

# Utjecaj otkrića i razvoja periodnoga sustava elemenata na hrvatsku kemiju do sredine 20. stoljeća

---

Flegar, Vanja

Doctoral thesis / Disertacija

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:305566>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Vanja Flegar

**UTJECAJ OTKRIĆA I RAZVOJA PERIODNOGA  
SUSTAVA ELEMENATA NA HRVATSKU KEMIJU DO  
SREDINE 20. STOLJEĆA**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

doc. dr. sc. Vladimir Stilinović

doc. dr. sc. Suzana Inić

Zagreb, 2019.





University of Zagreb  
FACULTY OF SCIENCE

Vanja Flegar

**THE IMPACT OF THE DISCOVERY AND  
DEVELOPMENT OF THE PERIODIC SYSTEM OF  
ELEMENTS ON CROATIAN CHEMISTRY TO THE MID  
TWENTIETH CENTURY**

DOCTORAL THESIS

Supervisors:  
Vladimir Stilinović, PhD  
Suzana Inić, PhD

Zagreb, 2019



Prvo i posebno hvala mojim mentorima, doc. dr. sc. Suzani Inić i doc. dr. sc. Vladimiru Stilinoviću na stručnoj pomoći, strpljenju i uvijek korisnim savjetima kojima su pridonijeli kvaliteti ovog rada. Također zahvaljujem prof. dr. sc. Hrvoju Vančiku, koji je bio moj voditelj kroz cijeli poslijediplomski doktorski studij, na njegovoj podršci i pomoći kod savladavanja poteškoća na koje smo u ovom procesu nailazili. Hvala i Vama, mojim kolegama, koji ste uvijek pokazivali dobru volju, podršku i razumijevanje i bili mi otpora.

Posljednje, ali nikako najmanje, hvala mojoj mami koja je kao i uvijek do sada sudjelovala u cijelom ovom procesu odrastanja i učenja.

Vanja



# Sadržaj

## SAŽETAK

## ABSTRACT

<b>§ 1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>§ 2. LITERATURNI PREGLED .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Korijeni periodnoga sustava elemenata .....</b>	<b>5</b>
2.1.1. Elementi .....	7
<b>2.2. Klasifikacija elemenata prije Mendeljevljeva periodnoga sustava elemenata.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Pokušaji klasifikacije elemenata.....</b>	<b>18</b>
2.3.1. Periodičnost kemijskih svojstava .....	18
<b>2.4. Mendeljevljev periodni sustav elemenata .....</b>	<b>24</b>
2.4.1. Dmitrij Ivanovič Mendeljejev (1834. – 1907.) .....	24
2.4.2. Objava Mendeljevljeva periodnoga sustava elemenata .....	26
<b>2.5. Evolucija periodnoga sustava elemenata .....</b>	<b>32</b>
2.5.1. Berilij.....	32
2.5.2. Uranij.....	32
2.5.3. Telurij i jod.....	33
2.5.4. Otkriće galija, skandija i germanija.....	33
2.5.5. Otkriće plemenitih plinova.....	35
2.5.6. Otkriće rentgenskih zraka i radioaktivnosti.....	36
2.5.7. Građa atoma.....	37
2.5.8. Kvantna mehanika.....	41



<b>2.6. Moderni periodni sustav elemenata.....</b>	<b>45</b>
<b>2.7. Recepcija periodnoga sustava elemenata u Rusiji, Njemačkoj, Češkoj i Srbiji.....</b>	<b>48</b>
2.7.1. Rusija.....	48
2.7.2. Njemačka .....	51
2.7.3. Češka .....	53
2.7.4. Srbija.....	55
<b>§ 3. REZULTATI I RASPRAVA .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1. Periodni sustav elemenata u hrvatskoj kemiji.....</b>	<b>57</b>
3.1.1. Nastava kemije na realnim školama u Hrvatskoj u 19. stoljeću .....	57
3.1.2. Stanje u hrvatskoj kemiji u vrijeme otkrića periodnoga sustava elemenata i obnova zagrebačkog Sveučilišta 1874. godine.....	58
<b>3.2. Izbor Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva za počasnog člana Akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu 1882. godine.....</b>	<b>62</b>
<b>3.3. Julije Domac i periodni sustav elemenata.....</b>	<b>79</b>
<b>3.4. Periodni sustav elemenata u Hrvatskoj nakon Domčeva udžbenika.....</b>	<b>85</b>
3.4.1. Gustav Janeček i periodni sustav elemenata.....	85
3.4.1.1. Govor Gustava Janečka povodom smrti Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva.....	87
3.4.1.2. Janečekov udžbenik <i>Kemija I. opći dio</i> i periodni sustav elemenata.....	94
3.4.2. Udžbenik <i>Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta</i> (Zagreb, 1912.) Franje Šandora.....	102
3.4.3. Fran Bubanović i periodni sustav elemenata.....	107
3.4.3.1. Bubanovićeva knjiga <i>Slike iz kemije</i> .....	110

3.4.3.2. Bubanovićev udžbenik <i>Kemija</i> .....	114
3.4.4. Vladimir Njegovan i periodni sustav elemenata.....	141
3.4.4.1. Tehnička visoka škola u Zagrebu.....	142
3.4.4.2. Njegovanova <i>Anorganska kemija s tehnologijom za tehničke akademije</i> .....	144
3.4.4.3. Njegovanov udžbenik <i>Osnovi hemije</i> .....	146
3.4.5. Periodni sustav elemenata u udžbeniku Zvonimira Pinterovića.....	157
3.4.6. Prijedlog Franje Krleže za izgled periodnoga sustava elemenata.....	162
<b>3.5. Periodni sustav u časopisima i popularizacijskoj literaturi u Hrvatskoj.....</b>	<b>167</b>
<b>3.6. Prvi udžbenici s periodnim sustavom elemenata u drugim zemljama.....</b>	<b>175</b>
<b>§ 4. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>185</b>
<b>§ 5. LITERATURA.....</b>	<b>189</b>
<b>§ 6. PRILOZI.....</b>	<b>205</b>
<b>§ 7. ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>217</b>





## SAŽETAK

### UTJECAJ OTKRIĆA I RAZVOJA PERIODNOGA SUSTAVA ELEMENATA NA HRVATSKU KEMIJU DO SREDINE 20. STOLJEĆA

Vanja Flegar  
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti

Godine 1869. Dmitrij Ivanovič Mendeljejev objavljuje svoju prvu tablicu periodnoga sustava elemenata i formulira zakon periodičnosti. Cilj je ovoga rada detaljna analiza razdoblja stvaranja i razvoja srednjoškolske i visokoškolske nastave kemije u Hrvatskoj s obzirom na Mendeljejevljevu objavu. U radu su istražene specifične okolnosti, recepcija, nasljeđe i razvoj periodnoga sustava elemenata te njegova implementacija u hrvatskoj znanstvenoj i nastavnoj sredini. Istraživanje je provedeno komparativnom analizom arhivskih materijala te srednjoškolskih i sveučilišnih udžbenika kemije pisanih na hrvatskom jeziku krajem 19. i početkom 20. stoljeća autora: J. Domca, G. Janečeka, F. Šandora, F. Bubanovića, Z. Pinterovića, V. Njegovana i F. Krleže. Analizirane su i znanstveno-popularizacijske publikacije u kojima se spominje otkriće i primjena periodnoga sustava elemenata u nastavi kemije kao i njegov razvoj nakon objave (*Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva, Farmaceutski vijesnik, Arhiv za hemiju i farmaciju, Priroda*). U okvirima hrvatske znanosti, prvenstveno kemije, postoji odraz otkrića i objave te usavršavanja Mendeljejevljeva periodnoga sustava elemenata koji možemo pratiti preko srednjoškolskih udžbenika, utemeljenja (1876.) i razvoja sveučilišne nastave kemije.

(220 stranica, 92 slika, 2 tablice, 244 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski )

Rad je pohranjen u Središnjoj kemijskoj knjižnici, Horvatovac 102a, Zagreb i Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici, Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb.

Ključne riječi: Dmitrij Ivanovič Mendeljejev/ Fran Bubanović/ Gustav Janeček/ Julije Domac/ periodni sustav elemenata/ razvoj hrvatske kemije/ udžbenici/ Vladimir Njegovan

Mentori: doc. dr. sc. Vladimir Stilinović, Prirodoslovno- matematički fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu  
doc. dr. sc. Suzana Inić, Farmaceutsko-biokemijski fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu

Rad prihvaćen: [9. siječnja 2019.]

Ocjenitelji:

1. prof. dr. sc. Hrvoj Vančik
2. izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš
3. akademik Nenad Trinajstić





University of Zagreb  
Faculty of Science  
**Department of Chemistry**

Doctoral Thesis

## ABSTRACT

### THE IMPACT OF THE DISCOVERY AND DEVELOPMENT OF THE PERIODIC SYSTEM OF ELEMENTS ON CROATIAN CHEMISTRY TO THE MID TWENTIETH CENTURY

Vanja Flegar

Croatian academy of Sciences and Arts

In 1869, Dmitry Ivanovich Mendeleev published his first table of the periodic system of elements and formulated the periodic law. The aim of the research was to analyze in detail the period of creation and development of the higher education of chemistry in Croatia in view of Mendeljejev's revelation. This paper explores the specific circumstances, reception, heritage and monitoring of the development of the periodic system and its implementation in the Croatian scientific and teaching environment. Comparative analysis of archival materials and secondary school and university chemistry textbooks written in Croatian language by the end of the 19<sup>th</sup> and in the beginning of the 20<sup>th</sup> century by: J. Domac, G. Janeček, F. Šandor, F. Bubanović, Z. Pinterović, V. Njegovan and F. Krleža has been done. Further analysis of other publications that mentioned the discovery and development of periodic system (*Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva*, *Farmaceutski vijesnik*, *Arhiv za hemiju i farmaciju*, *Priroda*) also showed that the framework of Croatian science, primarily chemistry, reflects the discovery and publication of Mendeleev's Periodic System elements as well as its development which we can follow through the development of university chemistry teaching since 1876.

(220 pages, 92 figures, 2 tables, 244 references, original in Croatian)

Thesis deposited in Central Chemical Library, Horvatovac 102A, Zagreb, Croatia and National and University Library, Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb, Croatia.

Keywords: development of Croatian chemistry/ Dmitrij Ivanovič Mendeljejev/ Fran Bubanović/ Gustav Janeček/ Julije Domac/ periodic system of elements/ textbooks/ Vladimir Njegovan

Supervisor: Dr. Vladimir Stilinović, Assistant Professor  
Dr. Suzana Inić, Assistant Professor

Thesis accepted: [9<sup>th</sup> January 2019]

Reviewers:

Dr. Hrvoj Vančik, Professor  
Dr. Nenad Judaš Associate Professor  
Academician Nenad Trinajstić



*The periodic table of the elements is one of the most powerful icons in science: a single document that captures the essence of chemistry in an elegant pattern. Indeed, nothing quite like it exists in biology or physics, or any other branch of science, for that matter.*

Eric Scerri, *The Periodic Table Its Story and Its Significance*





## § 1. UVOD

U povijesti znanosti, posebice u području kemije, velika je pozornost usmjerena na proučavanje otkrića periodnog sustava kao i njegovo značenje za daljnji razvoj znanosti. Suvremena istraživanja objašnjavaju okolnosti koje su dovele do otkrića periodnog sustava elemenata kao i ulogu istaknutih znanstvenika koji su dali svoj doprinos njegovu otkrivanju. Međutim, istraživanja koja se temelje na proučavanju specifične recepcije, nasljeđa i razvoja periodnog sustava elemenata te njegove implementacije u kemijsku znanstvenu i nastavnu sredinu pojedinih europskih zemalja, skromna su i nepotpuna.

U povijesti znanosti postoje mnoge studije odraza otkrića unutar specifičnih znanstvenih sredina, no ipak se samo nekoliko otkrića i širenja ideja sustavno proučilo. To je prije svega utjecaj i odraz Darwinove teorije evolucije u biologiji i Einsteinova teorija relativnosti u fizici. Istraživanje odraza pojave i razvoja periodnoga sustava elemenata u kemiji na globalnoj razini dugo je predlagano od strane raznih povjesničara znanosti i svoj je vrhunac zasada doseglo objavljivanjem knjige *Early responses to the periodic system* (Kaji, Kragh, Palló, 2015.).

Jedna od prvih studija ove tematike objavljena je 1996. godine, kada je S. G. Bush u članku „The reception of Mendeleev's Periodic law in America and Britain“ prezentirao rezultate svojih istraživanja u kojima je pregledao kemijske udžbenike i radove vezane uz kemiju u razdoblju od 1871. do 1890. godine koji su tada bili dostupni u američkim knjižnicama te zaključio kako je periodni sustav generalno bio prihvaćen u Americi i Velikoj Britaniji do 1890. godine (Brush, 1996.). U svojim bilješkama naglasio je potrebu za provođenjem ovog istraživanja i u drugim zemljama, poglavito Njemačkoj i Francuskoj. Otprilike u isto vrijeme, L. Nekoal-Chikhaoui u okviru svoje disertacije istražila je prihvaćanje i širenje Mendeljevljevog periodnoga sustava u Francuskoj (Nekoal-Chikhaoui, 1994.). U okviru disertacije istraženo je uvođenje periodnoga sustava u srednjoškolsko i visokoškolsko obrazovanje komparativnom analizom kemijskih udžbenika, skriptâ kao i drugih dostupnih materijala te je na kraju također istaknuta potreba za provođenjem ovakvog istraživanja i u ostalim državama. U knjizi *Early response to the Periodic System* objavljene su studije utjecaja otkrića i razvoja periodnoga sustava u Rusiji, Njemačkoj, Velikoj Britaniji, Francuskoj, Češkoj, Skandinavskim zemljama (Švedsku, Dansku i Norvešku) kao i u

Španjolskoj, Portugalu i Italiji te Japanu. Objavljene studije pokrivaju razdoblje od objave Mendeljevljeva periodnoga sustava elemenata pa do dvadesetih godina 20. stoljeća, prije razvoja nove kvantne teorije.

Autori navedenih studija istražili su što se točno u njihovim zemljama dogodilo u kemiji u vrijeme i nakon Mendeljevljeve objave tablice periodnoga sustava elemenata i periodnoga zakona 1869. godine. Istraženo je kada se recepcija događa, tko su bili ljudi koji su prenosili Mendeljevljeve ideje i kako, u kojim publikacijama se periodni sustav elemenata prenosi i kako se koristi. U ovoj disertaciji žele se dati odgovori na sljedeća pitanja:

- 1.) Tko je prema recepciji hrvatskih znanstvenika otkrio periodni sustav elemenata?
- 2.) Na koji se način prati sukob oko prvenstva otkrića periodnoga zakona između D. I. Mendeljevljeva i L. Meyera?
- 3.) Kako je otkriće galija, skandija i germanija utjecalo na odraz otkrića periodnoga sustava elemenata u Hrvatskoj?
- 4.) Kakva je u Hrvatskoj daljnja recepcija otkrića kojima se periodni sustav elemenata nadopunjavao i modificirao, poput otkrića plemenitih plinova, otkrića elemenata rijetkih zemalja?
- 5.) Povezuje li se periodni sustav elemenata sa strukturom materije, atomskom teorijom, radioaktivnošću, kvantnom teorijom?
- 6.) Kada se to sve događa i u kojim publikacijama?
- 7.) Postoje li neke interpretacije periodnoga sustava elemenata hrvatskih autora?
- 8.) Prati li se u Hrvatskoj vijest o otkriću periodnog sustava elemenata i u široj sredini, izvan znanstvene zajednice?
- 9.) Koje su bile prve publikacije (časopisi, udžbenici, priručnici i drugo) u kojima se u Hrvatskoj spominje periodni sustav elemenata?
- 10.) Tko su autori tih publikacija?
- 11.) Jesu li publikacije izvorno djelo autora ili prijevodi sa stranih jezika?
- 12.) Kada se i na koji način periodni sustav elemenata uvodi u obrazovni proces?
- 13.) Postoje li autori koji kritiziraju ili odbacuju periodni sustav elemenata?

U radu je sustavno i detaljno istražen odraz pojave i razvoja periodnog sustava elemenata u hrvatskoj kemiji do polovice 20. stoljeća. Objava Mendeljejeve prve tablice periodnog sustava (1869.), prethodi razdoblju obnove Zagrebačkog sveučilišta (1874.) te početka rada njegovih prirodoslovnih odjela (1876.) kada hrvatska kemija ulazi u intenzivno razdoblje stvaranja i razvoja visokoškolske nastave kao i početaka znanstvenih istraživanja.



## § 2. LITERATURNI PREGLED

### 2.1 Korijeni periodnoga sustava elemenata

Pokušaji i načini organizacije poznatih počela, kasnije elemenata, vuku svoje korijene još iz vremena alkemije, a kasnije su vezani i uz razvoj moderne znanosti i kemije kao znanstvene discipline. Kemičari su oduvijek pokušavali sistematizirati svoje znanje i prikazati ga na način koji bi bio racionalan te omogućio povezivanje poznatih informacija o pojedinim elementima. Već sam razvoj simboličkog jezika kemije, poseban način označavanja kemijskih elemenata, spojeva te kemijskih reakcija ukazuje na inovativnost i posebnost kemije kao znanstvene discipline. Prema suvremenoj definiciji, kemija je znanost koja proučava strukturu, osobine, sastav i pretvorbe tvari. Ona je jedna od temeljnih prirodnoznanstvenih disciplina čiji je cilj razumijevanje procesa u živom i neživom svijetu na molekularnoj razini. Kao samostalna znanstvena disciplina, kemija u okviru svog djelovanja ima svoje temeljne koncepte, metode i teorije koje koristi. Kemijski koncepti i teorije, poput onih o kemijskoj vezi, kemijskom afinitetu, valenciji ili pak periodnom sustavu elemenata upravo su temelj samosvojne znanosti – kemije (Vančik, 1999.).

Za razliku od ostalih kemijskih otkrića u povijesti kemije koja se napuštaju s novim rezultatima znanstvenih istraživanja, novim idejama i teorijama, periodni sustav elemenata ostaje temelj kemijskih zakonitosti. Upravo je on bio poticaj novim znanstvenim spoznajama koje se njima nadopunjuju i dalje razvijaju.

Usporedno s razvojem pojma elementa i njegove definicije razvija se i kemija kao samosvojna znanost. Time se ujedno javlja i potreba bilježenja otkrivenih činjenica. Jezik kemije razvija se na vrlo specifičan način. Povijesno gledano, razvoj kemijskih simbola može se podijeliti u nekoliko karakterističnih razdoblja, a svako razdoblje na vlastiti, svoj specifičan način doprinosi evoluciji simbola u kemiji. Već u najranijim razdobljima razvoja civilizacije na Zemlji i mjestima koja vežemo uz razvoj protokemije, poput drevnog Egipta, nalazimo specifične simbole koji su se koristili za opis određenih kemijskih postupaka. Takvi se simboli koriste i u antičkoj Grčkoj. Nakon protokemije, razvoj povijesti kemije vežemo uz alkemiju. U okviru svog djelovanja alkemičari su koristili tajni jezik u kojem određene tvari i postupke nisu opisivali riječima, već proširenim korištenjem simbola. Budući da se europska alkemija u vremenskom slijedu nastavlja na arapsku, grčku i egipatsku alkemiju, upotreba simbola ima svoje korijene u drevnoj civilizaciji Egipta. Upotreba simbola za Egipćane nije bila nimalo neobična, budući da je njihovo pismo piktografsko.

No, razvojem jezika i znanosti, jezik alkemije postajao je naizgled još kompliciraniji i obogaćen novom simbolikom. Odabrana nekolicina koja je poznavala i razumjela disciplinu alkemije držala ju je pod velom tajne koja je bila dostupna samo onima koji su bili dovoljno obrazovani i inicirani u postupke kojima su se bavili alkemičari. Tako se neke alkemijske knjige neupućenima izgledale kao teško razumljive slikovnice ili bajke.

Kraj 17. stoljeća bio je pravo vrijeme za velike korake naprijed, kako u drugim prirodnim znanostima, tako i u jeziku, tj. simbolima u kemiji. U to vrijeme u prirodnim znanostima dolazi do izdvajanja prirodne filozofije iz okvira metafizike. Glavno pitanje prirodnih znanosti postaje empirijska i eksperimentalna aktivnost, a ne više samo potraga za znanjem. Materijalistički pristup unutar znanosti postaje sve intenzivniji, tako i unutar alkemije otklon od alkemijskog simbolizma postaje sve snažniji i izraženiji. U kemiji se pokušavaju unijeti univerzalni simboli. Tako povijest kemije bilježi pokušaje Geoffroya, Lavoisiera te kasnije Daltona, koji u kemiju uvodi atomski simbolizam.

U drugoj polovici 18. stoljeća kemija je postala kvantitativna znanost, simboli su potpuno napušteni i zamijenjeni upotrebom kratica i formula. Ovakav pristup prvi uvodi Jöns Jacob Berzelius (1779. – 1848.). On je osmislio jednostavan način notacije i u kemiju je uveo moderan zapisa kemijskog elementa. Od tada se svaki element obilježava s početnim slovom njegova latinskog imena. Kasnije je taj sustav unaprjeđivan i modificiran od strane kemičara, no ipak zadržan sve do današnjih dana. Daljnjim razvojem kemije, poglavito organske kemije, ulazi se u novo poglavlje u jeziku kemije koje donosi i novi, moderan način prikazivanja kemijskih spojeva i struktura. Međutim, kao i u davnoj prošlosti, tako i danas, jezik komunikacije kemičara ostaje nepoznat neobrazovanima u tom polju (Crosland, 1978.).

### 2.1.1. Elementi

Definicija kemije i predmet kojim se ona bavi mijenjala se kroz povijest. Ipak, postoje fundamentalni koncepti koji nadilaze trenutne promjene te se u okviru njih kemija kontinuirano razvija iako se samo shvaćanje i razumijevanje tih koncepata mijenja (Mierzecki, 1985.). Želimo li govoriti i proučavati razvoj periodnog sustava elemenata potrebno je prvo proučiti koncept samog kemijskog elementa i njegova razvoja. Jedna od prvih informacija u svim početnim udžbenicima kemije s kojima se susreću svi koji kemiju počinju učiti, jest ona koja govori o predmetu kemije i njezinoj definiciji, to jest definiranju područja djelovanja kemije i njenog proučavanja. Nadalje, u tim se udžbenicima govori i o tome kako definiramo materiju i kako je kategoriziramo te kako definiramo kemijski element (Vančik, 1999.; Knight, 1992.).

Današnja definicija pojma kemijskog elementa govori da je kemijski element skup svih atoma u prirodi koji u jezgri imaju jednak broj protona. Danas je poznato 118 kemijskih elemenata. Uz kemijski element moderna kemija definira i pojam elementarne tvari. Broj poznatih elementarnih tvari, tvari građenih samo od jednog elementa, veći je od broja kemijskih elemenata te iznosi oko 600. To se događa zbog alotropije. Danas elemente redovito dijelimo na metale, nemetale i polumetale, a dodatno ih prema svojstvima svrstavamo u određene grupe, koje su prisutne u periodnom sustavu elemenata. Svi danas poznati elementi nalaze se u tablici periodnoga sustava elemenata. Za označavanje pojedinog kemijskog elementa kemičari koriste univerzalne, dogovorene oznake koje se sastoje od jednog ili dva slova. Prvo je slovo uvijek veliko, a drugo malo. Najčešće imena elemenata dolaze od prvih slova njihova latinskog imena. No, za neke kasnije otkrivene elemente latinska imena nisu definirana, kao na primjer za americij (Am, 95), berkelij (Bk, 97), mendelevij (Md, 101) (Prilog 1., abecedni popis elemenata periodnog sustava elemenata).

No, današnjoj suvremenoj definiciji kemijskog elementa prethodio je povijesni razvoj vezan uz pojam i definiciju elementa. Taj koncept pojma elemenata postoji još iz vremena kada sama kemija kao moderna suvremena znanost nije bila formirana. Korijene znanstvenih koncepata u vremenu prije znanstvenih revolucija, definiranja modernih znanosti i njihovih specifičnih metoda proučavali su filozofi u okviru filozofije prirode.

U okviru filozofije prirode granice među znanostima nisu postojale. Upravo iz tog razloga, istraživanja povijesnog razvoja kemijskih koncepata karakterizira interdisciplinarni pristup koji ujedno prelazi i današnje zadane okvire pojedinih prirodnih znanosti. Prirodni zakoni



kakve danas poznajemo i kojima se služimo, prije egzaktnih matematičkih formulacija, postojali su u obliku metafizičkih koncepata, koji su u svojoj naravi uvijek transdisciplinarni. Kemija i njezin pristup spoznaji svijeta svoje korijene i temelje ima u alkemijskoj i protokemijskoj tradiciji. Korijeni kemijskih koncepata, a onda i nekih kemijskih teorija, poput onih o kemijskoj vezi, kemijskom afinitetu, valenciji ili pak periodnom sustavu elemenata naslućeni su već u alkemijskoj eksperimentalnoj tradiciji i iskustvu, a dalje su se razvojem znanosti oblikovali u temeljne konceptualne sustave samosvojne znanosti – kemije.

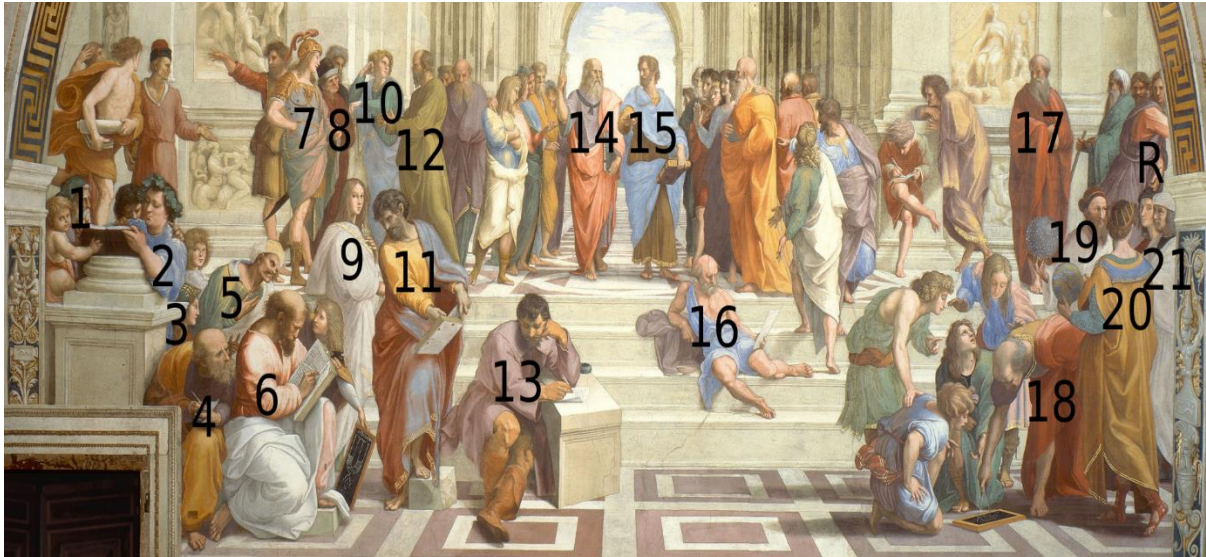
Začetke koncepta o elementima vežemo uz antičku grčku filozofiju prirode. No, važno je naglasiti da su se riječi poput elementa ili atoma koristile dugi niz godina ali se njihovo značenje i shvaćanje mijenjalo.

Osnovno filozofsko pitanje na koje su antički filozofi pokušavali dati odgovor bilo je *što jest?* – *što je bitak?* – *po čemu jest sve što jest?*. U 6. i 5. stoljeću prije Krista mnogi su mislioci pokušavali dati odgovor na pitanje o prapočelu ili praelementu, temeljnom počelu ili elementu od koje je materija sastavljena. Različiti antički grčki filozofi pokušali su dati odgovor na pitanje od čega je priroda koja nas okružuje nastala, od čega je građena, mijenja li materija svoj oblik. Prvi filozofi tražili su taj temeljni element u materijalnom obliku (slika 1.) (Guthrie, 2005.). Kod nekih filozofa priroda je bila izgrađena od jednog elementa. Tales iz Mileta (624. – 547. g. pr. Kr.) učio je da je materija izgrađena od vode. Aristotel iz Stagire (384. – 322. g. pr. Kr.) je u svojoj *Metafizici* napisao kako on izbor Talesova tvarnog počela vidi u nazoru da niti što nastaje niti što propada. Prema Aristotelu, mora postojati neki izvor materije iz kojeg nastaje sve ostalo dok on sam ostaje sačuvan. Talesov učenik, Anaksimandar iz Mileta (610. – 546. g. pr. Kr.) vjerovao je da je temeljno počelo *apeiron*, nešto što on definira kao beskonačno i neograničeno. Neki su zamišljali da je *apeiron* tvar između vode i zraka (Guthrie, 2005.; Partington, 1970.). Anaksimenes iz Mileta (oko 585. – 528. g. pr. Kr.) kao osnovno počelo uzima zrak.

Heraklit iz Efeza (540. – 480. g. pr. Kr.) smatrao je da je temeljno počelo bila vatra. On se u svojim stavovima odmiče od materijalizma i kao pratvar traži nešto što je stalno u promjeni. Kod Heraklita po prvi put nalazimo razmatranja o izvorima spoznaje i stav kako osjetilna spoznaja nije pouzdana, već je jedina prava spoznaja ona racionalna.

Neki su filozofi smatrali da postoji više elemenata. Empedoklo iz Agrigenta (490. – 435. g. pr. Kr.) u svoju filozofiju prirode uvodi četiri elementa: zemlju, vodu, zrak i vatru te govori kako sve tvari u prirodi nastaju miješanjem ovih elemenata u različitim omjerima. Uz

elemente, Empedoklo uvodi i pojam sile odvojeno od elemenata. Tako je za njega ljubav ona sila koja elemente spaja, dok je mržnja ona sila koja ih razdvaja.



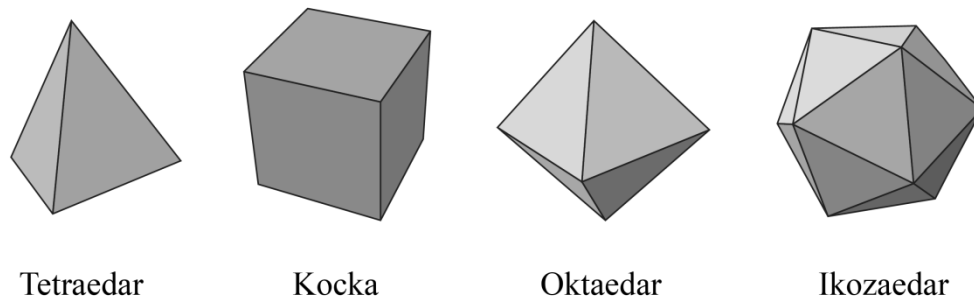
**Slika 1.** Rafael, *Atenska škola (Scuola di Atene)*, naslikana između 1509. i 1511. Palača apostola, Rafaelove sobe, Vatikan. Grčki filozofi prirode na slici: 2: Epikur, 4: Boetije ili Anaksimandar, 5: Averroes, 6: Pitagora, 7: Alkibijad ili Aleksandar Veliki, 11: Parmenid ili Nikomah, 12: Sokrat, 13: Heraklit, 14: Platon, 15: Aristotel, 17: Plotin, 18: Euklid ili Arhimed, 19: Zoroaster, 20: Ptolomej

(izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Atenska\\_%C5%A1kola#/media/File:%22The\\_School\\_of\\_Athens%22\\_by\\_Raffaello\\_Sanzio\\_da\\_Urbino.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Atenska_%C5%A1kola#/media/File:%22The_School_of_Athens%22_by_Raffaello_Sanzio_da_Urbino.jpg), pristupljeno 26. srpnja 2018.)

Osnivač atomističkog stajališta bio je Leukip iz Mileta (5. stoljeće). Međutim, mnogo više saznanja imamo o Demokritu iz Abdere (460. – 370. g. pr. Kr.), najznačajnijem antičkom zastupniku atomizma. Atomisti su zastupali stav da dijeljenje materije mora negdje stati, a da su čestice koje nam preostaju atomi. Atomi su za atomiste bili vječni, nepromjenjivi i neuništivi. Uz atome postojao je i neograničen prazan prostor u kojem se atomi kreću. Vjerovali su da postoji bezbroj atoma koji se razlikuju oblikom, veličinom, težinom i tvrdoćom (Diels, 1983.).

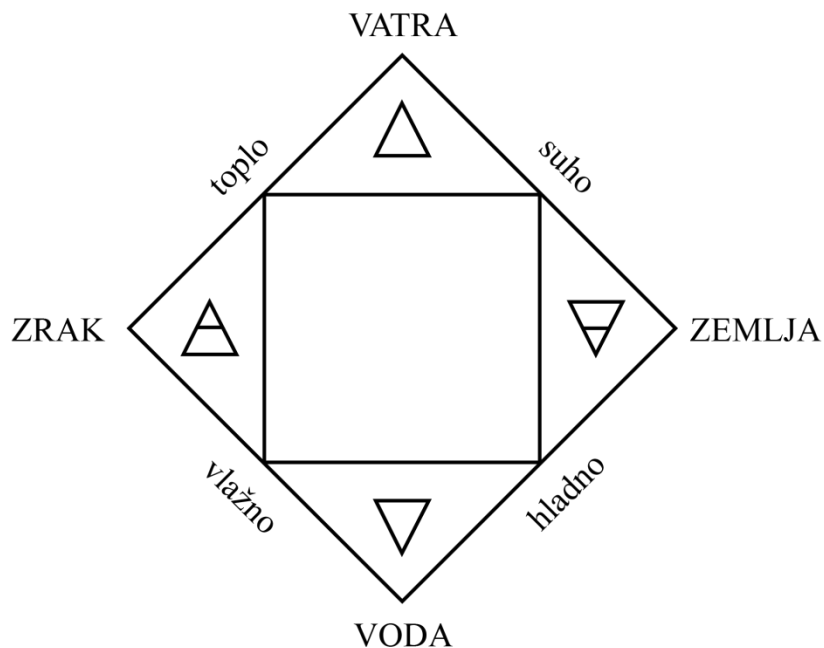
Platon iz Atene (427. – 347. g. pr. Kr.) je tvorca sustava u kojem sve što pripada materijalnom svijetu ima svoj uzor u svijetu ideja. Svijet ideja postoji objektivno, nezavisno od ljudi, kao uzor svih stvari, a same su ideje spoznatljive jedino razumom. Misaona spoznaja za Platona je pouzdana, dok je osjetilno opažanje varljivo. Geometrijski lik je savršen i postoji samo u svijetu ideja, dok su predmeti, pa tako i materija samo njegova nesavršena kopija. Materijalni

svijet je svijet ideja preslikan na bezobličnu materiju. Kada je, kako to Platon opisuje u svom *Timeju*, Demiurg, graditelj, stvarao Svemir iz kaosa, uobličio ga je pomoću likova i brojeva, a počela, zemlju, vatru, vodu i zrak, u obliku pravilnih geometrijskih tijela. Vatru u obliku tetraedra, zrak u obliku oktaedra, vodu u obliku ikozaedra, a zemlju u obliku kocke (slika 2.). Pretvorba jednog elementa u drugi bila je moguća.



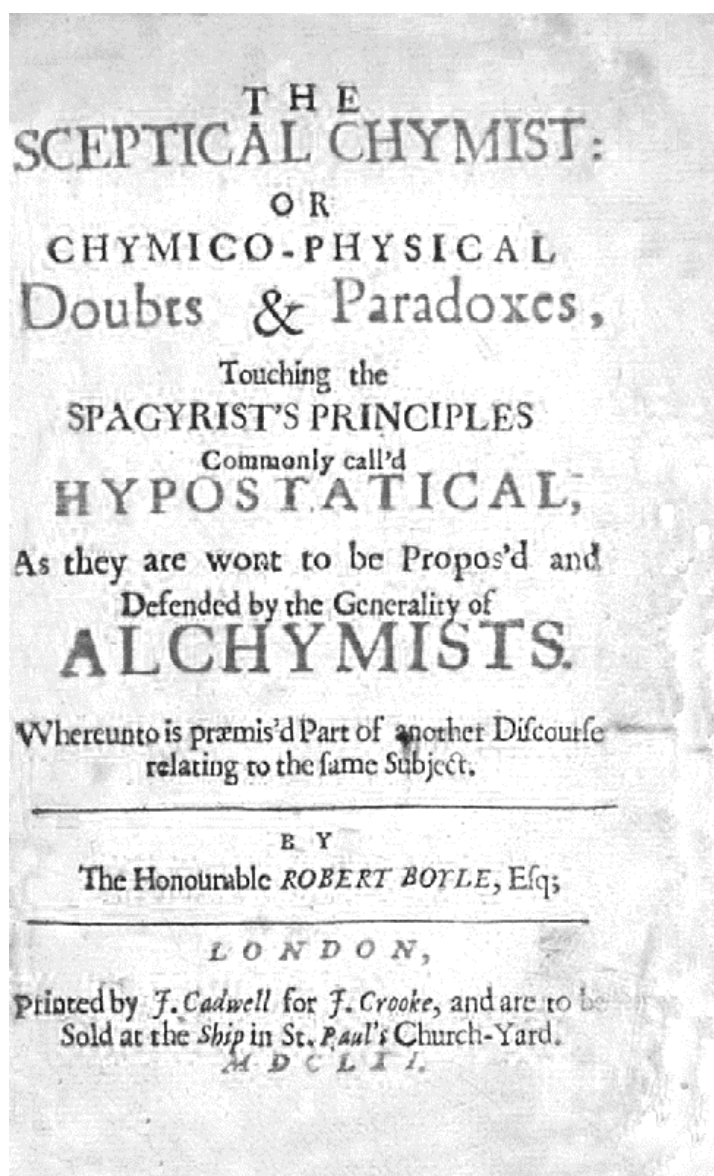
**Slika 2.** Platonovi elementi, geometrijska tijela

Platonov učenik Aristotel u stvaranju svoje slike svijeta razmatra stavove svojih prethodnika. Aristotel je odbacio ideju svoga učitelja Platona o odvojenom postojanju ideja i materije te je sam razvio svoju teoriju o neuništivoj materiji. Aristotel je učio o četiri temeljna uzroka (*ἔλη*, tvar; *οὐσία*, suština; *κίνησις*, kretanje; *τέλος*, svrha) te je razvio ideju u kojoj je uz četiri elementa (zemlja, voda, zrak i vatra) dodao i četiri osnovna svojstva: suho, toplo, vlažno i hladno (slika 3.) (Grdenić, 2001.; Needham, 2006.).



**Slika 3.** Aristotelovi elementi

Razvoj suvremene moderne kemije nastavlja se na razvoj alkemije. Razvoj i podrijetlo same alkemije može se pratiti stoljećima i tisućama godina od najranijih zapisa koje nalazimo u Egiptu (1500. godina pr. Kr.), Kini (600. godina pr. Kr.) i Grčkoj (500. godina pr. Kr.). Stoljećima su alkemičari pokušavali transmutacijom elemenata *niže* metale poput željeza i olova pretvoriti u zlato. Jedna od osnovnih teorija iz doba alkemije bila je teorija o četirima elementima. U srednjovjekovnoj Europi u okviru prirodne filozofije prevladavale su antičke teorije – osobito Aristotelove ideje i njegova kozmologija. Redovnici su održavali na životu svoju ljubav prema znanju proučavajući antičke tekstove. Islamski svijet neprestano je povećavao opće znanje ponovnim otkrivanjem antičkih tekstova, ali i razvojem novih ideja u matematici, astronomiji i medicini. Srednjovjekovni alkemičari, u potrazi za zlatom i otkrivanjem tajne vječnog života, otkrili su mnogo toga o svojstvima metala i drugih tvari. Razvili su i mnoge tehnike koje se i danas koriste u kemijskim laboratorijima. Jedan od najznačajnijih događaja iz vremena od otprilike 1400. do 1750. godine, koje danas zovemo novovjekovljem, jest razvoj nove filozofije, nove eksperimentalne moderne znanosti. Povijest znanosti to razdoblje proučava s posebnim interesom i pokušava dati odgovor na pitanja u vezi sa stvaranjem nove moderne znanosti kao i na pitanja u vezi s metodama kojima se znanost koristi.



**Slika 4.** Naslovna stranica knjige Roberta Boylea *The Sceptical Chymist* (1661.) (izvor: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/The\\_Sceptical\\_Chymist.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/The_Sceptical_Chymist.jpg), pristupljeno 24. srpnja 2018.)

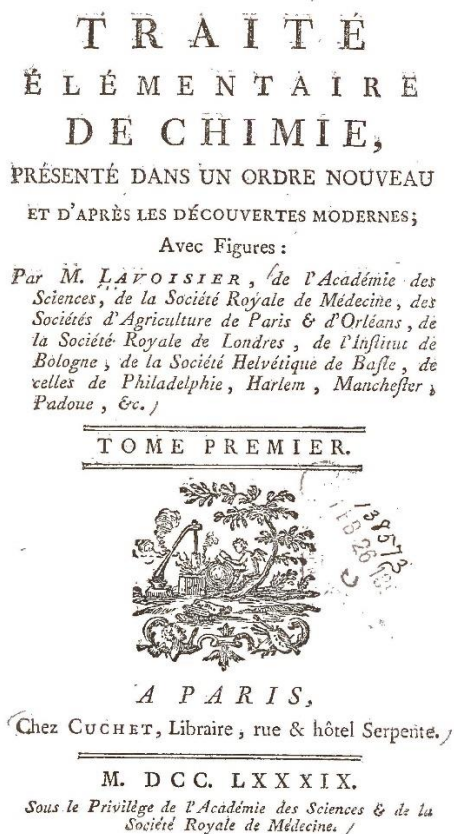
Kemija i alkemija postojale su zajedno sve do sredine 17. stoljeća. Kemija nije tada prošla kroz znanstvenu revoluciju u smislu u kojem su kroz nju prolazile fizika i astronomija. No, otprilike u isto vrijeme i u kemiji dolazi do sukoba s tradicijom i napuštanja Aristotelovih učenja, sumnje u alkemiju i obnove atomistike. Godine 1661. engleski kemičar Robert Boyle (1627. – 1691.) objavio je knjigu *The Sceptical Chymist* (slika 4.) (Boyle, 1911.). Boyle se u postavljanju pravila pomnih znanstvenih istraživanja služio idejama redovnika i filozofa Rogera Bacona (1214. – 1294.). U svom djelu, *The Sceptical Chymist* on zastupa ideju da je svaki element jedinstvena, čista tvar koja se ne može dijeliti na jednostavnije tvari. Boylea mnogi smatraju osnivačem moderne kemije koji je u kemiju uveo eksperimentalnu egzaktnu

metodu i postavio definiciju kemijskog elementa kao počela koje izgrađuje materiju. Ovo se djelo dugo godina smatralo primjerom u kojem se vidi napuštanje alkemije i okretanje prema modernoj kemiji. Ipak, novija istraživanja Lawrence Principea zastupaju drugačiji stav. Naime, on smatra kako Boyle u svojoj knjizi nije protivnik alkemije niti da je odustao od alkemijske prakse (Principe, 1998.).

Nakon Boylea, Antoine Lavoiser također zastupa stav prema kojem kemijski element više nije metafizički entitet, već ga se treba pokušati definirati u materijalističkom smislu empirijskim istraživanjima (Grdenić, 2001.; Findlay Hendry, 2012.).

## 2.2 Klasifikacija elemenata prije Mendeljejevljeva periodnoga sustava elemenata

Pokušaj klasifikacije elemenata po određenim svojstvima nalazimo u radu francuskog kemičara Antoine Laurenta de Lavoisiera (1743. – 1794.). Lavoisier je grupirao elemente prema njihovim svojstvima u plinove, nemetale i metale. Upravo je Lavoisier bio prvi koji je odbacio metafizičko vjerovanje o prirodi elemenata koje je zamijenio s empirijskim oblikom. Za njega elementi predstavljaju jednostavne kemijske tvari. Lavoisier je u svojoj knjizi *Traité Élémentaire de Chimie* objavio popis 33 kemijske supstancije (slika 5.) (Lavoisier, 1793.). No, uz tvari koje danas smatramo elementima na popisu su se našli i svjetlo, toplina, itd. (Findlay Hendry, 2005.).



