

# STADIUL ACTUAL AL REDEFINIRII UNITĂȚII DE MĂSURĂ MOL

## CURRENT STATE OF REDEFINING THE UNIT OF MEASUREMENT - THE MOL

*Mirella BUZOIANU*

INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE  
NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY

**Rezumat:** *Ca rezultat al dezvoltărilor științifice din fizică care susțin concepte metrologice de bază, prin Rezoluția a 12-a a celei de-a 23-a Conferințe Generale pentru Măsuri și Greutăți, desfășurată în anul 2007, s-a inițiat un proces amplu internațional de armonizare a definițiilor adoptate pentru patru unități de măsură fundamentale - kg, A, cd și mol. În acest cadru, articolul prezintă etape parcurse până în prezent pentru redefinirea unității de măsură de cantitate de substanță - mol. Sunt evidențiate atât preocupări și realizări obținute în această direcție în institute naționale de metrologie și în Biroul Internațional pentru Măsuri și Greutăți, cât și concluzii și propuneri ale dezbaterilor purtate în comunități profesionale interesate.*

**Cuvinte cheie:** *mărime, unitate de măsură fundamentală, mol, cantitate de substanță, trasabilitate*

**Abstract:** *As a result of the scientific developments in physics underpinning basic metrology concepts, the 12<sup>th</sup> Resolution adopted by the 23<sup>rd</sup> General Conference for Weights and Measures, held in 2007, initiated internationally an ample process of harmonization of the adopted definitions for four main measurement units - kg, A, cd and mole. In this frame, the paper presents steps taken so far to re-define the measurement unit of mole for the amount of substance. Both preoccupations and achievements obtained toward this goal within national metrology institutes and in the International Bureau for Weights and Measures and arguments and proposals out came from the debates dealt in the interested professional communities are presented.*

**Key words:** *quantity, base measurement unit, mole, amount of substance, metrological traceability*

### 1. INTRODUCERE

Progresul științific și tehnic se sprijină pe un continuu ciclu de observații bazate pe măsurări, experimente și formulări teoretice explicite capabile să le susțină. Astfel, măsurarea se află la baza dezvoltării științei și tehnicii fiind [1] un proces care constă în obținerea experimentală a uneia sau mai multor valori care pot fi atribuite unei mărimi în mod rezonabil.

Deoarece, o măsurare implică compararea mărimilor, știința măsurărilor și a aplicațiilor acestora are la bază conceptele de mărime și unitate de măsură. Mărimea este definită [1] ca proprietate a unui fenomen, a unui corp sau a unei substanțe care se poate exprima cantitativ sub forma unui număr și a unei referințe. La rândul său, unitatea de măsură este [1] mărimea scalară definită și adoptată prin convenție, cu care poate fi comparată orice mărime de aceeași natură pentru a exprima raportul dintre cele două mărimi sub formă numerică; ea este stabilită pentru utilizare practică în știință, tehnologie și schimburi comerciale. Ca urmare, mărimile și unitățile sunt părți constitutive ale cunoașterii științifice și o tematică fundamentală în

### 1. INTRODUCTION

The scientific and technical progress is supported by a continuous cycle of observations based on measurements and experiments and of explicit theoretical formulations capable to support them. Thus, measurement stands at the foundation of science and technologic development and it is [1] a process of experimentally obtaining one or more quantity values that can reasonably be attributed to a quantity.

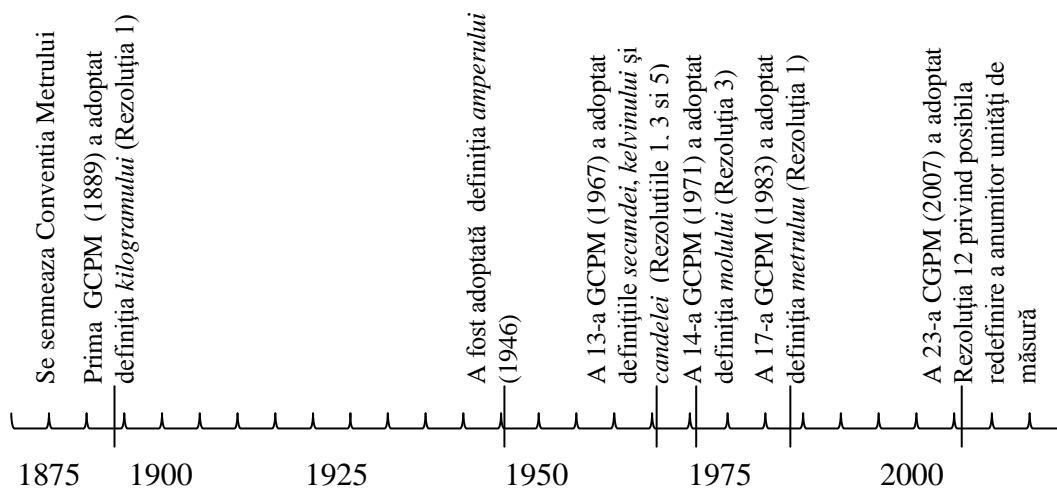
Since a measurement includes quantities comparison, the science of measurement and its applications has at its core the concepts of quantity and measurement unit. The quantity is defined [1] as a property of a phenomenon, body, or substance, where the property has a magnitude that can be expressed as a number and a reference. In its turn, a measurement unit is [1] a real scalar quantity, defined and adopted by convention, with which any other quantity of the same kind can be compared to express the ratio of the two quantities as a number; it is established for practical use in science, technology and trade. Therefore, the quantities are constitutive parts of the scientific knowledge and a fundamental topic in measurement

măsurare; rolul și poziția lor sunt periodic analizate și revizuite în cadrul structurat de Convenția Metrului.

Actualul Sistem Internațional de Unități, SI, a fost adoptat în 1960 de cea de-a 11-a Conferință Generală pentru Măsuri și Greutăți (GCPM) pornind de la stadiul de cunoaștere de la acea dată, pentru a asigura un sistem comprehensiv, adecvat secolului al XX-lea. Sistemul Internațional are la bază șapte unități de măsură fundamentale precum și un număr de unități derivate. Prin Rezoluții ale GCPM, aprobate de reprezentanții statelor părți ale Convenției Metrului - tratat diplomatic semnat în anul 1875, au fost adoptate definițiile unităților de măsură fundamentale pentru șapte mărimi aparținând unui subsansamblu ales prin convenție din SI, astfel încât, nici una dintre ele să nu poată fi exprimată în funcție de celelalte. În figura 1 sunt ilustrate etapele decisive în adoptarea definițiilor celor șapte unități fundamentale ale actualului SI [2].

science; their role and position are periodically analyzed and reviewed in the frame structured by the Metre Convention.

The present International System of Units, SI, has been adopted in 1960 by the 11<sup>th</sup> General Conference for Weights and Measures (GCPM) starting from the level of knowledge of that time to ensure a comprehensive system, adequate for the XX<sup>th</sup> century. The International System of Units includes seven main measurement units and a number of derivate units. By means of Resolutions of the GCPM, approved by the representatives of the states parts of Metre Convention - diplomatic treaty signed in 1875, measurement units have been adopted for seven quantities belonging to a conventional selected group of quantities from the SI in such a way that none of them can be expressed as a function of others. In figure 1 are illustrated the decisive steps in adopting the definitions of the seven main units of the present SI [2].



**Fig.1** Repere istorice în adoptarea definițiilor unităților de măsură fundamentale  
**Fig.1** Historical marks in adopting the definitions of main measurement units

De notat aici faptul că pentru unitatea de măsură de lungime - *metru* au fost adoptate trei definiții bazate pe un artefact (1889), radiația <sup>86</sup>Kr (1960) și, respectiv, viteza luminii în vid (1983).

În figură nu au mai fost incluse etapele în care au fost adoptate rezoluțiile prin care s-au adus clarificări definițiilor deja adoptate și nici cele prin care s-au stabilit modalitățile de punere în practică a unităților.

Ca urmare a progresului tehnic, a cunoașterii științifice și a rezultatelor experimentale obținute în unele institute naționale de metrologie, în anul 2007, la cea de-a 23-a GCPM a fost adoptată Rezoluția a 12-a despre posibila redefinire a anumitor unități de măsură fundamentale ale SI, respectiv a kilogramului, amperului, kelvinului și molului. Prin aceasta, institutelor naționale de metrologie și Biroului Internațional pentru Măsuri și Greutăți (BIPM) li se recomandă continuarea cercetărilor în această direcție și inițierea de campanii extinse de

Note here that for *meter* - the unit of length, three different definitions have been adopted during time, based on an artifact (1889), the <sup>86</sup>Kr radiation (1960) and the speed of light in vacuum (1983), respectively.

In the figure have not been included the steps when resolutions have been adopted to clarify already adopted definition nor the resolutions that established ways to *mis-en-practique* measurement units.

As a result of the technical progress, scientific knowledge and the experimental outcomes obtained by national metrology institutes, in 2007, at the 23<sup>rd</sup> GCPM was adopted the Resolution 12 on the possible redefinition of certain base measurement, i.e. the kilogram, ampere, kelvin and the mole. This Resolution recommended the National Metrology Institutes and the International Bureau for Weights and Measures to continue the researches in that direction and to initiate wide information campaigns

informare în toate mediile interesate. Patru ani mai târziu, în anul 2011, la următoarea GCPM, Comitetul Internațional pentru Măsură și Greutăți (CIPM) a prezentat propunerile pentru cele patru definiții bazate pe constante invariante (Planck, sarcina electrică, Boltzman și Avogadro), precum și noua definiție a SI, în cadrul Rezoluției 1 privind posibila viitoare revizuire a Sistemului Internațional, SI, adoptată de reprezentanții statelor părți în CGPM.

În numere anterioare ale revistei *Metrologie* au fost prezentate aspecte privind preocupări internaționale legate de fundamentarea teoretică și experimentarea diferitelor căi practice de materializare a unităților de măsură kelvin [3], amper [4], kilogram [5, 6] și mol [7]. Având în vedere recomandări ulterioare ale CGPM, CIPM și ale Comitetelor Consultative (CC) ale CIPM, în literatura de specialitate au fost publicate multe puncte de vedere privind „noul SI”. Din perspectiva mediului academic, a chimiștilor practicieni, a fizicienilor și chiar a filozofilor, propunerile, obiecțiile și observațiile exprimate sunt extrem de utile pentru mai bună înțelegere a dimensiunii reale a procesului de revizuire a SI. În continuare, sunt sintetizate cele mai recente rezultate obținute în legătură cu redefinirea molului, propunerile alternative de definiții avansate din mediul academic precum și consecințe practice.

