

УДК 541.21, 541.25/253, 541.26/265:546.03
DOI: [https://doi.org/10.17721/1728-2209.2018.1\(55\).2](https://doi.org/10.17721/1728-2209.2018.1(55).2)

О. Стандритчук, канд. хім. наук, ozrest@ukr.net,
В. Максін, д-р хім. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ЗА ТЕМПЕРАТУРАМИ ПЛАВЛЕННЯ І КИПІННЯ ПРОСТИХ РЕЧОВИН ТА ХІМІЧНИХ СПОЛУК І ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ІНШИМИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Досліджено у великій вибірці (понад 2770 об'єктів) закономірності взаємозв'язку між температурами плавлення ($T_{\text{п}}$) та кипіння ($T_{\text{к}}$) простих речовин (хімічних елементів) і різних хімічних сполук неорганічної та органічної природи. Виявлено кореляції параметрів співвідношення температур з мольними об'ємами ($V_{\text{Е}}$) та питомою густиною ($d_{\text{Е}}$) для 118 відомих на сьогодні хімічних елементів. Виявлено строгі формульні зв'язки з іншими фізико-хімічними параметрами і константами. Вдалося спрогнозувати й уточнити $T_{\text{п}}$, $T_{\text{к}}$, $V_{\text{Е}}$ і $d_{\text{Е}}$ хімічних елементів усього трансуранового ряду.

Ключові слова: температури плавлення і кипіння, хімічні елементи, хімічні сполуки, мольний об'єм, густина, константа гравітації, константа тонкої структури, трансуранові елементи, гранична маса атома.

Вступ. Робота виконана на стику теорії і практики систематизації речовин за їхніми характеристиками. Сповідуючи глобальну пов'язаність усіх без винятку явищ природи, автори, як і у своїх попередніх працях [1–3], використовують узагальнюючий підхід до вивчення всіх фізичних, фізико-хімічних і біохімічних процесів як цілісного явища природи від виявлення феноменологічних кореляцій між характеристичними параметрами до пошуку строгих формульних зв'язків із фундаментальними фізичними, хімічними, біологічними, математичними і космологічними константами. Прикладом такого універсального взаємозв'язку є періодичний закон, основа якого закладалася 175 років, від перших спроб класифікації до його осмисленого оформлення в 1869 р. Д.І. Менделєєвим, і ось уже 150 років розвивається і стверджується його триумф клопітливою працею цілої плеяди відомих вчених [4–6]. У цьому плані слід зазначити особливий глобально узагальнюючий підхід до систематизації В.І. Вернадського [5]. Тому на наш погляд, заслуговує уваги спроба його поширення на базі сучасних можливостей обробки інформації та великої кількості опублікованих довідникових [7–9] і нових уточнюючих експериментальних даних [10–13]. Зокрема, в цій роботі викладено результати пошуку взаємозв'язків між температурами плавлення та кипіння різних речовин, і цей вибір не випадковий, адже вони відображають більш фундаментальні характеристики – силу міжатомного зв'язку, ентропії та ентальпії, тобто несуть в собі зв'язок з усіма фундаментальними константами, що і зумовило нас провести такі дослідження.

Мета роботи – вивчення закономірностей розподілу за температурами плавлення ($T_{\text{п}}$) та кипіння ($T_{\text{к}}$) у великій вибірці (понад 2770 об'єктів) простих речовин (хімічних елементів) і хімічних сполук неорганічної та органічної природи для виявлення фундаментальних взаємозв'язків та зв'язків з іншими фізико-хімічними параметрами і константами з можливістю об'єднаного прогнозування важливих властивостей хімічних елементів, для яких експериментальне визначення досить складне.

Методи та об'єкти дослідження. Для дослідження був зібраний і систематизований великий обсяг даних про $T_{\text{п}}$ і $T_{\text{к}}$ для всіх 118 хімічних елементів та понад 2650 різноманітних хімічних сполук неорганічної й органічної природи, з опублікованих довідникових даних [7–9] та електронних інтернет каталогів [10–13].

Методика експерименту. Систематизовані дані $T_{\text{п}}$ і $T_{\text{к}}$ у формі електронних таблиць піддавали комп'ютерній графічній обробці у вигляді функцій: $T_{\text{п}} = f(T_{\text{к}})$, $T_{\text{к}} = f(\Delta T_{\text{кп}})$, $T_{\text{п}} = f(\Delta T_{\text{кп}})$, де $\Delta T_{\text{кп}} = (T_{\text{к}} - T_{\text{п}})$, та інших їх комбінацій. Проведено пошук та виявлення можливих проявів фундаментальних констант у закономірностях згаданих функцій розподілу, зокрема кореляцій з мольним об'ємом ($V_{\text{Е}}$) чи густиною ($d_{\text{Е}}$) хімічних елементів.

Результати та їх обговорення. Взаємозв'язок $T_{\text{п}}$ і $T_{\text{к}}$. На рис. 1 графічно показано характер розподілу речовин, (у великій вибірці – 2770 об'єктів) як у групі простих речовин (118 хімічних елементів), так і хімічних сполук різної природи та їх сукупності, де ординатою кожної точки є $T_{\text{п}}$ речовини, а її абсцисою – $T_{\text{к}}$.

Рівняння лінії усереднення такого розподілу є функціями прямолінійного виду $y = a \cdot x + b$, з достовірністю апроксимації R^2 від 0,83 до 0,89. Але при цьому виявилось, що чутливість таких усереднень дуже сильно залежить, як від кількості об'єктів (особливо з високим $T_{\text{п}}$ і $T_{\text{к}}$), так і від точності (достовірності) визначень $T_{\text{п}}$ і $T_{\text{к}}$ узятих із різних джерел. Для наочності на рис. 1 відображено всі три лінії усереднення в зазначених вище вибіркових групах з такими значеннями коефіцієнтів лінійних рівнянь і достовірністю апроксимації:

$$y_1 = 0,5092784x - 23,9643865 \quad (R^2 = 0,854) \text{ – лінія 1,}$$

$$y_2 = 0,6079044x - 1,58248327 \quad (R^2 = 0,884) \text{ – лінія 2,}$$

$$y_3 = 0,5420880x + 29,4029146 \quad (R^2 = 0,889) \text{ – лінія 3.}$$

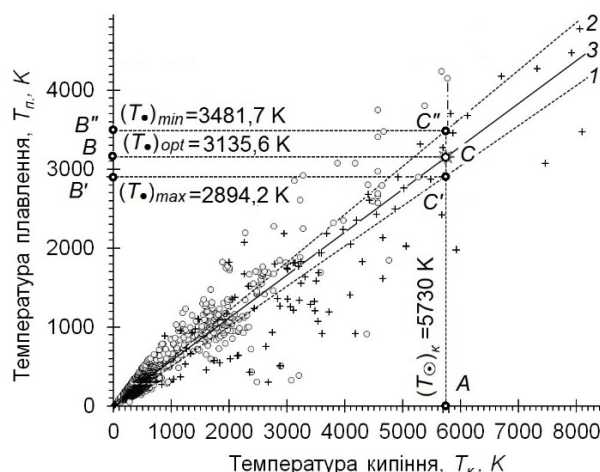


Рис. 1. Розподіл усіх 118 хімічних елементів (позначені – +) і понад 2650 хімічних сполук неорганічної й органічної природи (позначені – o) згідно з їх $T_{\text{п}}$ і $T_{\text{к}}$, та лінії їх усереднення (апроксимації) відповідно для:
1 – простих речовин, 2 – хімічних сполук,
і 3 – для всієї вибірки із 2770 об'єктів дослідження.
(Пояснення інших позначень в тексті)

