

This is the author's version of the article:

Dekanski, Aleksandar, Kome će stići pismo adresirano imenima elemenata iz Periodnog Sistema, Elementi, 2019, 15, 8-16



This work is licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Коме ће стићи писмо адресирано именима елемената из периодног система?

Да бисмо одговорили на ово необично питање морамо да се осврнемо на неколико прича о Периодном систему елемената. Како је ред налаже, почећемо од његовог настанка, или, боље речено, од његовог открића, преко његовог развоја, а завршићемо приказом његовог данашњег облика.

Чак и данас, након 150 година, Периодни систем неизоставно повезујемо са руским научником **Димитријем Менделејевим** (*Дмитрий Иванович Менделеев*), као човеком који га је створио. Међутим, тешко се термин „створио“ може прихватити као тачан. Можда је боље рећи да је систем „откривен“, јер оно што га заправо чини јесу, ништа друго него природне особине елемената - Менделејев је то само установио и елементе на основу њих систематизовао. Али ни то није потпуно тачно! Истине ради, треба рећи и да је, иако је данас познат под именом Менделејева, скоро истовремено (чак и неколико година раније) и независно, готово истоветни периодни систем „открио“ и **Јулиус Лотар Мајер** (*Julius Lothar Meyer*). Ово је само једно од многих истовремених и независних научних открића која су се десила у историји науке, а питању ко је у ствари први открио периодни систем, вратићемо се касније – након што испричамо шта је претходило том открићу.

Од Лаваозјеа до Менделејева, или можда до Мајера

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
	Lumière	Lumière.
		Chaleur.
		Principe de la chaleur.
		Fluide igné.
		Feu.
		Matière du feu & de la chaleur.
Substances simples qui ap- partiennent aux trois ré- gnes. Elles se peut regarder comme les élé- mens des corps.	Calorique	Air déphlogistiqué.
		Air empiréal.
		Air vital.
	Oxygène	Base de l'air vital.
		Gaz phlogistiqué.
		Mofète.
		Base de la mofète.
	Azote	Gaz inflammable.
		Base du gaz inflammable.
	Hydrogène	Soufre.
Substances simples non métaux oxidables & acidifiables.	Soufre	Phosphore.
		Phosphore.
		Charbon pur.
		Inconnu.
		Inconnu.
		Inconnu.
		Antimoine.
		Argent.
		Arfenic.
		Bismuth.
Substances simples métal- liques oxidables & acidifiables.	Antimoine	Cobalt.
		Cobalt.
		Cuivre.
		Cuivre.
		Etain.
		Etain.
		Fer.
		Fer.
		Manganèse.
		Manganèse.
		Mercure.
		Mercure.
		Molybdène.
	Molybdène.	
	Nickel.	
	Nickel.	
	Or.	
	Or.	
	Platine.	
	Platine.	
	Plomb.	
	Plomb.	
	Tungstène.	
	Tungstène.	
	Zinc.	
	Zinc.	
	Chaux	Terre calcaire, chaux.
		Magnésie, base du sel d'epsom.
Substances simples salinés terreuses.	Magnésie	Barote, terre pesante.
		Barote, terre pesante.
		Argile, terre de l'alun, base de l'alun.
		Argile, terre de l'alun, base de l'alun.
	Silice	Terre siliceuse, terre vitrifiable.

33 основна Лаваозјеова елемента (*Traité Élémentaire de Chimie*, Cuchet Libraire, Paris, 1789, страна 192)

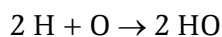
Да би се елементи распоредили на основу атомског броја (броја протона), њихове електронске конфигурације и понављајућих хемијских особина било је пре свега неопходно установити шта су елементи и какве су њихове релативне тежине. Антички филозофи су покушали да дефинишу елементе на основу њихових видљивих особина а не апстрактних форми, препознајући само четири – земљу, воду, ваздух и ватру (касније им је придодат и пети, мистериозни етер). Ови елементи су „преживели“ цео Средњи век, па и дуже од њега, уз неколико мање-више случајних открића алхемичара током покушаја да различите метале, пре свега олово, претворе у злато и да створе Камен мудрости. Настанак савремене хемије, као уосталом и целокупне модерне науке, започео је у тренутку када је напуштено алхемичарско мистично тумачење природе елемената, и када је прихваћено да знање може да се заснива само на експериментисању и искуству. **Бојл** (*Robert Boyle*) и **Лаваозје** (*Antoine-Laurent de Lavoisier*) били су први који су тврдили да се особине елемената могу дефинисати само на основу искуствених опажања, одбацујући улогу апстрактних елемената. Слично античким

филозофима, елементе су дефинисали као супстанце које није могуће даље делити на основније честице, са хемијске тачке гледишта. Лавоазје је 1789. објавио први списак од 33 елемента, тврдећи да су они елементарније супстанце од четири античка (земља, вода, ваздух, ватра). Већина наведених се и према данашњим стандардима сматра елементима, али занимљиво је да се на списку налазе и светлост (*lumière*) и топлота (*calorique*).

