

# METROLOGIA ȘI INGINERIA ACTUALĂ

## THE PRESENT METROLOGY AND ENGINEERING

*Ion M. POPESCU\*, Fănel IACOBESCU\*\**

\* UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI, \*\* BIROUL ROMÂN DE METROLOGIE LEGALĂ

**Rezumat:** În lucrare se prezintă rezultatele cercetărilor efectuate în marile laboratoare din lume în domeniul metrologiei cu coerență globală, evidențiindu-se noile definiții propuse pentru unitățile fundamentale ale SI. Se arată că, cele șapte mărimi fundamentale, se pot raporta la șapte constante exacte. De asemenea, se evidențiază implicațiile metrologiei cu coerență globală în pregătirea viitorilor ingineri.

**Cuvinte cheie:** Sistemul Internațional de unități (SI); efectul tunel monoelctronic; pompă electronică; constanta lui Rydberg; coerență globală.

**Abstract:** In this paper outcomes of the researchers performed in metrology field within the large worldwide laboratories having global coherence are presented. The new definitions proposed for the base SI units are emphasized. It is shown that the seven base units can be traced back to seven precise constants. The metrology implications having global coherence in the training of future engineers are also highlighted.

**Key words:** The International System for Units (SI), the effect of single electronic tunnel, electronic pump, Rydberg constant, global coherence

### 1. INTRODUCERE. UNITĂȚILE MĂRIMILOR FUNDAMENTALE ÎN SI

De la începuturile sale, *metrologia* a fost privită ca o ramură a fizicii al cărui obiect de studiu este format din măsurile precise, unitățile de măsură și procedeele de măsurare ale mărimilor fizice. Din punct de vedere tehnic, aceasta constituie totalitatea activităților (legale și administrative) privitoare la măsurări, la etaloane, la aparate și instrumente de măsură precum și la supravegherea aplicării lor în economie.

Fizicianul englez Sir William (Lord Kelvin) Thomson (1824 - 1907) a fost acela care a evidențiat rolul metrologiei în știință, remarcând: "*Când poți să măsoari ceea ce spui și să exprimi în numere rezultatul măsurării, atunci știi ceva despre ce ai măsurat; dar când nu poți să măsoari și nu poți să exprimi în numere, cunoașterea ta este nesatisfăcătoare*" [1].

Modalitatea metrologică pentru măsurarea unei mărimi a fost dată de James Clerk Maxwell (1831 - 1879) [2], care a remarcat că orice expresie a unei mărimi fizice este formată din doi factori: unul dintre ei este numele unei mărimi cunoscute de aceeași natură ca mărimea de exprimat care este luată ca etalon de referință; cealaltă componentă este numărul de câte ori trebuie să se raporteze etalonul pentru a reproduce mărimea considerată.

Activitatea inginerască, implicând o activitate tehnică de proiectare, de cercetare, de organizare și de conducere a proceselor tehnologice dintr-o unitate

### 1. INTRODUCTION. THE UNITS OF THE MAIN QUANTITIES IN THE SI

Since its beginnings, *the metrology* was regarded as a branch of physics, having precise measures, measurement units and the measurement procedures of physical quantities as topics. Technically, this branch represents the tout ensemble activities (legal and administrative) regarding measurements, measurement standards, instruments and the surveillance of their application in economy.

The English physicist Sir William (Lord Kelvin) Thomson (1824 – 1907) was the one who put into evidence the role of metrology in science, noticing that “When you are able to measure what you are saying you are, and express the measurement result in numbers, than you know something about what you measured; but when you can not measure and you can not express in numbers, your knowledge is not satisfactory” [1].

The metrological way to measure a quantity was given by James Clerk Maxwell (1831 – 1879) [2], who noticed that every expression of a physical quantity consists of two factors: the first is the name of a known quantity of the same nature with the quantity to be expressed and taken as reference measurement standard: the later component is the number showing how many times one must report the measurement standard to reproduce the considered quantity.

The engineering activity, implying a technical activity of designing, research, organize and manage

industrială, fructifică din plin rezultatul fizicii. Astfel, din punct de vedere tehnic, *mărimea etalon* este numită *unitate* și numărul din raport este numit *valoarea numerică* a mărimii. *Mărimea* va fi produsul dintre *valoarea numerică* și *unitatea de măsură*. Deci, când vorbim de măsurarea unei mărimi, atenția este îndreptată asupra unității de măsură și asupra procedurilor și dispozitivelor de măsurare.

De-a lungul timpului, datorită dezvoltării științei, tehnicii și tehnologiei, s-a ajuns să se admită că măsurarea unei mărimi fizice impune anumite condiții: *condiția de invarianță* (care cere ca mărimea de măsurat,  $M$ , care este măsurată prin intermediul mărimii  $x$ , ce reprezintă "*unitățile*" pentru mărimea  $M$ , să depindă numai de  $x$ , adică, să avem o dependență liniară a lui  $M$  de  $x$ ,  $M(x) = ax + b$ ,  $a$  și  $b$  fiind constante); *condiția de uniformitate* (o valoare dată a lui  $x$  trebuie să corespundă la o valoare și numai la una a lui  $M$ ); *condiția de echilibru* (interacția dintre aparatul de măsură și sistemul asupra căruia efectuăm măsurarea pentru o anumită mărime nu trebuie să schimbe mărimea acelui sistem sau, dacă totuși o schimbă, nedispunând de un aparat ideal, să fim capabili să evaluăm exact corecția asupra valorii măsurate) și *condiția de reproductibilitate* (două aparate asemănătoare, situate în aceleași condiții, trebuie să indice aceleași valori ale măsurandului).

Când se constituie o știință, din punctul de vedere al modului de introducere în bazele teoretice ale acesteia, avem *mărimi primitive* (introduse direct, fie prin reprezentarea în concret a unităților lor de măsură și prin indicarea explicită a procedurii de măsurare, fie prin legarea lor de mărimi ale ramurilor fizicii constituite în prealabil) și *mărimi derivate*. O teorie fizică se poate construi și numai cu ajutorul mărimilor ei primitive; însă, mărimile derivate se folosesc pentru a ușura formulările.

Pentru a se trece la treapta percepută de Lord Kelvin, adică, pentru a ști ceva despre ce ai măsurat exprimând în numere rezultatul măsurării, s-au introdus *mărimile fundamentale*. Astfel, din punct de vedere al funcțiunii lor în sistemele de unități, avem mărimi fizice fundamentale (mărimi fundamentale) și mărimi fizice derivate (mărimi derivate).

Mărimile fizice fundamentale sunt mărimile ale căror unități de măsură au fost alese ca independente unele de altele (fundamentale) în cadrul unui sistem de unități de măsură. Dacă raportăm mărimile fizice rezultate din punct de vedere al modului de introducere într-o teorie la cele rezultate din punct de vedere al funcțiunii lor în sistemele de unități, *numărul de mărimi fundamentale* trebuie să fie mai mic sau cel mult egal cu *numărul de mărimi primitive*.

În prezent, SI este bazat pe șapte *unități fundamentale*, corespunzând la șapte *mărimi*

the technological processes from a industry unit, fructifies to the full the outcome of the physics. Thus, technically, the *standard quantity* it is named *unit* and the number from the ratio it is named *numerical value* of the quantity. *The quantity* will be the product between the *numerical value* and the *measurement unit*. Thus, when we are talking about the measurement of a quantity, the attention should be given to the measurement unit and the measurement procedures and devices.

During time, as a consequence of the science, techniques and technology development, it came to the admission that the measurement of a physical quantity imposes certain conditions: *the invariance condition* (that requires the quantity to be measured,  $M$  – measured by means of the quantity  $x$ , representing "*the units*" for the quantity  $M$ , to depend only on  $x$ , i.e. to have a linear dependence of  $M$  on  $x$ ,  $M(x) = ax + b$ ,  $a$  and  $b$  being constants); *the uniformity condition* (a given value of  $x$  should correspond to a value and only to a value of  $M$ ); *the equilibrium condition* (the interaction between the measuring instrument and the system subject to measurement for a certain quantity should not exchange the magnitude of those system or, in case it does change it, because no ideal apparatus is available, to be able to accurate evaluate the correction against the measured value) and *the reproducibility condition* (two similar apparatus, placed in the same conditions, should indicate the same value of the measurand).

