

ВЕЛИЧИНИ, ЕДИНИЦИ И СИМБОЛИ ВО ХЕМИЈАТА

Глигор Јовановски, Зоран Здравковски

Институт за хемија, ПМФ, Универзитет "Кирил и Методиј", Скопје

1. ФИЗИЧКИ ВЕЛИЧИНИ И ЕДИНИЦИ

Природните науки, какви што се, на пример, *хемијата*, *физиката* и други, покрај тоа што ги објаснуваат појавите во природата, како и својствата на системите и објектите, ги даваат и квантитативните односи и врски помеѓу величините кои ја карактеризираат соодветната појава, систем или објект. Познавањето на овие односи и врски (кои, инаку, се темелат врз внимателни и прецизни мерења) овозможува да се дојде до важни откритија во науката и техниката, а има и огромно практично значење.

Под **физичка величина*** се подразбира мерливо својство на системите или појавите. Во квалитативна смисла, тоа својство е еднакво за сите системи или појави, додека, пак, во квантитативна смисла е карактеристично за даден систем или појава. Физичките величини може да се мерат

* Погрешно е да се употребува поимот **физичка големина**.

директно или посредно. Така, на пример, физички величини се: должина, маса, време, енергија, концентрација итн.

Под *мерење*, инаку, се подразбира споредување на една физичка величина која го карактеризира даден објект, систем или појава, со друга физичка величина од иста природа. Кога се мери некоја величина, најпогодно е постапката на **споредување** секогаш да се врши со една иста величина, со што се овозможува споредување на резултатите од повеќе мерења. Таквите, со претходен договор, одбрани величини ги нарекуваме **единици** на физичките величини.

Секоја физичка величина е еднаква на *производот* од бројната вредност и единицата:

$$\text{физичка величина} = \text{бројна вредност} \times \text{единицата}$$

Така, на пример, оддалеченоста помеѓу два објекта ќе биде секојпат еднаква, без оглед на тоа во кои единици ќе биде измерена. Ако ја мериме таа оддалеченост еднаш со **педи**, $[l_1]$, другпат со **чекори**, $[l_2]$ и третпат со **метри**, $[l_3]$, и ако тие вредности изнесуваат $\{l_1\}$ педи, $\{l_2\}$ чекори и $\{l_3\}$ метри, тогаш за оддалеченоста l може да се напише:

$$l = \{l_1\} [l_1]; \quad l = \{l_2\} [l_2]; \quad l = \{l_3\} [l_3]$$

или

$$\{l_1\} = l / [l_1]; \quad \{l_2\} = l / [l_2]; \quad \{l_3\} = l / [l_3]$$

Општо земено, ако физичката величина ја означиме со G (француски – grandeur), тогаш имаме

$$G = \{G\} [G]$$

каде што:

$\{G\}$ – бројна вредност на физичката величина

$[G]$ – единица на физичката величина.

Од последниот израз, покрај другото, се гледа дека ако се избере n -пати помала единица, бројната вредност ќе биде n -пати поголема.

Инаку, и бездимензионалните физички величини имаат единици, а тоа е бројот 1 (којшто обично не се пишува).

На физичките величини, нивните бројни вредности и единици може да се применуваат сите вообичаени алгебарски операции. Така, на пример, може да се напише:

$$\lambda = 5,896 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = 589,6 \text{ nm}$$

