153
6.2.10. Độ pH và chuyển đổi gavanic	153

6.2.11. Hiện tượng ion hoá	154
6.3. NHỮNG PHÁT TRIỂN MỚI VỀ PHƯƠNG PHÁP ĐO	155
Chương 7. PHƯƠNG TIỆN ĐO	156
7.1. PHƯƠNG TIỆN ĐO	156
7.1.1. Định nghĩa và phân loại	156
7.1.2. Cơ cấu hiển thị của phương tiện đo	160
7.1.3. Các đặc trưng cơ bản của phương tiện đo	162
7.1.4. Sai số và cấp chính xác của phương tiện đo	168
7.2. VẬT ĐO	176
7.2.1. Định nghĩa và phân loại	176
7.2.2. Quy định sai số cho phép và cấp chính xác của vật đo	179
7.3. BỘ CHUYỂN ĐỔI ĐO	181
7.3.1. Định nghĩa	181
7.3.2. Phân loại bộ chuyển đổi đo	181
7.3.3. Đặc trưng kỹ thuật của bộ chuyển đổi đo	183
7.4. HỆ THỐNG ĐO	183
7.5. ỨNG DỤNG	183
Chương 8. HIỆU CHUẨN PHƯƠNG TIỆN ĐO VÀ LIÊN KẾT CHUẨN ĐO LƯỜNG	185
8.1. KHÁI NIỆM VÀ ĐỊNH NGHĨA	185
8.1.1. Hiệu chuẩn phương tiện đo	185
8.1.2. Liên kết chuẩn đo lường	186
8.1.3. Kiểm định phương tiện đo	187
8.2. PHÒNG HIỆU CHUẨN VÀ CÁC HÌNH THỨC THỰC HIỆN VIỆC LIÊN KẾT CHUẨN	188
8.2.1. Phòng hiệu chuẩn	188
8.2.2. Liên kết chuẩn	188
8.3. PHÒNG HIỆU CHUẨN ĐƯỢC CÔNG NHẬN	190
8.4. THỎA THUẬN CÔNG NHẬN LẪN NHAU ĐỐI VỚI CHUẨN ĐO LƯỜNG QUỐC GIA VÀ GIẤY CHỨNG NHẬN HIỆU CHUẨN	191
8.5. MỘT SỐ VẤN ĐỀ KỸ THUẬT CỦA HIỆU CHUẨN	193
8.5.1. Phương pháp hiệu chuẩn	193
8.5.2. Chọn chuẩn để hiệu chuẩn phương tiện đo	198
8.5.3. Sơ đồ hiệu chuẩn	200
8.5.4. Chu kỳ hiệu chuẩn	202
8.6. HƯỚNG PHÁT TRIỂN	203
8.6.1. Thiết bị hiệu chuẩn đa chức năng	203
8.6.2. Hiệu chuẩn artifact (artifact calibration)	204
8.6.3. Hiệu chuẩn tự động hoá	206
TÀI LIỆU THAM KHẢO	211
MỤC LỤC	213

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI

Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Tổ chức bản thảo và chịu trách nhiệm nội dung:

Chủ tịch HĐQT kiêm Giám đốc CTCP Sách ĐH – DN

TRẦN NHẬT TÂN

Biên tập nội dung và sửa bản in:

PHẠM THỊ PHUƠNG

Biên tập mỹ thuật và trình bày bìa:

BÍCH LA

Thiết kế sách và chế bản:

THỦY TINH

CƠ SỞ ĐO LƯỜNG HỌC

Mã số: 7K808Y9 – DAI

In 1.000 bản (QĐ : 53), khổ 16 x 24 cm. In tại Công ty in và Thương mại Sông Lam

Địa chỉ : Số 1, Phùng Chí Kiên, Cầu Giấy, Hà Nội

Số ĐKKH xuất bản : 375 – 2009/CXB/12 – 726/GD.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 9 năm 2009.