Промена у поимању природе и материје, емпиријски приступ истини и жеља да се објасни свет око нас иницирали су брз развој нових техника сепарације и анализе, па је Лавоазјеова листа у само неколико наредних деценија више него удвостручена. Тако је између 1790. и 1810 откривено 18, а до краја 19. века још 34 нова елемената.

НО – вода ?

Следећи велики корак ка установљавању периодног система начинио је учитељ из Манчестера, **Џон Далтон** (*John Dalton*) оживљавањем атомске теорије¹. Сматрајући да се најмања количина материје састоји од недељивих честица или атома, а на основу експерименталних података о томе колика количина водоника се комбинује са другим елементима, покушао је да установи који број атома водоника реагује са коликом бројем атома другог елемента. Пошао је од једноставне претпоставке да воду чине један атом водоника и један атом кисеоника и закључио је да је атом кисеоника 5,5 пута тежи од атома водоника, тј. да је релативна атомска тежина кисеоника у односу на водоник 5,5. Прва његова публикована табела са атомским тежинама² садржала је само 6 елемената. За јединичну тежину је узео тежину водоника, а тежине осталих елемената су биле: азот – 4,2; угљеник – 4,3; кисеоник – 5,5; фосфор – 7,2 и сумпор – 14,4 (Убрзо након публикавања кориговао је вредност тежине кисеоника на 8). Касније су **Јакоб Берцелиус** (*Jöns Jacob Berzelius*) и други савременици установили да се вода састоји од два атома водоника и једног атома кисеоника, па је Далтонова атомска тежина кисеоника удвостручена. **Геј Лисак** (*Gay-Lussac*) и **Хумболт** (*Humboldt*) су затим својим експериментима показали да гасови међусобно реагују у односу целих бројева запремина³, па су тако установили да две запремине водоника реагују са једном запремином кисеоника, стварајући две запремине водене паре, или сагласно Далтоновом тумачењу то би изгледало овако:



Данас знамо да ова једначина није у равнотежи, али то је тада тешко могло да се објасни, чак и опази, јер, по Далтону, атоми су недељиви. Ово је само један пример таквих конфузних једначина, а та конфузија и збуњеност око, не само формула већ и око структуре једињења, па и атомских тежина, владала је све док објашњење није нађено у радовима **Авогадра** (*Avogadro*) који је још 1811. закључио да једнака запремина гасова (под истим условима температуре и притиска) садржи једнаки број молекула⁴. Када је то узето у обзир, објашњење је лако нађено: прво – број молекула паре на крају је једнак броју молекула водоника на почетку, и друго – двоструко више је молекула воде него атома кисеоника. Из тога проистиче да је број атома водоника у молекулу воде двоструко већи од броја атома кисеоника, тј. формула воде није Далтоново НО, већ Н₂О. Авогадро је закључио и да се молекули гасова не састоје од једног атома, уз једноставан аргумент: да се

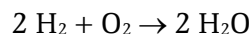
¹ Scerri ER. 2007 *The periodic table, its story and its significance*. New York, NY: Oxford University Press.

² Dalton J. 1808 *A new system of chemical philosophy*. London, UK: Bickerstaff.

³ Gay Lussac JF Reprinted 1923 *Alembic Club Reprints*, No. 4. Edinburgh, UK: E. and S. Livingstone

⁴ Avogadro A. 1890 *Essay on a manner of determining the relative masses of the elementary molecules of bodies, and the proportions in which they enter into these compounds*. *J. Phys.* 73, 58–78 (1811), as translated in *Alembic Club Reprint No. 4* (Edinburgh).

састоје од по једног атома, молекули водоника и кисеоника би формирали исти број (један) молекул воде. Само ако се молекули водоника и кисеоника састоје од по два атома, могуће је да два запремине, два молекула (4 атома) водоника, реагују са једном запремином, једним молекулом (2 атома) кисеоника и створе два молекула воде формуле H_2O . Другим речима, тачна једначина је:



Када је 1860. године, на сада већ чувеној првој међународној конференцији хемичара у Карлсруеу (*Karlsruhe*), **Станислао Каницаро** (*Stanislao Cannizzaro*) оживео Авогадрову хипотезу и на основу ње поуздано и прецизно приказао одређене атомске тежине познатих елемената, стекли су се предуслови да се размишља о односима између установљених атомских тежина и особина елемената⁵.

(Li + Ca) / 2 = Na (ЛиКа на два, и еџо ја На)

Ипак вратимо се пар деценија у прошлост. И пре ових открића неки научници су били на трагу периодичности особина елемената. Иако није установио никакав систем или табелу елемената, немачки хемичар **Волфанг Деберајнер** (*Wolfgang Döbereiner*) је на основу експеримената и атомских тежина, још 1827, открио 5 тријада елемената⁶. Наиме, он је установио да постоје групе од по три елемента (нпр. **тријада елемената који стварају соли**: хлор – бром – јод,), код којих је атомска тежина средњег у низу (80,47) приближно једнака просечној тежини збира атомских тежина лакшег (35,47) и тежег (126,47) од њега. И не само то, установио је да су хемијске и физичке особине средњег елемента у низу, отприлике између особина преостала два. Поменимо и преостале 4 тријаде - **елементи који формирају базе**: литијум (6,94) – натријум (23,02) – калијум (39,10); **који формирају земне базе**: калцијум (40,1) – стронцијум (88,7) – баријум (137,3); **елементи који формирају киселине**: сумпор (32,239) – селен (80,741) – телур (129,243) и **безимена тријада (метали)**: гвожђе (55,8) – кобалт (57,3) – никал (58,7). Уз ову последњу је стајала напомена да атомске тежине захтевају верификацију.