Враховуючи те, що деякі опубліковані довідникові дані можуть нести в собі як експериментальні, так і механічні помилки, навіть з відсівом підозрілих $T_{\text{п}}$ і $T_{\text{к}}$ при пересічному уточненні з різних джерел, отримати точні незмінні результати з нестійких рівнянь ліній усереднення не вдається. Та все ж, як виявилось при аналізі рівняння лінії апроксимації, наприклад, для розподілу в групі простих речовин (рис. 1, лінія 1), яке за умови відсіву

вуглецю і арсену, T_K яких через сублімацію точно визначити не вдається, коефіцієнти цієї лінії апроксимації, корелюються з фундаментальними фізико-хімічними константами. Зокрема

$$Z_0 = (8b_1 / a_1) = 376,445\dots,$$

де $Z_0 = c\mu_0 = 376,73031346\dots$ – електричний імпеданс, $c = 299792458, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ – швидкість поширення світла у вакуумі, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ – стала магнітної проникності вакууму [14].

Особливо помітний прояв фундаментальних констант, якщо додатково провести ось такий умовний теоретичний експеримент. Розглянемо три умовні евтектичні суміші речовин (підібраних відповідно до вихідних умов: одна з простих речовин, інша із сполук, а третя з їх комбінації), T_K яких дорівнювали б температурі кипіння плазми на поверхні сонця $(T_{\odot})_K = 5730 \text{ К}$ (рис. 1, точка А). Тоді на лініях усереднення 1–3 та їх перетинів із лінією перпендикуляра до точки А, одержимо точки С', С і С'', а з перетинами перпендикулярів, проведених із цих точок на вісь ординат – точки В', В і В'' із умовними T_{Π} таких сумішей $(T_{\bullet})_{min}$, $(T_{\bullet})_{opt}$ і $(T_{\bullet})_{max}$, відповідно. Значення цих температур легко вирахувати із наведених вище, відповідних рівнянь, їх цифрові значення нанесені на рис. 1 над лініями СВ і АС. Дивним чином ці температури співпадають з нижньою та верхньою межею температур запалення міні зірок (бурих карликів), що формуються із воднево-гелієвих газових та пилових хмар, відповідно [15]. При цьому виходячи з наших розрахунків одержуємо такі фундаментальні співвідношення:

$$\alpha_0 = \frac{1}{4\pi} \mu_0 M_0 \Delta T_0 = 0,00729925627\dots,$$

де $\alpha_0 = 0,0072973524$ – стала тонкої структури [14], $\Delta T_0 = (T_{\bullet})_{max} - (T_{\bullet})_{opt} - T_0 = 72,9925\dots \text{ К}$, $T_0 = 273,15 \text{ К}$ – нормальна температура, що визначає нуль температурної шкали Кельвіна [7–9], $M_0 = 10^3$ – міжсистемний коефіцієнт [14];

$$G = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{4\Delta T_*}{\rho_0^4} = 6,6707e^{-11},$$

де $G = 6,67428 \times 10^{-11}, \text{ м}^3(\text{с}\cdot\text{кг})^{-2}$ – гравітаційна стала [14, 16], $\Delta T_* = (T_{\bullet})_{max} + (T_{\bullet})_{min} - 2(T_{\bullet})_{opt} = 104,7760\dots \text{ К}$;

$$r_{\odot} = \frac{c \cdot \Delta T_{\bullet}}{M_0^2} k_{\bullet}^{1/3} = 1467,767112\dots,$$

де, $r_{\odot} = 1467,584624, \text{ м}$ – радіус горизонту подій (гравітаційний радіус зрівноваженого Сонця), вирахований нами із залежності розподілу орбітальних швидкостей усіх планет сонячної системи відповідно до закону Кеплера [15], $\Delta T_{\bullet} = (T_{\bullet})_{max} - (T_{\bullet})_{min} = 587,5091\dots \text{ К}$. $(1/k_0)^{1/3} \approx 120$ і визначається таким чином: $k_0 = \mu_0 M_0^2 (\frac{1}{2} P_d)$, де $P_d = 2\pi \times (T_{\odot}/t_{\odot}) = 2\pi/86398,15119$ – добовий період [17].

Із наведених розрахованих цифрових значень і даних, рекомендованих CODATA-2014 [14] очевидне достатньо високе співпадіння величин фундаментальних констант, одержаних в межах запропонованого авторами умовного теоретичного експерименту з використанням залежності, представленої на рис. 1.

Характер розподілу за температурами T_{Π} і T_K від їх різниці $T_K - T_{\Pi}$. При дослідженні такого розподілу речовин (рис. 2, а, б) виявлено науково цікавий факт взаємозв'язку T_K і T_{Π} . Зокрема, якщо на графіку залежності $T_{\Pi} = f(\Delta T_{K\Pi})$ видалити всі точки, що мають T_{Π} , які лежать між двома лініями, паралельними осі абсцис (рис. 2, а), з такими значення: для нижньої лінії 1 – $T_{min} = 308,15 \text{ К}$, а для верхньої лінії 2 – $T_{max} = 329,15 \text{ К}$, відповідно, отримаємо смугу, яка охоплює інтервал температур між нижньою межею життєво оптимальних температур $35 \div 42^{\circ}\text{C}$ (оптимум $t_{opt} = 36,52422^{\circ}\text{C}$) метаболізму теплокровних організмів, та межею області фатальної деструкції білкових структур, яка настає при $56 \div 57^{\circ}\text{C}$ [3]. Інтервал (ширина) такої зони становить $\Delta t_0 \approx 21^{\circ}\text{C}$. Така ж ширина Δt_0 характерна і для зони виживання теплокровних: з нижньою межею $T_A \approx 302,15 \text{ К}$ ($28 \div 29^{\circ}\text{C}$) – при якій настає тимчасовий анабіоз, тривале перебування у якому закінчується летально, та верхньою межею $T_T \approx 323,15 \text{ К}$ ($49 \div 50^{\circ}\text{C}$) – при якій настає миттєвий тепловий удар, тривале перебування у якому також закінчується летально. Величина цих температурних інтервалів визначається із співвідношення важливих фундаментальних констант:

$$\Delta t_0 = G \cdot \frac{\Delta G_0^{\circ}}{\mu_0} = 21,0036664262\dots$$

де $G = 6,67428 \times 10^{-11} - \text{ м}^3(\text{с}\cdot\text{кг})^{-2}$ – гравітаційна стала [14, 16], $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ – стала магнітної проникності вакууму [14], $\Delta G_0^{\circ} = 395458,1716 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$ – питома енергія, яка припадає на розрив одного зв'язку між атомами вуглецю.

