

Otkriće periodnog sustava elemenata i odjek u Hrvatskoj

Bošković, Klara

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Pharmacy and Biochemistry / Sveučilište u Zagrebu, Farmaceutsko-biokemijski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:163:643581>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Pharmacy and Biochemistry University of Zagreb](#)



Klara Bošković

**Otkriće periodnog sustava elemenata i odjek u
Hrvatskoj**

DIPLOMSKI RAD

Predan Sveučilištu u Zagrebu Farmaceutsko-biokemijskom fakultetu

Zagreb, 2019.

Ovaj diplomski rad prijavljen je na kolegiju Povijest farmacije Sveučilišta u Zagrebu Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta i izrađen na Zavodu za analitičku kemiju pod stručnim vodstvom doc. dr. sc. Suzane Inić.

Zahvaljujem doc. dr. sc. Suzani Inić te dr. sc. Vanji Flegar na savjetima i materijalima koji su mi pomogli u izradi ovog rada. Zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na potpori i razumijevanju koje su mi pružili tijekom mog školovanja.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Povijesni pristup razvoju kemije	2
2. OBRAZLOŽENJE TEME	7
3. MATERIJALI I METODE	9
4. REZULTATI I RASPRAVA	11
4.1. Razvoj sistematizacije kemijskih elemenata	12
4.2. Otkriće periodnog sustava elemenata	16
4.2.1. Dmitrij Ivanovič Mendeljejev i njegov periodni sustav elemenata	16
4.2.2. Otkrića elemenata nakon objave periodnog sustava elemenata	18
4.2.3. Zakon periodičnosti u kemiji	21
4.2.4. Otkriće radioaktivnosti	23
4.2.5. Izotopi	25
4.2.6. Nove spoznaje o strukturi atoma	26
4.2.7. Kvantna mehanika	27
4.2.8. Moderna tablica periodnog sustava elemenata	31
4.3. Hrvatska kemija u vrijeme objave periodnog sustava elemenata	33
4.3.1. Mendeljejev izabran za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti	34
4.3.2. Prvi hrvatski udžbenik kemije s tablicom periodnog sustava elemenata	36
4.3.3. Prvi moderan sveučilišni udžbenik kemije s periodnim sustavom elemenata	38

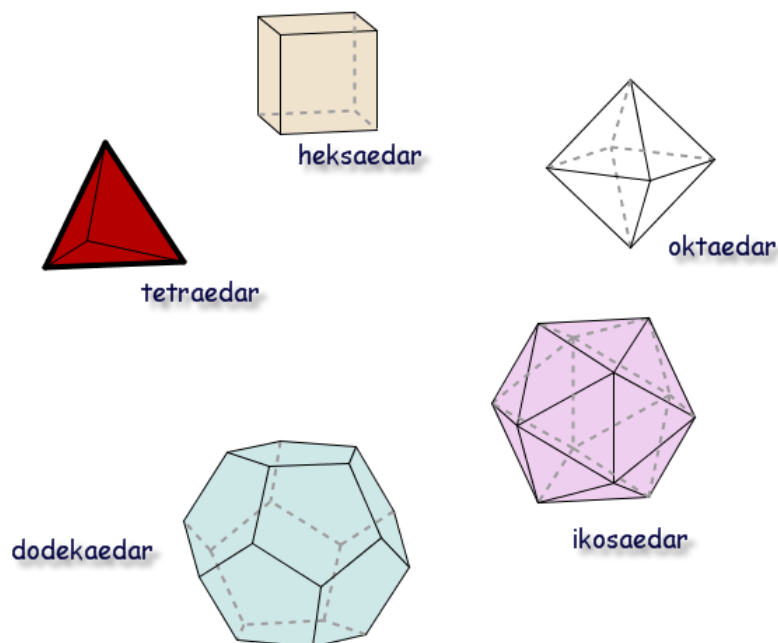
4.3.4. Periodni sustav elemenata u stručnim i popularizacijskim časopisima u Hrvatskoj	39
5. ZAKLJUČAK	43
6. LITERATURA I IZVORI	45
7. SAŽETAK / SUMMARY	50
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA / BASIC DOCUMENTATION CARD	

1. UVOD

1.1. Povijesni pristup razvoju kemije

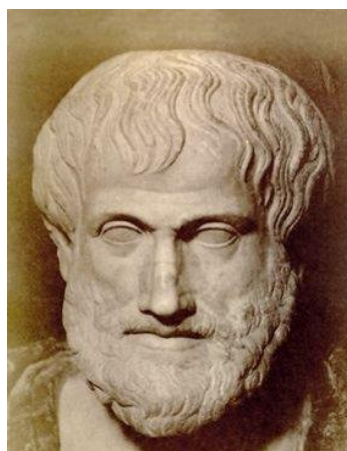
U vrijeme antičke Grčke, filozofi su nastojali odgovoriti na pitanje od čega i kako je sve nastalo. Prvi u tome naumu uspjeli su predsokratovci, začetnici kozmološke filozofije. Njihovi zapisi nisu sačuvani pa o tome saznajemo iz djela kasnijih pisaca, zbog čega podaci o njihovom nauku nisu pouzdani.

Prema pisanju Aristototela, Tales iz Mileta (oko 625. do 548. g. pr. Kr.) za počelo je uzeo tvar i vjerovao je da je ta tvar voda. Prema Teofrastu, Anaksimandar iz Mileta (oko 610. do 546. g. pr. Kr.) počelo je nazvao *arché* i zamislio ga je kao *apeiron*, to jest nešto beskonačno. Anaksimenes iz Mileta (oko 585. do 525. g. pr. Kr.) uzeo je zrak kao počelo. Empedoklo iz Agrigenta (oko 490. do 430. g. pr. Kr.) svoj nauk o četiri počela izložio je u spjevu *O prirodi*. Vatra, voda, zemlja i zrak – četiri počela prema Empedoklu, vječna su i nepromjenjiva. Anaksagora iz Klazomene (oko 500. do 428. g. pr. Kr.) smatrao je da nema počela, vjerovao je da se svaki djelić, koliko god malen bio, može dalje dijeliti. Demokrit iz Abdere (oko 470. do 380. g. pr. Kr.) pridružio se Leukipu iz Eleje, suvremeniku Anaksagore i Empedokla. Smatrao je da je osnova svijeta jedna materija sastavljena od bezbroj nepromjenjivih i nedjeljivih čestica, atoma. Prema Leukipu i Demokritu, samo se vatra sastojala od atoma jedne vrste, dok su voda, zemlja i zrak smjese različitih atoma. Prema njima, počela su bili atomi. Platon iz Atene (427. – 347. g. pr. Kr.) vjerovao je da postoje četiri počela: vatra, zemlja, voda i zrak. Prema Platonu, stvoritelj Demiurg, u težnji za ljepotom uobličio ih je u pravilna geometrijska tijela (slika 1). Vatru je uobličio u tetraedre jer se sastoji od oštih čestica pa je previše bolna na dodir. Zemlju je uobličio u kocke što je objasnilo zašto je teško pomaknuti ju. Vodu je uobličio u ikozaedre kako bi objasnio njeno tekuće stanje. Zrak je uobličio u oktaedre jer je taj oblik bio jedini preostao. Kasnije je otkriveno i peto tijelo, dodekaedar zbog čega se vjerovalo da postoji i peti element (Grdenić, 2001a).



Slika 1. Platonovi poliedri (www.antonija-horvatek.from.hr)

Prema Aristotelu iz Stagire (384. – 322. g. pr. Kr.) (slika 2), četiri prvotna uzroka svega postojećeg su neuništiva materija, *hyle*, zatim bivstvo, to jest bitak stvari, *ousia*, zatim kretanje, *kinesis* i na kraju načelo svrhovitosti, *telos*. Nadalje, Aristotel je od četiri para primarnih svojstava došao do četiri počela te je smatrao da su počela dokazana iskustvom. Prema Aristotelu, zemlja je hladna i suha, voda hladna i vlažna, zrak topao i vlažan, vatra topla i suha. Počela se pretvaraju jedno u drugo, ali ostaju počela (Grdenić, 2001a).



Slika 2. Aristotel (www.enciklopedija.hr)

Alkemičare je najviše zainteresirala transmutacija elemenata. Naime, pokušali su neplemeniti metal, olovo promijeniti u zlato, plemeniti metal. Zlato je zbog svoje neobične boje, rijetkosti i kemijske inertnosti jedan od najviše cijenjenih elemenata (Scerri, 2007).

Godine 1789. Antoine Laurent de Lavoisier (1743. – 1794.) (slika 3), koji se smatra utemeljiteljem moderne kemije, objavio je listu s trideset tri tvari (Grdenić, 2001b). Prema Lavoisieru, elementi moraju biti definirani empirijskim opažanjima. Na taj način opovrgava postojanje apstraktnih elemenata. Nadalje, Lavoisier predlaže da se elementi definiraju kao tvari koje se mogu podijeliti na temeljne komponente. Prije Lavoisierova vremena, vjerovalo se kako tvari prilikom izgaranja otpuštaju flogiston. Iako se nekim tvarima prilikom izgaranja zaista masa smanji, Lavoisier je uspio dokazati da ovo vjerovanje nije točno, već je za izgaranje tvari nužan elementarni kisik. Nadalje, preciznim vaganjem reagirajućih tvari Lavoisier je uspio obznaniti zakon o očuvanju materije koji glasi: *U svakoj kemijskoj reakciji, jednaka količina materije postoji prije i nakon reakcije.* Lavoisier je tako utro put zakonima kemijske pretvorbe, što je dovelo do Daltonovog razvoja atomske teorije.



Slika 3. Antoine Laurent Lavoisier (comenius.susqu.edu)

Mnoge tvari s Lavoisierovog popisa (slika 4) bile bi karakterizirane kao elementi i prema modernim standardima. Izuzetan napredak u tehnikama separacije i karakterizacije elemenata bio je važan za preinake i proširenje Lavoisierove liste (Scerri, 2007).

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.	
<i>Substances simples qui appartiennent aux trois règnes, & qu'on peut regarder comme les éléments des corps.</i>	Lumière	Lumière.	
	Calorique	Chaleur.	
		Principe de la chaleur.	
	Oxygène	Fluide igné.	
		Feu.	
		Matière du feu & de la chaleur.	
		Air déphlogistiqué.	
	Azote	Air empiréal.	
		Air vital.	
		Base de l'air vital.	
Hydrogène	Gaz phlogistiqué.		
	Mofète.		
<i>Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Base de la mofète.		
	Gaz inflammable.		
	Base du gaz inflammable.		
	Soufre	Soufre.	
	Phosphore	Phosphore.	
	Carbone	Charbon pur.	
	Radical muriatique .	Inconnu.	
	Radical fluorique . .	Inconnu.	
	Radical boracique . .	Inconnu.	
	Antimoine	Antimoine.	
	Argent	Argent.	
	Arsenic	Arsenic.	
	Bismuth	Bismuth.	
	Cobalt	Cobalt.	
	Cuivre	Cuivre.	
	Etain	Etain.	
	<i>Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Fer	Fer.
		Manganèse	Manganèse.
Mercure		Mercure.	
Molybdène		Molybdène.	
Nickel		Nickel.	
Or		Or.	
Platine		Platine.	
Plomb		Plomb.	
Tungstène		Tungstène.	
Zinc		Zinc.	
<i>Substances simples salifiables terreuses.</i>	Chaux	Terre calcaire, chaux.	
	Magnésie	Magnésie, base du sel d'epsom.	
	Baryte	Barote, terre pesante.	
	Alumine	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.	
Silice	Terre siliceuse, terre vitrifiable.		

Slika 4. Lavoisierova lista s trideset tri jednostavne tvari (www.meta-synthesis.com)

Određivanjem atomskih težina kemijskih elemenata i otkrivanjem novih elemenata znanstvenici su uvidjeli sličnost u povećanju atomskih težina. William Prout (1785. – 1850.) iznio je hipotezu prema kojoj su vrijednosti relativnih atomskih masa elemenata cjelobrojne i zaključio da su one višekratnici relativne atomske mase vodika pa je pretpostavio (1816.) da su atomi svih elemenata sastavljeni od vodika kao pratvari.

Kroz povijest su znanstvenici uočavali sličnosti elemenata s obzirom na njihova svojstva i pokušavali ih na temelju toga svrstati na različite načine. Otkriće periodnog sustava elemenata ipak se najviše veže za Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva koji je širio ideju o periodnom sustavu elemenata i kontinuirano radio na usavršavanju tablice periodnog sustava elemenata.

2. OBRAZLOŽENJE TEME

Otkriće periodnog sustava elemenata, po kojem su svi kemijski elementi bili svrstani u tablicu prema atomskoj težini i svojim periodičnim svojstvima, važan je trenutak za kemijsku znanost. Ove godine obilježava se sto pedeseta obljetnica ovog važnog otkrića. Periodni sustav elemenata Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva, objavljen 1869. godine, preteča je današnjeg periodnog sustava elemenata, ali uz Mendeljejeva svoj doprinos ovom otkriću dali su i brojni drugi znanstvenici, počevši od A. L. Lavoisiera koji je 1789. godine objavio listu tridest tri tvari, J. W. Döbereinera čije je opažanje poznato kao Döbereinerove trijade (1829.), A. E. Béguyer de Chancourtoisa koji je objavio trodimenzionalni periodni sustav (1862.), J. Newlandsa koji je objavio zakon oktava (1865.), W. Odlinga koji je, kao i Mendeljejev, predvidio otkriće novih elemenata te je za njih ostavio prazna mjesta u svojoj tablici (1865.), G. N. Hinrichsa koji je objavio periodni sustav kružnog oblika te J. L. Meyera koji je objavio svoju tablicu nedugo nakon što je to napravio Mendeljejev.