$$\lambda/\text{m} = 5,896 \cdot 10^{-7}$$

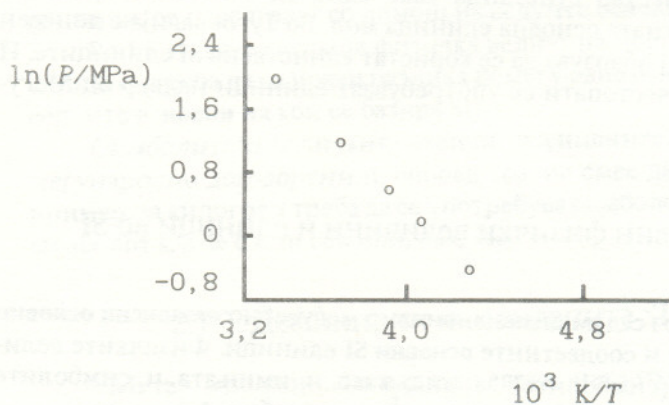
$$\lambda/\text{nm} = 589,6$$

При табелирање на бројни вредности за определени физички величини или при означување на координатни оски (при графички прикази), физичките величини и соодветните единици треба да бидат прикажани во таков облик, што табелираните, односно графички прикажаните вредности, да бидат чисти броеви.

Примери:

T/K	$10^3 \text{ K}/T$	P/MPa	$\ln(P/\text{MPa})^*$
216,55	4,6179	0,5180	-0,6578
273,15	3,6610	3,4853	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

*Логаритми може да се бараат само од чисти броеви, а не од физички величини (освен ако тие самите се чисти броеви). Затоа не треба, на пример, да се зборува за логаритам од притисокот, туку за логаритам од бројната вредност на притисокот.



2. СИСТЕМИ НА ЕДИНИЦИ

Квантитативните зависности што постојат помеѓу физичките величини мора да постојат и помеѓу единиците во кои тие се мерат. Тоа значи дека единиците не се меѓусебно независни (барем не сите единици), така што, е можно, избирајќи определен број единици за основа, да се оформи с и с т е м од единици кој ќе ги содржи единиците за физичките величини од определено подрачје или, пак, единиците за сите физички величини.

Како што е познато, досега во употреба имало повеќе различни системи на единици, како на пример, CGS, MKS, MKSA итн. Паралелната употреба на различни системи на единици и на многубројни вонсистемски единици ги усложнувала пресметувањата, поради што се наметнувала потребата од унифицирање на единиците.

Тоа и се остварило со прифаќањето на меѓународниот (интернационалниот) систем на единици.

2.1. Интернационален систем на единици (SI)

Меѓународниот систем на единици (Système International d'Unités), кој скратено се означува со SI, е усвоен на XI генерална конференција за тегови и мерки во 1960 година, а дополнет е во 1969 година, со воведувањето на количество супстанца како една од основните физички величини и соодветната основна единица мол. Во Југославија е донесен и посебен закон, кој обврзува да се користат единствено SI единиците. И покрај тоа, за жал, честопати се употребуваат единици надвор од Меѓународниот систем.

2.1.1. Основни физички величини и единици во SI

SI е базиран врз седум димензионално меѓусебно независни основни физички величини и соодветните основни SI единици. Физичките величини и ознаките (симболите) за нив, како и имињата и симболите (ознаките) за соодветните единици се дадени во табела 1.

Физичките величини агол и просторен агол и соодветните основни единици радијан и стередијан се сметаат за дополнителни.

Табела 1. Основни физички величини и единици

Физичка величина		SI единица	
Назив	Симбол*	Назив	Симбол**
должина	l	метар	m
маса	m	килограм	kg
време	t	секунда	s
електрична струја	I	ампер	A
термодинамичка температура	T	келвин	K
количество супстанца	n	мол	mol
интензитет на светлина	I_v	кандела	cd
агол	α	радијан	rad
просторен агол	τ	стерадијан	sr

* Симболите за физичките величини секогаш се пишваат со коси букви. Ако притоа се работи за вектори, косите букви треба да бидат црни (масни) или напишани со стрелка над симболот.

** Симболите за единиците во кои се изразуваат физичките величини секогаш се пишваат со прави букви.

Другите физички величини, а аналогно на тоа и соодветните единици, се изведуваат со помош на седумте основни.

Во SI, инаку, за секоја физичка величина постои само една основна единица (треба да се прави разлика помеѓу овие основни единици и оние седумте основни на кои се базира SI).