When a science is constituted, from the perspective it introduces its theoretical basis, we have *primitive quantities* (introduced directly, either by the representation in concrete of their measurement units and by the explicit indication of the measurement process, or by linking them to the quantities of already established branches of physics) and *derivate quantities*. A physics theory may be build only with its primitive quantities; however the derivate quantities are used to make easier the formulations.

To step in the Lord Kelvin's perceived step, meaning to know something about what you have measured, numerically expressing the measurement result, the main quantities have been introduced. Thus, from the point of view of their functions in the systems of units, we have physical base quantities (base quantities) and physical derivate quantities (derivate quantities).

The base physical quantities are the quantities whose measurement units have been chosen as independent one from the other (base) within a system of measurement units. If we report the resulted physical quantities from the point of view of the way of introducing into a theory to those resulted from the point of view of their functioning in the system of units, *the number of base quantities* should be smaller or, at least, equal to *the number of primitive quantities*.

*fundamentale: metrul (m) pentru lungime; kilogramul (kg) pentru masă; secunda (s) pentru timp; amperul (A) pentru intensitatea curentului electric; kelvinul (K) pentru temperatura termodinamică; molul (mol) pentru cantitatea de substanță și candela (cd) pentru intensitatea luminoasă. Acestea sunt unitățile definite în mod clar pentru șapte mărimi independente din punct de vedere dimensional.*

Celelalte unități ale altor mărimi sunt numite unități derivate, care sunt formate prin combinarea celor șapte unități fundamentale. Numărul de unități fundamentale și, deci, de mărimi fundamentale este mai mic decât numărul de mărimi primitive. Unele din mărimile primitive apar ca mărimi derivate din punctul de vedere al funcțiunilor în sistemele de unități:

Incertitudinile relative pentru unitățile fundamentale ale SI, admise în momentul actual, sunt date în tabelul 1 [3].

At present, the SI relies on *seven base measurement units*, corresponding to *seven base quantities*: the *metre (m)* for *length*; the *kilogram (kg)* for *mass*; the *second (s)* for *time*; the *ampere (A)* for *electrical current*; the *kelvin (K)* for the *thermodynamic temperature*; the *mole (mole)* for the *amount of substance* and the *candela (cd)* for the *luminous intensity*. These are the units clearly defined for seven quantities independent from the dimensional point of view.

The other units of the other quantities - called derived units, are constituted by combining the seven base units. The number of base units and, thus, the number of base quantities is smaller than the number of primitive quantities. Certain primitive quantities appear as derived quantities from their function in the system of units point of view.

The relative uncertainty for the base units of the SI, admitted at present, is given in the table 1 [3].

**Tabelul 1** Unități fundamentale ale SI  
*Table 1 The base units of the SI*

Nr. crt. No.	Mărimea fizică <i>Physical quantity</i>		Unitatea de măsură <i>Measurement unit</i>			Incertitudine relativă <i>Relative measurement uncertainty</i>
	Denumirea <i>Name</i>	Simbolul pentru mărime <i>Symbol for quantity</i>	Denumirea <i>Name</i>	Simbol <i>Symbol</i>	Termen dimensional <i>Dimensional term</i>	
1	Lungime <i>Length</i>	<i>l</i>	metru <i>metre</i>	m	m	$\leq 10^{-12}$
2	Masă <i>Mass</i>	<i>m</i>	kilogram <i>kilogram</i>	kg	kg	$\leq 10^{-8}$
3	Timp <i>Time</i>	<i>t</i>	secundă <i>second</i>	s	s	$\leq 10^{-14}$
4	Intensitatea curentului electric <i>Electric current</i>	<i>I</i>	amper <i>ampere</i>	A	A	$\leq 10^{-8}$
5	Temperatură termodinamică <i>Thermodynamic temperature</i>	<i>T</i>	kelvin <i>kelvin</i>	K	K	$\leq 10^{-6}$
6	Cantitate de substanță <i>Amount of substance</i>	<i>n</i>	mol <i>mole</i>	mol <i>mole</i>	mol	$\leq 10^{-6}$
7	Intensitate luminoasă <i>Luminous intensity</i>	<i>I<sub>v</sub></i>	candelă <i>candela</i>	cd	cd	$\leq 10^{-3}$

## 2. NOILE PROPUNERI PENTRU REDEFINIREA UNITĂȚILOR MĂRIMILOR FUNDAMENTALE ÎN SI

Dezvoltarea cercetării științifice (fundamentală, aplicată și de dezvoltare), controlul calității fabricației și schimburile de piață necesită existența tehnologiilor de măsură robuste, sigure și foarte

## 2. NEW PROPOSALS FOR REDEFINING THE UNITS OF THE BASE QUANTITIES IN THE SI

Development of the scientific research (fundamental, applied and for development), quality control of fabrication and trade require the existence of robust, secure and very accurate measurement

precise. Din practica de până acum, s-a constatat că măsurile electrice se pot măsura cu precizia cea mai mare. Pentru măsurarea cu precizie mare și a mărimilor neelectrice, prin instrumentație electronică, utilizând senzori, cele mai multe mărimi neelectrice sunt convertite în mărimi electrice.

Mărirea preciziei mărimilor electrice se poate realiza prin dezvoltarea metrologiei începând cu unitățile fundamentale. Acest lucru este posibil prin apelarea la fenomene cuantice, care permit asocierea dintre mărimile electrice și constantele fizice fundamentale invariabile, cum ar fi sarcina electronului, constanta lui Planck, viteza luminii în vid, constanta lui Boltzmann ș.a.

Ținându-se seama de succesul continuu al implementării etaloanelor electrice bazate pe fenomene cuantice, s-ar putea justifica, în viitor, o redefinirea a unităților fundamentale ale SI.

Din cercetări efectuate, [4] ÷ [13], rezultă că toate cele șapte unități fundamentale ale SI sunt mult mai puțin implicate în evoluția pentru a obține o perfecțiune din ce în ce mai pronunțată prin redefinirea acestora plecând de la constantele fundamentale ale fizicii.

Astfel, pentru a 24-a Conference Générale de Poids et Mesures (CGPM.) din 2011 se propun noi definiții pentru unitățile fundamentale ale SI.

- În cazul unității timpului se propune păstrarea definiției dată de a 13-a CGPM din 1967 - 1968: **Secunda** este durata a 9.192.631.770 perioade ale radiației corespunzătoare tranziției între cele două niveluri hiperfine ale stării fundamentale a atomului de cesiu 133 la o temperatură de 0° C. Această definiție ne permite ca prin secundă, luând  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs} = 9\,192\,631\,770$  Hz, să înțelegem:

$$1\text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs}} \quad (1)$$

În momentul de față se fac cercetări intense pentru a se utiliza tranziția  $1s \leftrightarrow 2s$  a hidrogenului. Aceste cercetări sunt încurajate de faptul că cea mai precisă valoare care s-a obținut până în prezent este cea a constantei lui Rydberg:

$$R_H = 10\,973\,731,568\,549(83)\text{ m}^{-1} = (10\,973\,731,568\,549 \pm 0,000\,083)\text{ m}^{-1},$$

care are următoarea expresie în raport cu constantele fizice fundamentale, în cazul hidrogenului:

$$R_H = \frac{1}{2} \frac{m_e e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^3 c} \frac{1}{1 + \frac{m_e}{m_p}} \quad (2)$$

unde  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  ( $h$  fiind constanta lui Planck),  $\epsilon_0$  este

technologies. Taking into account the present practice it was found that the electrical quantities can be measured with the highest accuracy. To measure with high accuracy the non-electric quantities also, by means of electronic instrumentation, using sensors, the majority of the non-electric quantities are converted in electrical quantities.

The increase of precision of electrical quantities can be achieved by metrology development starting with the base units. This fact is possible by calling the quantum phenomena, allowing the association between the electrical quantities and the invariable base physical constants such as electron charge, Planck constant, speed of light in vacuum, Boltzmann constant etc.