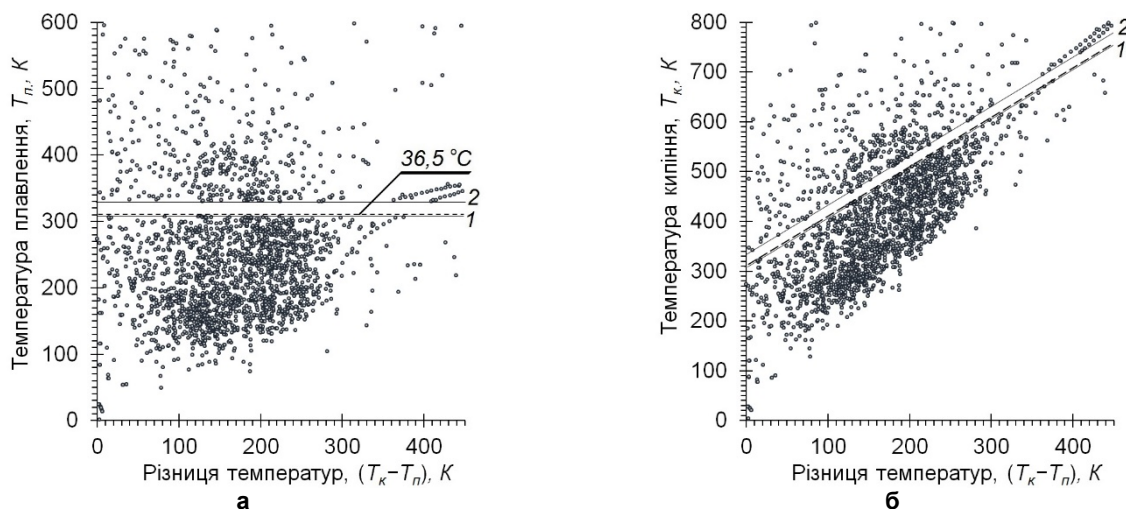


Рис. 2. Функції:

а) $T_{\Pi} = f(\Delta T_{K\Pi})$ і б) $T_K = f(\Delta T_{K\Pi})$ для простих речовин (хімічних елементів) і хімічних сполук неорганічної та органічної природи з порівняно невисокими T_{Π} (0÷600 К) і T_K (0÷800 К), відповідно. (Пояснення інших позначень в тексті)

Хотілося би, при нагоді, відзначити, що величина ΔG_0 , тісно пов'язана і визначається з високою точністю через інші константи фундаментальної природи, а тому і сама має бути віднесена до фундаментальних констант. Детальніші пояснення і походження цієї величини автори вже наводили в своїх попередніх публікаціях, зокрема у роботі [3], де наведено кілька формул для її обчислення. Проте величина настільки важлива, що потребує додаткового дослідження і окремої публікації результатів.

Якщо залежність з вирізненими зонами представити у вигляді графічної залежності $T_K = f(\Delta T_{KП})$, то межі виділеної зони, лінії 1 і 2, зберігають паралельність, але з нахилом до осі абсцис під певним кутом (рис. 2, б). Тобто виявляється, що для будь-якої речовини $T_{П}$ і T_K пов'язані лінійним рівнянням $T_K = a(T_K - T_{П}) + b$. За наявності великої кількості точок (понад 120), що прилягають до меж звільненої зони, авторам вдалося точно визначити коефіцієнти рівняння лінії апроксимації $y_4 = 1,00092660467087x + 302,179177315001$, а також тангенс кута їх нахилу $(tg\alpha)_K = 1,001625958239436$, який пов'язаний з універсальною фізико-хімічною константою досить простим співвідношенням:

$$V_0 = \frac{1}{2} \rho_0^3 \sqrt{\rho_0} (tg\alpha)_K^3 2 \times 10^{-24},$$

де $V_0 = 0,0224139682 \text{ м}^3 \cdot \text{к-моль}^{-1}$ – мольний об'єм [14], однаковий для будь-якої речовини, переведеної в газоподібний стан і приведений до нормальних умов (температура $T_0 = 273,15 \text{ К}$ і тиск $P = 101325 \text{ Па}$), $\rho_0 = 999,984 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ – максимальна густина води [9], а також, як коефіцієнт перерахунку при переході від об'ємних одиниць до масових, і навпаки.

Встановлений лінійний характер взаємозв'язку $T_{П}$ і T_K дозволив авторам з високою вірогідністю прогнозувати і уточнювати їх значення для простих речовин, експериментальне визначення $T_{П}$ і T_K для яких досить проблематичне, наприклад, для трансуранових хімічних елементів з порядковими номерами від 103 до 118 періодичної таблиці Д.І. Менделєєва.

Кореляції температурних співвідношень з мольним об'ємом хімічних елементів та їх порядковим номером. На рис. 3а порівнюються графічні періодичні залежності термічного коефіцієнта $k_T = (T_K + T_{П}) / (T_K - T_{П})$ та питомого мольного об'єму (V_E) усіх відомих на сьогодні 218 хімічних елементів від їхнього порядкового номера N_E в періодичній системі Д.І. Менделєєва. Дані для побудови функцій взяті із опублікованих джерел [7–9], а їх цифрові значення наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Узгоджені значення точних атомних мас, температур плавлення і кипіння та питомої густини всіх 118 хімічних елементів з уточненнями, внесеними в процесі їхнього дослідження