192 DES SUBSTANCES SIMPLES.  
TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

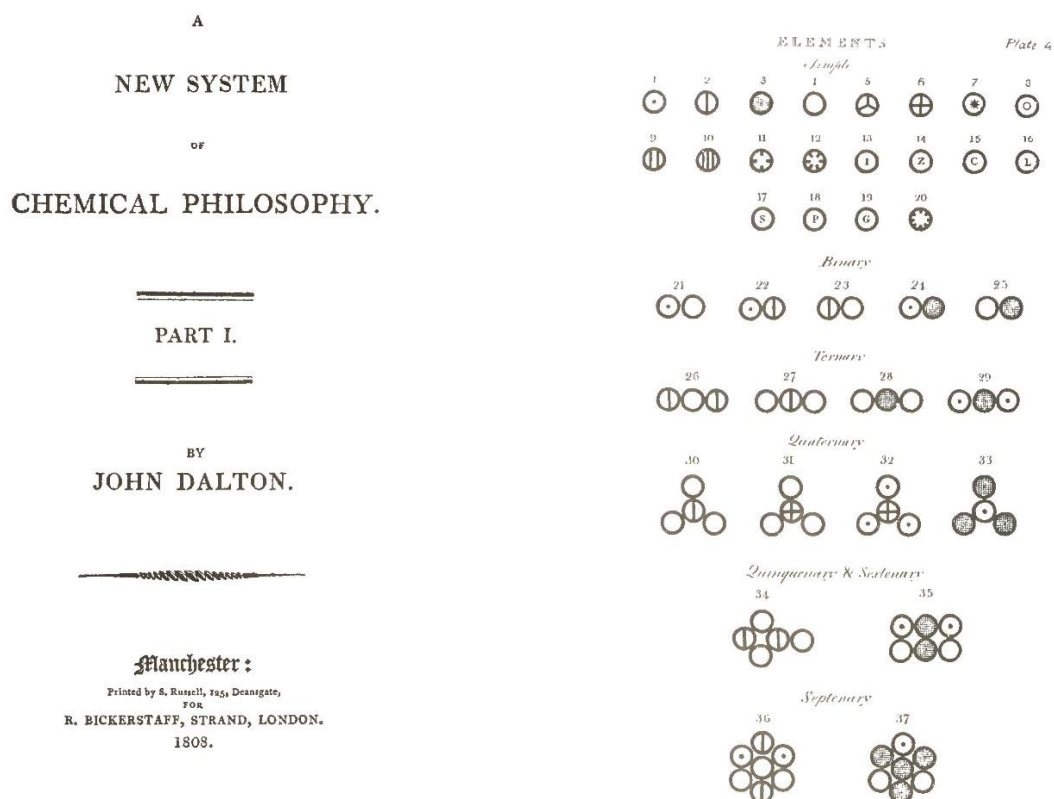
	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
	Lumière.....	Lumière. Chaleur. Principe de la chaleur.
	Calorique.....	Fluide igné. Feu. Matière du feu & de la chaleur.
Substances simples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.	Oxygène.....	Air déphlogistiqué. Air empiréal. Air vital. Bâse de l'air vital. Gaz phlogistiqué.
	Azote.....	Mofete. Bâse de la mofete. Gaz inflammable.
	Hydrogène.....	Bâse du gaz inflammable. Soufre.
Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.	Soufre.....	Phosphore.
	Phosphore.....	Charbon pur.
	Carbone.....	Inconnu.
	Radical muriatique.....	Inconnu.
	Radical fluorique.....	Inconnu.
	Radical boracique.....	Inconnu.
Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.	Antimoine.....	Argent.
	Argent.....	Arsenic.
	Arsenic.....	Bismuth.
	Bismuth.....	Cobalt.
	Cobalt.....	Cuivre.
	Cuivre.....	Étain.
	Étain.....	Fer.
	Fer.....	Manganèse.
	Manganèse.....	Mercure.
	Mercure.....	Molybdène.
Substances simples falsifiables terreuses.	Molybdène.....	Nickel.
	Nickel.....	Or.
	Or.....	Platine.
	Platine.....	Plomb.
	Plomb.....	Tungstène.
	Tungstène.....	Zinc.
	Zinc.....	Terre calcaire, chaux.
Chaux.....	Magnésie, bâse du sel d'Épſom.	
Magnésie.....	Barote, terre pesante.	
Barote.....	Argile, terre de l'alun, bâse de l'alun.	
Argile.....	Silice.....	Terre filiceuse, terre vitrifiable.

**Slika 5.** Naslovna strana knjige Antoine Lavoisiera *Traité Élémentaire de Chimie*, (1789.) (lijevo) i popis kemijskih supstancija (desno) (izvor: <https://ia800405.us.archive.org/10/items/TraiteYeYleYment1Lavo/TraiteYeYleYment1Lavo.pdf>)

Korijene ideje o postojanju atoma kao čestica od kojih se materija sastoji nalazimo u antičkoj Grčkoj, a ponovno oživljavanje ideje atomizma u novije vrijeme nalazimo u radu i djelu engleskog prirodoslovca Johna Daltona (1766. – 1844.). Daltonova je hipoteza bila da se materija sastoji od različitih atoma, koji su po njegovu mišljenju materijalne čestice, koje imaju i veličinu i masu.

Dio privlačnosti i ljepote današnjeg periodnog sustava elemenata zasigurno leži i u načinu obilježavanja elemenata i korištenja univerzalnih simbola. Tijekom mnogih stoljeća u kojima su elementi otkrivani možemo pratiti i razvoj simbolike kojom su oni predstavljani. Izvore imena elemenata nalazimo u grčkoj mitologiji, u imenima planeta i nebeskih objekata. Neki elementi nose ime prema specifičnoj boji ili boji njihovih spojeva, neki pak po zemlji podrijetla ili osobi koja ih je otkrila. Sami simboli imaju također svoj razvoj i svoja značenja (Crosland, 1978.). Kada je Dalton 1808. godine objavio knjigu *New System of Chemical Philosophy* i svoje hipoteze, kao simbole nekih elemenata zadržao je alkemijsku simboliku koja je kasnije zamijenjena modernim načinom bilježanja simbola koji je u kemiju uveo Berzelius 1813. godine (slika 6.) (Scerri, 2007.).





**Slika 6.** Naslovna stranica knjige Johna Daltona *New System of Chemical Philosophy, I*, (1808.) u kojoj su prikazani simboli kemijskih elemenata (desno) (izvor: <https://ia800208.us.archive.org/13/items/newssystemofchemi01daltuoft/newssystemofchemi01daltuoft.pdf>, pristupljeno 18. srpnja 2018.)

Nakon ovoga u kemiji nastupa razdoblje razvoja tehnologije koja je omogućila izoliranje elemenata i njihovu identifikaciju, poput elektrolize i atomske spektroskopije. Tako je britanski znanstvenik Sir Humphry Davy (1778. – 1829.) između ostalih elemenata identificirao kalij i natrij elektrolizom njihovih spojeva. Njemački fizičar i kemičar Gustav Robert Kirchhoff (1824. – 1887.) i Wilhelm Bunsen (1811. – 1899.) razvili su spektroskopiju. Proučavajući obojene pare iznad tvari zagrijane do bijelog žara te rastavljanjem svjetlosti plamena prizmom, otkrili su da svaki element daje jedinstven i karakterističan uzorak obojenih linija. Svaki element daje set specifičnih identifikacijskih crta, čak i onda kada je kemijski spojen s drugim elementima. Godine 1859. razvili su spektroskop koji se pokazao kao vrhunski alat za identifikaciju novih elemenata. Upotrebom ovog novog istraživačkog alata otkrili su dva nova elementa: cezij (1860.) i rubidij (1861.).

Otkriće novih elemenata otvorilo je pitanje i potrebe klasifikacije istih kao i naslućivanja postojanja određenog temeljnog zakona.

Određivanjem atomskih težina sve većeg broja kemijskih elemenata, kako i pronalaskom novih elemenata, znanstvenici su ubrzo uvidjeli trendove u povećanju atomskih težina. Škotski znanstvenik William Prout (1785. – 1850.) iznio je tako svoju hipotezu prema kojoj je na temelju do tada određenih približnih vrijednosti relativnih atomskih težina elemenata, koje su većinom bile gotovo cjelobrojne, zaključio da su one višekratnici relativne atomske težine vodika, pa je pretpostavio (1816.) da su atomi svih elemenata sastavljeni od vodika kao prvotne materije ili pratvari.

## 2.3. Pokušaji klasifikacije elemenata

Otkriće periodnoga sustava elemenata povijest kemije zasigurno veže uz Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva. No, i prije Mendeljevljeva otkrića možemo pratiti razvoj sistematizacije znanja o elementima i različite načine na koji su ih pojedini kemičari pokušavali svrstati. Otkrićem novih elemenata i razvojem kemije, potreba za sistematizacijom bila je sve izraženija. Različiti znanstvenici uočavali su mnoge sličnosti s obzirom na određena svojstva na temelju čega su grupirali poznate kemijske elemente.

### 2.3.1. Periodičnost kemijskih svojstava

Kao što je sličnost u povećanju atomske težine navela Prouta na njegovu hipotezu o vodiku kao pratvari iz koje su izgrađeni svi ostali elementi, tako je i njemački kemičar Johann Wolfgang Döbereiner (1780. – 1849.) uvidio odnos između atomskih težina elemenata te ih je grupirao u trijade. Döbereiner je 1829. godine povezo elemente u trijade elemenata koji su imali slična kemijska svojstva, kao na primjer litij, natrij i kalij i pokazao kako se atomska težina srednjeg elementa može izračunati pomoću poznate atomske težine gornjeg i donjeg elementa trijade. Tako je, na primjer u trijadi kalcija, stroncija i barija, stroncijeva atomska težina aritmetička sredina između kalcijeve i barijeve,  $(40 + 137) : 2 \approx 88$  (slika 7.) (Scerri, 2007.; Grdenić, 2001.; Döbereiner, 1829.).

Atomska težina (1850.)

Li 7	}	$\frac{7+39}{2} = 23$
Na 23		
K 39		
Ca 40	}	$\frac{40+137}{2} = 88.5$
Sr 87		
Ba 137		
P 31	}	$\frac{31+122}{2} = 76.5$
As 75		
Sb 122		
S 32	}	$\frac{32+128}{2} = 80$
Se 78		
Te 128		
Cl 35.5	}	$\frac{35.5+127}{2} = 81.25$
Br 80		
I 127		

H						He	
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

Slika 7. Döbereinerove trijade

Godine 1843., punih 26 godina prije Mendeljejevljeve objave periodnoga sustava elemenata iz 1869. godine, objavljen je periodni sustav koji u povijesti znanosti nije dovoljno poznat, niti istaknut, kako je istaknuo Eric Scerri u djelu *The periodic table Its Story and Its the Significance* (Scerri, 2007.). On govori o sustavu koji je objavio njemački kemičar Leopold Gmelin (1788. – 1853.) u svom priručniku *Handbuch der Chemie* (1843.). Gmelin je prihvatio i proširio Döbereinerove trijade te je bio uvjeren kako ovi odnosi dokazuju Proutovu hipotezu. Osim Döbereinera i Gmelina i znanstvenici poput Maxa Josepha Pettenkofera, Jeana Baptiste Andréa Dumasa, Petera Kremera i Ernesta Lenssena također su dali zapažen doprinos izgledu i grupiranju kemijskih elemenata (Scerri, 2007.).

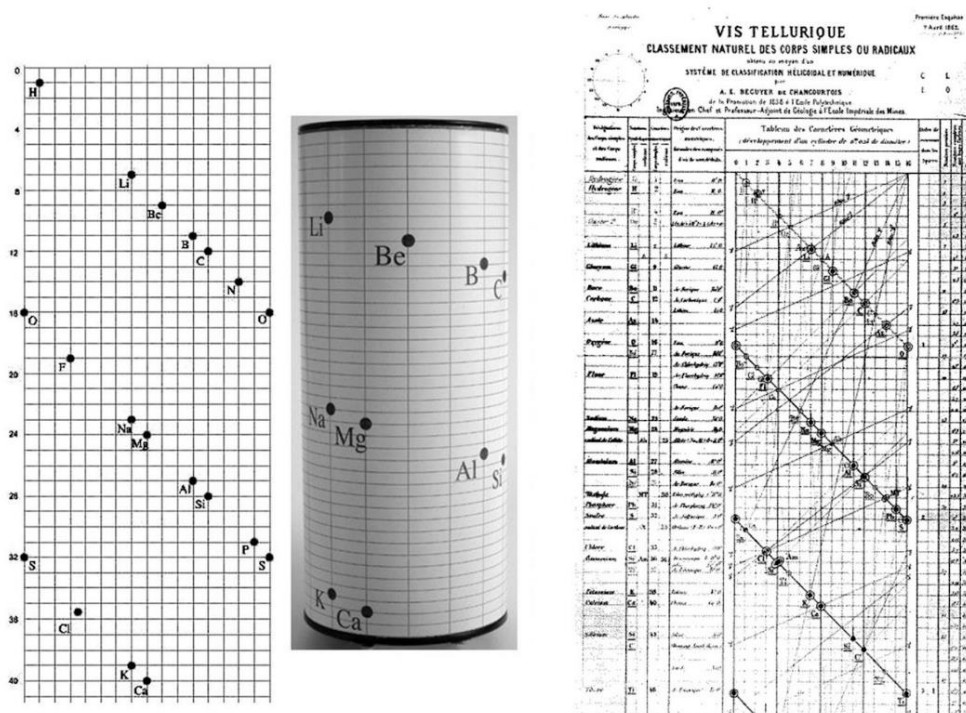
Sredinom 19. stoljeća kemičari su pokušavali tada poznate elemente grupirati u logične sustave koji bi odražavali i pokazivali njihove sličnosti i svojstva. Pojašnjenje koncepta atomske težine ponudio je talijanski kemičar Stanislao Cannizzaro (1826. – 1910.) i prezentirao ga na poznatom međunarodnom kongresu kemičara u Karlsruheu 1860. godine. Karl Weltzien (1813. – 1870.), profesor kemije na Visokoj tehničkoj školi u Karlsruheu, organizirao je prvi međunarodni kongres kemičara zajedno s Friedrichom Augustom Kekuléom (1829. – 1896.). U tom su pothvatu imali podršku tada slavnog kemičara Charlesa Adolpha Wurtza (1817. – 1884.). Kongres je održan od 3. do 5. rujna 1860. godine, a bila mu je namjera odgovoriti na razna pitanja poput onih o potrebi razlikovanja atoma i molekula, može li se pojam „sastavljenog atoma“ zamijeniti s pojmom radikala ili ostatka, i je li pojam *ekvivalenta* iskustven i neovisan od pretpostavke o atomima i molekulama. Kao posebno se istaknulo pitanje o iznosima atomskih težina. Kongres je završio bez općih zaključaka. Cannizzaro nije bio zadovoljan s ishodom i izostankom konkretnih odgovora i zaključaka te je sudionicima podijelio svoj *Nacrt predavanja kemijske filozofije* (Cannizzaro, 1858.). Kongres nije osobito dobro dokumentiran, ne postoje nikakvi službeni zapisnici već nam o tijeku kongresa svjedoče Wurtzove bilješke i zapisana sjećanja kemičara Lothara Meyera, kao i pismo koje je sam Mendeljejev poslao s kongresa svom profesoru A. A. Voskresenskom u St. Peterburg. U literaturi se navodi kako su i Lothar Meyer i Mendeljejev bili pod snažnim dojmom Cannizzarovih ideja i logike kojom se on borio za priznanje Avogadra i prihvaćanja jedinstvenih i točnijih atomskih težina, te su obojica nakon ovoga pristupila pisanju svojih udžbenika i izradi periodnih sustava elemenata (Partington, 1964; Anschütz, 1929.; Nye, 1984.).

U razdoblju između 1850. i 1890. godine kod kemičara nalazimo različite sustave u kojima su oni elemente pokušali posložiti u logičke sustave koji su odražavali kemijske sličnosti

elemenata i uzimali su u obzir i atomske težine. Eric Scerri u svom djelu ističe kako upravo ovi sustavi koje su ponudili pojedini kemičari dokazuju kako ideja periodičnosti, centralna ideja Mendeljevljeva periodnoga sustava elemenata nije potekla samo od Mendeljejeva, već i od drugih kemičara (Scerri, 2007.).

Jedan od ključnih faktora koji je oko 1860. utjecao na potrebu logičkog organiziranja elemenata bilo je i otkriće velikog broja novih elemenata koje se dogodilo kao rezultat otkrića i razvoja eksperimentalnih metoda poput elektrolize i spektroskopije.

Francuski geolog Alexander Emile Béguyer de Chancourtois (1820. – 1886.) 1862. godine prezentirao je svoj sustav kemijskih elemenata pred kolegama u Académie des Sciences te svoje ideje objavljuje u časopisu *Comptes Rendus* (Chancourtois, 1862.). On je predložio trodimenzionalnu prezentaciju periodičnih svojstava s obzirom na atomsku težinu elemenata. Béguyer de Chancourtois nanosio je atomske težine elemenata na traku koju je zatim namotao oko valjaka različitih promjera (*vis tellurique*). Simbole elemenata nanio je po spirali koju je omotao oko valjka, odozgo prema dolje. Spirala se spuštala po valjku pod kutem od 45°. Opseg baze valjka podijelio je na 16 jednakih dijelova pa je toliko dijelova imao i svaki zavoj spirale. Tako su se u prvom zavoju našli elementi od vodika do kisika, u drugom do sumpora i tako dalje. Kemijski slični elementi pojavili su se na valjku okomito jedan iznad drugoga. Tako je, na primjer, litij svoje mjesto našao iznad natrija, a ovaj pak iznad kalija. Nažalost, u objavljenom članku greškom je izostavljen i grafički prikaz, a tekst je dosta nejasno napisan, zbog čega ostali kemičari nisu uvidjeli pravi potencijal ove ideje (Ihde, 1964.; Partington, 1954.; van Spronsen, 1969.; Scerri, 2007.; Grdenić, 2001.).



Slika 8. De Chancourtoisov *Vis Tellurique*

(izvor: <http://new-periodic1.blogspot.com/2016/10/new-periodic-table-broken-down-into.html>, pristupljeno 20. srpnja 2018.)

John Alexander Reina Newlands (1837. – 1898.) također je sudjelovao u pokušaju sistematizacije kemijskih elemenata. Tako je on 1863. godine razvio i objavio svoj prvi pokušaj klasifikacije kemijskih elemenata kao tablicu od 11 grupa elemenata koristeći atomske težine kao svojstvo prema kojoj je tablicu sastavio. Vrijednosti atomskih težina koje je koristio nisu bile one dogovorene i usvojene na kongresu u Karlsruheu, već one prema Gerhardu. Već iduće godine objavio je Newlands i svoj drugi članak u kojem koristi atomske težine iz Karlsruhea. Iste godine objavljuje još jedan članak u kojem uvodi pojam rednog broja te po njemu klasificira elemente te ističe kako kod elemenata postoji ponavljanje kemijskih svojstva nakon određenih intervala. Godine 1865. razvio je novi sustav u kojem je 65 kemijskih elemenata, prema atomskim težinama, poslagao u tablicu prema njegovom *zakonu oktava*. Newlands je uvidio da se elementi slične vrste pojavljuju u razmacima od 8 elemenata, što je usporedio s glazbenom oktavom. Ova ideja nije dobro prihvaćena od strane njegovih kolega i članak nije objavljen u časopisu Kraljevskog društva u Londonu zbog njegove teorijske naravi. Newlands je nastavio sa svojim radom na klasifikaciji elemenata i u periodu od 1863. do 1890. objavio je šesnaest članaka u kojima iznosi i objašnjava klasifikaciju elemenata. Nakon Mendeljejevljeve objave periodnoga sustava 1869. i njezinog prihvaćanja, Newlands 1884. izdaje knjižicu u kojoj je predstavio svoje ideje i prvenstvo u

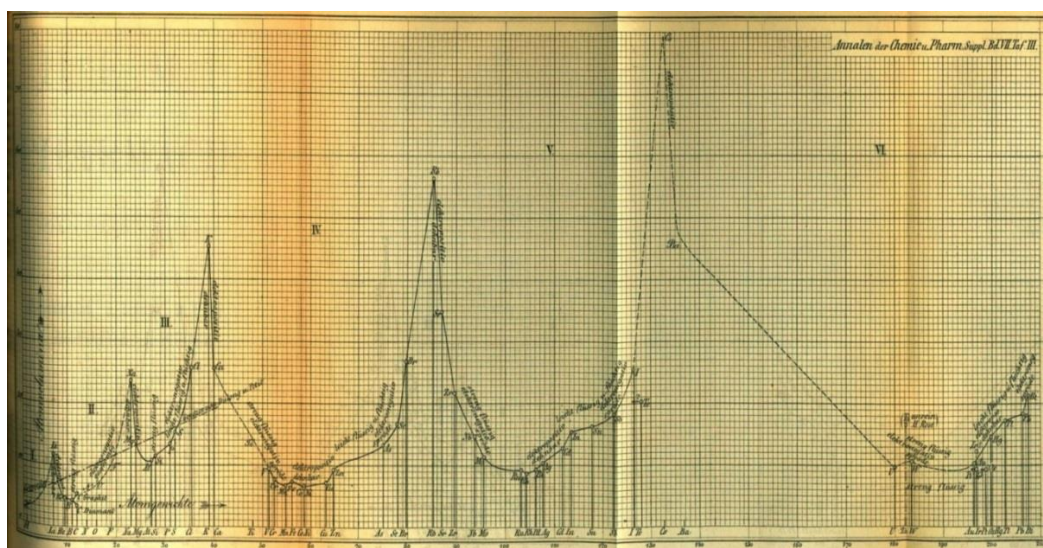
pronalasku zakona o periodičnosti. Za svoja je dostignuća nagrađen Davyjevom medaljom Kraljevskog društva u Londonu 1887. godine.

William Odling (1829. – 1921.), engleski kemičar također se bavio problemom sistematizacije elemenata. On je svoj prvi članak vezan uz klasifikaciju elemenata objavio 1864. godine, te u njemu nalazimo 57, od tada 60 poznatih elemenata svrstanih u tablicu. Za usporedbu, Newlandsov sustav iz tog razdoblja broji svega 20 elemenata. Odling je također uočio da se kemijska svojstva elemenata također ponavljaju, no slično kao i Newlands nije uvidio da su intervali nakon kojih se svojstva ponavljaju različiti. Uz ove postoje i drugi pokušaji klasifikacije kemijskih elemenata (Ihde, 1964.; Partington, 1954.; van Spronsen, 1969.; Scerri, 2007.; Grdenić, 2001.).

Prije pojave i objave Mendeljejevljeve tablice elemenata 1869. godine, živjela je ideja o sistematizaciji i klasifikaciji elemenata u kemiji te su kemičari iznijeli svoje zamisli, ideje i pokušaje stvaranja tablice periodnoga sustava. Sam pokušaj klasifikacije elemenata svoju kulminaciju u evoluciji doživljava nakog kongresa u Karlsruheu 1860. godine i Cannizzarove objave atomskih težina. Bilo je sve očitiije da postoji neka pravilnost u rasporedu elemenata. Mnogi kemičari, poput Cookea, Cremersa, Gladstonea, Gmelina, Lenssena, Pettenkofera i posebno Dumasa već su bili otkrili mnoge činjenice koje su pridonijele tom mišljenju. Svaki od navedenih kemičara imao je svoju zamisao kako grupirati elemente. Tako je Döbereiner opazio sličnosti među određenim skupinama elemenata te ih grupirao u trijade. De Chancourtois je imao jedinstven pristup koji mu je omogućio da uvidi određeni interval u ponavljanju kemijskih svojstava elemenata. Newlands je otišao korak dalje i proširio ovu zakonitost na *zakon oktava*, a sličnu je periodičnost pronašao i Odling. No, niti jedan predloženi sustav nije općenito odgovarao za sve elemente. Iako su atomske težine bile točnije određene, one ipak nisu bile točne. U sustavu je također trebalo ostaviti i prazna mjesta za tada još nepoznate elemente, ali i uočiti da svi periodi iza kojih se slična kemijska svojstva ponavljaju nisu jednaki. Elementi su se mogli poredati po njihovim uzlaznim atomskim težinama, ili su se mogli grupirati u skupine sa sličnim svojstvima, ali opći raspored elemenata i dalje nije bio riješen.

Uz Mendeljejeva, najistaknutiju ulogu u otkriću periodnoga zakona ima i Julius Lothar Meyer (1830. – 1895.). Isto kao i sam Mendeljejev i Meyer je prisustvovao kongresu u Karlsruheu te je bio nadahnut i inspiriran Cannizzarovim idejama. Po povratku piše udžbenik *Die Modernen Theorien und ihre Bedeutung für die chemische Statistik* (Meyer, 1864.) u kojem iznosi prvu klasifikaciju elemenata koju je napravio prema atomskim težinama i kemijskim svojstvima.

Meyer je u nekim slučajevima prednost dao kemijskim svojstvima, a ne atomskim težinama. Tako je, na primjer telur stavio u istu skupinu kao i kisik i sumpor, a jod s halogenim elementima. Ovakav poredak elemenata nije se slagao s njihovim porastom atomskih težina. Meyer je u svojoj tablici rastavio elemente u dvije grupe, slično kao što danas imamo izdvojene prijelazne metale. Pretpostavio je postojanje glavnih i sporednih grupa te ostavio prazna mjesta za dotada nepoznate elemente. Pripremio je i drugo izdanje knjige u kojem je bio i poboljšan periodni sustav elemenata. To izdanje dovršio je 1868. godine, no nije se žurio s objavom. Meyer je također primijetio da je jedno od svojstava koje se pravilno mijenja s atomskom težinom, atomski volumen elemenata, što je i objavio u *Annalen der Chemie* (Meyer, 1870.). Dijagram je konstruirao nanoseći relativne atomske težine na apscisu, a atomske volumene na ordinatu (slika 9.).



**Slika 9.** Meyerov dijagram atmskih volumena u ovisnosti o atomskim težinama objavljen u *Annalen der Chemie* 1870. godine

(izvor: <https://web.lemoyne.edu/giunta/meyer.html>, pristupljeno 29. srpnja 2018.)

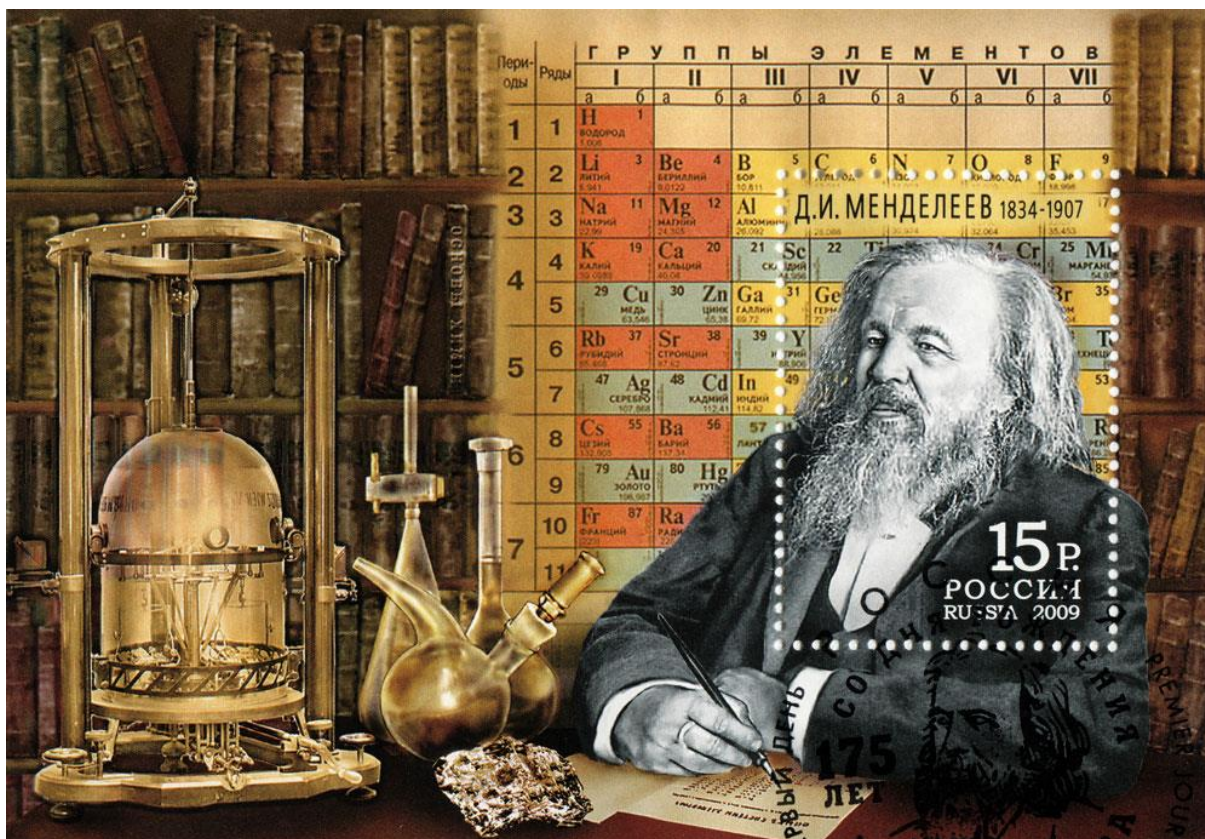
Prednost nad otkrićem periodnoga sustava u povijesti znanosti pripada Mendeljevu iz tog razloga što je on izrekao zakon periodičnosti, ostavio prazna mjesta za tada nepoznate kemijske elementa, ali i predvidio i opisao njihova svojstva te je radio na njegovu usavršavanju i širenju znanja o periodnome sustavu elemenata.



## 2.4. Mendeljevljev periodni sustav elemenata

Prema većini povjesničara znanosti, prednost nad otkrićem periodnog sustava elemenata pripala je Dmitriju Ivanoviču Mendeljejevu.

### 2.4.1. Dmitrij Ivanovič Mendeljejev (1834. – 1907.)



**Slika 10.** Poštanska marka tiskana u Rusiji povodom 175. obljetnice rođenja kemičara Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva

(izvor: [https://hr.rbth.com/arts/2016/02/29/genijalni-snovi-ruskih-znanstvenika-pjesnika-i-skladatelja\\_571827](https://hr.rbth.com/arts/2016/02/29/genijalni-snovi-ruskih-znanstvenika-pjesnika-i-skladatelja_571827), pristupljeno 29. srpnja 2018.)

Gledano s aspekta povijesti znanosti, premda Mendeljejev nije jedini koji je uvidio zakon periodičnosti različitih svojstava kemijskih elemenata, zasigurno je najistaknutiji znanstvenik kojem pripisujemo otkriće periodnoga sustava elemenata. Iako postoje nesuglasice oko prava prvenstva i otkrića, kao i one koje govore kako je otkriće periodnoga sustava elemenata bilo zajednički pothvat, Mendeljejevu se nikako ne može osporiti uloga koju je on imao u širenju ideje periodnoga sustava elemenata, kao ni kontinuirani rad na usavršavanju tablice. Tako i autor Eric Scerri u svom djelu *The periodic table it's story and it's significance* ističe kako je upravo Mendeljevljevo ime sinonim za otkriće periodnoga sustava elemenata, slično kao što

je Darwinovo ime sinonim za teoriju evolucije ili pak Einsteinovo sinonim za teoriju relativnosti. Također zaključuje kako od svih znanstvenika koji su pridonijeli otkriću periodnoga sustava kada govorimo o obrani vjerodostojnosti, usavršavanju i vremenu provedenom u objašnjavanju istog, primat zasigurno zaslužuje Dmitrij Ivanovič Mendeljejev (slika 10.) (Scerri, 2007.).

Dmitrij Ivanovič Mendeljejev rođen je u Tobolsku 8. veljače 1834. godine. Umro je u St. Peterburgu 2. veljače 1907. godine. Bio je četrnaesto i zadnje dijete ruskog učitelja književnosti Ivana Pavloviča Mendeljejeva i majke Marije Dmitrievne Kornileve, koja je potekla iz stare trgovačke ruske obitelji i koja je posjedovala tvornicu stakla blizu Tobolska. Mendeljejev je završio gimnaziju u Tobolsku, gdje je maturirao 1849. godine. Godine 1850. upisao je studij fizike i matematike na Glavnom Pedagoškom Institutu u St. Peterburgu. Ondje se upoznao s jednim od svojih učitelja A. A. Voskresenskiem, koji je svojim studentima prenio ljubav prema kemijskom eksperimentu. Mendeljejev je diplomirao 1855. godine s odličnim ocjenama. U St. Peterburgu 1856. godine započinje rad na svojoj habilitaciji te na Sveučilištu ostaje raditi kao docent organske i teorijske kemije i dobiva titulu magistra kemije i fizike. Njegova disertacija nosi naslov *O specifičnim obujmima*. Nakon toga bavi se znanstvenim radom i objavljuje rezultate svojih istraživanja. Ruska je vlada u to vrijeme imala praksu mlade znanstvenike slati na usavršavanje u inozemstvo. Tako Mendeljejev odlazi u Heidelberg 1859. godine, gdje se osobito zainteresirao za rad poznatih kemičara Koppa, Bunsena i Kirchoffa. Ondje je Mendeljejev proveo dvije godine na usavršavanju. Mendeljejev je ostao pod snažnim dojmom Cannizzarovih ideja i logike kojom se on borio za priznanja Avogadra i prihvaćanje jedinstvenih i točnijih atomskih težina. Inspiriran novim informacijama, započinje rad na pisanju svog udžbenika *Osnove kemije (Osnovi himii)* i izradi periodnoga sustava elemenata (Partington, 1954.; van Spronsen, 1969.; Scerri, 2007.; Grdenić, 2001.; Gordin, 2012.; Kedrov, 1981.).

### 2.4.2. Objava Mendeljevljeva periodnoga sustava elemenata

Poznato je da je 1869. godine Mendeljejev u svom pismu uglednim ruskim, ali i drugim kemičarima, iznio svoju tablicu *Pokusna sistematizacija elemenata na temelju njihovih atomskih težina i kemijskih svojstava*, koju je popratio tekstom u kojem formulira periodni zakon elemenata. Mendeljevljeva prva tablica elemenata datirana je 17. veljače 1869. godine. Prvi rad o otkriću periodnoga sustava elemenata pročitao je Nikola Aleksandrovič Menšutkin (1842. – 1907.) na sastanku Ruskog kemijskog društva koji je održan 6. ožujka 1869. godine. Nakon čitanja rad nije bio komentiran budući da sam autor, Mendeljejev, nije bio prisutan na sastanku. Rad je objavljen u časopisu Ruskog kemijskog društva u svibnju 1869. godine, a povijesno gledano predstavlja prvu znanstvenu objavu Mendeljevljeva periodnog zakona (Mendeleev, 1869.; Jensen, 2005.).

Neposredno prije objave zakona periodičnosti ruska kemijska sredina bila je u nastajanju. Broj kemičara koji su imali visoko obrazovanje bio je skroman i gotovo su svi bili zaposleni na visokim obrazovnim ustanovama ili Akademiji znanosti. Većina kemičara djelovala je lokalno, provodeći razna znanstvena istraživanja, no bez povezanosti s ostalim kolegama u zemlji. Situacija se djelomično promijenila sa smrću Nikole I (1796. – 1835.) i dolaskom na prijestolje Aleksandra II (1818. – 1881.) kao i početkom velike ere reformacija. Ruskim znanstvenicima ponovno je bio dozvoljen i poticao se odlazak izvan zemlje kako bi usavršavali svoje znanje. Vlast je poboljšala i položaj profesora na sveučilištima i tehničkim školama, a povećao se i broj studenata i učenika. Sve veći broj kemičara planirao je osnivanje kemijskog društva unutar kojeg bi mogli raspravljati o svojim istraživanjima, po uzoru na *La Société Chimique* iz Pariza i *Chemical Society* iz Londona. Rusko kemijsko društvo osnovano je 1868. godine u St. Peterburgu. Upravo su Dmitrij Ivanovič Mendeljejev i Nikolaj Aleksandrovič Menšutkin bili jedni od inicijatora i osnivača ovog društva te su u narednim godinama u Društvu odigrali značajnu ulogu kao njegovi članovi (Mićović, 1969.).

Prva tablica elemenata koju je Mendeljejev objavio *Pokusna sistematizacija elemenata na temelju njihovih kemijskih atomskih težina i kemijskih svojstava* (Mendeleev, 1869.; Jensen, 2005.) bila je predstavljena u obliku letka koji je Mendeljejev podijelio ruskim kemičarima početkom 1869. godine<sup>1</sup> (Gordin, 2004.). U ožujku te godine Mendeljejev je pripremio

---

<sup>1</sup> Pripremajući se za predavaje koje je trebalo biti održano na sastanku Ruskog kemijskog društva, Mendeljejev je pripremio svoju tablicu elemenata koju je odlučio tiskati u oko 250 primjeraka i poslati ruskim i europskim kemičarima. Naslov same tablice bio je napisan na ruskom *Pokušaj sistematizacije elemenata koji se temelji na*

izlaganje koje je želio održati na sastanku Ruskog kemijskog društva. No, ovo izlaganje objavljeno je u prvom svesku časopisa Društva (slika 11.). Budući da sam autor nije bio prisutan diskusija o ovom radu trebala je biti odgođena do idućeg sastanka Društva, no do sada nije pronađena nikakva dokumentacija koja bi ukazala na to da se diskusija dogodila ili da je spomenuti Mendeljejev rad pobudio neki veliki interes njegovih kolega u Rusiji. U navedenom prvom radu o periodnome sustavu elemenata, Mendeljejev je formulirao otkriveni periodni zakon i prikazao tablicu elemenata. Ukazao je na periodičnost i korelaciju između položaja elementa u tablici periodnoga sustava elemenata i svojstava kemijskih elemenata. Mendeljejev je u tom radu postulirao pet pitanja za daljnja istraživanja:

1. određivanje položaja određenih elemenata unutar same tablice
2. istraživanje drugačijih formi periodnog zakona elemenata
3. odnos između kemijskih svojstava elemenata i zajedničkih skupina
4. ispravak atomskih težina nekih elemenata
5. prazna mjesta ostavljena za tada neotkrivene elemente.

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.**

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			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	Rn = 104,4	Ir = 198.
			Ni = Co = 59	Pi = 106,4	O = 199.
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.
H = 1					
	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 = 35,4	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,4	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,4	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

**Slika 11.** Prva Mendeljejevljeva tablica periodnoga sustava elemenata objavljena u članku časopisa Ruskog kemijskog društva (Журнал Русского физико-химического общества) 1869.

(izvor: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/Mendeleev%27s\\_1869\\_periodic\\_table.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/Mendeleev%27s_1869_periodic_table.png), 18. kolovoza 2018.)

---

*njihovim atomskim težinama i kemijskom afinitetu.* No, M. Gordin u svom članku "The table and the world" ističe kako je Mendeljejev shvatio da stranim kemičarima sam naslov neće biti jasan ako bude napisan na ruskom, te je dodao i naslov na francuskom jeziku *Essai d'une système d'éléments d'après leurs poids atomiques et fonctions chimiques.*

Uz objavu svoga rada na ruskom, Mendeljejev se pobrinuo da rad bude objavljen i na njemačkom jeziku. Tako je za časopis *Zeitschrift für Chemie* pripremio sažetak članka objavljenog na ruskom jeziku koji je bio dug svega jednu stranicu. Svoj je sažetak Mendeljejev predao uredniku časopisa Konradu Beilsteinu (1838. – 1906.) koji ga je objavio u svom časopisu (Mendelejeff, 1869.). Članak je preveo A. A. Ferman, asistent koji je tada radio u laboratoriju Tehničkog instituta u St. Peterburgu. No, postojao je problem s jednim dijelom prijevoda: Mendeljejev opisuje kako elementi u tablici u ovisnosti veličine njihove atomske težine pokazuju periodične promjene u svojstvima, što je prevedeno njemačkom riječi *stufenweise* (stupnjevito), a ne *periodische* (periodično) što uvelike mijenja značenje samog zakona.

Prvi svezak Mendeljejevskog udžbenika *Osnove kemije*, s poglavljima 1. do 11. objavljen je u svibnju i lipnju 1868. Drugi svezak, s poglavljima od 12. do 22. objavljen je u ožujku 1869. Treći svezak, u kojem su poglavlja numerirana ponovno od 1. do 8., objavljen je u veljači i ožujku 1870. Preostali četvrti i peti svesci, s poglavljima 9. do 23., izlaze u veljači 1871. godine čime je završeno objavljivanje prvog izdanja Mendeljejevskog udžbenika.

Godine 1971. godine objavljen je i Mendeljejevski najopsežniji rad o periodnom sustavu u *Annalen der Chemie und Pharmacie* (Kaji i Brooks, 2015.; Kaji, 2002.; Mendelejeff, 1871.).

Reihen	Gruppe I. — R <sup>0</sup>	Gruppe II. — R <sup>0</sup>	Gruppe III. — R <sup>0</sup>	Gruppe IV. RH <sup>4</sup> R <sup>0</sup>	Gruppe V. RH <sup>3</sup> R <sup>0</sup>	Gruppe VI. RH <sup>3</sup> R <sup>0</sup>	Gruppe VII. RH R <sup>0</sup>	Gruppe VIII. — R <sup>0</sup>
1	II=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, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=86	Sr=87	?Yt=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	J=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	—	— — — —

**Slika 12.** Tablica objavljena u članku „Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen Elemente“, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, 1871.

(izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mendelejvs\\_periodiska\\_system\\_1871.png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mendelejvs_periodiska_system_1871.png), pristupljeno 15. lipnja 2018.)

Mendeljejev je nastavio istraživati pitanja koja je postavio u svom prvom radu. Nakon prve objavljene tablice periodnoga sustava elemenata, već u kolovozu 1869. godine Mendeljejev predstavlja i novu prepravljenu tablicu na Drugom skupu ruskih prirodoslovaca. U toj je tablici u posebnu grupu izdvojio željezo, kobalt i nikal kao i platinske metale, opet ostavio prazna mjesta za tada nepoznate elemente koji bi trebali biti otkriveni. U studenom 1870. godine Mendeljejev je tablicu ponovno prepravio te je predstavio tablicu u kojoj elemente dijeli u osam skupina, u kojoj su postojale jasne podgrupe i periode. Također je svoju pažnju usmjerio na opisivanje svojstava dotada neotkrivenih kemijskih elemenata, za koje je ostavio prazna mjesta u svojoj tablici, dajući im imena eka-bor, eka-aluminij i eka-silicij (ti elementi su kasnije otkriveni i nazvani skandij, galij i germanij u razdoblju od 1875. do 1886. godine). Mendeljejev je ova nova saznanja iznio na sastanku Ruskog kemijskog društva održanom 29. studenog 1870. godine. Ovo je izlaganje, za razliku od onoga 1869. godine, pobudilo interes njegovih kolega (Gordin, 2013.; Gordin, 2004.). Recepciju samog periodnoga sustava elemenata i utjecaj njegova otkrića pratimo u europskoj i svjetskoj kemijskoj zajednici upravo nakon objave Mendeljejevljeva opsežnog članka u *Annalen der Chemie und Pharmacie* 1872. godine (slika 12.).

U Mendeljejevljevoj originalnoj tablici elementi su poredani po rastućoj atomskoj težini, ali i svrstani u skupine uvažavajući kemijska svojstva. Tako je Mendeljejev u tablicu upravo zbog svojstava iza željeza (56) stavio prvo kobalt (59) i nikal (59). Sličnu situaciju nalazimo u tablici i kod telurija (125) koji je zbog kemijskih svojstava smješten prije joda (127). Uz to, u tablici je Mendeljejev ostavio i prazna mjesta za elemente koji nisu bili otkriveni. Mendeljejev je odmah po objavi tablice nastavio rad na njezinu usavršavanju. U prosincu 1869. izlazi već spomenuti članak objavljen u časopisu Ruskog kemijskog društva. U navedenom radu nalazi se tablica s promijenjenim atomskim težinama itrija (88), indija (113), cerija (138), torija (232) i uranija (238). Praznih je mjesta mnogo više nego u prvoj tablici. Elementima koje treba pronaći daje naziv po postojećima uz prefiks *eka*, *dvi* ili *tri*. Element koji Mendeljejev naziva eka-aluminij otkriven je 1875. (galij), a element koji je nazvao eka-bor otkriven je 1879. (skandij). Mendeljejevljevo predviđanje eka-silicija (germanij, 1886.) toliko je bilo točno da su ga kemičari nazvali proročanstvom. Upravo nakon otkrića germanija kemičari su prihvatili periodni sustav elemenata. Nakon toga uslijedila su otkrića elemenata rijetkih zemalja – lantanoida, kao i otkrića plemenitih plinova.