Taking into consideration the continuous success of the implementation of electrical measurement standards based on quantum phenomena, one may justify in future a redefinition of the base units of the SI.

From the researches performed, [4] ÷ [13], it results that all seven base units of the SI are much less involved in the evolution to obtain a perfection more and more pronounced by redefining them starting from the base constants of physics.

Thus, for the 24<sup>th</sup> Conference Générale de Poids et Mesures (CGPM) from 2011, new definitions are proposed for the base units of the SI.

- In the time unit case, it is proposed to maintain the definition given by the 13<sup>th</sup> CGPM from 1967 - 1968: **The second** is the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium 133 atom at a temperature of 0 °C. This definition allows us, by taking  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs} = 9\,192\,631\,770$  Hz, to understand

$$\text{second as: } 1\text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs}} \quad (1)$$

At present, intense researches are performed to use the transition  $1s \leftrightarrow 2s$  of the hydrogen. These researches are encouraged by the fact that the most precise value obtained so far is the Rydberg constant:

having for the hydrogen case the following expression to relate to base physical constants:

$$R_H = \frac{1}{2} \frac{m_e e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^3 c} \frac{1}{1 + \frac{m_e}{m_p}} \quad (2)$$

where  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ,  $h$  is the Planck constant;  $\epsilon_0$  is the

constanta electrică,  $c$  este viteza luminii în vid,  $m_e$  - masa electronului și  $m_p$  - masa protonului.

Apariția ceasurilor atomice, asociate cu "piepteni" de frecvență furnizați de laserele în impulsuri cu durată de femtosecunde [5], asigură înlocuirea ceasurilor cu microunde. Competiția rămâne deschisă între atomii neutri (în zbor liberi sau confinați într-o rețea de lumină pentru a beneficia de efectul Lamb - Dicke [5]) și ionii confinați.

- În cazul unității lungime se propune păstrarea definiției dată de a 17-a CGPM. din 1983, conform căreia: **Metru** este lungimea drumului parcurs de lumină în vid pe durata intervalului de timp de  $(299.792.458)^{-1}$  dintr-o secundă [6]. În această definiție se consideră că viteza luminii în vid este  $c = 299\,792\,458\text{ ms}^{-1}$ , valoare exactă, recomandată în 1975 de către Comitetul Consultativ de Definiție a Metrului (CCDM.). În prezent, aceasta este singura definiție a unei unități fundamentale a SI care se raportează la constanta fizică fundamentală - viteza luminii în vid,  $c$ . Astfel, printr-un metru se înțelege:

$$1\text{ m} = \frac{(c\text{ s})}{299\,792\,458} \quad (3)$$

Precizia metrului este acum cea a unității de timp. Definiția metrului, dată de cea de-a 17-a CGPM. din 1983, se bazează pe o constantă fizică fundamentală (viteza luminii în vid,  $c$ ), și nu pe un obiect material și nici pe o radiație emisă de o anumită substanță. Ca atare, această definiție are garanții de perenitate. Incertitudinea admisă în momentul de față (tabelul 1)

pentru metru este de circa  $10^{-12}$ ; aceasta este mult mai mare decât cea pentru unitatea de timp ( $\cong 10^{-14}$ ), datorită limitărilor aduse de măsurările interferometrice.

- În cazul unității masei se propune renunțarea la definiția dată de prima CGPM din 1883 și de cea de-a treia CGPM din anul 1901, care a pus capăt ambiguității ce exista în folosirea curentă a semnificației termenului de "greutate", confirmându-se definiția: **Kilogramul** este unitatea de masă; el este egal cu masa prototipului internațional al kilogramului [15].

Se propune înlocuirea acestei definiții prin una dintre cele două definiții existente în prezent. Prima definiție are două variante:

**1 (kg - 1a) - Kilogramul** este masa unui corp a cărui energie echivalentă este egală cu aceea a unui număr de fotoni a căror sumă de frecvențe este exact  $\left[ (299\,792\,458)^2 / 662\,606\,93 \right] \times 10^{41}$  hertzi.

Această variantă este bazată pe ecuația energiei

electrical constant;  $c$  is the speed of light in vacuum;  $m_e$  is the mass of electron;  $m_p$  the mass of proton.

The entry of the atomic clocks, associated with the frequency combs provided by the impulse lasers, having femtoseconds duration [5], assures the replacement of the clocks with microwaves. The competition rests open between the neutral atoms (in free fly or confined in a net of light to benefit from the Lamb-Dicke effect [5]) and the confined ions.

- In the length unit case, it is proposed to maintain the definition given by the 17<sup>th</sup> CGPM from 1983: **The metre** is the length of the path traveled by light in vacuum during a time interval of  $1/299\,792\,458$  of a second [6]. In this definition, it is considered that the speed of light in vacuum is  $c = 299\,792\,458\text{ ms}^{-1}$ , the exact value recommended in 1975 by the Consultative Committee for Defining the Metre (CCDM). At present, this is the only definition of a base unit of the SI which is reported to the base physical constant – the speed of light in vacuum. Thus, by one meter it is understood:

$$1\text{ m} = \frac{(c\text{ s})}{299\,792\,458} \quad (3)$$

The accuracy of the metre is now equal to the accuracy of the time measurement unit. The definition of metre, adopted by the 17<sup>th</sup> CGPM from 1983, relies on a base physical constant (the speed of light in vacuum,  $c$ ) and not on an artifact, nor on a radiation emitted by a certain substance. Consequently, this definition is guaranteed on long term. The uncertainty admitted at present (table 1) for a metre is of approximate  $10^{-12}$ ; this is much larger than the one for the time unit ( $\cong 10^{-14}$ ), due to the limitations introduced by the interferometric measurements.

- In the mass unit case, it is proposed to drop the definition given by the first CGPM in 1883 and by the 3<sup>rd</sup> CGPM in 1901, that put an end to the existing ambiguity in the common use of the significance of "weight" term, confirming, thus, the definition: **The kilogram** is the unit of mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram [15].

The replacement of this definition by one of the two existing definitions is proposed. The first definition has two versions:

**1 (kg - 1a) – The Kilogram** is the mass of a body whose equivalent energy is equal to that of a number of photons having the sum of frequencies exactly equal to  $\left[ (299\,792\,458)^2 / 662\,606\,93 \right] \times 10^{41}$  hertz.

This version is based on the equation of the equivalent energy of a body having the mass of one kilogram with the energy of a number  $N$  of photons,

echivalente a unui corp având masa de un kilogram cu energia unui număr  $N$  de fotoni, adică,  $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$ , unde

$$\mathbf{E}_1 = mc^2 \quad (4)$$

și

$$\mathcal{E}_2 = N h \nu = N \frac{hc}{\lambda} \quad (5)$$

Astfel, rezultă că [16], [17], [18]:

$$h = \frac{(1\text{kg})(299\,792\,458\text{ms}^{-1})^2}{\left\{ \frac{(299\,792\,458)^2}{662\,606\,93} \times 10^{41} \text{ Hz} \right\}} \quad (6a)$$

sau

$$h = 6,626\,069\,3 \times 10^{-34} \text{ Js} \quad (6b)$$

unde, totuși, joulul,  $J = \text{m}^2\text{kg s}^{-2}$ , este unitatea SI de energie.

Pentru a doua variantă a primei definiții, avem [19], [20]:

**1 (kg - 1b) - Kilogramul** este masa unui corp a cărui frecvență de Broglie - Compton este egală exact cu  $\left[ (299\,792\,458)^2 / 6,626\,069\,3 \times 10^{-34} \right]$  hertzi. În

această variantă propusă, frecvența de Broglie - Compton a unui corp de masă  $m$  este definită prin

$$\nu_m = \frac{c}{\lambda_{c,m}} = \frac{mc^2}{h}, \text{ unde } \lambda_{c,m} = \frac{h}{mc} \text{ se referă la}$$

lungimea de undă Compton a corpului, analogă cu lungimea de undă Compton a electronului

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c}. \text{ Valoarea lui } \nu_m \text{ specificată în definiția}$$

**1(kg - 1b)** implică faptul că valoarea lui  $h$  este cunoscută exact deoarece relația:

$$h = \frac{mc^2}{\nu_m} = \frac{1\text{kg} \times (299\,792\,458\text{ms}^{-1})^2}{\left\{ \frac{(299\,792\,458)^2}{6,626\,069\,3 \times 10^{-34}} \right\} \text{ Hz}} \quad (7)$$

conduce la valoarea lui  $h$  din (6b).