## 2. ARGUMENTE PRINCIPALE PENTRU REDEFINIREA UNITĂȚILOR DE MĂSURĂ FUNDAMENTALE

Din cele șapte unități fundamentale SI [8], *kilogramul* a rămas singurul materializat și definit în termenii unui artefact, așa cum a fost stabilit în 1889. Definițiile *amperului*, *molului* și *candelei* depind de definiția kilogramului (un prototip). Unitatea de temperatură termodinamică - *kelvin* este specificată cu referire la o stare termodinamică exact definită a apei, care, însă, depinde de puritatea izotopică a eșantionului utilizat. Unitatea de timp - *secunda* și unitatea de lungime - *metru* sunt direct legate de constante invariabile.

Astfel, așa cum sunt definite, unitățile de măsură sunt specifice și sunt materializate prin experimente locale, în care, însă, trebuie luate în considerare efectele relativiste speciale [8]. Din figura 1, se poate observa că, stadiul cunoașterii științifice la momentul adoptării unei definiții a unei unități de măsură fundamentale se reflectă în conținutul definiției. Pe de altă parte se observă și decalajul care se creează între principiile care susțin experimentele pentru materializarea unei unități deja adoptată și dezvoltarea ulterioară a științei și tehnicii.

În contextul științific actual, fenomenele care se produc în natură sunt caracterizate prin termodinamica statistică, care implică proporționalitatea dintre energie și temperatură, teoria relativistă, care implică relația dintre energie și masă și mecanica cuantică, care implică proporționalitatea dintre energie și frecvență.

in all interested areas. In 2011, at the 24<sup>th</sup> GCPM, the CIPM presented the proposed new definitions for the four base units relying on invariant constants (Planck, elementary charge, Boltzman and Avogadro respectively). The new SI definition was also given in the Resolution 1 on the possible future revision of the International System of Units, the SI, adopted by the representatives of the member states in CGPM.

In previous numbers of *Metrologie* revue, were presented some international preoccupations regarding the theoretical foundation and experimenting different ways to *mis-en-practique* the *kelvin* [3], *ampere* [4], *kilogram* [5, 6] and the *mole* [7]. Taking into account further recommendations of the CGPM, CIPM and the Consultative Committees of the CIPM, many points of views have been published in the literature on the ‘new SI’. From the academic, analytical chemists, physicists and even philosophers’ perspectives the proposals, objections and notes expressed are extremely useful for better understanding of the real dimension of the process of revising the SI. In the followings there are synthesized the most recent outcomes related to the redefinition of the mole, alternative proposals put forward by academics as well as practical consequences.

## 2. MAIN RATIONALES TO REDEFINE MAIN MEASUREMENT UNITS

Out of the seven main SI units [8], only the *kilogram* remained realized and defined in terms of an artifact as it was established in 1889. The definitions of the *ampere*, *mole* and *candela* depend on the definition of kilogram (a prototype). Measurement unit of thermodynamic temperature - the *kelvin* is specified with reference to an exact defined thermodynamic state of water, which, however, depends on the isotopic purity of the used water sample. Only the measurement unit of time - *second* and of length - *meter* are directly linked to invariable constants.

Thus, as defined, the measurement units are proper units and they are realized through local experiments. During these experiments only the effects of the special relativity are considered [8]. As one may see from the figure 1, the state of the scientific knowledge at the time of adopting a definition of a main measurement unit is reflected in the content of the definition. On the other hand, one may notice also the time tag that is created between the principles supporting the experiments to realize an already adopted unit and the after development of science and technique.

In the present scientific frame, the phenomena occurring in nature are characterized by means of statistic thermodynamic, implying the proportionality between energy and temperature, relativist theory, implying the relation between energy and mass and quantum mechanics, implying the proportionality between energy and frequency. Thus, the energy appears

Astfel, energia apare în diferitele forme descrise mai sus și este legată de mărimi fizice măsurabile (de exemplu temperatură, masă și frecvență - în situațiile prezentate anterior) prin intermediul unor constante fundamentale. Având în vedere și principiul conservării energiei, există multe alte modalități prin care energia este legată de alte mărimi măsurabile, prin intermediul altor constante invariabile în natură și la translația în spațiu și în timp. Astfel, formele de manifestare ale energiei la nivele macro și microscopice sunt definite cu exactitate ridicată.

În scopul corelării mai bune a nivelului macroscopic cu structura microscopică a naturii, eforturile comunității de metrologie s-au concentrat pe alegerea de referințe adecvate pentru definirea unei unități de măsură, astfel încât să se poată asigura compararea mărimilor de același fel. Un astfel de exemplu îl reprezintă definiția adoptată în anul 1967 pentru unitatea de măsură de timp - secunda [8]. De atunci, studiul și dezvoltarea acelor tehnici foarte sensibile și cu mare rezoluție utilizate pentru măsurarea unor parametri folosind teoria cuantică pentru a descrie sisteme fizice a deschis calea metrologiei cuantice, concept aplicat cu precădere și în domeniul mărimilor electrice, lungimii etc.

Sintetizând, principalele argumente științifice și tehnice care au determinat inițierea procesului de redefinire a celor patru unități de măsură fundamentale se referă la:

- dependența definițiilor a trei unități de măsură fundamentale (amper, candela și mol) de definiția kilogramului exprimată în termenii unui artefact, care, însă, prezintă o stabilitate limitată;

- necesitatea obiectivă de a asigura totala independență a unor definiții existente, generatoare de confuzii și interpretări;

- progresele obținute în ultimii ani în legarea masei prototipului internațional de constanta Plank,  $h$ , prin experimente care includ balanțele watt și măsurări de masă ale unui atom de siliciu;

- precedentele create de definițiile adoptate pentru secundă și metru care le conectează la constante fundamentale și asigură corelarea dintre nivelul macroscopic și structura microscopică a materiei;

- posibilitatea îmbunătățirii incertitudinii de măsurare a tuturor mărimilor electrice SI realizate direct sau indirect prin efectele Josephson și Hall cuantic împreună cu valorile constantelor Josephson și von Klitzing,  $K_J$  și  $R_K$  dacă kilogramul ar fi definit legat de valoarea numerică exactă a  $h$  și amperul ar fi definit legat de valoarea numerică exactă a sarcinii elementare,  $e$ ;

- posibilitatea reducerii sau, chiar, a eliminării incertitudinilor asociate valorilor multor altor constante fundamentale importante și a factorilor de conversie a energiei prin fixarea de valori numerice exacte pentru  $h$ ,  $e$ ,  $k$  și  $N_A$  atunci când acestea exprimă unități SI.

in the different forms described above and it is linked to measurable physical quantities (such as temperature, mass and frequency in the above mentioned cases) by means of fundamental constants. Taking also into consideration the principle of the conservation of energy, there are many other ways the energy is related to other measurable quantities by means of other constants invariant in nature and at the translation in space and in time. As such, the ways the energy behaves at macro and microscopic level are defined with high exactitude.

To better correlate the macroscopic level with the microscopic structure of the nature, the efforts of the metrology community were concentrated on choosing adequate references to define a measurement unit in such a way to be possible to ensure the comparison of quantities of the same kind. An example is the definition of the second - measurement unit of time, adopted in 1967 [8]. Since then, the study and the development of those techniques very sensitive and with high resolution used to measure some parameters using the quantum theory to describe physical systems open the quantum metrology, a concept also widely applied in the field of electrical quantities, length etc.

In synthesis, main scientific and technical arguments contributing to the initiation of the process to redefine the four main measurement units considered:

- the dependence of the definitions of three main units (the ampere, candela and mole) on the definition of kilogram expressed in terms of an artifact, that however has a limited stability;

- the objective need to ensure the complete independence of the existing definitions generating confusions and interpretation;

- the progress obtained lately in linking the mass of the international prototype to the Plank constant,  $h$ , using experiments including watt balances and mass measurements of an atom of silicon;

- the precedents created by the definitions adopted for the second and meter, connecting the main units to fundamental constants and ensuring the correlation between the macroscopic level and the microscopic structure of matter;

- the possibility to improve the measurement uncertainty of all SI electrical quantities realized directly or indirectly by means of the Josephson and Hall quantum effects together with the SI values of the Josephson and von Klitzing constants  $K_J$  and  $R_K$  if the kilogram were redefined so as to be linked to an exact numerical value of  $h$ , and if the ampere were to be redefined so as to be linked to an exact numerical value of the elementary charge,  $e$ ;

- the possibility to reduce or, even, eliminate the uncertainties associated to the values of many other important fundamental constants and of the conversion factors of the energy by fixing exact numerical values for  $h$ ,  $e$ ,  $k$  and  $N_A$  when expressed in SI units.

În afara acestor argumente tehnico-științifice, în Rezoluția 1 adoptată de cea de-a 24-a CGPM [2] sunt invocate și alte motive legate de consensul internațional, oportunitatea și coerența cu rezoluții anterioare ale CGPM, inclusiv a celor prin care s-au adoptat definițiile în vigoare.

În acest context, este util de precizat și faptul că, în situația redefinirii oricărei unități de măsură este, însă, necesar să se asigure coerența și continuitatea cu eventuale definiții anterioare precum și înțelegerea lor de către mediul științific, tehnic și academic. Apoi, realizarea practică a unei definiții noi trebuie să fie atât disponibilă reproducerii oriunde și oricând și cu cea mai bună exactitate posibilă, cât și accesibilă tuturor celor care activează în toate domeniile științifice și tehnologice.

În contextul Aranjamentului de Recunoaștere Reciprocă, CIPM MRA, a etaloanelor naționale, este evident că orice nouă definiție adoptată pentru orice unitate de măsură atrage consecințe importante privind serviciile de etalonare și măsurare pe care le poate oferi un institut de metrologie național care ar deține realizarea primară a unității.

### 3. MĂRIMEA CANTITATE DE SUBSTANȚĂ

Orice eșantion macroscopic dintr-o substanță, care poate fi evaluat cu un mijloc de măsurare, are patru proprietăți fizice intrinseci fundamentale: o masă, un volum, un număr de elemente structurale identice (entități) și o cantitate de substanță, toate fiind exprimate printr-o serie de mărimi extensive a căror valoare depinde de dimensiunea eșantionului considerat. Proprietățile intrinseci ale eșantionului macroscopic sunt toate direct proporționale, iar relațiile de proporționalitate, prezentate în [7] implică constante specifice dictate de calculul mărimilor fizice. Fiecare constantă este o proprietate intensivă a eșantionului, a cărei valoare este independentă de dimensiunea acestuia.

În prezent, mărimea cantitate de substanță, simbol  $n$ , este definită [8, 9] ca:

*mărime proporțională cu un număr specificat de entități elementare ( $N$ ) dintr-un eșantion. Constanta de proporționalitate este aceeași pentru toate eșantioanele și este reciproca constantei lui Avogadro,  $N_A$ , astfel încât cantitatea de substanță este definită de ecuația:*

$$n = N/N_A \quad (1)$$

Entitățile pot fi atomi, molecule, ioni, electroni, alte particule sau grupuri specificate de particule, iar valoarea numerică a constantei lui Avogadro [10] este de  $6.022\,141\,29 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  cu incertitudinea standard relativă de  $4.4 \times 10^{-8}$ .