Ово је био први наговештај будућих открића која ће бити крунисана радовима Менделејева и Лотара Мајера на дефинисању периодног система, па и каснијих **Џона Томсона** (*Sir Joseph John Thomson*), **Ернста Радерфорда** (*Ernest Rutherford*) и **Нилса Бора** (*Niels Henrik David Bohr*) на откривању структуре атома. Још један такав наговештај учинио је шкотски физичар **Вилијам Праут** (*William Prout*), који је почетком 19. века поставио хипотезу да је водоник праматерија и да су атоми свих елемената настали његовим згушњавањем. Хипотеза је заснована на анализи атомских тежина тада познатих елемента и на закључку да су оне цели бројеви по којима се види колико је пута неки атом тежи од атома водоника. Иако је ова хипотеза нетачна - пошто данас знамо да атомске тежине многих елемената нису цели бројеви - она је утицала на развој савремене хемије.

Необјављена сџирала

Сва ова сазнања су учинила да се у само једној деценији након конгреса у Карлсруеу дође до савременог периодног система. Само две године након конгреса, француски геолог Емил **Бегуиле де Шанкуртуа** (*Émile Béguyer de Chancourtois*) је у часопису *Comptes Rendus*

⁵ Cannizzaro S, Nuovo Cimento I. 1858 Sketch of a course on chemical philosophy. 7, 321–366, translated in Alembic Club Reprints, Edinburgh, reprinted 1923, No 18, p. 11 Edinburgh, UK: Alembic Club, E. and S. Livingstone.

⁶ Döbereiner JW. 1829 Versuch einer Gruppierung der elementaren Stoffe nach ihrer Analogie. Pogg Ann. Phys. Chem. 15, 301–307.

Де Шанкуртуов спирални периодни систем

de l'Academie des Sciences⁷ публиковао први тродимензионални периодни систем. Де Шанкуртуа је расподелио елементе дуж спирале описане око металног цилиндра. Пун круг се састојао од 16 елемената, а седамнаести се налазио тачно испод првог. Већина елемената је распоређена као и у савременом периодном систему, али постојале су и грешке, као на пример код положаја 1889 Издавач је сматрао да је илустрација небитна, па је није штампао уз текст, који је објављен у три дела (дигитализовани том, па и овај чланак могуће је пронаћи на интернету, на адреси <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bp-t6k30115?rk=21459;2>). То је одузело визуелну вредност система, па је де Шанкуртуа, љут на издавача, поново сам публиковао рад. Стицајем ових околности рад је остао потпуно незапажен, па је разочарани де Шанкуртуа изгубио интерес за своју идеју и посветио се другим научним активностима. Ипак, рад није свима промакао, Менделеев га је споменуо у свом предавању одржаном 1889. године у Лондону при додели Фарадејеве награде (*Faraday Lectureship Prize*), али уз напомену да аутор није схватио систем као „природан“.

Окшава: музичка - га, хемијска - не

Енглец **Џон Њулендс** (John Newlands), по пореклу Шкот а по занимању хемичар у фабрици шећера и приватни учитељ, поделио је 1863. елементе у седам група истражујући бројчане зависности њихових атомских тежина. Прву групу чинили су литијум, натријум, калијум, рубидијум, цезијум и талијум, а у њој је постојало место и за елемент са атомском тежином 163 који је тек требало открити. Иако је направио грешку у вези тог елемента, као и у сврставању талијума у ту групу, Њулендс а не Менделеев, први је предвидео постојање непознатих елемената на основу особина које се периодично понављају. Временом је усавршавао своју табелу елемената, да би на предавању које је одржао у Лондонском хемијском друштву (*London Chemical Society*) објавио свој „Закон октава“ и приказао табелу са 62 елемента подељених у осам група. Како није имао формално образовање а ни академски статус, уз неспретни покушај да своју табелу пореди са музичком октавом, из публике му постављено злонамерно питање да ли је размишљао да елементе сложи по абecedном реду, што би можда била боља класификација од његове. Чланови Друштва су након тога одбили да публикују његов чланак, али га је он ипак објавио у часопису *Хемијске новостии* (*Chemical News*) приватног издавача **Вилијема Крукса** (William Crookes)⁸. Двадесетак година касније, његов рад је ипак препознат. Када су Менделеев и Мајер 1882. године добили Дејвијеву медаљу коју додељује Краљевско Друштво у Лондону ((), Њулендс је учинио све како би његов допринос развоју периодног система био признат, што се напослетку и догодило када је и он награђен истом медаљом 1887. године.

⁷ Beguyer De Chancourtois AE. 1862 Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 54, 757–761, 840–843, 967–971.