Ambele variante **1. (kg - 1a)** și **1. (kg - 1b)** ale primei definiții posedă meritele lor speciale. Prima, **1. (kg - 1a)**, are avantajul de a fi bazată pe relații fundamentale relativ bine cunoscute și, astfel este ușor de cunoscut de către o largă audiență. A doua, **1. (kg - 1b)**, are avantajul că se bazează pe o proprietate a unui corp (deși, mai de grabă, nefizic), aceasta fiind frecvența de Broglie - Compton. Acest lucru este subliniat prin faptul că raportul  $h/m$  este acea mărime care este în mod uzual observată și măsurată în lumea reală. De exemplu, măsurările de

interferometrie atomică dau pe  $\frac{h}{m(^A X)}$ , unde  $^A X$

este un atom ca  $^{133}\text{Cs}$  și măsurările cu balanța watt pe

i.e  $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$ , where

$$\mathbf{E}_1 = mc^2 \quad (4)$$

and

$$\mathcal{E}_2 = N h \nu = N \frac{hc}{\lambda} \quad (5)$$

Thus, it results that [16], [17], [18]:

$$h = \frac{(1\text{kg})(299\,792\,458\text{ms}^{-1})^2}{\left\{ \frac{(299\,792\,458)^2}{662\,606\,93} \times 10^{41} \text{ Hz} \right\}} \quad (6a)$$

or

$$h = 6,626\,069\,3 \times 10^{-34} \text{ Js} \quad (6b)$$

where, however, the Joule,  $J = \text{m}^2\text{kg s}^{-2}$ , is the SI unit of energy.

For the second version of the first definition, we have [19], [20]:

**1 (kg - 1b) – The Kilogram** is the mass of a body whose Broglie – Compton frequency is exactly equal to  $\left[ (299\,792\,458)^2 / 6,626\,069\,3 \times 10^{-34} \right]$  hertz.

In this proposed version, the Broglie - Compton frequency of a body having the mass  $m$  is defined by

$$\nu_m = \frac{c}{\lambda_{c,m}} = \frac{mc^2}{h}, \text{ where } \lambda_{c,m} = \frac{h}{mc} \text{ refers to}$$

the Compton wavelength of a body, analog with the

Compton wavelength of the electron  $\lambda_c = \frac{h}{m_e c}$ . The

value of  $\nu_m$  specified in the definition **1(kg - 1b)**

implies the fact that the value of  $h$  is exactly known since the relationship:

$$h = \frac{mc^2}{\nu_m} = \frac{1\text{kg} \times (299\,792\,458\text{ms}^{-1})^2}{\left\{ \frac{(299\,792\,458)^2}{6,626\,069\,3 \times 10^{-34}} \right\} \text{ Hz}} \quad (7)$$

leads to the value of  $h$  from (6b).

Both versions **1. (kg - 1a)** and **1. (kg - 1b)** of the first definition have their own special merits. The first one, **1. (kg - 1a)**, has the advantage to rely on fundamental relations, relatively well known and, thus, easy to be learned by a large audience. The second, **1. (kg - 1b)**, has the advantage to rely on a property of a body (although, rather nonphysical), meaning the Broglie - Compton frequency. This fact is underlined by the fact that the ratio  $h/m$  is that quantity usually observed and measured in the real world. For example, the atomic interferometric measurements give

$\frac{h}{m(^A X)}$ , where  $^A X$  - is an atom, as the  $^{133}\text{Cs}$  is, and

the measurements with the Watt balance give  $h/m_s$ , where  $m_s$  is a macroscopic mass standard, typically

$h/m_s$ , unde  $m_s$  este o masă standard macroscopică, în mod tipic între 100 g și 1 kg, folosită în porțiunea de "cântărire" a experimentului. Pe de altă parte, este de recunoscut că pentru o masă de 1 kg,  $v_m$  este o frecvență nerealist de mare; ea corespunde la lungimea de undă:

$$\lambda_{c,1\text{kg}} = \frac{h}{(1\text{kg} \cdot c)} \cong 2,2 \times 10^{-42} \text{ m} \quad (8)$$

care este cu șapte ordine de mărime mai mică decât lungimea Planck,  $l_P \cong 1,6 \times 10^{-35} \text{ m}$  [21].

Astfel, luând  $h = 6,626\ 069\ 3 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kgs}^{-2}\text{s}$ , definiția devine: **2 (kg - 2): "Kilogramul, unitatea de masă, este astfel încât constanta lui Planck este exact  $6,626\ 069\ 3 \times 10^{-34}$  jouli secundă.", rezultând:**

$$1\text{kg} = \frac{\text{hm}^{-2}\text{s}}{6,626\ 069\ 3 \times 10^{-34}} \quad (9)$$

În cazul celei de-a doua definiții se pleacă de la faptul că există posibilitatea [18] de a utiliza relațiile:

$$\mathcal{E} = mc^2 = h\nu, \quad (10)$$

ajungând la definiția: **kilogramul este masa unui corp în repaus a cărei energie echivalentă este egală cu energia unui ansamblu de fotoni a cărui sumă a frecvențelor este egală cu  $135\ 639\ 274 \times 10^{42} \text{ Hz}$ .**

- În cazul intensității curentului electric se propune ca definiția aprobată de cea de-a 9-a CGPM, din 21 octombrie 1948, **Amperul este intensitatea unui curent electric constant care, menținut în două conductoare paralele rectilinii, de lungime infinită, de secțiune circulară neglijabilă și plasate la o distanță de un metru unul de celălalt, ar produce în aceste conductoare o forță egală cu  $2 \times 10^{-7}$  newton pe o lungime de un metru, să fie înlocuită.** Remarcăm faptul că la aceeași conferință, constanta fundamentală de la care pleacă definiția amperului, numită *constanta magnetică*,  $\mu_0$ , este fixată la valoarea exactă:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2} = 12,566\ 370\ 614... \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2} \quad (11)$$

Pornindu-se de la efectul tunel mono-electronic (SET) cu care se realizează "pompa de curent metrologică", utilizabilă în definiția amperului, [7], [8], s-au propus definiția **1. (A-1): Amperul este curentul electric în direcția fluxului de exact  $\frac{1}{(1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19})}$  sarcini elementare pe secundă.**

Identificarea valorii lui  $e$  rezultă din relația:

$$I t = N e \quad (12)$$

unde  $I$  este curentul electric,  $t$  este intervalul de timp și  $N$  este numărul de sarcini elementare. Luând

within 100 g and 1 kg, used in the "weighing" part of the experiment. On one side it is recognized that for a mass of 1 kg,  $v_m$  is an unrealistic high frequency; it corresponds to the wavelength:

$$\lambda_{c,1\text{kg}} = \frac{h}{(1\text{kg} \cdot c)} \cong 2,2 \times 10^{-42} \text{ m} \quad (8)$$

being by seven orders of magnitude smaller than the Planck length,  $l_P \cong 1,6 \times 10^{-35} \text{ m}$  [21].