U to doba tek se otvara moderno Sveučilište u Zagrebu (1874.) kao i njegovi prirodoslovni odjeli (1876.) i započinje razvoj znanstvene kemije u Hrvatskoj. Usprkos tome, otkriće periodnog sustava elemenata popraćeno je u hrvatskoj znanstvenoj zajednici izborom D. I. Mendeljejeva za počasnog člana Jugoslavenske (danas Hrvatske) akademije znanosti i umjetnosti (1882.) te se periodni sustav polako počeo uvoditi i u srednjoškolske (1901.) i sveučilišne udžbenike (1919.). Otkriće i razvoj periodnog sustava elemenata pratio se i u široj javnosti, u mnogim stručnim časopisima i popularizacijskim člancima.

Cilj ovog diplomskog rada je kroz povijesni prikaz otkrića i razvoja periodnog sustava elemenata utvrditi utjecaj tog otkrića na hrvatsku znanost, obrazovni sustav i širu javnost.

3. MATERIJALI I METODE

U izradi ovog diplomskog rada korištena je literatura i materijali prikupljeni u Središnjoj knjižnici Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta, Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu te članci s javno dostupnih internetskih stranica.

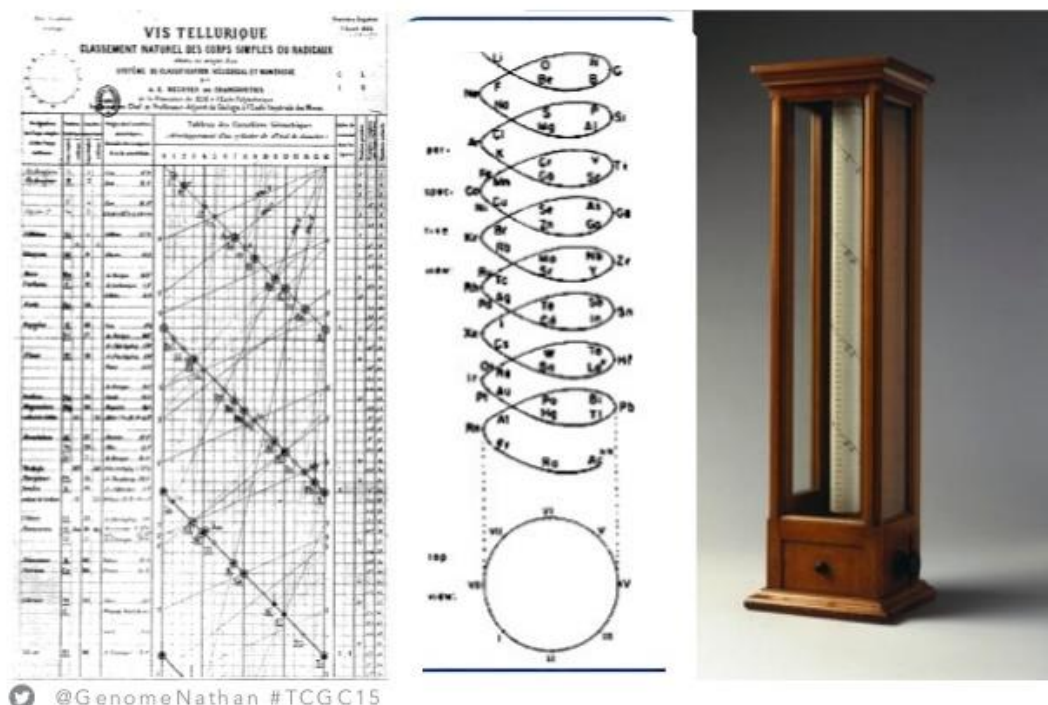
4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Razvoj sistematizacije kemijskih elemenata

Proutova hipoteza, prema kojoj su atomske težine cijeli brojevi, izgubila je na vjerodostojnosti utvrđivanjem da one ipak nisu cijeli brojevi, npr. $\text{Cl}=35,35$. Među onima koji su eksperimentima točno utvrdili atomske težine elemenata bio je i Jean Servais Stas (1813. – 1891.), koji je eksperimente započeo uvjeren u točnost Proutove hipoteze. Iako je američki kemičar Theodore William Richards (1868. – 1928.) revizijom Stasovih vrijednosti otkrio male, ali bitne greške, odstupanja od Proutove hipoteze i dalje su postojala.

Godine 1817. i 1829. Johann Wolfgang Döbereiner (1780. – 1849.) primijetio je da, u određenim grupama od tri elementa, npr. kalcij, stroncij, barij, atomska težina srednjeg elementa približno odgovara srednjoj vrijednosti atomskih težina prvog i trećeg elementa. To je bilo poznato kao Döbereinerove trijade (Partington, 1989).

Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820. – 1886.) objavio je trodimenzionalni periodni sustav u kojem je elemente poredao po rastućim atomskim težinama (slika 5). Elemente je organizirao u spiralnu liniju, a puni krug je sadržavao šesnaest elemenata te se sedamnaesti nalazio točno ispod prvog (Scerri, 2015).



Slika 5. De Chancourtoisov periodni sustav (www.slideshare.net)

John Newlands (1837. – 1898.) napravio je tablicu (slika 6) uređenu po redosljedu relativnih atomskih masa te je primijetio da je osmi element na neki način ponavljanje prvog. Nazvao je to zakonom oktava (Partington, 1989).

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & 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 & V 45	Hg 52
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & 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 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	To 43	Au 49	Th 56

Slika 6. Newlandsova tablica kemijskih elemenata napravljena prema zakonu oktava (everyday-is-special.blogspot.com)

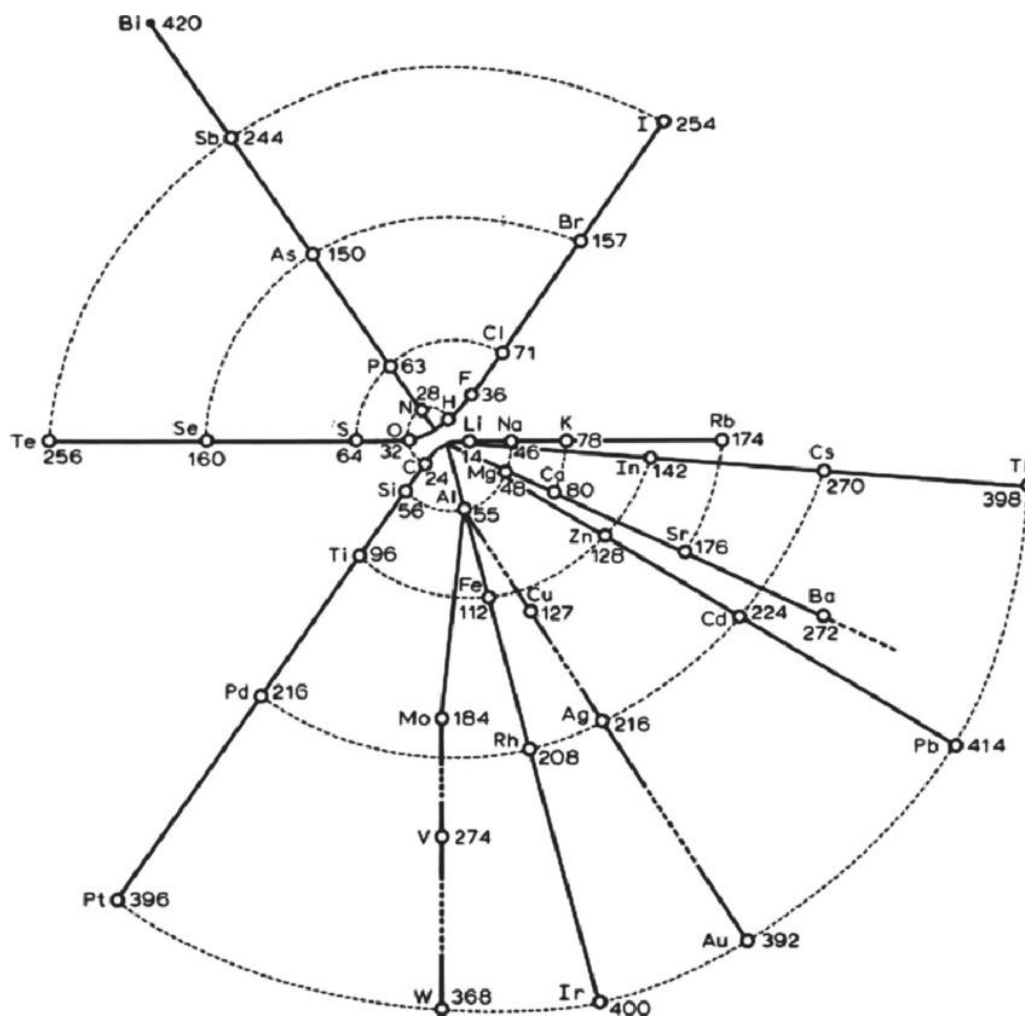
William Odling (1829. – 1921.) godine 1865. objavio je tablicu elemenata (slika 7) (Partington, 1989) sličnu onoj koju je Mendeljejev (1834. – 1907.) objavio 1869. godine. Naime, u obje je tablice vidljivo da su elementi, koji su u modernom periodnom sustavu grupirani u periode, tada bili grupirani u skupine i uz svaki element navedena je atomska težina. U obje tablice vidljiva su prazna mjesta između pojedinih elementima jer su i Odling i Mendeljejev predvidjeli otkriće novih elemenata koji će nadopuniti periodni sustav. Oba kemičara naveli su telurij ispred joda, ali Mendeljejev je atomsku masu telurija dovodio u pitanje. Ipak, postoje i razlike između dva periodna sustava. Odling je elemente u periodnom sustavu grupirao u pet okomitih stupaca, dok ih je Mendeljejev grupirao u šest. Odling ne navodi vodik u svom periodnom sustavu, a prvi element ima simbol L (7). Mendeljejev je naveo vodik i simbol za litij Li (7). Uz to postoji još nekoliko razlika u simbolima elemenata. Odling je kao posljednji element naveo torij sa simbolom Th (231), a Mendeljejev je taj simbol naveo za element atomske mase 118 uz upitnik dok mu je zadnji element u periodnom sustavu olovo (207) (Partington, 1989).

Odling's Table of the Elements (1865)

			Mo 96 — Pd 106.5	W 184 Au 196.5 Pt 197
L 7	Na 23	—	Ag 108	—
G 9	Mg 24	Zn 65	Cd 112	Hg 200
B 11	Al 27	—	—	Tl 203
C 12	Si 28	—	Sn 118	Pb 207
N 14	P 31	As 75	Sb 122	Bi 210
O 16	S 32	Se 79.5	Te 129	—
F 19	Cl 35.5	Br 80	I 127	—
	K 39	Rb 85	Cs 133	
	Ca 40	Sr 87.5	Ba 137	
	Ti 48	Zr 89.5	—	
	Cr 52.5	—	V 138	Th 231
	Mn 55			

Slika 7. Odlingova tablica elemenata, 1865. (Partington, 1989, str. 345.)

Gustavus Detlef Hinrichs (1836. – 1923.) objavio je periodni sustav kružnog oblika 1867. godine (slika 8). Ova verzija značajna je po tome što je autor točno grupirao elemente bakar, srebro i zlato prema njihovim svojstvima, a to čak ni Mendeljejevu nije uspjelo 1869. godine. Spomenuti elementi svrstani su u istu skupinu i u modernom periodnom sustavu elemenata (Scerri, 2015).



Slika 8. Hinrichsov periodni sustav iz 1867. (www.researchgate.net)

4.2. Otkriće periodnog sustava elemenata

Gotovo istovremeno i prilično samostalno Julius Lothar Meyer (1830. – 1895.) u Njemčkoj i Dmitrij Ivanovič Mendeljejev u Rusiji iznose Zakon periodičnosti. Iako ih neki autori smatraju suotkrivačima periodnog sustava, Meyer je svoj rad (slika 9) objavio nekoliko mjeseci nakon Mendeljejeva ne doprinoseći ništa bitno novo Mendeljevljevoj tablici. Doduše, Meyer je već 1868. godine sastavio periodni sustav, ali ga nije objavio (Partington, 1989).