⁸ Newlands JAR. 1866 On the law of octaves. Chem. News 13, 113–114

no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.	no.
H 1	F 8	Cl 15	Co and Ni 22	Br and Ni 22	Pd 36	I 42	Pt and Ir 50		
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51		
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba and V 45	Hg 52		
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce and La 33	U 40	Ta 46	Tl 53		
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54		
N 6	P 23	Mn 20	As 27	Di and Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55		
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro and Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56		

Њуландсова табела која илуструје закон октава. Једна од значајнијих карактеристика је исправна замена места елемената телура и јода, једно од дела које се обично приписује Менделејеву.

Кућна помоћница

За разлику од претходне двојице, **Вилијем Одлинг** (*William Odling*) је био угледан и цењен

Одлингова табела са 57 елемената

научник и хемичар. Био је, између осталог, професор Краљевске институције (*Royal Institution*), предавач у болници Светог Бартоломеја у Лондону, професор у Оксфорду, председник Лондонског хемијског друштва (*Chemical Society*) и Краљевског хемијског института (*Royal Institute of Chemistry*). Осим тога, за разлику од де Шанкуртуа и Њуландса, он је присуствовао конференцији у Карлсруеу и био је један од највећих заговорника Каницаровог приступа хемији. Иако је 1864. објавио своју табелу са 57 елемената⁹ (у време када је Њуландс укључио само 24), у којој су први пут издвојени такозвани прелазни елементи, он је изгледа себе више доживљавао као „кућну помоћницу“, а не као главног протагонисту приче о откривању и систематизацији елемената. Сматрао је да треба да се посвети фундаменталној науци а не, како је

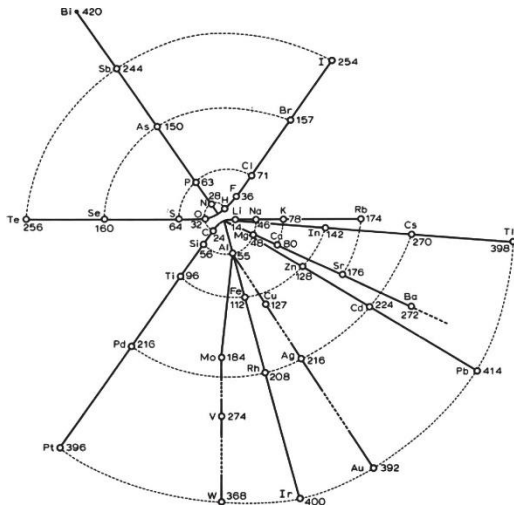
то тада вероватно изгледало, обичној класификацији.

Точак бицикла

Међу онима који су допринели откривању периодног система, **Густавус Хинрис** (*Gustavus Detlef Hinrichs*) је сигурно најзанимљивији и најзагонетнији. Његов приступ дефинисању периодног система ослањао се и на астрономију, и на спектроскопију, и на минерологију, па чак и на нумерологију. Овај Данац, рођен у данашњој Немачкој (у Линдену, област Холштајн), одмах након што је 1860. дипломирао на политехничкој школи Универзитета у Копенхагену (у периоду између Првог (1848-52) и Другог (1864) шлезвичког рата који су вођени између Данске и Пруске због области Шлезвиг-Холштајн) емигрирао је из политичких разлога у Сједињене Државе и тамо три године касније постао професор на Универзитету у Ајови (*University of Iowa*). Своје идеје о периодном систему први пут је изнео још 1855, а потпуно дефинисан систем објавио је у својој књизи *Атомеханика или хемија механике данашња* 1867. године¹⁰. У кружном периодном систему, облика

⁹ Odling W. 1864 On the proportional numbers of the elements. Q. J. Sci. 1, 642–648

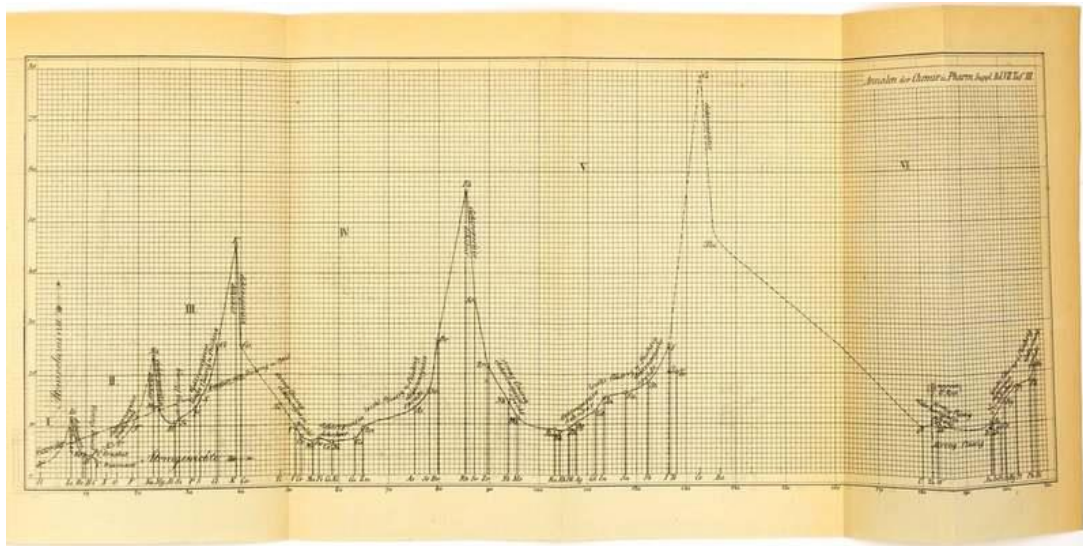
¹⁰ Hinrichs G. 1867 Atomechanik oder die Chemie Eine Mechanik der Panatome. Davenport, IA



Хинрисов периодни систем – елементи распоређени дуж жбица бицикличног точка. пропустио да установи и сам Менделејев.