Симболите за физичките величини и нивните соодветни единици се меѓународно договорени и, според тоа, не смее да се менуваат. Така, на пример, за килограм треба да се употребува симболот kg, а не кг, за секунда симболот s, а не с или сек или, пак, sec.

2.1.2. Дефиниции на основните SI единици

Метар е должина на пат што светлината го поминува во вакуум за временски интервал од $\frac{1}{299749458}$ секунди.

Килограм е единица на маса; тој е еднаков на масата на меѓународниот прототип на килограмот.

Секунда е траење од 9 192 631 770 периоди на зрачење кое одговара на преминот помеѓу две хиперфини нивоа на основната состојба на атомот на цезиум-133.

Ампер е онаа постојана електрична струја, која, поминувајќи низ два прави паралелни спроводника со неограничена должина и занемарлив кружен пресек, а раздалечени 1 метар во вакуум, предизвикува помеѓу нив сила од $2 \cdot 10^{-7}$ њутни на метар должина.

Келвин, единицата на термодинамичка температура, е 273,16-ти дел од термодинамичката температура на тројната точка на водата.

Мол е количество супстанца на одреден систем кој содржи толку елементарни единици* колку што има атоми во 0,012 килограми од јаглерод-12. Бројот на атоми во еден мол јаглерод-12 (на кој одговара маса од 0,012 kg, односно 12 g) е еднаков на Авогадровиот број, $N = 6,0221 \cdot 10^{23}$.

*Елементарните единици треба да бидат специфицирани и може да бидат атоми, молекули, јони, електрони, други честички или, пак, дефинирани множества на такви честички или делови од нив.

Примери:

1 mol KMnO_4 има маса од 0,1580376 kg

1 mol $\frac{1}{5} \text{KMnO}_4$ има маса од $\frac{0,1580376}{5}$ kg, односно 0,0316075 kg

1 mol Ag има маса од 0,039948 kg

1 mol Ca^{2+} има маса од 0,04008 kg, а полнеж од $1,92974 \cdot 10^5$ C

1 mol $\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+}$ има маса од 0,02004 kg, а полнеж од $9,6487 \cdot 10^4$ C

1 mol e^- има маса од $5,4859 \cdot 10^{-7}$ kg, а полнеж од $9,6487 \cdot 10^5$ C

1 mol 2H_2 има маса од 0,0040316 kg, а содржи $6,0222 \cdot 10^{23}$ единици од типот 2H_2 , односно $1,2044 \cdot 10^{24}$ молекули H_2

1 mol фотони со фреквенција 10^{14} Hz има енергија од $3,99043 \cdot 10^4$ J
 1 mol зрна од ориз можат да ја прекријат површината на Земјата со слој чија дебелина би изнесувала 30 m

Кандела е интензитет на светлина, во дадена насока, од извор кој емитира монохроматско зрачење со фреквенција $5,40 \cdot 10^{14}$ херци, а во таа насока има интензитет на зрачење од 1/683 вати на стерадијан.

2.1.3. Изведени SI единици

Изведените SI единици се засновани врз основните, а добиени се со помош на математичките операции множење и делење. Некои од нив имаат специјални називи и ознаки (табела 2), а други, пак, немаат (табела 3).

Табела 2. Изведени SI единици со специјални имиња и симболи

Физичка величина	Симбол	Единица Назив	Симбол	Дефиниција*
фреквенција ^a	ν, f	херц (hertz)	Hz	s^{-1}
сила	\vec{F}	њутн (newton)	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2} = J \cdot m^{-1}$
притисок	P, p	паскал (pascal)	Pa	$N \cdot m^{-2} = m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
енергија	E	џул (joule)		
работа	w, W	џул (joule)	J	$N \cdot m = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
топлина	q, Q	џул (joule)		
снага	P	ват (watt)	W	$J \cdot s^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
електричен полнеж	e	кулон (coulomb)	C	$A \cdot s$
електричен потенцијал	V, ϕ	волт (volt)	V	$J \cdot C^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
електромоторна сила	E	волт (volt)	V	$J \cdot C^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
електричен отпор	R	ом (ohm)	Ω	$V \cdot A^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
електрична спроводливост (кондуктанца)	G	сименс (siemens)	S	$\Omega^{-1} = m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$