Cantitatea de substanță este acceptată ca o mărime continuă, extensivă (adică o mărime a cărei magnitudine este aditivă pentru sub-sisteme), deși este

Besides these technical and scientific rationales, in the Resolution 1 adopted by the 24<sup>th</sup> CGPM [2] there are advocated other reasons related to the international consensus, opportunity, as well as the coherence with previous resolutions adopted by the CGPM, including those adopting the present definitions.

Within this frame, it is useful to specify also the fact that, in the situation of redefining any measurement unit, it is however needed to ensure the coherence and the continuity of the new definition with previous ones and its understanding at the scientific, technical and academic levels. Then, the practical realization of the new definition need to be both available to be reproduced anywhere and anytime with the best possible accuracy and ready accessible for all workers from any scientific and technologic domain.

In the frame of the Mutual Recognition Arrangement, CIPM MRA, of the national measurement standards it is obvious that any new definition adopted for any measurement unit has important consequences on the calibration and measurement services that can be provided by a national institute of metrology that would hold the primary realization of the unit.

### 3. QUANTITY AMOUNT OF SUBSTANCE

Any macroscopic bulk of substance, which can be evaluated with a measuring instrument, has four main intrinsic physical properties: a mass, a volume, a number of identical structural entities and an amount of substance, all being characterized by extensive physical quantities, the value of which depends on the considered dimension of the bulk. All intrinsic properties are directly proportional, and the proportionality relationships presented in [7] involve specific constants due to the calculation of physical quantities. Each constant is an intensive property of the bulk, the value of the property not being dependent of the dimension of the bulk.

At present, the quantity amount of substance, symbol  $n$ , is defined [8, 9] as:

*be proportional to the number of specified elementary entities ( $N$ ) in a sample, the proportionality constant being a universal constant which is the same for all samples. It is the reciprocal of Avogadro constant,  $N_A$ , in such a way the amount of substance is defined by the equation:*

$$n = N/N_A \quad (1)$$

The entities may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles or specified groups of such particles or other specified groups of particles, and the numeric value of the Avogadro constant [10] is  $6.022\,141\,29 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  with relative standard uncertainty of  $4.4 \times 10^{-8}$ .

The amount of substance is accepted as continuous extensive quantity, (meaning a quantity whose magnitude is additive for sub-systems), although rarely

folosită rar ca atare într-o formă extensivă. Mărimea se bazează pe proprietatea materiei de a fi alcătuită din mulțimi de entități, care permit numărarea și, în esența sa, se referă la un ansamblu de entități care trebuie specificate, ceea ce o deosebește de mărimea fundamentală de masă. În practica curentă, cantitatea de substanță se utilizează fie în combinație cu alte mărimi extensive (volum, masă), rezultând alte mărimi derivate extensive, fie în combinație cu o cantitate de substanță rezultând o fracție.

Dimensiunea mărimii cantitate de substanță este unu, deoarece poate fi exprimată ca un număr de entități [11].

Trebuie reamintit aici că, deși a fost contestată de la început și de unii fizicieni și de unii chimiști, introducerea cantității de substanță în rândul mărimilor fundamentale a fost susținută de:

- utilizarea sa pe scară largă în practică în perioada istorică în care experimental nu putea fi determinat numărul de entități existente într-un eșantion;
- folosirea analizelor dimensionale în chimie;
- necesitatea de folosire practică de informații cantitative cu ajutorul unor numere mici în locul celor de ordinul  $10^{23}$ .

Având în vedere argumentul des invocat privind utilizarea preponderentă a mărimii în chimie, ar fi util de prezentat aici relația de proporționalitate între cantitatea de substanță a unei entități existentă într-un eșantion și masa eșantionului:

$$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)} \quad (2)$$

unde: -  $n(X)$  este cantitatea de substanță de entitate specificată X [mol];

-  $m(X)$  - masa eșantionului care conține entitatea X [g];

-  $M(X)$  - masa molară a entității X [ $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ], care stă și la baza relațiilor stoichiometrice și a reacțiilor chimice.

În actualul proces de redefinire a unităților SI au fost avansate propuneri alternative atât pentru denumirea cât și pentru definiția mărimii.

Având în vedere tipul mărimii și particularitățile sale legate de structura discontinuă a materiei, pentru denumirea „cantitate de substanță” s-au propus termeni alternativi, între care se amintesc: *Chemon*, de la grecescul *chēmia* și sufixul „on” care vizează entitatea chimică din spatele conceptului [13], *Ment*, creat ca un termen compus din „cantitate” și „entitate” [14], *Cantitate chimică* [15], *Psammity* [16], *Enplethy* [17], *Mulțime* [18], *Numberzil*, creat prin compunerea „număr” de particule și zilion, care ilustrează un ordin de mărime foarte mare [19].

Propunerea pentru redenumirea mărimii „cantitate de substanță”, simultan cu redefinirea unității de mol, a fost avansată Comitetului Consultativ pentru Unități (CCU) de Adunarea Generală a IUPAC încă din 2009

is used as such in an extensive form. The quantity is based on the property of matter to be consisted of numbers of entities that enable counting; in its essence, it refers to an assembly of entities and imposes their specification - that makes it different from the main unit of mass. In practice, the amount of substance is used either in combination with other extensive quantities (volume, mass) - resulting thus other extensive derivate quantities or in combination with an amount of substance - resulting thus a fraction.

The dimension of the quantity amount of substance is one, since it may be expressed as a number of entities [11].

It is needed to remind here that, despite from the beginning was contested both by some chemists and some physicists, introducing the amount of substance among the main quantities was supported by:

- its use on a wide scale in practice in the historical period when experimentally could not be determined the number of existing entities in a sample;
- the use of dimensional analysis in chemistry;
- the need to practical use of quantitative information with the help of small numbers instead of numbers of magnitude of  $10^{23}$ .

Taking into account the frequently cited argument regarding the frequent use of the quantity in chemistry, it may be useful to present here the proportionality between the amount of substance of a specified entity present in a sample and the mass of sample:

$$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)} \quad (2)$$

where: -  $n(X)$  is the amount of substance of specified entity X [mol];

-  $m(X)$  - mass of the sample containing the entity X [g];

-  $M(X)$  - molar mass of the entity X [ $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ], equation lying at the base of the stoichiometric relations and chemical reactions.

In the present process of redefinition of the SI units, have been presented alternative proposals both for the name and for the definition of the quantity.

Taking into account the kind of quantity and its particularities, related to the discontinuous structure of matter, for the name ‘amount of substance’ were proposed alternative terms, such as: *Chemon*, from the Greek *chēmia* and the suffix ‘on’ that envisages the chemical entity behind the concept [13], *Ment*, created as a composed term from ‘amount’ and ‘entity’ [14], *Chemical amount* [15], *Psammity* [16], *Enplethy* [17], *Numerosity* [18], *Numberzil*, created by composing ‘number’ of particles and zillion that illustrates a large magnitude order [19].

The proposal to rename the quantity ‘amount of substance’, at the same time with adopting the new definition for the mole, was given to the Consultative Committee for Units (CCU) by the General Assembly

și a fost concretizată doi ani mai târziu de Comisia Internațională pentru Greutăți Atomice a aceleiași IUPAC prin recomandarea expresiei „număr de entități”, susținută și de Divizia de Chimie Analitică din cadrul aceleiași organizații internaționale.

Toate aceste propuneri alternative lansate din comunitatea analitică, în opoziție cu [12], sunt susținute de cinci categorii de argumente de natură istorică, de consistență, pentru simplificare, acceptare, precum și didactice.

În ceea ce privește definiția mărimii, în [12] este avansată propunerea care ia în considerare și prevederile Recomandării CIPM, adică:

*Cantitatea de substanță este o mărime care măsoară dimensiunea unui ansamblu de entități. Este proporțională cu numărul de entități specificate și constanta de proporționalitate este aceeași pentru toate substanțele. Entitățile pot fi atomi, molecule, ioni, electroni, alte particule sau grupuri specificate de particule.*

#### 4. UNITATEA DE MĂSURĂ MOL

Unitatea de măsură de cantitate de substanță, denumită mol, simbol - mol, a fost definită prin specificarea masei de carbon 12, având în vedere propunerile înaintate de IUPAP, IUPAC și ISO, în anii 60. CIPM a aprobat definiția molului în anul 1967, pe care a confirmat-o în 1969. Prin rezoluția 3 a celei de-a 14-a CGPM din 1971, a fost adoptată definiția celei de-a șaptea unități fundamentale a SI [8]:

1. *Molul este cantitatea de substanță a unui sistem care conține atâtea entități elementare câți atomi se găsesc în 0,012 kilograme de carbon 12; simbolul său este „mol”.*

2. *Atunci când se utilizează molul, entitățile elementare trebuie specificate și pot fi atomi, molecule, ioni, electroni, alte particule sau grupuri specificate de asemenea particule.*

În anul 1980, CIPM aprobă raportul CCU din acel an, care specifică că:

*„în această definiție, se înțelege că atomii de carbon 12 sunt nelegați, în repaus și în stare fundamentală”.*

Aspecte istorice privind dezvoltarea conceptului de mol au fost prezentate în [7].

Principalele consecințe ale adoptării definiției includ:

- masa molară a nuclidului  $^{12}\text{C}$  este exact 12 g per mol ( $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) cu incertitudinea egală cu zero, prin convenția aleasă;
- izotopul  $^{12}\text{C}$  este reconfirmat ca referință pentru masele atomice;
- întotdeauna necesită specificarea exactă a entității implicate cu menționarea formulei chimice în cazul substanțelor;
- un mol de oricare entitate chimică conține același

of IUPAC ever since 2009; and it was shaped two years later by the International Commission for Atomic Weights with the same IUPAC by recommending ‘number of units’, term also supported by the Division of Analytical Chemistry organized in the same international organization.

All these alternative proposals launched by the analytical community, in contrast with [12], are supported by five reasons: historical, for consistency, for simplification, acceptance and didactic.

Regarding the definition of the quantity, in [12] a given proposal, taking into account also the CIPM Recommendation, is:

*Amount of substance is a quantity that measures the size of an ensemble of entities. It is proportional to the number of specified entities and the constant of proportionality is the same for all substances. The entities may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles, or specified groups of particles.*

#### 4. MEASUREMENT UNIT OF MOL

The unit of amount of substance, called mole, symbol – mole, was defined by specifying the mass of carbon 12, taking into consideration the proposals given by the IUPAP, IUPAC and ISO, in the 60s. The CIPM approved the definition of the mole in 1967, which they confirmed in 1969. By the 3<sup>rd</sup> Resolution of the 14<sup>th</sup> CGPM from 1971, it was adopted the definition of the seventh main SI unit [8]:

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 ‘mole’.*

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 CIPM approved the report of the CCU from the same year which specified that:

*‘in this definition, it is understood that unbound atoms of carbon 12, at rest and in their ground state, are referred to’.*

Historical milestones regarding the development of the concept of mole were presented in [7].

