

Về Hệ đơn vị đo lường quốc tế mới 2019

Giới thiệu

Kỷ niệm Ngày Đo lường quốc tế năm nay (2019) có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, bởi vì đúng vào ngày này (20.5.2019) Hệ đơn vị quốc tế mới (SI mới) sẽ có hiệu lực. Kể từ ngày hệ SI ra đời (10.1960) đến nay đã có nhiều lần thay đổi theo đà phát triển của khoa học và công nghệ; nhưng lần thay đổi này là sự kiện chưa từng có. Đó là, SI mới dựa trên một bộ các định nghĩa, mỗi một định nghĩa đều gắn với các định luật vật lý nên có ưu điểm là có thể đón nhận được những cải tiến của công nghệ và khoa học trong tương lai và đáp ứng được các nhu cầu mới của người sử dụng trong nhiều năm tới. Chính vì thế, BIPM và BIML đã chọn chủ đề cho Ngày Đo lường quốc tế năm nay là: **“SI tốt hơn hẳn”**.

Quá trình phát triển của SI

“Công ước mét” (Convention du mètre) ra đời ngày 20.5.1875 tại Paris, nay được chọn làm Ngày Đo lường quốc tế hàng năm. Công ước mét ra đời nhằm đảm bảo “sự hoàn thiện và thống nhất của hệ mét trên bình diện quốc tế”. Theo đó, các tổ chức quốc tế về đo lường được thành lập:

Đại hội cân đo (Conférence Générale des Poids et Mesures - CGPM): thường 6 năm họp một lần, gồm đại biểu các nước tham gia kí công ước về mét;

Ủy ban cân đo quốc tế (Comité International des Poids et Mesures - CIPM): làm việc theo đường lối của “Đại hội Cân Đo”;

Viện Cân Đo quốc tế (Bureau International des Poids et Mesures -BIPM): có trụ sở ở cung điện Breuteuil, Sèvres gần Paris, làm việc dưới sự chỉ đạo của CIPM. Hiện nay, một trong những hoạt động quan trọng của BIPM là điều phối, vận hành và duy trì “Cơ sở dữ liệu so sánh chủ chốt” (KCDB) của Thỏa ước thừa nhận lẫn nhau thuộc CIPM (CIPM MRA) về chuẩn đo lường quốc gia và khả năng đo lường hiệu chuẩn của các Viện đo lường quốc gia.

Hệ mét (Le système métrique) chính thức ra đời năm 1799 trong thời kì cách mạng Pháp. Xuất phát từ “ý tưởng nối tắt cả các cách đo vào một đơn vị độ dài có trong tự nhiên”, mét được định nghĩa như là một phần của kinh tuyến đi qua Paris; rồi dựa vào đó tạo ra thước mét chuẩn bằng platin. Từ đó định nghĩa khối lượng là một đêximét khối nước tinh khiết ở nhiệt độ 4°C và thể hiện dưới dạng chuẩn hình trụ cũng bằng platin. Cũng từ đó lít được định nghĩa là thể tích của một kilogam nước tinh khiết ở nhiệt độ 4°C. Từ mét, kilogam và lít lập ra nhiều đơn vị ước và bội khác theo nguyên tắc thập phân. Quốc hội Pháp lúc đó đã vinh danh hệ mét như là một hệ đơn vị cho *“tất cả các dân tộc, tất cả các thời đại”*.

Hệ đơn vị quốc tế (Le Système international d’unités) - con đẻ xuất sắc của “Hệ mét” - ra đời năm 1960 theo quyết định của CGPM lần thứ 11 có sáu đơn vị cơ bản: giây (s), mét (m), kilogam (kg), ampe (A), kenvin (K), candela (cd). Đến CGPM lần thứ 14 (1971) thông qua thêm đơn vị mol.

Hai đơn vị candela và mol là theo nhu cầu của công nghiệp và hóa học (không phải thuần túy vật lý)

2018, một năm sôi động của SI.

Tầm quan trọng của việc định nghĩa lại các đơn vị SI đã được cân nhắc kỹ tại CGPM lần thứ 26 (11.2018). Có những đơn vị như kilogam, đã 130 năm nay vẫn giữ nguyên định nghĩa là mẫu chuẩn kilogam quốc tế (IPK). Chủ đề này là mối quan tâm chung của khoa học, quốc tế và xã hội vì nó tác động lớn đến đời sống hàng ngày.

Cuộc cạnh tranh trong thời đại chúng ta ngày càng tăng tốc, cụ thể là trong công nghiệp. Do vậy các đơn vị phải chấp nhận những tiến bộ của công nghệ, từ đó phát triển định nghĩa mới để cho đo lường ngày càng chính xác hơn, đảm bảo được tính so sánh tin cậy, lâu dài và thống nhất ở mọi nơi: ta gọi là tính liên kết chuẩn đo lường.