Физичка величина	Сим- бол	Е Назив	д Симбол	и Дефиниција ^a
електричен капацитет (капацитанца)	C	farad (farad)	F	$C \cdot V^{-1} = m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
магнетен флукс	Φ	вебер (weber)	Wb	$V \cdot s = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
магнетна индукција (густина на магнетен флукс)	\vec{B}	тесла (tesla)	T	$V \cdot s \cdot m^{-2} = kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
индуктивност	L	хенри (henry)	H	$V \cdot A^{-1} \cdot s = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Целзиусова температура ^b	t, θ	целзиусови степени (degree Celsius)	$^{\circ}C$	K
светлосен флукс	ϕ	лумен (lumen)	lm	$cd \cdot sr$
осветленост	E, E_v	лукс (lux)	lx	$cd \cdot sr \cdot m^{-2}$
радиоактивност	A	бекерел (becquerel) ^c	Bq	s^{-1}
апсорбирана доза на зрачење еквивалентна доза на зрачење	D	греј (grey) ^c	Gy	$J \cdot kg^{-1}$
агол	α, β, γ θ, ϕ	сиверт (sievert) ^c радијан	Sv rad	$J \cdot kg^{-1}$
просторен агол	ω, Ω	стерадијан	sr	

^a За радијална (кружна) фреквенција и за аголна брзина треба да се употребуваат единиците $rad \cdot s^{-1}$ или едноставно само s^{-1} , при што оваа единица не треба да се изедначува со единицата Hz.

^b Целзиусовата температура, θ , е дефинирана со равенството

$$\theta/^{\circ}C = T/K - 273,15$$

а SI единица е целзиусов степен, $^{\circ}C$. Како што се гледа од овој израз, температурен интервал изразен во целзиусови степени е еднаков на истиот тој температурен интервал изразен во келвини:

$$\Delta\theta = \Delta T$$

Симболот °C треба да се третира како еден симбол, без, притоа, да се остава простор помеѓу знакот ° и ознаката C. Така, на пример, треба да се пишува

250 °C, а не, на пример, 250°C или 250° C

° Единиците бекерел (Bq), греј (Gy) и сиверт (Sv) се воведени со цел да се поттикне заштитата на човечкото здравје.

Производите и количниците на основните единици, како и симболите на изведените единици кои немаат посебен назив (и посебен симбол) се пишуваат со вообичаени ознаки за производ, односно количник.

На пример:

J s или J · s или J × s

V m⁻¹ или V/m или $\frac{V}{m}$

Како што се гледа од наведените примери, ако не се напише ознаката за множење · или ×, тогаш се остава празен простор помеѓу симболите за различните единици (J s, а не Js).

Табела 3. Други изведени SI единици

Физичка величина	Симбол	Единица
плоштина, површина	A, A _g , S	m ²
волумен	V	m ³
брзина	v, u, w, c	m · s ⁻¹
аголна брзина ^a	ω	s ⁻¹ , rad · s ⁻¹
забрзување	a	m · s ⁻²
момент на силата	\vec{T} , (\vec{M})	N · m = m ² · kg · s ⁻²
бранов број	\vec{v} , σ	m ⁻¹
густина	ρ	kg · m ⁻³
специфичен волумен	v	m ³ · kg ⁻¹
концентрација ^b	c _B	mol · m ⁻³
топлински капацитет	C	J · K ⁻¹ = m ² · kg · s ⁻² · K ⁻¹
ентропија	S	J · K ⁻¹ = m ² · kg · s ⁻² · K ⁻¹

