



ВЕЛИЧИНАТА „КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВО“ И НЕЙНАТА ЕДИНИЦА „МОЛ“: НОВИ ТЕНДЕНЦИИ

¹И.Л. ДУКОВ, ²Б.В. ТОШЕВ

¹Химикотехнологичен и металургичен университет, София,

²Софийски университет „Св. Климент Охридски“

Резюме. Обсъдени са дефинициите и използването в химията на величината „количество вещество“ и нейната единица в SI „молът“. Разгледана е новата дефиниция на единицата „мол“, предложена от Международното бюро за мерки и теглилки и подкрепена от Изпълнителният комитет на IUPAC. Тя е базирана на фиксирана стойност на константата на Авогадро, а не на фиксирана стойност на относителната атомна маса на изотопа ^{12}C .

Ключови думи: международна система единици, количество вещество, мол

Известно е, че величината „количество вещество“ (amount of substance), символ n , е една от седемте базови величини на Международната система единици (СИ, SI). Нейна единица е молът, символ mol. Химиците познават добре единицата мол, но съответстващата ѝ величина е малко позната, а

смисълът ѝ често пъти е неясен за студенти и дори за някои преподаватели. Най-добрата, формална, дефиниция на тази величина е [1]:

Количество вещество е величина, пропорционална на броя на частиците N в системата. Частиците могат да бъдат атоми, молекули, йони, електрони, други частици или специфични групи от частици. Константата на пропорционалност е т.нар. константа на Авогадро, N_A .

Ясно е, че $n = N/N_A$ и че n има измерение на mol, тъй като N е безразмерна величина, а дименсията на N_A е mol⁻¹. Величината „количество вещество“ участва във важни за химичната наука зависимости. От уравнението

$$c = n/V \quad [\text{mol dm}^{-3}]$$

може да бъде определена молната концентрация на веществото или просто концентрацията, c (n е количеството вещество, а V — обема на разтвора). Друга зависимост позволява да бъде изчислено количеството вещество n , ако са известни молната маса M и масата m на дадено съединение, т.е.

$$n = m/M \quad [\text{mol}]$$

Използването на величината „количество вещество“ n е по-удобно (в сравнение с алтернативната ѝ величина „брой частици“ N), тъй като дава възможност да бъдат използвани малки числа. Обикновено n е от порядъка на единица, а N е от порядъка на 10²³.

Думата „вещество“ в термина „количество вещество“ може да бъде заменена с наименованието на съответната частица, например количество хлорни атоми, $n(\text{Cl})$, количество хлорни молекули, $n(\text{Cl}_2)$, но това не трябва да поражда неяснота. Така количество сяра би могло да се отнася за $n(\text{S})$, $n(\text{S}_8)$ и т.н. При ковалентни съединения обикновено се има предвид молекулата, например количество бензен се означава като $n(\text{C}_6\text{H}_6)$. При йонни съединения се използва най-простата формула — например количество натриев хлорид се записва $n(\text{NaCl})$, а при метали — атомът, например количество сребро, се записва като $n(\text{Ag})$ [2].

Молът е основна единица на количеството вещество в СИ. Дефиницията му е приета от Генералната конференция за мерки и теглилки (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM) през 1971 г. Тя гласи [1]:

Молът е количество вещество на система, която съдържа толкова елементарни частици, колкото атоми се съдържат в 0,012 kg от изотопа ¹²C. Частиците могат да бъдат атоми, молекули, йони, електрони, други частици или специфични групи от частици.

От тази дефиниция следва, че числената стойност на константата на Авогадро, изразена в единици mol⁻¹ дава броя на атомите, които се съдържат в 12 грама на изотопа ¹²C. Следователно, стойността на константата на

Авогадро е пряко свързана с дефиницията за мол и е точно равна на броя на атомите, съдържащи се в 12 грама ^{12}C . Понастоящем се приема [1], че стойността ѝ е $N_A = 6,022\,141\,79 \times 10^{23} [\text{mol}^{-1}]$.