Julius Lothar Meyer

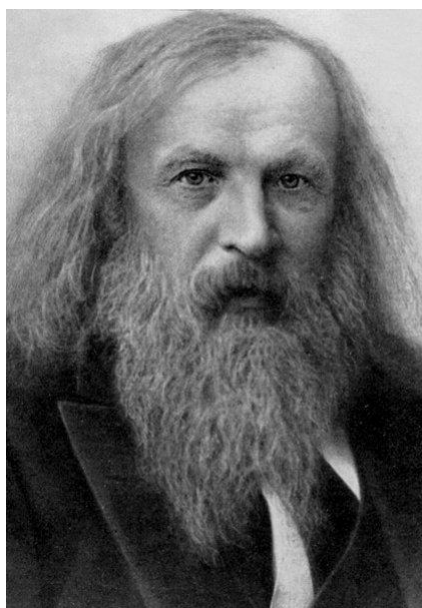
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	B = 11,0	Al = 27,3		—		? In = 113,4		Tl = 202,7
	C = 11,97	Si = 28		—		Su = 117,8		Pb = 206,4
			Ti = 48		Zr = 89,7			
	N = 14,01	P = 30,9		As = 74,9		Sb = 122,1		Bi = 207,5
			V = 51,2		Nb = 93,7		Ta = 182,2	
	O = 15,96	S = 31,96		Se = 78		Te = 128?		—
			Cr = 52,4		Mo = 95,6		W = 183,5	
	F = 19,1	Cl = 35,38		Br = 79,75		J = 126,5		—
			Mn = 54,8		Ru = 103,5		Os = 198,6?	
			Fe = 55,9		Rh = 104,1		Ir = 196,7	
		Co = Ni = 58,6			Pd = 106,2		Pt = 196,7	
Li = 7,01	Na = 22,99	K = 39,04		Rb = 85,2		Cs = 132,7		—
				Cu = 63,3		Ag = 107,66		Au = 196,2
?Be = 9,3	Mg = 23,9	Ca = 39,9		Sr = 87,0		Ba = 136,8		—
				Zn = 64,9		Cd = 111,6		Hg = 199,8

Slika 9. Periodni sustav elemenata Juliusa Lothara Meyera objavljen u časopisu *Liebigs Annalen der Chemie*, prosinac 1869. (nubiandesert.info)

4.2.1. Dmitrij Ivanovič Mendeljejev i njegov periodni sustav elemenata

Dmitrij Ivanovič Mendeljejev (slika 10) rođen je u Tobolsku 8. veljače 1834. godine, a umro je u St. Peterburgu 2. veljače 1907. godine. Otac Ivan Pavlovič Mendeljejev bio je ruski učitelj književnosti. Majka Marija Dmitrievna Kornileva potekla je iz stare trgovačke ruske obitelji te je posjedovala tvornicu stakla blizu Tobolska. Mendeljejev je gimnaziju u Tobolsku završio 1849. godine. Godine 1850. upisao je studij fizike i matematike na Glavnom

Pedagoškom Institutu u St. Peterburgu gdje je diplomirao 1855. godine s odličnim ocjenama. Ruska vlada u to je vrijeme imala praksu mlade znanstvenike slati na usavršavanje u inozemstvo te Mendeljejev odlazi u Heidelberg 1859. godine. Snažan utjecaj na Mendeljejeva imao je Cannizzaro koji se borio za priznanje Avogadra i prihvaćanje jedinstvenih i točnijih atomskih težina. Mendeljejev je, potaknut novim saznanjima, započeo pisanje udžbenika *Osnove kemije (Osnovi himii)* te izradu periodnoga sustava elemenata (Flegar, 2019).



Slika 10. Dmitrij Ivanovič Mendeljejev (www.enciklopedija.hr)

Mendeljejev je 1869. godine brojnim uglednim kemičarima iznio svoju tablicu *Pokusna sistematizacija elemenata na temelju njihovih atomskih težina i kemijskih svojstava* (slika 11) uz tekst u kojem formulira periodni zakon elemenata. Elemente je poredao po rastućoj atomskoj težini, ali i svrstao u skupine pazeći pritom na njihova kemijska svojstva. (Flegar, 2019). Mendeljejev je bio toliko uvjeren u ispravnost periodnog zakona te je predvidio elemente eka-aluminij, eka-bor i eka-silicij koji su kasnije popunili periodni sustav elemenata kao galij (1875.), skandij (1879.) i germanij (1886.). Prema analogiji čak je preorekao njihova kemijska i fizikalna svojstva koja su njihovim otkrićem i potvrđena (Neumann, 1926).

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
		Ni =	Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	J = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Slika 11. Mendeljejevljev prvi periodni sustav elemenata koji je objavljen u časopisu *Zhurnal Russkeo Fiziko-Khimicheskoe*, ožujak 1869. (history.aip.org)

4.2.2. Otkrića elemenata nakon objave periodnog sustava elemenata

Kemičari su prvi put pokazali interes za periodni sustav elemenata kada je Mendeljejevljevo predviđanje elemenata koji nedostaju potvrđeno otkrićem eka-elemenata.

Godine 1875. Lecoq de Boisbaudran otkrio je eka-aluminij i prozvao ga galij (www.enciklopedija.hr). Utvrdio je da galij ima sva svojstva koja je Mendeljejev prevideo za eka-aluminij. Nadalje, 1879. godine otkrio je samarij, a 1886. godine disprozij.

Godine 1879. Lars Frederik Nilson otkrio je eka-bor i nazvao ga skandij. Također je potvrdio da skandij ima sva svojstva koja je Mendeljejev prevideo za eka-bor.

Godine 1886. Clemens Alexander Winkler otkrio je eka-silicij i nazvao ga germanij prema lat. *Germania*, tj. Njemačka, gdje je rođen. I u ovom slučaju, svojstva germanija odgovarala su onima koje je Mendeljejev prevideo za eka-silicij (Neumann, 1926).

William Ramsay i John William Strutt Rayleigh otkrili su prvi plemeniti plin, argon 1894. godine. Kada je argon otkriven, Mendeljejev je tvrdio da to nije element jer se zbog

svoje atomske težine nije uklapao u njegov periodni sustav (Neumann, 1926). Iduće godine (1895.) W. Ramsay otkrio je helij, element koji je 1868. godine otkriven u Sunčevoj kromosferi. Uslijedilo je otkriće kripton, ksenona i neona 1898. godine (W. Ramsay, Morris William Travers). Radon je otkrio Friedrich Ernst Dorn 1900. godine (Iveković, 1969b). Plemeniti plinovi svrstani su u periodni sustav elemenata u posebnu nultu skupinu početkom dvadesetog stoljeća.

Emilio Gine Segrè i Carlo Perrier 1937. godine otkrili su element kojem su dali ime tehnećij, prema grčkoj riječi *tehnētos*, što znači umjetan jer je to bio prvi umjetni element u periodnom sustavu. Nedugo nakon toga otkriven je još jedan umjetni element, prometij. Marguerite Perey otkrila je 1939. godine element kojem je dala ime francij, u čast svojoj domovini Francuskoj. E. G. Segrè, Dale R. Corson i K. R. MacKenzie 1940. godine otkrili su astat, prirodni radioaktivni element. Ime je dobio prema grčkoj riječi *astatos*, nepostojan. Edwin Matisson McMillan i Philip Hauge Abelson 1940. godine otkrili su neptunij, prvi transuranijski element (www.enciklopedija.hr). Godine 1941. Glenn T. Seaborg, Joseph W. Kennedy i Arthur Wahn otkrili su plutonij. Americij je otkriven 1944. godine (Seaborg, Albert Ghiorso) (Priroda, 1950).

Glenn Theodore Seaborg (slika 12) 1945. godine izradio je periodni sustav (slika 13) gdje je otkrio analogiju između europija i gadolinija te, tada još uvijek neotkrivenih, americija i curija. Zahvaljujući tome, uspješno ih je sintetizirao te identificirao. Naime, Seaborg je predložio da se elementi počevši od aktinija smatraju elementima rijetkih zemalja, za razliku od dotadašnjeg mišljenja da elementi rijetkih zemalja počinju uranijem. Nakon toga i brojni drugi elementi su sintetizirani (Scerri, 2007). Edwin M. McMillan i Glenn T. Seaborg dobili su 1951. godine Nobelovu nagradu za kemiju (d1068036.site.myhosting.com). Godine 1997. otkriven je 106. element te je nazvan seaborgij, Seaborgu u čast (Scerri, 2007).

Godine 1998. Peter Armbruster i Fritz Peter Hessberger u članku *Stvaranje novih elemenata* navode tri nova elementa rednih brojeva 110., 111. i 112., proizvedena krajem 20. stoljeća (www.jstor.org).



Slika 12. Glenn Theodore Seaborg (www.manhattanprojectvoices.org)

PERIODIC TABLE SHOWING HEAVY ELEMENTS AS MEMBERS
OF AN ACTINIDE SERIES
Arrangement by Glenn T. Seaborg, 1945

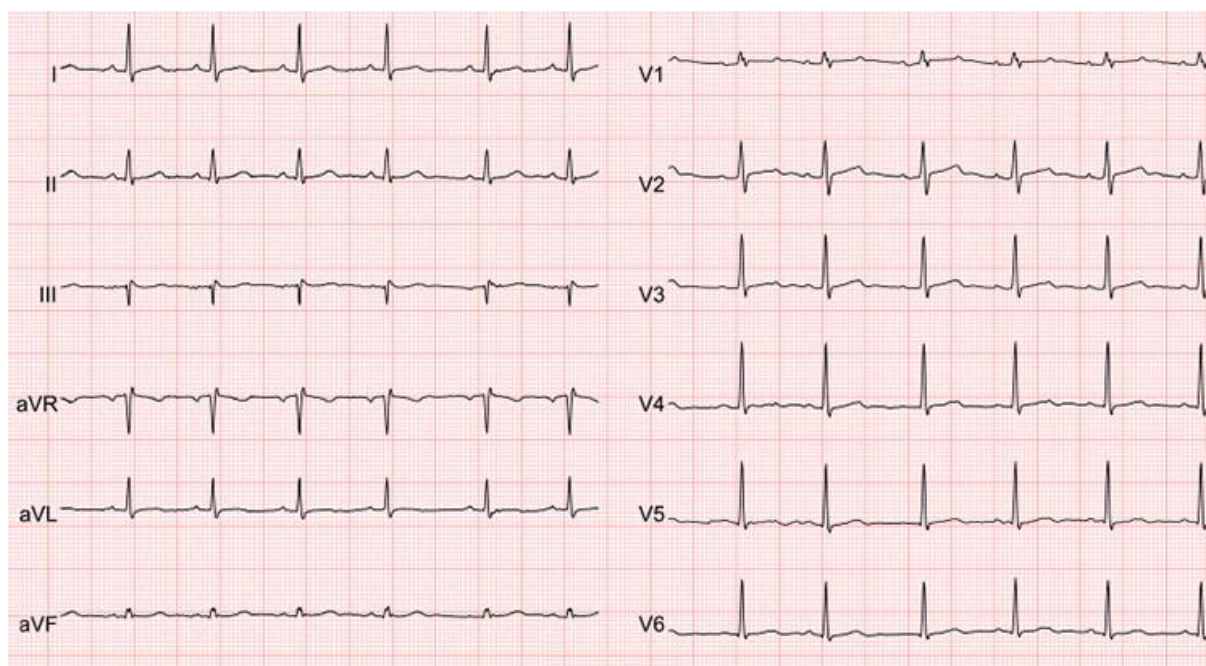
1 H 1.008																	1 H 1.008	2 He 4.003													
3 Li 6.940	4 Be 9.02											5 B 10.82	6 C 12.010	7 N 14.008	8 O 16.000	9 F 19.00	10 Ne 20.183														
11 Na 22.997	12 Mg 24.32	13 Al 26.97											13 Al 26.97	14 Si 28.06	15 P 30.98	16 S 32.06	17 Cl 35.457	18 Ar 39.944													
19 K 39.096	20 Ca 40.08	21 Sc 45.10	22 Ti 47.90	23 V 50.95	24 Cr 52.01	25 Mn 54.93	26 Fe 55.85	27 Co 58.94	28 Ni 58.69	29 Cu 63.57	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.60	33 As 74.91	34 Se 78.96	35 Br 79.916	36 Kr 83.7														
37 Rb 85.48	38 Sr 87.63	39 Y 88.92	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc 101.1	44 Ru 101.7	45 Rh 102.91	46 Pd 106.7	47 Ag 107.880	48 Cd 112.41	49 In 114.76	50 Sn 118.70	51 Sb 121.76	52 Te 127.61	53 I 126.92	54 Xe 131.3														
55 Cs 132.91	56 Ba 137.36	57 La 138.92	58 Ce 140.15	59 Pr 140.92	60 Nd 144.27	61 Pm 145	62 Sm 150.13	63 Eu 152.0	64 Gd 156.9	65 Tb 158.93	66 Dy 162.5	67 Ho 164.93	68 Er 167.27	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.967	72 Hf 178.5	73 Ta 180.95	74 W 183.85	75 Re 186.21	76 Os 190.2	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.967	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96																						
			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95	96																						
LANTHANIDE SERIES																															
57 La 138.92	58 Ce 140.15	59 Pr 140.92	60 Nd 144.27	61 Pm 145	62 Sm 150.13	63 Eu 152.0	64 Gd 156.9	65 Tb 158.93	66 Dy 162.5	67 Ho 164.93	68 Er 167.27	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.967																	
ACTINIDE SERIES																															
89 Ac	90 Th 232.12	91 Pa 231	92 U 238.07	93 Np 237	94 Pu 244	95	96																								

Slika 13. Periodni sustav Glenna T. Seaborga (d1068036.site.myhosting.com)

4.2.3. Zakon periodičnosti u kemiji

Branimir Dakić daje objašnjenje periodične funkcije u matematici *Realna funkcija f definirana na skupu D_f je periodična ako postoji realan broj $P > 0$ takav da za svaki $x \in D_f$ vrijedi: $f(x+P) = f(x)$. Broj P zove se period funkcije f* (Dakić, 2007/2008).

Primjer periodičnosti je i elektrokardiogram (slika 14), grafički zapis funkcije srca.



Slika 14. Elektrokardiogram, primjer periodične funkcije (www.poliklinika-kardioton.hr)

U kemiji, prema zakonu periodičnosti, nakon određenih ponavljajućih, ali varirajućih intervala, kemijski elementi pokazuju približno ponavljanje svojstava. Fluor, klor i brom s natrijem formiraju bijele kristalne soli, opće formule NaX iako je raznolikost elemenata sedamnaeste skupine očigledna. Naime, fluor i klor su otrovni plinovi, brom je tekućina pri sobnoj temperaturi, dok je jod krutina. Ovi elementi vjerojatno ne bi bili grupirani u istu skupinu da su se uvažavala samo primjetna svojstva (Partington, 1989).