Mendeljejev je objavio ukupno tridesetak različitih tablica periodnoga sustava, a u njegovoj se ostavštini u rukopisu nalazi još njih toliko. Među njima postoje horizontalni i vertikalni oblici

periodnoga sustava, kao i kružni, pa čak i oblik s dugim periodama, za koje se vjeruje da su nastali usporedno s otkrićem i razvojem kvantne mehanike. Periodni sustav elemenata nedvojbeno je Mendeljevljevo najveće otkriće u kemiji. Najveće priznanje koje je za to dobio bilo je ono Engleskog kemijskog društva kada je upravo za to otkriće zajedno s Lotharom Meyerom 1882. primio Dayvijevu medalju (Scerri, 2007.; Grdenić, 2001.; Rawson, 1974.).

Pitanje koje se samo nameće jest *koje je svojstvo periodičnosti sadržano u Mendeljevljevoj tablici?* Kvalitativno govoreći radi se o svojstvu periodičnosti koje je izraženo pojavom analognih elemenata s povećanjem težine. Tako su, na primjer, elementi s atomskim brojevima 3, 11, 19, 37, 55 alkalijski metali, dok su oni s brojevima 9, 17, 35, 53 halogeni elementi. Lako je za primijetiti kako duljina redova (perioda) u Mendeljevljevom periodnom sustavu elemenata nije jednaka, te tako u periodama nalazimo redom 2, zatim, 8, 8, pa 18, 18 i 32 elementa. Matematičari bi, s pravom, tvrdili kako u ovome ne postoji prava egzaktna periodičnost, budući da sam period nema konstantnu vrijednost. Gledano sa strane kemičara, vrlo je važno da svaki element koji dolazi u sljedećoj periodi zauzima točno određeno mjesto u skupini koja mu pripada, a vezana je uz kemijska svojstva. Mnogi su kemičari pokušali definirati i iskazati periodična svojstva i periodni sustav elemenata prikazati na drugačiji način.

Upravo je periodni zakon stimulirao bolje razumijevanje veza među elementima, otkriće novih elemenata i razna druga otkrića. Pomoću periodnog zakona otkrivena je i metoda kojom se kvantitativno moglo izračunati makroskopska svojstva novih, do tada neotkrivenih elemenata.

Moderna interpretacija periodnoga sustava elemenata razvila se nakon otkrića modela atoma i razvoja ideje prema kojoj se atom sastoji od pozitivno nabijene jezgre okružene negativno nabijenim elektronima. Atomi različitih elemenata razlikuju se u naboju jezgre, tj. broju protona u njihovoj jezgri. Prema tom broju oni su poredani u periodnome sustavu elemenata.

Nadalje, znanstvenici su došli i do objašnjenja koje pojašnjava nepravilne duljine perioda kao i podrijetlo koncepta skupina koje nalazimo u periodnome sustavu elemenata. Odgovor leži u načinu na koji elektroni koji okružuju jezgru, popunjavaju elektronski omotač zauzimajući različite ljuske i podljuske. Atomi s određenim brojem elektrona u unutarnjim ljuskama pripadaju istim periodama, dok atomi s istim brojem elektrona u vanjskoj ljusci pripadaju jednakoj skupini u periodnome sustavu elemenata. Tako se građa i periodično svojstvo

periodnoga sustva elemenata može objasniti na temelju izoelektronskog principa. Kao posljedica ovog proizlazi da se ne samo makroskopska svojstva elemenata, već i mnoga mikroskopska svojstva atoma poput atomskog radijusa, atomskog volumena, energije ionizacije, afiniteta prema elektronu, elektronegativnosti kao i određenih optičkih i magnetskih svojstava ponašaju periodično.



## 2.5. Evolucija periodnoga sustava elemenata

Od svih slučajeva razvoja teorija u povijesti znanosti, razvoj periodnog sustava elemenata jedan je od najistaknutijih koji dokazuje suprotno od teorije Thomasa Kuhna prema kojoj se znanstveni napredak događa kroz niz oštih revolucionarnih obrata. Razvoj periodnog sustava elemenata definitivno ide u prilog teoriji koja govori da je današnja znanost zbroj zajedničkih napora i dostignuća koje su zajedno postigli znanstvenici kroz dugi vremenski period (Kuhn, 2002.).

### 2.5.1. Berilij

Jedan od težih izazova periodnoga sustava bio je smještanje berilija na pravo mjesto. Naime, pitanje oko berilijeve valencije (dva ili tri), kao i pitanje njegove atomske težine određivalo je naravno položaj berilija unutar samoga periodnoga sustava. U to su vrijeme postojali snažni argumenti da bi se berilij trebao staviti u istu skupinu s trovalentnim aluminijem. Unatoč ovim argumentima Mendeljev se odlučio berilij smjestiti u skupinu dvovalentnih metala isključivo zbog njegovih kemijskih svojstava. Zbog te činjenice Mendeljev je zastupao tezu kako atomska težina berilija ne odgovara onoj koja je u to vrijeme za njega bila određena (14), jer mu s tom atomskom težinom ne bi pripadalo dodijeljeno mjesto u periodnome sustavu kao dvovalentnom metalu. Stoga je Mendeljev izložio kako bi atomska težina berilija trebala iznositi otprilike 9,4 (danas 9,01) i on bi se u periodnome sustavu trebao nalaziti između litija (7) i bora (11).

### 2.5.2. Uranij

Druga atomska težina kojoj je Mendeljev predlagao promjenu jest atomska težina uranija. Uranij je radioaktivan metal iz skupine aktinoida kojeg je 1789. godine otkrio kemičar njemačkog podrijetla Martin Klaproth (1743. – 1817.) u smolincu ( $\text{UO}_2$ ). Elementarni uranij izolirao je francuski kemičar Eugène-Pelagot Melcor (1811. – 1890.) 1841. godine redukcijom anhidrida uranijeva klorida kalijem. Element je ime dobio po planetu Uranu. Mendeljev je uranij uvrstio u svoju tablicu iz 1869. godine te mu pretpostavio atomsku težinu 116, a smjestio ga je između kadmija (112) i kositra (118). Tako je on kemijski pripadao u III. skupinu s borom i aluminijem. Mendeljev nije koristio Cannizzarovu atomsku težinu 120 za uranij jer mu to nije dozvoljavalo njegovo svrstavanje u tablicu na mjesto za koje je vjerovao da mu je pripadalo. Mendeljev je i sam pokušao odrediti atomsku težinu uranija te je pretpostavio da bi zbog njegove gustoće vrijednost atomske težine mogla biti dvostruka onoj koju je pretpostavio Cannizzaro. Bohuslav Brauner (1855. – 1935.) određivao je specifični

toplinski kapacitet uranija, no nije došao do egzaktnih eksperimentalnih vrijednosti. Unatoč tome, Mendeljejev 1870. godine u svojoj tablici unosi atomsku težinu uranija 240, što uranij u tablici pomiče u skupinu kemijskih elemenata analognih kromu i molibdenu. Ispravljenu atomsku težinu uranija eksperimentalno je 1874. potvrdio Henry Roscoe (1833. – 1915.).

### 2.5.3. Telurij i jod

Dobro je poznato kako je Mendeljejev svoju tablicu slagao po rastućim atomskim težinama, no kod telurija i joda napravio je izmjenu i prije elementa manje atomske težine, joda, stavio je onaj veće atomske težine, telurij, jer je to bolje odgovaralo njihovim kemijskim svojstvima. Često se vjeruje kako je Mendeljejev bio prvi koji je ovo učinio, no u ranijim poglavljima se iznosi kako su jednaku inverziju napravili i Odling, Newlands i Meyer u svojim tablicama.

### 2.5.4. Otkriće galija, skandija i germanija

Kada se govori o prihvaćanju Mendeljejevljeva periodnoga sustava kao jedan od glavnih razloga navodi se njegovo ostavljanje praznih mjesta za tada neotkrivene elemente kao i predviđanje njihovih svojstva. Ipak, neki autori naglašavaju kako predviđanje postojanja i svojstava tada neotkrivenih i nepoznatih elemenata nije odigralo toliko veliku ulogu kao sam način smještanja poznatih elemenata u tablicu. Pogledamo li sva Mendeljejevljeva predviđanja, može se reći da je samo njih pola bilo točno (Scerri i Worrall, 2001.).

Već je u svojoj prvoj tablici Mendeljejev ostavio prazna mjesta, uključujući i upitnike za elemente za koje je vjerovao da bi trebali postojati, no tada su još bili nepoznati (Mendeleev, 1869.) . Kasnije je usavršavanjem svog periodnoga sustava opisivao i teorijski određivao atomsku težinu elementima koji su nedostajali. Prvo se fokusirao na element koji bi trebao doći ispod aluminija i onaj ispod silicija. Premda je u svojim ranijim radovima to već najavljivao Mendeljejev je 1870. godine započeo potragu za elementima koje naziva eka-bor, eka-aluminij i eka-silicij. U 1871. godini objavio je i rad u kojem detaljno opisuje svojstva tih elemenata. Na potvrdu svojih predviđanja, Mendeljejev i znanstvena zajednica nisu morali dugo čekati. Naime, 1875. godine francuski kemičar Emile Lecoq De Boisbaudane (1838. – 1912.) objavio je otkriće galija, koji je svojstvima odgovarao Mendeljejevljevu eka-aluminiju (Boisbaudane, 1875.).

Nakon ovoga uslijedilo je i otkriće skandija, eka-bora. Švedski kemičar Lars Frederick Nielson (1840. – 1899.) otkrio je ovaj element spektroskopskim metodama. Godine 1886.

ispunjeno je i treće Mendeljevljevo predviđanje kada je njemački kemičar Clemens Winkler (1838. – 1904.) otkrio germanij, koji je svojstvima odgovarao Mendeljevljevu eka-siliciju.

Kao što je već više puta istaknuto, Mendeljevljeva tablica periodnoga sustava elemenata prvi je put objavljena na ruskom jeziku 1869. godine. U Njemačkoj se znanstvenoj literaturi prijevod sažetka ovog rada objavljuje iste godine. Engleska se znanstvena zajednica prvi puta upoznala s Mendeljevljevim sustavom u članku koji je 1871. godine objavljen u *Chemical News* (Mendeleev, 1869.).

U Francuskoj na prve članke i objave nailazimo 1875. godine. Prijevod Mendeljevljeva udžbenika *Osnove kemije* na strane jezike započeo je tek oko 1890. godine, tako da su se kemičari s periodnim sustavom upoznawali kroz znanstvene članke objavljujane u časopisima. Mnogi povjesničari znanosti ističu kako unatoč Mendeljevljevim objavama svog periodnoga sustava na mnogim jezicima do prave recepcije i prihvaćanja periodnoga sustava ipak dolazi nakon njegove potvrde u vidu otkrića ovdje spomenutih elemenata (Boisbaudran, 1875.). Premda većina povjesničara raspravlja o Mendeljevljevim predviđanjima koje su se obistinila i njihovu utjecaju, Eric Scerri skreće pozornost i na neuspjela predviđanja te zaključuje kako ona nisu negativno djelovala na recepciju periodnoga sustava elemenata. No, Michael Akeroyd ne slaže se s tim i zastupa tezu kako su otkrića pretpostavljenih elemenata odigrala vrlo veliku pozitivnu ulogu u prihvaćanju periodnoga sustava (Scerri, 2007.; Akeroyd, 2003.).

### 2.5.5. Otkriće plemenitih plinova

Za razliku od otkrića galija, skandija i germanija, za koje se pretpostavljalo da postoje i čija su otkrića dodatno potvrdila vrijednost periodnoga sustava elemenata, otkriće plemenitih plinova nije bilo pretpostavljeno niti očekivano. Štoviše, kad su se plinovi počeli otkrivati, naslućivalo se kako bi oni mogli poljuljati sam periodni sustav jer im se nije moglo pronaći odgovarajuće mjesto u njemu. Od plemenitih plinova prvo je otkriven argon. Godine 1895. engleski fizičar John William Strout Rayleigh (1842. – 1919.) i kemičar William Ramsey (1852. – 1916.) na skupu *Royal Societyja* u Londonu izvjestili su o svojem otkriću novoga plina za koji je predložen naziv argon (prema grčkom ἀργός, lijen, jer je bio kemijski neaktivan). Nakon otkrića argona uslijedilo je i otkriće kriptona (1898.), neona (1898.), ksenona (1898.) i radona (1900.). Na sastanku kemičara u Berlinu, Ramsey je sugerirao Mendeljejevu kako bi argon i ostale plemenite plinove trebalo u periodnome sustavu staviti u zasebnu grupu. Mendeljejev je na ovo pozitivno reagirao i već 1902. godine u njegovom odgovoru vidimo kako je ova činjenica Ramseyju vrlo važna za potvrdu novih elemenata, dok je Mendeljejevu bitna za opće prihvaćanje periodnoga sustava. Godine 1906. u svome udžbeniku Mendeljejev je zapisao: *Kada je ustanovljen periodni sustav (1869.), ne samo što nije bio poznat argon i njegovi analozi, nesposobni za bilo kakav oblik spajanja, nego nije bilo ni razloga slutnji o postojanju takvih elemenata. Sada, kad je poznata cijela njihova grupa: He, Ne, Ar, Kr, Xe, i kad je postalo očito da imaju toliko zajedničkog kao što imaju alkalijski metali i halogeni, trebalo je priznati da su slični elementi. Bila je to svojevrsna teorijska provjera periodnoga sustava, kao što je provjera bila i uvrštenje berilija u II, umjesto u III grupu i tako dalje.* Time periodična zakonitost nije bila ni najmanje narušena. Ti elementi, po veličini njihovih atomskih težina, točno su zauzeli mjesto između halogenih elemenata i alkalijskih metala, kako je to pokazao Ramsey 1900. godine pa tim elementima treba dati njihovu posebnu, nultu grupu. Ramsey je 1904. godine primio Nobelovu nagradu ne samo za otkriće plemenitih plinova, već i za njihovo svrstavanje u periodnome sustavu elemenata (Smith, 1975.; Grdenić, 2001.; Giunta, 2001.).

### 2.5.6. Otkriće rentgenskih zraka i radioaktivnosti

Nakon potvrde periodnoga sustava otkrićem galija, skandija i germanija, 1895. godine uslijedilo je i otkriće plemenitih plinova, skupine koja originalno nije postojala u Mendeljevljevom periodnome sustavu elemenata. Periodni sustav je bio unaprijeđen. No, otkrića vezana uz periodni sustav i njegovo bolje razumijevanje su se nastavila. Krajem 19. i početkom 20. stoljeća otkriće radioaktivnosti potaknulo je znanstvenike na razmišljanje i preispitivanje postojećih koncepata o građi atoma kao i na pokuse vezane uz strukturu atoma.

Röntgenovo otkriće rentgenskih zraka potkraj 1895. bilo je poticaj za otkriće radioaktivnosti. Njemački fizičar Wilhelm Conrad Röntgen (1845. – 1923.) 1895. godine objavljuje da je u modificiranoj Crookesovoj cijevi otkrio nevidljive zrake koje izazivaju fluorescenciju, prolaze kroz materiju te se ne otklanjaju u magnetskom polju. Röntgen je te zrake nazvao X-zrake zbog njihove nepoznate prirode. Za svoja otkrića 1901. godine dobio je prvu Nobelovu nagradu za fiziku.

Godinu dana nakon Röntgenova otkrića, Henri Becquerel (1851. – 1908.) otkrio je 1896. prirodnu radioaktivnost. Uočio je da uranijeve soli emitiraju nevidljivo zračenje koje djeluje na fotografsku ploču kroz zaštitni papir slično rentgenskim zrakama te da pod utjecajem toga zračenja elektroskop gubi naboj. Primijetio je i da uranijeve soli u mraku neprekidno fluoresciraju. Tako na primjer, čisti kalijev uranilov sulfat u mraku stalno svijetli slabom zelenkastom svjetlošću. Daljnjim ispitivanjem, Becquerel je pronašao da zračenje koje izazivaju uranijevi spojevi ioniziraju zrak (ionizirajuće zračenje), izazivaju fluorescenciju i prolaze kroz papir, pločice aluminija i bakra. Kroz zatvoreni spremnik one djeluju na fotografsku ploču, a djeluju i na kožu i klice raznih biljaka. Utvrdio je da te zrake imaju slična svojstva kao rentgenske zrake, pa su se u početku te zrake nazivale i Becquerelove zrake. Godine 1899. Becquerel je uočio da te zrake skreću u magnetskom polju pa se razlikuju od rentgenskih zraka koje ne skreću u magnetskom polju. Nakon Becquerelovih otkrića daljnje eksperimente u ovom području provodili su supružnici Curie. Marie Skłodowska Curie (1867. – 1934.), poljska kemičarka koja je djelovala u Francuskoj i njezin suprug francuski fizičar i kemičar Pierre Curie (1859. – 1906.), zainteresirani Becquerelovim otkrićima, započeli su istraživanja radioaktivnih elemenata.

Oni su se u svojim istraživanjima vratili ne samo na uranij, nego na uranijevu rudu (smolinac) te došli do spoznaje da se u rudi nalaze i drugi radioaktivni elementi. Prvi element koji je Marie Curie izdvojila nazvala je polonij, dok je daljnjim eksperimentiranjem i razdvajanjem

pronašla i radij (1910.). Predložila je da se kemijski elementi koji izazivaju Becquerelove zrake nazovu radioaktivni elementi.

Marie i Pierre Currie te Henri Becquerel podijelili su Nobelovu nagradu za fiziku 1903. godine. Obrazloženje Švedske akademije znanosti bilo je da je nagrada dodijeljena kao priznanje za izuzetne zasluge koje su iskazali zajedničkim istraživanjem fenomena radioaktivnog zračenja, kojeg je otkrio profesor Henri Becquerel<sup>2</sup> (Partington, 1964.; Ihde, 1964.; Grdenić, 2001.).

### 2.5.7. Građa atoma

Atomska teorija, kako je već ranije istaknuto, začetke svoje ideje vuče iz antičke grčke prirodne filozofije. U moderno je doba ponovno postala aktualna kroz rad i djelo Johna Daltona. Mnogo je znanstvenika bilo za i protiv atomske teorije, a izlagale su se i različite ideje o konceptu atoma.

Otkrivanje građe atoma je bilo moguće razvojem eksperimentalnih metoda u fizici i kemiji. Joseph John Thomson (1856. – 1940.) 1897. godine otkrio je elektron, a nakon toga je Ernest Rutherford (1871. – 1937.) 1911. godine na temelju eksperimentalnih podataka pretpostavio da se u atomu nalazi jezgra. Otkriće rentgenskih zraka 1895. godine omogućilo je fizičarima i kemičarima da otkriju strukturu i građu samih atoma. Otkrićem radioaktivnosti pojam transmutacije elemenata više ne ostaje vezan samo uz alkemiju. Sve je to dovelo i do novih definicija i shvaćanja materije i građe atoma, koji više nisu najmanje i najsitnije čestice koje postoje. Henry Mosely (1887. – 1915.) koristeći se rentgenskim zrakama otkriva pojam rednog ili atomskog broja. Tim otkrićem postalo je jasno kako atomska težina nije ona koja određuje smještaj elemenata u periodnome sustavu. Istraživanja radioaktivnosti i građe jezgara otvorila su pitanje izotopa. Sva ova nova otkrića nisu poljuljala periodni sustav elemenata već su učvrstila njegov značaj. Upravo ovim otkrićima nekada možda nejasna mjesta u periodnome sustavu elemenata bila su razjašnjena. No, također su otvorila i neka nova pitanja poput, primjerice, na koji način smjestiti izotope u periodni sustav.

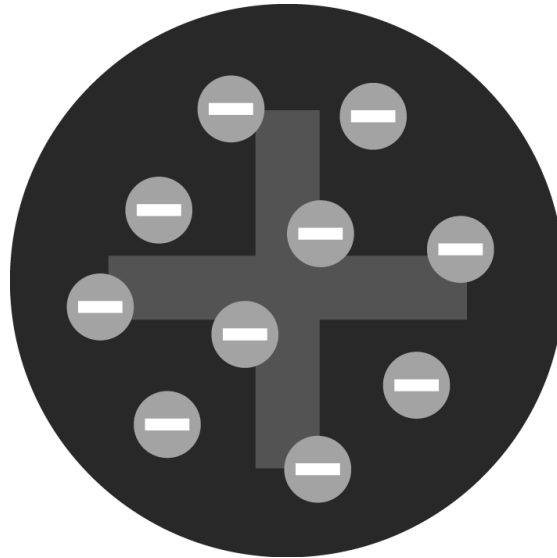
---

<sup>2</sup> Marie Curie bila je prva žena koja je osvojila Nobelovu nagradu. Osam godina kasnije, 1911. godine, dobila je i Nobelovu nagradu za kemiju kao priznanje za njene zasluge za unaprjeđenje kemije otkrivanjem elemenata radija i polonija, izolacijom radija i proučavanjem osobina i spojeva tog osobitog elementa. Marie je napravila neobičan potez. Nije patentirala proces izolacije radija, tako su ga znanstvena društva mogla neometano istraživati. Bila je prva osoba koja je osvojila, ili podijelila dvije Nobelove nagrade. Jedna je od dvije osobe koja je dobila Nobelovu nagradu u dva različita područja (drugi je Linus Pauling) i jedina žena koja je dobila dvije Nobelove nagrade.

Sama ideja da bi se neki element mogao sastojati od više različitih vrsta atoma postojala je i prije no što je engleski kemičar Frederick Soddy (1877. – 1956.) uveo pojam izotopa u kemiju u svom članku *Intra-atomic Charge* iz 1903. godine (Soddy, 1913.). Izotop (grčki ἴσος, isti; τόπος, mjesto) je atom istoga kemijskog elementa (isti atomski broj,  $Z$ ) koji se međusobno razlikuje po broju neutrona u atomskoj jezgri, pa prema tome i po masenom broju (maseni broj,  $A$ ), odnosno masi. Izotopi nekoga kemijskog elementa danas zauzimaju isto mjesto u periodnom sustavu iako se kroz evoluciju periodnoga sustava raspravljalo na koji način smjestiti izotope u tablicu periodnoga sustava. Soddy je u povijesti kemije najpoznatiji po postavljanju teorije radioaktivnog raspada 1903. godine (zajedno s Rutherfordom), prema kojoj atomi radioaktivnih elemenata nisu stabilni, nego se spontano raspadaju (dezintegriraju ili transmutiraju), uz zračenje radioaktivnih čestica (alfa-čestica, beta-čestica ili gama-čestica), pri čemu prelaze u atome drugih elemenata. U to se vrijeme mislilo da samo radioaktivni elementi imaju izotope, no J. J. Thomson je svojim pokusima potvrdio postojanje izotopa i stabilnih elemenata.

J. J. Thomson je 1879. godine izvodio pokuse u kojima je zaključio kako su katodne zrake zapravo stuja jednako negativno nabijenih čestica. Tim česticama, elektronima, izmjerio je otklon u električnom i magnetskom polju i izračunao omjer naboja i mase. Smatrao je da kemijska svojstva atoma potječu od elektrona. Godine 1904. opisao je i model s pozitivnom jezgrom i elektronima koji se nalaze u elektronskim ljuskama te je smatrao da je broj elektrona u zadnjoj ljusci važan za njihov položaj u periodnome sustavu elemenata. Godine 1907. predstavio je model atoma u kojem se negativni elektroni nalaze rasuti u kuglastoj, električki pozitivnoj atomskoj jezgri – model kolača s grožđicama (*plum pudding model*, slika 13.) (Thomson, 1904.; Kragh, 2001.).

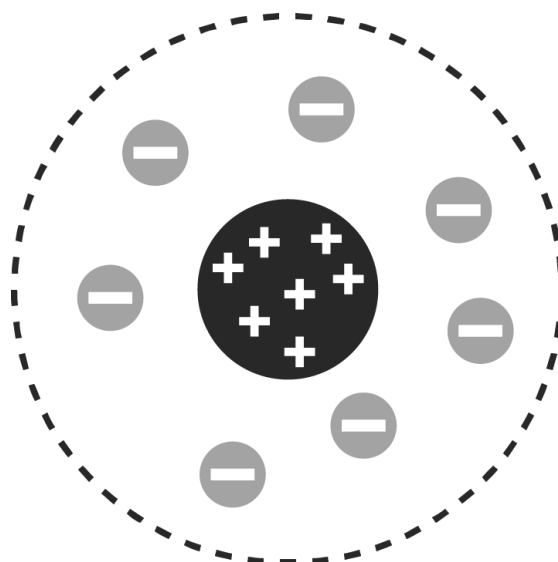
Premda je model atoma J. J. Thomsona, koji u sebi sadrži elektrone, bio najrašireniji model i drugi su kemičari dali svoje priloge, poput Gilberta Newtona Lewisa (1875. – 1946.) koji je ponudio svoj model (Lewis, 1966.).



**Slika 13.** Thomsonov model atoma s negativno nabijenim elektronima koji su rasuti po pozitivnoj atomskoj jezgri

Thomsonov model atoma bio je poljuljan kada je Rutherford sa suradnicima Hansom Geigerom i Ernestom Marsdenom izveo pokus s  $\alpha$ -česticama i zlatnim listićem 1909. godine. Godine 1912. rezultate pokusa i raspršenje zraka Rutherford je objasnio *planetarnim modelom atoma* u kojem se u jezgri atoma, u kojoj je koncentrirana gotovo sva masa, nalaze električki pozitivne čestice oko koje se kreću negativno nabijeni elektroni (slika 14.). Izvedeni pokus dokazuje postojanje atomske jezgre. Daljnjim izračunima Rutherford je na temelju omjera polumjera atomske jezgre i cijelog atoma, zaključio da atom nema ravnomjernu gustoću te da je vrlo mali dio volumena zauzet materijom.





**Slika 14.** Rutherfordov planetarni model atoma s pozitivnom jezgrom i negativnim elektronima

Rutherford je prihvatio teoriju nizozemskog fizičara Antona van den Broeka (1870. – 1926.) prema kojoj je pozitivan naboj jezgre jednak rednom broju elementa. Iste godine to je potvrdio i engleski fizičar Henry G. J. Moseley (1887. – 1915.) svojim zakonom o karakterističnim spektrima rentgenskih zraka u kojem je ustanovio da su drugi korijeni frekvencije karakterističnih zraka proporcionalni s rednim brojem metala u tablici periodnoga sustava elemenata. Moseleyevom metodom mogao se odrediti redni broj atoma. Iako je Moseley poginuo vrlo mlad, sa svega 28 godina, prije no što se znanstvena akademska zajednica potpuno upoznala s njegovim radom, on je u svom objavljenom članku snažno zastupao tezu kako je atomski broj, a ne atomska težina, podatak i princip prema kojem se slaže periodni sustav elemenata (Moseley, 1913.). Linijski spektri dobiveni razvojem atomske spektroskopije omogućili su proučavanje strukture elektronskog omotača.

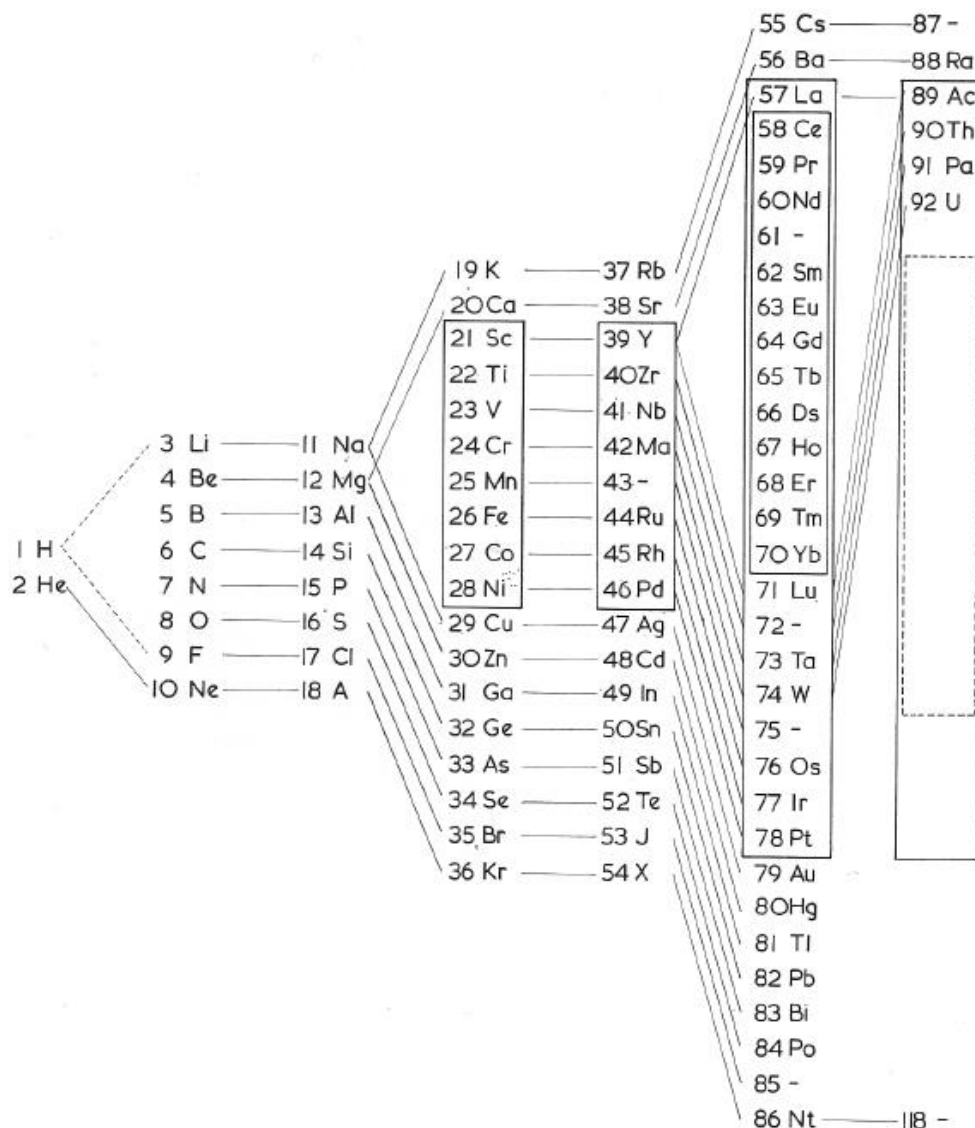
### 2.5.8. Kvantna mehanika

Godine 1913. Niels Bohr (1885. – 1962.) pretpostavio je kvantizaciju energijskih stanja elektrona u elektronskom omotaču te predložio svoj model atoma. Svi pretpostavljeni modeli uvelike su pridonijeli razvoju koncepta kemijske veze i njegovu tumačenju. Bohrov sustav temelji se na spektroskopskim podacima, a ne kemijskim kao onaj Mendeljejevljev. Tumačenje atomskih spektara, uz redni broj i glavni kvantni broj ( $n$ ), zahtijevalo je još i poznavanje orbitalnih, magnetskih i spinskih brojeva.

Model atoma koji je Bohr predložio 1913. godine predstavlja odmak od dotadašnjih modela. Bohr je postupno napuštao planetarni oblik modela atoma i razvijao onaj orbitalni, koji vodi prema današnjem shvaćanju građe elektronskog omotača i mjesta elektrona, ne u obliku putanja već vjerojatnosti nalaženja u određenom dijelu prostora oko jezgre (slika 15.). No, ipak, u njegovim ranijim radovima još uvijek nalazimo modele atoma u kojem se, na primjer, za atom litija oko jezgre kreću tri elektrona po prstenastim putanjama. Do napuštanja ovakvog prikaza atoma došlo je oko 1920. godine (Kragh, 2015.).

Godine 1924. Louis Victor de Broglie (1891. – 1987.) pretpostavlja da elektroni imaju valna svojstva. Proučavanje razmještaja elektrona u atomu završeno je 1928. prinosima Erwina Schrödingera (1887. – 1961.), Wolfganga Paulija (1900. – 1958.) i Wenera Karla Heisenberga (1901. – 1976.). Godine 1932. James Chadwick (1891. – 1974.) otkrio je neutron.

Poznato je kako u Rutherfordovom modelu atoma elektron kruži oko jezgre. Prema njegovom planetarnom modelu gibanje elektrona sukladno je Newtonovim zakonima gibanja, analogno gibanju Zemlje oko Sunca. Rutherfordov model imao je dva problema. Prema elektromagnetskoj teoriji Jamesa Clerka Maxwella (1831. – 1879.) bilo koje nabijeno tijelo koje se kružno giba gubi svoju energiju. Prema toj bi teoriji elektron trebao pasti u jezgru. Rutherfordov model također nije davao objašnjenje linijskih spektara atoma.



**Slika 15.** Periodni sustav Nielsa Bohra iz 1922. objavljen u *Theory of Spectra and Atomic Constitution* i pretiskan u knjizi van Spronsena

(izvor: [https://www.meta-synthesis.com/webbook/35\\_pt/pt\\_database.php?PT\\_id=285](https://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=285), pristupljeno 6. kolovoza 2018.)

Ova oba problema riješena su Bohrovim modelom za vodikov atom. Taj model vodikova atoma 1913. godine ponudio je objašnjenje linijskih spektara. Vodikov atom, čiji elektron kruži na određenoj putanji oko jezgre emitira ili apsorbira kvant energije samo kada prelazi iz jedne u drugu stacionarnu putanju. Prema Bohrovim postulatima elektron ne gubi energiju dok se kreće unutar samog stacionarnog stanja. On uvodi *aufbau princip* prema kojem se svakom sljedećem elementu u periodnome sustavu dodaje po jedan elektron. Također je pretpostavljao da se elektroni koji se dodaju nalaze u zadnjoj ljusci, kada se ljuska napuni

otvara se nova ljuska. No, nije uspio izračunati maksimalan broj elektrona koji neka ljuska može primiti te se u potpunosti oslanjao na spektroskopske podatke.

Arnold Sommerfeld (1868. – 1951.), njemački fizičar i matematičar je 1915. godine poprio Bohrov model pretpostavivši da se elektroni ne gibaju po kružnim, već eliptičnim putanjama. Uz to, u svoje proračune uvodi i specijalnu teoriju relativnosti. Dok je Bohr u svojim ranim radovima i računima koristio samo jedan kvantni broj ( $n$ ), Sommerfeld uvodi i drugi kvantni broj ( $l$ ).

Njemački fizičar Werner Heisenberg (1901. – 1976.) daje moderno objašnjenje periodnog sustava elemenata koje uključuje elektronske orbitale i kvantne brojeve te uvodi matrični pristup kvantnoj mehanici. Godine 1927. on predstavlja princip neodređenosti prema kojem je nemoguće istodobno odrediti brzinu, odnosno impuls elektrona i njegov položaj u prostoru. Kao posljedicu ovog načela elektronu se u atomu ne može pripisati određena orbita oko atomske jezgre, već možemo samo govoriti o njegovoj vjerojatnosti da se nađe u određenom dijelu prostora oko atomske jezgre.

Wolfgang Ernst Pauli (1900. – 1958.), austrijski matematičar i fizičar u kvantnu mehaniku uvodi i četvrti kvantni broj, što je posljedica objašnjenja elektronskog spina. Godine 1925. on postavlja *princip isključenja* prema kojem dva elektrona ne mogu imati iste sve kvantne brojeve.

Erwin Schrödinger (1887. – 1961.), austrijski fizičar, 1926. godine u svojoj poznatoj jednadžbi gibanja elektrona, temeljnoj jednadžbi moderne kvantne fizike, uvodi za opis sustava valnu funkciju  $\psi$ . Valne funkcije  $\psi$  moraju zadovoljavati određene uvjete kako bi mogle predstavljati realni fizički sustav. Tako moraju biti jednoznačne i konačne funkcije te zajedno sa svojom prvom derivacijom, obzirom na prostorne koordinate, biti neprekinuta funkcija po čitavom području definicije. Kod opisivanja gibanja Schrödingerovom jednadžbom, valna funkcija,  $\psi$ , ne može jednoznačno odrediti položaj čestice u prostoru jer je to nemoguće zbog relacija neodređenosti. Statistička interpretacija valne funkcije koja potječe od Maxa Borna (1882. – 1970.), postavljena 1926. godine, ističe kako samo  $\psi^2$  ( $\psi \cdot \psi^*$ ) ima fizičko značenje, kao vjerojatnost nalaženja određenog elektrona u prostoru. Kvantne brojeve uveo je u fiziku Max Planck (1858. – 1947.), njemački fizičar kojeg smatramo osnivačem kvantne teorije. On je 1900. godine svojom jednadžbom i teorijom objasnio zračenje crnog tijela. Valne funkcije elektrona u atomu određene su sa četiri kvantna broja  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  i  $m_s$  a nazivaju se i atomskim orbitalama. Sve orbitale istoga glavnog kvantnog broja,  $n$ , pripadaju

istoj elektronskoj ljusci. Raspodjela elektrona u pojedinim kvantnim nivoima određena je Paulijevim *principom isključenja* prema kojem dva elektrona u atomu ne mogu imati iste vrijednosti sva četiri kvantna broja. To znači kako jedno kvantno stanje u atomu može zauzeti samo jedan elektron, dok se idući mora razlikovati barem u spinskom kvantnom broju, ms. Stoga su jednom valnom funkcijom (orbitalom) opisana najviše dva elektrona. Maksimalan broj elektrona u određenoj elektronskoj ljusci je  $2n^2$ , gdje  $n$  predstavlja broj ljuske.

Raspodjela elektrona po energijskim nivoima, elektronska konfiguracija, slijedi Hundovo pravilo prema kojem se elektroni unutar istovrsnih degeneriranih orbitala razmještaju tako da broj nesparenih elektrona s paralelnim spinovima, a s time i ukupni spinski kutni moment bude maksimalan (načelo maksimalnog multipliciteta). Tada ukupni elektronski oblak biva maksimalno raspršen u atomu i on se nalazi u najnižem energijskom stanju. Red popunjavanja orbitala dobiven je spektroskopskim podacima i najjednostavnije je iskazan *pravilom dijagonale*. Pri popunjavanju orbitala dolazi do odstupanja uzrokovanih, na primjer, većom stabilnošću polupopunjenih degeneriranih orbitala (elektronska konfiguracija Cr) kao i potpuno popunjenih degeneriranih orbitala (Cu, Ag, Au).

Cjelokupnu elektronsku konfiguraciju atoma, to jest raspodjelu elektrona po energijskim nivoima dobivamo korištenjem nekoliko principa. Pomoću principa izgradnje (*aufbau prinzip*), prema kojem se elektroni raspodjeljuju principom minimuma energije, najprije u najniža, a zatim u sve više stanja. Zatim slijedeći *Hundovo pravilo*, prema kojem elektroni popunjavaju prvo orbitale iste energije, čineći to tako da broj paralelnih spinova bude maksimalan. Uz to potrebno nam je i *Paulijevo načelo* prema kojem se u jednoj orbitali mogu nalaziti dva elektrona, i to samo ako su im spinovi suprotnoga smjera. Redosljed popunjavanja orbitala definiran je *pravilom dijagonale* (Katz, 2001.; Levine, 2009.; Maksić, 1976.).

Daje li kvantna teorija uopće objašnjenje periodnog sustava elemenata te ako da, u kojoj mjeri, danas predstavlja aktualno pitanje koje istražuju znanstvenici u okviru filozofije kemije? Odgovori na neka pitanja izlaze iz izračuna kvantne teorije. No, isto tako mnoga pitanja ostaju otvorena. Tako, na primjer, Paulijevo načelo isključenja daje odgovor na pitanje koliko elektrona možemo smjestiti u pojedinu orbitalu, no ne objašnjava različitu duljinu perioda (Scerri, 1991.; Scerri, 1991.).

## 2.6. Moderni periodni sustav elemenata

Zadnju promjenu periodnog sustava elemenata uveo je Glenn Theodore Seaborg (1912. – 1999.), američki znanstvenik švedskih korijena. On je bio glavni otkrivač ili suotkrivač deset kemijskih elemenata: plutonija (Pu, 94), americija (Am, 95), kurija (Cm, 96), berkelija (Bk, 97), kalifornija (Cf, 98), einsteinija (Es, 99), fermija (Fm, 100), mendelevija (Md, 101) i elementa 106, koji je tijekom njegova života, njemu u čast, nazvan seaborgij (Sg, 106) (slika 16). Dobitnik je Nobelove nagrade za kemiju 1951. godine zbog otkrića i sinteze 10 transuranijskih elemenata. Seaborg je predložio da skupina aktinoida počinje s aktinijem (Ac, 89). Uz razvoj koncepta aktinoida i njihova smještaja ispod lantanoida, Seaborg je predložio smještaj superteških elemenata u grupu transaktinoida i superaktinoida. Seaborg u svom govoru održanom u Lenjingradu 1969. godine, povodom stote godišnjice periodnoga sustava elemenata, naglašava kako se s elementom rednoga broja 104 ulazi u tada relativno neistraženo područje periodnoga sustava i skupine elemenata koju on naziva transaktinoidnim elementima (Pravdić, 1969.).

1																	2																																														
H																	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																																						
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																												
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																												
55	Cs	56	Ba	57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu	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
87	Fr	88	Ra	89	Ac	(104)	(105)	(106)	(107)	(108)	(109)	(110)	(111)	(112)	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)	(119)	(120)	(121)	(122)	(123)	(124)	(125)	(126)	(127)	(128)	(129)	(130)	(131)	(132)	(133)	(134)	(135)	(136)	(137)	(138)	(139)	(140)	(141)	(142)	(143)	(144)	(145)	(146)	(147)	(148)	(149)	(150)	(151)	(152)	(153)								

LANTANIDI	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

AKTINIDI	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
----------	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

SUPER AKTINIDI	(122)	(123)	(124)	(125)	(126)	(127)	(128)	(129)	(130)	(131)	(132)	(133)	(134)	(135)	(136)	(137)	(138)	(139)	(140)	(141)	(142)	(143)	(144)	(145)	(146)	(147)	(148)	(149)	(150)	(151)	(152)	(153)
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

**Slika 16.** Tablica periodnoga sustava elemenata s izdvojenim periodama lantanida, akatinida i superaktinida, objavljena u časopisu *Kemija u Industriji* 1969. godine

Iako je među mnogim pokušajima izgleda periodnoga sustava bilo i onih u obliku trokuta, spirale, stošca, piramide i cilindra, danas periodni sustav elemenata ima oblik pravokutne tablice (Mazurus, 1974.).

Moderna tablica periodnoga sustava elemenata je prikaz dosada poznatih prirodnih i umjetno stvorenih kemijskih elemenata organiziran prema njihovom rastućem protonskom broju, elektronskoj konfiguraciji i ponavljajućim svojstvima (slika 17.). Svaki je element u

periodnom sustavu označen simbolom uz koji je navedena prosječna relativna atomska masa i protonski broj. Periodni se sustav elemenata sastoji od 7 perioda (vodoravni redovi) i 18 skupina (uspravni stupci). Prva perioda periodnoga sustava je vrlo kratka, sadrži samo dva elementa. Druga i treća perioda su duže te sadrže svaka po osam elemenata. Četvrta i peta perioda su duge periode i svaka sadrži po 18 elemenata. Šesta perioda kao i sedma je vrlo duga i sadrži 32 elementa, što sve zajedno čini 118 elemenata. Svaka perioda (osim prve) počinje alkalijskim elementom, a završava plemenitim plinom. Unutar četvrte, pete, šeste i sedme periode nalaze se prijelazni elementi (elementi d-bloka), a unutar šeste i sedme periode unutrašnji prijelazni elementi lantanoidi i aktinoidi (elementi f-bloka). Elementi u periodnom sustavu dijele se u blokove prema vrsti orbitale koja se posljednja popunjava elektronima.