Ví dụ, trong viễn thông phải đo tần số cao ngày càng chính xác; với nhiệt độ cao trong công nghiệp

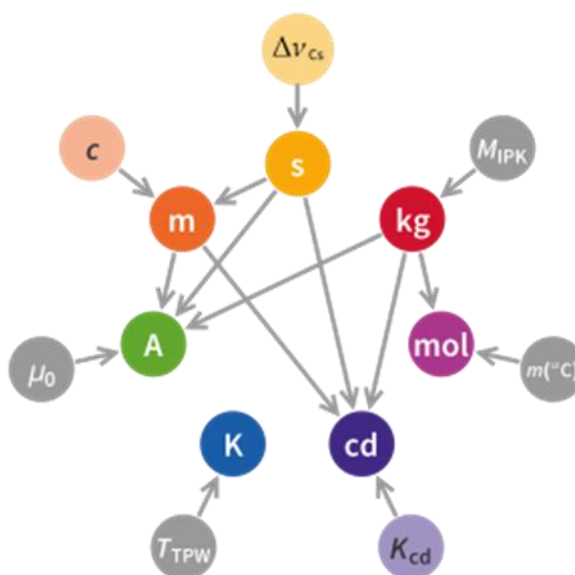
cũng đòi hỏi như vậy. Sự thu nhỏ của công nghệ nano và sự phát triển của công nghệ lượng tử mới đều có nhu cầu chính xác để mở rộng trong những lĩnh vực đo mới. Điều đó dẫn tới cần thiết phải sớm định nghĩa lại các đơn vị.

Sự thúc ép phải thay đổi:

Thay đổi những nguyên lí nền tảng sau khi định nghĩa các đơn vị cơ bản SI không phải là không có tiền lệ. CGPM lần thứ 11 (1960) đã định nghĩa mét theo bức xạ krypton 86, thay cho thước mét trước SI. CGPM lần thứ 13 (1967) thay định nghĩa gốc của giây theo chu kỳ quay trung bình của trái đất bằng một định nghĩa dựa trên tần số bức xạ giữa hai mức năng lượng siêu tinh tế ở trạng thái cơ bản của nguyên tử cesium 133. Và CGPM lần thứ 17 (1983) đã thay định nghĩa mét 1960 bằng một định nghĩa dựa trên giây bằng cách cho một định nghĩa chính xác về tốc độ ánh sáng theo đơn vị mét trên giây.

Độ trôi hàng năm của mẫu chuẩn kilogam quốc gia so với mẫu chuẩn kilogam quốc tế (IPK) đã được phát hiện tới 2×10^{-8} kilogam (số liệu rút ra qua 100 năm thực nghiệm từ 1889 đến 1999). Cũng không có cách nào để xác định xem các mẫu chuẩn khối lượng quốc gia tăng khối lượng hay IPK mất khối lượng. CGPM lần thứ 21 (1999) đã thúc giục các phòng thí nghiệm quốc gia nghiên cứu xem có cách nào để phá vỡ mối gắn kết giữa định nghĩa kilogam và một vật chuẩn

SI cũ (trước 2019)



Hệ SI sau 1983, nhưng trước định nghĩa lại 2019. Sự phụ thuộc của các đơn vị cơ bản vào các đơn vị khác (ví dụ định nghĩa mét phụ thuộc vào tốc độ ánh sáng c và giây) và phụ thuộc vào vật tự tạo để định nghĩa (như khối lượng của IPK để định nghĩa kilogam).

nhân tạo cụ thể không.

Năm 2007, ủy ban tư vấn về đo nhiệt độ (CCT) cũng đã cho biết định nghĩa hiện nay về nhiệt độ đã tỏ ra không thỏa mãn cho những nhiệt độ dưới 20 K và nhiệt độ trên 1300 K.

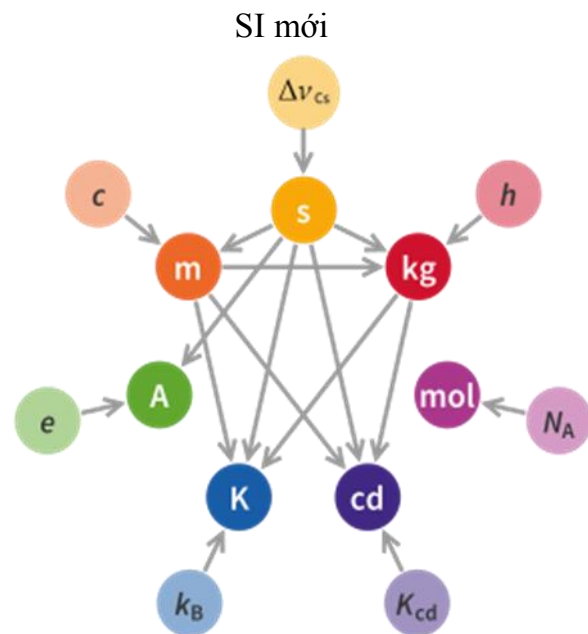
Vì vậy CGPM lần thứ 23 (2007) đã yêu cầu CIPM nghiên cứu sử dụng các hằng số cơ bản làm cơ sở cho tất cả các đơn vị đo thay cho các vật nhân tạo đang dùng.