Main consequences of the adoption of the definition include:

- the molar mass of the nuclide  $^{12}\text{C}$  is exactly 12 g per mol ( $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) with the uncertainty equal to zero, by choice;
- the isotope  $^{12}\text{C}$  is reconfirmed as reference for the atomic masses (weights);
- it always needs the exact specification of the entity involved with mentioning the chemical formula in the case of substances;
- a mole of any chemical entity contains the same

număr de entități;

- punerea în practică a molului nu depinde de o metodă particulară de realizare; metoda experimentală ar trebui să determine numărul de entități elementare existente în 0,012 kg de  $^{12}\text{C}$  și, implicit, ar trebui să determine constanta lui Avogadro. Prin convenție însă, CCQM [20] a recunoscut soluția realizării molului prin utilizarea validă a unei metode de măsurare primare;

- definiția molului a fost făcută dependentă de definiția unității de masă deși cele două mărimi fundamentale corespunzătoare sunt independente;

- definiția molului determină, de asemenea, constanta universală a lui Avogadro, simbol  $N_A$  [8], care leagă numărul de entități de cantitatea de substanță a oricărui eșantion.

Deși, s-a justificat nevoia adoptării noii unități fundamentale pentru introducerea măsurărilor chimice în SI, molul este utilizat pe scară largă atât în termodinamică, cât și în chimie.

În acord cu definiția în vigoare, molului este descris prin ecuația:

$$n(X) = \frac{N(X)}{N_A} \quad (3)$$

unde: -  $n(X)$  este cantitatea de substanță de entitate X dintr-un eșantion (probă) [mol];

-  $N(X)$  - numărul de entități X într-un eșantion (probă) specificat, adimensional;

-  $N_A$  - constanta lui Avogadro [ $\text{mol}^{-1}$ ].

Având în vedere ecuația (3), referirea la mol ca „unitate de numărare” a fost făcută încă de la adoptarea definiției molului și continuă și în prezent. „Molul din 1971 pare a fi constituit pe conceptul de un „agregat de entități” (similar cu o „duzină”...) [21]. Deasemenea, s-a specificat că „unitatea fundamentală mol încorporează percepția intelectuală: înțelegerea atomistă a lumii” [22].

În [7] au fost trecute în revistă diferite căi de punere în practică a molului.

În concordanță cu cele mai recente rezoluții CIPM, CCQM și CGPM, noua definiție a molului este prezentată prin specificarea valorii numerice exacte pentru constanta lui Avogadro (definiție constantă explicit) [23]. Principalele critici aduse acestei definiții sunt legate de faptul că:

- este exprimată explicit legat de constanta lui Avogadro, care nu este percepută ca o constantă fundamentală în aceeași manieră ca viteza luminii în vid, constanta lui Planck, sarcina electrică;

- este bazată pe legi fizice și ecuații imperfecte care necesită factori de corecție;

- nu ia în considerare natura intrinsecă a mărimii;

- nu respectă condiția de comparabilitate care o leagă de kilogram și dalton;

- creează confuzii și nu poate fi predată.

Astfel, în tabelul 1 sunt prezentate câteva exemple de propuneri avansate pentru redefinirea molului în noul SI.

number of entities;

- the *mis-en-pratique* of the mole does not depend on a particular method of realization; the experimental method should determine the number of elementary entities existing in 0,012 kg of  $^{12}\text{C}$  and, implicit, should determine the Avogadro constant. By convention, the CCQM [20] recognized the realization of the mole by valid using of a primary measurement method;

- the definition of the mole is dependent of the definition of the mass unit although the two corresponding main quantities are independent;

- the definition of the mole also determines the value of the universal Avogadro constant, symbol  $N_A$  [8], that relates the number of entities to amount of substance for any sample.

Although it was justified the need to adopt the new main unit to bring chemical measurements into the SI, the mole is widely used both in thermodynamic and in chemistry.

In accordance with the definition in force, the mole is described by the equation:

$$n(X) = \frac{N(X)}{N_A} \quad (3)$$

where: -  $n(X)$  is the amount of substance of entities X in a specified sample, [mole];

-  $N(X)$  - number of entities X in a specified sample, dimensionless;

-  $N_A$  - the Avogadro constant [ $\text{mol}^{-1}$ ].

Taking into account the equation (3), the mentioning of the mole as a ‘counting unit’ started since the adoption of the definition of the mole and continues at present. ‘The 1971 definition of the mole seems to be built on the concept of an ‘aggregate of entities’ (similar to a ‘dozen’...) [21]. Also, it was emphasized that ‘the base unit ‘mole’ incorporates the intellectual insight: of the atomist perception of the world’ [22].

In [7], different ways to practical realization of the mole were reviewed.

In accordance with the latest CIPM, CCQM and CGPM resolutions, a new definition was proposed for the mole by specifying the numeric value for the Avogadro constant (explicit constant definition) [23]. Main criticism addressed to this definition is related to the fact that:

- is explicit expressed in term of Avogadro constant, that it is not seen as a fundamental constant in the same way as speed of light in vacuum, Planck constant, electrical charge;

- it is based on imperfect physical laws and equations that need correction factors;

- it does not consider the intrinsic nature of the quantity;

- it does not follow the comparability condition that relates it to kilogram and dalton;

- it creates confusion and is unteachable.

Thus, in table 1, are given some examples of proposals to redefine the mole within the new SI.



**Tabelul 1** Posibile definiții propuse pentru redefinirea molului  
**Table 1** Possible definitions proposed to redefine the mole

Definiție/Definition	An / Year	Ref.
Molul, mol, este unitatea de cantitate de substanță a unei entități elementare specificate, care poate fi un atom, moleculă, ion, electron, orice altă particulă sau un grup specificat de asemenea particule; mărimea sa este stabilită prin fixarea valorii numerice a constantei lui Avogadro egală cu exact $6.022\ 14X \times 10^{23}$ când este exprimată în unitatea $\text{mol}^{-1}$ . <i>The mole, mol, is the unit of amount of substance of a specified elementary entity, which may be an atom, molecule, ion, electron, any other particle or a specified group of such particles; its magnitude is set by fixing the numerical value of the Avogadro constant to be equal to exactly <math>6.022\ 14X \times 10^{23}</math> when it is expressed in the unit <math>\text{mol}^{-1}</math>.</i>	2009	[23]
Molul, unitatea de măsură a numărului de entități, simbol mol, este un număr de entități specificate egal cu exact $6.022\ 14X\ YZ \times 10^{23}$ . <i>Mole, the unit of number of entities, symbol mole, is a number of specified entities equal to <math>6.022\ 14X\ YZ \times 10^{23}</math> entities exactly</i>	2011	[24]
Molul, unitatea de măsură de cantitate de substanță este definită astfel încât constanta de masă molară să fie egală cu 0,001 kilogram per mol. <i>The mole, the unit of amount of substance is defined such that the molar mass constant is equal to 0.001 kilogram per mole.</i>	2011	[27]
Molul, notat cu simbolul mol, este unitatea de cantitate de substanță. Un mol este numărul lui Avogadro de entități de același fel, numărul lui Avogadro este valoarea numerică a constantei lui Avogadro, care este exact egală cu $6.022\ 14X \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$ pe baza acestei definiții <i>The mole, denoted by symbol mole, is the unit of amount of substance. One mole is the Avogadro number of entities of the same kind, the Avogadro number is the numerical value of the Avogadro constant that equals exactly <math>6.022\ 14X \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}</math> by virtue of this definition.</i>	2012	[19]
Molul este cantitatea chimică de substanță care corespunde aceluiași număr specificat de entități specificate câte sunt în exact 12 g de carbon 12. <i>The mole is the chemical amount of a substance that corresponds to the same number of specified entities as there are atoms in exactly 12 g of carbon 12.</i>	2013	[26]

Din tabel se pot lesne observa diferențe majore de abordare în redefinirea molului. Mai mult chiar, în [27] se propune că molul să fie privit doar ca un factor scalar sau o unitate de multiplicare pentru entități discrete.

Prin definiția propusă de CIPM [23], de la relația exactă  $N_A = 6.022\ 141\ 29 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$ , prin inversarea acestei ecuații, se obține exact expresia molului în termeni de definire a constantei  $N_A$ :

$$\text{mol} = \frac{6,022\ 141\ 29 \cdot 10^{23}}{N_A} \quad (4)$$

Această definiție, prin adoptare, va avea ca principală consecință (efect) faptul că *masa molară a izotopului  $^{12}\text{C}$  nu va mai fi exact  $0,012\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ , ci va trebui să fie determinată experimental*. Totuși, valoarea aleasă pentru  $N_A$  din această definiție este astfel încât masa molară a carbon 12 să rămână egală cu  $0,012\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$  în momentul adoptării noii definiții,  $M(^{12}\text{C}) = 0,012\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$  cu o incertitudine relativă standard ceva mai mică de  $1 \times 10^{-9}$ . Deși valoarea se poate modifica puțin ca urmare a experimentelor

One may easily notice in the table the significant differences in approaching at the redefinition of the mole. Even more, in [27] the mole is proposed to be regarded as nothing but scaling factor or multiple unit for discrete entities.

From the definition proposed by the CIPM [23], from the exact relation  $N_A = 6.022\ 141\ 29 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$ , by inverting this equation, an exact expression for the mole in terms of the defining constant  $N_A$  is obtained:

$$\text{mole} = \frac{6.022\ 141\ 29 \cdot 10^{23}}{N_A} \quad (4)$$

This definition, when adopted, will have the main consequence (effect) the fact that *the molar mass of carbon 12 will no longer be exactly equal to  $0.012\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ , but it has to be determined experimentally*. However, the value chosen for  $N_A$  in the definition is such that the molar mass of carbon 12 was equal to  $0.012\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$  at the time of the adoption of the new definition,  $M(^{12}\text{C}) = 0.012\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ , with a relative standard uncertainty of somewhat less than  $1 \times 10^{-9}$ . Although it may change by a small amount as a result

ulterioare, este puțin probabil să se modifice cu mai mult de câteva părți în  $10^9$ .

Masa molară a oricărui atom sau molecule  $X$  va continua să fie obținută din masa sa molară conform ecuației (9).

Noua definiție nu va modifica relația fundamentală dintre masa molară a unei entități, constanta lui Avogadro și masa entității. Deasemenea, va afecta fără echivoc ecuația care leagă constanta de masă molară, constanta lui Avogadro și constanta de masă atomică și, respectiv, ecuația care leagă masa molară, masa atomică și constanta de masă molară.