Физичка величина	Симбол	Единица
моларен топлински капацитет ^b	C_m	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
моларна ентропија	S_m	$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
специфичен топлински капацитет	c	$J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1} = m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
специфична ентропија	s	$J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1} = m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
моларна енергија	E_m	$J \cdot mol^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
специфична енергија	e	$J \cdot kg^{-1} = m^2 \cdot s^{-2}$
енергетска густина	ρ, w	$J \cdot m^{-3} = m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
површински напон	σ, γ	$N \cdot m^{-1}, J \cdot m^{-2} = kg \cdot s^{-2}$
густина на топлински флуks	q, ϕ	$W \cdot m^{-2} = kg \cdot s^{-3}$
термичка спроводливост	G	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1} = m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
кинематичка вискозност	ν	$m^2 \cdot s^{-1}$
дифузионен коефициент	D	$m^2 \cdot s^{-1}$
динамичка вискозност	η, μ	$N \cdot s \cdot m^{-2}, Pa \cdot s = m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
густина на електричен полнеж	ρ	$C \cdot m^{-3} = m^{-3} \cdot s \cdot A$
густина на електрична струја	j	$A \cdot m^{-2}$
електрична спроводливост (кондуктивност)	$\kappa, (\sigma)$	$S \cdot m^{-1} = m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
моларна спроводливост (моларна кондуктивност)	Λ, λ	$S \cdot m^2 \cdot mol^{-1} = kg^{-1} \cdot mol^{-1} \cdot A^2$
пермитивност	ϵ	$F \cdot m^{-1} = m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
пермеабилност	μ	$H \cdot m^{-1} = m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
јачина на електрично поле	\vec{E}	$V \cdot m^{-1} = m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
јачина на магнетско поле	\vec{H}	$A \cdot m^{-1}$
осветленост на единица површина	L, L_v	$cd \cdot m^{-2}$
експозиција (за X и γ зраци)	D_B	$C \cdot kg^{-1} = kg^{-1} \cdot s \cdot A$
брзина на апсорбирана доза	P	$Gy \cdot s^{-1} = m^2 \cdot s^{-3}$

^a Кога за симбол на физичка величина е избрана *грчка буква*, таа, исто така, треба да биде *коса*.

^b *Индексите* на симболите на физичките величини кои сами за себе претставуваат *физички величини* или *броеви*, се пишуваат, исто така, со коси букви, додека, пак, другите индекси се пишуваат со прави букви.

Примери:

C_p – за топлински капацитет при константен притисок

C_V – за топлински капацитет на супстанцата V

2.1.4. SI префикси

Кога *бројната вредност* на физичката величина е од *непогоден* ред на големина (*многу поголема* или *многу помала* од бројот еден), покрај единицата, може да се употребува *префикс* кој го дефинира нејзиниот дел или умножок (табела 4).

Табела 4. Префикси на SI единиците

Дел	Префикс	Симбол	Умножок	Префикс	Симбол
10^{-1}	деци	d	10	дека	da
10^{-2}	центи	c	10^2	хекто	h
10^{-3}	мили	m	10^3	кило	k
10^{-6}	микро	μ	10^6	мега	M
10^{-9}	нано	n	10^9	гига	G
10^{-12}	пико	p	10^{12}	тера	T
10^{-15}	фемто	f	10^{15}	пета	P
10^{-18}	ато	a	10^{18}	екса	E

Симболот на префиксот се пишува пред симболот на основната единица и не смее да се одвојува од симболот на единицата. Така, на пример:

$$10^{-3} \text{ N} = \text{mN}, \quad \text{а не} \quad \text{m N}$$

$$10^3 \text{ m} = \text{km}, \quad \text{а не} \quad \text{k m}$$

Кога се степенува единица со префикс, експонентите се однесуваат и на префиксот и на единицата.