Шта је чекао 27 година?

Да је немачки хемичар Лотар Мајер своју коначну табелу периодног система објавио одмах након што ју је сачинио, савремени периодни систем би вероватно био поистовећиван са његовим, а не Менделејевим именом. Прву верзију са 28 елемената публиковао је још 1862. године, унапређену са 50 елемената 1864, а коначну, веома сличну оној коју ће Менделејев публиковати 1869, тек 27 година након што ју је сачинио 1868. Ипак, остаје под сумњом да ли је та табела заиста тако изгледала и 1868, или је у међувремену додатно коригована. Додуше, у чланку објављеном 1870.¹² Мајер је приказао дијаграм на чијој се ординати налазе атомске тежине, а на апциси атомске запремине, са серијом максимума и минимума. Најелектронегативнији елементи налазе се на максимумима, по реду раста њихових атомских тежина. Овај дијаграм је сигурно био основа за израду његове табеле периодног система.



Мајеров дијаграм зависности атомских запремина од атомских тежина елемената

¹¹ Kauffman, G. B. 1969 American forerunners of the periodic law. Journal of Chemical Education 13, 128-135

¹² Lothar Meyer J. 1870 Die Natur der Chemischen Elemente als Function ihrer Atomgewichte. Annalen der Chemie, Supplementband 7, 354–364

Изглед табеле Лотара Мејера је конзистентнији и прецизнији од оне коју је објавио Менделејев, укључујући и исправно постављање живе са кадмијумом, калаја са оловом и талијума са бором, што Менделејев није учинио ни у једном случају.

1	2	3 Al=27.3 Mg=14.8	4 Al=27.3	5	6	7	8 C=12.00 16.5 Si=28.5 Mg=14.8
Cr=52.6	Mn=55.1 49.2 Ru=104.3 92.8=146.4 Pt=197.1	Fe=56.0 48.9 Rh=103.4 92.8=146.4 Ir=197.1	Co=58.7 47.8 Pd=106.0 93=146.5 Os=199.	Ni=58.7	Cu=63.5 44.4 Ag=107.9 88.8=144.4 Au=196.7	Zn=65.0 46.9 Cd=111.9 88.3=144.5 Hg=200.2	C=12.00 16.5 Si=28.5 Mg=14.8 Al=27.3 S=32.0 P=31.0 K=39.1 Ca=40.0 Ti=48 Mn=55.1 Fe=56.0 Co=58.7 Ni=58.7 Cu=63.5 Zn=65.0 Ga=70.0 Ge=72.6 As=75.0 Se=78.8 Br=79.9 Kr=83.8 Rb=85.4 Sr=87.6 Y=88.9 Zr=91.2 Nb=92.9 Mo=95.9 Ru=101.1 Rh=102.9 Pd=106.4 Ag=107.9 Cd=112.4 In=114.8 Sn=118.7 Sb=121.8 Te=127.6 I=126.9 Xe=137.0 Ba=137.3 La=138.9 Ce=140.1 Pr=140.9 Nd=144.2 Pm=145 Sm=150.4 Eu=151.9 Gd=157.3 Tb=158.9 Dy=162.5 Ho=164.9 Er=167.3 Tm=168.9 Yb=173.0 Lu=175.0 Hf=178.5 Ta=182.0 W=183.8 Re=186.2 Os=193.0 Ir=192.2 Pt=195.1 Au=197.0 Hg=200.6 Tl=204.4 Pb=207.2 Bi=208.98 Po=209
9	10	11	12	13	14	15	
N=14.4 16.96 F=31.0 44.0 Ar=75.0 45.6 Sb=120.6 87.4=143.7 Bi=208.0	O=16.00 16.07 S=32.07 46.7 Se=78.8 49.5 Te=128.3	F=19.0 16.46 Cl=35.46 44.5 Br=79.9 46.8 I=126.8	Li=7.03 16.02 Na=23.05 16.08 K=39.13 46.3 Rb=85.4 47.6 Cs=133.0 71=135.5 Te=204.0	Be=9.3 14.7 Mg=24.0 16.0 Ca=40.0 47.6 Sr=87.6 49.5 Ba=137.1	Ti=48 42.0 Zr=90.0 47.6 Ta=137.6	Mo=92.0 45.0 Vd=137.0 47.0 W=184.0	

Периодни систем Лотара Мајера из 1868, публикован тек 1895.