Номер п/п	Символ	Назва елементу	Атомна маса*		Температура (°C)		Густина (г/см ³), при 20 °C
			а.о.м.	плавлення	кипіння		
1	2	3	4	5	6	7	
1	H	Водень	1,00794	-259,16	-252,879	0,084 г/л	
2	He	Гелій	4,002602	-272,2	-268,928	0,17 г/л	
3	Li	Літій	6,941	180,5	1330	0,53	
4	Be	Берилій	9,012182	1278	2970	1,85	
5	B	Бор	10,811	2076	3927	2,46	
6	C	Вуглець	12,0107	3641	сублімує	2.267 ⁹ (3,515) ^d	
7	N	Азот	14,0067	-210	-195,795	1,17 г/л	
8	O	Кисень	15,9994	-218,79	-182,962	1,33 г/л	
9	F	Фтор	18,9984032	-219,67	-188,11	1,58 г/л	
10	Ne	Неон	20,1797	-248,59	-246,046	0,84 г/л	
11	Na	Натрій	22,98976928	97,794	882,94	0,97	
12	Mg	Магній	24,305	650	1091	1,74	
13	Al	Алюміній	26,9815386	660,32	2470	2,7	
14	Si	Кремній	28,0855	1414	3265	2,33	
15	P	Фосфор	30,973762	44,15	279,85	1,82	
16	S	Сірка	32,065	115,21	444,6	2,06	
17	Cl	Хлор	35,453	-101,5	-34,04	2,95 г/л	
18	Ar	Аргон	39,948	-189,34	-185,848	1,66 г/л	
19	K	Калій	39,0983	63,5	759	0,86	
20	Ca	Кальцій	40,078	842	1484	1,54	
21	Sc	Скандій	44,955912	1541	2836	2,99	
22	Ti	Титан	47,867	1668	3287	4,51	
23	V	Ванадій	50,9415	1910	3407	6,09	
24	Cr	Хром	51,9961	1907	2671	7,14	
25	Mn	Марганець	54,938045	1246	2061	7,44	
26	Fe	Ферум	55,845	1538	2862	7,87	
27	Co	Кобальт	58,933195	1495	2927	8,89	
28	Ni	Нікель	58,6934	1455	2730	8,91	
29	Cu	Мідь	63,546	1084,62	2562	8,92	
30	Zn	Цинк	65,409	419,53	907	7,14	
31	Ga	Галій	69,723	29,7646	2400	5,91	
32	Ge	Германій	72,64	938,25	2833	5,32	
33	As	Мишак	74,9216	615	сублімує	5,72	
34	Se	Селен	78,96	221	685	4,82	
35	Br	Бром	79,904	-7,2	58,8	3,14	
36	Kr	Криптон	83,798	-157,37	-153,415	3,48 г/л	
37	Rb	Рубідій	85,4678	39,3	688	1,53	
38	Sr	Стронцій	87,62	777	1377	2,63	
39	Y	Ітрій	88,90585	1526	2730	4,47	
40	Zr	Цирконій	91,224	1855	4377	6,51	
41	Nb	Ніобій	92,90638	2477	4744	8,58	
42	Mo	Молібден	95,94	2623	4639	10,28	

1	2	3	4	5	6	7
43	Tc	Технецій	98,9063	2157	4265	11,49
44	Ru	Рутеній	101,07	2334	4150	12,45
45	Rh	Родій	102,9055	1964	3695	12,41
46	Pd	Паладій	106,42	1554,9	2963	12,02
47	Ag	Срібло	107,8682	961,78	2162	10,49
48	Cd	Кадмій	112,411	321,07	767	8,64
49	In	Індій	114,818	156,5985	2072	7,31
50	Sn	Олово	118,71	231,93	2602	7,29
51	Sb	Сурма	121,76	630,63	1635	6,697
52	Te	Телур	127,6	449,51	988	6,25
53	I	Йод	126,90447	113,7	184,3	4,94
154	Xe	Ксенон	131,293	-111,75	-108,099	4,49 г/л
55	Cs	Цезій	132,9054519	28,4	690	1,9
56	Ba	Барій	137,327	725	1640	3,65
57	La	Лантан	138,90547	920	3454	6,16
58	Ce	Церій	140,116	798	3257	6,77
59	Pr	Празеодим	140,90765	931	3212	6,48
60	Nd	Неодим	144,242	1010	3127	7,0
61	Pm	Прометій	146,9151	1080	2730	7,22
62	Sm	Самарій	150,36	1072	1778	7,54
63	Eu	Європій	151,964	822	1597	5,25
64	Gd	Гадоліній	157,25	1311	3233	7,89
65	Tb	Тербій	158,92535	1360	3041	8,25
66	Dy	Диспрозій	162,5	1409	2335	8,56
67	Ho	Гольмій	164,93032	1470	2720	8,78
68	Er	Ербій	167,259	1522	2510	9,05
69	Tm	Тулій	168,93421	1545	1727	9,32
70	Yb	Ітербій	173,04	824	1193	6,97
71	Lu	Лютецій	174,967	1656	3315	9,84
72	Hf	Гафній	178,49	2150	5400	13,31
73	Ta	Тантал	180,9479	2996	5425	16,68
74	W	Вольфрам	183,84	3422	5555	19,26
75	Re	Реній	186,207	3186	5596	21,03
76	Os	Осмій	190,23	3045	5027	22,61
77	Ir	Іридій	192,217	2410	4130	22,65
78	Pt	Платина	195,084	1772	3827	21,45
79	Au	Золото	196,966569	1064,4	2940	19,32
80	Hg	Ртуть	200,59	-38,9	356,6	13,55
81	Tl	Талій	204,3833	303,6	1457	11,85
82	Pb	Свинець	207,2	327,5	1740	11,34
83	Bi	Бісмут	208,9804	271,4	1560	9,8
84	Po	Полоній	[209]**	254	962	9,2
85	At	Астат	[210]	302	337	6,4
86	Rn	Радон	[222]	-71	-61,8	9,23 г/л
87	Fr	Францій	[223]	27	677	1,87
88	Ra	Радій	[226]	700	1140	5,5
89	Ac	Актиній	[227]	1047	3197	10,07
90	Th	Торій	232,03806	1750	4787	11,72
91	Pa	Протактиній	231,03588	1554	4030	15,37
92	U	Уран	238,02891	1132,4	3818	18,97
93	Np	Нептуній	237,0482	640	3902	20,48
94	Pu	Плутоній	244,0642	641	3327	19,74
95	Am	Америцій	[243]	994	2607	13,67
96	Cm	Кюрій	[247]	1340	4384	13,51
97	Bk	Берклій	[247]	986	2785	13,25
98	Cf	Каліфорній	[251]	900	1682	15,1
99	Es	Ейнштейній	[252]	(860)***	(1993)	(13,4)
100	Fm	Фермій	[257]	(1100)	(1823)	(13,2)
101	Md	Менделевій	[258]	(1800)	(1988)	(11,3)
102	No	Нобелій	[259]	(1400)	(1990)	(15,4)
103	Lr	Лоуренсій	[262]	(2600)	(5212)	(23,0)
104	Rf	Резерфордій	[267]	(3200)	(7286)	(23,0)
105	Db	Дубній	[268]	(4000)	(7052)	(27,9)
106	Sg	Сіборгій	[271]	(4300)	(7454)	(30,5)
107	Bh	Борій	[270]	(4200)	(7641)	(33,4)
108	Hs	Гасій	[269]	(3900)	(6429)	(32,8)
109	Mt	Мейтнерій	[278]	(3400)	(5849)	(31,6)
110	Ds	Дармштадтій	[281]	(2800)	(7190)	(30,2)
111	Rg	Рентгеній	[281]	(1700)	(5646)	(25,6)
112	Cn	Коперницій	[285]	(-4)	(563)	(12,9)
113	Nh	Ніхоній	[284]	(365)	(1867)	(12,0)
114	Fl	Флеровій	[289]	(480)	(2363)	(10,7)
115	Mc	Московій	[289]	(370)	(1883)	(9,7)