SI mới – Hệ đơn vị đo cho thế kỷ 21

Kỳ họp CGPM lần thứ 26 (11/2018) đã quyết định thay đổi định nghĩa của kilogam, kenvin, ampe và mole; khai sinh ra hệ đơn vị đo hình thành xung quanh bảy hằng số vạn năng và sẽ đưa vào áp dụng từ ngày 20 tháng 5 năm 2019.

Một giấc mơ dài

Thực ra có được thành quả ngày nay, chúng ta đã trải qua một giấc mơ dài. Bắt đầu từ 1874, nhà vật lý Ailen (George Johnstone Stoney) đã có công trình đặt tên là “Dự án về các đơn vị tự nhiên”, giới thiệu một hệ đơn vị đầu tiên mà bản chất là dựa vào một danh mục các hằng số cơ bản. Năm 1906, Max Planck lại giới thiệu một hệ đơn vị đầy đủ hơn, dựa trên các hằng số Boltzmann k và hằng số Planck h . Bằng cách tổ hợp tốc độ ánh sáng c , hằng số hấp dẫn G , h và k , nhà vật lý người Đức đã xác định nên hệ tự nhiên Planck...



Hệ SI sau định nghĩa lại (2019): Sự phụ thuộc của các định nghĩa đơn vị cơ bản vào các hằng số vật lý có các trị số được ấn định và phụ thuộc vào các đơn vị cơ bản khác.

Phải mất hơn một thế kỷ, sau nhiều tranh luận giữa các nhà vật lý lý thuyết và các nhà đo lường về một bộ các hằng số thích đáng nhất, về những điều kiện đề thiết lập một hệ đơn vị như thế, cuối cùng đã thống nhất. Nhiều thử nghiệm đã được lặp lại, với thành công của lý thuyết tương đối và vật lý lượng tử đã khẳng định niềm tin của chúng ta về tính chất cơ bản của các hằng số như c và h sẽ ổn định hơn hẳn những chuẩn làm từ vật chất. Nhưng chọn những hằng số này như thế nào? Yêu cầu là: một mặt, khi người ta tổ hợp chúng thì các thứ nguyên của chúng phải cho phép cấu thành tất cả các đơn vị mà chúng ta cần. Mặt khác, phải đảm bảo người ta có thể đo được các hằng số này đủ chính xác để ấn định trị số của chúng. Cuối cùng phải đảm bảo được tính liên tục với hệ đơn vị tiền nhiệm và không làm giảm đi chất lượng đo trong SI mới.

Tháng 10/2017, CIPM đã khuyến nghị định nghĩa lại 4 đơn vị cơ bản (kilogam, ampe, kenvin và mole) dựa vào 4 hằng số cơ bản: hằng số Planck h , điện tích

nguyên tố e , hằng số Boltzmann k và hằng số Avogadro N_A . Trị số cũng như độ bất định* của chúng trong SI hiện thời theo công bố của nhóm CODATA.

Định nghĩa lại

CGPM lần thứ 26 đã chấp nhận những trị số giống như các giá trị mà CODATA 2017 công bố.

Theo định nghĩa lại của mét năm 1983 dựa vào trị số của tốc độ ánh sáng, Ủy ban tư vấn về đơn vị (CCU) của BIPM đã đề xuất trị số của bốn hằng số tự thân để định nghĩa đơn vị. Đó là:

Hằng số Planck h chính xác là $6.62607015 \times 10^{-34}$ joule-second (J·s).

Điện tích nguyên tố e chính xác là $1.602176634 \times 10^{-19}$ coulomb (C).

Hằng số Boltzmann k chính xác là 1.380649×10^{-23} joule trên kelvin (J·K⁻¹).

Hằng số Avogadro N_A chính xác là $6.02214076 \times 10^{23}$ mole nghịch đảo (mol⁻¹).

Trong đó ba hằng số đứng sau được xem là “hằng số nhận được từ thực nghiệm”, không như là “hằng số xác định”.