В действителност, при определяне на атомни и молни маси не е необходимо да се използва константата на Авогадро, тъй като те могат да бъдат определени от относителните им маси. Относителната атомна маса на ^{12}C $A_r(^{12}\text{C}) = 12$. По дефиниция [3,4] молната M_r се определя по формулата

$$M_r = A_r M_u [\text{g mol}^{-1}],$$

където M_u е константа на молната маса, равна на $0,001 \text{ kg mol}^{-1}$ (1 g mol^{-1}), т.е. тя е равна на 1/12 част от атомната маса на ^{12}C . Независимо от това, че относителната атомна маса е безразмерна величина, поради широката употреба, IUPAC е приел, че M_u има дименсия g mol^{-1} . Всички останали атомни и молни маси се определят спрямо атомната маса на ^{12}C .

Често пъти вместо количество вещество химиците използват термина „брой молове“. IUPAC препоръчва тази практика да бъде изоставена, тъй като името на физична величина не трябва да включва името на единица [1]. Поради това, „брой молове“ не е синоним на „количество вещество“, както и „брой килограми“ и „брой келвини“ не са синоними на физичните величини „маса“ и „температура“.

Дефиницията на мол, приета през 1971 г. съдържа фундаментален за метрологията проблем, тъй като включва още една базова единица (килограм). Поради това, Международното бюро за мерки и теглилки (Bureau international des Poids et Mesures) предложи нова дефиниция за мол [4]:

Молът, единица на величината „количество вещество“ на дефинирана елементарна частица, която може да бъде атом, молекула, йон, електрон, всяка друга частица или специфична група на друга частица, е такова количество вещество, за което константата на Авогадро е $6,022\,141\,79 \times 10^{23} [\text{mol}^{-1}]$.

Дефиницията показва, че молът е количество вещество, което съдържа точно определен брой елементарни частици. Фиксираната стойност на константата на Авогадро води до дефиниция, в която няма позоваване на друга единица. Така молът придобива статус на основна единица. В такъв случай, обаче, молната маса на ^{12}C вече не е константа ($A_r(^{12}\text{C}) \neq 12$), а е експериментално определяема величина с относителна грешка (relative measurement uncertainty) около $1,4 \cdot 10^{-9}$. Стойността на молната маса на ^{12}C ще се различава незначително в зависимост от използваните експериментални методи, но това няма да окаже влияние при изчисляване на молните маси на веществата. Следователно, новата дефиниция на мол няма да изисква промяна на настоящата метрологична практика.

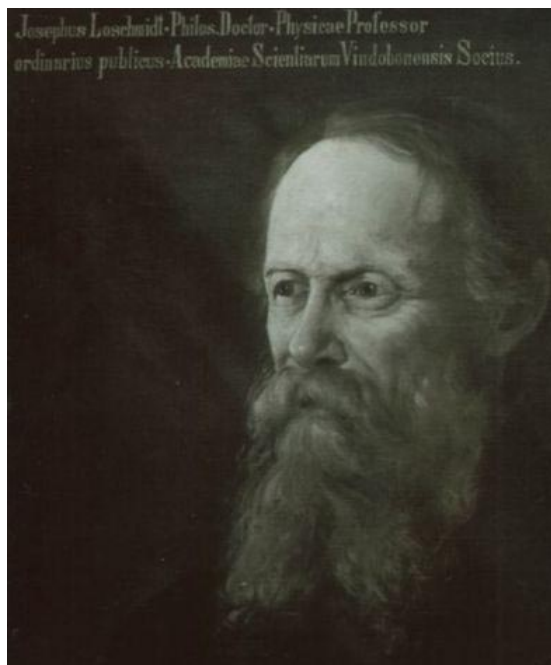
В края на 2009 г. Изпълнителният комитет на IUPAC реши да подкрепи новата дефиниция на мол, както е предложена от Международното бюро за мерки и теглилки [4].