1	2	3	4	5	6	7
116	Lv	Ліверморій	[292]	(390)	(1053)	(9,2)
117	Ts	Теннессін	[294]	(400)	(484)	(6,2)
118	Og	Оганесон	[297]	(-29,0)	(-21,5)	(6,4)

Примітки: * – високоточні значення з новітніми уточненнями [18] атомних мас; [..]** – масове число найбільш стабільного ізотопу за даними інтерактивного каталогу [13]; (...)** – значення T_n , T_k і d_E прогнозовані авторами.

Аналіз рис. 3, а показує майже синхронний хід двох періодичних залежностей із зміщенням по абсцисі на один порядковий номер для функції $k_E = f(N_E)$ відносно $V_E = f(N_E)$ і $k_E = f(N_E)$. Така поведінка зазначених функцій відкриває нові можливості обґрунтованого прогнозування V_E , а також розрахованої на його основі питомої густини

(d_E) простої речовини для тих хімічних елементів (в основному трансуранидів), для яких експериментальне визначення утруднене. Розраховані нами відповідні цифрові значення згаданих величин у таблиці, для наочності, виділено круглими дужками, а на рис. 3, а і б вони позначені світлими незаштрихованими кружечками.

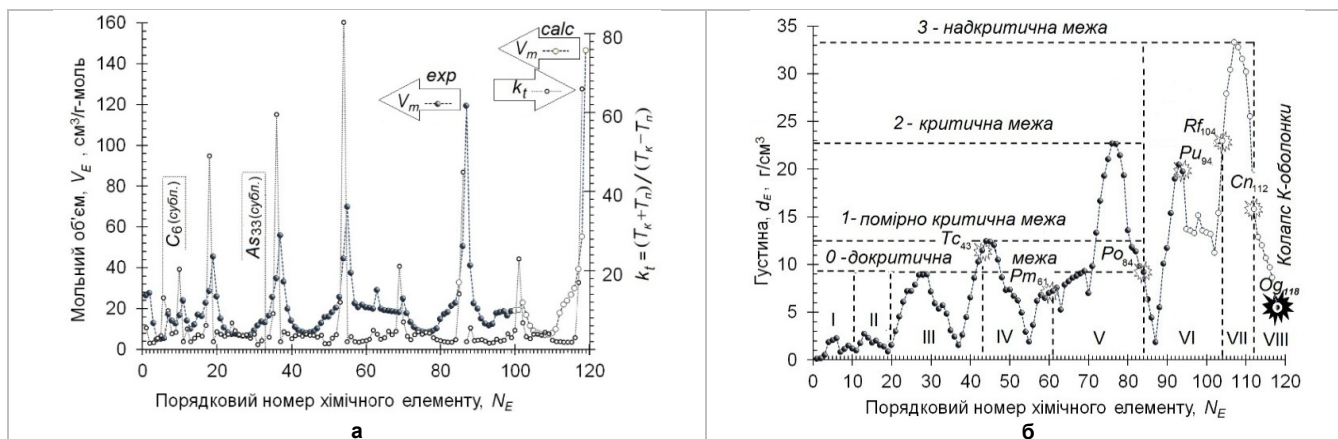


Рис. 3. Кореляція

а) періодичної залежності мольного об'єму V_E і температурного коефіцієнта $k_t = (T_k + T_n)/(T_k - T_n)$ хімічних елементів, а також б) питомої густини d_E для 118 елементів (включно з трансуранидами) від порядкового номера N_E в періодичній таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва (Додаткові пояснення в тексті)

Залежність питомої густини усіх 118 хімічних елементів від їх порядкового номера. На завершення прокоментуємо періодичну залежність $d_E = f(N_E)$ детальніше. Загальна картина такої залежності добре відома і в описовій, і у графічній формі [7–9], але в даній роботі показана повна закінчена картина для усіх 118 елементів практично закінченої 8-ми періодичної системи хімічних елементів. Частково питання обґрунтування межі періодичної системи авторами уже розглядалося [1], де допускалося можливість існування надкороткоживучих ізотопів хімічних елементів з $N_E \gg 118 \div 120$. Аналізуючи сучасні дані і результати наших попередніх досліджень [1, 2], є всі підстави вважати, що фізичною межею атомних мас є масове число $(M_N)_{max} = (308 \div 312) \times m_u$, де $m_u \div 1,66053904 \times 10^{-27}$ кг – загально прийнята атомна одиниця маси [14]. Такої межі можуть досягати ізотопи елементів з порядковим номером (тобто кількістю протонів у ядрі) $(N_E)_{max} = 118 \div 126$.

Для граничної маси гіперзірки, на наш погляд, має бути характерною аналогічна кратність космологічних одиниць: $(M_*)_{max} = (308 \div 312) \times M_\odot$, де $M_\odot = 1,9891 \times 10^{30}$ кг – маса зірки з параметрами ідеальної (температура киплячої поверхні $T_\odot = 5730$ К, радіус рівновеликої сфери $R_\odot = 6,95982278,8466 \times 10^8$ м), що майже збігається з параметрами Сонця [14, 20]. На це вказує характер простого обернено пропорційного зв'язку між космологічною і атомною одиницею:

$$M_\odot = \frac{1}{m_u} \times k_G = \frac{1}{m_u} \times \frac{c \cdot \mu_0^2 M_\odot^2}{2G \cdot N_0^3} = 1,98910 \times 10^{30} \text{ кг,}$$

де $N_0 = 2^{10} = 1024$.

А це призводить до синхронної кореляції періодів напіврозпаду, питомої густини та атомних радіусів трансуранидів елементів, з відповідними характеристиками надмасивних зір з масами $(M_*) > 200 \times M_\odot$. Такі зорі

дуже рідкісні у Всесвіті, але вже зафіксовані астрономами [19], причому рідкісні із тих самих причин, що й трансуранидів елементи – зростання питомої густини до критичних меж, а з цим і високу нестабільність, аж до зхлопування зовнішніх плазмових оболонок у зірках і К-електронного шару в атомах.