Định nghĩa lại cũng giữ nguyên các trị số không đổi gắn với các hằng số tự thân sau:

Tốc độ ánh sáng c chính xác là 299792458 mét trên giây (m·s⁻¹).

Tần số tách (chuyển trạng thái) ở trạng thái cơ bản của nguyên tử cesium-133 $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ chính xác là 9192631770 hertz (Hz).

Hiệu suất phát sáng K_{cd} của tần số bức xạ đơn sắc 540×10^{12} Hz chính xác là 683 lumen trên watt (lm·W⁻¹).

Bảy định nghĩa trên được viết lại như dưới đây với các đơn vị dẫn xuất (joule, coulomb, hertz, lumen, và watt) được diễn đạt theo bảy đơn vị cơ bản (giây, mét, kilogram, ampe, kelvin, mole, và candela). Trong đó kí hiệu sr thay cho đơn vị không thứ nguyên steradian.

$$\Delta\nu_{\text{Cs}} = \Delta\nu ({}^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}} = 9192631770 \text{ s}^{-1}$$

$$c = 299792458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$$

$$e = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ A}\cdot\text{s}$$

$$k = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$N_A = 6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$K_{\text{cd}} = 683 \text{ cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{s}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$$

Theo định nghĩa mới, mẫu chuẩn kilogram quốc tế mất vai trò chuẩn đầu; những định nghĩa kilogram, ampere, và kelvin được thay đổi. Định nghĩa của mole được xem xét lại.

* “độ bất định” còn gọi là “độ không đảm bảo đo” theo TCVN 6165:2009/ 2.26

Những thay đổi này có tác động đến định nghĩa lại các đơn vị cơ bản, mặc dù định nghĩa của các đơn vị dẫn xuất SI theo đơn vị cơ bản giữ nguyên như cũ.

Tác động đến các định nghĩa đơn vị cơ bản

Theo CCU đề xuất, nội dung định nghĩa của tất cả đơn vị cơ bản hoặc được cải tiến hoặc được viết lại, thay đổi theo hướng nhấn mạnh từ những định nghĩa kiểu đơn vị tường minh đến những định nghĩa kiểu hằng số tường minh. Ví dụ từ 1889 kilogam được định nghĩa như là khối lượng của IPK (kiểu đơn vị tường minh) và từ 1983, tốc độ ánh sáng được xác định chính xác là 299 792 458 mét trên giây, mà giây đã được định nghĩa độc lập nên mét xuất hiện như là một hệ quả (định nghĩa kiểu hằng số tường minh).

Các định nghĩa mới (2019) xem ở Phụ lục 3, quyết định 1 của CGPM lần thứ 26. So với định nghĩa trước, có những lưu ý sau:

Giây

Định nghĩa mới của giây thực sự như định nghĩa trước, chỉ có khác là những điều kiện mà định nghĩa phải áp dụng được xác định nghiêm ngặt hơn.

Mét

Định nghĩa mới của mét cũng thực sự như định nghĩa trước, chỉ có khác là thêm vào định nghĩa của giây để dẫn ra mét

Kilogram

Dùng một cân Kibble để đo hằng số Planck theo mẫu kilogam quốc tế. Định nghĩa kilogam đã thay đổi về căn bản. Định nghĩa trước xác định kilogam như là khối lượng của IPK, là một vật nhân tạo, không phải là một hằng số cơ bản. Còn định nghĩa mới dựa vào sự tương đương giữa khối lượng và năng lượng của một photon ở tần số của nó qua hằng số Planck.

Hệ quả của sự thay đổi này là định nghĩa mới của kilogam phụ thuộc vào định nghĩa của giây và mét.

Ampere

Định nghĩa của ampe phải xem xét một cách khó khăn hơn. Định nghĩa cũ khó thực hiện được chính xác cao trong thực tế, được thay bằng định nghĩa dễ thực hiện hơn.

Kelvin

Định nghĩa của kelvin phải thay đổi cơ bản. Khác với sử dụng điểm ba của nước để ấn định thang nhiệt độ, định nghĩa mới dùng sự tương đương năng lượng theo phương trình Boltzmann.

Hệ quả là định nghĩa mới của kenvin phụ thuộc vào định nghĩa của giây, mét, và kilogam.

Mole

Định nghĩa trước của mol đã liên hệ nó với kilogam. Định nghĩa mới bỏ mối liên kết này bằng cách tạo ra mol từ một số thực thể cụ thể của chất đang xem xét.