Periodičnost među elementima niti je konstantna niti egzaktna. Jedna od anomalija periodnog sustava elemenata poznata je kao jod-telurijeva. Naime, jod ima manju atomsku težinu od telurija, iako u periodnom sustavu dolazi nakon njega (Raos, 2011). Osim Medeljejeva, ovaj obrat u svojim periodnim sustavima elemenata napravili su i William Odling, John Newlands te Lothar Meyer. Mendeljejev je inzistirao na redosljedu po rastućim

atomskim težinama bez iznimke, stavljajući kemijska svojstva u drugi plan. Ovaj obrat svjesno je napravio smatrajući kako su atomske težine krivo određene i da će to u budućnosti biti dokazano. Prvotno je smatrao da je atomska težina telurija kriva te je počeo navoditi telurij uz atomsku težinu 125. Nakon što je Bohuslav Brauner (1855. – 1935.) godine 1895. dokazao da to nije točno, Mendeljejev je bio uvjeren da je kriva atomska težina joda pa je oba elementa navodio uz atomsku težinu 127 (Scerri, 2007). Osim toga, tu su još primjeri obrata kod kobalta ($A_r = 58,93320$) i nikla ($A_r = 58,6934$), torija ($A_r = 232,0381$) i protaktinija ($A_r = 231,0359$), zatim uranija ($A_r = 238,0289$) i neptunija ($A_r = 237,0482$), plutonija ($A_r = 244,0642$) i americija ($A_r = 243,0614$) te seaborgija ($A_r = 263,1182$) i bohrija ($A_r = 262,1229$).

Sve do 1913. i 1914. godine periodni sustav elemenata bio je složen po načelu atomskih težina. Prvi je Johannes Robert Rydberg 1914. godine pokušao sastaviti periodni sustav elemenata prema rednim brojevima. Redni broj je broj protona u atomskoj jezgri te određuje mjesto elementa u periodnom sustavu elemenata. Iako je elemente poredao po atomskoj težini, ekvivalentne elemente potpisao je jedne ispod drugih. Problematične anomalije periodnog sustava riješio je tako što je argon naveo prije kalija, telurij prije joda te kobalt prije nikla. Elementima je dao odgovarajući redni broj. Henry Gwyn Jeffreys Moseley, Max von Laue te William Lawrence Bragg također su vjerovali u teoriju rednih brojeva te su svoja vjerovanja eksperimentalno i potvrdili. Naime, pomoću Röntgenovih zraka i kristala različitih minerala odredili su spektre različitih metala. Moseley je opazio da je drugi korijen frekvencije tih valova linearna funkcija rednih brojeva elemenata. Sastavljen je novi periodni sustav elemenata prema rednim brojevima, različit od onog što ga je Rydberg sastavio. Time je riješen problem obrata u periodnom sustavu jer na ovaj način elementi su zaista navedeni po redu, bez obzira što je došlo do odstupanja od uobičajenog rasta atomskih težina kroz periodni sustav elemenata (Neumann, 1926).

Nadalje, prva perioda periodnog sustava sadrži dva elementa, druga i treća sadrže po osam elemenata, zatim četvrta i peta perioda sadrže po osamnaest elemenata i tako dalje. Ovo nije baš klasičan primjer periodičnosti, kao što je to na primjer dvanaest mjeseci u godini. Međutim, takav raspored napravljen je kako bi se elemente organiziralo po sličnim svojstvima u skupine, a da se pritom poštuje načelo slaganja elemenata po atomskom broju. Tako svaka perioda, uz iznimku prve, počinje alkalijskim metalom nakon kojeg slijedi zemnoalkalijski metal, a završava plemenitim plinom.

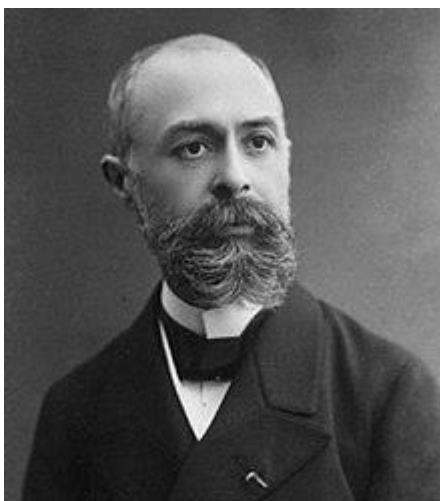
4.2.4. Otkriće radioaktivnosti

Wilhelm Conrad Röntgen (1845. – 1923.) (slika 15) otkrio je X-zrake te je dobio Nobelovu nagradu za fiziku 1901. godine. Röntgen je ovo medicinsko čudo otkrio sasvim slučajno. Dok je držao materijale za pokus na kojem je radio između cijevi i ekrana, ugledao je prikazane kosti svoje ruke. Krajem 1895. godine Röntgen je objavio preliminarno izvješće uz nekoliko eksperimentalnih radiografa, uključujući i onaj ruke njegove žene koji je sačuvan do današnjeg dana.



Slika 15. Wilhelm Conrad Röntgen (www.enciklopedija.hr)

Antoine Henri Becquerel (1852. – 1908.) (slika 16) godine 1896. otkrio je radioaktivnost pokusom kojim je htio provjeriti hipotezu da su X-zrake i luminescencija povezani. Naime, htio je provjeriti emitira li fosforescentno tijelo X-zrake pa je u tu svrhu koristio transparentni kristal soli uranija. Jedan dan je zbog nedostatka sunčeve svjetlosti odložio kristal na fotografsku ploču u ladici. Idući dan htio je provjeriti koliko se fosforescencija smanjila pa je razvio fotografsku ploču i otkrio da, ne samo da se nije smanjila, nego je fosforescencija bila još intenzivnija no prvi dan. Na fotografskoj ploči primijetio je sjenu nastalu od komada metala koji je stavio između soli i ploče te je otkrio da se aktivnost soli nastavila i u mraku.



Slika 16. Antonie Henri Becquerel (bs.wikipedia.org)

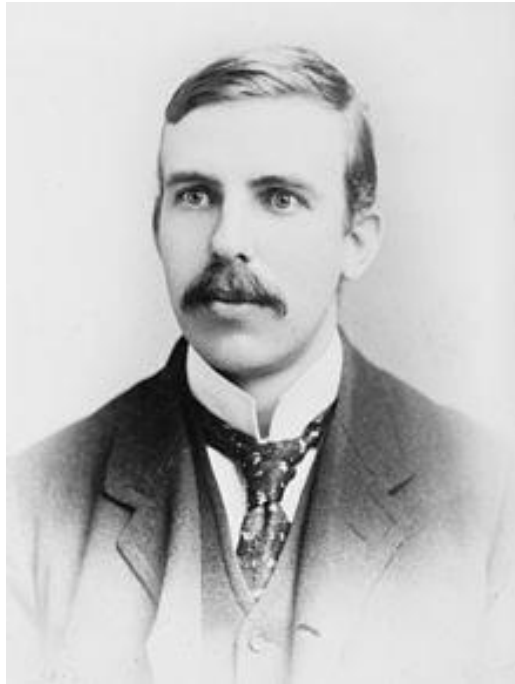
Marie Curie (1867. – 1934.) (slika 17) prva je počela istraživati proizvodi li još koji element osim uranija Bekerelove zrake te je otkrila da torij također ima to svojstvo koje je odlučila nazvati radioaktivnost. Godine 1898. otkrila je element koji je bio 400 puta aktivniji od uranija. Nazvala ga je polonij, prema svojoj domovini Poljskoj. Iste je godine otkrila i radij, element 900 puta aktivniji od uranija.



Slika 17. Marie Skłodowska-Curie (en.wikipedia.org)

Ernest Rutherford (1871. – 1937.) (slika 18) otkrio je 1899. godine da radioaktivnost stvara zrake koje tanka metalna površina može apsorbirati te ih je nazvao alfa zrakama. Otkrio je da postoji i prodornija vrsta zraka koje je nazvao beta zrakama. Ispostavilo se da su alfa

zrake, koje se sastoje od atoma helija kojima su oduzeta njihova dva elektrona, izuzetno važne za otkriće strukture atoma (Scerri, 2007).



Slika 18. Ernest Ruherford (en.wikiquote.org)

4.2.5. Izotopi

Svi izotopi nekog elementa nalaze se na istom mjestu u periodnom sustavu elemenata s obzirom da imaju isti atomski broj. Takozvani zakon razmještanja upravlja položajem radioaktivnih elemenata i produkata njihovog raspada u periodnom sustavu elemenata. Uzmimo primjer olova, koji je krajnji produkt raspada torija i radija, pri čemu radij nastaje raspadom uranija. Atomska masa olova nastalog iz uranija je 206, dok je atomska masa olova nastalog iz torija 208. Relativna atomska masa olova je 207.19.

Postojanje izotopa uobičajenih elemenata otkrio je Joseph John Thomson (1856. – 1940.) u slučaju neona, a Aston je dokazao da je većina elemenata smjesa izotopa. Na primjer, relativna atomska masa klora je 35.45 iako ne postoji atom te mase, ali postoje izotopi Cl^{35} i Cl^{37} (Partington, 1989).

4.2.6. Nove spoznaje o strukturi atoma

J. J. Thomson najpoznatiji je po tome što je prvi otkrio elektron. Iako je Walter Kaufmann prvi izmjerio omjer naboj/masa katodnih zraka i otkrio da je jednak za svaki plin, nije izvukao iz toga nikakav zaključak. Thomsona je to pak potaknulo da provede daljnja istraživanja koja su dovela do otkrića elektrona 1897. godine i spoznaje da je elektron sastavni dio atoma.

Rutherford je 1911. godine pretpostavio da su atomi građeni od male pozitivno nabijene jezgre okružene elektronima relativno udaljenima od te jezgre. Nadalje, analizom alfa raspršenja, Rutherford je zaključio da je naboj atoma približno jednak polovici atomske mase. Jezgra vodikova atoma nazvana je proton budući da je imala jednak, ali suprotan naboj naboju elektrona, a masa je bila otprilike jednaka masi vodikova atoma. Jezgre drugih atoma sastoje se od protona i neutrona, gdje su neutroni čestice približno jednake mase masi protona, ali bez naboja. Dakle, masa atoma približno je jednaka zbroju masa protona i neutrona.

Henry G. J. Moseley (slika 19) je 1913/14. razjasnio odnos između atomskog broja i nuklearnog naboja. Naime, otkrio je da svaki element prilikom bombardiranja katodnim zrakama emitira X-zrake karakteristične frekvencije određene atomskim brojem. Pretpostavio je da je atomski broj jednak pozitivnom naboju jezgre. Od elementa do elementa unutar periodnog sustava taj se broj razlikovao za jednu jedinicu (Scerri, 2007).



Slika 20. Henry Gwyn Jeffereys Moseley (en.wikipedia.org)

4.2.7. Kvantna mehanika

Razvitak novih spoznaja u fizici također je bio izuzetno bitan za razumijevanje periodnog sustava elemenata, posebice kvantne mehanike. Godine 1900. otkrivena je kvantna mehanika, samo četrnaest godina prije otkrića atomskih brojeva, a prvi ju je u kontekstu atomske fizike primijenio Niels Bohr (1885. – 1862.) (slika 20). On je, naime, vjerovao da se sličnosti među elementima u skupini mogu objasniti činjenicom da imaju jednak broj elektrona u vanjskoj ljusci. Bohr je 1913. godine uvelike proširio teoriju atomske strukture. Primjenom Plankove kvantne teorije objasnio je spektre elemenata i njihovu poziciju u periodnom sustavu elemenata (Scerri, 2007). Riješio je probleme koji su se javili u Rutherfordovom modelu, stabilnost atoma i diskretnu prirodu atomskog spektra (Kregh, 2012). Prema Bohrovoj teoriji atoma, smatralo se da se elektroni okreću oko središnje pozitivno nabijene jezgre atoma u kružnim orbitama. Stanje energije elektrona bilo je označeno glavnim kvantnim brojem n , s tim da je svaka orbita imala točno određenu vrijednost broja n . Tome je kasnije dodao i orbitalni kvantni broj l , koji je nedugo prije toga otkrio Arnold Sommerfeld (Scerri, 2007).



Slika 20. Niels Bohr (edu.glogster.com)

Gilbert Newton Lewis (1875. – 1946.) (slika 21) godine 1916. predložio je model atoma jednostavniji od Bohrovog modela. Pretpostavio je da vanjski sloj elektrona plemenitih plinova sadrži 8 elektrona. Ostali atomi to nastoje postići ili primanjem ili otpuštanjem

vanjskih elektrona, tvoreći tako negativne, odnosno pozitivne ione ili dijeleći elektrone u paru s drugim atomom.



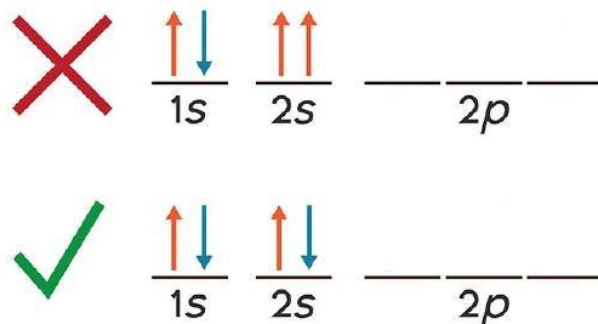
Slika 21. Gilbert Newton Lewis (www.buscabiografias.com)

Atomska jezgra građena je od protona i neutrona, a protoni jezgri daju pozitivan naboj. Elektroni izvan jezgre čine atom neutralnim. Elektroni su raspoređeni u ljuske koje odgovaraju posebnoj vrijednosti n , a maksimalan broj elektrona u tim ljuskama, $2n^2$, počevši od ljuske najbliže jezgri je 2, 8, 18 i 32 (Scerri, 2007).