Ипак, Менделејев његовој периодној табели!

Оно што Мајер није учинио, а што Менделејева ставља испред свих споменутих хемичара и због чега се његово име (ипак) заслужено поистовећује са периодним системом, јесте то што је он кориговао атомске тежине и положаје неких познатих елемената, али и - што је још значајније - претпоставио постојање пет до тада још увек непознатих елемената, чије је приближне атомске тежине и особине био у стању да предвиди. Открића (и синтезе вештачких) елемената која су уследила наредних година и деценија, све до наших дана, у потпуности су потврдила те претпоставке. Табела периодног система објављена је у фебруару 1869¹³, а већ 1875. откривен је галијум, елемент који је Менделејев предвидео и назвао ека-алуминијум (Ea) јер се налазио одмах иза алуминијума. Особине откривеног елемента су у потпуности одговарале ономе што је Менделејев предвидео: атомска тежина 69,72 (предвиђена око 68); густина 5,9 g/cm³ (предвиђена 6,0 g/cm³); тачка топљења 29,78 °C (предвиђено – ниска), валентност 3 (предвиђена 3); метод откривања спектроскопски (предвиђено – вероватно из спектра); оксид: Ga₂O₃ густине 5,88 g/cm³, растворан и базама и киселинама (предвиђено: Ea₂O₃ густине 5,5 g/cm³, растворан и базама и киселинама).

¹³ Mendeleev DI. 1869 Sootnošenje svojstv s atomnym vesom elementov. Zh. Russ. Khim. Obshch. 1, 60–77

Series.	GROUP I. R ₂ O.	GROUP II. RO.	GROUP III. R ₂ O ₃ .	GROUP IV. RH ₃ , RO ₂ .	GROUP V. RH ₃ , R ₂ O ₃ .	GROUP VI. RH ₂ , RO ₂ .	GROUP VII. RH. R ₂ O ₂ .	GROUP VIII. RO ₂ .
1	H=1							
2	Li=7	Be=9.4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27.3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35.5	
4	K=39	Ca=40	—44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Ce=59 Ni=59, Cu=63
5	(Cu=63)	Zn=65	—68	—72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	? Y=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—100	Ru=104, Rh=104 Pd=106, Ag=108
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	I=127	
8	Cs=133	Ba=137	? Di=138	? Ce=140	....	....	....	....
9 .....	....	....	....	....	....	....	....	....
10 .....	....	....	? Er=178	? La=180	Ta=182	W=184	....	Os=195, Ir=197 Pt=198, Au=199
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	....	....
12 .....	....	....	....	Th=231	....	U=240	....	....

Друга верзија Менделјејевог периодног система из 1871. Обележена су места за тада непознате елементе.

Мајер и Менделјејев никада се нису срели, нити су познавали рад један другог чак ни након 1870. године, али су обојица били присутни на конференцији у Карлсруеу, и обојица су као млади научници, у размаку од 5 година, радили у лабораторији Роберста Бунзена (*Robert Wilhelm Eberhard Bunsen*) у Хајделрбергу, Мајер 1854-57, Менделјејев 1859-61. Без обзира на то, готово истовремено су открили периодне законе и сачинили готово идентичне периодне системе. Разлике између та два система нису суштинске и само су допуниле недостатке и мањкавости оног другог. То је препознала и научна заједница, па су за свој рад 1882. заједно добили Дејвијеву медаљу Краљевског удружења у Лондону. Занимљиво је да Мајер није полагао право на приоритет у открићу и увек је истицао да није био у стању да предвиди постојање неоткривених елемената, као што је то учинио Менделјејев.

Истовремена открића - изузетак или правило

Истовремена открића, као што је ово Мајера и Менделјејева, нису ретка. На једној страници Википедије наведено их је више од 150, од XVI века до данас¹⁴, а далеко од тога да су побројана сва. Та тема је прилично контроверзна међу онима који проучавају природу и историју науке. Генерално, историчари и филозофи имају став да су такве појаве случајност и сматрају их за неку врсту аномалије. На пример, у сада већ класичној књизи **Томаса Куна** (*Thomas Kuhn*)¹⁵ научне револуције и преломни момент у науци су искључиво достигнућа једне особе, било да је то Њутн, Дарвин, Ајнштајн или Хокинг.

Са друге стране, социолози науке феномен истовременог или вишеструких открића пре виде као потпуно природан, и сматрају га пре правилом него изузетком. **Роберт Мертон** (*Robert King Merton*)¹⁶ сматра да промене парадигми и научне револуције нису првенствено рационалан процес, већ су регулисани колективном променом размишљања (*gestalt switches*) и друштвеним факторима. То је охрабрило социологе науке да превазиђу став да наука пружа само објективно знање о свету и омогућило им укључивање друштвених

¹⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_multiple_discoveries

¹⁵ Kuhn TS. 1962 The structure of scientific revolutions. Chicago, IL: The University of Chicago Press

¹⁶ Merton RK. 1973 The sociology of science. Chicago, IL: Chicago University Press

фактора у научни развитак, па чак извесну дозу релативизма у природу научног напретка. Тако посматрано, на пример, Дарвинов став о еволуцији врста је прихваћен пре зато што су друштвени услови у Енглеској деветнаестог века фаворизовали такве идеје, а не зато што је Дарвин открио део истине о томе како се природа понаша. И откриће, а пре свега прихватање Периодних закона и периодног система, не би били могући да у то време друштвене (па у оквиру тога и економске) околности нису биле спремне на то.