În plus, noua definiție propusă pentru mol, poate modifica definițiile:

- constantei masei molare, fundamentală pentru definiția molului și utilizarea sa;
- unității atomice de masă unificată;
- constantei masei atomice;
- mărimii masă atomică relativă.

Ca urmare, în ultimul timp au fost publicate mai multe puncte de vedere prin care să se reconsidere definiția masei molare sau a masei atomice relative și, din perspectiva asigurării constanței unităților de măsură în noul SI, în continuare, sunt prezentate succint aspecte privind modul în care acestea ar putea fi afectate direct sau indirect prin adoptarea noii definiții.

#### 4.1 Constanta lui Avogadro

Pentru înțelegerea naturii moleculelor și a interacțiunilor și combinațiilor dintre molecule, un rol fundamental îl joacă constanta lui Avogadro, denumită ca atare pentru prima dată în 1909 de Jean Baptiste Perrin [28], laureat al premiului Nobel (1926) „pentru activitatea sa privind structura discontinuă a materiei și, în special, pentru descoperirea sa privind echilibrul sedimentării”.

Constanta lui Avogadro exprimă numărul de particule constituente într-un mol de substanță pură (a se vedea ecuația (3)).

Strâns legată de definiția molului, constanta lui Avogadro este numărul de atomi (ne-legați, în repaus și în stare fundamentală) în 12 g de izotop carbon  $^{12}\text{C}$ . Astfel, este măsura convențională a unui număr macroscopic de entități microscopice și stabilește factorul scalar dintre observațiile macro și microscopice ale naturii [12].

Având în vedere relațiile de proporționalitate stabilite între mărimile care descriu proprietățile micro și macroscopice ale unui eșantion, constanta lui Avogadro este și constanta de proporționalitate între constanta de masă molară ( $M_u$ ) și constanta de masă atomică ( $m_u$ ), adică:

$$N_A = \frac{M_u \cdot A_r(X)}{m_u} \quad (5)$$

unde: -  $M_u$  este constanta de masă molară, definită prin relația (8);

-  $A_r(X)$  - masa atomică relativă de entitate  $X$ ;

of later experiments it is unlikely to ever change by more than a few parts in  $10^9$ .

The molar mass of any atom or molecule  $X$  may still be obtained from its relative molar mass from the equation (9).

The new definition will not modify the fundamental relationship between the molar mass of an entity, Avogadro constant and the mass of the entity. Also, it will definitely affect the equation relating the molar mass constant, Avogadro constant and atomic mass constant as well as the equation between molar mass, atomic mass and molar mass constant.

In addition, the new definition proposed for the mole may modify the definitions of:

- the constant of molar mass, fundamental for the definition of the mole and its use;
- the unit of unified atomic mass;
- the constant of atomic mass;
- the quantity of relative atomic mass.

As a consequence, many points of view have been published lately proposing reconsidering the definition of molar mass or relative atomic mass and, from the perspective of ensuring the constancy of units in the new SI, below, are succinct presented aspects regarding the way they might be directly or indirectly affected by the adoption of the new definition.

#### 4.1 Avogadro constant

To understand the nature of the molecules and the interactions and combinations between the molecules, a fundamental role is played by the Avogadro constant, named as such for the first time in 1909 by Jean Baptiste Perrin [28], awarded with the Nobel price (1926) ‘for his work on the discontinuous structure of matter, and especially for his discovery of sedimentation equilibrium’.

Avogadro constant is defined as the number of constituting particles in a mole of a pure substance (see equation (3)).

Closely related to the definition of the mole, Avogadro constant is the number of atoms (unbound, at rest and in their ground state) in 12 g of carbon isotope  $^{12}\text{C}$ . Thus is a conventional measure of macroscopic number of microscopic entities, and it establishes a scalar factor between macro and microscopic observations of the nature [12].

Taking into account the proportionality relationships established between the quantities describing the micro and macroscopic properties of a sample, the Avogadro constant is also the proportionality constant between the molar mass constant ( $M_u$ ) and the atomic mass constant ( $m_u$ ), i.e:

$$N_A = \frac{M_u \cdot A_r(X)}{m_u} \quad (5)$$

where: -  $M_u$  is the molar mass constant, defined by the equation (8);

-  $A_r(X)$  - relative atomic mass of entity  $X$ ;

-  $m_u$  - constanta de masă atomică, definită de ecuația (7)

Punctul de plecare pentru determinarea experimentală a constantei lui Avogadro este definiția constantei lui Rydberg care leagă masa electronului și constanta lui Plank ( $h$ ):

$$N_A = M_u \cdot \frac{A_r(e) \cdot c \cdot \alpha^2}{2h \cdot R_\infty} \quad (6)$$

unde: -  $M_u$  constanta de masă molară,  $10^{-3}$  kg.mol<sup>-1</sup>;  
 -  $A_r(e)$  - masa atomică a electronului;  
 -  $c$  - viteza luminii în vid;  
 -  $\alpha$  - constanta structurii fine;  
 -  $h$  - constanta lui Plank;  
 -  $R_\infty$  - constanta lui Rydberg.

Determinarea experimentală a constantei lui Avogadro s-a realizat separat în câteva institute naționale de metrologie. De exemplu NPL (Marea Britanie), NIST (SUA), METAS (Elveția) au raportat valori în anii 1990, 2007 și 2010, 1998 și 2007 și, respectiv, în anul 2010. Internațional, în anul 2004 a fost inițiat oficial un proiect coordonat (IAC) pentru a determina valoarea constantei lui Avogadro cu o incertitudine relativă mai mică de  $2 \cdot 10^{-8}$ , cu participarea BIPM, INRIM (Italia), IRMM (Belgia), NIST, NMIA (Australia), NMIJ/AIST (Japonia), NPL și PTB (Germania) [29]. CODATA a publicat valori pentru constanta lui Avogadro din 1986, actualizate periodic în acord cu rezultate experimentale raportate de institute naționale de metrologie recunoscute. În figura 2 sunt ilustrate valori CODATA și valoarea obținută în cadrul proiectului IAC, incluzând și incertitudinile de măsurare relative asociate raportate. Deasemenea, în [29] valoarea obținută în proiectul IAC este prezentată alături de valori individuale raportate de NPL, NIST, METAS și CODATA 2006. Se poate observa faptul că valorile obținute diferă puțin între ele și incertitudinea de măsurare relativă s-a îmbunătățit considerabil. Cu toate acestea, nu s-a putut concluziona încă un bun acord, iar actuala cea mai bună incertitudine de măsurare este încă de 1,5 ori mai mare decât ținta fixată pentru redefinirea kilogramului electronic.

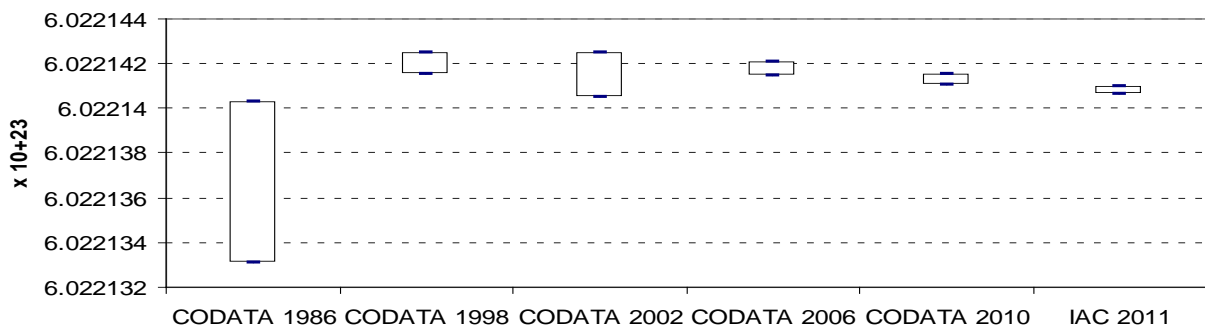
-  $m_u$  - atomic mass constant, defined by the equation (7).

The starting point for the experimental determination of the Avogadro constant is the definition of the Rydberg constant connecting the mass of the electron and the Plank constant ( $h$ ):

$$N_A = M_u \cdot \frac{A_r(e) \cdot c \cdot \alpha^2}{2h \cdot R_\infty} \quad (6)$$

where: -  $M_u$  is the molar mass constant,  $10^{-3}$  kg.mol<sup>-1</sup>;  
 -  $A_r(e)$  - atomic mass of the electron;  
 -  $c$  - speed of light in vacuum;  
 -  $\alpha$  - lattice parameter;  
 -  $h$  - Plank constant;  
 -  $R_\infty$  - Rydberg constant.

The Avogadro constant was experimentally and separately determined in some national metrology institutes. For instance, NPL (Great Britain), NIST (USA), METAS (Switzerland) reported values in 1990, 2007 and 2010, 1998 and 2007, and in 2010 respectively. Internationally, in 2004 a coordinated project (IAC) formally began to determine the Avogadro constant  $N_A$  with a relative uncertainty equal to or less than  $2 \times 10^{-8}$ , with the participation of the BIPM, the INRIM (Italy), the IRMM (Belgium), the NIST, the NMIA (Australia), the NMIJ/AIST (Japan), the NPL, and the PTB (Germany) [29]. CODATA published values for Avogadro constant starting 1986, periodically updated in accordance to the experimentally determined values reported by recognized national metrology institutes. In figure 2 are illustrated the CODATA values and the value obtained as result of the IAC project, including the associated relative measurement uncertainties. Also, in [29] the value obtained in IAC project is presented together with individual values reported by the NPL, NIST, METAS and CODATA 2006. One may note that the values obtained differ a little one against another and that the relative uncertainty was considerable improved. However, not yet a good agreement was concluded and the present best relative uncertainty is still 1.5 times higher than targeted for electronic kilogram redefinition.



Valoare/Value $N_A$	6,022 136 7	6,022 141 99	6,022 141 5	6,022 141 79	6,022 141 29	6,022 140 82
Incert. rel./Rel. Uncert.	$6 \times 10^{-7}$	$7,9 \times 10^{-8}$	$1,7 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-8}$	$4,4 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{-8}$

**Fig. 2** Valori ale constantei lui Avogadro raportate

**Fig. 2** Avogadro constant reported

Din perspectiva aplicării practice este util de reamintit faptul că numărul lui Avogadro - număr adimensional de entități cuprinse într-un mol de orice substanță, este diferit de constanta lui Avogadro - mărime dimensională care are unitatea de măsură a cantității de substanță. Deasemenea, în contextul dezbaterilor internaționale prilejuite de redefinirea unităților fundamentale redefinite, statutul constantei lui Avogadro în raport cu celelalte constante este într-un fel aparte [30]: pe de o parte este tratată ca mărime care definește mărimea cantitate de substanță și, pe de altă parte, ca o constantă de altă natură decât alte constante invariante cum ar fi viteza luminii în vid sau constanta lui Plank [25, 31].