Prema Međunarodnoj uniji za čistu i primijenjenu kemiju – IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), skupine periodnog sustava elemenata označavaju se brojevima od 1 do 18. Prema starom načinu (Chemical Abstract Service), skupine se označavaju rimskim brojevima i oznakama od IA do VIIIA i od IB do VIIIB. Periode su razdijeljene u vertikalnim stupcima u skupine ili grupe kemijskih elemenata. Elementi iste skupine grade čiste tvari sličnih kemijskih i fizikalnih svojstava i nazivaju se srodnicima. Prva skupina sadrži alkalijske metale osim vodika koji je nemetal. U drugoj skupini su zemnoalkalijski metali. Od 3. do 12. skupine nalaze se prijelazni metali u koje spadaju i unutrašnji prijelazni metali lantanoidi i aktinoidi. U jednom djelu p-bloka od 13. do 16. skupine nalazimo slabe metale, polumetale i nemetale. Gledajući po skupinama to su redom borova, ugljikova i dušikova skupina elemenata. U 16. skupini su halkogeni elementi, 17. skupina halogeni elementi i 18 skupina plemeniti plinovi.

Zadnja IUPAC-ova modifikacija periodnoga sustava elemenata (28. studenog 2016.) uključuje elemente rednih brojeva 113, 115, 117 i 118 s njihovim imenima i simbolima. Nova imena kemijskih elemenata su: nihonij (Nh, 113) za element ununtrij, moskovij (Mc, 115) za element ununpentij, tenes<sup>3</sup> (Ts, 117) za element ununseptij, oganeson (Og, 118) za element ununoktij. Imena za novootkrivene kemijske elemente predložili su znanstvenici koji su ih otkrili. Prva tri kemijska elementa dobila su ime prema mjestu istraživačkog laboratorija u kojima su otkriveni. Tako je nihonij otkriven u Japanu (japanska riječ za Japan je Nippon ili Nihon), moskovij (Moskva) i tenes (američka savezna država Tennessee). Oganesson je dobio

---

<sup>3</sup> Trenuto se u hrvatskoj literaturi mogu naći i inačice imena „tenesin“ pa čak i „tenesi“, ali ime „tenes“ je u skladu s imenima ostalih halogena.

ime u čast Jurja Oganessiana, ruskog znanstvenika, profesora nuklearne fizike. Sva četiri novootkrivena elementa izrazito su nestabilna.

**IUPAC Periodic Table of the Elements**

Key:		atomic number		symbol		name		atomic weight	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 H hydrogen [1.0078, 1.0082]	2 He helium 4.0026	3 Li lithium [6.941, 6.991]	4 Be beryllium 9.0122	5 B boron [10.81, 10.821]	6 C carbon [12.009, 12.012]	7 N nitrogen [14.006, 14.008]	8 O oxygen [15.999, 16.000]	9 F fluorine 18.998	10 Ne neon 20.180
11 Na sodium [22.990]	12 Mg magnesium [24.304, 24.307]	13 Al aluminum [26.982, 26.989]	14 Si silicon [28.086, 28.089]	15 P phosphorus [30.974]	16 S sulfur [32.059, 32.076]	17 Cl chlorine [35.447, 35.457]	18 Ar argon 39.948	19 K potassium 39.098	20 Ca calcium [40.078, 40.078]
21 Sc scandium 44.956	22 Ti titanium [47.867]	23 V vanadium 50.942	24 Cr chromium 51.996	25 Mn manganese 54.938	26 Fe iron 55.845	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nickel 58.693	29 Cu copper 63.546	30 Zn zinc 65.38
31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.631	33 As arsenic 74.922	34 Se selenium 78.971	35 Br bromine [79.901, 79.907]	36 Kr krypton 83.798	37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirconium 91.224
39 K potassium 39.098	40 Ca calcium [40.078, 40.078]	41 Sc scandium 44.956	42 Ti titanium [47.867]	43 V vanadium 50.942	44 Cr chromium 51.996	45 Mn manganese 54.938	46 Fe iron 55.845	47 Co cobalt 58.933	48 Ni nickel 58.693
49 Pr praseodymium 140.908	50 Nd neodymium 144.24	51 Pm promethium 144.913	52 Sm samarium 150.36	53 Eu europium 151.964	54 Gd gadolinium 157.25	55 Tb terbium 158.925	56 Dy dysprosium 162.50	57 Ho holmium 164.930	58 Er erbium 167.259
59 La lanthanum 138.905	60 Ce cerium 140.12	61 Pr praseodymium 140.908	62 Nd neodymium 144.24	63 Pm promethium 144.913	64 Sm samarium 150.36	65 Eu europium 151.964	66 Gd gadolinium 157.25	67 Tb terbium 158.925	68 Dy dysprosium 162.50
69 Tm thulium 168.934	70 Yb ytterbium 173.054	71 Lu lutetium 174.967	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.948	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.207	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.222	78 Pt platinum 195.084
79 Au gold 196.967	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.384	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.980	84 Po polonium [209]	85 At astatine [210]	86 Rn radon [222]	87 Fr francium [223]	88 Ra radium [226]
89 Ac actinium 227.03	90 Th thorium 232.038	91 Pa protactinium 231.036	92 U uranium 238.029	93 Np neptunium 237.048	94 Pu plutonium 244.064	95 Am americium 243.061	96 Cm curium 247.070	97 Bk berkelium 247.070	98 Cf californium 251.083
99 Es einsteinium [252]	100 Fm fermium [253]	101 Md mendelevium [258]	102 No nobelium [259]	103 Lr lawrencium [260]	104 Rf rutherfordium [261]	105 Db dubnium [262]	106 Sg seaborgium [263]	107 Bh bohrium [264]	108 Hs hassium [265]
109 Mt meitnerium [266]	110 Ds darmstadtium [267]	111 Rg roentgenium [268]	112 Cn copernicium [269]	113 Nh nihonium [270]	114 Fl flerovium [271]	115 Mc moscovium [272]	116 Lv livermorium [273]	117 Ts tennessine [274]	118 Og oganeson [276]

For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 28 November 2016. Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

**Slika 17.** Današnja najčešće korištena tablica srednjih perioda periodnoga sustava elemenata, odobrena 2016. od strane International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) (*medium-long form table*)

(izvor: [http://iupac.org/cms/wp-content/uploads/2015/07/IUPAC\\_Periodic\\_Table-28Nov16.jpg](http://iupac.org/cms/wp-content/uploads/2015/07/IUPAC_Periodic_Table-28Nov16.jpg), pristupljeno 17. kolovoza 2018.)



## 2.7. Recepcija periodnoga sustava elemenata u Rusiji, Njemačkoj, Češkoj i Srbiji

### 2.7.1. Rusija

Do jeseni 1870. godine Mendeljejev je završio i revidiranu verziju svoga periodnoga sustava, zajedno s opisom tada neotkrivenih elemenata te o tome objavio rad u ruskoj literaturi. Rad je također preveden na njemački i objavljen u *Annalen der Chemie und Pharmacie* sljedeće godine. Mendeljejev je ujedno bio i vodeća osoba u Ruskom kemijskom društvu, koje je osnovano 1868. godine i upravo je u tom Društvu svoje kolege uvjerio u vjerodostojnost periodnoga sustava. Uz to, budući da je bio profesor i autor udžbenika *Osnove kemije* (Оснѣвы химіи) koji je pisao paralelno s razvojem i unaprjeđenjem periodnoga sustava, upravo je taj udžbenik odigrao vrlo važnu ulogu u prihvaćanju periodnoga sustava i to ne samo u Rusiji nego i u drugim zemljama.

U Rusiji je ideja periodnoga sustava bila uvedena u kurikulum već 1880. godine. Premda Mendeljejevljeva prva objava periodnoga sustava elemenata nije izazvala veću pozornost među njegovim ruskim kolegama njegov rad na usavršavanju periodnoga sustava elemenata i prezentacija njegovih ideja na kraju je urodila plodom. Rad na udžbeniku *Osnove kemije* odvijao se paralelno s prvom objavom i daljnjim Mendeljejevljevim modifikacijama periodnoga sustava. Godine 1871. objavljen je i Mendeljejevljev najopsežniji rad o periodnome sustavu u časopisu *Annalen der Chemie und Pharmacie* (Kaji i Brooks, 2015.; Kaji 2002.; Mendelejeff, 1871.).

Kako M. Kaji ističe u svom radu „D. I. Mendeleev's concept of chemical elements and the principles of chemistry“, ova kronologija objave i pisanja *Osnova kemije* jasno govori o tome kako je Mendeljevljev bio u procesu pisanja udžbenika upravo u vrijeme kada je po prvi puta objavio periodni sustav elemenata i nastavio na njemu raditi (tablica 1.). Ovaj se zaključak izvodi ne samo iz vremenskog podudaranja, već i iz sadržaja pojedinih poglavlja i koncipiranja samoga udžbenika te organizacije gradiva i sadržaja. Kaji ističe kako je očito da je Mendeljejev započeo pisanje udžbenika s idejom valencije kao temelja organizacije elemenata, no kada u poglavlju o alkalijskim i zemnoalkalijskim metalima započinje njihovu usporedbu očito je da Mendeljejev to čini temeljeno na njihovoj atomskoj težini, što na kraju i sam Mendeljejev ističe u svojim radovima.

Tablica 1: Kronologija objave prvoga izdanja Mendeljevljevog udžbenika *Osnove kemije* i otkrića periodnoga sustava elemenata

Datum	Publikacija
svibanj – lipanj 1868.	Udžbenik <i>Osnove kemije</i> (Оснiвы химии) prvi svezak (poglavlja 1–11)
17. veljače 1869.	Prva tablica periodnoga sustava elemenata, a naslov tablice bio je na ruskom <i>Pokušaj sistematizacije elemenata koji se temelji na njihovim atomskim težinama i kemijskom afinitetu</i>
6. ožujka 1869.	Prvi pročitani rad o periodnome sustavu elemenata. Kako Mendeljejev nije bio u mogućnosti prisustvovati sastanku, rad je pročitao Nikola Aleksandrovič Menšutkin. Ovo izlaganje objavljeno je u prvom volumenu časopisa Ruskog kemijskog društva pod naslovom „Sootnošenje svojstava s atomnim vesom elementov” (Соотношение свойств с атомным весом элементов)
ožujak 1869.	Udžbenik <i>Osnove kemije</i> , drugi svezak (poglavlja 12 – 22)
veljača – ožujak 1870.	Udžbenik <i>Osnove kemije</i> , treći svezak (poglavlja 1 – 8)
veljača 1870.	Udžbenik <i>Osnove kemije</i> , četvrti i peti svezak (poglavlja 9 – 23)
srpanj 1871.	Mendeljevljev članak „Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen elemente” objavljen u <i>Annalen der Chemie und Pharmacie</i>

U svom radu Kaji također upozorava i ističe kako je u literaturi bilo zastupljeno mišljenje kako je u svojim kasnijim izdanjima *Osnova kemije* Mendeljejev zadržao svoju originalnu tablicu i nije ju mijenjao, no struktura budućih izdanja Mendeljevljevog udžbenika mijenjala se, kao i sama tablica periodnoga sustava. Ukupno je bilo osam izdanja Mendeljevljevog udžbenika na ruskom jeziku, zadnje izdanje godine 1906. objavljeno je netom prije smrti Mendeljejeva (Kaji i Brooks, 2015.; Kaji, 2002.).

Nakon Mendeljevljeve objave članka 1871. godine, u kojem je on vrlo detaljno i iscrpno iznio svoje ideje i rezultate istraživanja o periodnome sustavu, ruski su kemičari objavili tek poneki rad o periodnome sustavu u časopisu Ruskog kemijskog društva.

Osim Mendeljevljeva udžbenika još je i sveučilišni udžbenik *Udžbenik anorganske kemije prema najnovijim pregledima* Victora von Richtera (1841. – 1891.), sastavljen prema novim

otkrićima, odigrao vrlo važnu ulogu u širenju ideje o periodnome sustavu elemenata kako u Rusiji tako i u Njemačkoj, ističu Kaji i Brooks (Richter, 1874.; Kaji i Brooks, 2015.; Kaji, 2002.).

Navedeni udžbenik bio je prvi udžbenik nakon Mendeljejevljevog koji je sadržavao i bio koncipiran prema periodnome sustavu elemenata. Richter je usavršavao udžbenik dodajući nova saznanja i otkrića do njegova šestog izdanja (1887.). Prvi put spominje otkriće novih elemenata za koja je Mendeljejev predvidio svojstva, galija i skandija u četvrtom izdanju (1880.) i germanija u šestom izdanju. Nakon Richterove smrti Ljudvig Juljevič Javein (1854. – 1911.) nastavio je rad na ovom udžbeniku koji je objavljen u trinaest izdanja (1910.) i preveden na druge svjetske jezike: njemački, engleski, talijanski, nizozemski. Kemija se kao samostalan predmet nije predavala u Rusiji u to vrijeme u svim srednjim školama. U gimnazijama se predavala u sklopu fizike i povijesti znanosti dok se u realkama predavala kao poseban predmet.

Srednjoškolski udžbenici tiskani između godina 1870. i 1920. bili su odobravani od strane Ruske nacionalne knjižnice u St. Peterburgu, Slavenske knjižnice i Nacionalne knjižnice Finske u Helsinkiju. U to vrijeme izdano je osamnaest različitih udžbenika i većina udžbenika slijedila je periodni sustav elemenata. Među navedenima ističe se udžbenik Stefana Ivanoviča Kovalevskog (? – 1907.) *Udžbenik kemije* (Kovalevski, 1874.) koji već u prvom izdanju spominje Mendeljejevljev periodni sustav elemenata, dok u trećem izdanju (1880.) nalazimo elemente obrađene i grupirane prema periodnome sustavu. Uz udžbenike na ruskom jeziku i popularni udžbenici Henryja E. Roscoea, kao i oni Ire Remsena i Williama Ramsaya, prevedeni su na ruski jezik i korišteni.

Sredinom 1870-tih u Rusiji nalazimo i prve popularne članke o periodnome sustavu. Godine 1876. Aleksandar Pavlovič Sabaneev (1843. – 1923.) napisao je članak o klasifikaciji elemenata u ruskom časopisu *Priroda* (Sabaneev, 1876.). U članku hvali Mendeljejevljevu klasifikaciju elemenata i spominje otkriće galija 1875. godine. Krajem devetnaestog i početkom dvadesetog stoljeća u Rusiji nalazimo i radove Borisa Nikolajeviča Čičerina (1828. – 1904.) i Nikolaja Aleksandroviča Morozova (1854. – 1946.) vezane uz periodni sustav elemenata i strukturu atoma (Kaji i Brooks, 2015.; Kaji, 2002.).

### 2.7.2. Njemačka

Vezano uz recepciju periodnoga sustava elemenata, G. Boeck u svom radu (Boeck, 2015.) ističe kako je u Njemačkoj i prije Lothara Meyera i Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva i njihove sistematizacije elemenata postojala duga tradicija različitih pokušaja sistematizacije. Tako navodi radove J. J. Richtera, J. W. Döbereinera, L. Gmelina, M. Pettenkofera i E. Lenssena.

Lothar Meyer je 1864. godine objavio udžbenik *Die Modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statistik (Moderne teorije kemije i njihovo značenje za kemijsku statistiku)* (Meyer, 1864.) u kojem je u dvije tablice sistematizirao pedeset elemenata prema povećanju njihove atomske težine i valencije. Meyer je nastavio s usavršavanjem ovih tablica za iduća izdanja svoga udžbenika. Poznato je da se prva objava Mendeljejevljeva sustava elemenata dogodila u veljači 1869. godine i da je uslijedila objava na ruskom jeziku u časopisu Ruskog kemijskog društva. Također je poznata činjenica da je Mendeljejev prije ove objave tiskao letak sa svojom tablicom koju je distribuirao ruskim kolegama, a u literaturi se navodi i stranim kolegama. Budući da dosada nije utvrđeno točno kojim stranim kemičarima je bio upućen članak, o recepciji periodnoga sustava elemenata na temelju te publikacije teško je govoriti. No, Njemačko kemijsko društvo, koje je osnovano 1867. godine, u svom je časopisu *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* objavljivalo razne izvještaje. Tako je krajem 1869. Viktor von Richter napisao izvještaj o zanimljivom načinu sistematizacije elemenata koji predlaže Mendeljejev (Richter, 1869.). Richter je uz to dao prevesti i kratku objavu za *Zeitschrift für Chemie* (Mendelejeff, 1869.). Godine 1870. Lothar Meyer objavio je članak „Die Natur der chemischen Elemente als Funktionen ihrer Atomgewichte” („Priroda kemijskih elemenata kao funkcija njihovih atomskih vrijednosti“) (Meyer, 1871.). Na ovu publikaciju Mendeljejev je odgovorio objavom dvaju članaka: „Die periodische Gesetzmässigkeit der Elemente“ („Periodična zakonitost elemenata“) i „Zur Frage über das System der Elemente” („O pitanjima o sustavu elemenata“) (Mendelejeff, 1871.; Mendelejeff, 1871a.). U drugom je radu fokus stavljen prvenstveno na otkriće periodnoga sustava. Između Meyera i Mendeljejeva u njemačkim časopisima, poglavito u *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, može se pratiti rasprava oko prvenstva nad otkrićem periodnoga zakona. U ovu raspravu uključili su se i drugi njemački znanstvenici (Wilhelm Ostwald, Hans Landolt, Victor Meyer, Clemens Winkler) (Boeck, 2015.).

Prvi udžbenik na njemačkom jeziku koji spominje periodni sustav elemenata udžbenik je Victora von Richtera, *Kurzes Lehrbuch der Anorganischen Chemie wesentlich für Studierende auf Universitäten und Polytechnischen Schulen sowie zum Selbstunterrichte* (Kratak udžbenik

*anorganske kemije namjenjen za studente na sveučilištima i politehničkim školama kao i za samostalno učenje*) (Richter, 1875.) iz 1875. godine. Spominjanje periodnoga sustava elemenata nalazimo i u udžbeniku Augusta Michelisa (1847. – 1916.), *Ausführliches Lehrbuch der Chemie (Opsežan udžbenik kemije)* (Michelis, 1878.), a od 1881. do 1890. godine u udžbenicima koji su napisali Wilhelm Ostwald, Carl Arnold i Otto Hausknecht (Boeck, 2015.). Boeck u svom članku naglašava kako se periodni sustav elemenata spominje u 14% pregledanih udžbenika napisanih u ovome razdoblju, što je veliko odstupanje od S. Bushevih podataka u kojima on iznosi da u 45% udžbenika spominje periodni sustav. Broeck zaključuje da je to stoga što je Bush raspolagao s manjim brojem udžbenika, odnosno samo onima koji su bili dostupni u američkim knjižnicama. No, također zaključuje kako su statistički podatci u ovom slučaju nepouzdana. Spominjanje periodnoga sustava u njemačkim udžbenicima povećalo se kroz godine, tako da za razdoblje od 1901. do 1910. svaki drugi udžbenik spominje periodni sustav (Brush, 1996.).

U svom članku Broeck zaključuje kako, iako je Meyerov rad o periodnome sustavu elemenata objavljen u Njemačkoj, a Mendeljejevljeve zamisli o periodnome sustavu su brzo prevedene na njemački jezik i bile poznate njemačkoj znanstvenoj sredini, periodni sustav ipak nije bio odmah prihvaćen i uveden u nastavu.

### 2.7.3. Češka

U vrijeme objave periodnoga sustava elemenata 1870-tih godina, sveučilišna nastava kemije kao i znanstvena istraživanja u Čaškoj su se odvijala na nekoliko sveučilišta, na kojima je nastava bila podijeljena na organsku, anorgansku, analitičku, fizikalnu, medicinsku i ostale grane kemije. To je ujedno i vrijeme češkog narodnog preporoda koji se odrazio na češku kulturu te društvene, socijalne i političke događaje (npr. socijalno i političko odvajanje Češke i Njemačke u zasebne zajednice i države). U Pragu se već 1869. godine Politehničko sveučilište podijelilo na Njemačko i Češko, što je učinjeno i sa Karlovim sveučilištem (Karl-Ferdinand), koje je podijeljeno 1882./1883. godine. Godine 1866. osnovano je Društvo čeških kemičara. U Češkoj je recepcija periodnoga sustava elemenata neraskidivo vezana uz istaknutu osobu u području kemije, Bohuslava Braunera (1855. – 1935.) ističe S. Štrbáňová u svom radu „Nationalism and the Process of Reception and Appropriation of the Periodic System in Europe and the Czech Lands“ (Štrbáňová, 2015.). Brauner se zainteresirao za periodni sustav elemenata nakon 1875. godine i Boisbaudranovog otkrića galija te upoznavanja s radom *Die modernen Theorien der Chemie* (Meyer, 1864.) Lothara Meyera u 1877. godini, te nakon toga i Mendeljevljevog članka koji je 1871. godine objavljen u *Annalen der Chemie und Pharmacie* (Mendelejeff, 1871.). Odmah je, za razliku od nekih svojih čeških kolega, postao zagovornik periodnoga sustava i 1877. godine, još kao student, napisao članak u časopisu Češkog kemijskog društva u kojem je htio znanstvenu zajednicu bolje upoznati s periodnim sustavom (Brauner, 1877.). Godinu dana kasnije objavljen je i Braunerov rad o Mendeljevljevom periodnome sustavu elemenata na njemačkom jeziku u časopisu *Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft*. U tom članku raspravlja Brauner i o atomskoj težini berilija (Brauner, 1878.). Nakon usavršavanja u Heidelbergu, kod Roberta Wilhelma Bunsena (1811. – 1899.), koji nije imao pozitivan stav prema periodnome sustavu, Brauner svoje usavršavanje nastavlja kod Bunsenova učenika, Henryija Roscoea u Manchesteru. Ondje je radio na istraživanju svojstava određenih elemenata i zajedno s kolegom Johnom I. Wattsom ispravio atomsku težinu berilija na 9 i potvrdio njegovo mjesto u drugoj skupini periodnoga sustava. U svojim je predavanjima ukazivao na značaj i prihvaćanje Mendeljevljeva periodnoga sustava. Njegov najveći doprinos periodnome sustavu elemenata je istraživanje elemenata rijetkih zemalja i njihovo smještanje u odvojenu skupinu u periodnome sustavu elemenata. Ova Braunerova modifikacija periodnoga sustava bila je najšire korištena u onodobnim suvremenim tablicama. Uz to, Brauner je razvio i prijateljski odnos s Mendeljejevom osobno, o čemu nam svjedoči njihova korespondencija

kao i činjenica da je Mendeljejev zamolio Braunera da za sedmo i osmo izdanje njegova udžbenika *Osnove kemije* napiše poglavlja o elementima rijetkih zemalja. Na zasjedanju Češkog kemijskog društva 21. listopada 1916. godine Brauner je održao predavanje u kojem je govorio o razvoju periodnoga sustava. (Brauner, 1916.) U predavanju je istaknuo nova otkrića Rutherforda, Soddyja, Bohra, Richardsa, Moeslyja i ostalih koja su u temelju utjecala na periodni sustav elemenata. Posebno se Brauner u svom predavanju usredotočio na istraživanja izotopa i radioaktivnih elemenata te istaknuo kako svojstva elemenata nisu periodnična u odnosu na njihovu atomsku težinu već su svojstva periodična u ovisnosti o pozitivnom naboju jezgre. Kroz svoju karijeru nastavio je istraživanja atomskih težina i elemenata rijetkih zemalja te radio na diseminaciji i korištenju periodnoga sustava (Štrbáňová, 2015.).

Prvi udžbenik na češkom jeziku u kojem nalazimo periodni sustav elemenata, udžbenik je Vojtěcha Šafaříka, *Rukověť chemie pro vysoké učení české. Díl I. Chemie anorganická (Knjiga kemije za visoke češke škole Dio I. anorganska kemija, 1878.)* (Šafařík, 1878.). Bohuslav Rayman (1852. – 1910.), jedan od najutjecajnijih čeških kemičara tog vremena, uveo je modernu organsku kemiju u kurikulum u Češkoj, a sudjelovao je i u uvođenju fizikalne kemije. Na praškom sveučilištu izdao je prvu knjigu teorijske kemije na češkom jeziku, *Chemie theoretická (Teorijska kemija, 1884. god.)*, u koju je uveo detaljni opis i objašnjenje periodnoga sustava elemenata, a samu tablicu periodnoga sustava preuzeo je iz Mendeljejevljeva udžbenika *Osnove kemije*. Za daljnju diseminaciju periodnoga sustava elemenata među studentima zaslužan je Raymanov učenik, organski kemičar Emil Votoček (1872. – 1950.), autor udžbenika iz anorganske, organske i analitičke kemije. Recepcija periodnoga sustava elemenata u češkim srednjim školama, koje su bile dio kompleksnog sustava obrazovanja Austro-Ugarske Monarhije također se može pratiti kroz udžbenike. U svom radu Štrbáňová također ističe kako je recepcija i diseminacija periodnoga sustava u Češkoj također usko vezana uz stvaranje češke nacionalne kemijske terminologije. Recepcija periodnoga sustava elementa događa se u vrijeme kada se češka kemijska zajednica odmiče od njemačke i fokusira na slavensku, preko uglednih kemičara poput Mendeljejeva, Butlerova i Menšutkina (Štrbáňová, 2015.).

#### 2.7.4. Srbija

Odraz otkrića i razvoja periodnoga sustava elemenata u Srbiji neraskidivo je vezan uz Simu Lozanića. Sima Lozanić (1847. – 1935.) rođen je u Beogradu gdje završava studij prava. U Zürichu i Berlinu završio je studij kemije. U Zürichu je doktorirao kemiju 1870. godine te se nakon toga vraća u Beograd i radi kao profesor kemije i kemijske tehnologije na Velikoj školi od 1872. godine. Velika škola je bila najviša obrazovna institucija u Srbiji između 1863. i 1905. godine. Osnovana je zakonom od 24. rujna 1863. godine kao nasljednik Liceja, dotadašnje visoke škole u Srbiji. Osnutkom beogradskog Univerziteta 1905. godine, Lozanić postaje jedan od prvih osam profesora na Univerzitetu, kao i rektor Univerziteta. Njegovim dolaskom na Visoku školu započinje brz razvoj nastave kemije u Beogradu. Lozanić je po uzoru na europska sveučilišta organizirao modernu nastavu te opremio laboratorije i biblioteku, primjenjujuću u nastavi najnovija znanja stečena tijekom studija u inozemstvu. U nastavu je uveo novu modernu nomenklaturu, strukturne formule kao i atomske mase. Napisao je više udžbenika kemije. Njegov udžbenik iz anorganske kemije *Hemija sa gledišta moderne teorije. Prvi deo. Neorganska hemija* (Lozanić, 1880.) prvi je udžbenik objavljen u Srbiji u kojem se nalazi Mendeljejevljev periodni sustav elemenata. U sljedećim izdanjima svoga udžbenika Lozanić prati razvoj periodnoga sustava te daje svoju modifikaciju istoga. Više Lozanićevih radova također je posvećeno razvoju i značenju periodnoga sustava (Mićović, 1969.).<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Sima Lozanić je postao član Srpskog učenog društva 1873. godine, dopisni član Srpske kraljevske akademije 1888. godine, a redovni član 1890. godine. U dva navrata je bio i predsjednik Srpske kraljevske akademije (1899. – 1900. i 1903. – 1906.). Proglašen je i za prvog počasnog doktora Beogradskog univerziteta. Bavio se znanstvenim radom iz raznih područja kemije, a njegovi najznačajniji radovi bave se elektrosintezom. Objavio je preko 200 znanstvenih radova iz primijenjeneprijmenjene i eksperimentalne kemije.





## § 3. REZULTATI I RASPRAVA

### 3.1. Periodni sustav elemenata u hrvatskoj kemiji

#### 3.1.1. Nastava kemije na realnim školama u Hrvatskoj u 19. stoljeću

U 19. stoljeću položeni su trajni temelji za daljnji razvitak prirodnih znanosti u Hrvatskoj. Iako je Hrvatska bila politički razjedinjena, odvojen život njezinih dijelova rezultirao je mnogim razlikama na području školstva. Usprkos svemu tome prosvjetna politika državnog središta bila je odlučna u izgradnji školstva koje će imati zajedničko obilježje. Hrvatski preporodni pokret, poznat i kao ilirski pokret, postiže jedan od svojih vrhunaca 23. listopada 1847. godine kada se hrvatski jezik uvodi kao službeni jezik u Hrvatskoj (Horvat, 1963.).

Godine 1874. obnovljeno je Sveučilište u Zagrebu, a 1876. godine utemeljene su prirodoslovne katedre na kojima se održavala nastava kemije i to po uzoru na europska sveučilišta (Grdenić, 1993.). Kemijska istraživanja koja rezultiraju znanstvenim doprinosima počinju otvaranjem sveučilišnog kemijskog zavoda. No, prije sveučilišne nastave kemija se u Hrvatskoj predavala u običnim i realnim gimnazijama. U realnim gimnazijama kemija je bila više zastupljena u planu i programu, a sadržaj koji se isticao bio je praktičnog karaktera (Paušek-Baždar i Trinajstić, 2006.). Školski udžbenici tiskali su se u Beču, a austrijska vlada je dodatno vršila pritisak da se u hrvatskim školama poučava po njemačkim udžbenicima i na njemačkom jeziku. Ovom pritisku opirao se ban Josip Jelačić (1801. – 1859.) koji se zalagao za hrvatski jezik i sastavljanje udžbenika na hrvatskom jeziku (Paušek-Baždar, 2000.; Paušek-Baždar, 1999.). Ban Jelačić uvidio je važnost predavanja i poučavanja na vlastitom, materinskom jeziku. Na saborskoj sjednici koja se održala 27. rujna 1861. donesena je odluka da se školske knjige tiskaju u Hrvatskoj, a ne u Beču kao što je do tada bila praksa. Do 1862. godine knjige su se još tiskale u bečkoj nakladi, no od 1862. izdaju se u Zagrebu. U svibnju 1862. godine izdana je naredba koja se bavi pitanjem prevođenja i pisanja udžbenika na hrvatskom jeziku. Profesorima je ponuđena i velika novčana nagrada za pisanje takvih udžbenika. Od 1865. godine počinje izdavanje kemijskih udžbenika te stručnih i znanstvenih članaka na hrvatskom jeziku. Do kraja stoljeća tiskano je oko 60 kemijskih udžbenika iz svih grana kemije.

Razvoj hrvatske znanstvene terminologije započinje također sredinom 19. stoljeća, za vrijeme ilirskog preporoda. U drugoj polovici 18. stoljeća gotovo sve zapadnoeuropske zemlje umjesto latinskog uvode u znanost nacionalni jezik. U Hrvatskoj je politička situacija bila složena, te se latinski zadržao do polovice 19. stoljeća. Uz latinski koriste se često i talijanski i

njemački jezik. U drugoj polovici 19. stoljeća, nakon uvođenja hrvatskog jezika kao službenog jezika na kojem se predaje i na kojem se pišu udžbenici unutar hrvatske znanstvene zajednice, prisutna su nastojanja oko stvaranja jedinstvene znanstvene terminologije (Horvat, 1963.; Senčar-Čupović, 1997.; Šidak, 1981.).

Kada govorimo o razvitku nastave kemije na području Hrvatske bitno je u glavnim crtama naglasiti i osvrnuti se na povijesni razvitak. Početkom vladavine kralja Franje Josipa I, započinje u austrijskim zemljama bečka reforma školstva. Dana 16. rujna 1849. izlazi *Osnova za organizaciju austrijskih gimnazija i realki*, koja je godinu dana kasnije, 1850. godine propisana i za hrvatske škole. Odmah nakon toga dolazi u Hrvatskoj do osnivanja prvih realki i realnih, prirodoslovnih gimnazija. Program realnih gimnazija određen je tom *Osnovom*, kojom je težište obrazovanja u realnim školama stavljeno na prirodoslovne predmete. Kemija je kao samostalan nastavni predmet prvi put uvedena već 1853. godine i to na realci u Varaždinu. Prvi nastavnik kemije na toj realci bio je Ljudevit Hunka, podrijetlom Čeh. Nastava kemije u narednim godinama održavala se i na drugim realkama. Sabor Hrvatske, Slavonije i Dalmacije je 1861. godine prihvatio odluku kojom je određeno da se kemija predaje kao obavezan predmet od trećeg do šestog razreda više realke (Paušek-Baždar i Trinajstić, 2006.).

### **3.1.2. Stanje u hrvatskoj kemiji u vrijeme otkrića periodnoga sustava elemenata i obnova zagrebačkog Sveučilišta 1874. godine**

Nastava kemije u Hrvatskoj uvedena je prvo u kurikulum realnih gimnazija. Josip Torbar (1824. – 1900.) bio je prvi nastavnik kemije u zagrebačkoj realci od 1856. godine. U istoj školi od 1859. godine kemiju predaje Pavao Žulić (1831. – 1922.), autor prvog udžbenika kemije na hrvatskom jeziku *Obća kemija za male realke* koji je objavljen 1866. godine. (Žulić, 1866.).

Od 1869. godine pa do 1901. godine u kojoj je Mendeljejev objavio zakon periodičnosti i prvu tablicu periodnoga sustava elemenata i u Hrvatskoj su objavljeni udžbenici kemije za realne škole koji ne sadrže periodni sustav elemenata (tablica 2).

Tablica 2: Udžbenici kemije na hrvatskom jeziku bez periodnog sustava do 1901. godine

<b>Autor</b>	<b>godina izdanja</b>	<b>Naslov</b>	<b>mjesto izdanja</b>
Žulić Pavao	1877.	<i>Uputa u kemiju za velike realke, dio I – anorganička kemija</i>	Zagreb
Žulić Pavao	1878.	<i>Kemija</i> (prijevod udžbenika Henryja Roscoea)	Zagreb
Fleischer Gustav	1882.	<i>Naputak za metodično naučenje anorganske lučbe, Prvi dio</i> (prijevod udžbenika F. Willbrandta s njemačkog)	Bjelovar
Janeček Gustav	1883.	<i>Rukovodnik za praktičke vježbe u kvalitativnoj kemijskoj analizi neorganskih tjelesa</i>	Zagreb
Potočnjak Ivan i Pexidr Gustav	1884.	<i>Fizika i kemija za ratarnice i druge niže škole</i>	Zagreb
Radić Frano	1886.	<i>Fizika i kemija: za više pučke i nalike im učione</i> (prijevod udžbenika Eugena Netoliczke)	Zagreb
Pexidr Gustav	1887.	<i>Kemija za niže razrede srednjih učilišta</i> (prijevod udžbenika Antuna Kauera s njemačkog jezika)	Zagreb
Gasperini Riccardo	1896.	<i>Analitička kemija</i>	Split
Korlević Antun i Beyer Josip	1897.	<i>Počela kemije i mineralogije: za niže razrede srednjih učilišta, ženske liceje i više djevojačke škole te više pučke škole realnoga smjera</i>	Zagreb
Janeček Gustav	1890.	<i>Obća teoretička i fizikalna lučba, I. knjiga: Tvar i atomistički nazor o njezinu sastavu, I. polovica</i>	Zagreb

Jedan od razloga zbog kojega periodni sustav nije prisutan u navedenim udžbenicima jest taj što neki udžbenici nisu originalno djelo autora već samo hrvatski prijevodi stranih udžbenika koji su pisani i tiskani prije uvođenja periodnog sustava elemenata u te udžbenike kao metodičkog pomagala.

Drugi razlog možemo tražiti u činjenici da *naučna osnova*, koja propisuje plan i program kemije u realnim gimnazijama ne spominje periodni sustav, pa ga autori nisu uvrštavali u iste. No, ostaje činjenica kako je od Mendeljejevljeve objave periodnoga sustava 1869. godine, do njegove prve fizičke pojave u hrvatskim kemijskim udžbenicima, 1901. godine, prošlo više od trideset godina.

Tek obnovom Sveučilišta u Zagrebu (1874.) te utemeljenjem prirodoslovnih zavoda (1876.) započinje vrlo važno i intenzivno razdoblje na uspostavljanju, promicanju i razvoju

znanstvene kemije u Hrvatskoj. Za potrebe provođenja sveučilišne nastave u Hrvatskoj nije postojao adekvatan nastavni kadar. Stoga su kandidati za izvođenje nastave birani iz drugih srednjoeuropskih sveučilišnih središta te su oni dolaskom u Zagreb prenosili suvremene znanstvene spoznaje na Sveučilište u Zagrebu. Time su bili stvoreni uvjeti za početak visokoškolske nastave i znanstveni rad u Hrvatskoj na području kemije krajem 19. stoljeća.

Kandidati su se javljali na objavljeni natječaj te se uvidom u životopise, objavljene radove i znanje jezika, kao i preporuke istaknutih sveučilišnih profesora biralo najboljeg kandidata. U to doba Hrvatska je postojala u okviru Austro-Ugarske Monarhije. Političke i kulturne prilike Monarhije utjecale su na razvoj pojedinih zemalja članica, pa tako i na razvoj školstva i sveučilišta u njima. Nažalost, u dostupnoj literaturi nema podataka o usporedbi razvoja sveučilišnih studija u zemljama ondašnje Monarhije, no određeni detalji su ipak poznate povijesne činjenice. Tako je najstarije sveučilište u Habsburškoj monarhiji bilo Karlovo sveučilište u Pragu, koje je osnovano 1348. godine. Slijede ga sveučilišta u Krakovu (1364.) te ono u Beču (1365.). Sveučilište u Grazu osnovano je 1568. godine (potpuno sveučilište od 1863.), u Cluju (Rumunjska, osnovano 1581., a potpuno sveučilište od 1872.), u Lavovu (1661.), u Innsbrucku (1677.) i Zagrebu (osnovano 1669., ali potpune privilegije koristi od 1874.) Budimpeštansko sveučilište osnovano je 1635. godine u Trnavi, te je preseljeno u Budim (1777.) i u Peštu (1784.) (Grdenić, 1977.).

Prvi profesor kemije i osnivač prvog skromnog sveučilišnog kemijskog laboratorija u Zagrebu bio je Aleksandar Veljkov (1847. – 1878.). On je u Zagrebu djelovao vrlo kratko, a privremeno ga je naslijedio Bohuslav Jiruš (1841. – 1901.), a zatim Gustav Janeček (1848. – 1929.) koji je kao profesor i predstojnik kemijskog zavoda djelovao gotovo pola stoljeća te odgojio brojne generacije hrvatskih kemičara.

Osim zapošljavanja adekvatnog nastavnog kadra bilo je potrebno osigurati i udžbenike te skripta prema kojima će se nastava odvijati na hrvatskom jeziku. Također je bilo nužno osigurati i prostor u kojem će se nastava izvoditi. Prvi izabrani profesor kemije, Aleksandar Veljkov zajedno je s mjernikom Jakominijem izradio nacрте za gradnju i uređenje zgrade kemijskog zavoda na zemljištu na Strossmayerovom trgu godine 1876. Do te gradnje tada nažalost nije došlo, iako je Kemijski zavod izgrađen na tom mjestu osam godina kasnije brigom i vodstvom Gustava Janečka. Veljkov je prvi kemijski zavod osposobio i uredio u zgradi u Novoj Vesi 1, u Zagrebu. Prema literaturnim navodima taj se Zavod sastojao od sedam radnih prostorija i nusprostorija. Za rad laboratorija nabavljena je razna oprema,

sprave, kemikalije, laboratorijsko posuđe kako bi se mogla izvoditi eksperimentalna nastava kemije (Senčar-Čupović, 1984.).

Značajna Veljkovljeva istraživanja vezana su uz određivanje atomske težine berilija. Objavio je šest znanstvenih radova u uglednom njemačkom časopisu *Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin*, a jedan njegov rad objavila je Akademija u Budimpešti. Rezultati znanstveno-istraživačkog rada Veljkova, vezani uz berilij i njegove spojeve te određivanje njihovih kemijskih i fizičkih svojstava kao i atomske težine, objavljeni su 1873. i 1874. godine (Welkow, 1873.; 1874.; 1874a.; 1874b.). Veljkov u svojim radovima ističe i određuje atomsku težinu berilija, te koristi vrijednost 9,4. Rezultate svojih istraživanja objavljuje samo dvije godine nakon Mendeljejevljeva uvrštavanja berilija u drugu skupinu periodnoga sustava promjenom njegove atomske težine. Tako je Veljkov računao s gotovo točnom težinom berilija od 1873. godine. Poznato je kako je Bohoslav Brauner tek 1881. sakupio i objavio podatke kojima se potvrđuje kako je berilij element druge skupine s ovom atomskom težinom. Iako su radovi Aleksandra Veljkova bili objavljeni u Njemačkoj i to u jednom od najuglednijih časopisa onoga vremena, te predstavljaju rezultat koji je jedna od najranijih potvrda Mendeljejevljeva smještanja berilija u drugu skupinu periodnog sustava, ti radovi nisu naišli na odgovarajuću pažnju njegovih kolega niti su bili zamijećeni. Kada je Veljkov biran za prvog profesora kemije na novoobnovljenom Sveučilištu u Zagrebu, profesor Gjuro Pilar, koji je sastavio i popis radova Mendeljejeva prilikom njegova izbora za počasnog člana Akademije, kao član povjerenstva, posebno ističe vrijednost znanstvenih i eksperimentalnih istraživanja Aleksandra Veljkova. Može se zaključiti da je hrvatska znanstvena zajednica već u ono vrijeme bila vrlo dobro upoznata s Mendeljejevljevim periodnim sustavom elemenata.

Nasljednik Veljkova, Gustav Janeček, utemeljitelj je sveučilišne kemijske nastave u Hrvatskoj. Gustav Janeček je inicirao i sudjelovao u izgradnji prve zgrade za potrebe kemije u ovom dijelu Europe, koja je dovršena 1884. godine, a nalazi se na današnjem Strossmayerovom trgu 14, u Zagrebu. Godine 1919. u suradnji s Julijem Domcem (1853. – 1928.) zaslužan je za izgradnju druge zgrade kemijskog zavoda na Marulićevu trgu. Janečekovi priručnici i udžbenici koje je napisao u svrhu izvođenja sveučilišne, osobito eksperimentalne nastave kemije u Hrvatskoj, predstavljaju prve sveučilišne udžbenike i priručnike kemije na hrvatskom jeziku (Senčar-Čupović, 1989.; Senčar-Čupović, 1990.; Inić i Kujundžić, 2012.; Trinajstić, Paušek-Badždar, 2014.).

### 3.2. Izbor Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva za počasnog člana Akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu 1882. godine

Biskup Josip Juraj Strossmayer (1815. – 1905.) započeo je 1860. godine prikupljati sredstva za osnivanje Akademije. Novoizabrani hrvatski sabor na sjednici održanoj 15. travnja 1861. jednoglasno je prihvatio prijedlog za osnivanje *Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnostih* (JAZU, danas *Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti*, HAZU). Tada je biskup Strossmayer održao govor u Hrvatskom saboru u kojem je naglasio i važnost osnivanja Sveučilišta u Zagrebu. Sabor je na sjednici održanoj 29. travnja 1861. zaključio kako se novoosnovana Akademija stavlja pod zaštitu Sabora. Prihvaćena su i Pravila, koja je sastavio Vinko Pacel, te zakonski okvir unutar kojega će Akademija djelovati. Sabor je Akademiji odredio i stalnu godišnju potporu i dodijelio zgradu Narodnog doma (bivši Ilirski dom u Opatičkoj ulici 18), te prostorije Narodnog muzeja i knjižnice (Demetrova ulica 1). Ovaj prijedlog nije bio odmah prihvaćen u Saboru. Ipak, pet godina kasnije, točnije 21. veljače 1866., Sabor je na svojoj sjednici prihvatio prerađena pravila s jasnom formulacijom o zadaćama i svrsi Akademije: *Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti jest zavod zemaljski i ima sjedište u Zagrebu. Njezina svrha jest samostalna istraživanja na polju znanosti i umjetnosti, svestrano unapređenje istih, a osobito jezika i književnosti* (Ljetopis, 1877.).