Писмо

Почетком 2019. навршиће се 150 година од открића периодног система, боље речено од када је Менделејев публиковао своју прву верзију система. Показали смо да је то био процес који је трајао деценијама и да је у њега било укључено много људи (у почетку су то мање-више били лаици, да би се тек у последњих седам година проблему посветили професионални, школовани хемичари). Периодни систем се, како је то Менделејев и предвидео, непрекидно допуњава и усавршава, али, што је још важније, испоставило се да је његово установљење био предуслов многим важним, можда и најважнијим, научним открићима у последњих век и по. Захтевало би превише простора да се она само поброје, па ће овде бити наведено само неколико: **Бекерел** (*Antoine Bequerel*) – радиоактивност (1886); **Сер Вилијам Рамзи** (*Sir William Ramsay*) и **Барон Рејли** (*Lord Rayleigh*) – племенити гасови, сврстани у групу 0 периодног система (1894); **Радерфорд** (*Rutherford*) – природа радиоактивности (1903); **Бор** (*Bohr*) – структура атома (1913); **Чадвик** (*Chadwick*) – неутрино (1932); **Сиборг** (*Seaborg*) и сарадници – актиноиди и лантаноиди (до 1951). О свима њима, као и о многима који овде нису споменути, могу се испричати занимљиве и често необичне приче, а она о последњем са овог кратког списка можда је најзанимљивија.

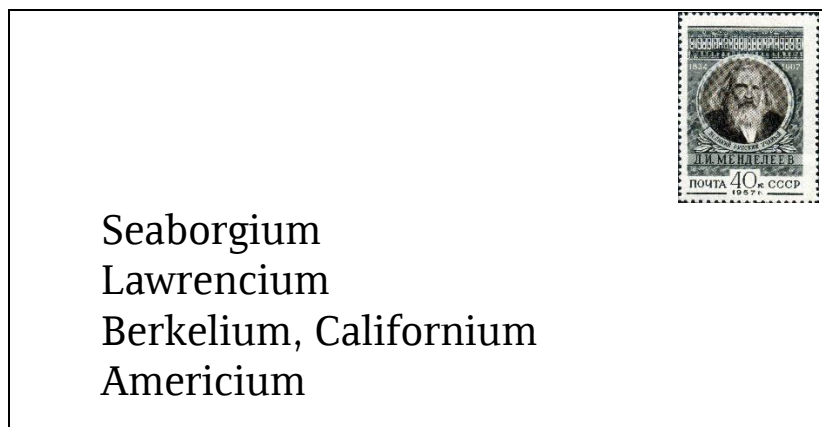
Хемичар шведског порекла, **Глен Теодор Сиборг** (*Glenn Theodore Seaborg*), већи део радног века провео у Лоренц Беркли националној Лабораторији Универзитета Калифорнија (*Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), University of California*) где је током четврте и пете деценије двадесетог века био главни или веома значајан проналазач у тимовима који су открили и истраживали 10 трансуранијумских елемената: плутонијум (елемент 93), америцијум (95), киријум (96), берклијум (97), калифорнијум (98), ајнштајнијум (99), фермијум (100), менделевијум (101), нобелијум (102) и сиборгијум (106). Нобелову награду је добио 1951. године, а био је саветник за нуклеарну политику десет америчких председника (од Трумана до Клинтона). Иако се од почетка каријере залагао за искључиво мирнодопску примену нуклеарне енергије и целог живота био поборник такве идеје, био је укључен у пројекат Менхетн, помагајући у освајању екстракционог процеса за изоловање плутонијумског горива за другу атомску бомбу, бачену на Нагасаки. Плутонијум је откривен 1941. године, али је откриће објављено тек 1945. Научницима који су радили на атомској бомби је чак било забрањено да за 94. елемент користе име плутонијум, јер је сваки састојак бомбе била строга тајна. Зато су тај нови елемент називали бакар, а ако је било потребно да користе бакар, њега су називали „тако ми бога бакар“ (*honest-to-God copper*). Како је у то време проналазач имао право да елементу који је открио да име и симбол, Сиборг је по угледу на претходне 1940. године откривени нептунијум, одлучио да новом елементу да име по најмањој планети сунчевог система Плутону, а за



симбол је изабрао *Pu*. Логично је било да симбол буде *Pl*, а разлог зашто Сиборг није тако поступио откривен је тек недавно. По речима његових колега, у чланку објављеном 2000. године у часопису *Los Alamos Science*, поводом Сиборгове смрти (1999. године), у питању је била обична шала (можда и не сасвим обична). Симбол *Pu* се на енглеском изговара *ју-ју*,

исто као што деца узвикну када виде и помиришу нешто ружно и смрдљиво - **Pee-Yoo!** Да ли је Сиборг тако желео да скривено искаже свој став што је атомска бомба бачена на Јапан иако се томе и јавно противио и написао то у писму председнику Труману? Аутори поменутог чланка кажу да није – да је у питању само шала. Да ли је?