Відповідно до періодичності змін питомої густини хімічних елементів, як і в попередніх дослідженнях [1, 2], на рис. 3 б автори виділяють чотири характеристичні межі: докритична, помірковано критична, критична і надкритична. Як відомо, хімічні елементи, за винятком технецію (Tc_{43}) і прометію (Pm_{61}), до свинцю і вісмуту стабільні. Але для зірок, це виділені нами 0-ва та 1-ша межа, картина складніша [15, 21]. Їхня стабільність і просторові характеристики змінюються синхронно з періодичною зміною питомої густини, тому вся область розбита на вісім періодів (рис. 3, б, римські цифри I–VIII), де властивості зір кантовано (стрибокподібно) змінюються з масами, кратними $M_\odot \times (M_E)$, де M_E – маса приграничних ізотопів, що знаходяться на межі виділених 8-ми періодів. Так, зорі з масами, кратними першому нестабільному елементу Tc_{43} , тобто $(M_*) > (M_{Tc}) \times M_\odot = (90 \div 100) \times M_\odot$ також стають коротко живучими через зростаючу нестабільність. Наступний квантовий рівень нестабільності з магнітним збудженням починається з мас, кратних другому нестабільному елементу Pm_{61} , тобто $(M_*) > (M_{Pm}) \times M_\odot = (140 \div 150) \times M_\odot$.

При перевищенні помірно критичної межі наступний квантовий рівень високої нестабільності з розбуханням зоряних оболонок, тобто непропорційним збільшенням радіусів плазмового шару, який настає з мас, кратних третьому нестабільному елементу Po_{85} , тобто $(M_*) > (M_{Po}) \times M_\odot = (200 \div 210) \times M_\odot$. Четвертий квантовий стрибок нестабільності з інтенсивним роздуванням плазмової сфери настає з мас, кратних материнським нуклідам з виродженого нептуній-плутонієвого радіоактивного ряду тобто $(M_*) > (M_{Pu}) \times M_\odot = (240 \div 250) \times M_\odot$.

Детальніший виклад з ілюстрацією кореляції радіусів плазмових оболонок надмасивних зір з масами трансуранових елементів автори обговорять у наступній публікації. Тут хотілось би ще нагадати, що етап надмасивних зірок з миттєвим колапсом плазмової оболонки повинен наступати $(M_*)_{max} = (308 \div 312) \times M_{\odot}$, що відповідає ізотопам хімічних елементів з порядковими номерами від 118 до 126.

Усе це також узгоджується з характером розподілу атомних мас хімічних елементів від їх порядкового номера. Зокрема, якщо побудувати за уточненими на сьогоднішній день даними усереднених точних атомних мас хімічних елементів, приведених в таблиці, графічну функцію $M_E = f(N_E)$, то найточнішою функцією апроксимації такого розподілу буде степенева функція виду $y = ax^b$, або $M_E = a \times (N_E)^b$. Причому коефіцієнти a і b , визначені математичною комп'ютерною програмою на основі вказаних в таблиці експериментальних M_E практично співпадають з відповідними величинами, розрахованими із фундаментальних констант за формулами:

$$a = \left(\frac{1}{4\pi} \mu_o \right)^4 \frac{2e_o V_o^2}{\rho_o^2} = 1,609873572\dots;$$

$$b = 3 \sqrt{\frac{M_o}{2Z_o}} = 3 \sqrt{\frac{10^3}{2c\mu_o}} = 1,098954755\dots$$

Далі, підставляючи відповідні значення у формулу визначення середньої атомної маси для Og (заключного 118 елемента 8-го періоду – оганесону) одержимо $M_{Og} = a \times 118^b = 304,5765$ а.о.м.

Слід також відзначити цікаве співвідношення, характерне для середньої атомної маси першого хімічного елемента – водню ($M_H = 1,00797$ а.о.м. [18]) та маси альфа-частинки ($M_{\alpha} = 2M_p + 2M_n = 4,0318879$ а.о.м. [14]), зокрема:

$$M_{\alpha} = \frac{2\mu_n^{\circ} + 2\mu_p^{\circ}}{\mu_u^{\circ}} = 4(M_H^{\circ} + \Delta M_{\bullet}) = 4 + \frac{1}{100} \left(\frac{4\pi}{3} - 1 \right) =$$

$$= 4,03188790205,$$

де $\mu_n = 1838,683660542$ – співвідношення маси нейтрону до маси електрону [14], $\mu_p = 1836,152672478$ – співвідношення маси протону до маси електрону [14], $\mu_u = 1822,888484958$ – співвідношення атомної одиниці маси до маси електрону [14], а

$$\Delta M_{\bullet} = \frac{1}{4\pi} \mu_o^2 \times \frac{M_o^3}{2\Delta\mu_{np}} = 1,9755131145481 \times 10^{-6},$$

де $\Delta\mu_{np} = \mu_n - \mu_p = 2,530988007$.

Висновки. Показано, що параметри рівнянь кореляційних ліній розподілу простих речовин (хімічних елементів), сполук органічної і неорганічної природи у вигляді функцій: $T_n = f(T_k)$, $T_k = f(\Delta T_{kn})$, $T_n = f(\Delta T_{kn})$, де $\Delta T_{kn} = (T_k - T_n)$, та границь їх особливих зон, чітко взаємопов'язані на рівні простих математичних формул з фундаментальними константами: сталою тонкої структура – $\alpha_o = 0,0072973524$; константою гравітаційної взаємодії – $G = 6,67428 \times 10^{-11}$, $m^3(c \cdot kg)^{-2}$; електричним імпедансом – $Z_o = c\mu_o = 376,73031346$; мольним об'ємом – $V_o = 0,0224139682$ $m^3 \cdot k \cdot mоль^{-1}$; питомою енергією хімічного зв'язку $\Delta G_o = 395458,1716$ Дж $\cdot mоль^{-1}$; гравітаційним радіусом Сонця (врівноваженого згідно законів Кеплера) – $r_{\odot} = 1467,584624$ м, та інших.

Встановлено, що для областей вибраних точок (T_i) на функції $T_n = f(\Delta T_{kn})$, для яких $T_n = T_i$ лінії апроксимації до функції $T_k = f(\Delta T_{kn})$, мають лінійний характер з характерними коефіцієнтами: $y = 1,00092660467x + 302,179177315$. але нахилені до осі абсцис з тангенсом кута нахилу $(tg\alpha)_k = 1,001625958$, який пов'язаний простим спів-

відношенням з універсальною фізико-хімічною константою мольним об'ємом – $[(tg\alpha)_k / (2 \cdot 10^3)]^{1/2} \approx V_o = 0,0224139682$ $m^3 \cdot k \cdot mоль^{-1}$.