Candela

Định nghĩa mới của candela thực sự như định nghĩa trước, chỉ có khác là thêm vào định nghĩa của giây và mét để dẫn ra candela

Tác động lên tính lặp lại

Tất cả bảy đơn vị cơ bản đều được định nghĩa theo các hằng số xác định và các hằng số vật lý vạn năng. Bảy hằng số cần dùng để định nghĩa bảy đơn vị cơ bản, nhưng không có sự tương ứng trực tiếp giữa mỗi đơn vị cơ bản cụ thể với một hằng số cụ thể: ngoài giây và mol tương ứng với h và N_A , còn định nghĩa của bất kỳ đơn vị cơ bản nào khác đều do sự tổ hợp của một số trong bảy hằng số đóng góp vào mà thành.

Việc chọn hằng số vật lý nào phải trên cơ sở của độ bất định tối thiểu gắn với việc đo hằng số đó và mức độ độc lập của hằng số đó so với các hằng số khác được sử dụng. Khi thực thi định nghĩa phải đảm bảo rằng phép đo thực hiện không vượt quá độ bất định cực đại đã quy định.

Độ không đảm bảo của các hằng số vật lý cơ bản

Các hằng số vật lý cơ bản thường liên hệ qua lí thuyết theo kiểu đại số. Điều này có nghĩa rằng sự ước lượng chính xác nhất của một hằng số cơ bản thường được xác định bằng cách đo trực tiếp các hằng số cơ bản khác, mà từ đó tính được giá trị của nó. Độ bất định của các hằng số này được xác định từ độ bất định của các hằng số khác theo luật truyền độ bất định.

Những hằng số mà giá trị được ấn định để xác định đơn vị mà chúng biểu thị thì không có độ bất định kèm theo chúng, nên chúng không đóng góp bất kỳ độ bất định thêm nào vào giá trị được tính cho hằng số đó. Một trong những lí do mà hệ đơn vị SI được thay đổi chính là sự xác định các giá trị theo cách đó thường được cải tiến nhiều nếu diễn đạt theo định nghĩa mới. Đây là do sự phụ thuộc của các giá trị của chúng vào các hằng số vật lý.

Bảng dưới đây đề cập đến những thay đổi đáng lưu ý trong việc xác định những hằng số vật lý cơ bản. Những hằng số được biểu thị trong phép đo trực tiếp và những hằng số được cố định để giảm thiểu và xác định độ bất định. Một vài hằng số trong biểu thức đó không đóng góp đáng kể vào độ bất định cuối cùng; chỉ có những thừa số có nghĩa hơn là được lưu ý. Giá trị của độ bất định tương đối trích từ dữ liệu của CODATA 2017, và nó được diễn đạt theo độ bất định tương đối của các thừa số có nghĩa, ký hiệu là u_r (*hằng số*). Dấu xấp xỉ bằng (\approx) được dùng nếu một độ bất định chỉ xấp xỉ bằng biểu thức do những thừa số không có nghĩa hoặc xấp xỉ tuyến tính.