Nakon toga uslijedio je i izbor prvih članova Akademije, koje je potvrdio sam kralj: Janez Bleiweiss (1808. – 1881.), veterinar i političar, Mirko Bogović (1816. – 1893.), književnik i političar, jezikoslovac Vatroslav Jagić (1838. – 1923.), Ivan Kukuljević Sakcinski (1816. – 1889.), povjesničar, književnik i političar, Šime Ljubić (1822. – 1896.), arheolog i povjesničar, Antun Mažuranić (1805. – 1888.), književnik i jezikoslovac, pravnik Pavao Muhić (1812. – 1897.), Franjo Rački (1828. – 1894.), svećenik, povjesničar i političar, Jovan Subotić (1817. – 1886.), književnik i političar, Josip Scholsser Klekovski (1808. – 1882.), lječnik i prirodoslovac, Bogoslav Šulek (1816. – 1895.), publicist i leksikograf, Josip Torbar (1824. – 1900.), prirodoslovac, Adolfo Veber Tkalčević (1825. – 1889.), svećenik, književnik i filolog te Živko Vukasović (1829. – 1874.), zoolog. Ivan Kukuljević Sakcinski i Antun Mažuranić nisu prihvatili izbor. Dvojica od prvih članova, Torbar i Vukasović, bili su prirodoslovci. Kasnije, iste godine izabran je za člana još jedan prirodoslovac, Ljudevit Farkaš Vukotinović (1813. – 1893.) koji se istaknuo i svojim književnim i političkim radom (Novak, 1966.; Spomenica, 1991.; Spomenica, 2011.). Na svojoj prvoj sjednici 26. svibnja 1866. godine, za predsjednika je izabran Franjo Rački, a biskup Strossmayer je izabran za

pokrovitelja novoosnovane Akademije. O ideji da će novoosnovana Akademija biti zajednička Akademija svih naroda na slavenskom jugu svjedoči i njezin latinski naziv *Academia scientiarum et artium Slavorum meridionalium*. Ova se ideja međutim nije ostvarila te se zasebne Akademije osnivaju i u ostalim slavenskim zemljama kao na primjer u Bugarskoj (1869.) i Srbiji (1887.), a zatim i u ostalim zemljama. Za vrijeme Nezavisne Države Hrvatske (1941. – 1945.) Akademija je djelovala kao Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, a nakon Drugog svjetskog rata ponovo vraća prijašnji naziv.

Prema prvim pravilima Akademije bilo je predviđeno postojanje četiri razreda, no do 1919. godine djelovala su samo tri: historičko-filologički razred, filofičko-juridički razred i matematičko-prirodoslovni razred. Prvi kemičar izabran za redovitog člana Akademije godine 1887. bio je upravo Gustav Janeček. Janeček je ujedno i jedini kemičar koji je bio predsjednik Akademije (1921. – 1924.). Krajem 1892. godine u matematičko-prirodoslovnom razredu prvi su članovi bili: Bogoslav Šulek (1866.), Josip Torbar (1866.), Ljudevit Farkaš Vukotinović (1866.), Spiridion Brusina (1874.), Gjuro Pilar (1875.), Karel Zahradnik (1879.), Vinko Dvořak (1883.) i Gustav Janeček (1887.).

Razdoblje u radu Akademije koje se istražuje u okviru ovog rada može se nazvati razdobljem Strossmayera i Račkog. To je ujedno i vrijeme u kojem se Akademija postupno razvijala u uglednu znanstvenu instituciju te razvijala suradnju sa stranim uglednim pojedincima kao i s raznim ustanovama. Rački je ostao predsjednik Akademije do 1887. godine. Nakon toga na mjesto predsjednika izabran je Pavao Muhić (1812. – 1897.) koji na toj funkciji ostaje do 1890. godine kada je na to mjesto izabran Josip Torbar koji istu dužnost obnaša do 1900. godine. Prvih 25 godina djelovanja Akademija posvećuje znanstvenim istraživanjima kao i sabiranju te objavljivanju znanstvene građe. Težište izdavačke djelatnosti bilo je na jeziku i povijesti. No, također se započelo s objavljivanjem *Rada Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti* koji se objavljuje od 1867. godine. Do 1882. godine *Rad* se izdavao kao zajedničko glasilo svih razreda, no tada se prvi puta dijeli u dva podniza: *Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti. Razredi filologičko-juridički* i *Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti. Matematičko-prirodoslovni razred*. Do danas je tiskano više od 500 svezaka *Rada* te on predstavlja Akademijinu najopsežniju ediciju.

*Rad* je također iznimno važan za razvoj prirodoslovlja i prirodnih znanosti u Hrvatskoj. Upravo u njemu nalazimo znanstvene rasprave, koje su ranije bile tiskane u izvještajima škola, a kasnije i znanstvene radove. Ž. Dadić u svojoj knjizi *Egzaktne znanosti u Hrvata u*



*doba kulturnog i znanstvenog perioda (1835 – 1900)* zaključuje kako rasprave iz egzaktnih znanosti u *Radu* možemo okvirno podijeliti u četiri osnovne skupine: one referativnog karaktera, kakve su najčešće bile rasprave tiskane u školskim izvještajima, stručne radove, teorijske rasprave, te znanstvene radove napisane na temelju eksperimentalnog rada (Dadić, 2010.).

Kemijski radovi u *Radu* objavljuju se od samih početaka njegova izlaženja. Prvi kemijski članak objavio je Ljudevit Farkaš Vukotinić *O kamenom uglju i ugljičnoj kiselini* 1868. godine (Vukotinić, 1868.). Godine 1869. u *Radu* je objavljena prva fizikalna rasprava koju je napisao Josip Torbar o fizikalnim shvaćanjima strukture tvari te usporedbi Boškovićeve teorije naspram tadašnjoj atomistici (Torbar, 1869.). Prve kemijske članke vezane uz rezultate vlastitih istraživanja u *Radu* objavio je Dragutin Čeh (1842. – 1895.) 1878. godine (Trinajstić, Paušek-Baždar, Flegar, 2011.). Nakon radova Dragutina Čeha velik broj članaka iz kemije napisan je od strane Gustava Janečka i njegovih 17 doktoranada, koji su ujedno i prvi doktorandi kemije na novoobnovljenom Sveučilištu u Zagrebu, a koji su gotovo redovito rezultate svojih istraživanja objavljivali u *Radu* (Paušek-Baždar, 2002.).

Danas se glavna zgrada Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti nalazi u zgradi na Trgu Nikole Šubića Zrinskog 11, u centru Zagreba, u prvotnoj zgradi kojoj je gradnja započela u kolovozu 1877. i dovršena u ljeto 1880. godine. U zgradi se nalazi Galerija Josipa Jurja Strossmayera, a iza Akademijine palače nalazi se i spomenik njezinu osnivaču, biskupu Strossmayeru (slika 18.).



**Slika 18.** Zgrada Akademije na Zrinskom trgu 11 u Zagrebu, krajem 19. stoljeća i danas (izvor: <http://www.cro-eu.com/forum/index.php?action=printpage;topic=596.0>, pristupljeno 20. rujna 2018.)

Kronološki gledano, prvo priznanje hrvatske znanstvene zajednice Mendeljejev dobiva od tadašnje Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti 5. prosinca 1882. godine. Naime, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti u Zagrebu, glavnom gradu Trojedne Kraljevine Hrvatske, Slavonije i Dalmacije, unutar Austro-Ugarske Monarhije, izabrala je na svojoj glavnoj skupštini Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva za svoga počasnog člana. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti u Zagrebu bila je prva znanstvena ustanova u Europi koja je Mendeljejeva izabrala za počasnog člana. Naime, Ruska carska akademija Mendeljejeva je izabrala za dopisnog člana 1876. godine, no u narednim godinama Mendeljejev nije izabran za redovitog člana. Kraljevsko društvo u Londonu primilo je Mendeljejeva kao svog člana 1890. godine. No, detalji i činjenice kako je i na koji način Mendeljejev biran za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti različito se i nepotpuno navode u literaturi. (Iveković, 1969.; Iveković, 1969a.; Barić, 1981.; Raos, 2011.; Raos, 2012.).

Matematičko-prirodoslovni razred Akademije, čiji su članovi bili uvaženi prirodoslovci koji su svojim radom započeli i doprinijeli razvoju znanosti u Hrvatskoj, na svojoj sjednici 17. lipnja 1882. na prijedlog Gjuro Pilara<sup>5</sup> prihvaća prijedlog Mendeljejeva za počasnog člana.

Ostali članovi Matematičko-prirodoslovnog razreda bili su Bogoslav Šulek<sup>6</sup>, Josip Torbar<sup>7</sup>, Ljudevit Farkaš Vukotinović<sup>8</sup>, Spiridion Brusina<sup>9</sup> i Karel Zahradnik<sup>10</sup>.

---

<sup>5</sup> Gjuro Pilar (1846. – .–1893.), hrvatski geolog i paleontolog. Studirao je na Fakultetu prirodnih znanosti u Bruxellesu, gdje je i doktorirao 1868., a naslov docenta stekao godinu poslije. GodineGod. 1875. postao je redoviti profesor na Sveučilištu u Zagrebu, redoviti član JAZU te ravnatelj Mineraloško-geološkog odjela Naravoslovnoga muzeja u Zagrebu. Dvapat je bio dekan Mudroslovnoga fakulteta u Zagrebu (1879. – .–1880. i 1890. – .–1891.), a rektor Sveučilišta u Zagrebu 1884./1885.

<sup>6</sup> Jezikoslovac Bogoslav (Bohuslav) Šulek (1816. – .–1895.) utemeljitelj je hrvatskoga znanstvenog nazivlja, svojim rječnikom u dva dijela iz 1875. i 1876. godine.

<sup>7</sup> Josip Torbar (1824. – .–1900.), hrvatski prirodoslovac, pedagog i političar. U svoje je vrijeme bio među prvim i rijetkim popularizatorima prirodnih znanosti. Bavio se raznim disciplinama: biologijom, geologijom, meteorologijom i poviješću znanosti.

<sup>8</sup> Ljudevit Farkaš Vukotinović (1813. – .–1893.), hrvatski književnik, političar, državni činovnik, znanstvenik i gospodarstvenik. Istaknuti istraživač na području prirodoslovlja. Pisao je o geološkim odnosima u hrvatskim krajevima te je autor prve hrvatske geološke karte.

<sup>9</sup> Spiridon Brusina (1845. – .–1908.), hrvatski zoolog, suosnivač Hrvatskog prirodoslovnog društva (1885.) i pokretač njegova znanstvenog časopisa *Glasnik* (danas *Priroda*). Njegovim dolaskom u Zoološki muzej započinje razvitak Zoološkog muzeja kao moderne prirodoznanstvene ustanove. Utemeljio je i uredio mnoge muzejske zbirke, osobito malakološku i ornitološku, stvorio vrijednu knjižnicu, čime je zagrebački Zoološki

Gjuro Pilar je za ovu priliku pripremio detaljan popis znanstvenih radova D. I. Mendeljejeva (slika 19., 19a. i 19b.) koji je dopunio ovim riječima:

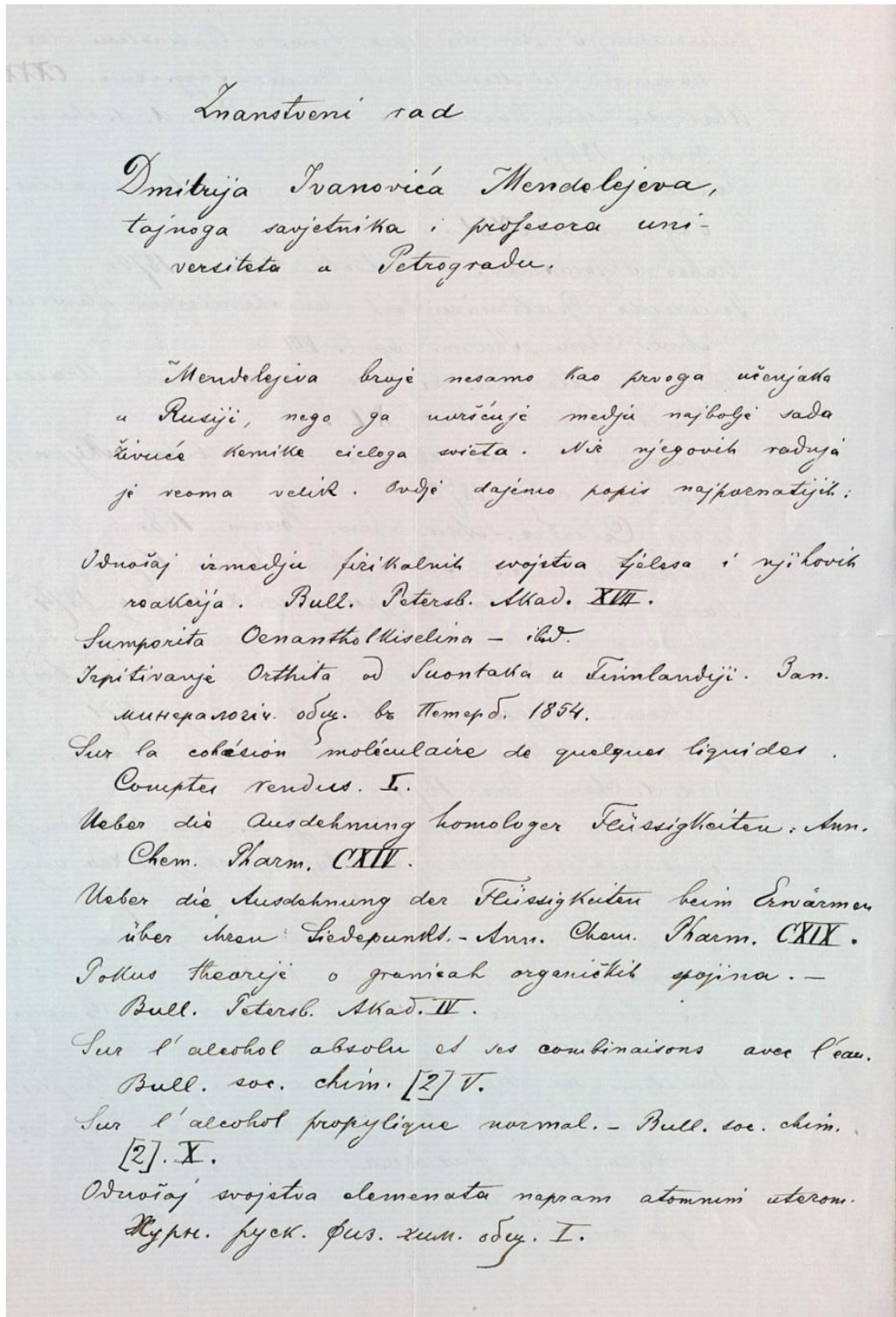
*Mendelejeva broje ne samo kao prvog učenjaka u Rusiji, nego ga uvršćuju i među najbolje sada živuće kemike celog svijeta...*

*...Ove mnogobrojne svestranosti Mendelejeva pokazujuće radnje, od kojih bila bi jedna jedina, naime: periodički zakon elemenata (lex Mendelejev) dovoljna da ga trajno kao učenjaka i mislioca prvoga reda proslavi. Iskazujući Mendelejevu čast da ga za svog počasnog člana bira i sama je tim svojim članom počašćena (Arhiv HAZU, 1882.).*

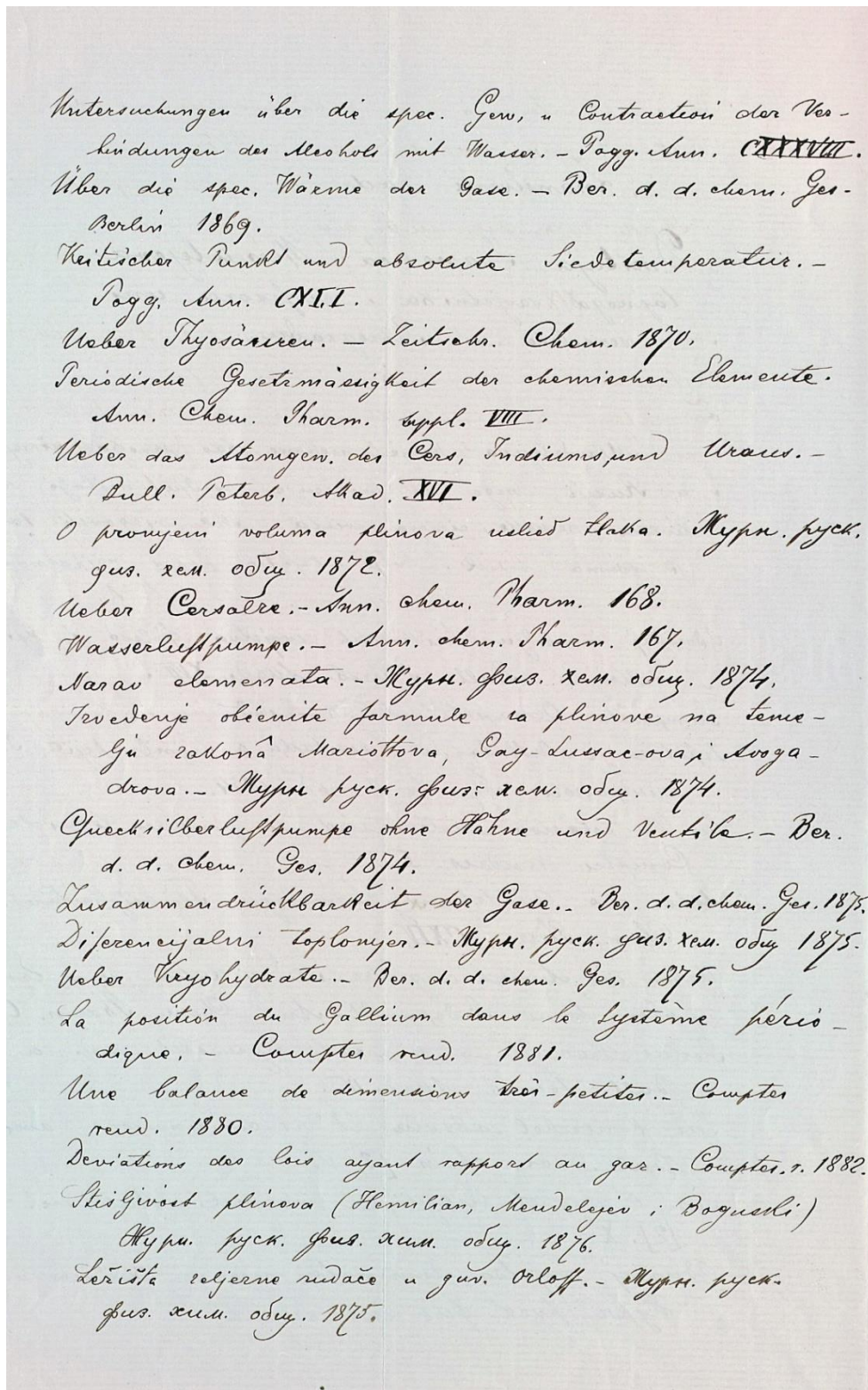
---

muzej već potkraj stoljeća postao jedan od najuglednijih u tom dijelu Europe. Ubraja se među rijetke stručnjake koji su već početkom druge polovice 19. stoljeća nazirali da u morskim dubinama ima života te isticali potrebu njegova proučavanja.

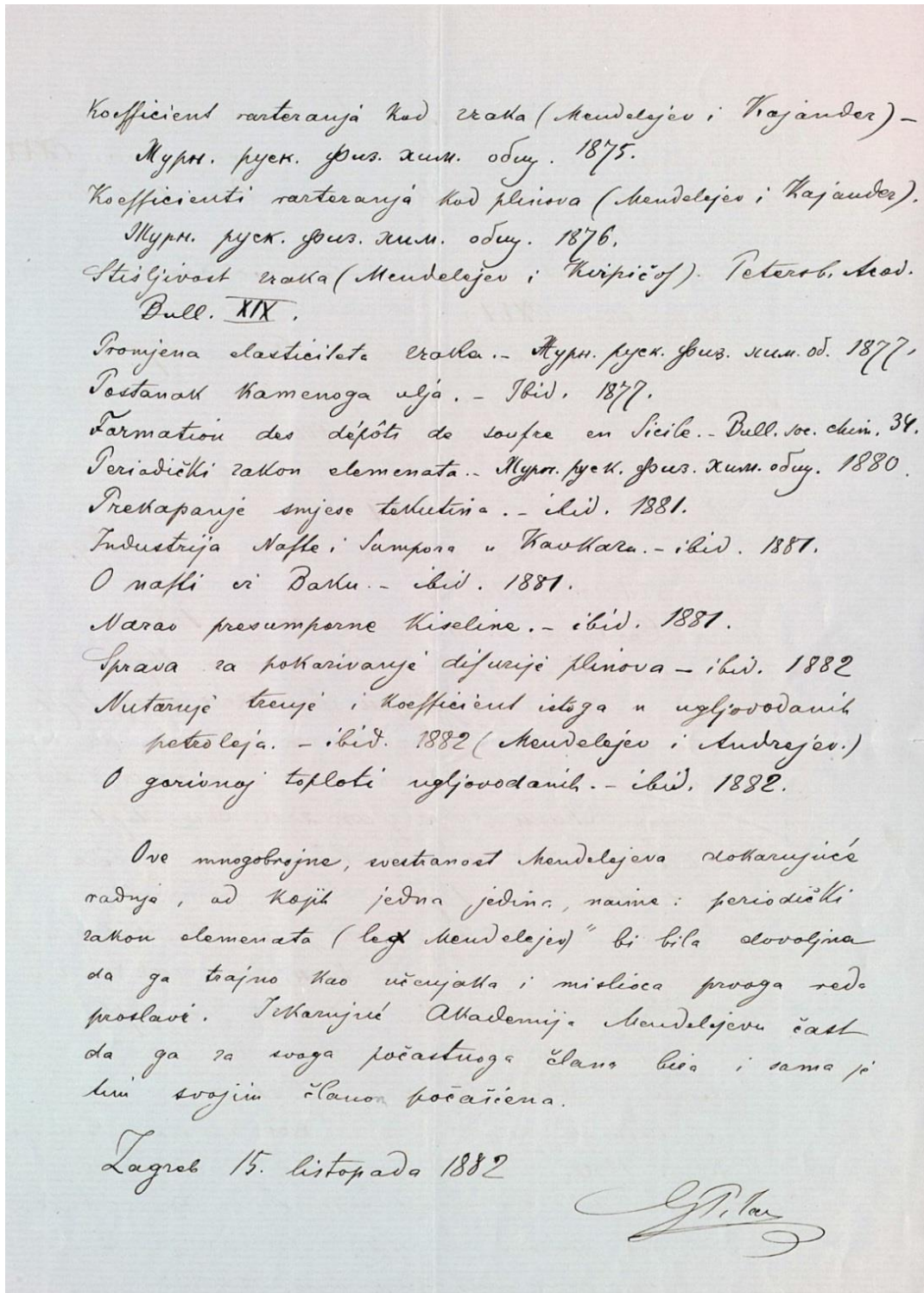
<sup>10</sup> Karel Zahradnik (1848. – 1916.), hrvatski matematičar češkoga podrijetla. Matematiku i fiziku studirao je u Pragu, gdje je nakon studija predavao na Visokoj tehničkoj školi. Prvi redoviti profesor matematike na Zagrebačkom sveučilištu (1876. – 1899.), od 1882. redoviti član JAZU (danas HAZU). Godine 1899. vratio se u tadašnju Moravsku (Brno). Svojim nastavnim radom na Zagrebačkom sveučilištu pridonio razvoju matematike u Hrvatskoj. Bavio se različitim područjima matematike, a osobito geometrijom ravninskih algebarskih krivulja. Objavio je stotinjak znanstvenih radova i metodičkih prikaza, te nekoliko udžbenika.



**Slika 19.** Popis znanstvenih radova i dostignuća Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva, tadašnjeg profesora kemije na sveučilištu u St. Peterburgu, koji je Gjuro Pilar pripremio kada je predložio Mendeljejeva za počasnog člana Akademije na sjednici Matematičko-prirodoslovnog razreda, održanoj 15. listopada 1882. (Arhiv HAZU, 1882.)



Slika 19. nastavak



Slika 19. nastavak

U popisu radova nalaze se 43 Mendeljejevljeva članka koji datiraju od 1854. do 1882. godine. Ovdje se ističu samo oni Mendeljejevljevi članci koji se odnose na periodni sustav elemenata, a koje Pilar navodi u svom popisu. Prvi članak kojeg Pilar navodi jest prvi Mendeljejevljev objavljen članak o periodnome sustavu elemenata „Sootnošenje svojstava s atomnim vesom elementov“<sup>11</sup> (Mendeleev, 1869.; Jensen, 2005.). Sljedeći članak vezan uz ovu temu jest članak „Die Periodische Gesetzmässigkeit der chemischen elementen“ objavljen u studenom 1871. godine u *Annalen der Chemie und Pharmacie* (Mendelejeff, 1871.). Recepciju periodnoga sustava elemenata te utjecaj njegova otkrića pratimo u europskoj i svjetskoj kemijskoj zajednici upravo nakon objave Mendeljejevljevog opsežnog članka u *Annalen der Chemie und Pharmacie* 1871. godine. Iza ovog rada navodi Pilar još tri Mendeljejevljeva članka „Narav elemenata“, „La position du Gallium dans le système périodique“ i „Periodički zakon elemenata“ (Mendeleev, 1874.; 1880.; 1881.).

Članak u *Annalen der Chemie und Pharmacie* zapravo predstavlja najopsežniji Mendeljejevljev rad o periodnome sustavu elemenata koji je on napisao po završetku pisanja svog udžbenika *Osnova kemije*. Ujedno, to je i rad preko kojeg najčešće pratimo odjek i utjecaj Mendeljejevljevog otkrića periodnoga zakona u europskim zemljama. Naime, raniji radovi u kojima je Mendeljejev objavio svoja otkrića prije ovog članka bili su dosta nepoznati izvan Rusije i nespretno prevedeni i objavljeni na njemačkom jeziku.

Zapisnik o prijedlogu izbora Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva potpisali su tadašnji predsjednik Matematičko-prirodoslovnog razreda Josip Torbar i Spiridion Brusina kao zapisničar. Mendeljejev je za počasnog člana JAZU formalno izabran na glavnoj skupštini 5. prosinca 1882. pod predsjedanjem prvog predsjednika JAZU, Franje Račkog. Nakon potvrde ovog izbora od strane bana Kraljevine Hrvatske, Slavonije i Dalmacije, Ladislava Pejačevića, JAZU je obavijestila Mendeljejeva pismom 20. ožujka 1883. ovim riječima:

*Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti izabrala Vas je na svojoj Glavnoj godišnjoj skupštini, održanoj 5. prosinca 1882. za svog počasnog člana usljed šta Vam u prilogu šalje diplomu, a da poznate svoja prava i dužnosti, priložena su i njezina pravila.*

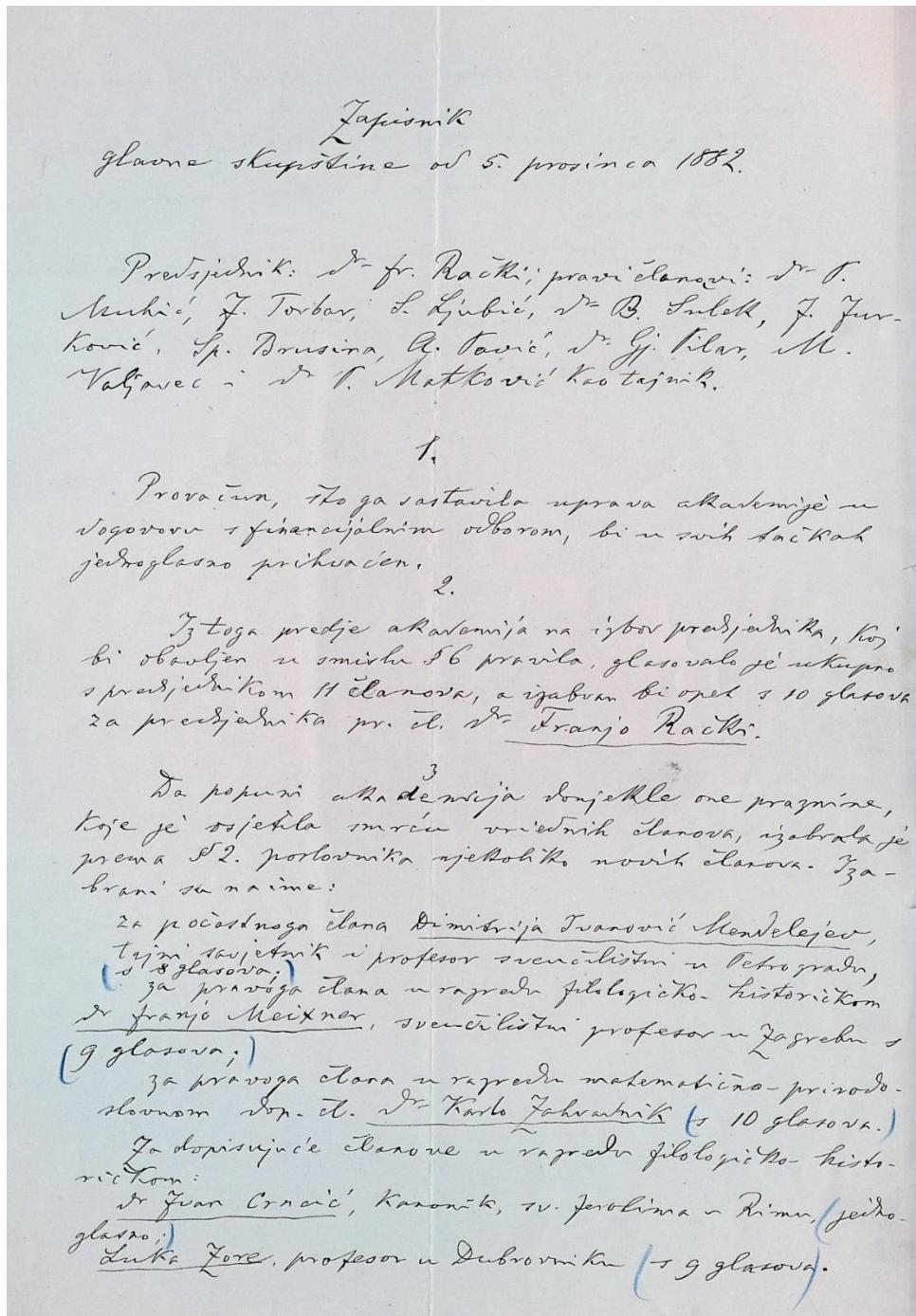
*Uvažavajući Vaše velike zasluge za znanost*

*Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti* (Iveković, 1969.).

---

<sup>11</sup> Radi se upravo o prvom objavljenom radu nakon što je Mendeljejev tiskao svoju tablicu elemenata kao letak koji je distribuirao ruskim i europskim kemičarima.

Na istoj glavnoj skupštini (5. prosinca 1882.) na kojoj je Mendeljejev izabran za počasnog, izabran je i Gustav Janeček za dopisnog člana. Upravo se Gustav Janeček kroz svoj rad i djelo i dalje zalagao za prenošenje Mendeljejevljevih ideja periodnog sustava elemenata (slika 20., i 21.).



Slika 20. Zapisnik glavne skupštine Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti na kojoj je Dmitrij Ivanovič Mendeljejev izabran za počasnog člana, a Gustav Janeček za dopisnog člana (Arhiv HAZU, 1882.)



Za dopisujućega člana u razredu filozofičko-pravos-  
lovnom:  
Luka Zima, profesor u Varazdinu, (jednoglasno).

Za dopisujuće članove u razredu matematično-  
prirodoslovnom:  
Stjepan Sulcer Nijemburški, mikolog u Vinkovcima  
(s 8 glasova).  
Dr. Gustav Jančić, sveučilišni profesor u Zagrebu  
(s 10 glasova).

J. K. Pačić

Slika 20. nastavak



Slika 21. Priznanje Dmitriju Ivanoviču Mendeljejevu i izbor za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti 1882. godine (Mićović, 1969.)

Na pismo i priznanje Akademija i njezini članovi dobili su odgovor Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva u obliku pisma koje se danas čuva u Arhivu HAZU. Mendeljejev je osobno odgovorio već 29. ožujka (10. travnja) 1883. (slika 22.):

*Cijenjena gospodo, mnogo poštovani članovi Jugoslavenske Akademije u Zagrebu*

*Izvolili ste me izabrati u svoju sredinu znanja i umijeća. Nisu velike moje zasluge i meni ostaje da upotrijebim sva svoja nastojanja za to da bar daljnjim radovima opravdam Vaš bratski poziv da bih surađivao na Vašem cilju – znanjem i razumom boriti se za slavenstvo i preko njega za cijelo čovječanstvo. Primite pak od mene iskrene želje za svaki Vaš uspjeh, bratski moj pozdrav i moja Vam duboka zahvalnost.*

*profesor Mendeljejev*

*S. Peterburg 29. marta/10 aprila 1883. (Arhiv HAZU, 1883.; Iveković, 1969.).*

Милостивѣе Государе,  
многочувствение членѣ  
Новославянской Академии,  
въ Загребѣ.

Вамъ угодно было избрать мене  
въ свою среду - членомъ и членомъ. Не  
велики мои заслуги и мною остается  
употребить все свое стараніе на то,  
чтобы оправдать Вашъ братскій  
прислѣвъ, дабы заслужить ваше доверіе,  
дабы удовлетворять чести Вашей -  
Знаменію, и разумнѣею боронясь  
для славы и чести, а чрезъ него и для  
всего членства. Примите же отъ  
мене искреннае пожеланіе видѣти Васъ  
членомъ, собратскій мой правнѣ и  
мало забуду Вашъ благодарности.

Профессоръ Менделѣевъ.

С. Петербургъ  
29 Октября 1882.  
10 Января

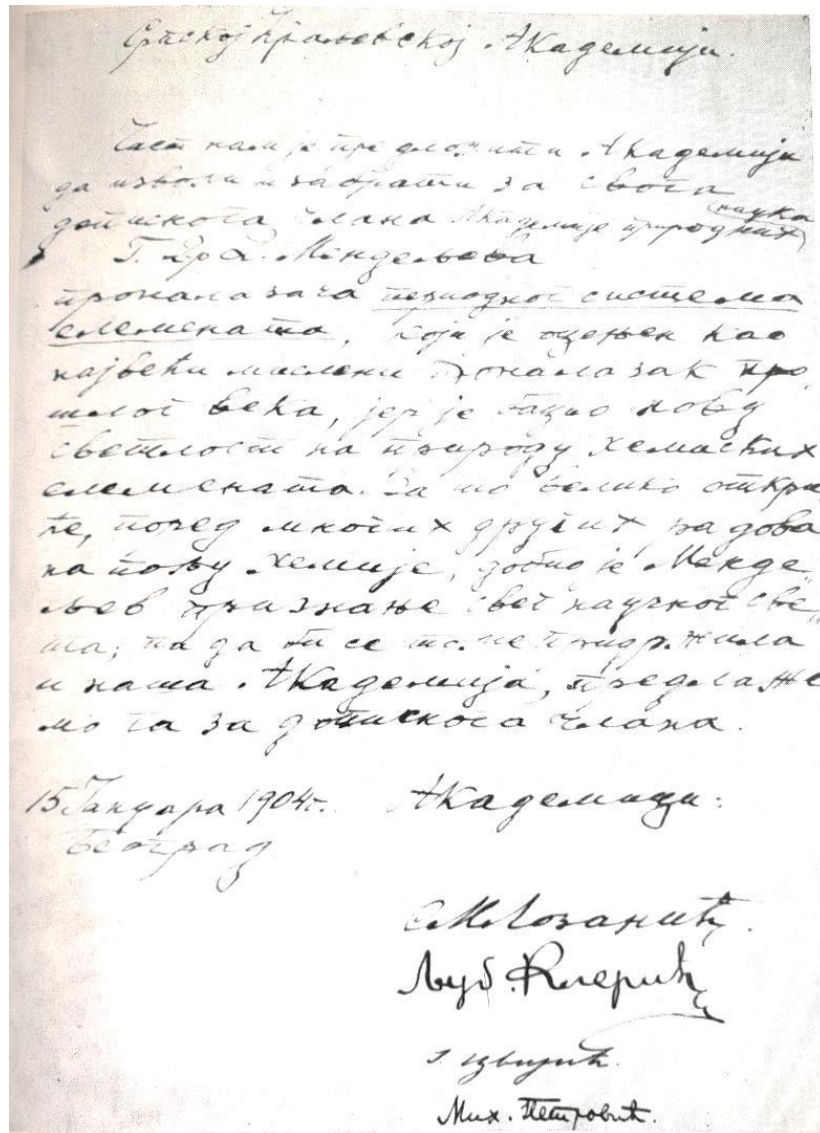
**Slika 22.** Pismo zahvale Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva 29. ožujka (10. travnja) 1883. Jugoslavenskoj akademiji znanosti i umjetnosti što ga je imenovala počasnim članom. Pismo se čuva u Arhivu Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu, registratura Akademije, 1883.

U vrijeme Mendeljejevljeva izbora za počasnog člana niti jedan prirodoslovac u Matematičko-prirodoslovnom razredu nije bio kemičar. Ipak, Gjuro Pilar ističe kako bi samo *Lex Mendeljejev*, to jest periodni zakon elemenata bio dovoljan razlog da ga se izabere za počasnog člana. Upravo ova činjenica govori o odjeku i utjecaju ovog Mendeljejevljeva otkrića na cjelokupnu prirodoslovnu zajednicu u Hrvatskoj koja je očito bila vrlo dobro upoznata sa situacijom oko otkrića periodnoga sustava elemenata, kao i o ostalim događajima koji su nakon njegove objave uslijedili, poput predviđanja svojstava eka-aluminija (galija) i eka-bora (skandija), te njihova otkrića.

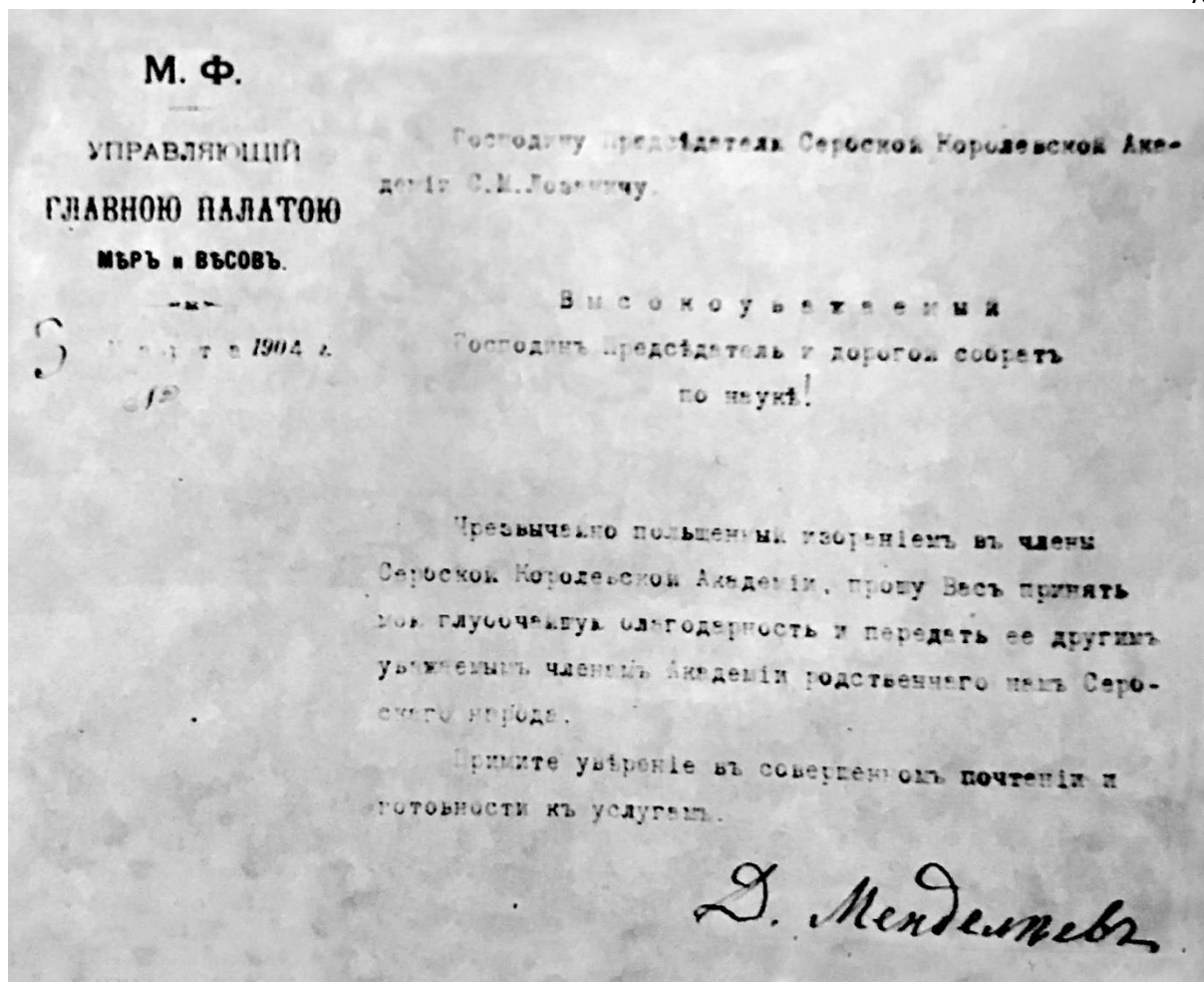
Također, u literaturi se navodi kako se utjecaj Mendeljejevljeva periodnoga sustava elemenata u Europi prati nakon objave njegovog opširnog članka „Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen elemente“ 1871. godine u časopisu *Annalen der Chemie und Pharmacie*. Iz Pilarova popisa Mendeljejevljevih članaka jasno je da je hrvatska znanstvena zajednica očito bila upoznata s člancima koje je Mendeljejev objavljivao u Rusiji, tako na tom popisu nalazimo i prvi Mendeljejevljev članak o periodnome sustavu elemenata koji je objavljen na ruskome jeziku. Uz vijest o samom otkriću periodnoga sustava u našoj se zajednici prati i daljnji razvoj događaja vezanih uz razvoj i potvrdu periodnoga sustava elemenata. Tako se na Pilarovu popisu nalazi i Mendeljejevljev članak koji je vezan uz otkriće galija i potvrdu njegovih predviđanja.

Zapisnici sjednica Akademije svjedoče kako je profesor Gjuro Pilar napisao i prijedlog za prihvaćanje profesora Gustava Janečka za dopisnog člana Akademije. Janeček je u to vrijeme bio profesor kemije na Sveučilištu Franje Josipa u Zagrebu. Pilar u svom prijedlogu ističe kako Janeček posjeduje opsežna znanja različitih grana kemije te kako je upravo njegov izbor da rezultate svojih istraživanja objavi u *Radu* dokaz da se on zanima za rad i djelovanje Akademije. Ipak, dopis koji je Pilar sastavio vezano uz dostignuća Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva daleko je opsežniji i detaljniji no onaj kojeg je pripremio za Gustava Janečka, vjerojatno zato jer je Janeček bio biran za dopisnog člana, a Mendeljejev za počasnog člana. Uz to, prirodoslovci u Matematičko-prirodoslovnom razredu Akademije bili su vrlo dobro upoznati s radom i djelom profesora Janečka (Arhiv HAZU, 1882.).

Godine 1904. Mendeljejev je, na prijedlog Sime Lozanića, izabran za dopisnog člana Srpske kraljevske akademije naučnika i umetnika koja je osnovana 1886. godine u Beogradu (slika 23.). Mendeljejev je pismom zahvalio svojim kolegama na ovom izboru (slika 24.).



Slika 23. Zapisnik prijedloga za izbor D. I. Mendeljejeva za dopisnog člana Srpske kraljevske akademije naučnika i umetnika, Beograd, 1904. (Mićović, 1969.)



Slika 24. Pismo zahvale D. I. Mendeljejeva iz 1904., nakon izbora za dopisnog člana Srpske kraljevske akademije naučnika i umetnika (Mićović, 1969.)

### 3.3. Julije Domac i periodni sustav elemenata

Povjesničari znanosti suglasni su u tome da je Julije Domac (1853. – 1928.) prvi hrvatski kemičar u međunarodnoj znanosti u 19. stoljeću (slika 25.). Na poziv Adolfa Liebena, koji je i Gustava Janečka uveo u kemiju, dolazi na Sveučilište u Graz, gdje doktorira (1880.) kod znamenitog Leopolda von Pebala (1826. – 1887.) uzornim znanstvenim radom u području organske kemije u kojem istražuje reakciju klorovog dioksida s heksenom dobivenim iz alkohola manitola. Svoj rad samostalno objavljuje u *Justus Liebigs Annalen* (1882.). Domac nije prihvatio Liebenovu ponudu docenture, napustio je Beč i vratio se u domovinu. Neko vrijeme djelovao je kao profesor na Velikoj realci u Zemunu (1882.), pa na Velikoj realci u Zagrebu (1896.), sve dok ga Gustav Janeček nije pozvao na Mudroslovni fakultet, gdje od 1896. djeluje kao sveučilišni profesor farmakognozije.