Виявлено практично синхронний хід двох періодичних залежностей мольного об'єму хімічних елементів V_E і їх температурного коефіцієнта $k_t = (T_k + T_n) / (T_k - T_n)$ від порядкового номера хімічних елементів. Виходячи з цього факту, був зроблений прогноз значень V_E , та розраховані на їх основі питомі густини (d_E) трансуранових елементів.

Проведено співставлення стабільності атомів і зірок на прикладі аналізу періодичної залежності питомої густини (d_E) усіх 118 відомих на сьогодні хімічних елементів від їх порядкового номера. Запропонована градація чотирьох граничних меж та восьми зон стабільності і стрибкоподібних переходів в стабільності зір відповідно до періодичних змін властивостей відповідних хімічних елементів з такою ж масовою кратністю для зір в космологічних масах як для атома в атомних масах $(M_*) = M_E \times M_{\odot} \leftrightarrow m_E = M_E \times m_u$. З'ясовано, що гранична межа як для атомів так і для зір наступатиме при досягненні кратності мас в $(308 \div 312)$ відповідних одиниць, тобто для зір $(M_*)_{max} = (308 \div 312) \times M_{\odot}$, а для атомів $(m_E)_{max} = (308 \div 312) \times m_u$, що відповідає ізотопам хімічних елементів з порядковими номерами від 118 до 126.

Список використаних джерел

- Максін В. І. / В.І. Максін, О.З. Стандритчук // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 2009. – Вип. 1(1–2). – С. 52–62.
- Maksin V. I., Standritchuk O. Z. Ekolohiia dovkillia ta bezpeka zhyttiedial'nosti. 2009, 1(1–2), 52–62. (In Ukrainian).
- Максін В. І. / В.І. Максін, О.З. Стандритчук. // Біоресурси і природокористування, 2017. – Вип. 9(3–4). – С. 20–28.
- Maksin V. I., Standritchuk O. Z. Bioresursy i pryrodokorystuvannia. 2017, 9(3–4), 20–28. (In Ukrainian).
- Максін В. І. / В.І. Максін, О.З. Стандритчук // Біоресурси і природокористування, 2013. – Вип. 5(5–6). – С. 24–37.
- Maksin V. I., Standritchuk O. Z. Bioresursy i pryrodokorystuvannia. 2013, 5(5–6), 24–37. (In Ukrainian).
- Семишин В. И. Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева / В.И. Семишин. – М.: Химия, 1972. – 188 с.
- Semishin V.I. D.I. Mendeleev Periodic System of Chemical Elements. Moscow: Khimia, 1972, 188 p. (In Russian).
- Щеголев В. А. // Природа, 2009. – Вип. 1. – С. 32–43.
- Schegolev V.A. Priroda. 2009, 1, 32–43. (In Russian).
- CRS Handbook of Chemistry and Physics. 70-th / Ed. R. C. Weast; Ed. Boca Raton, Florida: CRS Pres. Inc., 1984, 1990 p.
- Таблицы физических величин : справочник / Под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
- Table of physical units. Handbook. Ed. by I.K. Kikoin. Moscow: Atomizdat, 1976, 1008 p. (In Russian).
- Гороновский И.Т. Краткий справочник по химии / И.Т. Гороновский, Ю.П. Назаренко, Е.Ф. Некряч; под общ. ред. А.Т. Пилипенко. – К.: Наук. думка, 1987. – 830 с.
- Goronovskiy I.T., Nazarenko Yu.P., Nekryach E. F. A brief guide to chemistry. Ed. by A.T. Pilipenko. Kiev: Naukova dumka, 1987, 830 p. (In Russian).
- Температуры плавления и кипения чистых химических элементов при атмосферном давлении [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.himikatus.ru/art/melt_boil_el/melt_boil.php.
- Melting and boiling points of pure chemical elements at atmospheric pressure. URL: http://www.himikatus.ru/art/melt_boil_el/melt_boil.php
- Температуры плавления и кипения веществ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://chemister.ru/Database/Tables/mp.php?pageNum=1>.
- Melting and boiling points of substances. URL: <http://chemister.ru/Database/Tables/mp.php?pageNum=1>
- Periodic table – chart of all chemical elements. URL: <https://www.lenntech.com/periodic/periodic-chart.htm>.
- Interactive Chart of Nuclides. URL: <http://www.nndc.bnl.gov/chart/>.
- Mohr P.J., Newell D.B., Taylor B.N. Rev. Mod. Phys., 88(3), 035009-1–035009-73.
- Шкловский И.С. Вселенная, разум, жизнь / И.С. Шкловский. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
- Shklovskiy I.S. A Universe, a Mind, a Life. Moscow: Nauka, 1987, 320 p.
- Rosi G., Sorrentino F., Cacciapuoti L., Prevedelli M., Tino G. M. Nature, 2014, 510, 518–521.
- Tanabashi M. et al. Particle Data Group. Phys. Rev. D, 2018, 98(3), 030001.
- IAAW. Atomic weights of the elements, 2017. Available online at: www.iaaw.org.
- Millis J.P. The Top 10 Most Massive Stars. URL: <https://www.thoughtco.com/the-top-mostmassive-stars-3073630>.

Надійшла до редколегії 18.10.18

O. Стандритчук, канд. хим. наук, ozrest@ukr.net,
 В. Максин, д-р хим. наук
 Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТЫХ ВЕЩЕСТВ И ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ТЕМПЕРАТУРАМ ПЛАВЛЕНИЯ И КИПЕНИЯ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ДРУГИМИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Исследованы в большой выборке (более 2770 объектов) закономерности взаимосвязи между температурами плавления (T_n) и кипения (T_k) простых веществ (химических элементов) и различных химических соединений как неорганической, так и органической природы. Выявлены корреляции параметров соотношений температур с мольными объемами (V_E) и удельной плотностью (d_E) для 118 известных сегодня химических элементов. Выявлены строгие формульные связи с другими физико-химическими параметрами и константами. Удалось спрогнозировать и уточнить T_n , T_k , V_E и d_E химических элементов всего трансуранового ряда.

Ключевые слова: температуры плавления и кипения, химические элементы и соединения, мольный объем, плотность, константа гравитации, постоянная тонкой структуры, трансурановые элементы, предел массы атома.