Ако се обрати пажња 10 елемената у чијем откривању је Сиборг учествовао, именовани су или по географским одредницама места где су откривени – Америка, Калифорнија, Беркли, или по значајним именима хемијске науке Кири, Ајнштајн, Ферми, Менделејев, Нобел, закључно са самим Сиборгом, по којем је још за његовог живота назван елемент којег је открио. И ево, долазимо до одговора на питање из наслова овог текста:



Глен Сиборг је био једини човек који је за живота могао примити на овакав начин адресирано писмо.

Има ли краја?

Изглед и све промене у Периодном систему елемената данас су у надлежности Међународне уније за чисту и примењену хемију - *The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)*. Последња верзија Периодног система публикована је 28. новембра 2016. године, када су званично верификована 4 новооткривена (синтетисана) елемента. По правилима IUPAC, након што је од стране Заједничке радне групе - *Joint Working Party (JWP)* IUPAC и IUPAP (Међународне уније за чисту и примењену физику - *International Union of Pure and Applied Physics*) размотрен захтев за верификацију нових елемената и начињен извештај, претходно прегледан од стране независних експерата и прихваћен од стране комитета IUPAC Секције за неорганску хемију (*Division of Inorganic Chemistry (Division II)*), 30 децембра 2015. је објављена верификација открића 4 нова елемента: 113, 115, 117 и 118¹⁷. Они су тада добили привремена имена и симболе (на основу броја у периодном систему): unpuntrium, Uut; unpunpentium, Uup; unpunseptium, Uus; и unpunostium, Uuo. Проналазачи нових елемената су тог тренутка добили могућност да предложе имена и симболе нових елемената, а након тога је уследила петомесечна јавна верификација открића. Коначну одлуку донео је Биро ове организације (*IUPAC Bureau*) 28. новембра 2016., што је два дана касније објављено на сајту IUPAC¹⁸, а публиковано у децембарском броју часописа *Pure and Applied Chemistry*¹⁹. Имена нових елемената су: 113 нихонијум (Nh); 115 московијум (Mc); 117 тенесин (Ts) и 118 оганесон(Og). Прича о томе

¹⁷ <http://iupac.org/discovery-and-assignment-of-elements-with-atomic-numbers-113-115-117-and-118/>

¹⁸ <https://iupac.org/iupac-announces-the-names-of-the-elements-113-115-117-and-118/>

¹⁹ Öhrström L, Reedijk J. 2016 Names and symbols of the elements with atomic numbers 113, 115, 117 and 118 (IUPAC Recommendations 2016). *Pure Appl. Chem.* 88(12), 1225–1229

ко их је открио, како су добили имена и о несугласицама научника око доказа да су заиста откривени налази се у претходном чланку.

Актуелни периодни систем садржи 118 елемената, а последња 4 синтетисана попунила су његов седми ред. Ажурна, интерактивна верзија IUPAC периодног система елемената и изотопа, која садржи скоро све информације о сваком елементу, доступна је на сајту *The King's Centre for Visualization in Science*: <http://www.isotopesmatter.com/applets/IPTEI/IPTEI.html>. Последња активност везана за ажурирање вредности у периодном систему је предлог корекције стандардних атомских тежина за 14 елемената који је септембра 2017. усвојен од стране Комисије за карактеристике изотопа и атомске тежине (*IUPAC Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights*) и јавно публикован јуна ове године²⁰.

Сви елементи од 95. надаље су синтетички, од 100. непознатог агрегатног стања, а од 109. (осим елемента 112, коперницијум) и непознатих хемијских својстава. Од 94 природна елемента, 11 се може пронаћи само у ланцима распадања примордијалних елемената. Већина трансуранијумских елемената има кратак век постојања, неки се распадају у времену краћем од једне секунде, а синтетисани су у количинама од само неколико атома, па им није могуће одредити хемијске особине, чак ни агрегатно стање.

Непрестано откривање, синтетисање нових елемената поставља питање да ли постоји крај, односно која је највећа могућа атомска тежина једног елемента. Елиот Адамс је 1911. тврдио да елемент са тежином већом од 256 не може да постоји²¹ (елемент 100, фермијум, има атомску тежину 257), а данас постоји неколико теорија које тврде да ће до прекида доћи на елементу 128 по једној²², 137 по другој²³, 155 по трећој²² а 173 по четвртој²⁴, али постоји мишљење да ни то није граница²³.

²⁰ <http://www.ciaaw.org/news.htm>

²¹ Elliot, Q. A. 1911 A modification of the periodic table. *Journal of the American Chemical Society*. 33(5), 684—688

²² Emsley, J. 2011 *Nature's Building Blocks: An A–Z Guide to the Elements*. New York, NY, Oxford University Press.

²³ <https://www.chemistryworld.com/opinion/column-the-crucible/3005076.article>

²⁴ Greiner, W.; Schramm, S. 2008 Resource Letter QEDV-1: The QED vacuum. *American Journal of Physics*. 76, 509