(1776-1856)

Системата СИ е със задължителна употреба в научните изследвания и учебната практика. Тази система се гради върху 7 основни величини, между които 5 са особено важни в химията — дължина (метър), маса (кило-грам), време (секунда), температура (келвин), количество вещество (мол) (в скоби са показани основните мерни единици на тези величини). Несъмнено разглеждането на масата и количеството вещество като независими величини създава известни методически затруднения при преподаването на тази материя в училище. Популяризирането на числото на Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ дори сред широката публика има особено значение. В някои страни, а напоследък и в България, това става чрез отбелязване на *празникът на мола*. В този ден хората се поздравяват с 'happy mol day to you!'. Празникът на мола е на 23 октомври. Началото на празника е в 6,02 ч сутринта, а краят е в 6,02 ч. вечерта. Числото на Авогадро

заслужава такова внимание, защото едва ли има по-важно число в химията от него. Човек, обаче, няма интуитивна представа за числата, и затова учениците (и не само те) трудно си дават сметка за чудовищната големина на това число. Затова в учебната практика са известни различни визуализации на това число.



Johann Josef Loschmidt (1821-1895)

Ето една добра възможност ученикът да получи ясна представа за големината на числото на Авогадро. От училищния курс по физика учениците знаят, че 1 мол идеален газ при нормални условия ($101\,325\text{ Pa}$ (чете се паскал) = 1 atm , $0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$ (чете се келвин)) е $22,4\text{ литра} = 22,4\text{ dm}^3$. Тогава в 1 cm^3 ще се намират около $2,5 \cdot 10^{19}$ молекули (число на Лошмидт). Да допуснем, че на една планета живеят 5 милиарда човека ($5 \cdot 10^9$). Да допуснем, че всъщност има 5 милиарда планети, всяка от които има такова население. Тогава броят на хората, които населяват тези планети ще бъде $5 \cdot 10^9 \times 5 \cdot 10^9 = 2,5 \cdot 10^{19}$, или общото население по брой ще бъде толкова, колкото е броят на молекулите в 1 cm^3 газ (число на Лошмидт). Ясно е, че числото на Лошмидт е невъобразимо голямо число. Числото на Авагадро, обаче, е още по-голямо, защото е около 24 000 пъти по-голямо от числото на Лошмидт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mills, I., T. Cvitaš, K. Homann, N. Kalley, K. Kuchitsu. *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2007.
2. Gamsjager, H., J.W. Lorimer, P. Scharli, D.G. Shaw. Glossary of Terms Related to solubility (IUPAC Recommendations 2008). *Pure Appl. Chem.* **80**, 233 – 276 (2008).
3. Mills, I., M. Milton. Amount of Substance and the Mole. *Chem. Intern.* **31**(2), 3-7 (2009).
4. Lorimer, J. What is a Mole? Old Concepts and New. *Chem. Intern.* **32**(1), 6-11 (2010).

THE QUANTITY „AMOUNT OF SUBSTANCE“ AND THE UNITY „MOLE“: NEW TRENDS

Abstract. The definitions of the quantity „amount of substance“ and its SI unity „the mole“ and their use in chemistry have been discussed. The new definition of the unity „mole“, proposed by The Bureau International des Poids et Mesures and supported by the IUPAC Interdivisional Committee on Terminology, Nomenclature and Symbols, is presented. It is based on the fixed value of the Avogadro constant and not on the fixed value of $A_r(^{12}\text{C})$.

✉ **Professor I. L. Dukov,**

Department of General and Inorganic Chemistry,
University of Chemical Technology and Metallurgy,
8, Kliment Okhridski Blvd., 1756 Sofia, BULGARIA
E-mail: idukov@abv.bg

✉ **Professor B. V. Toshev,**

Research Laboratory on Chemistry Education and History
and Philosophy of Chemistry,
Department of Physical Chemistry,
University of Sofia,
1, James Boucher Blvd., 1164 Sofia, BULGARIA
E-mail: toshev@chem.uni-sofia.bg