O. Standrytchuk, PhD., ozrest@ukr.net,
 V. Maksin, Dr. Sc.
 National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

REGULARITIES OF DISTRIBUTION BY MELTING AND BOILING POINT OF SIMPLE SUBSTANCES AND CHEMICAL COMPOUNDS AND THEIR RELATIONSHIP WITH OTHER PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS

Investigated in large sample (over 2770 objects) the patterns of relationship between melting points (T_M) and boiling point (T_B) of simple substances (chemical elements) and different chemical compounds, inorganic and organic nature. The detected temperature ratio parameter to correlation with amount of molar volume (V_E) and specific density (d_E) for the 118 today known elements. Found the strict formula mating with other physical-chemical parameters and constants. Able to predict and refine T_M , T_B , V_E and d_E of the chemical elements all Tran's uranium series.

It is show that the correlation equations of lines of distribution of simple substances (chemical) compounds of organic and inorganic nature in the form of functions: $T_M = f(\Delta T_{MB})$, $T_B = f(\Delta T_{MB})$, where $\Delta T_{MB} = (T_B - T_M)$, and the boundaries of their special zones clearly correlated to the level of simple mathematical formulas with the fundamental constants. In particular next constant: the fine structure ($\alpha_0 = 0.0072973524$; constant of gravitation ($G = 6.67428 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot (\text{C} \cdot \text{kg})^{-2}$); the electric impedance ($Z_0 = c\mu_0 = 376,73031$); a molar volume ($V_0 = 0.0224139682 \text{ m}^3 \cdot \text{k} \cdot \text{mol}^{-1}$); a specific energy chemical connection $\Delta G_0 = 395458,1716 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$; and gravity radius (equally weighted according to Kepler's laws) $r_0 = 1467,584624 \text{ m}$, and others.

It is also shown that areas of selected points (T_i) on the function of the $T_M = f(\Delta T_{MB})$, for which $T_M = T_i$, the approximation lines on the function of $T_B = f(\Delta T_{MB})$, are linear in nature. This lines have characteristic coefficients: $y = 1,00092660467x + 302,179177315$, and tangent of an angle whose angle to the axis of the horizontal axis $\text{tg}(\alpha)_K = 1,0016259582$, the simple ratio of universal physical-chemical molar volume constant $[(\text{tg}^3 \alpha)_K / (2 \cdot 10^3)]^{1/2} \approx V_0 = 0,0224139682 \text{ m}^3 \cdot \text{k} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Found almost simultaneous move two periodicals dependencies molar volume V_E elements and their temperature coefficient $k_t = (T_B + T_M) / (T_B - T_M)$ from the sequence number of the chemical elements. Based on this fact, was made the forecast values of V_E , and calculated on the specific density (d_E) t of the all elements Tran's uranium series items. Experimental determination

Conducted a comparison of the stability of atoms and stars on the example of the analysis of the periodic dependence of the specific density (d_E) all of the 118 known elements today from their serial number. Also was the proposed graduation of four a limited bounders, and eight zones of stability to the same a stars stability of the transitions in similar vision in accordance with the periodic changes in the properties of the respective chemical elements with same mass multiplicity sight for cosmological masses. Namely, for the stars $-M_* = M_E \times M_\odot$ same as for the atomic masses same $-m_E = M_E \times m_u$. In addition, show that limit for atoms and you allow vision grown to the multiplicity of the masses $(308 \div 312)$ of the respective units, i.e. sight $(M_*)_{\text{max}} = (308 \div 312) \times M_\odot$, as for atoms $-(m_E)_{\text{max}} = (308 \div 312) \times m_u$ corresponding isotope of the elements with sequential numbers from N_E with 118 to 126.

Keywords: melting and boiling point, chemical elements, chemical compounds, molar volume, density, fundamental constants, constant of gravitation, fine structure constant, trans uranium elements, the atom mass limit.

UDC 546.302; 548.73

DOI: [https://doi.org/10.17721/1728-2209.2018.1\(55\).3](https://doi.org/10.17721/1728-2209.2018.1(55).3)

O. Vassilyeva, PhD, vassilyeva@univ.kiev.ua,

E. Buvaylo, PhD

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

B. Skelton, PhD

School of Chemistry and Biochemistry, M310, University of Western Australia

DIRECT SYNTHESIS AND CRYSTAL STRUCTURE OF BIS(BROMIDO-BIS(1,10-PHENANTHROLINE)-COPPER(II)) NITROPRUSSIDE DIMETHYLFORMAMIDE SOLVATE

The title compound, $[\text{Cu}(\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2)_2\text{Br}]_2[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NO})] \cdot \text{C}_3\text{H}_7\text{NO}$, was prepared by the self-assembly of nitroprusside anion and Cu cation containing a bidentate amine in the reaction of copper powder and sodium nitroprusside with NH_4Br and 1,10-phenanthroline (phen) in dimethylformamide (DMF). The complex is formed of discrete $[\text{Cu}(\text{phen})_2\text{Br}]^+$ cations, nitroprusside $[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NO})]^{2-}$ anions and DMF molecules of crystallization. The cation has no crystallographically imposed symmetry; the metal atom coordinates two nitrogen atoms of two phen molecules and bromide ion. The copper coordination geometry is intermediate between a square pyramid and a trigonal bipyramid. The $[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NO})]^{2-}$ anion is located on an inversion centre with the nitrosyl group modelled as disordered with one of the CN groups. The DMF solvent molecule was found to be disordered about the crystallographic inversion centre; geometries were restrained to ideal values. In the solid state, alternating layers of cations and of anions plus DMF molecules are stacked along the b axis.

Keywords: crystal structure, intermediate coordination geometry of copper(II), nitroprusside anion, disorder, layers of cations and of anions.

The $[\text{Cu}(\text{phen})_2]^{2+}$ cations (phen is 1,10-phenanthroline) whose apical sites can be filled by incoming bridges have been utilized as useful tectons for the construction of heterometallic compounds with desirable properties. Self-assemblies of $[\text{Cu}(\text{phen})_2]^{2+}$ and oxovanadium organophosphonates produced remarkable two- and three-dimensional materials [1]. Five different copper (II)-phenanthroline species were found to coexist in the crystal packing of inorganic-metalorganic hybrids based on Keggin

polyoxometalates and copper(II)-phenanthroline-oxalate complexes [2]. $[\text{Cu}(\text{phen})_2]^{2+} - [\text{W}^V(\text{CN})_8]^{3-}$ molecular assemblies with the $\text{W}^V\text{-CN-Cu}^{\text{II}}$ linkage showed pronounced ferromagnetic $\text{W}^V\text{-Cu}^{\text{II}}$ coupling for the equatorial cyano bridge at the Cu(II) center [3]. However, the combination of $[\text{Cu}(\text{phen})_2]^{2+}$ and pentacyanometalate, for instance, $[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NO})]^{2-}$, was rarely reported.

A synthetic strategy developed in our group – direct synthesis of coordination compounds – employs metal