**Slika 25.** Portret Julija Domca, danas se nalazi u auli Sveučilišta u Zagrebu, a djelo je Rudija Brauna iz 1924.



Razvoju kemije u Hrvatskoj osobito su pridonijela dva Domčeva udžbenika za više razrede realnih gimnazija i realka, *Organska kemija ili kemija ugljikovih spojeva za više razrede realnih gimnazija i realaka* (1893., prvo izdanje) i *Anorganska kemija za više razrede realnih gimnazija i realaka* (1901.). Udžbenike je Domac napisao potaknut pozivom visoke vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu. Njegov udžbenik iz organske kemije doživio je još dva izdanja (1899. i 1906.) (Inić i Kujundžić, 2012a.).

Prvi udžbenik kemije na hrvatskom jeziku napisao je Pavao Žulić 1866. godine. Jedanaest godina kasnije, 1877., Žulić piše dopunjeno i preinačeno izdanje svog udžbenika, *Uputa za kemiju za velike realke, dio I. Anorganička kemija* (Žulić, 1866.; Žulić, 1877.). No, u tom Žulićevom udžbeniku iz 1877. godine ne spominje se periodni sustav elemenata.

Prvi udžbenik u Hrvata koji spominje periodni sustav elemenata i donosi njegovu tablicu kao i opis i detaljnije informacije o otkriću udžbenik je Julija Domca, *Anorganska kemija za više razrede realnih gimnazija i realka*, tiskan 1901. godine u Zagrebu (Domac, 1901.).<sup>12</sup>

U uvodu svoga udžbenika autor ističe kako su njegova dva udžbenika zamišljena kao jedna cjelina potrebna za podučavanje u gimnazijama i realkama. Domac je svoj udžbenik koncipirao i napisao prema nastavnom planu i programu realnih gimnazija izražavajući žaljenje što ga nije mogao napisati prema tada već poznatom i od znanstvene zajednice prihvaćenom periodnom sustavu elemenata: *Vrlo mi je žao, što nijesam mogao izraditi specijalni dio ove knjige po periodičnom, prirodnom ili t. zv. Mendelejevom sustavu elemenata, a možda će mi mnogi i zamjeriti, što to nijesam učinio* (Domac, 1901.). Samog Mendeljejeva Domac u udžbeniku spominje na više mjesta kada govori o otkriću elemenata germanija, skandija i galija te napominje kako im je Mendeljejev prije otkrića predvidio svojstva. Domac u predgovoru objašnjava da svoj udžbenik nije složio prema periodnome sustavu elemenata, zbog *naučne osnove* koja je tada propisivala da se u petom razredu obrađuje područje *metaloida*, a u šestome razredu metali. Ipak u zadnjem poglavlju donosi *periodički ili prirodni sustav elemenata* i govori o Mendeljejevom otkriću periodnoga sustava elemenata te

---

<sup>12</sup> S Julijem Domcem je i ljekarništvo u Hrvatskoj dostiglo svjetsku razinu i ugled. On je, zajedno s Gustavom Janečekom, objavio izvornu Hrvatsko-slavonsku farmakopeju (1901.). Janeček je napisao opći, kemijski i galenski, a Domac farmakognoski i farmakognostički dio. Ta je knjiga dobila brojna međunarodna priznanja.

opisuje izgled i način na koji se do njega došlo te donosi samu tablicu periodnoga sustava (slika 26.).<sup>13</sup>

**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 27.5	Si 28	P 31	S 32	Cl 35.5	
3. Perioda } 3. "	K 39	Ca 40	Sc 44	Ti 48	V 51	Cr 52.2	Mn 55	Fe 56. Co 58.6. Ni 58.8
	4. "	Cu 63	Zn 65	Ga 70	Ge 72	As 75	Se 79	
4. Perioda } 5. "	Rb 85	Sr 87.5	Y 89	Zr 90	Nb 94	Mo 96		Ru 108. Rh 104. Pd 106
	6. "	Ag 108	Cd 112	In 114	Sn 118	Sb 120	Te 125	
5. Perioda } 7. "	Cs 133	Ba 137	La 138	Ce 140			Sa 150	Os 191. Ir 198 Pt 194
	8. "							
	9. "		Yb 173		Ta 182	W 184		
5. Perioda } 10. "			Tl 204	Pb 207	Bi 208			
		Au 197	Hg 200					
6. Perioda } 11. "				Th 232		U 240		

**Slika 26.** Tablica periodnoga sustava elemenata objavljena u udžbeniku *Anorganska kemija* Julija Domca iz 1901. (Domac, 1901.)

U knjizi autor u navedenom poglavlju naslova *Periodički ili prirodni sustav elemenata* donosi informaciju o gotovo istodobnom otkriću periodnog sustava elemenata ruskog kemičara Mendeljejeva i Nijemca Meyera. Ostale istraživače povezane s ovom temom ne navodi niti daje detaljnije informacije o njihovim istraživanjima već objašnjava na čemu se temelji izgled periodnog sustava elemenata. Tako Domac navodi: *Ovaj se sustav osniva na spoznaji, da ovise gotovo sva kemijska i fizikalna svojstva elemenata o veličini njihove atomne težine, da su dakle funkcije i to periodičke funkcije atomnih težina* (Domac, 1901a.). U nastavku objašnjava kako su elementi u periodnom sustavu poredani u periodi po rastu atomskih težina te se njihova svojstva mijenjaju, ali kada se pojave analogna kemijska svojstva iza određenog broja članova i izvjesne razlike atomske težine, prekine li se niz na tim mjestima i elemente svrsta vertikalno po njihovoj kemijskoj sličnosti dobivamo prirodne skupine. No, navodi Domac, da se zadrži ovakav prirodni poredak potrebno je nužno ostaviti neka prazna mjesta koja će se u budućnosti valjda popuniti s dotada nepoznatim elementima. Vodik u ovoj tablici

<sup>13</sup> Domac u predgovoru svoje knjige također navodi kako smatra da nije pogriješio što je proširio svoju knjigu izborom određenih tema te zaključuje da osim opširne knjige Sime Lozanića nema udžbenika iz opće i anorganske kemije pisane na našem jeziku.

koju donosi *Anorganska kemija* Julija Domca još uvijek stoji sam za sebe, sljedeća dva niza tvore svaki periodu od 7 članova, tako se ispod litija ( $Li = 7$ ) nakon prirasta atomske težine od 16 jedinica nalazi natrij ( $A_r(Na) = 23$ ), a ispod njega nakon ponovnog prirasta atomske težine od 16 jedinica nalazi se kalij ( $A_r(K) = 39$ ). Nakon toga u skupini ispod kalija dolazi rubidij koji ne slijedi ovu pravilnost već je po svojoj atomskoj težini za 46 *jedinica* teži, a cezij opet za 47 *jedinica* od rubidija. Ovako izgleda skupina alkalijakih metala, koju slijede zemnoalkalijski metali. Dalje detaljno opisuje periode i navodi da šesta perioda do sada ima samo dva otkrivena elementa, Th i U. U tekstu se donose i nazivi skupina, te valencije pojedinih elemenata po skupinama. Već kod navođenja skupina Domac ukazuje na zajednička svojstva koja imaju elementi koji se nalaze u istim skupinama, alkalne kovine, zemnoalkalijski elementi, u četvrtoj se skupini nalaze analogni ugljik i silicij, piše Domac. Domac zaključuje kako su elementi prve skupine jednovalentni, u drugoj dvovalentni, trećoj trovalentni, četvrtoj četverovalentni, dok valencija počevši od pete skupine ponovno pada. Nadalje objašnjava kako se mijenja sposobnost elemenata da se spajaju s kisikom i vodikom, te govori i o karakteru elemenata da tvori bazične ili kisele okside. Na kraju ovog poglavlja Domac zaključuje da su svojstva elemenata nepobitno periodičke funkcije njihovih atomnih težina, što upućuje na zaključak da atomi različitih elemenata nisu najmanje i nedjeljive čestice, već agregati ili različiti stupanj kondenzacije iste supstancije ili pramaterije. O kojoj se pramateriji radi dotadašnja znanja iz kemije nisu imala jasan odgovor. Domac zaključuje da to zasigurno nije vodik, kao što je to pretpostavljao Prout.

Premda u ovom poglavlju udžbenika koje je posvećeno periodnome sustavu Domac govori da atomi nisu najmanje i nedjeljive čestice, u ranijem poglavlju udžbenika *Teorija najmanjih čestica. Molekul i atom*. kada definira atome navodi: *Ove najmanje čestice elemenata, koje se nalaze u kemijskom spoju, zovu se atomi. Atomi se ne mogu nikako više ni fizikalno ni kemijski na manje čestice rastaviti, te su prema tomu najmanje i nerezdjeljive čestice materije* (Domac, 1901b.).

Domac u svom udžbeniku nigdje ne objašnjava kakva bi bila građa atoma, niti spominje elektron ili druge čestice od kojih bi atom bio građen. Vrijeme u koje Domac piše i objavljuje svoj udžbenik je vrijeme nakon što je J. J. Thomson otkrio elektron (1897.). No, Thomson tek 1904. godine postavlja svoj model atoma (Thomson, 1904.). U pregovoru svoga udžbenika Domac navodi kako se pri pisanju svoga udžbenika služio raznim časopisima te je vjerojatno na taj način doznao o novim pokusima i saznanjima u ovom području kemije.

Udžbenik s naših prostora kojeg Domac u svojoj literaturi ističe je udžbenik anorganske kemije Sime Lozanića (1880.) (Domac, 1901a., Lozanić, 1880.). Usporedimo li tablicu periodnog sustava objavljenu u Lozanićevu udžbeniku i tablicu objavljenu u Domčevu, jasno je prema izgledu tablice kako Domac tablicu periodnoga sustava nije preuzeo od Lozanića (slika 27.) .

		Li	Be	B	C	N	O	F			
d.	H1.	7,01	9,32	11	12	14,01	15,96	19,1			
v. a.	α	0,59	2,1	2,68	3,3	?	?	?			
		11,9	4,4	4,1	3,6						
		Na	Mg	Al*	Si	P	S	Cl			
d.		23	24	23,3	28	31	32	35,37			
v. a.		0,97	1,74	2,56	2,49	2,3	2,04	1,38			
		23,7	13,8	10,7	11,2	13,5	15,7	25,6			
		K	Ca	? (44)	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
d.		39,04	39,9	<i>44</i>	48	51,2	52,4	54,8	55,9	58,6	58,6
v. u.		0,86	1,57	<i>44</i>	?	5,5	6,8	8,0	7,8	8,5	8,8
		45,4	25,4			9,3	7,7	6,9	7,2	6,9	6,7
		Cu	Zn	Ga	? (72)	As	Se	Br			
d.		63,3	64,9	69,9	<i>72</i>	74,9	78	79,75			
v. a.		8,8	7,15	5,96	<i>72</i>	5,67	4,6	2,97			
		7,2	9,1	11,7		13,2	16,9	26,9			
		Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	? (99)	Ru	Rh	Pd
d.		85,2	87,2	89,6?	90	94	95,8		103,5	104,2	106,2
v. a.		1,52	2,50	?	4,15	6,27	8,6		11,3	12,1	11,5
		50,1	34,9		21,7	15,0	11,1		9,1	8,6	9,2
		Ag	Cd	Jn	Sn	Sb	Te	J			
d.		107,66	111,6	113,4	117,8	122	128	126,53			
v. a.		10,5	8,65	7,42	7,29	6,7	6,25	4,95			
		10,2	12,9	15,3	16,1	18,2	20,5	25,6			
		Cs	Ba	Ce	La		Di				
d.		132,5	136,8	137	139	?	147				
v. a.		?	3,75	?	?		?				
			36,5								
		?(165)	?(169)	Er	?(173)	Ta	W	?	Os	Jr	Pt
d.				170,6		182	184		198,6	193	196,7
v. a.				?		10,8	19,13		21,4	21,15	21,15
						15,9	9,6		9,3	9,3	9,3
		Au	Hg	Tl	Pb	Bi					
d.		196,2	200	203,6	206,4	210					
v. a.		19,3	13,59	11,86	11,37	9,82					
		10,2	14,7	17,1	18,1	21,1					
		?	?	?	Th		U				
d.					233,9		240?				
v. a.					7,7		18,3				
					30,4		13,1				

Slika 27. Tablica periodnoga sustava elemenata objavljena u udžbeniku Sime Lozanića, *Hemija sa gledišta moderne teorije. Prvi deo. Neorganska hemija.*, iz godine 1880. (Lozanić, 1880.)

Već je na prvi pogled vidljivo kako Domčeva tablica sadrži osam skupina i sedam perioda, dok ona u Lozanićevom udžbeniku sadrži devet skupina i deset perioda. Lozanić u prvu periodu stavlja vodik, dok se kod Domca vodik nalazi u nultoj periodi. Ostali elementi prve periode jednaki su u oba periodna sustava (Li, Be, B, C, O i F). Jednaka je i druga perioda obje tablice periodnoga sustava (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl). Elementi koje Domac svrstava u treću periodu, no dijeli ih u dvije podskupine, kod Lozanića se nalaze u trećoj i četvrtoj periodi. Lozanić je u svoju tablicu uvrstio novootkriveni element galij (Ga). Podjela elemenata na periode te postojanje dvije podskupine u periodama 3. i 4., a tri podskupine u periodi 5. u Domčevu udžbeniku, podudara se s Lozanićevom tablicom. U Lozanićevoj tablici nema podskupina u pojedinim periodama, već on otvara nove periode. Budući da je Lozanićev udžbenik tiskan 1880. godine u njemu ne nalazimo skandij (Sc) niti germanij (Ge). U Domčevu udžbeniku, koji je objavljen 1901. godine nalazimo sve navedene novootkrivene elemente (Ga, Sc i Ge). Također u Lozanićevom udžbeniku cerij (Ce), atomske težine 137, dolazi prije lantana (La), atomske težine 139, dok kod Domca lantan (La) ima atomsku težinu 138 i u tablici se nalazi ispred elementa cerija (Ce), atomske težine 140. U Domčevu udžbeniku nalazimo i element iterbij (Yb, otkriven 1878. godine), atomske težine 173, dok je za njega u Lozanićevom udžbeniku ostavljeno prazno mjesto.

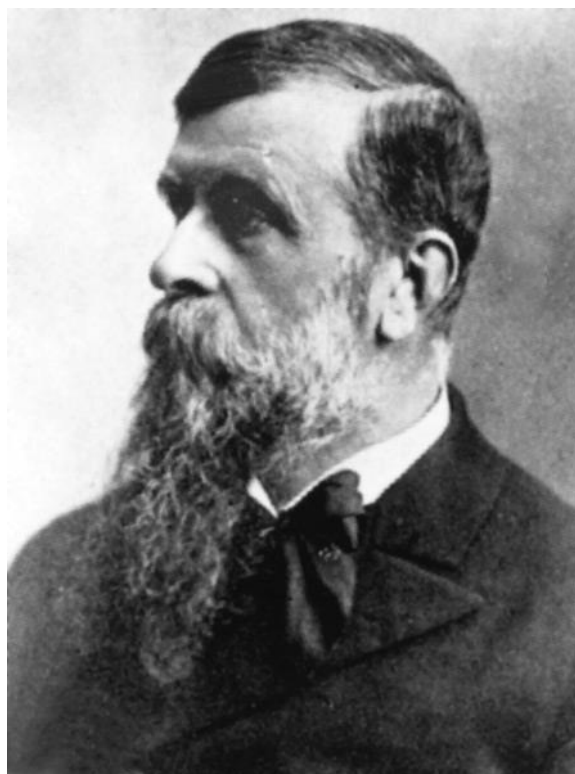
Domac u svom prikazu periodnog sustava elemenata gotovo uopće ne ulazi u povijesni kontekst otkrića i Mendeljejevljeve prethodnike, već detaljno objašnjava svojstva zbog kojih tablica periodnog sustava elemenata izgleda tako kako je zamišljena, te što sve iz nje možemo pročitati i vidjeti. Domčev udžbenik bio je srednjoškolski udžbenik u kojem povijesni pregled razvoja koncepata nije bio bitan. Nakon opisa tablice u udžbeniku slijedi i tablični prikaz periodnog sustava elemenata. U samoj tablici ne nalaze se plemeniti plinovi iako ih u samom tekstu u udžbeniku Domac spominje.

### 3.4. Periodni sustav elemenata u Hrvatskoj nakon Domčeva udžbenika

I u drugim hrvatskim udžbenicima i publikacijama iza Domčevog nalazimo prikaz i pojašnjenje periodnog sustava elemenata.

#### 3.4.1. Gustav Janeček i periodni sustav elemenata

Povijest kemije u Hrvata ne može se pisati bez spomena Gustava Janečka (1848. – 1929.), kemičara i farmaceuta češkog podrijetla, kojeg smatramo utemeljiteljem moderne kemije u Hrvatskoj. Gustav Janeček došao je u Zagreb 1879., u trideset i prvoj godini života. Natječajem je izabran za profesora kemije na Mudroslovnom fakultetu. Ostavio je dubok i neizbrisiv trag u hrvatskoj znanosti i gospodarstvu. Svojim nastavničkim i znanstvenim radom utemeljio je ne samo hrvatsku kemiju, nego i farmaciju i farmaceutsku industriju. Jedan je od pokretača Farmaceutskog učevnog tečaja (1882.), prethodnika današnjeg Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Njegovom zaslugom izgrađena su dva kemijska zavoda u kojima su se nalazili kemijski laboratoriji, koji su se koristili u nastavi kemije i za znanstvena istraživanja. Janeček je prvi u Hrvatskoj obavljao kemijske analize kao sudski vještak, pa mu pripada i čast da ga se smatra osnivačem hrvatske forenzike. Od 1921. do 1924. Janeček je bio predsjednik Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti.



**Slika 28.** Fotografija profesora Gustava Janečka (1848. – 1929.)

(izvor: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=28674>, pristupljeno 20. svibnja 2018.)

Gustav Janeček polazio je srednju školu u rodnoj Češkoj (slika 28.). Prvih pet razreda gimnazije pohađao je u Plzeňu. Godine 1854. odlazi na vježbeničku praksu u Nepomuk, a nakon položenog tirocinijskog ispita u Plzeňu, pozvan je u Prag gdje je radio kao lječnički pomoćnik. U Pragu upisuje i završava studij farmacije (1871.). Tema doktorske disertacije iz kemije bila je elektroliza vode, *Ueber die Elektrolyse des Wassers und das elektrolytische Gesetz Faradays* (1875.). Janeček je na Sveučilištu u Pragu godine 1875. bio promoviran u doktora znanosti (Janeček, 1874.). Svoju doktorsku disertaciju predao je napisanu na njemačkom jeziku jer se nastava na Karlovu sveučilištu u Pragu u to vrijeme odvijala na njemačkom jeziku. Praško sveučilište bilo je među najuglednijima u Europi u to vrijeme.

Da je njegova disertacija bila zapažena svjedoči činjenica kako je i priznati europski kemičar Adolf Lieben (1836. – 1914.), Janečekova istraživanja koristio i navodio (Grdenić, 2002.; Lieben, 1875.). Kada je Lieben, 1875. godine postao profesorom na Sveučilištu u Beču, poveo je Janečeka sa sobom te za njega osigurao mjesto asistenta (Grdenić, 2002.). Janeček 1877. godine odlazi sa Sveučilišta u Beču i prihvaća posao na bečkoj Visokoj politehničkoj školi gdje je habilitirao za docenta iz forenzičke kemije 1877. godine. Od godine 1879. na Sveučilištu u Zagrebu preuzima mjesto Aleksandra Veljkova (Flumiani, 1937.; Senčar-Čupović, 1977a.; Paušek-Baždar i Grdinić, 2005.) (slika 29.).

Nakon obnove Sveučilišta u Zagrebu 1874. godine, nastava iz kemije započinje 1876. godine. Budući da u to vrijeme u Hrvatskoj nije postojao adekvatan kadar koji bi predavao prirodoslovne predmete, obnovljeno je Sveučilište kandidate biralo iz cijele Monarhije.



**Slika 29.** Spomen-ploča na kući u Zagrebu u kojoj je stanovao profesor Gustav Janeček, otkrivena 30. studenog 1998. godine, a postavljena povodom 150. obljetnice rođenja Gustava Janečka u okviru Znanstvenog skupa o njegovu životu održanog pod pokroviteljstvom Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti.

### 3.4.1.1. Govor Gustava Janečka povodom smrti Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva

Profesor Janeček od 1888. godine dio svojih predavanja iz opće kemije posvećuje Mendeljejevu i periodnom sustavu elemenata, dok predavanja iz anorganske kemije usklađuje s periodnim sustavom elemenata (Deželić, 1977.). O tome nam svjedoče i riječi njegova studenta Frana Bubanovića, kasnije sveučilišnog profesora kemije na novoosnovanom Medicinskom fakultetu: *Te godine moga studija profesor je Janeček još jednom uvelike zadužio mene i sve svoje tadašnje slušače time što nam je nada sve jasno i svestrano prikazao prirodni periodski zakon o kemijskim elementima... usadio u dušu ne samo shvaćanje važnosti i dalekosežnosti periodskog zakona o elementima nego i iskreno i duboko štovanje i oduševljenje za velikog slavenskog naučenjaka, kemika Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva koji je taj važni i osnovni zakon o elementima otkrio i razradio* (Bubanović, 1930.).



Utjecaj Mendeljevljeva rada kao i njegova udžbenika *Osnove kemije* na Gustava Janečka bio je velik. Janeček je svoja predavanja, a kasnije i svoj objavljeni udžbenik (*Kemija 1.*, općio, 1919.) slagao tako da prati periodni sustav elemenata. Objavljen posmrtni govor, *Posmrtna besjeda*, najopširniji je rad u kojem Janeček govori o Mendeljevu (slika 30.).

Janeček je govor održao na sjednici Matematičko-prirodoslovnog razreda Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 8. veljače 1908. godine. Janeček započinje govor s Mendeljevljevom biografijom, te navodi kako je 8. veljače 1834. u sibirskom gradu Tobolsku rođen Dmitrij Ivanovič Mendeljejev, kao sedamnaesto dijete Ivana Pavloviča. Janeček govori o Mendeljevljevom djetinjstvu, smrti njegova oca, kada je Dmitriju bilo devet godina kao i o školovanju Mendeljeva najprije u rodnom mjestu, a kasnije u Moskvi, dok se 1850. godine seli u St. Peterburg i upisuje kemiju na tamošnjem sveučilištu. Također spominje i Mendeljevljeve profesore koji su na njega utjecali: fizičar Heinrich Lenz, kemičar Aleksander Voskresenski i matematičar Mikhail Ostrogradski. Janeček detaljno govori o Mendeljevljevom znanstvenom radu na Pedagoškom zavodu. Također navodi kako je državna vlast u Rusiji slala o državnom trošku mlade znanstvenike u inozemstvo da se bolje pripreme za akademsku karijeru. Tako i Mendeljejev odlazi u Heidelberg (1859.) gdje su u to vrijeme djelovali poznati europski kemičari Herman Franz Kopp, Robert Bunsen i Gustav Krichhoff.

# DIMITRIJ IVANOVIĆ MENDELJEJEV.

## POSMRTNA BESJEDA.

GOVORIO JE U SJEDNICI RAZREDA MATEMATIČKO - PRIRODOSLOVNOGA  
JUGOSL. AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI DNE 8. VELJAČE 1908.

PRAVI ČLAN

DR. GUSTAV JANEČEK.

*(Preštampano iz 22. svesku „Ljetopisa“ Jugoslavenske akademije znanosti i  
umjetnosti).*

U ZAGREBU.  
TISAK DIONIČKE TISKARE.  
1908.

**Slika 30.** Naslovna stranica tiskanog posmrtnog govora Dimitriju Ivanoviću Mendeljejevu kojeg je profesor Gustav Janeček održao 8. veljače 1908. godine u tadašnjoj Jugoslavenskoj akademiji znanosti i umjetnosti

Nadalje iznosi Janeček analizu Mendeljejevljevog znanstvenog rada i utjecaj navedenih profesora kao i detaljan prikaz znanstvenih radova koje je Mendeljejev objavljivao u europskim znanstvenim časopisima. Janeček posebno spominje i sastanak kemičara i liječnika godine 1860. u Karlsruheu na kojemu je Mendeljejev bio prisutan i koji je na njega, prema riječima Mendeljejeva, znatno utjecao. Godine 1861. vraća se Mendeljejev u St. Peterburg i nastavlja svoja docentska predavanja. Iste godine izlazi i Mendeljejevljev udžbenik *Organska*

*kemija*. Dvije godine kasnije imenovan je profesorom kemije na tehnološkom zavodu sveučilišta u St. Peterburgu. Janeček govori o predmetima koje Mendeljejev predaje i o njegovom daljnjem znanstvenom radu. Posebno ističe kako 1868. godine Mendeljejev započinje rad na svom udžbeniku anorganske kemije *Osnove kemije*, koji je dovršio 1870. godine.

Oduševljenje Gustava Janečeka ovom knjigom vidi se već iz njegovih prvih rečenica. Tako Janeček navodi: *Ali kakova je to knjiga! Treba je samo usporediti sa savremenim udžbenicima velikih zapadnih naroda, pa ćemo se odmah uvjeriti, kako joj je pisac daleko pretekao sve svoje drugove, kako je dao svomu djelu posve nov biljeg ... u njoj je nabrano toliko blaga, toliko novih ideja, koje potiču na razmišljanje, kao ni u jednom suvremenom ili kasnijem udžbeniku strane literature. Jednak je u njoj mar i trud posvećen razmatranjima o filozofskoj podlozi kemijske znanosti, kao i općim i fizikalnim naukama, tako da je ona u opće prvo djelo teoretske i fizikalne kemije, kakovim se u ono doba nije mogao podičiti nijedan narod* (Janeček, 1908.).

Janeček se s knjigom *Osnove kemije* upoznao 1872. godine (to je bilo drugo izdanje *Osnova kemije*). Ističe da mu je ta knjiga, uz Dumasovu *Filozofiju kemije*, dugo bila najmilije štivo. Nakon upoznavanja slušatelja s Mendeljejevljevom biografijom, njegovim obrazovanjem i znanstvenim interesima kao i činjenicama vezanim uz njegovu knjigu *Osnove kemije*, Janeček se u svom govoru okreće Mendeljejevljevom periodnome sustavu elemenata, kojem je posvećen ostatak *Posmrtna besjeda*.

Janeček tako navodi Mendeljejevljeve riječi iz samog udžbenika *Osnove kemije* u kojem pisac objašnjava temeljne činjenice vezane uz otkriće periodnoga sustava i njegovu objavu u ožujku 1869. na zasjedanju Ruskog kemijskog društva. U kolovozu iste godine održao je Mendeljejev izlaganje prigodom sastanka prirodoslovaca u Moskvi, a pred kraj 1870. izdana je rasprava o promjenama atomskih težina nekih elemenata i o svojstvima nekih elemenata koji još nisu bili otkriveni, navodi Janeček (Janeček, 1908.).

1) Tablica ima ovaj oblik:

	<i>Ti</i> = 50	<i>Zr</i> = 90	?	= 180
	<i>V</i> = 51	<i>Nb</i> = 94	<i>Ta</i> = 182	
	<i>Cr</i> = 52	<i>Mo</i> = 96	<i>W</i> = 186	
	<i>Mn</i> = 55	<i>Rh</i> = 104, <sup>4</sup>	<i>Pt</i> = 197, <sup>4</sup>	
	<i>Fe</i> = 56	<i>Ru</i> = 104, <sup>4</sup>	<i>Ir</i> = 198	
	<i>Ni</i> = 59	<i>Pd</i> = 106, <sup>6</sup>	<i>Os</i> = 199	
<i>H</i> = 1	<i>Cu</i> = 63, <sup>4</sup>	<i>Ag</i> = 108	<i>Hg</i> = 200	
<i>Be</i> = 9, <sup>4</sup>	<i>Mg</i> = 24	<i>Zn</i> = 65, <sup>2</sup>	<i>Cd</i> = 112	
<i>B</i> = 11	<i>Al</i> = 27, <sup>4</sup>	?	= 68	<i>Ur</i> = 116
<i>C</i> = 12	<i>Si</i> = 28	?	= 70	<i>Sn</i> = 118
<i>N</i> = 14	<i>P</i> = 31	<i>As</i> = 75	<i>Sb</i> = 122	<i>Bi</i> = 210?
<i>O</i> = 16	<i>S</i> = 32	<i>Se</i> = 79, <sup>4</sup>	<i>Te</i> = 128?	
<i>F</i> = 19	<i>Cl</i> = 35, <sup>5</sup>	<i>Br</i> = 80	<i>I</i> = 127	
<i>Li</i> = 7	<i>Na</i> = 23	<i>K</i> = 39	<i>Rb</i> = 85, <sup>4</sup>	<i>Cs</i> = 133
	<i>Ca</i> = 40	<i>Sr</i> = 87, <sup>6</sup>	<i>Ba</i> = 137	<i>Tl</i> = 204
	?	= 45	<i>Ce</i> = 92	<i>Pb</i> = 207
	? <i>Er</i> = 56	<i>La</i> = 94		
	? <i>Yt</i> = 60	<i>Di</i> = 95		
	? <i>In</i> = 76, <sup>6</sup>	<i>Th</i> = 118?		

**Slika 31.** Tablica periodnog sustava elemenata u *Posmrtnoj besjedi* Gustava Janečka. Oblik tablice Janeček je preuzeo iz *Journal für praktischen Chemie* iz 1869. godine (Janeček, 1908.)<sup>14</sup>

Janeček je također istaknuo kako je iste 1869. godine, u Erdmannovu *Journal für praktischen Chemie* pod glavnim naslovom *Notizen*, objavljen prikaz tablice elemenata Dmitrija Mendeljejeva naslovljen „Versuch eines Systems der Elemente nach ihren Atomgewichten und chemischen Functionen“, ali bez dodatnih objašnjenja (slika 31.). Nakon toga navodi Janeček i ostale Mendeljejeve radove vezane uz periodni sustav elemenata u raznim časopisima. Posebna se pažnja pridodaje radu objavljenom 24. siječnja 1972. godine u Liebigovim analima (*Annalen der Chemie und Pharmacie*). Nakon navođenja objavljenih Mendeljejevih djela o periodnome sustavu elemenata Janeček se vraća na prvi objavljen članak (1869.), u ruskoj publikaciji (Jensen, 2005.).<sup>15</sup> Janeček kroz osam točaka izlaže kako je Mendeljejev zamislio i objasnio svoj periodni sustav u toj publikaciji:

<sup>14</sup> U 4. svesku sto i šeste knjige na str. 251. pod glavnim naslovom *Notizen* objavljeno „Versuch eines Systems der Elemente nach ihren Atomgewichten und chemischen Functionen“ u kojem je bez popratnog teksta objavljena samo tablica periodnoga sustava elemenata Dmitrija Mendeljejeva.

<sup>15</sup> Radi se upravo o prvom objavljenom radu nakon što je Mendeljejev tiskao svoju tablicu elemenata kao letak koji je distribuirao ruskim i europskim kemičarima. „Dmitri Mendeleev, „Sootnoshenie svoistv s atomnym vesom elementov“, *Zhurnal Russkoe Fiziko-Khimicheskoe Obshchestvo* (Časopis Ruskog kemijskog društva), 1 (2/3), 1869., str 60–77. Prijevode Mendeljejevskih najvažnijih publikacija na engleski pogledaj u *Mendeleev*

- 1) *elementi poredani prema svojstvu atomnih težina pokazuju očividnu periodičnost*
- 2) *elementi koji su slični prema kemijskim svojstvima imaju ili vrlo bliske atomne težine (navodi za primjer Pt, Ir, Os) ili navodi kako im težine rastu u jednakim omjerima (K, Rb, Cs)*
- 3) *poredak elemenata ili njihovih skupina po veličini atomne težine odgovara njihovoj atomnosti (kemijskoj vrijednosti)*
- 4) *elementi koji su u prirodi rasprostranjeni imaju malu atomnu težinu. Tako je vodik najlaganiji i najtipičniji element*
- 5) *veličina atomne težine određuje karakter atoma*
- 6) *treba se nadati i očekivati otkrića još elemenata, kao primjerice elemente atomne težine od 65 do 75, koji bi bili slični aluminiju i siliciju*
- 7) *veličina atomne težine može se katkad ispraviti, ako poznajemo njegova analoga*
- 8) *neke analogije elemenata pronaći će se po veličini njihove atomne mase*

Nakon ovakve sistematizacije ideja, nastavlja Janeček kako ove temeljne misli Mendeljejev dalje detaljnije razvija u svojoj raspavi objavljennoj u Liebigovim analima, te kako ih potvrđuje iskustvenim materijalom. Janeček navodi kako je Mendeljejev metodom analogije udvostručio atomsku težinu urana, koja je kasnije i eksperimentalno potvrđena. Također govori kako je telurij jedan od elemenata koje je uvijek bilo teško smjestiti u nekakvu tablicu elemenata, budući da mu je atomska težina (127.60) veća od jodove (126.97), a trebala bi biti manja, jer bi samo tako mogao telurij biti u istoj skupini po svojim svojstvima sa sumporom i selenijem. Janeček brani Mendeljejev periodni zakon elemenata i njegova pronalazača ovim riječima: *Ako je već sve to o čemu smo ovdje raspravljali, moglo utvrditi u nama vjeru u istinitost zakona o periodičnosti elemenata i u genijalnosti njegova otkrivača, a to nam izmamљуje upravo zadivljenje, kad čitamo kako on proriče svojstva dotle nepoznatih elemenata* (Janeček, 1908a.).

Dalje Janeček opisuje kako je Mendeljejev došao do zaključka o postojanju i svojstvima tada nepoznatih elemenata, koje on zove ekaaluminij i ekasilicij. Također navodi kako je 27. kolovoza 1875. godine francuski kemičar Boisbaudran u jednoj pirenejskoj rudi otkrio novi element koji je nazvao galij. Taj galij nije ništa drugo već ekaaluminij kojega je Mendeljejev predvidio u tablici iz 1869, a čija je svojstva opisao u radu 1871. godine. Janeček govori i o

otkriću ekabora ili skandija, te o otkriću ekasilicija to jest germanija. Nakon toga zaključuje kako su nakon ovih otkrića u istinitost periodnog zakona povjerovali i oni koji su imali najveće sumnje. Janeček donosi i Mendeljejevljeve riječi iz njegova udžbenika *Osnove kemije* u kojem Mendeljejev piše kako nije vjerovao da će se za vrijeme njegova života pronaći elementi za koja je on previdio svojstva. Janeček također govori kako su se nakon germanija otkrili i drugi elementi sve do tajanstvenog radija te dodaje kako su također otkriveni i neki elementi koje Mendeljejev nije predviđao. Ovdje ističe otkriće plemenitih plinova i zaključuje kako otkriće tih plinova i njihovo smještanje u periodni sustav elemenata taj sustav nisu nimalo narušili već su ga naprotiv nadogradili i upotpunili. Janeček govori i o pravu prvenstva nad otkrićem periodnoga sustava elemenata. Janeček navodi Chancourtoisa, Newlandsa i Meyera, no zaključuje da se nitko od navedenih nije usudio promijeniti tadašnje prihvaćene atomske težine ili govoriti o svojstvima tada neotkrivenih elemenata kao što je to učinio Mendeljejev. Svoju raspravu o prvenstvu otkrića zaključuje Janeček riječima Viktora Mayera koji je već 1889. godine: *označio periodični sustav kao najdalekosežnije otkriće naše epohe, međašnjim kamenom nove neorganske kemije* (Janeček, 1908b.) kao i riječima Ernesta Macha, njegova učitelja za kojeg navodi kako je o periodnome zakonu govorio da je genijalno i uspjesima bogato sredstvo kojim je stvoren pregledni sustav za razne činjenice. Također navodi i rečenice njemačkog kemičara Liebermanna koji je, čitajući nekrolog u društvu njemačkih kemičara, zaključio da: *Njegov periodični sustav svakomu je kemiku poznat. Mi stariji u struci drugovi sjećamo se svečanog momenta, kad je godine 1871. u analima kemije i farmacije (Annalen der Chemie und Pharmazie) izašla Mendeljejevljeva rasprava „O periodičnoj zakonitosti kemijskih elemenata“ koja se je svojom u velikim potezima pruženom jasnoćom i smionom logikom prvi put odvažila, da iz praznina u slijedu atomnih težina ne samo proreče nove elemente pod imenima ekabor, ekaaluminij i ekasilicij, već da im također unaprijed odredi i opiše u glavnim crtama svojstva“* (Janeček, 1908c.).

Osim o periodnome sustavu, Janeček u ovom djelu govori i o ostalim Mendeljejevljevim znanstvenim interesima i radu koji su uslijedili poput istraživanja plinova, kemijskog sastava i fizikalnih svojstava nafte, kemijskoj industriji (proizvodnji sumporne kiseline, proizvodnji sode prema Solvayevu postupku), raspravama o poljodjelstvu, otopinama i njihovim svojstvima. Janeček ističe kako je Mendeljejev umirovljen 1890. godine s Petrogradskog sveučilišta protiv svoje volje. No, već 1891. postao je znanstveni savjetnik Carskog ministarstva rata i pomorstva. Janeček i dalje govori o djelovanju i interesima Mendeljejeva. Zaključuje kako su mnoge visoke škole, akademije i učena društva u Rusiji, Europi i Americi

iskazala Mendeljejevu najveće počasti imenovavši ga svojim počasnim članom. Ističe kako mu je Kraljevsko društvo u Londonu godine 1882. dodijelilo Dayvievu medalju, a Londonsko kemijsko društvo Faradayevu kolajnu iste godine.

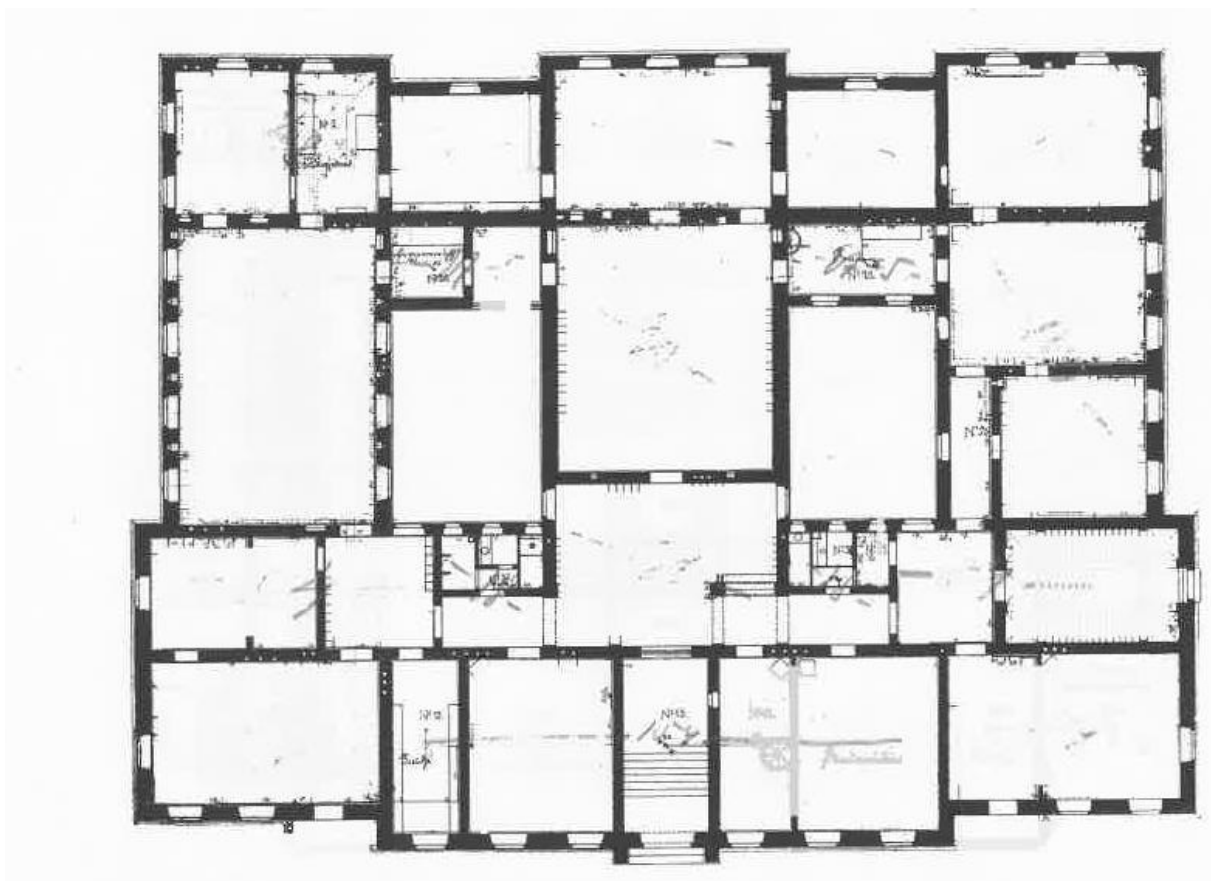
### 3.4.1.2. Janečekov udžbenik *Kemija I. opći dio* i periodni sustav elemenata

Janeček je nastavio napore svog prethodnika Veljkova i višestruko ih nadmašio. Tako je prema njegovim idejama sagrađen prvi moderan kemijski zavod (1884.), koji je bio smješten na današnjem Strossmayerovu trgu 14., u Zagrebu (slika 32. i 33.). Upravo je on temeljito i stručno pripremao gradnju Kemijskog zavoda (slika 34. i 35.) koji je projektirao arhitekt Herman Bolle (1845. – 1926.). Nastavu je Janeček organizirao po uzoru na europska sveučilišta. Tako su studenti izvodili eksperimente te sudjelovali u znanstvenim istraživanjima uz pomoć svojih profesora. Janeček je poticao svoje doktorande i da objavljuju rezultate svojih istraživanja.

Profesor Janeček je za potrebe izvođenja nastave i eksperimentalnog rada preveo svoj udžbenik *Leitfaden für die praktischen Übungen in der qualitativen chemischen Analyse unorganische Körper* (Beč, 1879.). Kako je razvoj sveučilišne nastave u Hrvatskoj bio tek u povojima, literatura za izvođenje nastave na hrvatskom jeziku nije postojala. U tom laboratorijskom priručniku, izdanom pod naslovom *Rukovodnik za praktičke vježbe u kvalitativnoj kemijskoj analizi neorganskih tjelesa* (Zagreb, 1883.), Janeček u predgovoru navodi kako početnici u kemiji (kojima je ova knjiga namjenjena) vrlo često svoju pažnju usmjeravaju na pojave koje prate kemijske reakcije, zaboravljajući pri tome na tijek same kemijske reakcije.

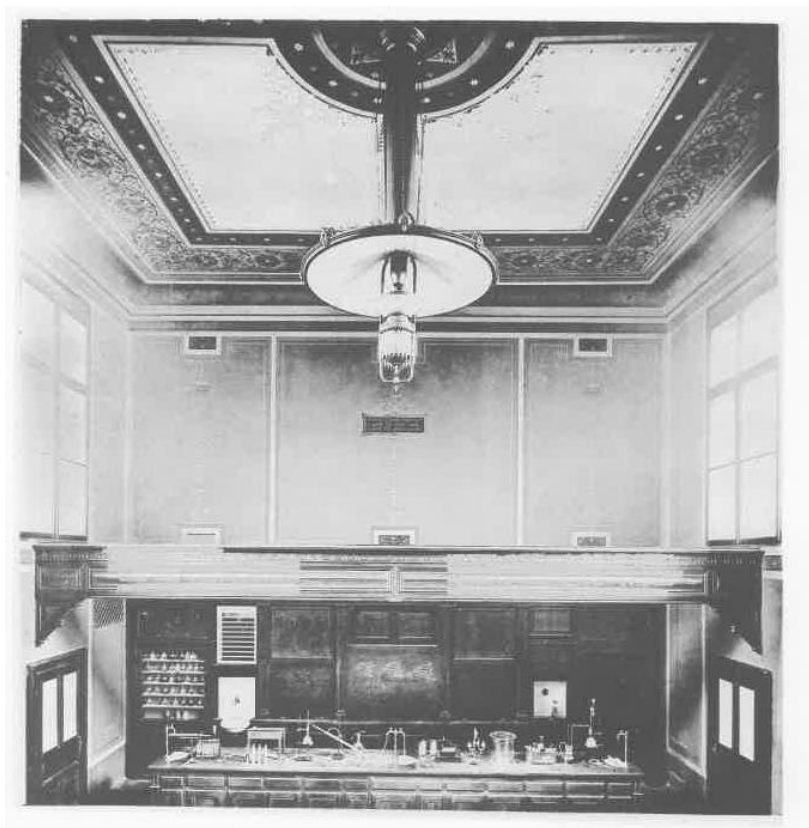


**Slika 32.** Pročelje zgrade Sveučilišnog *lučbenog* zavoda izgrađene 1884. godine (Janeček, 1885.)



**Slika 33.** Tlocrt prizemlja Sveučilišnog *lučbenog* zavoda koji je napravljen prema ideji Gustava Janečeka (Janeček, 1885.)