#### 4.2 Dalton și unitatea de masă atomică unificată

În actualul proces de redefinire a unităților de măsură fundamentale, kilogramul poate fi trasat la masa electronului/atomului  $^{12}\text{C}$  și ar putea fi pus în practică experimental cu ajutorul balanței watt și a măsurării constantei lui Avogadro. Având în vedere legătura istorică între masă și cantitate de substanță, au fost lansate și propuneri de redefinire a kilogramului pornind de la masa atomului carbon 12 [40].

După cum este cunoscut, definiția molului este bazată pe convenția agreată de IUPAC (1959) și IUPAP (1960) conform căreia masa atomică relativă a izotopului  $^{12}\text{C}$  este exact 12, cu consecința directă că incertitudinea asociată este zero.

A 12-a parte din masa unui atom în repaus și în stare fundamentală definește constanta de masă atomică, simbol  $m_u$ , care intervine în ecuația de definire a masei atomice relative precum și a masei molare - două mărimi a căror utilizare în practica analitică este indispensabilă.

$$m_u = \frac{m_a(^{12}\text{C})}{12} \quad (7)$$

unde: -  $m_a(^{12}\text{C})$  este masa unui atom de  $^{12}\text{C}$ .

Unitatea constantei de masă atomică este denumită atât dalton, simbol Da cât și unitate de masă atomică unificată, simbol u, ambele acceptate pentru utilizare împreună cu SI [8], dar nedefinite în SI, deoarece valoarea exprimată în kilogram trebuie determinată experimental:

$$m_u = 1 \text{ Da} = 1.660\,538\,86(28) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_u = 1 \text{ u} = 1 \text{ Da}$$

Având în vedere definiția constantei lui Avogadro, constanta de masă atomică este legată de constanta de masă molară și de  $N_A$ , astfel:

$$M_u = N_A \cdot m_u \quad (8)$$

unde: -  $M_u$  este constanta de masă molară, egală exact

From the practical use perspective, it is useful to remind the fact that Avogadro constant - dimensional quantity having the measurement unit of amount of substance - is different from Avogadro number - number dimensionless of entities in a mole of any substance. Also, in the frame of the international debates caused by the redefinition of the main units, the status of the Avogadro constant among the other constants is in a way different [30]: on one hand it is treated as a quantity defining the quantity amount of substance and on the other hand it is a different kind of constant from other constants such as speed of light or Plank constant [25, 31].

#### 4.2 Dalton and the unified atomic mass unit

In the present process of redefinition of main measurement units, the kilogram may be traced back to the mass of electron/atom  $^{12}\text{C}$  and might be *mis-en-pratique* using watt balances and measurement of Avogadro constant. Considering the historical relation between the mass and the amount of substance, proposals to redefine the kilogram starting from the mass of the atom carbon 12 [40] were launched.

As known, the definition of the mole is based on the consensus reached by the IUPAC (1959) and IUPAP (1959) on the exact value of 12 given to the relative atomic mass of nuclide  $^{12}\text{C}$ , having the direct consequence that the associated uncertainty to be zero.

The 12<sup>th</sup> part of the mass of an  $^{12}\text{C}$  atom at rest and in its ground state defines the atomic mass constant, symbol  $m_u$ , that is included in the definition equation of the relative atomic mass and of molar mass - two quantities indispensable in the analytical practice.

$$m_u = \frac{m_a(^{12}\text{C})}{12} \quad (7)$$

where: -  $m_a(^{12}\text{C})$  is the mass of a  $^{12}\text{C}$  atom.

The measurement unit for the 12<sup>th</sup> part of the mass of an  $^{12}\text{C}$  atom at rest and in its ground state, is named both as dalton, symbol Da, and as unified atomic mass unit, symbol u, both accepted for use with the SI [8] but not defined in the SI since the value expressed in kilogram has to be determined experimentally:

$$m_u = 1 \text{ Da} = 1.660\,538\,86(28) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_u = 1 \text{ u} = 1 \text{ Da}$$

Considering the definition of Avogadro constant, the atomic mass constant is related to molar mass constant and  $N_A$  as:

$$M_u = N_A \cdot m_u \quad (8)$$

where: -  $M_u$  is the molar mass constant, equal exactly to

cu  $10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Unitatea dalton este cel mai frecvent utilizată de biochimisti pentru a descrie masele bio-moleculilor mari (proteine de exemplu). În spectrometria de masă, indicată în căile de realizare ale molului, unitatea dalton este asociată direct cu termenul raport masă pe sarcină ( $m/z$ ).

Încă de la adoptarea recomandării CIPM din 2005, teoreticienii noilor definiții [33] au atenționat cu privire la posibilitatea ca noua definiție a molului să afecteze și definițiile unității de masă atomică unificată și constanta de masă atomică și au prezentat propria abordare în legătură cu aceasta - adică să păstreze definițiile în vigoare ale  $m_u$  și  $M_u$  și să se definească o nouă masă molară. Pentru a respecta condiția de compatibilitate rezultată din conceptul de mol, în [34] este justificată nevoia de redefinire a daltonului de exemplu în termeni de valoare fixată pentru constanta lui Planck și decuplarea daltonului de relația (7) folosită pentru catalogarea extrem de precisă a rapoartelor de masă izotopice pentru evitarea factorilor de corecție propuși în [33]. Deasemenea, în [31] s-a propus redefinirea kilogramului pe baza  $^{12}\text{C}$  și, prin aceasta, definirea daltonului și a unității de masă unificată în interiorul SI și, prin aceasta, considerarea acestora ca părți integrante ale SI.

#### 4.3 Masa atomică și masa molară relativă

În dezvoltarea mărimii fundamentale de cantitate de substanță a fost invocată folosirea practică pe scară largă a unităților „atom gram” sau „moleculă gram”, care, însă, aveau legătură directă cu mărimile „greutate atomică” sau „greutate moleculară”.

Semnificația acestor mărimi a fost clarificată într-o perioadă istorică ulterioară adoptării definiției unității fundamentale de mol și în urma unui consens agreat în structurile IUPAC. De exemplu, în ceea ce privește masa (greutatea) atomică, consensul [35] s-a referit la următoarele aspecte:

- Greutățile atomice ale elementelor și greutatele moleculare sunt în fapt mase și sunt mărimi relative.
- În general, masele (greutățile) atomice ale elementelor sunt variabile chiar și în sursele naturale terestre în care se găsesc acele elemente;
- O masă atomică ar trebui definită ca o proprietate a unui eșantion (probă), care conține orice număr de atomi din elementul de interes;
- Organizației IUPAC i s-a încredințat misiunea să elaboreze și să țină la zi un tabel în care să fie menționate valorile de referință ale maselor atomice corespunzător celor mai avansate cunoștințe umane asupra elementelor din surse terestre naturale;
- Domeniul de valori de referință ale maselor atomice este intenționat a fi aplicabil atât eșantioanelor naturale cât și celor sintetice descoperite în laboratoare implicate în investigații chimice, aplicații tehnologice sau în materialele din comerț.

În acord cu ultima definiție adoptată de IUPAC [36],

$10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

The unit of dalton is most often used by biochemists to describe the masses of large biomolecules (proteins for instance). In mass spectrometry, indicated as one of the ways to realize the mol, the unit dalton is associated directly with the term mass per charge ratio

Since adopting the CIPM Recommendation in 2005, the theoreticians of the new definitions [33] pinpointed the possibility that the new definition of the mole could affect also the definitions of unified atomic mass constant and of atomic mass constant and presented their preferred approach on this - meaning to keep the current definitions of  $m_u$  and  $M_u$  and to define a new molar mass. To meet the compatibility condition resulting from the mole concept, in [34] is justified the need to redefine the dalton, for instance in terms of the fixed value for Planck constant and to decouple the dalton from the equation (7) used for precise cataloguing nuclidic mass ratio in order to avoid the correction factors proposed in [33]. Also, in [31] it was proposed to redefine the kilogram,  $^{12}\text{C}$ -based and, thus, defining the dalton and the unified atomic mass unit within the SI system and, as such, their regarding as integral parts of the SI.

#### 4.3 Relative atomic mass and molar mass

An argument in developing the main quantity amount of substance was related to the wide practical use of the units of ‘gram-atom’ or ‘gram-molecule’, that, however, had a direct connection with the quantities ‘atomic weights’ or ‘molecular weights’.

The signification of these quantities was clarified in a subsequent historical period to the adopting the definition of main unit of mole and as a result of a consensus agreed within the IUPAC structures. For example, regarding the atomic mass (weight), the consensus [35] considered the following aspects:

- Atomic weights of elements and molecular weights are in fact relative quantities.
- Generally, the atomic masses (weights) of elements are variable, even in their common natural terrestrial sources;
- An atomic weight should be defined as a property of a sample, containing any number of atoms of the element in question;
- The IUPAC was asked to issue and update a table mentioning the standard atomic weight values corresponding to the most advanced human knowledge on the elements in natural terrestrial sources;
- The range of the standard atomic weight values is intended to be applied both to samples from natural terrestrial and to samples found in laboratories involved in chemical investigations, technological applications, or in materials of commerce.

In accordance with the latest IUPAC adopted

pentru izotop/element/entitate masa (greutatea) atomică relativă pentru un anumit atom, notată cu  $A_r$  definește raportul dintre masa medie a atomului și constanta de masă atomică:

$$A_r(X) = \frac{m(X)}{m_u} \quad (9)$$

unde: -  $A_r(X)$  este masa atomică relativă a unei entități X, adimensională;

- $m(X)$  - masa de entitate X, exprimată în kg;
- $m_u$  - constanta de masă atomică, exprimată în kg.

Greutățile atomice [37] sunt cunoscute ca numere relative, rapoarte la o masă atomică de referință, având dimensiunea unu asociată unității. De notat este și că:

- mase atomice pot fi definite pentru orice eșantion;
- sunt evaluate pentru atomi în starea fundamentală;
- masa medie per atom într-o sursă specificată este masa totală a elementului împărțită la numărul total de atomi din acel element;
- nu se face nici o referire pentru elementul în eșantionul care are compoziția izotopică terestră în afara celei precizate de IUPAC.

Sunt editate tabele de Mase (greutăți) atomice de referință care se referă la cea mai avansată cunoaștere a elementelor din surse terestre naturale [36], masele atomice relative fiind determinate experimental într-o manieră similară cu definiția formală iar cele mai exacte măsurări fiind realizate cu spectrometre de masă cu captură de ioni. Deasemenea, în acord cu definiția actuală a molului,  $A_r(^{12}\text{C}) = 12$ , cu incertitudinea asociată egală cu zero.

În situația adoptării noii definiții a molului și definiția mărimii masă atomică relativă ar putea fi afectată.