Thus, by taking  $h = 6,626\ 069\ 3 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kgs}^{-2}\text{s}$ , the definition becomes: **2 (kg - 2): "The kilogram, mass unit, is thus as the Planck constant is exactly  $6,626\ 069\ 3 \times 10^{-34}$  Joule second.", resulting:**

$$1\text{kg} = \frac{\text{hm}^{-2}\text{s}}{6,626\ 069\ 3 \times 10^{-34}} \quad (9)$$

In the case of the second definition, the starting point is the existing possibility [18] to use the relations:

$$\mathcal{E} = mc^2 = h\nu, \quad (10)$$

leading thus to the definition: **The kilogram is the mass of a body at rest whose equivalent energy is equal to the energy of an assembly of photons whose sum of frequencies is equal to  $135\ 639\ 274 \times 10^{42} \text{ Hz}$ .**

- In the electric current case, it is proposed the definition approved by the 9<sup>th</sup> CGPM from October 21, 1948, stating that 'the **ampere** is that constant current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed 1 metre apart in vacuum, would produce between these conductors a force equal to  $2 \times 10^{-7}$  newton per metre of length', to be replaced. We note the fact that, at the same conference, the base constant supporting the ampere definition, named *magnetic constant*,  $\mu_0$ , was set to a fixed value of:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2} = 12,566\ 370\ 614... \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2} \quad (11)$$

Starting from the single electron tunnel effect (SET), by means of which the 'the metrologic current pump' is realized and used in the definition of the ampere, [7], [8], it was proposed the definition **1. (A-1): The Ampere is the electric current towards the flux direction of exactly  $\frac{1}{(1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19})}$  elementary charges per second.**

The identification of the  $e$  value results from the relation:  $I t = N e$  (12)

where  $I$  is the electric current,  $t$  is the time interval and  $N$  is the number of elementary charges. By taking in the definition  $I = 1\text{A}$ ,  $t = 1\text{s}$

$I = 1\text{ A}$ ,  $t = 1\text{ s}$  și  $N = \frac{1}{(1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19})}$   
ca fix în definiție, se obține din relația (12),  
 $e = \frac{1}{N}\text{ As} = 1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}\text{ C}$ , C numit  
coulomb, fiind numele special pentru amper secundă,  
As.

Această definiție specifică faptul că direcția  
curentului este în direcția fluxului sarcinilor pozitive,  
deoarece sarcina elementară este definită ca fiind o  
mărimă pozitivă (adică, valoarea absolută a sarcinii  
electronului sau sarcina protonului). Astfel, avem  
[22]: **2. (A - 2) - Amperul**, *unitatea de curent  
electric, este astfel încât sarcina elementară este  
exact  $1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}$  coulombi*. Pentru  
 $e = 1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}\text{ C}$ , se definește:

$$1\text{ A} = \frac{e\text{ s}^{-1}}{1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}} \quad (13)$$

- În cazul unității temperaturii termodinamice se  
propune ca definiția definitivată la a 13-a CGPM.:  
Kelvinul, *unitatea de temperatură termodinamică, este  
fracțiunea  $\frac{1}{273,16}$  din temperatura termodinamică a  
punctului triplu al apei*, să fie înlocuită cu o definiție  
raportată la constanta lui Boltzmann,  $k_B$ .

Gradul Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) este egal cu gradul kelvin.  
Temperatura, exprimată în grade Celsius față de  
temperatura exprimată în kelvin, este dată de relația  
[23]:

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (14)$$

Kelvinul și gradul Celsius sunt, de asemenea,  
unități ale Scării Internaționale de Temperatură din  
1990 (SIT-90) adoptată de CIPM în 1989 [24].

Noile definiții propuse sunt [25]: **1. (K - 1) -  
kelvinul** este schimbarea temperaturii  
termodinamice care rezultă în urma schimbării  
energiei termice  $k_B T$  cu exact  
 $1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}$  jouli.

Deoarece această definiție stabilește că avem:

$$k_B \times (1\text{ K}) = 1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}\text{ J} \quad (15)$$

este clar că ea are ca efect fixarea constantei lui  
Boltzmann la valoarea  
 $k_B = 1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}\text{ JK}^{-1}$ .

În acest mod, se precizează: **2. (K - 2) - Kelvinul**,  
*unitatea de temperatură termodinamică, este astfel  
încât constanta lui Boltzmann este egală exact cu  
 $1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}$  jouli*. De aici, rezultă că luând

and  $N = \frac{1}{(1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19})}$  as fixed, from the  
relation (12),

$e = \frac{1}{N}\text{ As} = 1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}\text{ C}$  it is  
obtained the coulomb, C, the special name for ampere  
second, As.

This definition specifies the fact that the current  
direction is towards the direction of the flux of positive  
charges, since the elementary charge is defined as a  
positive quantity (meaning the absolute value of the  
electron charge or the proton charge). Thus we have  
[22]: **2. (A - 2) - The Ampere**, *the unit of electric  
current, is thus as the elementary charge is exactly  
equal to  $1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}$  coulombs*. For  
 $e = 1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}\text{ C}$ , one defines:

$$1\text{ A} = \frac{e\text{ s}^{-1}}{1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}} \quad (13)$$

- In the thermodynamic temperature unit case, it is  
proposed that the definition, crystallized at the 13<sup>th</sup>  
CGPM i.e: *The kelvin, the unit of thermodynamic  
temperature, is the fraction  $\frac{1}{273,16}$  of the  
thermodynamic temperature of the triple point of  
water*, to be replaced with a new definition related to  
the Boltzmann constant,  $k_B$ .

The degree Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) is equal to kelvin. The  
relation between the temperature expressed in degree  
Celsius and the temperature expressed in kelvin, is  
[23]:

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (14)$$

The kelvin and the degree Celsius are, also, units  
of the International Temperature Scale from 1990  
(ITS-90) adopted by the CIPM in 1989 [24].

The new proposed definitions are [25]: **1. (K - 1) -  
The Kelvin** is the change of the thermodynamic  
temperature resulting as the change of the thermic  
energy  $k_B T$  with exactly  $1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}$  joules.

Since this definition establishes that we have:

$$k_B \times (1\text{ K}) = 1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}\text{ J} \quad (15)$$

it is clear that it has as the consequence the fixing the  
Boltzmann constant to the value of  
 $k_B = 1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}\text{ JK}^{-1}$ .

Thus it is set out that: **2. (K - 2) - The Kelvin**, *the  
thermodynamic temperature, is such as the Boltzmann  
constant to be exactly equal to  $1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}$   
joules*. Starting from here, by taking  
 $k_B = 1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23}\text{ JK}^{-1}$ , it results that we  
have:



$$k_B = 1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}, \text{ avem:}$$

$$1\text{K} = \frac{(1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23})}{(k_B \text{m}^2 \text{kg}^{-1} \text{s}^2)} \quad (16)$$

- În cazul unității cantității de substanță se propune ca *molul* să fie definit în legătură cu numărul lui Avogadro,  $N_A$ .

Se știe că, ținându-se seama de propunerile Uniunii Internaționale de Fizică Pură și Aplicată (International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP), Uniunii Internaționale de Chimie Pură și Aplicată (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) și Organizației Internaționale de Standardizare (International Organization for Standardization, ISO), CIPM a dat o definiție a molului în 1967 și a confirmat-o în 1969. Adoptarea ei a avut loc în anul 1971 la a 14-a CGPM [26]:

**1. Molul** este cantitatea de substanță a unui sistem care conține tot atât de multe entități câți atomi există în 0,012 kilograme de carbon 12; simbolul lui este "mol".

**2. Când este folosit molul, entitățile elementare trebuie specificate și pot fi atomi, molecule, ioni, electroni, alte particule sau grupuri specificate de astfel de particule.**

În 1980 Comité Consultatif des Unités (CCU) propune și CIPM. aprobă în același an pentru a se specifica faptul că: *În această definiție se înțelege că atomii de carbon 12 sunt liberi, în repaus și în starea lor de bază.*

Masa molară  $M(X)$  a unei entități specificate  $X$  este masa unui mol al lui  $X$  și, astfel, rezultă din definițiile masei molare și numărului lui Avogadro,  $N_A$ , că pentru oricare entitate  $X$ , avem:

$$M(X) = N_A \cdot m(X) \quad (17)$$

unde  $m(X)$  este masa entității  $X$ .

În definiția curentă a molului, avem:

$$M(^{12}\text{C}) = 0,012 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (18)$$

rezultând

$$N_A \cdot m(^{12}\text{C}) = 0,012 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (19)$$

sau în notație mai compactă

$$M(^{12}\text{C}) = N_A \cdot m(^{12}\text{C}) = 12 M_u \quad (20)$$

unde  $M_u = 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  este constanta masei molare.