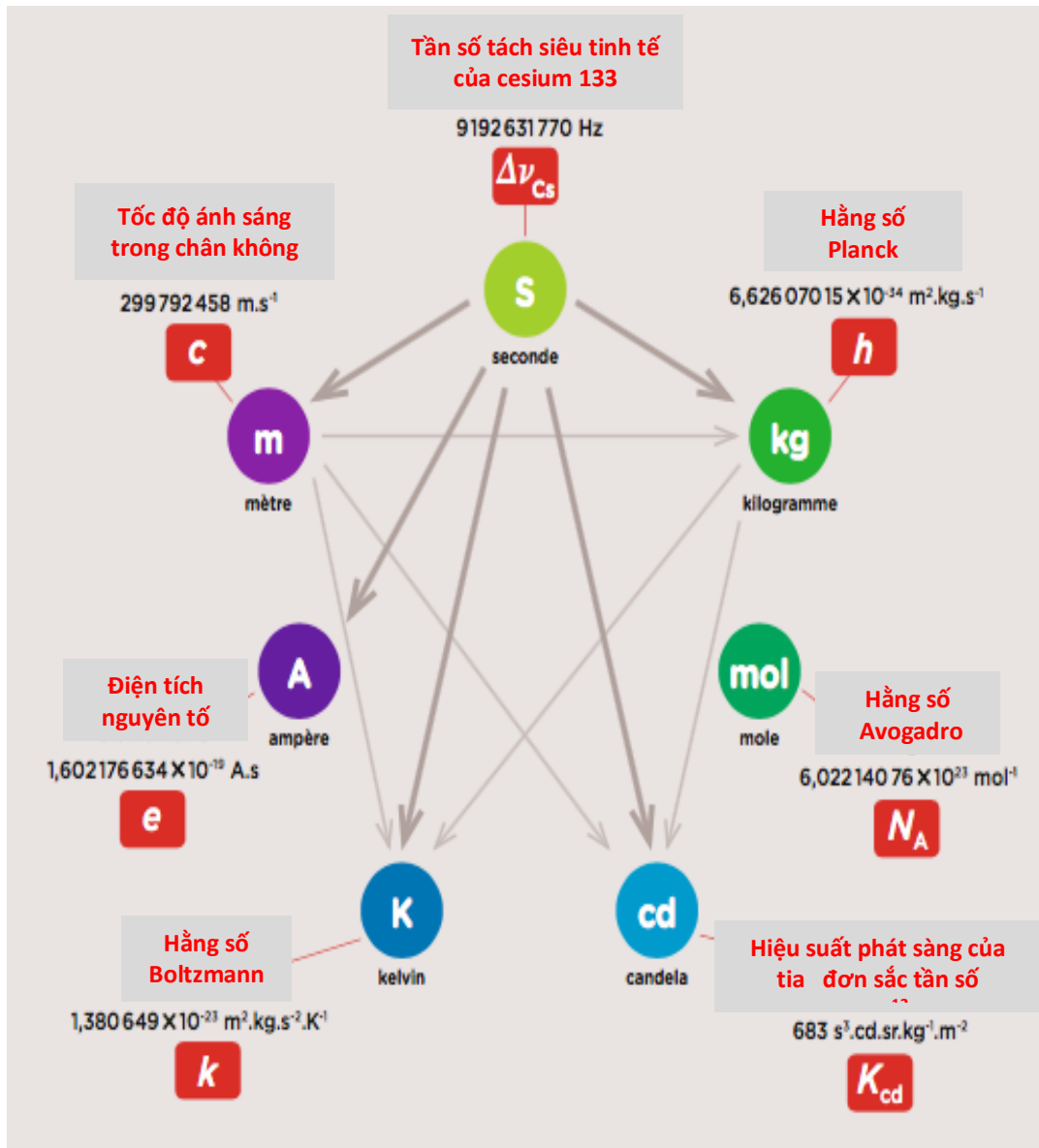
Hằng số	Định nghĩa trước		Định nghĩa 2019	
	Liên hệ giữa hằng số được đo trực tiếp và những hằng số ấn định	Độ bất định tương đối	Liên hệ giữa hằng số được đo trực tiếp và những hằng số ấn định	Độ bất định tương đối

Khối lượng IPK, $m(K)$	1 kg	chính xác	$m(K)$	$1 \times 10^{-8} =$ $u_r(m(K))$
Hằng số Planck, h	$\frac{8\alpha}{c\mu_0 K_J^2}$	$1 \times 10^{-8} \approx$ $2u_r(K_J)$	h	chính xác
Điện tích nguyên tố, e	$\frac{4\alpha}{c\mu_0 K_J}$	5.2×10^{-9} $= u_r(K_J)$	e	chính xác
Nhiệt độ nhiệt động học, T_{TPW}	273.16 K	chính xác	T_{TPW}	3.7×10^{-7} $= u_r(T_{TPW})$
Hằng số Boltzmann, k	$\frac{c\alpha^2 K_J A_r(e) M_u}{4R_\infty}$	5.7×10^{-7} $= u_r(T_{TP})$	k	chính xác
Hằng số Avogrdo, N_A	$\frac{c^2 \alpha \mu_0 K_J^2 A_r(e) M_u}{16R_\infty}$	$1 \times 10^{-8} \approx$ $2u_r(K_J)$	N_A	chính xác

Chú thích: kí hiệu trong bảng trên: c = tốc độ ánh sáng; α = hằng số cấu trúc tinh tế; μ_0 = độ từ thẩm chân không; K_J = hằng số Josephson; R_∞ = hằng số Rydberg; $A_r(e)$ = khối lượng dư của điện tử trong các đơn vị khối lượng nguyên tử; và M_u = hằng số khối lượng mol.

Học thuyết về toàn hệ đơn vị đã thay đổi một cách sâu sắc, vì SI mới dựa trên một bộ bảy hằng số có thứ nguyên. Mỗi đơn vị cơ bản có định nghĩa riêng, và các đơn vị dẫn xuất được tổ hợp từ các đơn vị cơ bản này. Trong SI cũ, người ta đặt ra định nghĩa của từng đơn vị cơ bản (giây, mét, ampe, kenvin, candela, mol và kilogam) một cách tường minh, ngược lại trong SI mới người ta ấn định trị số của bảy hằng số (kí hiệu màu đỏ trong hình vẽ). Tổ hợp những hằng số này, người ta có thể từng bước cấu thành các đơn vị cơ bản. Trước tiên là giây, xác định trực tiếp theo $\Delta\nu_{Cs}$ biểu thị bằng hertz, nghịch đảo là giây. Tiếp theo, giây được tổ hợp với hằng số c để cho mét, vì tích của tốc độ với thời gian ta được thứ nguyên độ dài. Rồi từ giây và mét, ta nhận được kilogam nhờ hằng số Planck h biểu thị theo $m^2.kg.s^{-1}$. Và cứ như thế tiếp theo để xác định tất cả các đơn vị khác. Tóm lại ta có thể mô tả bảy các hằng số cấu thành hệ SI mới như trong hình sau:

Bảy các hằng số cấu thành hệ SI mới



SI mới – Tương lai gần

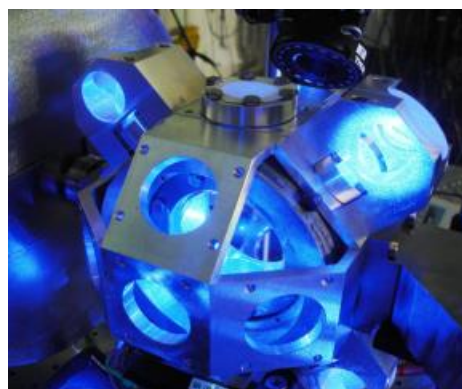
- Cách xác định một hệ đơn vị xuất phát từ các hằng số vật lí là cách rất khéo léo để tách rời việc định nghĩa các đơn vị và việc thực thi các đơn vị. Phương pháp chuẩn đầu thực hiện định nghĩa không còn bị bắt buộc nữa. Điều này mở ra khả năng lợi dụng những tiến bộ của khoa học và công nghệ để hoàn thiện các chuẩn đo lường luôn có được các đặc tính tốt hơn mà không cần thay đổi định nghĩa của đơn vị.

Riêng về đơn vị giây, có thể được định nghĩa lại dựa trên những đồng hồ “quang học” thay cho những đồng hồ cesium trước đây. Tần số cesium $\Delta\nu_{Cs}$, có đặc tính của một tham số nguyên tử, nên nó chịu tác động của môi trường (như trường điện từ). Lựa chọn hằng số $\Delta\nu_{Cs}$ như vậy chỉ là một sự tham chiếu thôi.

Từ định nghĩa giây nguyên tử đến nay đã hơn 50 năm, các chuẩn đầu tần số nguyên tử đã phát triển rất mạnh mẽ. Đặc biệt từ 2001, các chuẩn tần số quang học dùng các nguyên tử khác tương tác với nhau ở dải ánh sáng, có tần số cao hơn để nghiên cứu độ ổn định của chúng nhằm cho việc định nghĩa lại giây SI trong tương lai và sử dụng chúng để tăng chất lượng Thang thời gian nguyên tử quốc tế (TAI).

Theo Mirandés, cũng như nhiều nhà đo lường hy vọng đơn vị cơ bản giây sẽ được định nghĩa lại vào trước năm 2030. Cộng đồng khoa học còn cần phải xây dựng những phương pháp so sánh các đồng hồ quang học trên thế giới và quyết định xem nguyên tử hoặc những nguyên tử nào được dùng làm chuẩn.

Để đo chu kỳ của nguyên tử cesium 133, người ta dùng những đồng hồ nguyên tử. Hiện nay những đồng hồ nguyên tử tốt nhất (vòi phun nguyên tử) dùng nguyên tử cesium được làm lạnh đạt độ bất định tương đối vài phần 10^{-16} nhưng cũng đã đạt tới giới hạn rồi. Những đồng hồ mới hơn dựa trên sự chuyển trạng thái trong miền tần số quang học (100 000 lần tốt hơn tần số chuyển trạng thái của cesium) đã đạt độ bất định tương đối khoảng 10^{-18} . Có thể nói đồng hồ quang học Sr87 chỉ thay đổi một giây trong 13,8 tỷ năm (tuổi của vũ trụ).



Đồng hồ quang học nguyên tử strontium Sr 87 đã được phát triển ở SYRTE thuộc Đài quan sát Paris (theo: Jérôme Lodewyck)

Bảng so sánh dưới đây mô tả tóm tắt các đặc tính cơ bản về ba thế hệ phát triển đồng hồ nguyên tử :

Đặc tính	Thế hệ thứ nhất	Thế hệ thứ hai	Thế hệ thứ ba
	Chùm tia Cs 133	Vòi phun Cs 133	Đồng hồ quang học
Tần số tách	vi ba $\approx 10^{10}$ Hz		quang học: $\approx 10^{14}$ $\sim 10^{15}$ Hz
Q_{at}	10^8	10^{10}	10^{15}
Độ ổn định	3.5×10^{-13} trong 1s	1.5×10^{-14} trong 1s	1×10^{-16}
Độ chính xác	5×10^{-15}	2×10^{-16}	1×10^{-18}
Sai số trên tuổi vũ trụ (Big Bang)	<1 h	< 100 s	<1 s

Các đồng hồ quang học cùng loại như: những đồng hồ Sr ở NPL và PTB, có thể được so sánh với một độ bất định trong các phòng thí nghiệm khác nhau được kết nối qua những đường liên kết đã thiết lập.