Masa molară a unei entități X este masa unui mol din acea entitate și se notează cu  $M(X)$ :

$$M(X) = \frac{m(X)}{N_A} \quad (10)$$

În practica analitică, masa molară este o mărime de referință folosită în măsurările gravimetrice de cantitate de substanță. Ea este egală cu valoarea numerică a greutății atomice și se exprimă în grame per mol ( $M = \{Ar\} \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ). Astfel, masele molare și masele atomice ale elementelor izotopice sunt egale numeric și sunt stabilite cu exactitate mai bună decât  $\{N_A\}$  însăși.

Pentru izotopul  $^{12}\text{C}$  din definiția molului, masa molară este definită de ecuația:

$$M(^{12}\text{C}) = A_r(^{12}\text{C}) \cdot M_u \quad (11)$$

- unde: -  $M(^{12}\text{C})$  este masa molară a izotopului  $^{12}\text{C}$ ;
- $A_r(^{12}\text{C})$  - masa atomică relativă;

definition [36], for a nuclide/element/entity, the relative atomic mass (atomic weight) is the ratio of the average mass of the atom to the atomic mass constant.

$$A_r(X) = \frac{m(X)}{m_u} \quad (9)$$

where: -  $A_r(X)$  is the relative atomic mass of an entity, dimensionless;

- $m(X)$  - mass of entity X, expressed in kg;
- $m_u$  - atomic mass constant, expressed in kg.

Atomic weights [37] are known as relative numbers, ratios to one standard atomic weight, having the dimensions associated with a unit. It has to be noted that:

- atomic masses can be defined for any sample;
- they are evaluated for atoms in their electronic and nuclear ground states;
- the average mass per atom in a specified source is the total mass of the element divided by the total number of atoms of that element;
- no stipulation is made for the element in the sample having the natural terrestrial nuclidic composition, besides the one made by IUPAC.

Tables of Standard Atomic Weights are listed and refer to the best knowledge of the elements in natural terrestrial sources [36], the relative atomic masses being experimentally determined in a way similar to the formal definition, the most precise measurement being performed with ion trap mass spectrometers. Also, in accordance to the current definition of the mole,  $A_r(^{12}\text{C}) = 12$ , with associated uncertainty equal to zero.

In the situation of adopting the new definition of mole, also the definition of the relative atomic mass could be affected.

The molar mass of an entity X is the mass of a mole of that entity and has the symbol  $M(X)$ :

$$M(X) = \frac{m(X)}{N_A} \quad (10)$$

In analytical practice, molar mass is a reference quantity used in gravimetric measurements of amount of substance. It is equal to the numeric value of the atomic weights and is expressed in grams per mole ( $M = \{Ar\} \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ). The molar masses and the atomic masses of monoisotopic elements are numerically identical and more accurately known than  $\{N_A\}$  itself.

For the nuclide  $^{12}\text{C}$  in the definition of the mole, the molar mass is defined by the equation:

$$M(^{12}\text{C}) = A_r(^{12}\text{C}) \cdot M_u \quad (11)$$

- where: -  $M(^{12}\text{C})$  is the molar mass of the nuclide  $^{12}\text{C}$ ;
- $A_r(^{12}\text{C})$  - relative atomic mass of the nuclide  $^{12}\text{C}$ ;

-  $M_u$  - constanta de masă molară, fixată la valoarea  $10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$  prin definiția molului în vigoare.

În această ecuație, toate cele trei mărimi sunt exact definite și au incertitudinea asociată egală cu zero. Deși constanta de masă molară nu este uzuală în practica analitică, este foarte importantă pentru definirea molului și a realizării sale pentru a clarifica unde trebuie să apară factorul  $10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$  în ecuațiile dintre mărimile molare și masă pentru a le face coerente [12].

Masa molară a oricărui atom sau molecule  $X$  se obține din masa sa molară relativă în acord cu ecuația:

$$M(X) = [A_r(X)/12] \cdot M(^{12}\text{C}) = A_r(X) \cdot M_u \quad (12)$$

unde: -  $M(X)$  este masa molară de entitate  $X$ ;  
 -  $A_r(X)$  - masa atomică de entitate  $X$ ;  
 -  $M(^{12}\text{C})$  - masa molară a atomului  $^{12}\text{C}$ ;  
 -  $M_u$  - constanta de masă molară.

Din perspectiva adoptării noii definiții a molului, constanta de masă molară ar fi determinată conform unei ecuații rearanjate de constanta lui Rydberg, cu o anumită incertitudine. Masa molară va continua să poată fi obținută din ecuația (11).

În tabelul 2 sunt prezentate sintetic mărimile, unitățile și constantele discutate mai sus și modul în care acestea vor fi formulate în noul SI, având în vedere propuneri exprimate din cadrul diferitelor CC ale CIPM.

-  $M_u$  molar mass constant, fixed at the value of  $10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$  in accordance to the current definition of the mole.

In this equation, all three quantities are exact defined and have the associated uncertainty zero. Although the molar mass constant is not usual in the analytical practice, it is very important to define and realize the mole and to clarify where should be included the factor  $10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$  in the equations relating molar masses and the mass to make them coherent [12].

The molar mass of any atom or molecule  $X$  is obtained from its relative molar mass in accordance to the equation [12]:

$$M(X) = [A_r(X)/12] \cdot M(^{12}\text{C}) = A_r(X) \cdot M_u \quad (12)$$

where: -  $M(X)$  is the molar mass of entity  $X$ ;  
 -  $A_r(X)$  - atomic mass of entity  $X$ ;  
 -  $M(^{12}\text{C})$  - molar mass of the  $^{12}\text{C}$ ;  
 -  $M_u$  - molar mass constant.

From the perspective of adopting the new definition, the molar mass constant would be determined in accordance to an equation rearranged by the Rydberg constant, with a certain uncertainty. Molar mass will still be obtained from equation (11).

Synthetically, in table 1 are presented the quantities, units and constants discussed above and the way these will be formulated in the new SI, taking into account the proposals expressed in different CCs of the CIPM.

**Tabelul 2** Modificări estimate în noul SI  
**Table 2** Estimated changes in the new SI

	Actualul SI/The Present SI		Noul SI/The New SI	
	Valoare Value	Incertitudine relativă, % Relative uncertainty, %	Valoare Value	Incertitudine relativă, % Relative uncertainty, %
$M(^{12}\text{C})$	$12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	0	$12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\sim 7 \times 10^{-10}$ (experim.)
$N_A$	$6.022\,141\,29 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$4,4 \times 10^{-8}$ (experim.)	$6.022\,14 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	0 (exact)
$m_u$	$1 \text{ u} = 1 \text{ Da} = m_u$	$4,4 \times 10^{-8}$	$1 \text{ u} = 1 \text{ Da}$	$\sim 7 \times 10^{-10}$ (experim.)
$m(^{12}\text{C})$	$1,992\,646\,5384(28) \times 10^{-26} \text{ kg}$			$\sim 7 \times 10^{-10}$ (experim.)
$M_u$	$1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ exact	0	$1,000\,000\,0000(14) \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\sim 7 \times 10^{-10}$ (experim.)

## 5. CONSECINȚE PRACTICE ALE REDEFINIRII MOLULUI

În ceea ce privește punerea în practică a unității conform noii definiții a molului, [12] „s-a discutat [...] și demonstrat că realizarea practică a molului, sau procesul de măsurare cu rezultate care sunt exprimate corect în moli, ar rămâne neschimbat”.

Practic, măsurările chimice depind de realizarea molului prin utilizarea unei metode de măsurare

## 5. PRACTICAL CONSEQUENCES OF REDEFINING THE MOLE

Regarding the unit realization in accordance with the new definition, [12] ‘was discussed [...] and demonstrated that the practical realization of the mole, or the process of making measurements with results that are correctly expressed in moles, would remain unchanged’.

Practically, the chemical measurements depend on the realization of the mole by using a primary

primare pentru a atinge trasabilitatea la SI. CCQM a publicat deja un proiect de punere în practică a molului în care sunt exemplificate trei metode primare. Metodele primare au fost definite încă de la începutul activității acestui comitet consultativ [20], fiind caracterizate prin:

- cele mai înalte calități metrologice;
- operare complet descrisă pentru a putea fi procedurată și efectuată fără ambiguitate;
- completă înțelegere a procesului măsurării astfel încât să se poată construi un buget de incertitudine corespunzător în termeni SI, pornind de la o ecuație a măsurandului care să cuprindă doar termeni care pot fi exprimați doar în unități SI;
- rezultat al măsurării acceptat fără referință la un etalon al mărimii măsurate.

O posibilă provocarea asociată realizării molului ar fi legată de nevoia mai multor implementări pentru fiecare tip de metodă primară, ceea ce va atrage probleme suplimentare de comparabilitate a diferitelor proceduri.

Noua definiție nu este de așteptat să aibă efect asupra măsurărilor de rutină.

Cele mai importante consecințe practice vor fi legate de explicarea conceptului la nivel gimnazial și academic [25]. Se poate observa aceeași percepție reflectată și în școala românească la predarea mărimii.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] JCGM 200-2012 Vocabularul Internațional de metrologie - Concepte generale și fundamentale și termeni asociați (VIM) ediția a 3-a, 2012
- [2] [www.bipm.org](http://www.bipm.org)
- [3] D.M.Neagu, Redefinirea unității de temperatură prin determinarea constantei Boltzman, Metrologie LVI (serie nouă), Nr. 2-3/2008, 30-34
- [4] M. Buzoianu, I. Urdea Marcus, Preocupări actuale privind redefinirea unității de măsură amper, Metrologie LVII (serie nouă), Nr. 4/2008, pp.11-19
- [5] G.F.Popa, Preocupări actuale privind redefinirea unității de măsură kilogram Partea 1, Metrologie LVIII (serie nouă), Nr. 2/2009, 9-16
- [6] G.F.Popa, Preocupări actuale privind redefinirea unității de măsură kilogram Partea 2-a, Metrologie LVIII (serie nouă), Nr. 4/2009, 9-11
- [7] M.Buzoianu, Stadiul actual al cercetărilor privind redefinirea unității de cantitate de substanță mol, Metrologie, Nr. 2/2010, 9-23
- [8] The International System of Units SI, ediția a 8-a, editată de BIPM
- [9] M.L.McGlashan, Amount of substance and the mole, Metrologia (1994/5) **31** 447-455
- [10] [www.codata.org](http://www.codata.org)
- [11] N.Wheatley, On the dimensionality of Avogadro constant and the definition of the mole, Metrologia **48** (2011) 71-82

measurement method to achieve the traceability to the SI. The CCQM already issued a project for mis-en-pratique of the mole exemplifying three methods. The primary methods were defined since this consultative committee began its activity [20]; they are characterized by:

- the highest metrological qualities;
- operation complete described in a procedure and to be performed without any ambiguity;
- complete understanding of the measurement process in order to build a complete uncertainty budget in SI terms, starting from the equation of the measurand including only terms that may be expressed in SI units;
- a measurement result accepted without reference to a measurement standard of the quantity being measured.