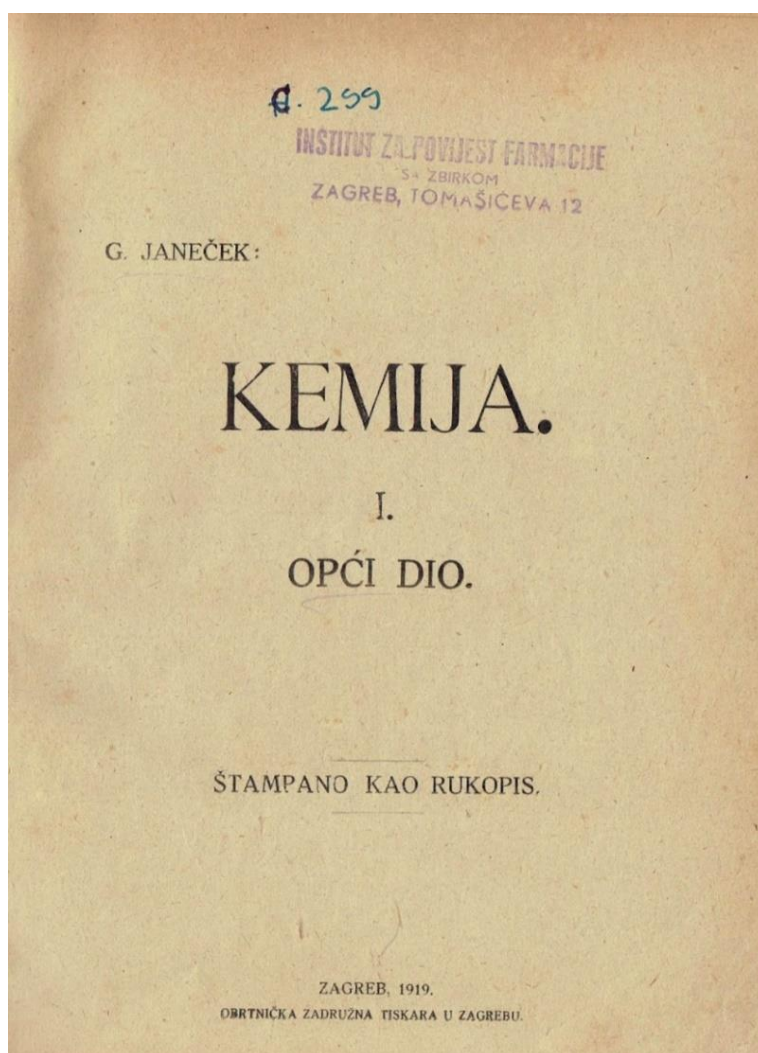


**Slika 34.** Unutrašnjost velike predavaonice Sveučilišnog *lučbenog* zavoda koja je izgrađena 1884. godine (Janeček, 1885.)



**Slika 35.** Nekadašnja zgrada Sveučilišnog *lučbenog* zavoda koja je izgrađena 1884. godine prema zamisli Gustava Janečeka, a kasnije preimenovana u Kemijski Institut. Danas se u toj zgradi nalazi knjižnica Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti

Janeček je višestruko zadužio razvoj kemije u Hrvatskoj. Nakon izgradnje Zavoda nastava kemije se izvodila po uzoru na europska sveučilišta i imala je eksperimentalnu komponentu. Kako na hrvatskom jeziku nije postojala literatura iz kemije kojom bi se studenti mogli služiti, Janeček je preveo svoj laboratorijski priručnik i napisao knjigu *Obća teoretička i fizikalna lučba* (Janeček, 1890.). Na svečanoj sjednici Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti održao je 25. studenog 1886. predavanje, koje je kasnije objavljeno pod naslovom *O sastavu tvari* (Janeček, 1887.). U svom predavanju Janeček je zastupao atomistiku (koncept prema kojem je materija građena od nedjeljivih čestica, atoma). Ovo predavanje, proširio je Janeček u knjizi *Obća teoretička i fizikalna lučba* koja je dijelom donijela filozofiju kemije, a dijelom povijest kemije. No, knjigu nije dovršio, pa je u objavljenom svesku prisutna samo prva polovica onoga što je Janeček prvotno zamislio. U ovoj knjizi Janeček ne spominje periodni sustav elemenata.



**Slika 36.** Naslovnica Janečekova sveučilišnog udžbenika *Kemija I. opći dio*, objavljenog u Zagrebu 1919.

Godine 1919. izlazi i Janečekov udžbenik *Kemija* (Zagreb, 1919.), njezin prvi, opći dio. Već u samom uvodu autor nam govori kako *teške današnje tiskarske prilike onemogućuju mi izdanje već od dugog vremena pripravljenog djela o općoj, neorganskoj i organskoj kemiji* (Janeček, 1919.) (slika 36.).

Ovaj udžbenik predstavlja prvi Janečekov udžbenik u kojem on donosi Mendeljejevljevu izvornu tablicu (slika 37.), kao i tadašnju modernu tablicu periodnoga sustava elemenata (slika 38.). U toj modernoj tablici nalaze se elementi poredani u skupine od nulte do osme. Uvedena je, dakle, nulta skupina u okviru koje se nalaze plemeniti plinovi. U tablici se također nalaze novije otkriveni elementi galij, skandij i germanij, za koje je Mendeljejev u svojim ranijim radovima i tablicama ostavljao prazna mjesta te za koje je opisao svojstva prije no što su bili otkriveni.

Perijodični sustav kemijskih počela po Mendeljejevu  
u prvotnom obliku s tadanjim atomnim težinama.

				i = 50	Zr = 90	? = 180				
				V = 51	Nb = 94	Ta = 182				
				Cr = 52	Mo = 96	W = 186				
				Mn = 55	Rh = 104 <sup>4</sup>	Pt = 197 <sup>4</sup>				
				Fe = 56	Ru = 104 <sup>4</sup>	IR = 198				
				Ni = 59	Cu = 63 <sup>4</sup>	Pd = 106 <sup>6</sup>	Os = 199			
					Ag = 108	Hg = 200				
					Zn = 65 <sup>2</sup>	Cd = 112				
					? = 68	U = 116	Au = 197?			
					? = 70	Sn = 118				
					As = 75	Sb = 122	Bi = 210?			
					S = 32	Se = 79 <sup>4</sup>	Fe = 128?			
					F = 19	Cl = 35 <sup>5</sup>	Br = 80	I = 127		
					Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85 <sup>4</sup>	Cs = 133	Tl = 204
							Ca = 40	Sr = 87 <sup>6</sup>	Ba = 137	Pb = 207
							? = 45	Ce = 92		
							? Er = 56	La = 94		
							? Yt = 60	Di = 95		
							? In = 76 <sup>6</sup>	Th = 118?		

Njegov prvotni i

**Slika 37.** Mendeljejevljev prvotni periodni sustav elemenata objavljen u Janečekovom udžbeniku *Kemija I. opći dio* (Zagreb, 1919.)

Tablice se u udžbeniku nalaze u poglavlju *Razdioba (klasifikacija) kemijskih počela* u kojem Janeček čitatelja najprije upoznaje s definicijom kemijskog počela te kroz povijest od 1811. godine i Bezeliusa govori o pokušajima klasifikacije istih. Tako navodi Döbereinera i njegove trijade, kao i Newlandsa te nadodaje kako su se sličnim stvarima bavili i Gladston, Cooke,

Pettenkoffer, Kremers, Dumas, Lenssen, Odling, Chaucourtois i drugi. Ipak, ističe kako je upravo Mendeljejev bio onaj koji je postigao i uvidio ono što je ostalim kemičarima prije njega promaklo. Tako Janeček piše kako je 1869. godine Mendeljejev konstruirao tablicu u koju je smjestio sva dotada poznata *počela* i to poredana prema porastu atomskih težina ostavljajući prazna mjesta za tada nepoznata *počela*. Janeček donosi sliku tablice u njenom prvotnom obliku. Nadalje nastavlja kako je Mendeljejev nastavio rad na svojoj tablici i modificirao je te na idućoj stranici u svome udžbeniku Janeček prikazuje tadašnju tablicu periodnoga sustava elemenata iz 1914. godine za koju kaže da je podijeljena u devet vertikalnih redova ili skupina te u deset horizontalnih perioda. Opisuje kako se lako opaža da se gotovo sve skupine dijele na dva dijela, dvije podskupine. Ističe kako članovi pojedinih perioda pokazuju određene zakonitosti, s porastom atomske težine mijenja se sve više njihov kemijski karakter. Također napominje da će sve ovo biti jasnije kada u specijalnom dijelu udžbenika proučimo temeljito sve članove pojedinih skupina. Zaključuje kako će se tada pokazati kako su kemijska i određena fizikalna svojstva funkcije atomnih težina. Iznosi i osam točaka u kojima je Mendeljejev opisao svoj periodni sustav elemenata.

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

0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
He 4 <sup>00</sup>	Li 6 <sup>94</sup>	Be 9 <sup>1</sup>	B 11 <sup>0</sup>	C 12 <sup>005</sup>	N 14 <sup>01</sup>	O 16 <sup>000</sup>	F 19 <sup>0</sup>	—
Ne 20 <sup>02</sup>	Na 23 <sup>00</sup>	Mg 24 <sup>32</sup>	Al 27 <sup>1</sup>	Si 28 <sup>3</sup>	P 31 <sup>04</sup>	S 32 <sup>06</sup>	Cl 35 <sup>467</sup>	—
Ar 39 <sup>88</sup>	K 39 <sup>10</sup>	Ca 40 <sup>07</sup>	Sc 44 <sup>1</sup>	Ti 48 <sup>1</sup>	V 51 <sup>0</sup>	Cr 52 <sup>0</sup>	Mn 54 <sup>93</sup>	Fe 55 <sup>84</sup> Ni 58 <sup>68</sup> Co 58 <sup>97</sup>
—	Cu 63 <sup>57</sup>	Zn 65 <sup>37</sup>	Ga 69 <sup>0</sup>	Ge 72 <sup>5</sup>	As 74 <sup>96</sup>	Se 79 <sup>2</sup>	Br 79 <sup>92</sup>	—
Kr 82 <sup>98</sup>	Rb 85 <sup>45</sup>	Sr 87 <sup>63</sup>	Y 88 <sup>7</sup>	Zr 90 <sup>6</sup>	Nb 93 <sup>6</sup>	Mo 96 <sup>0</sup>	—	Ru 101 <sup>7</sup> Rh 102 <sup>9</sup> Pd 106 <sup>7</sup>
—	A 107 <sup>55</sup>	Cd 112 <sup>77</sup>	In 114 <sup>8</sup>	Sn 118 <sup>7</sup>	Sb 120 <sup>2</sup>	Te 127 <sup>5</sup>	I 126 <sup>92</sup>	—
X 130 <sup>2</sup>	Cs 133	Ba 137 <sup>93</sup>	La 139 <sup>0</sup>	Ce <sup>1</sup> 140 <sup>25</sup>	—	—	Sm 150 <sup>1</sup>	—
—	—	—	Yb 173 <sup>3</sup>	—	Ta 181 <sup>6</sup>	W 184 <sup>0</sup>	—	Os 190 <sup>0</sup> Ir 193 <sup>1</sup> Pt 195 <sup>2</sup>
—	Au 197 <sup>2</sup>	Hg 200 <sup>0</sup>	Tl 204 <sup>0</sup>	Pb 207 <sup>10</sup>	Bi 208 <sup>0</sup>	—	—	—
—	—	Rd 226 <sup>0</sup>	Ac ?	Th 232 <sup>1</sup>	—	U 238 <sup>2</sup>	—	—

sadržani  
oblik

**Slika 38.** Tablica ondašnjeg suvremenog periodnoga sustava elemenata iz 1914., objavljena u Janečekovom udžbeniku *Kemija I. opći dio* (Zagreb, 1919.)

Kao što je iz slike tablice periodnoga sustava vidljivo (slika 38.) ona započinje nultom skupinom elemenata, plemenitim plinovima. U ovu su skupinu svrstani He, Ne, Kr i X te

ostavljena mjesta za elemente za koje se predviđa da će tek biti otkriveni. Prva perioda tablice periodnoga sustava započinje s helijem, dok vodik u tablicu nije svrstan. U udžbeniku ne nalazimo razlog ovome, a sam element vodik spominje se na više mjesta i Janeček ga navodi u udžbeniku na popisu poznatih elemenata. Budući da se vodik nalazio odvojen u prvoj periodi na vrhu tablice periodnoga sustava elemenata možda se dogodila tiskarska greška te je on zbog toga izostavljen. U tablici nalazimo galij, germanij i skandij. Unutar skupina elementi su odijeljeni u dva stupca, dok se u zadnjoj VIII skupini, u pojedinim periodama nalaze po tri elementa, npr. Fe, Ni i Co. Također, u tekstu udžbenika spominje se plemeniti plin Nt (niton, danas radon, Ra), no njega ne nalazimo u samoj tablici periodnoga sustava. Nakon objašnjavanja izgleda tablice i Mendeljejevljevih ideja koje su do nje dovele, Janeček govori o prihvaćanju tablice nakon njene objave. Navodi kako je četiri godine nakon Mendeljejevljeve objave uslijedilo otkriće Le Coq de Boisbaudrana koji je objavio da je otkrio galij, element čije je postojanje predviđeno u Mendeljejevljevoj prvotnoj tablici i čija su svojstva opisana u radu iz 1871. godine. No, Janeček ističe kako je 1879. godine uslijedilo i otkriće Nilsona i Clevea, koji su u skandinavskim rudama izolirali skandij kao i otkriće Winklera, koji 1885. u srebrovoj rudi argiroditu nalazi germanij. Janeček ističe kako su nakon ovih otkrića čak i najveći skeptici prihvatili Mendeljevljev periodni sustav. Nastavlja Janeček kako potvrdama periodnoga sustava elemenata ovdje nije bio kraj. Tako on spominje otkriće radija, kao i otkriće plemenitih plinova, He, Ne, Ar, Kr, X i Nt, koji predstavljaju posebnu vrstu kemijskih elemenata (nulta skupina) kojima se periodni sustav nimalo ne narušava, već dodatno nadopunjuje.

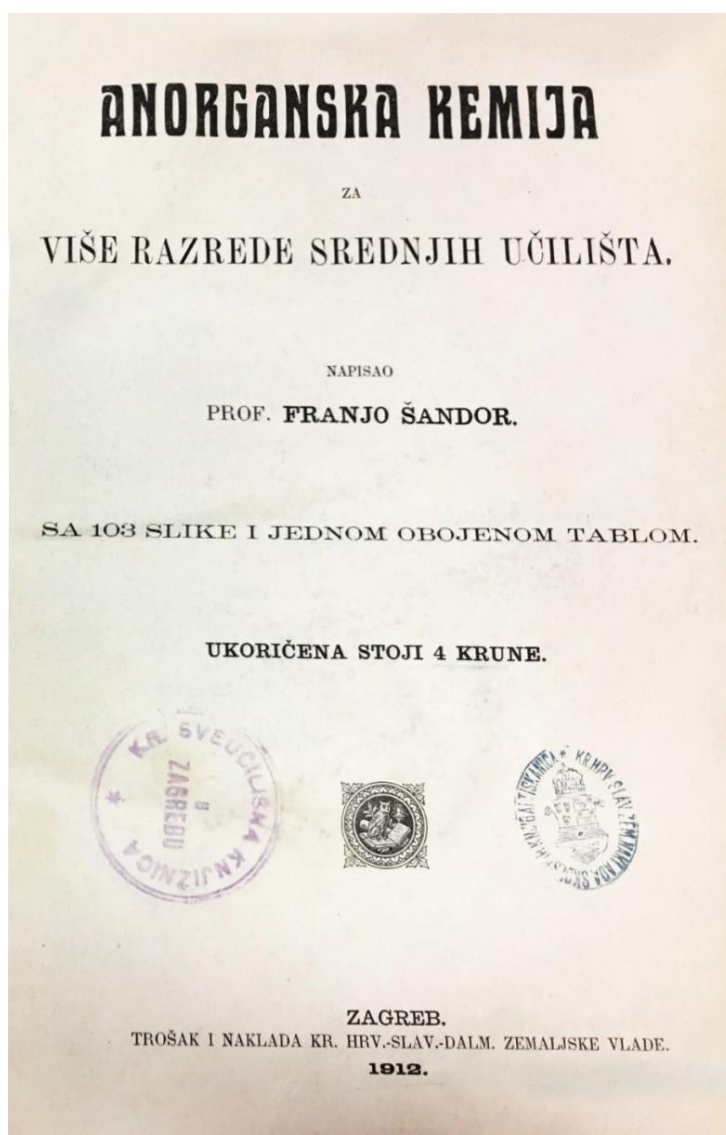
Janečekov priručnik i udžbenik predstavljaju prve sveučilišne udžbenika kemije na hrvatskom jeziku. Svjedoče o temama o kojima se na predavanjima govorilo i podučavalo. Oni su značajno doprinijeli i prihvaćanju kemijske znanstvene terminologije na hrvatskom jeziku. U koncipiranju kako nastave tako i Janečekovog laboratorijskog priručnika i udžbenika prisutan je moderan europski utjecaj, prvenstveno Liebigov, koji je u nastavu kemije uključio i eksperimentalni rad. Upravo na vježbama u novoizgrađenom Kemijskom zavodu izvodili su studenti analitičke i preparativne eksperimente. No, u laboratorijima se provodio i znanstveni rad u kojem su sudjelovali profesori i njihovi studenti. Područja kojima se bavio profesor Janeček bila su brojna. Znanstvena istraživanja provedena su uglavnom iz područja analitičke i forenzičke kemije.

Premda prve tragove periodnog sustava elemenata u Hrvatskoj znanstvenoj sredini nalazimo u već navedenom i opisanom izboru Mendeljejeva za počasnog člana Akademije znanosti i

umjetnosti ipak, najveću je ulogu u diseminaciji Mendeljejevljevih ideja odigrao profesor Janeček. On je periodni sustav uveo u svoja predavanja, a kasnije i u udžbenik kemije (1919.), a u okviru svoje djelatnosti on ga je predstavljao i široj, kulturnoj i društvenoj javnosti, a ne samo akademskoj zajednici. Vremenski okvir u kojem se u hrvatskoj kemijskoj znanstvenoj sredini prati odraz otkrića i razvoja periodnoga sustava jest vrijeme nakon otkrića galija (1875.). Nakon te godine dolazi do organiziranja sveučilišne nastave kemije a potom i objavljivanja sveučilišnih udžbenika kemije, na hrvatskom jeziku, u kojima je prisutan periodni sustav elemenata. Paralelno i u drugim europskim znanstvenim zajednicama možemo pratiti proces prihvatanja i implementacije periodnoga sustava u nastavu kemije kako u srednjoškolskim tako i u visokoškolskim sveučilišnim udžbenicima. Hrvatska kemijska znanstvena sredina u potpunosti je bila upoznata i pratila je nova otkrića u ovom području kemije iako nažalost u njima nije sudjelovala.

### 3.4.2. Udžbenik *Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta* Franje Šandora

Udžbenik Franje Šandora iz 1912. godine, *Anorganska kemija za više razrede* (Šandor, 1912.), donosi informacije i tabelarni prikaz periodnog sustava elemenata (slika 39.). Franjo Šandor naslijedio je Julija Domca 1887. godine kao profesora Kraljevske realke u Zagrebu. Franjo Šandor (1868. – 1922.) diplomirao je 1889. godine na kemijskom odjelu Visoke tehničke škole u Grazu. Od 1899. godine djeluje kao profesor mineralogije i petrografije, a od 1910. i *tloznanstva* na Filozofskom fakultetu u Zagrebu. Od 1910. godine je predstojnik Kraljevskoga hrvatsko-slavonskoga zemaljskoga zavoda za istraživanje tla u Zagrebu. Prvi je profesor pedologije na Gospodarsko-šumarskom fakultetu u Zagrebu.



**Slika 39.** Naslovna stranica udžbenika *Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta* profesora Franje Šandora (Šandor, 1912.)

Simboli i internacionalne težine atoma. <sup>1)</sup>					
Simbol	Element	Težina	Simbol	Element	Težina
Ag	Srebro (Argentum)	107·88	N	Dušik (Nitrogen)	14·01
Al	Aluminij . . . .	27·1	Na	Natrij . . . . .	23·00
Ar	Argon . . . . .	39·88	Nb	Niobij . . . . .	93·5
As	Arsen . . . . .	74·96	Nd	Neodim . . . . .	144·3
Au	Zlato (Aurum) . .	197·2	Ne	Neon . . . . .	20·2
B	Bor . . . . .	11·0	Ni	Nikalj . . . . .	58·68
Ba	Barij . . . . .	137·37	O	Kisik (Oxygen)	16·000
Be	Berilij . . . . .	9·1	Os	Osmij . . . . .	190·9
Bi	Bismut . . . . .	208·0	P	Fosfor . . . . .	31·04
Br	Brom . . . . .	79·92	Pb	Olovo (Plumbum)	207·10
C	Ugljik (Carbonium)	12·00	Pd	Paladij . . . . .	106·7
Ca	Kalcij . . . . .	40·09	Pr	Praseodim . . . .	140·6
Cd	Kadmij . . . . .	112·40	Pt	Platina . . . . .	195·2
Ce	Cerij . . . . .	140·25	Ra	Radij . . . . .	226·4
Cl	Klor . . . . .	35·46	Rb	Rubidij . . . . .	85·45
Co	Kobalt . . . . .	58·97	Rh	Rodij . . . . .	102·9
Cr	Krom . . . . .	52·0	Ru	Rutenij . . . . .	101·7
Cs	Cezij . . . . .	132·81	S	Sumpor . . . . .	32·07
Cu	Bakar (Cuprum) .	63·57	Sb	Antimon . . . . .	120·2
Dy	Disprozij . . . . .	162·5	Sc	Skandij . . . . .	44·1
Er	Erbij . . . . .	167·4	Se	Selen . . . . .	79·2
Eu	Europij . . . . .	152·0	Si	Silicij . . . . .	28·3
F	Fluor . . . . .	19·0	Sm	Samarij . . . . .	150·4
Fe	Željezo (Ferrum) .	55·85	Sn	Kositer (Stannum)	119·0
Ga	Galij . . . . .	69·9	Sr	Stroncij . . . . .	87·63
Gd	Gadolinijski . . . .	157·3	Ta	Tantal . . . . .	181·0
Ge	Germanij . . . . .	72·5	Tb	Terbij . . . . .	159·2
H	Vodik (Hydrogen)	1·008	Te	Telur . . . . .	127·5
He	Helij . . . . .	3·99	Th	Tor . . . . .	232·4
Hg	Živa (Hydrargyrij)	200·0	Ti	Titan . . . . .	48·1
In	Indij . . . . .	114·8	Tl	Talij . . . . .	204·0
Ir	Iridij . . . . .	193·1	Tu	Tulij . . . . .	168·5
J	Jod . . . . .	126·92	U	Uran . . . . .	238·5
K	Kalij . . . . .	39·10	V	Vanadij . . . . .	51·06
Kr	Kripton . . . . .	82·9	W	Volfram . . . . .	184·0
La	Lantan . . . . .	139·0	X	Ksenon . . . . .	130·2
Li	Litij . . . . .	6·94	Y	Itrij . . . . .	89·0
Lu	Lutecij . . . . .	174·0	Yb	Iterbij . . . . .	172·0
Mg	Magnezij . . . . .	24·32	Zn	Tutija (Zincum) .	65·37
Mn	Mangan . . . . .	54·93	Zr	Cirkonij . . . . .	90·6
Mo	Molibden . . . . .	96·0			

**Slika 40.** Popis poznatih kemijskih elemenata s oznakama i vrijednostima atomskih težina iz 1911. u knjizi *Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta* profesora Franje Šandora (Šandor, 1912.)



Na samom početku udžbenika u poglavlju *Označavanje elemenata i kemijskih spojeva* piše Šandor kako je sadašnji način označavanja elemenata, početnim slovom latinskog jezika uz eventualno karakteristično slovo iz imena, prvi uveo Berzelius. Uz to on iznosi tablicu u kojoj su elementi složeni po abecednom redu uz navedeni simbol, ime i atomsku težinu za koju ističe Šandor da su vrijednosti iz 1911. godine (Šandor, 1912.) (slika 40.). Nakon uvodnog poglavlja u udžbeniku Šandor piše poglavlje o *nekovinama* te o *kovinama* gdje se nalazi potpoglavlje *Periodički sustav elemenata*.

Periodički sustav elemenata po Mendelejevu.												
Skupine:	0	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.			
Oblik spojeva s vodikom i halogenima (X):		MX	MX <sub>2</sub>	MX <sub>3</sub>	MX <sub>4</sub>	MX <sub>3</sub>	MX <sub>2</sub>	MX				
Oblik spojeva s kisikom:		M <sub>2</sub> O	MO	M <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MO <sub>2</sub>	M <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MO <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	MO <sub>3</sub>	MO <sub>2</sub>	MO	
Prvi period	niz 1.							H 1·008				
	2.	He 3·9	Li 6·9	Be 9·1	B 11·0	C 12	N 14·01	O 16·000	F 19·0			
Drugi	3.	Ne 20·2	Na 23·0	Mg 24·3	Al 27·1	Si 28·3	P 31·04	S 32·07	Cl 35·46			
	4.	Ar 39·8	K 39·1	Ca 40·1	Sc 44·1	Ti 48·1	V 51·06	Cr 52	Mn 54·93	Fe 55·85	Co 58·77	Ni 58·68
Treći	5.	—	Cu 63·5	Zn 65·3	Ga 69·9	Ge 72·5	As 74·9	Se 79·2	Br 79·82			
	6.	Kr 82·9	Rb 85·4	Sr 87·6	Y 89·0	Zr 90·6	Nb 93·3	Mo 96·0	—	Ru 101·7	Rh 102·9	Pd 106·7
Četvrti	7.	—	Ag 107·8	Cd 112·4	In 114·8	Sn 119	Sb 120·2	Te 127·5	J 126·92			
	8.	X 130·2	Cs 132·8	Ba 137·4	—	—	—	—	—	—	—	
Peti	9.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	10.	—	—	—	Yb 172	—	Ta 181	W 184·0	—	Os 190·9	Ir 193·1	Pt 195·2
	11.	—	Au 197·2	Hg 200	Tl 204	Pb 207·1	Bi 208	—	—	—	—	
	12.	—	—	Ra 226·4	—	Th 232·4	—	U 238·5	—	—	—	

**Slika 41.** Tablica periodnoga sustava prema Mendeljejevljevu u udžbeniku *Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta* Franje Šandora (Šandor, 1912.)

Šandor iznosi kako je pokušaja sistematizacije elemenata bilo nekoliko. U tom smislu navodi Döbereinera i njegove trijade, Newlandsa i pravilo oktava kao i Meyera za kojeg kaže kako je on kao i Mendeljejev uvidio da su svojstva elemenata vezana uz njihovu atomsku težinu. Tako Šandor zaključuje: *vidjet ćemo, da su kemijska i fizička svojstva onih elemenata, koji slijede jedan iza drugoga, doduše različita, ali da se mijenjaju pravilno. Iza određenog pak broja članova prouzrokuje mali prirast atomne težine nenadanu promjenu svojstava. Prekinemo li na tim mjestima niz, dobit ćemo više kraćih (horizontalnih) nizova, koji se zovu periodi. U periodima nižu se elementi po veličini atomne težine. Vrstamo li periode jedan ispod drugog, dobit ćemo i vertikalne nizove – grupe – u kojima se sada nalaze kemijski srodni elementi, koji sačinjavaju prirodne skupine* (Šandor, 1912.). Dalje objašnjava kako su

na taj način poredani elementi koji se nalaze u tablici u udžbeniku, koju detaljnije opisuje. Budući da vodik ima najmanju atomsku težinu, on stoji sam u prvom nizu. Drugi niz započinje u tablici u Šandorovom udžbeniku sa helijem, a za njim su dalje u istom nizu poredani elementi po sve većoj atomskoj težini do fluora. Također napominje kako valencija tih elemenata raste od helija (0) do ugljika (IV) pa onda ponovno pada prema fluoru. Budući da iza fluora prema porastu atomske težine slijedi neon, koji je prema svojstvima sličan heliju, s fluorom se završava prva perioda dok se nova otvara neonom. Atomi se i u drugoj periodi svrstavaju prema porastu atomske težine, a ostale pravilnosti u svojstvima također se ponavljaju. Druga perioda završava s klorom. Treća započinje s novim plemenitim plinom, argonom a završava s bromom. No, treća perioda ne sadrži osam članova, kao prethodne, već osamnaest elemenata, koji su podijeljeni u dva niza. Slično se događa i sa sljedećom, četvrtom periodom, dok peta ima pet nizova, i dosta praznih mjesta. Šandor tumači i na koji se način osim povećanja atomske težine periodično mijenjaju i druga svojstva poput valencije. Od elemenata koji tvore baze pomiče se prema elementima koji tvore kiseline, kako se mijenja metalni karakter ali isto tako i fizička svojstva elemenata poput atomskog volumena, tališta, hlapljivosti, sposobnosti vođenja topline i druga. Na kraju Šandor zaključuje da je iz ovih navedenih činjenica vidljivo: *1. da su sva svojstva pojedinih elemenata periodične funkcije njihovih atomnih težina i 2. da je karakter nekoga elementa, koji se očituje u njegovim fizičkim i kemijskim svojstvima, određen mjestom, koje taj element zauzima u periodičkom sustavu* (slika 41.) (Šandor, 1912a.).

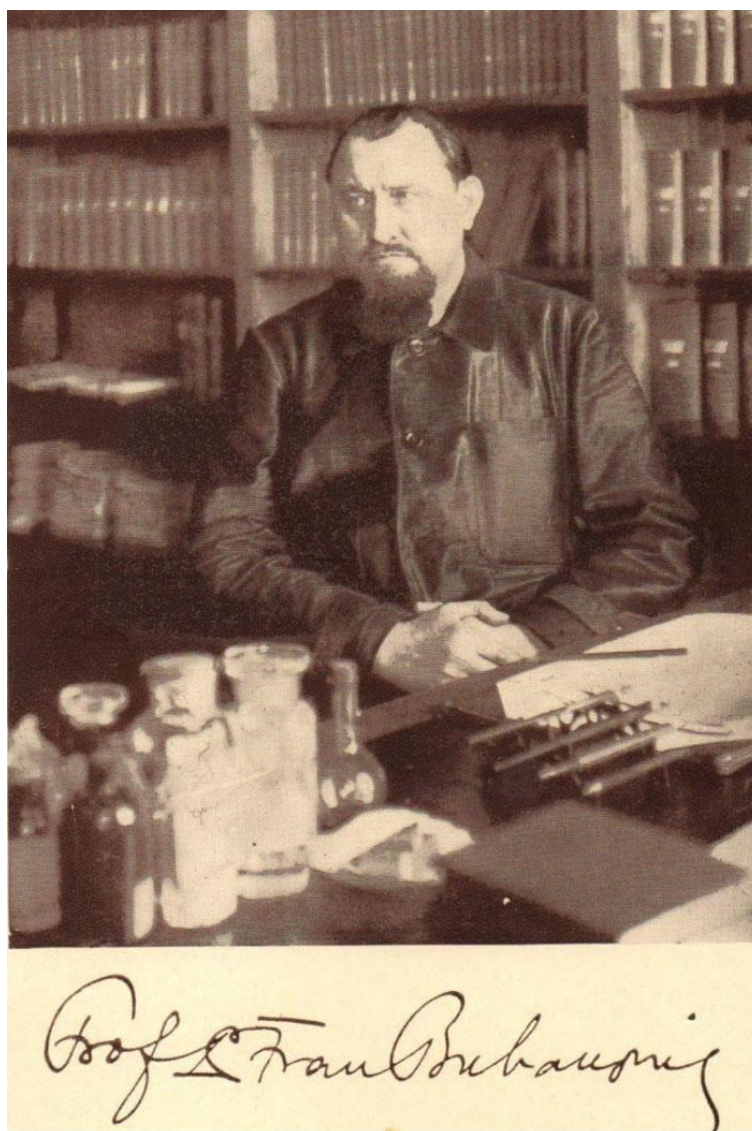
U poglavlju udžbenika posvećenom spektralnoj analizi Šandor donosi i linijske spektre pojedinih elemenata. U ovome poglavlju ističe kako je spektralna analiza dala poticaj ideji kako se atomi sastoje od manjih dijelova, što su tadašnja najnovija istraživanja i potvrdila. Atomi se mogu cijepati na manje čestice, elektrone. Šandor govori ovdje i o radioaktivnosti i radioaktivnom raspadu elemenata (Šandor, 1912b.).

Šandor navodi i literaturu s kojom se koristio pri izradi svoga udžbenika. Tako ovdje nalazimo Domčev udžbenik *Anorganska kemija* (1901.), udžbenik *Lehrbuch der Electrochemie* (1904.) Svante Arrheniusa, Erdmanov *Lehrbuch der anorg. Chemie* (1910.), Hollemannov *Lehrbuch der anorganischen Chemie* (1911.) kao i aktualne Ostwaldove udžbenike.

Između tablice periodnoga sustava koji se nalazi u Domčevu udžbeniku i one u Šandorovom udžbeniku postoje razlike. Šandor u svoju tablicu uvodi nultu skupinu elemenata, plemenite plinove, koja kod Domca nije postojala. Mjesto vodika u tablici također nije jednako. Kod

Domca on se nalazi iznad prve periode u prvoj skupini, dok ga kod Šandora nalazimo iznad prve periode ali u sedmoj skupini. U Šandorovoj tablici ne postoji element cerij (Ce), koji nalazimo kod Domca. Kod Šandora se u tablici nalazi radon (Rn, 226), koji ne postoji u Domčevoj tablici. U Domčevoj i u Šandorovoj tablici nalazimo u osmoj skupini metale koji su podijeljeni u tri podskupine (Fe, Co, Ni; Ru, Rh, Pd i Os, Ir, Pt). Vezano uz građu atoma Šandor navodi kako postoje manje čestice, elektroni, koje se nalaze unutar atoma što potvrđuje da je pratio najnovija istraživanja onog doba vezana uz građu atoma. U Domčevu udžbeniku se daju samo pretpostavke da se atomi sastoje od manjih čestica i imaju unutarnju građu, no Domac ih još ne imenuje.

### 3.4.3. Fran Bubanović i periodni sustav elemenata

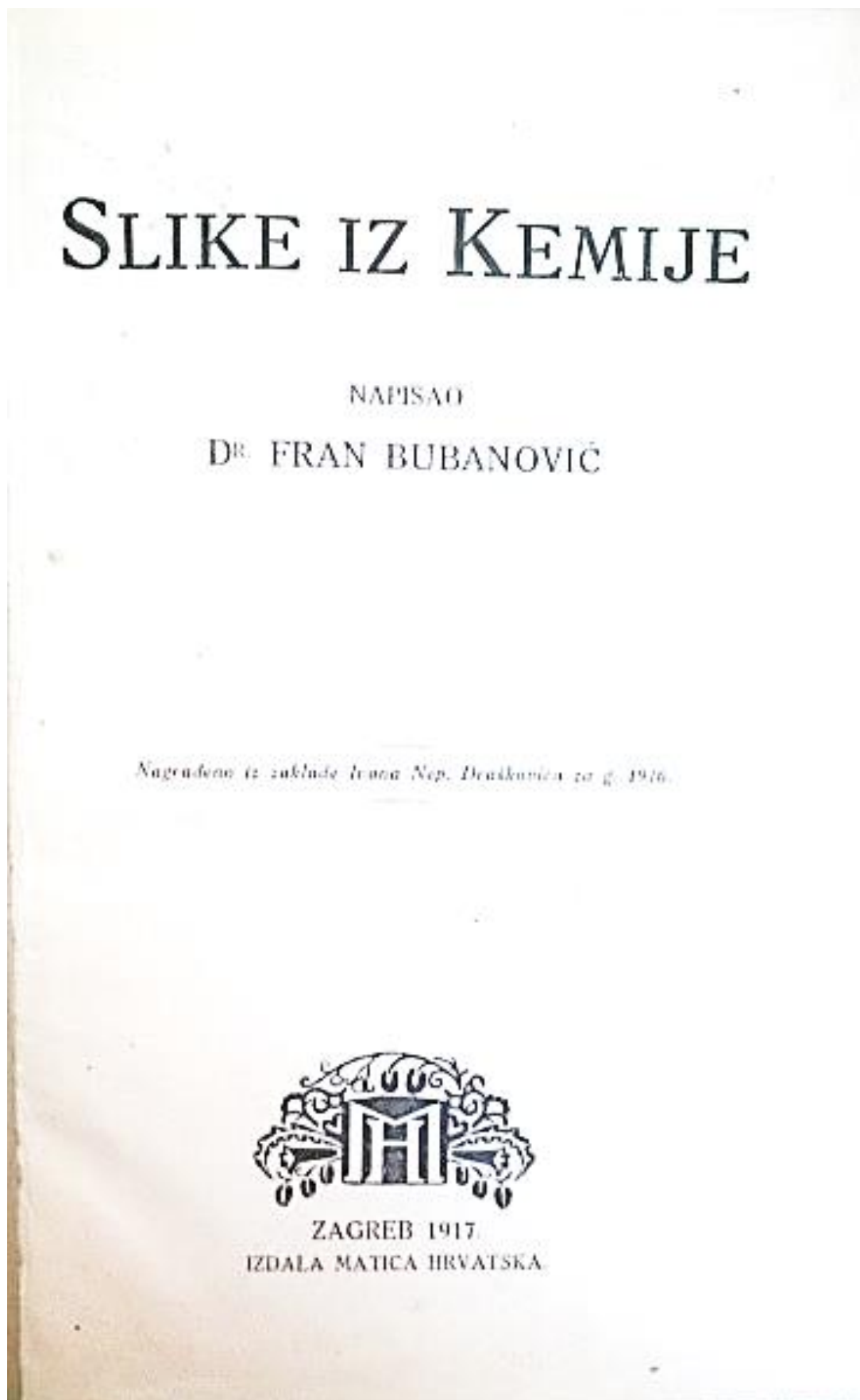


**Slika 42.** Fran Bubanović (1883. – 1956.)

Fran Bubanović (1883. – 1956.), hrvatski kemičar (slika 42.), osnovnu je školu završio u rodnome gradu Sisku, dok je u Zagrebu pohađao Klasičnu gimnaziju. Kemiju i prirodopis studirao je u Zagrebu kod Gustava Janečka. Po završetku studija postaje Janečekov asistent, u sveučilišnom Kemijskom zavodu u Zagrebu. Predavao je kemiju na Prvoj gimnaziji u Zagrebu i Kraljevskoj realnoj gimnaziji u Bjelovaru. Od 1909. usavršavao se u Austriji (Beč) i Nizozemskoj (Gröningen) te kod nobelovca Svante Arrheniusa (1859. – 1927.) u Stockholmu u Švedskoj, s kojim je njegovao doživotno prijateljstvo. Godine 1918. izabran je za profesora kemije na novoosnovanom Medicinskom fakultetu u Zagrebu gdje je razvio opsežnu znanstvenu i pedagošku djelatnost. Bubanovića povijest kemije smatra prvim profesorom medicinske kemije i njezinim osnivačem u Hrvatskoj (tadašnjoj Kraljevini Srba,

Hrvata i Slovenaca). Istaknuo se kao pisac modernih sveučilišnih udžbenika u kojima je, prvi u Hrvatskoj, obuhvatio cjelokupnu anorgansku i organsku kemiju te biokemiju. Njegov znanstveni rad obuhvaća uglavnom područje fizikalne kemije (tekuće stanje, živa stanica, membrane), analitičke kemije i biokemije. Bavio se i popularizacijom kemije te esejistikom, pišući o problemima nastave, znanstvene politike i filozofije znanosti. Pisac je modernog sveučilišnog udžbenika pod naslovom *Kemija* (1930., prvo izdanje) u kojem je, prvi u nas, obuhvatio sveukupnu anorgansku i organsku kemiju te biokemiju. Pisao je i popularna djela iz kemije: *Slike iz kemije* (Zagreb, 1917.), *Kemija živih bića* (Zagreb, 1918.), *Iz moderne kemije* (Zagreb, 1929.), *Značaj kemije* (Zagreb, 1934.), *Zašto jedemo?* (Zagreb, 1948.) i dr. (Mikšić, 1933.; Grdenić, 1953.; Senčar-Čupović, 1989a.).

Fran Bubanović svojim je radom i djelima uvelike pridonio popularizaciji kemije u Hrvatskoj. Tako upravo u popularnoj knjizi profesora Bubanovića *Slike iz kemije* (Zagreb, 1917.) nalazimo i njegovo prvo spominjanje periodnoga sustava elemenata kao i samu tablicu (slika 43.) (Bubanović, 1917.).



**Slika 43.** Naslovna stranica popularne knjige *Slike iz kemije* profesora Frana Bubanovića (Bubanović, 1917.)

3.4.3.1. Bubanovićeva knjiga *Slike iz kemije*

U svojoj knjizi *Slike iz kemije* profesor Bubanović naglašava kako *Ja ne bih na ovom mjestu čitaoca mučio s ovim malo teže shvatljivim stvarima, kako se dolazi do atomnih težina elemenata, kad se ne bi na osnovu tih naoko bezvrijednih i običnih brojaka došlo u razvoju kemijske nauke do osobito zanimljive i važne posljedice, koja se slobodno može nazvati najdubokoumnijom tekovinom kemijske nauke. Ona je djelo najvećeg ruskog kemika Dmitra Ivanovića Mendeljejeva, po kom je ovjenčan neumrlom slavom za sve vijekove. Mendeljejev je naime na osnovu atomnih težina svrstao sve kemijske elemente u jedan prirodni sustav, koji se nije pokazao od koristi samo kao neki pregled elemenata, nego su se iz toga sustava dale povući vrlo važne teoretske i praktičke posljedice* (Bubanović, 1917a.). Prije same Mendeljejevljeve tablice (slika 44.) Bubanović donosi tablicu tada poznatih elemenata, poredanih po abecedi, sa simbolom svakog elementa, latinskim i/ili hrvatskim imenom i atomskom težinom.

**Mendeljejevov prirodni sustav elemenatâ.**

Redovi:	Grupa 0	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4	Grupa 5	Grupa 6	Grupa 7	Grupa 8
1		H 1,008							
2	He 3,99	Li 6,94	Be 9,1	B 11,0	C 12	N 14	O 16	Fl 19	
3		Na 23,0	Mg 24,32	Al 27,1	Si 28,3	P 31,04	S 32,07	Cl 35,46	
4	Ar 30,88	K 39,1	Ca 40,09	Sc 41,1	Ti 48,1	V 51,06	Cr 52	Mn 51,93	Fe 55,85
5		Cu 63,6	Zn 65,37	Ga 69,9	Ge 72,5	As 74,96	Se 79,2	Br 79,72	Co 58,97
6	Kr 82,9	Rb 85,4	Sr 87,63	Y 89,0	Zr 90,6	Nb 93,5	Mo 96,0		Ni 58,68
7		Ag 107,88	Cd 112,40	In 114,8	Sn 119,0	Sb 120,2	Te 127,5	I 126,92	
8	Xe 130,2	Cs 132,81	Ba 137,37	La 139	Ce 140,25				
9									
10				Yb 172		Ta 181	W 184		Os 190,9
11		Au 197,2	Hg 200	Tl 204	Pb 207,1	Bi 208			Ir 193,1
12			Ra 226,4		Th 232,4		U 238,5		Pt 195,2

**Slika 44.** Mendeljejevljeva tablica periodnoga sustava elemenata iz knjige *Slike iz kemije* Frana Bubanovića (Bubanović, 1917.)