Pentru a 24-a CGPM din 2011 se propune definiția: **1. (mol - 1) - Molul** este cantitatea de substanță a unui sistem care conține exact  $6,022\ 1415 \times 10^{23}$  entități elementare specificate, care pot fi atomi, molecule, ioni, electroni, alte particule sau grupuri specificate de astfel de

$$1\text{K} = \frac{(1,380\ 650\ 5 \times 10^{-23})}{(k_B \text{m}^2 \text{kg}^{-1} \text{s}^2)} \quad (16)$$

- In the *amount of substance unit* case, it is proposed *the mole* to be defined in connection with the Avogadro constant,  $N_A$ .

It is known that, following proposals by the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) and the International Organization for Standardization (ISO), the CIPM gave a definition of the mole in 1967 and confirmed it in 1969. Its adoption was in 1971 at the 14<sup>th</sup> CGPM [26]:

**1. The mole** is the amount of substance of a system which contains as many elementary entities as there are atoms in 0.012 kilogram of carbon 12; its symbol is "mol".

**2. When the mole is used, the elementary entities must be specified and may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles, or specified groups of such particles.**

In 1980 the Comité Consultatif des Unités (CCU) proposes and the CIPM approves in the same year to specify the fact that: *In this definition, it is understood that unbound atoms of carbon 12, at rest and in their ground state, are referred to.*

The molar mass of a specified entity  $X$  is the mass of a mole of  $X$  and thus, from the definitions of the molar mass and the Avogadro constant,  $N_A$ , it results that for any entity  $X$  we have:

$$M(X) = N_A \cdot m(X) \quad (17)$$

where:  $m(X)$  is the mass of the entity  $X$ .

In the present definition of the mole we have:

$$M(^{12}\text{C}) = 0,012 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (18)$$

resulting that

$$N_A \cdot m(^{12}\text{C}) = 0,012 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (19)$$

or, in a more compact writing:

$$M(^{12}\text{C}) = N_A \cdot m(^{12}\text{C}) = 12 M_u \quad (20)$$

where  $M_u = 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  is the molar mass constant.

For the 24<sup>th</sup> CGPM from 2011 it is proposed the definition: **1. (mol - 1) - The mole** is the amount of substance of a system containing exactly  $6,022\ 1415 \times 10^{23}$  elementary specified entities, that may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles or specified groups of such particles.

Therefore, one may say that: **2. (mol - 2) - The Mole**, the unit of amount of substance of an elementary specified entity, that may be an atom, molecule, ion, electron, any other particle or a specified group of such particles, being that as the

particule.

Ca atare, se poate afirma că: **2. (mol - 2) - Molul, unitate de cantitate de substanță a unei entități elementare specificate, care poate fi un atom, moleculă, ion, electron, oricare alte particule sau un grup specificat de astfel de particule, care este astfel încât constanta lui Avogadro este exact**

$6,022\ 1415 \times 10^{23}$  pe mol. Astfel, luând  $N_A = 6,022\ 1415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , avem:

$$1 \text{ mol} = \frac{(6,022\ 1415 \times 10^{23})}{N_A} \quad (21)$$

- În cazul unității de intensitate luminoasă, după mai multe încercări, ținându-se seama de dificultățile experimentale în realizarea unui rezonator Planck și de noile posibilități oferite de radiometrie (prin măsurarea puterii radiației optice), cea de-a 16-a CGPM în anul 1979 adoptă o nouă definiție a candelii, care este valabilă și în prezent [27]: **Candela este intensitatea luminoasă, într-o direcție dată, a unei surse care emite o radiație monocromatică de frecvență  $540 \times 10^{12}$  hertzi și care are o intensitate radiantă, în aceeași direcție, de  $1/683$  wați pe steradian.**

În schimbările care au loc privind intensitatea luminoasă, se ține seama de faptul că unitatea acesteia, candela, nu este decât o derivată a fluxului energetic.

Pentru a 24-a CGPM din 2011, se ține seama de faptul că patru unități fundamentale ale SI (*kg, A, K și mol*) sunt definite folosind același model. Astfel, intensitatea curentului electric este legată de  $es^{-1}$  cu ajutorul efectelor Josephson și Hall cuantic și temperatura termodinamică este legată de constanta lui Boltzmann,  $k_B$ , prin diverse experiențe. Același lucru se petrece cu kilogramul care este legat de constanta lui Planck,  $h$ , iar masa molară a unei entități este raportată la numărul lui Avogadro,  $N_A$ , prin masa atomică relativă a ei și valorile cunoscute ale altor constante pentru a defini molul. Aceste observații conduc la a considera că *intensitatea luminoasă spectrală a radiației monocromatice de frecvență  $540 \times 10^{12}$  hertzi, este  $K(\lambda_{555})$  folosind radiometrul criogenic.* Deci, luând  $K(\lambda_{555}) = 683$  lumeni pe watt, rezultă:

$$1 \text{ cd} = \frac{[K(\lambda_{555}) \text{ m}^2 \text{ kgs}^{-3} \text{ sr}^{-1}]}{683} \quad (22)$$

De asemenea, definiția SI dată la a 11-a CGPM din anul 1960: "**SI este bazat pe șapte unități fundamentale ale unor mărimi independente din**

*Avogadro constant is exactly  $6,022\ 1415 \times 10^{23}$  per mole.* Therefore, taking  $N_A = 6,022\ 1415 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$ , we have:

$$1 \text{ mol} = \frac{(6,022\ 1415 \times 10^{23})}{N_A} \quad (21)$$

- *In the luminous intensity unit case, after several attempts, taking into consideration the experimental difficulties to realize a Planck resonator, as well as the new possibilities provided by the radiometry (by measurement of the power of the optical radiation), the 16<sup>th</sup> CGPM adopted in 1979 a new definition of the candela, still in force at present [27]: **The candela is the luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  hertz and that has a radiant intensity in that direction of  $1/683$  watt per steradian.***

During the changes occurred in respect with the luminous intensity, it is taking into account the fact that its measurement unit, the candela is just a derivate of the energetic flux.

For the 24<sup>th</sup> CGPM from 2011, it is taking into account the fact that four main units of SI (*kg, A, K and mole*) are defined using the same model. Thus,

the electrical current is related to  $es^{-1}$  by means of Josephson and quantum Hall effects, the thermodynamic temperature is related to the Boltzmann constant,  $k_B$ , by means of different experiments. Same thing happens with the kilogram, that is related to the Planck constant,  $h$ , and the molar mass of an entity that is reported to the Avogadro constant,  $N_A$ , by its relative atomic mass and the known values of other constants used to define the mole. These notices lead to considering that *the spectral luminous intensity of the monochromatic radiation of a frequency of  $540 \times 10^{12}$  hertz, is  $K(\lambda_{555})$  using the cryogenic radiometer.* So, by taking,  $K(\lambda_{555}) = 683$  lumen per watt, it results that:

$$1 \text{ cd} = \frac{[K(\lambda_{555}) \text{ m}^2 \text{ kgs}^{-3} \text{ sr}^{-1}]}{683} \quad (22)$$

It is also proposed that the definition of the SI, given at the 11<sup>th</sup> CGPM from 1960, i.e. : "**The SI is founded on seven main units of dimensionally independent quantities: the meter (m) for length, the kilogram (kg) for mass, the second (s) for time, the ampere (A) for electric current, the kelvin (K) for thermodynamic temperature, the mole (mole) for amount of substance and the candela (cd) for luminous**

punct de vedere dimensional: **metrul** (m) pentru lungime, **kilogramul** (kg) pentru masă, **secunda** (s) pentru timp, **amperul** (A) pentru intensitatea curentului electric, **kelvinul** (K) pentru temperatura termodinamică, **molul** (mol) pentru cantitatea de substanță și **candela** (cd) pentru intensitatea luminoasă" se propune ca la cea de a 24-a CGPM din 2011 să fie înlocuită cu definiția [22], [28], [29]: "SI este sistemul de unități care corespunde la: - frecvența tranziției dintre cele două niveluri ale despicării hiperfine a stării fundamentale a atomului de cesiu 133,  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$  egală cu 9 192 631 770 hertzi; - viteza luminii în vid,  $c$ , egală cu 299 792 458 metri pe secundă; - constanta lui Planck,  $h$ , egală cu  $6,626\ 0693 \times 10^{-34}$  jouli secundă; - sarcina elementară,  $e$ , egală cu  $1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}$  coulombi; - constanta lui Boltzmann,  $k_B$ , egală cu  $1,380\ 6505 \times 10^{-23}$  jouli pe kelvin; - constanta lui Avogadro,  $N_A$ , egală cu  $6,022\ 1415 \times 10^{+23}$  pe mol și - eficacitatea luminoasă spectrală a radiației monocromatice de frecvență  $540 \times 10^{12}$  hertzi,  $K(\lambda_{555})$ , egală cu 683 lumeni pe watt".