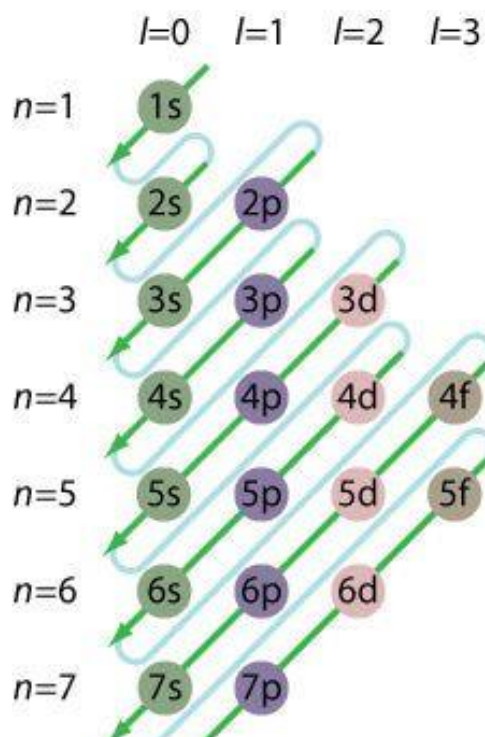
Slika 22. Wolfgang Ernst Pauli (en.wikiquote.org)

Godine 1923. Bohr je kontaktirao Wolfganga Ernsta Paulija (1900. – 1958.) (slika 22) te ga je zamolio da pokuša spasiti kvantne brojeve kao sredstvo pomoću kojeg se opusuje stanje elektrona. To je dovelo do Paulijeva principa isključenja (slika 23) koje glasi: *dva elektorna unutar jednog atoma ne mogu imati sva četiri kvantna broja jednaka*. Naime, Pauli je predložio četvrti kvantni broj, spinski magnetni broj m_s , koji služi za klasifikaciju dva elektrona koja se do tada nisu mogla razlikovati jer imaju prva tri kvantna broja jednaka (Scerri, 2007). Prema Paulijeom principu, za $n=1$ moguća su samo dva elektrona što popunjava prvu periodu periodnog sustava elemenata. Za $n=2$ moguće je osam elektrona što odgovara osam elemenata koji se nalaze u drugoj periodu. Za $n=3$ moguće je osamnaest elektrona, ali dodano je osam s obzirom da treća perioda sadrži osam elemenata. Počinje popunjavanje nove ljuske elektronima s $n=4$, dok se ljuska elektrona s $n=3$ popuni kasnije. Isto vrijedi i za ljusku s $n=4$ koja se popuni do osamnaest elektrona nakon što započne popunjavanje ljuske s $n=5$. Iduća perioda započinje popunjavanjem vanjske ljuske s $n=6$, a $n=4$ ljuska počinje se popunjavati od lantana do maksimuma od trideset i dva elektrona. Vanjske ljuske s $1(n=5)+2(n=6)$ valentnih elektrona ostaje nepromijenjena. Iduća perioda, koja sadrži elektrone s $n=7$ u vanjskoj ljusci, sadrži radioaktivne elemente od kojih je većina dobivena umjetnim putem (Partington, 1989). Paulijev princip isključenja objasnio je maksimalan broj elektrona u pojedinoj ljusci (Scerri, 2001).



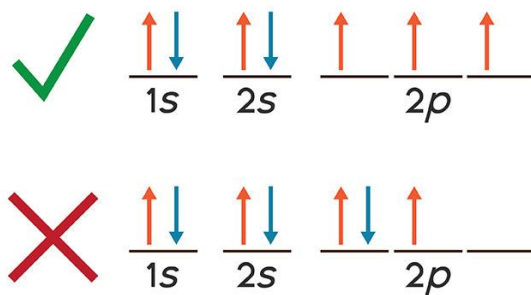
Slika 23. Paulijev princip isključenja (chem.libretexts.org)

Nadalje, *aufbau* princip (slika 24), kako ga je Pauli nazvao, objašnjava redosljed popunjavanja orbitala. Naime, orbitale se popunjavaju u smjeru rasta vrijednosti $n + l$. Primjerice, $n + l = 4$ za orbitalu 4s, dok je $n + l = 5$ za orbitalu 3d. Stoga se 4s orbitala popunjava prije orbitale 3d (Scerri, 2007).



Slika 24. Paulijev *aufbau* princip popunjavanja orbitala (www.pinterest.com)

Uz Paulijev princip isključenja i *aufbau* princip, za pripisivanje elektronske konfiguracije atomima u periodnom sustavu elemenata, neophodno je i Hundovo pravilo (slika 25). Prema Hundovu pravilu, orbitale jednake energije popunjavaju se tako da broj paralelnih spinova bude maksimalan (Scerri, 2007).



Slika 25. Hundovo pravilo popunjavanja orbitala (www.learner.org)

4.2.8. Moderna tablica periodnog sustava elemenata

Iako se izgled periodnog sustava tijekom vremena promijenio zbog organizacije elemenata, u novijoj povijesti izgled se uglavnom mijenjao kada su se uvrštavali novootkriveni elementi.

Danas su elementi organizirani u sedam perioda te osamnaest skupina u sklopu modernog ili srednje dugog periodnog sustava elemenata. Prema zadnjoj verziji IUPAC-ovog periodnog sustava elemenata, objavljenoj 1. prosinca 2018. godine postoji 118 elemenata. Elementi unutar jedne skupine uglavnom dijele mnoga slična fizikalna i kemijska svojstva, iako postoje iznimke. U Sjedinjenim Američkim Državama skupine se označavaju rimskim brojevima od I do VIII uz dodatak slova A kako bi se razlikovali od prijelaznih metala čije su skupine označene dodatkom slova B. Međutim, u Europi se skupine označavaju brojevima po redu uz dodatak slova A do skupine koja počinje elementom bakra. Od te skupine nadalje, skupine se označavaju brojevima uz dodatak slova B. Skupine glavnih elemenata također se nazivaju i po elementima predstavnicima skupine, a nalaze se skroz lijevo, odnosno skroz desno u periodnom sustavu elemenata. Američki i europski način numeriranja skupina također obilježavaju i broj elektrona u vanjskoj ljusci za skupine glavnih elemenata. Primjerice, kisik se nalazi u skupini 6A prema američkom načinu numeriranja, odnosno 6B prema europskom načinu numeriranja i ima šest elektrona u vanjskoj ljusci. Prema IUPAC-ovom sistemu (slika 26), skupine su numerirane arapskim brojevima od 1 do 18 s lijeve na desnu stranu kako bi se izbjegle zabune. Nažalost, zbog ovakvog načina numeriranja izgubila se povezanost između oznake grupe i broja elektrona u vanjskoj ljusci (Scerri, 2007).

IUPAC Periodic Table of the Elements

1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol	atomic number	Symbol
1	H	2	He	3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne	11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar
1.00784	hydrogen	4.00260	helium	6.941	lithium	9.01224	beryllium	10.811	boron	12.011	carbon	14.007	nitrogen	15.999	oxygen	18.998	fluorine	20.180	neon	22.990	sodium	24.304	magnesium	26.982	aluminum	28.086	silicon	30.974	phosphorus	32.06	sulfur	35.45	chlorine	39.948	argon
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
39.098	potassium	40.078	calcium	44.956	scandium	47.867	titanium	50.942	vanadium	51.996	chromium	54.938	manganese	55.845	iron	58.933	cobalt	58.933	nickel	63.546	copper	65.38	zinc	69.723	gallium	72.631	germanium	74.922	arsenic	78.971	bromine	83.798	krypton		
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
85.468	rubidium	87.62	strontium	88.906	yttrium	91.224	zirconium	92.906	niobium	95.94	molybdenum	98.906	technetium	101.07	ruthenium	102.91	rhodium	106.42	palladium	107.87	silver	112.41	cadmium	114.82	indium	118.71	tin	121.76	antimony	127.603	iodine	131.29	xenon		
55	Cs	56	Ba	57-71	Lanthanoids	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn
132.91	caesium	137.33	barium	138.905	lanthanoids	178.49	hafnium	180.95	tantalum	183.84	tungsten	186.21	rhenium	190.23	osmium	192.22	iridium	195.08	platinum	196.97	gold	200.59	mercury	204.38	thallium	207.2	lead	208.98	bismuth	209	polonium	210	astatine	222	radon
87	Fr	88	Ra	89-103	actinoids	104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Cn	113	Nh	114	Fl	115	Mc	116	Lv	117	Ts	118	Og
223	francium	226	radium	227-288	actinoids	261	rutherfordium	262	dubnium	263	seaborgium	264	bohrium	265	hassium	266	meitnerium	267	darmstadtium	268	roentgenium	269	copernicium	270	nihonium	271	flerovium	272	tennessine	273	oganesson	274	tennessine	275	oganesson



For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 1 December 2018.
Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.



Slika 26. Modern periodni sustav elemenata s IUPAC-ovim sustavom numeriranja (iupac.org)

4.3. Hrvatska kemija u vrijeme objave periodnog sustava elemenata

Sveučilište u Zagrebu (slika 27) osnovano je 1669. godine kao najstarije sveučilište s neprekidnim djelovanjem u Hrvatskoj te je među starijima u Europi. Dana 19. listopada 1874. godine otvoreno je moderno Sveučilište u Zagrebu koje je trebalo imati četiri fakulteta: Pravni, Bogoslovni, Filozofski (ondašnji Mudroslovni) i Medicinski (osnovan tek 1917.). Na Filozofskom fakultetu, dvije godine kasnije, započeli su s radom prirodoslovni odjeli, a 1882. godine osnovan je Farmaceutski tečaj u sklopu tadašnjeg Mudroslovnog fakulteta. Farmaceutsko-biokemijski fakultet (tada Farmaceutski fakultet) osnovan je 1942. godine kao samostalan, u novim prostorima i izdvojen iz Filozofskog fakulteta (www.unizg.hr).

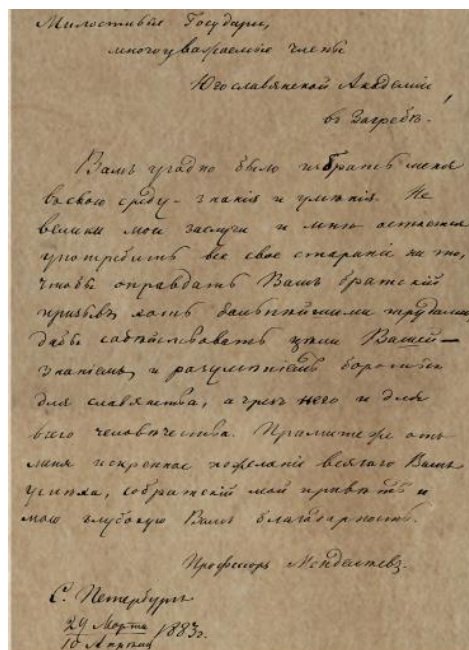


Slika 27. Sveučilište u Zagrebu 1905. (www.unizg.hr)

Kemija se na Sveučilištu u Zagrebu počela predavati 1876. godine što upućuje na činjenicu da hrvatski kemičari nisu mogli znanstveno doprinijeti razvoju periodnog sustava elemenata jer u vrijeme njihove objave, u Hrvatskoj nije niti bilo visokoškolske nastave iz kemije pa se periodni sustav nije mogao uvesti u nastavni proces (Raos, 2011).

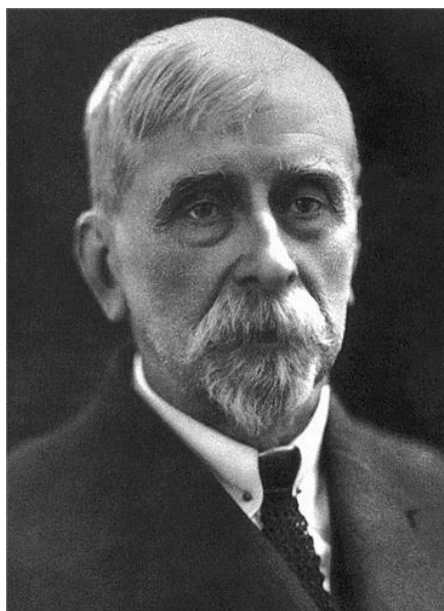
4.3.1. Mendeljejev izabran za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti

Značajan trenutak u razvitku hrvatske znanstvene kemije bio je izbor Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva za počasnog člana Jugoslavenske (danas Hrvatske) akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu 5. prosinca 1882. godine. Bila je to prva akademija znanosti u Europi koja je Mendeljejeva izabrala za svog počasnog člana. Tek šest godina kasnije, isto je učinila i Royal Irish Academy, a zatim su uslijedila i priznanja američke te danske akademije znanosti. Izbor Mendeljejeva za počasnog člana potaknuo je akademik prof. dr. Đuro Pilar i obrazložio riječima: *Ove mnogobrojne, svestranost Mendeljejeva pokazujuće radnje, od kojih bila bi jedna jedina, naime: periodički zakon elemenata (lex Mendeljejev) dovoljna da ga trajno kao učenjaka i mislioca prvoga reda proslavi. Iskazujući Mendeljejevu čast da ga za svoga počasnog člana bira i sama je tim svojim članom počašćena.* (Iveković, 1969). Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti Mendeljejeva je obavijestila o tome te im je on odgovorio pismom zahvale (slika 28).