A possible challenge associated with the realization of the mole would be connected with the need for several implementations for each type of primary measurement method; this would cause additional problems on the comparability of the different procedures.

The new definition is unlikely to have an effect upon the routine measurements.

The most important practical consequences will be related to the explaining the concept at gymnasium and academic level [25]. One may note that same perception is reflected also in Romania in teaching the quantity.

## REFERENCES

- [1] JCGM 200-2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition, 2012
- [2] [www.bipm.org](http://www.bipm.org)
- [3] D.M.Neagu, Redefinition of the temperature unit by determining the Boltzmann constant, Metrologie LVI (serie nouă), Nr. 2-3/2008, 30-34
- [4] M.Buzoianu, I.Urdea Marcus, Present preoccupation regarding the redefinition of measurement unit ampere, Metrologie LVII (new series), Nr. 4/2008, pp 11-19
- [5] G.F.Popa, Present preoccupation for the redefinition of the measurement unit of kilogram Metrologie LVIII (serie nouă), Nr. 2/2009, 9-16
- [6] G.F.Popa, Present preoccupation for the redefinition of measurement unit of kilogram (Part II) Metrologie LVIII (serie nouă), Nr. 4/2009, 9-11
- [7] M.Buzoianu, Present State of Research on the Redefinition of the Measurement Unit of Amount of Substance – Mole, Metrologie, Nr. 2/2010, 9-23
- [8] The International System of Units SI, 8<sup>th</sup> Edition, BIPM
- [9] M.L.McGlashan, Amount of substance and the mole, Metrologia (1994/5) **31** 447-455
- [10] [www.codata.org](http://www.codata.org)
- [11] N.Wheatley, On the dimensionality of Avogadro constant and the definition of the mole, Metrologia **48** (2011) 71-82



[12] M.J.T. Milton, Amount of substance and the proposed re-definition of the mole, *Metrologia* **46** (2009) Number 3, 332-338

[13] R.Dybkaer, The term 'chemon' instead of amount of substance allow a succinct systematic terminology and harmonized equivalents in translation, *Metrologia* (2010) **37**, 301-304

[14] M.L. McGlashan, *Metrologia* **31** (1994/1995) 447-455

[15] I.Mills, T.Cvitaš, K.Homann, N.Kallay, *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, 2nd Ed., Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1993

[16] G.S.Kell, Let  $n$  be the psammity, *Nature* **267**, 665 (23 June 1977) | doi:10.1038/267665b0

[17] *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*. 3rd ed. (the IUPAC Green Book). RSC Publishing, Cambridge, UK (2007); p. 4.

[18] P.de Bièvre, Numerosity versus mass, *Accred. and Qual. Assur.* (2007) **12**:221-222

[19] W.T.Chyla, On the proposed redefinition of the mole, *Metrologia* **49** (2012) L11-L13

[20] <http://www.bipm.org/en/committees/cc/ccqm/>

[21] P.de Bièvre, Looking back at two decades of „Metrology in Chemistry”, *Accred. and Qual. Assur.* (2001), **16**:591-596

[22] G.Meinrath, The mole definition versus practical use, *Accred. and Qual. Assur.* (2011), **16**:167-170

[23] Proiectul Capitol 2 al Broşurii SI, ca urmare a redefinirii unităţilor fundamentale, Ch.2 29 Sept 2010, [www.bipm.org](http://www.bipm.org)

[24] [www.metrology.bet](http://www.metrology.bet)

[25] N.Wheatly, On the dimensionality of the Avogadro constant and the definition of the mole, *Metrologia* **48** (2011) 71-82

[26] P.G.Nelson, What is the mole?, *Foundation of Chemistry*, 2013, **15**(1) 3-11

[27] I.Johansson, The Mole is Not an Ordinary Measurement Unit, *Accred. and Qual. Assur.* (2011), **16**:467-470

[28] J.B.Perrin, Movement brownien et réalité moléculaire, *Ann.Chim.Phys.*, 8<sup>e</sup> Ser., 1909, 18, 5-114

[29] P.Becker, H.Bettin, The Avogadro constant: determining the number of atoms in a single-crystal 28Si sphere, *Philosophical Transactions of Royal Society A* (2011), **369**, 3925-3035

[30] P.Becker, History and progress in the accurate determination of the Avogadro constant, *Institute of Physics Publishing, Rep. Prog. Phys.* (2001) **64** 1945–2008

[31] I.Johansson, The Avogadro Constant, Planck Constant and the New SI, [www.metrologybytes.net/PaperUnpub/](http://www.metrologybytes.net/PaperUnpub/)

[32] B.P. Leonard, Comments on recent proposals for redefining the mole and kilogram, *Metrologia*, **47** (2010) L5-L8

[12] M.J.T. Milton, Amount of substance and the proposed re-definition of the mole, *Metrologia* **46** (2009) Number 3, 332-338

[13] R.Dybkaer, The term 'chemon' instead of amount of substance allow a succinct systematic terminology and harmonized equivalents in translation, *Metrologia* (2010) **37**, 301-304

[14] M.L. McGlashan, *Metrologia* **31** (1994/1995) 447-455

[15] I.Mills, T.Cvitaš, K.Homann, N.Kallay, *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, 2nd Ed., Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1993

[16] G.S.Kell, Let  $n$  be the psammity, *Nature* **267**, 665 (23 June 1977) | doi:10.1038/267665b0

[17] *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*. 3rd ed. (the IUPAC Green Book). RSC Publishing, Cambridge, UK (2007); p. 4.

[18] P.de Bièvre, Numerosity versus mass, *Accred. and Qual. Assur.* (2007) **12**:221-222

[19] W.T.Chyla, On the proposed redefinition of the mole, *Metrologia* **49** (2012) L11-L13

[20] <http://www.bipm.org/en/committees/cc/ccqm/>

[21] P.de Bièvre, Looking back at two decades of „Metrology in Chemistry”, *Accred. and Qual. Assur.* (2001), **16**:591-596

[22] G.Meinrath, The mole definition versus practical use, *Accred. and Qual. Assur.* (2011), **16**:167-170

[23] Proiectul Capitol 2 al Broşurii SI, ca urmare a redefinirii unităţilor fundamentale, Ch.2 29 Sept 2010, [www.bipm.org](http://www.bipm.org)

[24] [www.metrology.bet](http://www.metrology.bet)

[25] N.Wheatly, On the dimensionality of the Avogadro constant and the definition of the mole, *Metrologia* **48** (2011) 71-82

[26] P.G.Nelson, What is the mole?, *Foundation of Chemistry*, 2013, **15**(1) 3-11

[27] I.Johansson, The Mole is Not an Ordinary Measurement Unit, *Accred. and Qual. Assur.* (2011), **16**:467-470

[28] J.B.Perrin, Movement brownien et réalité moléculaire, *Ann.Chim.Phys.*, 8<sup>e</sup> Ser., 1909, 18, 5-114

[29] P.Becker, H.Bettin, The Avogadro constant: determining the number of atoms in a single-crystal 28Si sphere, *Philosophical Transactions of Royal Society A* (2011), **369**, 3925-3035

[30] P.Becker, History and progress in the accurate determination of the Avogadro constant, *Institute of Physics Publishing, Rep. Prog. Phys.* (2001) **64** 1945–2008

[31] I.Johansson, The Avogadro Constant, Planck Constant and the New SI, [www.metrologybytes.net/PaperUnpub/](http://www.metrologybytes.net/PaperUnpub/)

[32] B.P. Leonard, Comments on recent proposals for redefining the mole and kilogram, *Metrologia*, **47** (2010) L5-L8

[33] I.M.Mills, Peter J.Mohr, T.Quinn, B.N.Taylor, E.R.Williams, Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005), *Metrologia* (2006), **43**, 227-246

[34] B.P.Leonard, Why the dalton should be redefined exactly in terms of the kilogram, *Metrologia* (2012), **49**, 487-491

[35] P. De Bièvre, H. S. Peiser, Atomic Weight' - The Name, Its History, Definition, and Units, IUPAC, Inorganic Chemistry Division, Commission on Atomic Weights and Isotopic Abundances

[36] IUPAC Gold Book

[37] B.N.Taylor, Molar mass and related quantities, *Metrologia* (2009), **46**, L16-L19

[38] CCQM 12-38 Draft mise en pratique for the mole, 2012, [www.bipm.org](http://www.bipm.org)

[39] F.Marcus, The Recent 50 Years of the SI - a Review of the Opportunities for the eScience Age, *Metrology* 2010, **47**, R41-R51

[40] P.Becker, P.De Bièvre, K.Fujii, M.Glaeser, B.Inglis, Consideration on future redefinition of the kilogram, the mole and of other units, *Metrologia*, (2007) **44** 1-14

#### ***Revizia științifică a articolului:***

*Ion M. POPESCU*, profesor universitar doctor, Universitatea Politehnica din București, e-mail: [imp@physics.pub.ro](mailto:imp@physics.pub.ro)

#### ***Despre autor***

*Mirella BUZOIANU*, cercetător științific gradul I, director al INM, e-mail: [mirella.buzoianu@inm.ro](mailto:mirella.buzoianu@inm.ro)

[33] I.M.Mills, Peter J.Mohr, T.Quinn, B.N.Taylor, E.R.Williams, Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005), *Metrologia* (2006), **43**, 227-246

[34] B.P.Leonard, Why the dalton should be redefined exactly in terms of the kilogram, *Metrologia* (2012), **49**, 487-491

[35] P. De Bièvre, H. S. Peiser, Atomic Weight' - The Name, Its History, Definition, and Units, IUPAC, Inorganic Chemistry Division, Commission on Atomic Weights and Isotopic Abundances

[36] IUPAC Gold Book

[37] B.N.Taylor, Molar mass and related quantities, *Metrologia* (2009), **46**, L16-L19

[38] CCQM 12-38 Draft mise en pratique for the mole, 2012, [www.bipm.org](http://www.bipm.org)

[39] F.Marcus, The Recent 50 Years of the SI - a Review of the Opportunities for the eScience Age, *Metrology* 2010, **47**, R41-R51

[40] P.Becker, P.De Bièvre, K.Fujii, M.Glaeser, B.Inglis, Consideration on future redefinition of the kilogram, the mole and of other units, *Metrologia*, (2007) **44** 1-14

#### ***Scientific review:***

*Ion. M. POPESCU*, professor, Politehnica University from Bucharest e-mail: [imp@physics.pub.ro](mailto:imp@physics.pub.ro)

#### ***About the author:***

*Mirella BUZOIANU*, scientific researcher 1<sup>st</sup> degree, director of INM, e-mail: [mirella.buzoianu@inm.ro](mailto:mirella.buzoianu@inm.ro)