Astfel, cele șapte constante exacte,  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ ,  $c, h, e, k_B, N_A$  și  $K(\lambda_{555})$  formează baza SI.

În ambele definiții (cea din 1960 și cea propusă pentru a fi adoptată în anul 2011), unitățile derivate pentru celelalte mărimi sunt formate prin combinarea celor șapte unități fundamentale.

### 3. IMPLICAȚII ALE DEZVOLTĂRII METROLOGIEI CU COERENȚĂ GLOBALĂ

Consecințele cele mai importante ale dezvoltării metrologiei cu coerență globală constau în:

- existența a cât mai multor laboratoare care să posede etaloane pentru unitățile fundamentale;
- îmbunătățirea calității produselor (aparate, materiale etc.);
- deschiderea unui câmp de lucru larg pentru tehnologiile optice, care constituie tehnologiile de vârf din clasa tehnologiilor electrofizice;
- schimbarea modului de prezentare în învățământul superior științific și tehnic a științei, tehnicii și tehnologiei măsurărilor ș.a.m.d.

În etapa actuală de dezvoltare a științei, tehnicii și tehnologiei, structura planurilor de învățământ pentru învățământul superior tehnic este dictată de:

- dezvoltarea științei și tehnicii care a condus la creșterea exponențială a descoperirilor în toate domeniile;

"intensity" to be replaced at the 24<sup>th</sup> CGPM from 2011 by [22], [28], [29]: "The SI is the system of units that correspond to: - the frequency of the transition between the two levels of the hyperfine splitting in the ground state of the cesium 133 atom,  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$  equal to 9 192 631 770 hertz; - the speed of light in vacuum,  $c$ , equal to 299 792 458 meter per second; - the Planck constant,  $h$ , equal to  $6,626\ 0693 \times 10^{-34}$  joule second; - the elementary charge,  $e$ , equal cu  $1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19}$  coulomb; - the Boltzmann constant,  $k_B$ , equal to  $1,380\ 6505 \times 10^{-23}$  joule per kelvin; - the Avogadro constant,  $N_A$ , equal to  $6,022\ 1415 \times 10^{+23}$  per mole and - the spectral luminous efficacy for monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  hertz,  $K(\lambda_{555})$ , equal to 683 lumen per watt".

Thus, the seven exact constants,  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ ,  $c, h, e, k_B, N_A$  and  $K(\lambda_{555})$  forms the basis of the SI.

In both definitions (the one from 1960 and the one proposed to be adopted in 2011), the derivate units for the other quantities are formed by combining the seven main units.

### 3. IMPLICATIONS OF METROLOGY DEVELOPMENT WITH GLOBAL COHERENCE

Main consequences of the metrology development having a global coherence are:

- the existence of more and more laboratories having measurement standards for the main units;
- the improvement of the products quality (instruments, materials etc.);
- the opening of a wide working field for the optical technologies, representing the top technologies within the class of electro physical technologies;
- the changing in the teaching way of measurement science, technique and technology at the scientific and technical high education level etc.;

At the present level of development of science, technique and technology, the structure of the training curricula for higher level education depends on:

- the development of science technique that led to the exponential increase of the discoveries in all fields;
- the limited time for studies, economically imposed;
- the modern activity from engineering, design oriented activity with the participation of engineers

- timpul limitat, impus din punct de vedere economic, pentru studii

- activitatea modernă din inginerie, care este o activitate pe proiecte, la care participă ingineri din mai multe specializări.

Ținându-se seama de aceste cerințe, de peste 20 de ani, în țările dezvoltate din punct de vedere tehnologic, în primii doi ani de studii în învățământul superior tehnic există, în principal, 12 discipline care asigură pregătirea fundamentală în inginerie [30]: - *Matematică și statistică* (12 %), - *Fizică* (18 %); - *Chimie* (6 %); - *Materiale* (6 %), - *Mecanică tehnică* (14 %); - *Termodinamica tehnică* (3 %), - *Electrotehnică și electronică* (12 %), - *Tehnica măsurării* (6 %), - *Comanda și reglarea automată* (6 %), - *Informatică tehnică* (8 %); - *Dezvoltare și proiectare* (5 %) și - *Legislație* (4 %), care cuprinde Standardizare, Drept și legislație, Sistemul brevetelor de invenție și Economia întreprinderii în țara în care sunt urmate studiile. În paranteză sunt date ponderile, prin 1% înțelegând circa 0,3 ore/săptămână, timp de doi ani.

Se observă că *Tehnica măsurării* este o disciplină fundamentală pentru pregătirea inginerilor, care este obligatorie pentru inginerii de toate specializările. Programă analitică a disciplinei respective este dictată de schimbările din ultimii 15-20 de ani din metrologie, care au condus la metrologia cu coerență globală. Astfel, disciplina *Tehnica măsurării* are următoarele capitole principale: - Bazele tehnicii măsurării (privire de ansamblu, proprietăți de transfer ale elementelor de măsurare, erori de măsurare); - Structura mijloacelor de măsurare; - Receptori și mărimile de măsurat – senzori; - Circuite de măsurare și amplificatoare de măsurare; - Tehnica de măsurare analogică și – tehnica de măsurare numerică. Se observă că, pentru a se efectua măsurări cu precizie mare se urmărește ca mărimile din mai toate domeniile cu ajutorul senzorilor să fie transpuse în mărimi electrice, care se pot măsura cu precizia cea mai mare.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] *D.T. Paris, F. Kenneth Hurd*, Basic Electromagnetic Theory, McGraw-Hill Book Company, New York, (1969)
- [2] *James Clerk Maxwell*, A Treatise of Electricity and Magnetism, Oxford, Anglia, (1873)
- [3] National Metrology Institute of Japan, AIST, (2003)
- [4] *P.J. Mohr and B.N. Taylor*, Rev. Mod. Phys., **72**(2), 351-495, (2000)
- [5] *C.J. Bordé*, La réforme du système d'unités, Question d'actualité - La lettre de l'Académie des sciences no. 20, (2007)
- [6] *François Piquemal*, Étalons électriques fondamentale active, Mesures et Tests Électroniques, LNE - Dossier R908, (2004)
- [7] *F. Piquemal, G. Genevès*, Metrologia, **37**, 207-211, (2000)

of different specialties.

Taking into account these demands, for more than 20 years in the technologically developed countries there are 12 disciplines in principal assuring the basic training in engineering [30]: - *Mathematics and statistics* (12 %), - *Physics* (18 %); - *Chemistry* (6 %); - *Materials* (6 %), - *Technical Mechanics* (14 %); - *Technical thermodynamics* (3 %), - *Electrotechnics and electronics* (12 %), - *Measurement technique* (6 %), - *Automate remote and settings* (6 %), - *Technical informatics* (8 %); - *Development and designing* (5 %) and - *Legislation* (4 %), that includes Standardization, Law and legislation, the System of patents of invention and the Economy of the enterprise in the country where the courses are followed. In the brackets the weights are given, by 1 % we understand approximate 0,3 hours/week, for two years.