Slika 28. Mendeljejevljevo pismo zahvale na izboru za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti (danas Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti) iz 1883. Pismo se čuva u Arhivu Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti (bib.irb.hr)

Gustav Janeček (1848. – 1929.) (slika 29), utemeljitelj sveučilišne kemije i farmacije u Hrvatskoj (bib.irb.hr), od 1888. godine svoja je predavanja uskladio s periodnim sustavom elemenata (Raos, 2011). Izbor Mendeljejeva za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti pridonio je povećanom zanimanju javnosti za njegova postignuća, kako u znanstvenim krugovima, tako i u širim krugovima u Hrvatskoj te u konačnici i popularizaciji periodnog sustava elemenata. O utjecaju ovog izbora govori i činjenica da je Klub studenata kemije Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, na prijedlog profesora Gustava Janečka, nosio Mendeljejevljevo ime od 1900. godine do njemačke okupacije Jugoslavije 1941. godine (Iveković, 1969a). Povodom smrti Mendeljejeva 1907. godine, Janeček je održao svečano predavanje u Jugoslavenskoj akademiji znanosti i umjetnosti (Bubanović, 1934).



Slika 29. Gustav Janeček (proleksis.lzmk.hr)

Janeček je 1919. godine izdao udžbenik *Kemija I., opći dio*, prvi sveučilišni udžbenik opće kemije na hrvatskom jeziku koji je sadržavao tablicu periodnog sustava elemenata. Osim Mendeljejevljeve originalne tablice, u udžbeniku je objavljena i, tada, suvremena tablica periodnog sustava elemenata (slika 30) koja je podijeljena u devet skupina i deset horizontalnih perioda (Flegar, 2019).

Periodični sustav kemijskih počela s atomnim težinama od god. 1914.

0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
He 4 ⁺⁰⁰	Li 6 ⁺⁰⁴	Be 9 ⁻¹	B 11 ⁻⁰	C 12 ⁺⁰⁰⁵	N 14 ⁻⁰¹	O 16 ⁺⁰⁰⁰	F 19 ⁻⁰	—
Ne 20 ⁻²	Na 23 ⁻⁰⁰	Mg 24 ⁺³²	Al 27 ⁺³¹	Si 28 ⁻⁹	P 31 ⁺⁰⁴	S 32 ⁺⁰⁶	Cl 35 ⁺⁰⁶⁷	—
Ar 39 ⁺⁸⁸	K 39 ⁺¹⁰	Ca 40 ⁺⁰⁷	Sc 44 ⁻¹	Ti 48 ⁻¹	V 51 ⁻⁰	Cr 52 ⁻⁰	Mn 54 ⁺⁰⁵	Fe 55 ⁺⁸⁴ Ni 58 ⁺⁸⁸ Co 58 ⁺⁹²
—	Cu 63 ⁺³²	Zn 65 ⁺³²	Ga 69 ⁻⁹	Ge 72 ⁻⁵	As 74 ⁺⁰⁶	Se 79 ⁻³	Br 79 ⁺⁰²	—
Kr 82 ⁺⁰²	Rb 85 ⁺⁴³	Sr 87 ⁺⁰³	Y 88 ⁻⁷	Zr 90 ⁻⁴	Nb 93 ⁻³	Mo 96 ⁻⁰	—	Ru 101 ⁻⁷ Rh 102 ⁻⁹ Pd 106 ⁻⁷
—	A 107 ⁺⁸⁵	Cd 112 ⁻¹⁰	In 114 ⁻⁶	Sn 118 ⁻⁷	Sb 120 ⁻²	Te 127 ⁻⁵	I 126 ⁺³²	—
X 130 ⁻²	Cs 133	Ba 137 ⁺⁰⁷	La 139 ⁻⁰	Co 140 ⁺³²	—	—	Sm 150 ⁻¹	—
—	—	—	Yb 173 ⁻³	—	Ta 181 ⁻³	W 184 ⁻⁰	—	Os 190 ⁻³ Ir 193 ⁻¹ Pt 195 ⁻³
—	Au 197 ⁻²	Hg 200 ⁻⁰	Tl 204 ⁻⁰	Pb 207 ⁺¹⁰	Bi 208 ⁻⁰	—	—	—
—	—	Rd 226 ⁺⁹	Ac ?	Th 232 ⁻¹	—	U 238 ⁻²	—	—

sadržani
oblik

Slika 30. Tablica ondašnjeg suvremenog periodnoga sustava elemenata iz 1914., objavljena u Janečekovom udžbeniku *Kemija I. opći dio* (Zagreb, 1919.) (Flegar, 2019)

4.3.2. Prvi hrvatski udžbenik kemije s tablicom periodnog sustava elemenata

Prvi udžbenik kemije, na hrvatskom jeziku, koji sadrži tablicu periodnog sustava elemenata (slika 31) je *Anorganska kemija za više razrede realnih gimnazija i realaka* Julija Domca (slika 32) objavljen u Zagrebu 1901. godine (Domac, 1901). U tablici periodnog sustava elemenata nema plemenitih plinova iako ih Domac spominje u udžbeniku, ali uneseni su novootkriveni elementi galij, germanij i skandij. Telurij se u tablici nalazi ispred joda iako je atomska težina telurija manja od joda. U periodnome sustavu ostavljena su prazna mjesta za dotada nepoznate elemente (Flegar, 2019).

Periodički sustav elemenata.

	I. skupina	II. skupina	III. skupina	IV. skupina	V. skupina	VI. skupina	VII. skupina	VIII. skupina
	H 1							
1. Perioda } 1. niz	Li 7	Be 9	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19	
2. Perioda } 2. "	Na 23	Mg 24	Al 27	Si 28	P 31	S 32	Cl 35	
3. Perioda } 3. "	K 39	Ca 40	Sc 44	Ti 48	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe 56. Co 58-6. Ni 58-8
	Cu 63	Zn 65	Ga 70	Ge 72	As 75	Se 79	Br 80	
4. Perioda } 5. "	Rb 85	Sr 87	Y 89	Zr 90	Nb 94	Mo 96		Ru 108. Rh 104. Pd 106
	Ag 108	Cd 112	In 114	Sn 118	Sb 120	Te 125	J 127	
5. Perioda } 7. "	Cs 133	Ba 137	La 138	Ce 140			Sa 150	Os 191. Ir 198 Pt 194
			Yb 173		Ta 182	W 184		
5. Perioda } 8. "								
5. Perioda } 9. "								
5. Perioda } 10. "								
6. Perioda } 11. "				Th 232		U 240		

Slika 31. Tablica periodnoga sustava elemenata objavljena u udžbeniku *Anorganska kemija* (Zagreb, 1901.) Julija Domca (Flegar, 2019)

Julije Domac (1853. – 1928.), zajedno s Gustavom Janečekom, osnivač je moderne hrvatske farmacije. Godine 1896. osnovao je Zavod za farmakognoziju, prvi takve vrste u svijetu (Inić i Kujundžić, 2011).

Nakon Domčeva srednjoškolskog udžbenika kemije, Franjo Šandor (1868. – 1922.) piše *Anorgansku kemiju za više razrede srednjih učilišta* 1912. godine u Zagrebu, u kojem se također nalazi tablica periodnog sustava elemenata (Raos, 2011).



Slika 32. Julije Domac (rektorat.unizg.hr)

4.3.3. Prvi moderan sveučilišni udžbenik kemije s periodnim sustavom elemenata

Fran Bubanović (1883. – 1956.) (slika 33), Janečekov učenik i prvi profesor kemije na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu također je bio veliki štovatelj lika i djela Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva. On je napisao prvi udžbenik anorganske kemije i naš prvi cjeloviti kemijski sveučilišni udžbenik 1930. godine (objavljen u tri izdanja). Bubanović je u predgovoru drugog izdanja (1946./47.) naveo: *Kao i u prvom izdanju specijalni dio anorganske kemije i sada je obrađen postepeno redom prema grupama prirodnog periodičkog sistema elemenata, koji je prirodni sistem postavio i izradio najveći slavenski kemičar Dimitrij Ivanović Mendeljejev još godine 1870.*(Raos, 2011). Kao prilog ovom udžbeniku, Bubanović dodaje modifikaciju periodnog sustava elemenata koju je napravio Andreas von Antropov (1878. – 1956.) u obliku velike, lijepo obojane karte (slika 34). U tablicama svih izdanja Bubanovićeve udžbenika prisutna je skupina plemenitih plinova, kao nulta i zadnja skupina periodnog sustava elemenata, dok su ostale skupine periodnog sustava elemenata podijeljene na dva dijela (što je dodatno naglašeno bojom). Skupina lantanoida je odvojena od glavnog dijela periodnog sustava elemenata (Flegar, 2019).



Slika 33. Fran Bubanović (www.researchgate.net)

Periodisches System der Elemente
nach Prof. A. von Antropoff

Periodic System of Elements Sistema periódico de los elementos

0	I																II												
0-	I H 1,008																2 He 4,00												
0	I	II	III	IV	V	VI	VII									VIII													
2 He 4,00	3 Li 6,94	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,00	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00									10 Ne 20,2													
10 Ne 20,2	11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 31,04	16 S 32,07	17 Cl 35,46									18 Ar 39,88													
0	I a	II a	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII a				I b	II b	III b	IV b	V b	VI b	VII b	VIII b										
18 Ar 39,88	19 K 39,10	20 Ca 40,07	21 Sc 45,10	22 Ti 48,1	23 V 51,0	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,84	27 Co 58,97	28 Ni 58,68	29 Cu 63,57	30 Zn 65,37	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,96	34 Se 79,2	35 Br 79,92	36 Kr 82,9											
36 Kr 82,9	37 Rb 85,5	38 Sr 87,6	39 Y 89,0	40 Zr 91,2	41 Nb 93,5	42 Mo 96,0	43 Ma 95,94	44 Ru 101,7	45 Rh 102,9	46 Pd 106,7	47 Ag 107,88	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,8	52 Te 127,5	53 J 126,92	54 X 180,2											
54 X 130,2	55 Cs 132,8	56 Ba 137,4	57 La 138,9 <small>58-71 Ce-Lu</small>	72 Hf 178,6	73 Ta 181,5	74 W 184,0	75 Re 186,2	76 Os 190,9	77 Ir 193,1	78 Pt 195,2	79 Au 197,2	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209,0	84 Po	85 -	86 Em 222											
86 Em 222	87 -	88 Ra 226,0	89 Ac	90 Th 232,1	91 Pa	92 U 238,2																							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18											
												58 Ce 140,2	59 Pr 140,9	60 Nd 144,3	61 -	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3	65 Tb 159,2	66 Dy 162,5	67 Ho 163,5	68 Er 167,7	69 Tu 169,4	70 Yb 173,5	71 Cp 175,0	SELTENE ERDMETALLE			

Druck von
H. Meumann & Co. B. H. Leipzig
Printed in Germany

Slika 34. Antropovljeva tablica periodnoga sustava elemenata koja je tiskana kao prilog udžbeniku *Kemija* Frana Bubanovića (1930.) (Flegar, 2019)

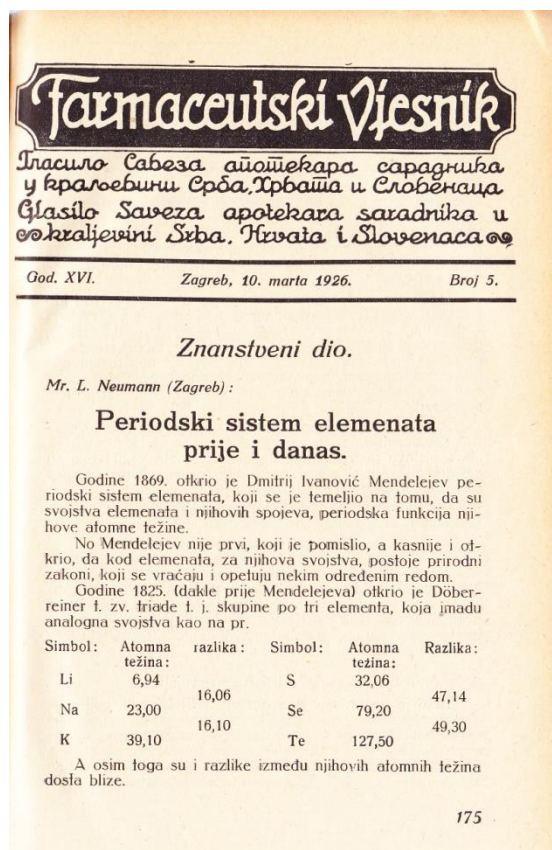
4.3.4. Periodni sustav elemenata u stručnim i popularizacijskim časopisima u Hrvatskoj

Otkriće periodnog zakona i periodnog sustava elemenata kao i njegovo popunjavanje povezano s likom i djelom Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva bili su popraćeni brojnim člancima u hrvatskim stručnim i popularizacijskim časopisima.

Poseban način prikaza periodnog sustava elemenata objavio je Franjo Krleža (1908. – 1988.) u *Nastavnom vjesniku* (1940/41.). On u članku zagovara kružni oblik periodnog sustava elemenata prema kojem se najbolje vidi kontinuitet svojstava elemenata (Raos, 2011).

U *Farmaceutskom vjesniku*, glasilu Hrvatskog farmaceutskog društva koji je počeo izlaziti 1907. godine (<https://katalog.kgz.hr>), već sljedeće godine objavio je članak *Dimitrij*

Ivanović Mendeljejev. Posmrtna besjeda, Gustava Janečka. Članak je u nastavcima objavljen i u prva četiri broja 1909. godine, a govori o životu i postignućima D. I. Mendeljejeva (Janeček, 1909). Nadalje, u istom časopisu godine 1926. objavljan je članak *Periodski sistem elemenata prije i danas*, L. Neumanna (slika 35) u kojem su navedeni bitni koraci u otkrivanju periodnog zakona te otkriće novih elemenata kao što su primjerice eka-elementi koji su popunili periodni sustav elemenata (slika 36) (Neumann, 1926).