На пример:

$$\text{km}^2 = (\text{km})^2 = (10^3 \text{ m})^2 = 10^6 \text{ m}^2$$

$$\text{dm}^3 = (\text{dm})^3 = (10^{-1} \text{ m})^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\mu\text{s}^{-1} = (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1}$$

Двојни префикси, инаку, не е дозволено да се употребуваат. Така, треба да се пишува

mg, а не, на пример, μkg

Mg, а не, на пример, kkg

Во случај да се употребува префикс пред сложена единица, тогаш тој се пишува пред првиот симбол на сложената единица (на пр. mN m^{-2}).

Треба, инаку, да се води сметка дека m е симбол за основната единица за должина, меѓутоа и симбол за префиксот мили. Така, на пример:

mN – означува милињутн

m N – означува метар по њутн

За единицата $^{\circ}\text{C}$ не се употребуваат SI префикси.

2.1.5. Единици во употреба заедно со SI

Постојат извесен број единици кои *не се дел* од SI, но чија *употреба е дозволена* во одредени области. За некои од нив дури е дозволена и употреба на префикси, каков што е случајот, на пример, со милилитар - mL, милибар - mbar, мегаелектронволт - MeV, килотона - kt и сл. Листа на овие, така да ги наречеме, *дозволени не-SI единици*, заедно со конверзионите фактори за нивно претворање во SI единици е дадена во табела 5.

Табела 5. Некои единици во употреба заедно со SI

Физичка величина	Единица		Вредност во SI единици
	Назив	Симбол	
време	минута	min	60 s
време	час	h	3600 s
време	ден	d	86 400 s
агол во рамнина	степен	°	($\pi/180$) rad
агол во рамнина	минута	'	($\pi/10\,800$) rad
агол во рамнина	секунда	"	($\pi/648\,000$) rad
должина	онгстрем ^a	Å	10^{-10} m
површина	барн	b	10^{-28} m ²
волумен	литар	L, l	dm ³ = 10^{-3} m ³
маса	тона	t	Mg = 10^3 kg
притисок	бар ^a	bar	10^5 Pa = 10^5 N m ⁻²
енергија ^b	електронволт	eV (= e · V)	≈ 1,60218 · 10 ⁻¹⁹ J
маса ^{b, c}	унифицирана атомска единица на маса	$u = \frac{m_a(^{12}\text{C})}{12}$	≈ 1,66054 · 10 ⁻²⁷ kg

^a Единицата за должина, Å, и единицата за притисок, bar, се одобрени за привремена употреба со SI единиците.

^b Вредностите на единицата за енергија, eV, и единицата за маса, u, во однос на соодветните SI единици, не се доволно егзактни. Тоа се должи на фактот што eV зависи од вредноста на физичката константа e, а u од вредноста на физичката константа N_A , кои се определуваат експериментално.

^c Унифицираната атомска единица на маса понекогаш се нарекува долтн (Dalton) и се означува со Da, иако овој назив и симбол не се прифатени.

Во наредните броеви на Гласникот ќе бидат презентирани табели со податоци за **називите, симболите и дефинициите** на физичките величини и

соодветните SI единици, за различни подрачја на хемијата и хемиската технологија.

Ја искажуваме својата искрена благодарност на проф. д-р Бојан Шоптрајанов за внимателното прегледување на ракописот и особено за придонесот при неговото дооформување. Благодарност му изразуваме и на д-р Владимир Петрушевски за корисните забелешки и сугестии.

Литература

- [1] I. Mills, T. Cvitaš, K. Homann, N. Kallay and K. Kuchitsu, *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, International Union of Pure and Applied Chemistry, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1989.
- [2.] Cvitaš i N. Kallay, *Fizičke veličine i jedinice Međunarodnog sustava*, Hrvatsko kemijsko društvo, Zagreb, 1975.
- [3.] Д. Темелковски, С. Пановски и Ж. Вуевски, *Меѓународен систем на мерни единици (SI)*, Просветно дело, Скопје, 1981.