One may note that the *Measurement Technique* is a basic discipline for training the engineers, mandatory for all specialties of engineers. The analytic curriculum of the specified discipline is given by the changes from the past 15-20 years in metrology, which led to the metrology with global coherence. Thus, the discipline *Measurement Technique* has the following main chapters: - Basis of the measurement technique (overall look, transfer properties of the measurement elements, measurement errors); - The structure of the measuring means; - Receptors and quantities to be measured – sensors; - Measurement circuits and amplifiers; - Analog measurement technique and – Numeric measurement technique. One may note that, in order to perform highly accurate measurements, it is intended, by means of sensors, to transpose the quantities from most of the fields in electrical ones, quantities that can be measured with higher precision.

## REFERENCES

- [1] *D.T. Paris, F. Kenneth Hurd*, Basic Electromagnetic Theory, McGraw-Hill Book Company, New York, (1969)
- [2] *James Clerk Maxwell*, A Treatise of Electricity and Magnetism, Oxford, Anglia, (1873)
- [3] National Metrology Institute of Japan, AIST, (2003)
- [4] *P.J. Mohr and B.N. Taylor*, Rev. Mod. Phys., **72**(2), 351-495, (2000)
- [5] *C.J. Bordé*, La réforme du système d'unités, Question d'actualité - La lettre de l'Académie des sciences no. 20, (2007)
- [6] *François Piquemal*, Étalons électriques fondamentale active, Mesures et Tests Électroniques, LNE - Dossier R908, (2004)
- [7] *F. Piquemal, G. Genevès*, Metrologia, **37**, 207-211, (2000)
- [8] *F. Piquemal, A. Bounaugh, L. Devoille, N. Feltrin*,

- [8] *F. Piquemal, A. Bounaugh, L. Devoille, N. Feltn, O. Thevenot, G. Trapon*, C.R. Acad. Sci. Phys., **5**, 857-879, (2004)
- [9] *Metrologia*, **4**, 43, (1968)
- [10] *Metrologia*, **27**, 13, (1990)
- [11] *Métrie fondamentale*, C.R. Acad. Sci. Phys., **5**, 789-931, (2004)
- [12] The fundamental constants of physics, precision measurements and the base units of the SI, Phil. Trans. Roy. Soc., **363**, 2097-2327, (2005)
- [13] C.P.E.M. 2006 round table discussion: "Proposed changes to the SI", *Metrologia*, **43**, 583-587, (2006)
- [14] *Metrologia*, **20**, 25, (1984)
- [15] Sistemul Internațional de Unități, SI (Traducere din limba franceză după ediția a cincea a lucrării elaborate de BIPM), Editura Academiei Române, București, (1989)
- [16] *I.M. Mills, P.J. Mohr, T.J. Quinn, B.N. Taylor and E.R. Williams*, *Metrologia* **42**, 71-80, (2005)
- [17] *B.N. Taylor and P.J. Mohr*, IEEE Trans. Instrum. Meas. **50**, 563-567, (2001)
- [18] *B.N. Taylor and P.J. Mohr*, *Metrologia*, **36**, 63-64, (1999)
- [19] *C.J. Bordé*, C.R. Phys. **5**, 813-820, (2004)
- [20] *C.J. Bordé*, Phil. Trans. R. Soc. Lond. **A363**, 2177-2201, (2005)
- [21] *P.J. Mohr and B.N. Taylor*, Rev. Mod. Phys. **77**, 1-107, (2005)
- [22] *I.M. Mills, P.J. Mohr, T.J. Quinn, B.N. Taylor and E.R. Williams*, *Metrologia* **43**, 227-246, (2006)
- [23] *Metrologia*, **4**, 43, (1968)
- [24] *Metrologia*, **27**, 13, (1990)
- [25] *J. Fischer and B. Felmuth*, Rep. Prog. Phys. **68**, 1043-1094, (2005)
- [26] *Metrologia*, **8**, 37, (1972)
- [27] *Metrologia*, **16**, 56, (1980)
- [28] *J.L. Flowersand, B.W. Petley*, *Metrologia*, **42**, L31-L34, (2005)
- [29] *B.P. Leonard*, *Metrologia*, **43**, L3-L5, (2006); C.P.E.M. 2006 round table discussion: "Proposed changes to the SI", *Metrologia*, **43**, 583-587, (2006)
- [30] Hütte - Manualul inginerului - Fundamente, (Traducere din limba germană după ediția a 29-a din anul 1989), Editura Tehnică, București, (1995)
- O. Thevenot, G. Trapon*, C.R. Acad. Sci. Phys., **5**, 857-879, (2004)
- [9] *Metrologia*, **4**, 43, (1968)
- [10] *Metrologia*, **27**, 13, (1990)
- [11] *Métrie fondamentale*, C.R. Acad. Sci. Phys., **5**, 789-931, (2004)
- [12] The fundamental constants of physics, precision measurements and the base units of the SI, Phil. Trans. Roy. Soc., **363**, 2097-2327, (2005)
- [13] C.P.E.M. 2006 round table discussion: "Proposed changes to the SI", *Metrologia*, **43**, 583-587, (2006)
- [14] *Metrologia*, **20**, 25, (1984)
- [15] Sistemul Internațional de Unități, SI (Traducere din limba franceză după ediția a cincea a lucrării elaborate de BIPM), Editura Academiei Române, București, (1989)
- [16] *I.M. Mills, P.J. Mohr, T.J. Quinn, B.N. Taylor and E.R. Williams*, *Metrologia* **42**, 71-80, (2005)
- [17] *B.N. Taylor and P.J. Mohr*, IEEE Trans. Instrum. Meas. **50**, 563-567, (2001)
- [18] *B.N. Taylor and P.J. Mohr*, *Metrologia*, **36**, 63-64, (1999)
- [19] *C.J. Bordé*, C.R. Phys. **5**, 813-820, (2004)
- [20] *C.J. Bordé*, Phil. Trans. R. Soc. Lond. **A363**, 2177-2201, (2005)
- [21] *P.J. Mohr and B.N. Taylor*, Rev. Mod. Phys. **77**, 1-107, (2005)
- [22] *I.M. Mills, P.J. Mohr, T.J. Quinn, B.N. Taylor and E.R. Williams*, *Metrologia* **43**, 227-246, (2006)
- [23] *Metrologia*, **4**, 43, (1968)
- [24] *Metrologia*, **27**, 13, (1990)
- [25] *J. Fischer and B. Felmuth*, Rep. Prog. Phys. **68**, 1043-1094, (2005)
- [26] *Metrologia*, **8**, 37, (1972)
- [27] *Metrologia*, **16**, 56, (1980)
- [28] *J.L. Flowersand, B.W. Petley*, *Metrologia*, **42**, L31-L34, (2005)
- [29] *B.P. Leonard*, *Metrologia*, **43**, L3-L5, (2006); C.P.E.M. 2006 round table discussion: "Proposed changes to the SI", *Metrologia*, **43**, 583-587, (2006)
- [30] Hütte - Manualul inginerului - Fundamente, (Traducere din limba germană după ediția a 29-a din anul 1989), Editura Tehnică, București, (1995)

#### Revizia științifică:

*Dragoș BOICIUC*, cercetător științific I, Institutul Național de Metrologie

#### Despre autori:

*Ion M. POPESCU* - profesor universitar doctor la Universitatea "Politehnica" din București, e-mail: [imp@physics.pub.ro](mailto:imp@physics.pub.ro)  
*Fănel IACOBESCU* - profesor universitar doctor, director general al Biroului Român de Metrologie Legală, e-mail: [office@brml.ro](mailto:office@brml.ro)

#### Scientific revue:

*Dragoș BOICIUC*, scientific researcher I<sup>st</sup> degree, National Institute of Metrology

#### About the authors:

*Ion M. POPESCU* - university professor doctor "Politehnica" University from Bucharest, e-mail: [imp@physics.pub.ro](mailto:imp@physics.pub.ro)  
*Fănel IACOBESCU* - university professor doctor, general director of the Romanian Bureau of Legal Metrology, e-mail: [office@brml.ro](mailto:office@brml.ro)