6. SI- vào Việt Nam

Những văn bản pháp quy về đo lường của Việt Nam đã ra đời rất sớm: Ngày 20 tháng 01 năm 1950, chủ tịch Hồ Chí Minh ký sắc lệnh đo lường 8/SL, lần đầu tiên thống nhất đo lường trong cả nước theo hệ mét, hệ đơn vị đo tiên tiến của thời đại.

Ngày 26 tháng 12 năm 1964, Hội đồng Chính phủ ban hành nghị định số 186-CP về “Bảng đơn vị đo lường hợp pháp” của Việt Nam, kèm theo “Sách Giải thích Đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam” do Ông Lê Tâm làm chủ biên. Có thể nói, chỉ sau 4 năm ngày SI ra đời, đo lường Việt Nam đã hội nhập toàn diện với đo lường thế giới trên nền tảng của SI.

Ngày 06 tháng 7 năm 1990, Hội đồng Nhà nước ban hành Pháp lệnh đo lường số 43-LCT/HĐNN8

Ngày 06 tháng 10 năm 1999, Ủy ban Thường vụ Quốc hội ban hành Pháp lệnh đo lường số 16/1999/PL-UBTVQH10

Ngày 11 tháng 11 năm 2011, Quốc hội đã ban hành Luật Đo lường số 04/2011/QH13.

Theo các văn bản pháp quy trên, ngành đo lường Việt Nam đã phát triển:

Tháng 12 năm 1970 Viện đo lường thành lập trên cơ sở của Viện Tiêu chuẩn – Đo lường (1962) thuộc Ủy ban Khoa học và Kỹ thuật nhà nước, nay là Viện Đo lường Việt Nam (VMI).

Sau 15 năm (2004-2019) VMI tham gia thỏa ước thừa nhận lẫn nhau CIPM MRA, vị thế của đo lường Việt Nam trên trường quốc tế đã ngày càng phát triển.

Dưới đây là một bảng tóm tắt nhằm phác họa vị thế của VMI trong CIPM MRA so với một nước trong khu vực Đông Nam Á, xem như là một cách đón nhận SI mới bởi lẽ các Viện đo lường quốc gia (NMI) là mức cao nhất của kênh liên kết chuẩn nối với các đơn vị SI và truyền chuẩn tới hệ thống các phòng đo lường hiệu chuẩn và thử nghiệm trong nước.

	Lĩnh vực đo	Việt Nam			Thái Lan	
		CQG ¹⁾	CMC ²⁾	PLB ³⁾	CMC ²⁾	PLB ³⁾
1	Âm, siêu âm và rung (AUV)	0	0	0	18	66
2	Điện và từ (EM)	6	0	4	21	241
3	Độ dài (L)	1	9	7	35	130
4	Khối lượng và các đại lượng liên quan (M)	8	26	14	22	406
	Khối lượng	1	12	3	8	77
	Lực-Độ cứng	1	6	4	11	116
	Áp suất	3	8	2	3	110

	Dung tích – Lưu lượng	3	4	5	?	109
5	Quang và bức xạ(PR)	0	0	1	5	96
6	Bức xạ ion hóa(RI)	0	0	0	0	249
7	Hóa (QM)	0	0	4	20	284
	Lượng chất- Thực phẩm		0		8	
	Lượng chất- Khí		0		4	
	Lượng chất- Nước		0		8	
8	Nhiệt (T)	2	4	4	143	123
9	Thời gian và Tần số (TF)	1	5	1	15	2
	Tổng số	18	44	35	279	1597

1) Theo Quyết định Thủ tướng Chính phủ lần lượt vào những năm 2006-2011-2016. Con đường liên kết chuẩn của chuẩn đầu khối lượng nay đã có thay đổi.

2), 3) Theo Cơ sở dữ liệu so sánh chủ chốt của BIPM (cập nhật 2018). CMC: khả năng đo lường hiệu chuẩn. PLB: phụ lục B về các phép so sánh chủ chốt (FC) và các phép so sánh phụ (SC), thông tin từ CIPM và RMO (tổ chức đo lường khu vực). Từ Phụ lục B chứng tỏ mức độ tương đương giữa các chuẩn đo lường quốc của các NMI và chất lượng duy trì các CMC của các NMI.

VINAMET/CDMT, 07-5-2019

Nguyễn Khắc Sương