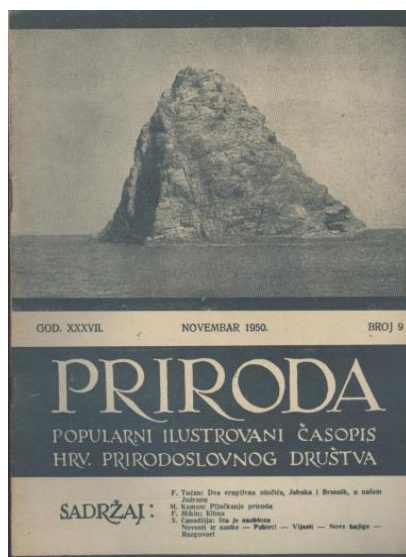
Slika 35. Naslovnica Farmaceutskog vjesnika iz 1926. u kojem je objavljen članak o periodnom sustavu elemenata (časopis se čuva u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu)

PERIODIČKI SISTEM ELEMENATA (1925)											
Perioda i broj elemenata	Red	SKUPINE							VIII-O		
		a I _b	a II _b	a III _b	a IV _b	a V _b	a VI _b	a VII _b			
I. $2 \times 1^2 = 2$	1	1H 1,008							2He 4,00		
II. $2 \times 2^2 = 8$	2	3Li 6,94	4Be 9,02	5B 10,82	6C 12,00	7N 14,008	8O 16,000	9F 19,00	10Ne 20,2		
III. $2 \times 2^2 = 8$	3	11Na 23,00	12Mg 24,32	13Al 26,97	14Si 28,06	15P 31,04	16S 32,07	17Cl 35,46	18Ar 39,88		
IV. $2 \times 3^2 = 18$	4	19K 39,10	20Ca 40,07	21Sc 45,10	22Ti 48,1	23V 51,0	24Cr 52,0	25Mn 54,93	26Fe 55,84	27Co 58,97	28Ni 58,68
	5	29Cu 63,57	30Zn 65,37	31Ga 69,72	32Ge 72,5	33As 74,96	34Se 79,20	35Br 79,92	36Kr 82,9		
V. $2 \times 3^2 = 18$	6	37Rb 85,5	38Sr 87,6	39Y 88,95	40Zr 91,2	41Nb 93,5	42Mo 96,00	43--	44Ru 101,7	45Rh 102,9	46Pd 106,7
	7	47Ag 107,88	48Cd 112,4	49In 114,80	50Sn 118,70	51Sb 121,80	52Te 127,5	53I 126,92	54X 130,20		
VI. $2 \times 4^2 = 32$	8	55Cs 132,80	56Ba 137,4	57La 138,9	58Ce 140,2	59Pr 140,8	60Nd 144,30	61--	62Sm 150,4	63Eu 152,0	64Gd 157,3
	9	68Er 167,6	69Tu 169,4	70Yb 173,50	71Cb 175,0	72Hf 180,8	73Ta 181,5	74W 184,0	75--	76Os 190,9	77Ir 193,1
VII.	10	79Au 197,20	80Hg 200,60	81Tl 204,4	82Pb 207,2	83Bi 209,0	84Po (210,0)	85--	86Em 222		
	11	87--	88Ra 226	89Ac	90Th 232,1	91Pa	92U 238,2				
		RH	RH ₂	RH ₃	RH ₄	RH ₅	RH ₆	RH	R		
		RF	RF ₂	RF ₃	RF ₄	RF ₅	RF ₆		R		
		R ₂ O	RO	R ₂ O ₃	RO ₂	R ₂ O ₅	RO ₃	R ₂ O ₇	RO ₄		

Slika 36. Prikaz periodnog sustava elemenata u članku L. Neumanna koji je objavljen u Farmaceutskom vjesniku 1926.

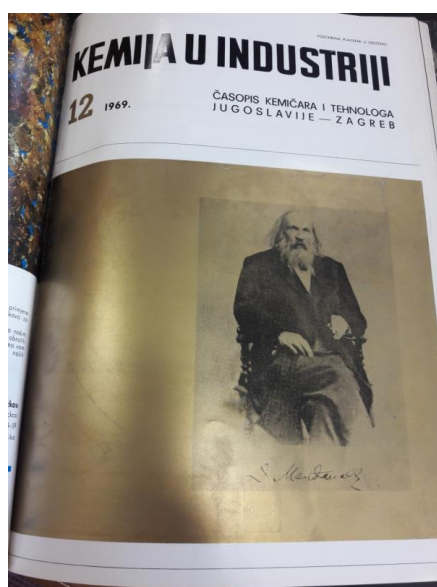
Fran Bubanović napisao je članak *O životu i djelima Dimitrija Ivanovića Mendjeljejeva (1834. – 1907.) (Prigodno slovo povodom proslave 100-godišnjice njegova rođenja)* koji je izašao u Farmaceutskom vjesniku 1934. godine. U tome članku Bubanović spominje predavanje koje je Gustav Janeček održao 1907. godine u Jugoslavenskoj akademiji znanosti i umjetnosti povodom smrti D. I. Mendeljejeva (Bubanović, 1934).

U časopisu *Priroda*, koji je časopis Hrvatskog prirodoslovnog društva izašli su brojni članci u vezi periodnog sustava elemenata te D. I. Mendeljejeva. Među njima je i članak *Prirodni sustav elemenata se popunjava*, objavljen 1950. godine (slika 37) u kojem je opisano otkriće brojnih elemenata koji su popunili tada već postojeći periodni sustav te potvrdili zakonitost sustava (*Priroda*, 1950). Nadalje, 1969. godine Vladimir Deduš napisao je *O stogodišnjici periodskog sistema kemijskih elemenata (D. I. Mendelejev, 1869.)* (Deduš, 1969).



Slika 37. Naslovnica časopisa Priroda iz 1950. u kojem je objavljen članak o periodnom sustavu elemenata (library.foi.hr)

Kemija u industriji, časopis Hrvatskog društva kemijskih inženjera i tehnologa, počeo je izlaziti tek 1952. (hrcak.srce.hr), a 1969. godine cijeli je broj bio posvećen periodnom sustavu elemenata (slika 38). U tom broju spominje se i *X jubilarni mendeljejevski kongres opće i primjenjene kemije* (Laćan, 1969) te *Izbor Dimitrija Ivanoviča Mendeleeva za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu godine 1882.* (Iveković, 1969a).



Slika 38. Naslovnica časopisa Kemija u industriji iz 1969. koji je posvećen periodnom sustavu elemenata (časopis se čuva u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu)

5. ZAKLJUČAK

Do povijesnog trenutka kada je otkriven periodni sustav elemenata dovela su brojna istraživanja A. L. de Lavoisiera, W. Prouta, J. W. Döbereinera, A. E. Béguyer de Chancourtoisa, J. Newlandsa, W. Odlinga, G. N. Hinrichsa i J. L. Meyera koji je svoju tablicu objavio nedugo nakon Mendeljejeva.

D. I. Mendeljejev 1869. godine objavio je svoju prvu tablicu periodnog sustava elemenata u kojoj je elemente poredao po rastućim atomskim težinama te ih grupirao po sličnim svojstvima. Važnost tog otkrića je u činjenici da je Mendeljejev predvidio otkriće eka-elemenata (galija, skandija i germanija) te njihova svojstva. Nove spoznaje u znanosti i otkriće strukture atoma dodatno su doprinjele razvoju periodnog sustava elemenata i svrstavanju elemenata prema rednom broju, a ne prema atomskoj težini.

Moderni periodni sustav elemenata sastoji se od sedam perioda i osamnaest skupina te sadrži sto osamnaest elemenata.

U vrijeme otkrića periodnog sustava elemenata, u Hrvatskoj se kemijska znanost tek počela razvijati osnutkom modernog Sveučilišta u Zagrebu (1874.) i njegovih prirodoslovnih odjela (1876.). Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti (danas Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti) bila je prva znanstvena akademija u Europi koja je Mendeljejeva izabrala za počasnog člana (1882.). Proglašenje D. I. Mendeljejeva za počasnog člana Jugoslavenske (danas Hrvatske) akademije znanosti i umjetnosti potaknulo je zanimanje hrvatskih znanstvenika za periodni sustav elemenata. Gustav Janeček svoja predavanja uskladio je s periodnim sustavom elemenata (1888.). Prvi udžbenik kemije na hrvatskom jeziku s tablicom periodnog sustava elemenata je *Anorganska kemija za više razrede realnih gimnazija i realaka*, J. Domca iz 1901. Prvi sveučilišni udžbenik opće kemije na hrvatskom jeziku s periodnim sustavom elemenata je *Kemija I., opći dio*, koju je objavio G. Janeček 1919. Prvi cjeloviti sveučilišni udžbenik kemije koji je bio usklađen s periodnim sustavom elemenata izdao je F. Bubanović 1930. Srednjoškolski i sveučilišni udžbenici pratili su daljnji razvoj periodnog sustava elemenata i donosili nove spoznaje koje su se prenosile i na širu društvenu zajednicu kroz stručne i popularizacijske članke.

6. LITERTURA I IZVORI

Annenberg learnen, Chemistry,
<https://www.learner.org/courses/chemistry/text/text.html?dis=U&num=Ym5WdEIUQS9OU289&sec=YzJWakIUQS9OaW89>, pristupljeno 23.01.2019.

Antoine Laurent Lavoisier, <http://comenius.susqu.edu/hons/250/scientists/lavoisier.htm>, pristupljeno 23.01.2019.

Bubanović F., https://www.researchgate.net/figure/Fran-Bubanovic-1883-1956-the-founder-of-Department-of-Chemistry-and-Biochemistry-at_fig1_319103009, pristupljeno 23.01.2019.

Bubanović F. O životu i djelima Dimitrija Ivanovića Mendjeljejeva (1834-1907) (Prigodno slovo povodom proslave 100-godišnjice njegovog rođenja). *Farmaceutski vjesnik*, 1934, 5, 176-182.; 6, 212-216.

Busca Biografias, Gilbert Newton Lewis,
<https://www.buscabiografias.com/biografia/verDetalle/7981/Gilbert%20Newton%20Lewis%20-%20Gilbert%20N.%20Lewis>, pristupljeno 23.01.2019.

Chemistry LibreTexts, Pauli Exclusion Principle,
[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Electronic_Structure_of_Atoms_and_Molecules/Electronic_Configurations/Pauli_Exclusion_Principle](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Electronic_Structure_of_Atoms_and_Molecules/Electronic_Configurations/Pauli_Exclusion_Principle), pristupljeno 23.01.2019.

Dakić B. Periodične funkcije. *Matematika i škola*, 2007/2008, 45, 203-209.

Deduš V. O stogodišnjici periodskog sistema kemijskih elemenata (D. I. Mendelejev, 1869). *Priroda*, 1969, 10, 298-300.

Domac J., <http://rektorat.unizg.hr/rektori/jdomac.htm>, pristupljeno 23.01.2019.

Every day is special, <http://every-day-is-special.blogspot.com/2016/02/february-7-national-periodic-table-day.html>, pristupljeno 23.01.2019.

Farmaceutski vjesnik,
<https://katalog.kgz.hr/pagesResults/bibliografskiZapis.aspx?&action=search¤tPage=2&searchById=40&sort=0&spid0=40&spv0=615&xm0=1&selectedId=155008033>, pristupljeno 23.01.2019.

Flegar V, Utjecaj otkrića i razvoja periodnog sustava elemenata na hrvatsku kemiju do sredine 20. stoljeća, Zagreb, 2019, 1-189.

Glogster: Multimedia Posters, Niels Bohr, <https://edu.glogster.com/glog/niels-bohr/2c7gdjoumc?glogpedia-source>, pristupljeno 23.01.2019.

Grdenić D., Filozofska podloga U: Povijest kemije, Školska knjiga, Zagreb, 2001a, str. 123-155.

Grdenić D. U potrazi za elementima, U: Povijest kemije, Školska knjiga, Zagreb, 2001b, str. 393-425.

Hendry RF. Philosophy of Chemistry. U: Elements, Oxford, Elsevier, North Holland, 2012, str. 255-269.

Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža,
<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=40096>, pristupljeno 23.01.2019.

Inić S, Kujundžić N. Julije Domac (1853. – 1928.) Život i djelo. Zagreb, Hrvatsko farmaceutsko društvo, Farmaceutsko-biokemijski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.

IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry, <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>, pristupljeno 23.01.2019.

Iveković H. Izbor Dimitrija Ivanoviča Mendeleeva za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu godine 1882. *Kemija u industriji*, 1969a, 12, 802-804.

Iveković H. Otkriće periodnog zakona elemenata i njegovo značenje. *Kemija u industriji*, 1969b, 12, 792-796.

Janeček G. Dimitrij Ivanović Mendeljejev. Posmrtna besjeda. *Farmaceutski vjesnik*, 1908, 8, 121-125.; 1909, 1, 1-3.; 1909, 2, 21-26.; 1909, 3, 37-44.; 1909, 4, 54-59.

Janeček G., <http://proleksis.lzmk.hr/28755/>, pristupljeno 23.01.2019.

Kemija u industriji: Časopis kemičara i kemijskih inženjera Hrvatske,
<https://hrcak.srce.hr/kui>, pristupljeno 23.01.2019.

Kregh H. Niels Bohr and the Quantum Atom: The Bohr Model of Atomic Structure 1913-1925. New York, Oxford University Press, 2012, str. 1-6.

Lecoq de Boisbaudran, PE., <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=35775>, pristupljeno 23.01.2019.

Laćan M. X jubilarni mendeljejevski kongres opće i primijenjene kemije. *Kemija u industriji*, 1969, 12, 797-798.

Marie Curie and the Science of Radioactivity, The Periodic Table of Elements,
<https://history.aip.org/exhibits/curie/periodic.htm>, pristupljeno 23.01.2019.

Neptunij, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=43438>, pristupljeno 23.01.2019.

Neumann L. Periodski sistem elemenata prije i danas. *Farmaceutski vjesnik*, 1926, 5, 175-180.

Neumann L. Periodski sistem elemenata prije i danas. *Farmaceutski vjesnik*, 1926, 8, 305-307.

Novosti iz nauke. Prirodni sustav elemenata se popunjava. *Priroda*, 1950, 9, 344-350.

Nubian Desert, Lothar Meyer, <http://nubiandesert.info/lothar-meyer.html>, pristupljeno 23.01.2019.

Odraz Mendeljejevog periodnog sustava elemenata u hrvatskoj kemiji, https://bib.irb.hr/datoteka/779519.vanja_7_-_sa_pozadinom_1.pdf, pristupljeno 23.01.2019.

O povijesti ljekarništva u knjižnici Farmaceutsko – biokemijskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, https://bib.irb.hr/datoteka/928439.O_povijesti_ljekarnistva.pdf, pristupljeno 23.01.2019.

Partington JR. A short history of chemistry, New York, Dover Publications, inc., 1989, str. 342-381.

Pinterest, What is the Aufbau Principle?, <https://www.pinterest.com/pin/201606520796838157/>, pristupljeno 23.01.2019.

Poliklinika Kardioton, <http://www.poliklinika-kardioton.hr/elektrokardiogram/>, pristupljeno 23.01.2019.

Povijest Sveučilišta u Zagrebu, <http://www.unizg.hr/o-sveucilistu/sveuciliste-jucer-danas-sutra/povijest-sveucilista/>, pristupljeno 23.01.2019.

Pravilni poliedri ili Platonova tijela, <http://www.antonija-horvatek.from.hr/8-razred/05-Geometrijska-tijela/Geom-tijela-SSuljic/tijela/41platonova.htm>, pristupljeno 23.01.2019.

Priroda, <http://library.foi.hr/priroda/detalji.asp?broj=195000009&K=&U=>, pristupljeno 23.01.2019.

Raos N. Periodni sustav u Hrvata. *Kemija u industriji*, 2011, 60, 633-638.

Synthetic Elements, Development of the Periodic Chart, <http://d1068036.site.myhosting.com/periodic.f/synthesis.html>, pristupljeno 23.01.2019.

Scerri ER. Editorial 8 - Special Issue on the Periodic System of the Elements. *Foundations of Chemistry*, 2001, 2, 97-104.

Scerri ER. The Discovery of the Periodic Table as a Case of Simultaneous Discovery. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2015, 2037, 1-13.

Scerri ER. The Periodic Table, Its Story and Its Significance, New York, Oxford University Press, Inc. 2007, str. 3-286

Scientific American, A division of Nature America, Inc., https://www.jstor.org/stable/26057944?seq=1#page_scan_tab_contents, pristupljeno 23.01.2019.

The chemogenesis web book, the internet database of periodic tables, https://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=3, pristupljeno 23.01.2019.

The Royal Society Publishing, The discovery of the periodic table as a case of simultaneous discovery, <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/373/2037/20140172>, pristupljeno 23.01.2019.

Voices of the Manhattan Project, <https://www.manhattanprojectvoices.org/oral-histories/glenn-seaborgs-interview>, pristupljeno 23.01.2019.

Wikipedia, the Free Encyclopedia, Julius Lothar Meyer, https://en.wikipedia.org/wiki/Julius_Lothar_Meyer, pristupljeno 23.01.2019.

Wikipedia, the Free Encyclopedia, Henri Becquerel, https://bs.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel, pristupljeno 23.01.2019.

Wikipedia, the Free Encyclopedia, Henry Moseley, https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Moseley, pristupljeno 23.01.2019.

Wikipedia, the Free Encyclopedia, Marie Curie, https://en.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie, pristupljeno 23.01.2019.

Wikipedia, the Free Encyclopedia, Wolfgang Ernst Pauli, https://en.wikiquote.org/wiki/Wolfgang_Pauli, pristupljeno 23.01.2019.

Wikiquote, Ernest Rutherford, https://en.wikiquote.org/wiki/Ernest_Rutherford, pristupljeno 23.01.2019.

7. SAŽETAK / SUMMARY

Ovaj diplomski rad donosi pregled otkrića i razvoja periodnog sustava elemenata i njegov utjecaj na hrvatsku kemiju. D. I. Mendeljejev objavio je 1869. godine svoj periodni sustav elemenata u kojem su elementi bili poredani po rastućoj atomskoj težini i njihovim kemijskim svojstvima. Mendeljejev je ostavio prazna mjesta za eka-elemente koji su kasnije bili otkriveni kao galij (1875.), skandij (1879.) i germanij (1886.). Brojni Mendeljejevljevi prethodnici, od Döbereinera, Newlandsa, Odlinga i Meyera, dali su svoj doprinos ovom značajnom otkriću u kemiji. Otkrićem plemenitih plinova i novim spoznajama o građi atoma, periodni sustav elemenata razvijao se i nadopunjavao, a danas sadrži sto osamnaest elemenata raspoređenih u sedam perioda i osamnaest skupina. Osnivanjem Sveučilišta u Zagrebu (1874.) i njegovih prirodoslovnih odjela (1876.) započinje razvoj kemijska znanost u Hrvatskoj, istovremeno s otkrićem periodnog sustava elemenata pa je njegova primjena u nastavi kemije kasnila. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti (danas Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti) prva je akademija znanosti u Europi koja je proglasila D. I. Mendeljejeva za svoga počasnog člana (1882.). G. Janeček, sveučilišni profesor kemije, uveo je periodni sustav elemenata u svoja predavanja (1888.). Prvi udžbenik iz kemije s tablicom periodnog sustava elemenata je *Anorganska kemija* (Zagreb, 1901.) Julija Domca. Fran Bubanović objavljuje prvi moderan sveučilišni udžbenik iz kemije (1930.) koji je bio napisan u skladu s periodnim sustavom elemenata. Osim u hrvatskoj znanstvenoj i stručnoj literaturi, otkriće i razvoj periodnog sustava elemenata pratio se i u brojnim stručnim časopisima i popularizacijskim člancima.

This graduate thesis provides an overview of the discovery and development of the periodic table and its influence on Croatian chemistry. In 1869, D. I. Mendeleev published his periodic system of elements in which the elements were ordered by increasing atomic weight and their chemical properties. Mendeleev left empty spaces for eka-elements that were later discovered as gallium (1875), scandium (1879), and germanium (1886). Numerous Mendeleev's predecessors, Döbereiner, Newland, Odling and Meyer, have contributed to this significant discovery in chemistry. With the discovery of noble gases and new knowledge of the structure of the atoms, the periodic system of elements has developed and supplemented, and today it contains one hundred eighteen elements divided into seven periods and eighteen groups. The founding of the University of Zagreb (1874) and its scientific departments (1876) began the development of chemical science in Croatia, at the same time as the discovery of the periodic table of the elements, and its application in the teaching of chemistry was delayed. The Yugoslavian Academy of Sciences and Arts (today the Croatian Academy of Sciences and Arts) is the first academy of science in Europe that proclaimed D. I. Mendeleev for his honorary member (1882). G. Janeček, a university professor of chemistry, introduced a periodic system of elements in his lectures (1888). The first textbook for chemistry with the periodic system of elements is *Anorganska kemija* (Zagreb, 1901) by Julije Domac. Fran Bubanović publishes the first modern university textbook for chemistry (1930) that was written in accordance with the periodic system of elements. Apart from Croatian scientific and professional literature, the discovery and development of the periodic system of elements has been followed in many professional journals and popularization articles.

Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište u Zagrebu
Farmaceutsko-biokemijski fakultet
Zavod za analitičku kemiju
A. Kovačića 1, 10000 Zagreb, Hrvatska

Diplomski rad

OTKRIĆE PERIODNOG SUSTAVA ELEMENATA I ODJEK U HRVATSKOJ

Klara Bošković

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad donosi pregled otkrića i razvoja periodnog sustava elemenata i njegov utjecaj na hrvatsku kemiju. D. I. Mendeljejev objavio je 1869. godine svoj periodni sustav elemenata u kojem su elementi bili poredani po rastućoj atomskoj težini i njihovim kemijskim svojstvima. Mendeljejev je ostavio prazna mjesta za eka-elemente koji su kasnije bili otkriveni kao galij (1875.), skandij (1879.) i germanij (1886.). Brojni Mendeljejevljevi prethodnici, od Döbereinera, Newlandsa, Odlinga i Meyera, dali su svoj doprinos ovom značajnom otkriću u kemiji. Otkrićem plemenitih plinova i novim spoznajama o građi atoma, periodni sustav elemenata razvijao se i nadopunjavao, a danas sadrži sto osamnaest elemenata raspoređenih u sedam perioda i osamnaest skupina. Osnivanjem Sveučilišta u Zagrebu (1874.) i njegovih prirodoslovnih odjela (1876.) započinje razvoj kemijska znanost u Hrvatskoj, istovremeno s otkrićem periodnog sustava elemenata pa je njegova primjena u nastavi kemije kasnila. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti (danas Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti) prva je akademija znanosti u Europi koja je proglasila D. I. Mendeljejeva za svoga počasnog člana (1882.). G. Janeček, sveučilišni profesor kemije, uveo je periodni sustav elemenata u svoja predavanja (1888.). Prvi udžbenik iz kemije s tablicom periodnog sustava elemenata je *Anorganska kemija* (Zagreb, 1901.) Julija Domca. Fran Bubanović objavljuje prvi moderan sveučilišni udžbenik iz kemije (1930.) koji je bio napisan u skladu s periodnim sustavom elemenata. Osim u hrvatskoj znanstvenoj i stručnoj literaturi, otkriće i razvoj periodnog sustava elemenata pratio se i u brojnim stručnim časopisima i popularizacijskim člancima.

Rad je pohranjen u Središnjoj knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta.

Rad sadrži: 52 stranice, 38 grafičkih prikaza i 56 literaturnih navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku.
Ključne riječi: periodni sustav elemenata, D. I. Mendeljejev, J. Domac, G. Janeček, hrvatska kemija
Mentor: **Dr. sc. Suzana Inić**, docent Sveučilišta u Zagrebu farmaceutsko-biokemijskog fakulteta
Ocjenjivači: **Dr. sc. Suzana Inić**, docent Sveučilišta u Zagrebu Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta
Dr. sc. Živka Juričić, redoviti profesor Sveučilišta u Zagrebu Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta
Dr. sc. Vanja Flegar, profesor fizike i kemije, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti

Rad prihvaćen: siječanj 2019.

Basic documentation card

University of Zagreb
Faculty of Pharmacy and Biochemistry
Department of Analytical Chemistry
A. Kovačića 1, 10000 Zagreb, Croatia

Diploma Thesis

THE DISCOVERY OF THE PERIODIC TABLE AND ECHO IN CROATIA

Klara Bošković

SUMMARY

This graduate thesis provides an overview of the discovery and development of the periodic table and its influence on Croatian chemistry. In 1869, D. I. Mendeleev published his periodic system of elements in which the elements were ordered by increasing atomic weight and their chemical properties. Mendeleev left empty spaces for eka-elements that were later discovered as gallium (1875), scandium (1879), and germanium (1886). Numerous Mendeleev's predecessors, Döbereiner, Newland, Odling and Meyer, have contributed to this significant discovery in chemistry. With the discovery of noble gases and new knowledge of the structure of the atoms, the periodic system of elements has developed and supplemented, and today it contains one hundred eighteen elements divided into seven periods and eighteen groups. The founding of the University of Zagreb (1874) and its scientific departments (1876) began the development of chemical science in Croatia, at the same time as the discovery of the periodic table of the elements, and its application in the teaching of chemistry was delayed. The Yugoslavian Academy of Sciences and Arts (today the Croatian Academy of Sciences and Arts) is the first academy of science in Europe that proclaimed D. I. Mendeleev for his honorary member (1882). G. Janeček, a university professor of chemistry, introduced a periodic system of elements in his lectures (1888). The first textbook for chemistry with the periodic system of elements is *Anorganska kemija* (Zagreb, 1901) by Julije Domac. Fran Bubanović publishes the first modern university textbook for chemistry (1930) that was written in accordance with the periodic system of elements. Apart from Croatian scientific and professional literature, the discovery and development of the periodic system of elements has been followed in many professional journals and popularization articles.

The thesis is deposited in the Central Library of the University of Zagreb Faculty of Pharmacy and Biochemistry.

Thesis includes: 52 pages, 38 figures and 56 references. Original is in Croatian language.
Keywords: the periodic table, D.I. Mendeleev, j. Domac, G. Janeček, Croatian Chemistry
Mentor: **Suzana Inić, Ph.D.** Assistant Professor, University of Zagreb Faculty of Pharmacy and Biochemistry
Reviewers: **Suzana Inić, Ph.D.** Assistant Professor, University of Zagreb Faculty of Pharmacy and Biochemistry
Živka Juričić, Ph.D. Full Professor, University of Zagreb Faculty of Pharmacy and Biochemistry
Vanja Flegar, Ph.D. Professor of Physics and Chemistry, Croatian Academy of Sciences and Arts

The thesis was accepted: January 2019.