Zatim Bubanović ulazi u raspravu kako je i na koji način Mendeljejev načinio svoju tablicu. Govori kako su mu kao polazne točke poslužile atomske težine elemenata, za koje zaključuje kako su očito nekakvo prvotno ili primarno svojstvo uz koje je vezana narav elemenata. Piše kako je Mendeljejev 1869. godine poredao sve elemente u niz počevši s najmanjom atomskom težinom, a završio je s najvećom. Tada je Mendeljejev došao do zanimljive spoznaje o sličnim pravilnostima u izmjenjivanju kemijskih svojstava elemenata te je elemente sa sličnim svojstvima grupirao u vertikalne skupine. Tako je Mendeljejev dobio prirodan sustav elemenata, tumači Bubanović. Prirodan zato što se iz sustava jasno vidi da svojstva elemenata pravilno ovise o njihovim atomima ili o atomskim težinama. Bubanović također objašnjava kako nam tablica na prvi pogled ne otkriva sva njezina značenja. Tablica koju Bubanović prikazuje u knjizi sastoji se od dvanaest redova i osam skupina, odnosno devet, jer postoji i nulta skupina. Bubanović kratko tumači kako svaki element iste skupine posjeduje slična svojstva te zaključuje kako je periodni sustav elemenata izvanredno pedagoško pomagalo koje ne samo da olakšava učenje kemije nego odmah daje jedinstvenu sliku i predočava zajedničku vezu između najrazličitijih elemenata. Prema Bubanoviću, učenik iz ovog sustava može zaključiti kako su svi elementi: *djeca jedne zajedničke majke, jedne i jedinstvene pramaterije, iz koje su svi elementi proizašli* (Bubanović, 1917b.).

Osim toga, postoje i važnije stvari koje možemo vidjeti u periodnome sustavu elemenata. Bubanović naglašava kako je praznih mjesta u prvotnoj Mendeljejevljevoj tablici bilo puno više te im je on preokao svojstva. Navodi kako su neki od tih elemenata ubrzo pronađeni, poput galija (1875.) i germanija (1886.). Zaključuje kako su ova otkrića raspršila bilo kakvu sumnju u važnost i vjerodostojnost periodnoga sustava. Nadodaje kako će Mendeljejevljev sustav još dugo biti izvor i poticati na napredak kemije. Bubanović ovdje otvara i diskusiju o građi materije. Tumači kako se otkrićem radija, koji su otkrili supružnici Curie došlo do novih zanimljivih spoznaja i pitanja vezanih uz građu elemenata.

Bubanović u nastavku izlaže kako se pojam elementa na osnovu otkrića vezanih uz radij mora nešto promijeniti. Kaže kako neke činjenice vezane uz raspadanje elemenata zahtijevaju ponovno razmišljanje o dosadašnjim shvaćanjima o materiji i energiji. Bubanović piše kako je J. J. Thomson po tom pitanju iznio svoja otkrića. Prema njegovoj teoriji o sastavu materije, kako Bubanović piše, nisu atomi najmanje nedjeljive čestice. Ima još manjih, od kojih se atomi sastoje i koji izgrađuju atome. To su elektroni. U znanosti je do otkrića elektrona ideja o atomu kao čestici koja je nedjeljiva postojala i bila prihvaćena još od doba Demokrita. Međutim početkom 20. stoljeća znanstvenici su došli do otkrića elektrona, alfa-čestice, fotona



te se ideja o građi samog atoma promijenila te je uviđeno kako atomi imaju složenu unutarnju građu. Prvi pokušaj prikaza i objašnjenja građe atoma načinio je 1903. godine J. J. Thomson. Prema Thomsonovom viđenju o građi atoma, atom je električno nabijena kuglica, s ravnomjerno raspoređenim električnim nabojem, u kojoj se nalaze negativno nabijeni elektroni, koji imaju neutralan učinak na prostorni pozitivni naboj te kuglice. Pretpostavljalo se da u tom modelu atoma, elektroni titraju oko svojih ravnotežnih položaja. Godine 1912. kada su J. J. Thomson i njegov pomoćnik Francis William Aston usmjerili struju ioniziranog neona s magnetnim i električnim poljem, izmjerili su skretanje i napravili fotografiju njihovih puteva. Vidjeli su dvije različite linije skretanja, te su zaključili da se radi o atomima neona različitih masa (neon-20 i neon-22). To je bio prvi dokaz postojanja izotopa. Nešto prije tog pokusa, Frederick Soddy je teorijski predložio postojanje izotopa.

Profesor Bubanović već u ovoj popularnoj knjizi vezanoj za kemiju spominje građu atoma te elektrone u poglavlju *Slavenski preteče moderne atomistike (Ruđer Bošković i Mihajlo Vasiljević Lomonosov)* (Bubanović, 1917c.). Bubanović elektrone ovako definira: *I to su čestice nabijene elektricitetom. Ali ne atomi nabijeni elektricitetom, nego čestice još daleko manje od atoma, neki prvotni i početni atomi, na koje se obični kemijski atomi elemenata još i dalje u izvjesnim slučajevima raspadaju* (Bubanović, 1917d.). Navodi dalje i karakteristike elektrona poput gotovo nikakve mase i negativnog električnog naboja kojeg nose na sebi. Pojašnjava kako je teorija o elektronima nastala vezano uz potrebu objašnjenja pojave radioaktivnosti, za koju ponovno daje definiciju: *radioaktivnost, tj. pojava da se element radij spontano, sam od sebe, raspada na emanaciju, na novi element niton, a ovaj dalje na već otprije poznat element helij* (Bubanović, 1917d.). Objašnjava kako se radij raspada na manje čestice, kod tog se raspadanja oslobađaju  $\alpha$ ,  $\beta$ , i  $\gamma$  radijeve zrake. Navodi kako je dokazano da  $\alpha$  zrake nisu ništa drugo nego jezgre helija. Budući da  $\beta$  zrake karakterizira negativan naboj one nisu ništa drugo nego elektroni. Bubanović također navodi kako je engleski fizičar J. J. Thompson izgradio u posljednjem stoljeću novu teoriju o građi materije prema kojoj su kemijski atomi sastavljeni od prvotnih korpuskula, od čestica koje nemaju masu, koje su sama energija i elektricitet. Ovo je objavio Thompson 1907. godine u svojoj knjizi *Korpuskularna teorija materije* (Bubanović, 1917e.).

Dio Bubanovićeve knjige posvećeno je kemijskim elementima. Već iz uvodnih rečenica poglavlja vidljivo je kako znanstvena otkrića iz kemije vezana uz razvoj periodnoga sustava elemenata nisu bila primljena samo u znanstvenoj zajednici već i puno šire: *Ima otkrića na polju prirodnih nauka, koja brzo prodru u najšire slojeve. Sjećam se, da me je iznenadilo, kad*

*sam se unatrag neko deset godina vozio u svoj rodni grad i razgovarao s nekim obrtnikom odanle, a taj me je upitao: kakav je to novi element radij? (Bubanović, 1917f.)*

Bubanović navodi kako su kemičarka Sklodowska-Curie i njezin suprug u uranijevoj rudači otkrili novi element, radij, koji ima vrlo posebna svojstva. Navodi kako je i ovaj element s atomnom težinom 226,4 lijepo pristao u Mendeljejevljev periodni sustav elemenata. Za pojavu radioaktivnosti Bubanović zapisuje: *Nije čudo, što su ta otkrića malo osupnula ne samo naučnjake, nego su se kao čudovište nekako raširila i u radoznali svijet. Jer tu se radi o onome, o što su sebi stoljeća alkemisti razbijali uzalud glavu, naime o prelazu jednog elementa u drugi. San njihov bio je time napokon oživotvoren (Bubanović, 1917g.).*

Također govori o  $\alpha$ ,  $\beta$ , i  $\gamma$  zrakama. Objašnjava položaj radija u periodnome sustavu elemenata. Radij je kovina, koja se nalazi u drugoj skupini i sličan je s *vapnikom* ili kalcijem. Helij,  $\alpha$  zrake, je plin i to tako zvani plemeniti plin, koji se ne spaja ni s jednim drugim elementom, njemu je slične plinove otkrio Ramsey, navodi Bubanović, a oni se nalaze u nultoj skupini Mendeljejevljevog periodnog sustava elemenata (Bubanović, 1917h.).

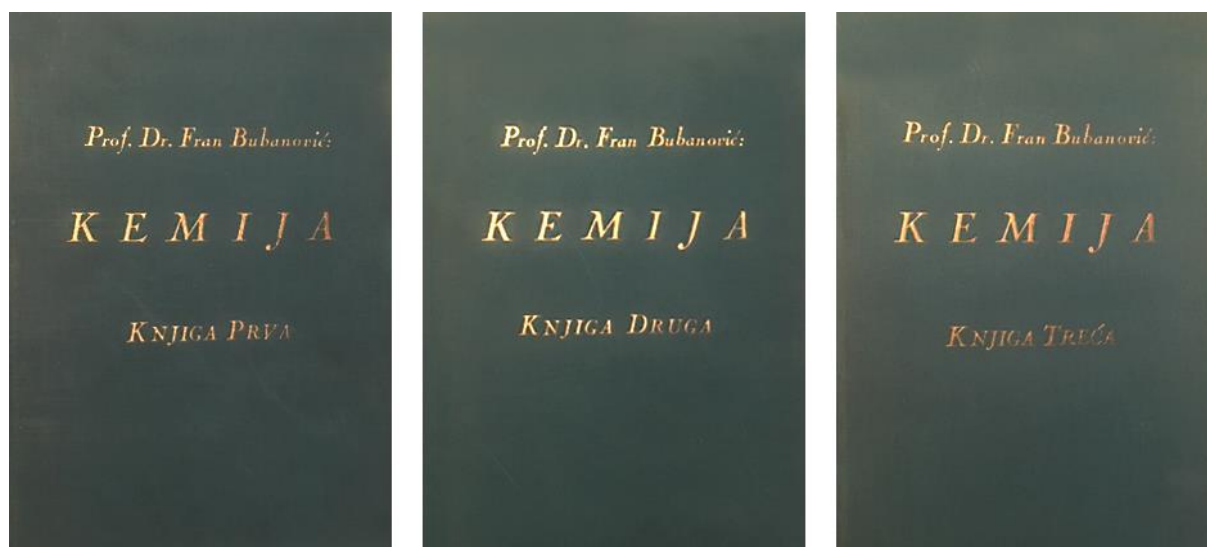
Knjiga *Slike iz kemije* (1917.) predstavlja jednu od prvih popularnih publikacija na hrvatskom jeziku koja detaljno govori o periodnome sustavu elemenata. Ne samo da se govori o njegovu otkriću već i o daljnjim otkrićima vezanim uz njegovj razvoj. Određeni dijelovi, poput onog o otkriću radija, svjedoče o tome da ova znanstvena otkrića nisu ostajala poznata samo znanstvenoj već i široj društvenoj zajednici.

Bubanovićeva knjiga *Slike iz kemije* izdana je iste godine kada je u Zagrebu napokon osnovan Medicinski fakultet (1917.). Kako se tada kemija kao predmet, koji je uveden i u kurikulum novoosnovanog Medicinskog fakulteta, već predavala na Mudroslovnom fakultetu, Janečeku i Bubanoviću povjerena je nastava za predmete *eksperimentalna ludžba* (Janeček) i *liječnička kemija* (Bubanović). Slične probleme kakve je imala nastava kemije kada se počela održavati na novoobnovljenom Sveučilištu u Zagrebu imala je i nastava kemije na novoutemeljenom Medicinskom fakultetu. Kako fakultet nije imao vlastitih prostorija niti laboratorija za provođenje nastave iz kemije, ona se odvijala na Filozofskom fakultetu. No, već 1918. godine profesor Bubanović osnovao je Zavod za primijenjenu liječničku kemiju. Zavod je bio smješten u zgradi gimnazije na Šalati, a prostorije namijenjene novoj djelatnosti u potpunosti su adaptirane prema Bubanovićevoj zamisli. Bubanović je također bio dekan Medicinskog Fakulteta (1921./1922., 1930./1931.), i to kako se ističe u literaturi, kao jedini nemedicinar na toj dužnosti od osnutka Fakulteta do danas. Bubanović je, slično kao njegov učitelj Janeček,

uredio Zavod tako da je bio najmoderniji fakultetski kemijski zavod u to doba u Hrvatskoj, s predavaonicom, laboratorijem i knjižnicom. Nakon osnivanja Medicinskog fakulteta i Zavoda profesor Bubanović se sve više okreće nastavi i pisanju priručnika i udžbenika. No, Bubanovićev veliki doprinos nastavi nije se očitovao samo izdavanjem udžbenika i priručnika iz praktikuma, već i u njegovoj ulozi sjajnog predavača o čemu svjedoče rečenice i zapisi njegovih kolega i nekadašnjih studenata. Njegova predavanja na kojima je uvijek iznosio činjenice, studenti su, bez izuzetka, rado slušali jer su bila jasna i lako shvatljiva. Prema zapisima njegova suradnika Tomislava Pintera (1890. – 1980.), za Bubanovića su govorili da predaje i govori kao da iz knjige čita, a predavanja su mu uvijek bila popraćena efektinim pokusima (Medicinski fakultet, 2017.; Damjanović *et al.*, 2017.).

### 3.4.3.2. Bubanovićev udžbenik *Kemija*

Godine 1930. izdan je udžbenik *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije* u Zagrebu (Bubanović, 1930.) (slika 45.) koji se sastojao od tri knjige.



**Slika 45.** Naslovnice tri sveska udžbenika *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije* Frana Bubanovića, prvo izdanje (Bubanović, 1930.)

U prvoj je knjizi profesor Bubanović obradio teorijski ili opći dio kemije i anorgansku kemiju, u drugoj knjizi obrađene su teme organske kemije i biokemije dok se u trećoj knjizi nalaze kemijske analitičke vježbe i kemijska analiza mokraće. Ovaj udžbenik profesora Bubanovića predstavlja prvi cjelokupni sveučilišni udžbenik iz kemije (anorganske i organske) napisan na hrvatskom jeziku. Već u samom predgovoru profesor Bubanović ističe ulogu i značaj eksperimentalne nastave kemije: *Što se specijalno kemije tiče, treba istaći još ovo. Najbolje u ovakvu smislu pisana knjiga ne može zamijeniti živu riječ, popraćenu*

*valjanim i vješto odrađenim demonstracijama i eksperimentima. Tim eksperimentima pripada u prvom redu zadatak, da prikažu čiste kemijske činjenice bez obzira na teorijsko njihovo značenje. Zato ih izvodimo, u što većim dimenzijama i s tendencijom, da u onih slušača, koji uopće nemaju još nikakva znanja iz kemije, zgodnim eksperimentalnim senzacijama probudimo interes za kemijsku nauku (Bubanović, 1930a.).*

Profesor Fran Bubanović u svom udžbeniku *Kemija* iz 1930. godine u predgovoru navodi: *Na svršetku predavanja iz opće kemije izložena je moderna sistematika elemenata, prema kojoj sistematici su onda udešena predavanja iz anorganske kemije. Elementi dakle i njihovi spojevi prikazuju se u anorganskom dijelu kemije tako, da se ide postepeno redom po skupovima (grupama) Mendeljejevog sistema elemenata.* Posebno poglavlje knjige posvećeno je sistematizaciji elemenata te u ono doba najnovijoj modifikaciji periodnog sustava elemenata. Predavanja iz anorganske kemije započinje s nultom skupinom elemenata tj. plemenitim plinovima. Uz udžbenik je kao prilog tiskana i posebna tablica periodnog sustava elemenata za koju Bubanović navodi: *Kod proučavanja elemenata dobro je imati ovu tabelu uvijek pred sobom razastrtu na stolu!* (Bubanović, 1930b.)

Za razliku od Domčeva udžbenika *Anorganska kemija* (Zagreb, 1901.), u kojem je on naglasio željenje što njegov udžbenik nije napisan prema periodnome sustavu elemenata, udžbenik *Kemija* (Zagreb, 1930.) upravo prati tablicu periodnoga sustava elemenata. Dakle, elementi i njihovi spojevi prikazuju se u dijelu udžbenika koji je posvećen anorganskoj kemiji upravo onim redom kako su poslagani u skupinama Mendeljejevljeva periodnoga sustava elemenata.

Bubanović priču o atomima započinje u poglavlju *Teorija o atomima i molekulama* u kojem navodi kako pojam atoma nalazimo već kod grčkih filozofa te kao primjer navodi Demokrita. Također piše kako su uz pojam atoma Grci uveli i ideju o postojanju elemenata, i to četiri osnovna: zemlju, vodu, zrak i vatru, no ne spominje niti Aristotela niti druge grčke filozofe. Ističe kako se uz pojam atoma u šesnaestom stoljeću javlja i ideja o postojanju molekula te spominje filozofa prirode Pierra Gassendija (1592. – 1655.). Ističe kako su za preteču moderne teorije o atomima i molekulama vrlo važna dva slavena, Mihailo Vasiljevič Lomonosov i Ruđer Bošković te ukratko iznosi njihove stavove i ideje. Dalje navodi kako je u 19. stoljeću Dalton otkrio zakon spajanja u omjerima te je istraživajući načine spajanja materije, onome što je on smatrao najsitnijim česticama dao ime atom. Ističe kako su po Daltonu atomi najmanje i ujedno nedjeljive čestice. Nadalje piše kako je idući korak napravio Amadeo Avogadro kada je u kemiju uveo veće čestice od atoma, molekule. Navodi kako i

teorija o molekulama i dalje atome definira kao najmanje nedjeljive čestice elemenata. Poglavlje o atomima i molekulama zaključuje Bubanović podatkom o tadašnjem pronalasku čitavog niza nepobitnih dokaza i otkrivanja metoda za određivanje samostalne egzistencije najmanjih *partikula* materije za koje ovdje piše da su atomi i molekule. Time Bubanović završava poglavlje ne otvarajući raspravu o građi atoma ili postojanju manjih čestica. Nakon ovog poglavlja u udžbeniku slijedi poglavlje *Metode određivanja molekulskih težina* te poglavlje *Atomi elemenata i njihova svojstva*. (Bubanović, 1930c.) U poglavlju o elementima Bubanović govori o uvođenju kemijske simbolike za pojedine elemente u kemiju, od alkemijskih koji su vezali elemente uz nebeska tijela kao na primjer zlato sa suncem ili srebrom s mjesecom, preko Daltona i njegovih simbola do Berzeliusa koji je uveo sustav koji i danas koristimo. Pojedini se elementi označavaju prvim ili prvim i drugim slovom njihova latinskog imena. Uz to u ovom poglavlju donosi Bubanović tablicu tada poznatih elemenata koja je složena po abecednome redu simbola elemenata, a u sebi sadrži podatke o imenu elementa (hrvatsko i latinsko), simbolu i atomskoj težini. Bubanović ističe kako je ova tablica elemenata izdana od Komisije za kontrolu atomskih težina iz 1928. godine. U toj tablici nalazimo primjerice element *kasiopeium*, Cp, atomske težine 175.<sup>16</sup> Bubanović naglašava kako se u tablici ne nalaze neki elementi poput *masurija* ( $Z = 43$ )<sup>17</sup> i *renija* (Re,  $Z = 75$ ) koje komisija tada još nije potvrdila, ali dodaje kako se u njoj, na primjer, nalazi hafnij, koji je također otkriven u vrijeme kada je Bubanović objavio svoj udžbenik, a njegovo je postojanje bilo provjereno (slika 46.).

---

<sup>16</sup> Danas taj element nosi naziv lutecij, Lu ( $Z = 71$ ,  $A_r = 174,97$ ).

<sup>17</sup> Danas je mazurij u periodnom sustavu unesen pod imenom tehnecij, Tc.

Simbol:	Ime:	Atomska težina:
Ag	Srebro ili Argentum	107,88
Al	Aluminium	26,97
Ar	Argon	39,94
As	Arsen	74,96
Au	Zlato ili Aurum	197,2
B	Bor	10,82
Ba	Barium	137,57
Be	Berilium	9,02
Bi	Bizmut	209,00
Br	Brom	79,91
C	Ugljik ili Carbonium	12,00
Ca	Calcium	40,07
Cd	Cadmium	112,40
Ce	Cerium	140,2

Simbol:	Ime:	Atomska težina:
Cl	Klor ili Hlor	35,45
Co	Kobalt	58,97
Cp	Kasiopeium	175,0
Cr	Krom ili Hrom	52,01
Cs	Cesium	132,81
Cu	Bakar ili Cuprum	63,57
Dy	Dysprosium	162,5
Em	Emanacija ili Niton	222
Er	Erbium	167,7
Eu	Europium	152,0
F	Fluor	19,00
Fe	Željezo ili Ferrum	55,84
Ga	Galium	69,72
Gd	Gadolinium	157,5
Ge	Germanium	72,60
H	Vodik ili Hydrogenium	1,008
He	Helium	4,00
Hf	Hafnium	178,6
Hg	Ziva ili Hydrargyrum	200,61
Ho	Holmium	165,5
In	Indium	114,8
Ir	Iridium	195,1
J	Jod	126,92
K	Kalium	39,10
Kr	Kripton	82,9
La	Lantan	138,90
Li	Litium	6,94
Mg	Magnesium	24,32
Mn	Mangan	54,95
Mo	Molibden	96,0
N	Dušik ili Nitrogenium	14,008
Na	Natrium	22,99
Nb	Niobium	95,5
Nd	Neodim	144,27
Ne	Neon	20,2
Ni	Nikalj	58,68
O	Kisik ili Oxygenium	16,000

Simbol:	Ime:	Atomska težina:
Os	Osmium	190,9
P	Fosfor	31,04
Pb	Olovo ili Plumbum	207,2
Pd	Paladium	106,7
Pr	Praseodim	140,92
Pt	Platina	195,2
Ra	Radium	225,97
Rb	Rubidium	85,45
Rh	Rhodium	102,9
Ru	Rutenium	101,7
S	Sumpor	32,07
Sb	Stibium ili Antimon	121,76
Sc	Scandium	45,10
Se	Selen	79,2
Si	Silicium	28,05
Sm	Samarium	150,4
Sr	Stroncium ili Kositar	118,70
Sr	Stroncium	87,65
Ta	Tantal	181,5
Tb	Terbium	159,2
Te	Telur	127,5
Th	Thorium	232,12
Ti	Titan	47,90
Tl	Talium	204,59
Tu	Tulium	169,4
U	Uran	238,18
V	Vanadium	51,0
W	Wolfram	184,0
X	Xenon	150,2
Y	Ytrium	88,95
Yb	Yterbium	173,5
Zn	Cinak ili Zincum	65,38
Zr	Zirkonium	91,25

**Slika 46.** Popis poznatih elemenata s navedenim simbolom, imenom (na hrvatskom i latinskom jeziku) i atomskom težinom koja je objavljena u Bubanovićevom udžbeniku *Kemija* (1930., prvo izdanje)

Poglavlje *Sistematika elemenata* Bubanović otvara tvrdnjom da se svi elementi mogu svrstati u jedan prirodni sistem. Ističe kako se kao osnova za sistematizaciju elemenata uzelo primarno svojstvo elemenata, njihova atomska težina: *Naučenjak, koji je ne toj osnovi izgradio jednu prirodnu sistematiku elemenata, je ruski kemičar Dmitar Ivanović Mendeljejev. Njegova sistematika elemenata zove se prirodni periodski sistem elemenata i zauzima od vremena svog postanja, do danas u kemijskoj nauci osobito plodonosno mjesto, jednako vanredno didaktičko pomagalo za proučavanje elemenata, kao i za postignuće znatnih novih teorijskih i praktičnih otkrića* (Bubanović, 1930d.).

Bubernović dalje opisuje kako je Mendeljev došao do ideje o izgledu periodnoga sustava elemenata, koji je podijeljen na horizontalne redove ili nizove elemenata i na vertikalne grupe ili skupine elemenata. Navodi kako je bilo 8 grupa, a 12 redova, no nisu svi redovi bili jednako dugi. Zbog toga je Mendeljev potpisao elemente parnih redova jedne pod druge kao i elemente neparnih redova također jedne pod druge. Tako je dobio da u svakoj grupi (osim osme) postoje dva dijela, dio  $a$  i dio  $b$ , u kojim se nalaze srodni elementi. Definira Bubernović i Mendeljev osnovni periodni zakon: *Svojstva su elemenata funkcije njihovih atomskih težina* (Bubernović, 1930e.). Dodaje kako su svojstva periodične funkcije, za koja objašnjava da je to analogno svojstvu u matematici gdje je npr  $y$  funkcija od  $\sin x$ , onda svaki put kada vrijednost  $x$  poraste za  $2\pi$ ,  $y$  poprima opet istu vrijednost. Bubernović zaključuje da se analogna periodičnost očituje i u periodnome sustavu elemenata.

Bubernović izlaže kako je Mendeljev iznio svoju osnovnu misao o periodnome sustavu elemenata 1869. godine, a do 1905. godine vodio je brigu oko razvoja i modificiranja svoga sustava. Navodi kako se u udžbeniku koji je napisao Mendeljev *Osnove kemije* (osmo izdanje, 1906.) nalazi na početku knjige Mendeljevleja tablica elemenata, te zaključuje kako je to njegova posljednja modifikacija tablice, jer je Mendeljev preminuo 1907. godine (slika 47.). U svom udžbeniku profesor Bubernović kao povijesni dokument donosi tu tablicu kojoj detaljno objašnjava izgled.

PERIODSKI SISTEM ELEMENATA PO GRUPAMA I REDOVIMA.

R E D	GRUPE ELEMENATA											
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	—	H 1,008	—	—	—	—	—	—	—			
2	He 4,0	Li 7,03	Be 9,1	B 11,0	C 12,0	N 14,01	O 16,0	F 19	—			
3	Ne 19,9	Na 23,05	Mg 24,36	Al 27,1	Si 28,2	P 31,0	S 32,06	Cl 35,45	—			
4	Ar 38,0	K 39,15	Ca 40,1	Sc 44,1	Ti 48,1	V 51,2	Cr 52,1	Mn 55,0	Fe 55,9	Co 59,8	Ni 59,0	(Cu)
5	—	Cu 63,6	Zn 65,4	Ga 70,0	Ge 72,5	As 75,0	Se 79,2	Br 79,95	—	—	—	—
6	Kr 81,8	Rb 85,5	Sr 87,6	Y 89,0	Zr 90,6	Nb 94,0	Mo 96,0	—	Ru 101,7	Rh 103,0	Pd 106,5	(Ag)
7	—	Ag 107,93	Cd 112,4	In 115,0	Sn 119,0	Sb 120,2	Te 127,0	J 127,0	—	—	—	—
8	Xe 128,0	Cs 132,9	Ba 137,4	La 138,9	Ce 140,2	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	Yb 173	—	Ta 183	W 184	—	Os 191	Ir 193	Pt 194,8	(Au)
11	—	Au 197,2	Hg 200,0	Tl 204,1	Pb 206,9	Bi 208,5	—	—	—	—	—	—
12	—	—	Rd 225	—	Th 232,5	—	U 238,4	—	—	—	—	—
NAJVIŠI OKSIDI, KOJI GRADE SOLI												
R	R <sub>2</sub> O	RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	RO <sub>4</sub>				
VODIKOVI SPOJEVI												
				RH <sub>4</sub>	RH <sub>3</sub>	RH <sub>2</sub>	RH					

D. Mendelejev 1869—1905

**Slika 47.** Mendeljevljeva tablica elemenata koju je Bubanović kao povijesni dokument objavio u svom udžbeniku *Kemija* (1930.), a preslika je tablice iz Mendeljevljeva udžbenika *Osnove kemije* (osmo izdanje, 1906)

Dakle, u tablici se nalazi 12 redova i 8 grupa, s jednom grupom ispred prve, koja je označena s 0. Bubanović ističe kako je vodik Mendeljejev smjestio u prvi red i prvu skupinu iznad litija i natrija. Također dodaje kako je Mendeljejev mislio da će se iznad fluora i klora otkriti još jedan element koji bi zauzeo to mjesto u tablici periodnoga sustava elemenata i koji bi upotpunio prazninu između vodika i sedme grupe elemenata. Bubanović zaključuje kako takav element u to doba nije bio otkriven, no ističe kako je Mendeljejev predvidio i u svojoj tablici ostavio prazna mjesta za elemente koji jesu otkriveni, ekaaluminij tj. galij (1875.), ekasilicij tj. germanij (1886.). Bubanović spominje i otkriće plemenitih plinova i tumači na koji nam način periodni sustav pomaže u odeđivanju valencije elemenata. Iznosi i kako je novootkriveni element radij našao svoje mjesto u periodnome sustavu.



Bubenović govori kako u periodnome sustavu elemenata ima i *hrapavih* mjesta, a to su telurij i jod, koji su u periodnom sustavu iznimka, jer nisu poredani po porastu atomske težine. Također spominje i rijetke i slabo proučene elemente rijetkih zemalja s kojima je bilo problema sa smještanjem u periodni sustav elemenata, koji je riješen podjelom skupina u dio *a* i *b*.

Bubenović u idućem dijelu o sistematizaciji elemenata govori kako su i pojedini istraživači nakon Mendeljejeva nastojali periodnome sustavu dati malo drugačiji oblik, no on ne ulazi u analizu i objašnjenje pojedinih pokušaja već iznosi onaj oblik koji je po njemu najnovija modifikacija. Radi se o periodnome sustavu Andreasa von Antropova (1878. – 1956.) kojeg Bubenović opisuje kao *najnoviju formu toga sistema, za koju se čini da predstavlja neki plodonosni i osobito uspjeti završetak nastojanja oko usavršavanja sistema* (Bubenović, 1930f.) (slika 48.).

Za Antropova Bubenović navodi da je ruski kemičar, koji se sada nalazi u emigraciji kao profesor teorijske kemije u Bonnu. Dodaje kako je njegov periodni sustav elemenata u obliku velike, lijepo obojane zidne karte nabavljen i nalazi se u njegovom Zavodu, a manji oblik koji je izdala tvrtka Köhler i Volckmar u Leipzigu, prilog je ovom udžbeniku.

Andreas von Antropov rođen je 1878. godine u Revalu (danas Tallinn, Estonija). Ondje završava osnovnu i srednju školu. Na Politehničkom institutu u Rigi studira strojarstvo (1897. – 1899.) i kemiju (1899. – 1904.). Nakon toga odlazi u Heidelberg gdje stječe doktorat iz kemije, a 1907. i 1908. godine radi kao postdoktorand u laboratoriju Williama Ramseya na University College u Londonu. Godine 1908. vraća se u Rigu gdje predaje anorgansku kemiju na Politehničkom institutu. Dodatno se školovao i na sveučilištu u St. Peterburgu. Godine 1916. uhićen je pod optužbom špijunaže u Prvom svjetskom ratu i neko vrijeme provodi u zatvoru. Godine 1918. odlazi na Tehnički fakultet u Karlsruhe, nakon kojeg prelazi u Bonn gdje od 1924. predaje fizikalnu kemiju. Antropov je postao dekan Fakulteta matematičkih i prirodnih znanosti u Bonnu te član Senata. Zbog svog političkog djelovanja suspendiran je s dužnosti 1945., a 1948. je umirovljen.

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 18,00	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	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII														
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 74,98	34 Se 79,2	35 Br 79,82	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 98,9	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 I 126,92	54 X 130,2												
54 X 130,2	55 Cs 132,8	56 Ba 137,4	57 La 138,9	58-71 Ce-Lu	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 208,0	84 Po 209,0	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  
Menschen Buch & K. Leipzig  
Printed in Germany

**Slika 48.** Antropovljeva tablica periodnoga sustava elemenata koja je tiskana kao prilog udžbeniku *Kemija* Frana Bubanovića (1930.)

Godine 1925. Andreas von Antropov ujedinio je različite ideje drugih autora u impresivnu i višebojnu tablicu zanimljivog grafičkog dizajna. Tablica se trebala koristiti kako u znanstvene tako i u edukativne svrhe. Njegov dizajn periodnoga sustava elemenata je u Njemačkoj bio uglavnom zagubljen nakon Drugog svjetskog rata. Kao razlog ovome se djelomično navodi njegovo pripadanje i usmjerenje prema nacističkoj politici. Autori članka „Von Antropoff's Periodic table: history, significance, and propagation from Germany to Spain“, Mans i Eugen Schwarz navode kako se Antropovljevo nasljedstvo prenijelo u Španjolsku. Za vrijeme svog studijskog boravka u Europi u 1928. godini, španjolski profesor Antonio Garcia-Banus, profesor organske kemije na Sveučilištu u Barceloni, vjerojatno se upoznao s Antropovom u Njemačkoj. Po svom povratku u Barcelonu, profesor Garcia-Banus predložio je da se u sveučilišnoj predavaonici na zidu naslika upravo Antropova tablica periodnoga sustava elemenata. Slika je i napravljena 1934. godine., a u 2008. godini je obnovljena (Mans, Eugen Schwarz, 2011.).

Posebnost Antropovljevog periodnoga sustava elemenata, koji je prvi puta objavljen pod naslovom „Eine neue Form des periodischen Systems der Elementen“ (Antropoff, 1926.) leži u tome što on sadrži i kombinira i elemente periodnog sustava s kratkim periodama kao i onoga s dugim periodama. Neki elementi rijetkih zemalja izdvojeni su ali torij, protaktinij i uranij (90, 91, 92) ostaju u glavnom dijelu same tablice. Antropovljeva tablica ne započinje vodikom već elementom kojeg Antropov naziva *neutronij*, 0-. Tablica uključuje i element 43, *mazurij* (Ma), kao i *kasiopeij* (Cp). Element 86 ne zove se radij već ima oznaku Em, *emanacija*, ksenon ima simbol X, a jod simbol J. Plemeniti se plinovi nalaze i kao početna i kao završna skupina periodnoga sustava. U svojem radu u kojem je prezentirao ovaj oblik periodnoga sustava elemenata Antropov ga i detaljnije objašnjava. Upotreba boja pomaže u snalaženju u periodnome sustavu te ističe sličnosti među elementima. Antropov svoj članak i predstavljanje završava rečenicom: *Der Anklang, den die neue Form gelegentlich einiger Vorträge, besonderes bei der studierenden Jugend gefunden hat, bestärkt mich auch in der Überzeugung, dass sie besonders in den farbigen Ausführungen durch ihre Übersichtlichkeit im Unterricht die besten Dienste leisten wird.*<sup>18</sup> (Antropoff, 1926.).

Bubanović također u svom udžbeniku ističe, kako je ovakav prikaz jasniji i pregledniji studentima za proučavanje. Antropovljeva tablica osim zbog svog izgleda i korištenih boja posebna je i zbog pretpostavke postojanja *neutronija*, kao nultog elementa i to prije otkrića neutrona koje se dogodilo 1932. godine. U literaturi se ističe kako se Antropovljeva tablica koristila u njemačkim školama do 1945. godine, kada nestaje iz upotrebe. Također je istražen njen prijenos u Španjolsku. Autori članka „Von Antropoff's Periodic table: history, significance, and propagation from Germany to Spain“, Mans i Eugen Schwarz, ističu kako je i Linus Pauling preuzeo Antropovljevu tablicu u svom udžbeniku opće kemije (General Chemistry, 1947.) ali nije citirao Antropova (Mans i Eugen Schwarz, 2011.).

Bubanović spominje i kako je Mendeljejev brigu oko svog periodnoga sustava elemenata ostavio u baštinu Bohuslavu Brauneru.

Bubanović u udžbeniku opisuje i objašnjava Antropovljevu tablicu elemenata. Ističe mjesto vodika na vrhu tablice i cijeloga sustava uz objašnjenje kako je to mjesto Antropov dao vodiku jer se po tadašnjim najnovijim istraživanjima činilo kako bi vodik mogao biti osnovni

---

<sup>18</sup> Slobodan prijevod: Dojam koji je ostavio novi oblik predavanja (periodnoga sustava elemenata) koji je posebno primjetan kod studenata ojačao me u mojem uvjerenju da nastavni materijali u boji (tablica periodnoga sustava) svojom preglednošću doprinose bržoj spoznaji.

element za sve ostale elemente tj. praelement. Na desnoj se strani prvi po redu nalazi helij i to u nultoj skupini, no helij kao i vodik zauzima posebno mjesto u periodnome sustavu te se zato nalazi i u kutu nad osmom skupinom. Opet je iznad helija ostavljeno i u ovoj tablici još jedno prazno mjesto za dotada nepoznat element koji bi trebao biti nalik na plemenite plinove, ali lakši od vodika. Upravo je o takvom elementu govorio i sam Mendeljejev, navodi Bubanović, imajući na umu vjerovatno Mendeljejev rad o kemijskom eteru, u kojem Mendeljejev uvodi element X, kojeg naziva *njutronium*, te ga stavlja u nultu grupu i nulti red periodnoga sustava elemenata (Scerri i Worrall, 2001.). Elementi helij (He), litij (Li), berilij (Be), bor (B), ugljik (C), dušik (N), kisik (O) i fluor (F) čine prve elemente pojedinih skupina. Iste skupine, koje se nalaze ispod ovih elemenata obojane su u Antropovljevoj tablici istim bojama, a odvajaju se na odjeljke *a* i *b*. Ispod vodika nalazi se četvrta skupina s tipičnim predstavnicima ugljikom (C) i silicijem (Si). Bubanović zaključuje kako ovi elementi ne zauzimaju slučajno središnje mjesto u tablici elemenata budući da su oni osnovni elementi u kemiji *žive i mrtve prirode*. Također objašnjava kako je iz ove skladne tablice bilo potrebno izdvojiti elemente rijetkih zemalja kao poseban niz ispod periodnoga sustava elemenata.

Bubanović naglašava kako se u Antropovljevom periodnome sustavu elemenata uz atomsku težinu nalazi i redni broj. Objašnjava kako ti brojevi nisu samo slijed elemenata u periodnome sustavu već su rezultat posebnih mjerenja postupkom koji se zove rendgenoskopija. Detaljno objašnjenje što se točno mjeri i do kakvih se podataka dolazi objasniti će Bubanović u kasnijim poglavljima svoga udžbenika. No, ističe kako upravo elementi telurij i jod koji u periodnome sustavu ne slijede porast atomskih težina imaju redne brojeve koji potvrđuju njihovo mjesto u tablici, to jest telurij ima redni broj 53, a jod 54. Zaključuje kako redni brojevi imaju jaču i dublju osnovu za periodnu zakonitost od atomskih težina (Bubanović, 1930g.).

Iduće poglavlje u udžbeniku nosi naslov *Raširenje elemenata i njihova cirkulacija u prirodi*. Bubanović se ponovno vraća na Antropovljevu tablicu elemenata u kojoj se na prvi pogled vidi kako sadrži 92 elementa. Također ističe kako postoji mogućnost da postoji element koji bi bio manje atomske težine od vodika i nosio redni broj 0, te kako zasigurno postoji još nepoznatih elemenata koji bi imali redni broj veći od 92, tj. s atomskom težinom većom od uranijeve. No, svi elementi i brojevi između 0 i 92 nisu tada još bili otkriveni, tako da i među tim brojevima ostaju prazna mjesta. Bubanović ističe otkriće masurija (Ma,  $Z = 43$ ) i renija (Re,  $Z = 75$ ), koje je i sam Antropov stavio u svoju tablicu periodnoga sustava elemenata. No, tadašnja najnovija istraživanja sumnjaju u postojanja tih elemenata te Bubanović govori kako

u to vrijeme nije posve sigurno postoje li oni ili ne. Osim ovih brojeva prazna su još i mjesta 61, 85 i 87. Bubanović u ovome poglavlju uvodi pojam izotopi, koje ovdje definira kao međusobno kemijski srodne elemente, koji se donekle razlikuju po svojim fizičkim svojstvima, naročito radioaktivnosti kao i po masi svojih *najmanjih čestica* (Bubanović, 1930h.).

Bubanović govori o rasprostranjenosti elemenata i spektralnoj analizi: *Karakteristični spektri pojedinih elemenata (osobito vodika i helija) doveli su do teorijskih rezultata, koji su u vezi s najmodernijim mišljenjima o strukturi atoma* (Bubanović, 1930i.).

Dio ovoga poglavlja posvećuje objašnjenju rentgenske spektroskopije i objašnjenju rednoga broja koji se nalazi u periodnome sustavu elemenata. Navodi kako je fizičar Moseley došao da zaključka kako svi elementi imaju zapravo isti spektar rentgenskih zraka, samo što se linije spektra pomiču prema porastu atomske težine pojedinih elemenata i to ili prema sve većim brojevima titraja ili sve manjim valnim duljinama. Odatle je Moseley izveo zaključak: *Elementi se dadu poredati u jedan niz prema njihovim spektrima Röntgenovih zraka tako, da slijedi pravilno jedan elemenat za drugim i da se svakom elementu prema tom slijedu može dati njegov redni broj* (Bubanović, 1930j.).

Nakon ovog poglavlja kreće Bubanović u izlaganje svojstava svih elemenata po skupinama počevši s nultom skupinom ili plemenitim plinovima periodnoga sustava elemenata. Posebno poglavlje u udžbeniku odnosi se na radioaktivnost i nosi naziv *Pojave radioaktivnosti i njihovo značenje za kemiju*. U okviru spomenutog poglavlja postavlja Bubanović pitanje kako ćemo u periodni sustav elemenata smjestiti radioaktivne elemente te raspravlja o pojavi izotopije. Bubanović navodi kako su Fajanas i Soddy baveći se istraživanjima radioaktivnih elemenata ustanovili dvije zakonitosti:

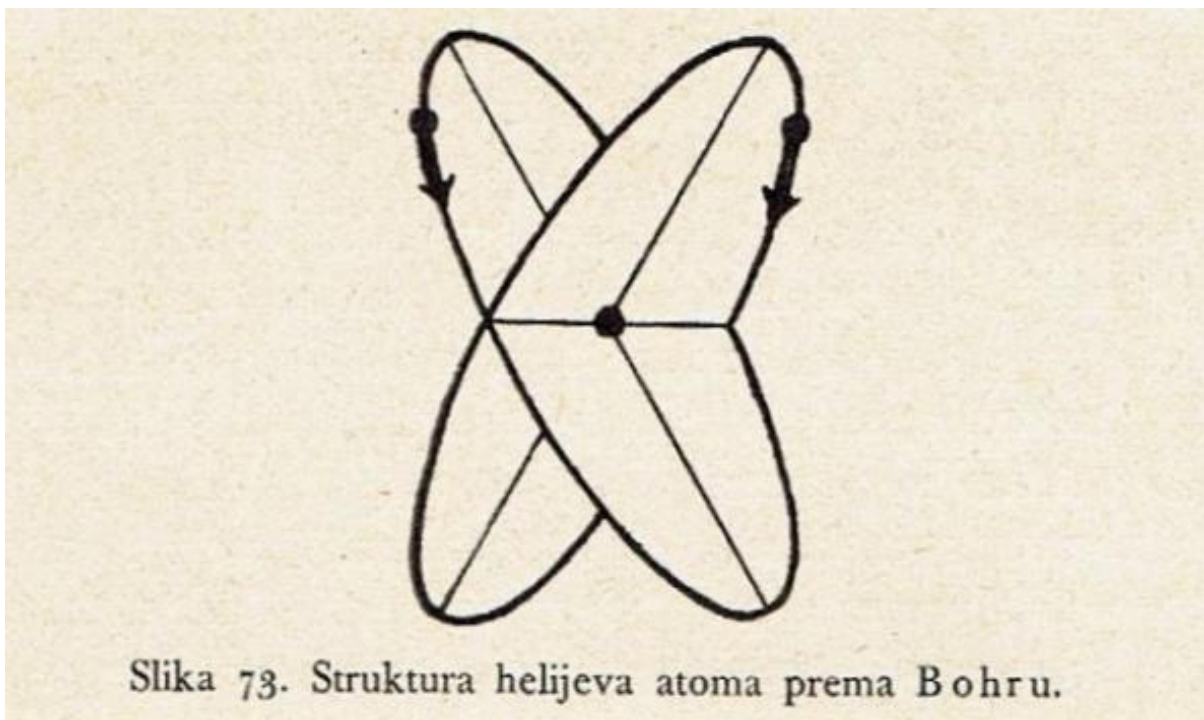
1. *Nakon pretvorbe (transmutacije) uz emisiju  $\alpha$ -zraka, novonastali element dolazi u periodskom sistemu u skupinu za dva broja nižu, t.j. spušta se za dvije grupe nalijevo u horizontalnom nizu.*

2. *Uz emisiju pak  $\beta$ -zraka izdiže se novo postali elemenat za jednu grupu naviše, t.j. za jednu grupu nadesno u horizontalnom nizu* (Bubanović, 1930k.).

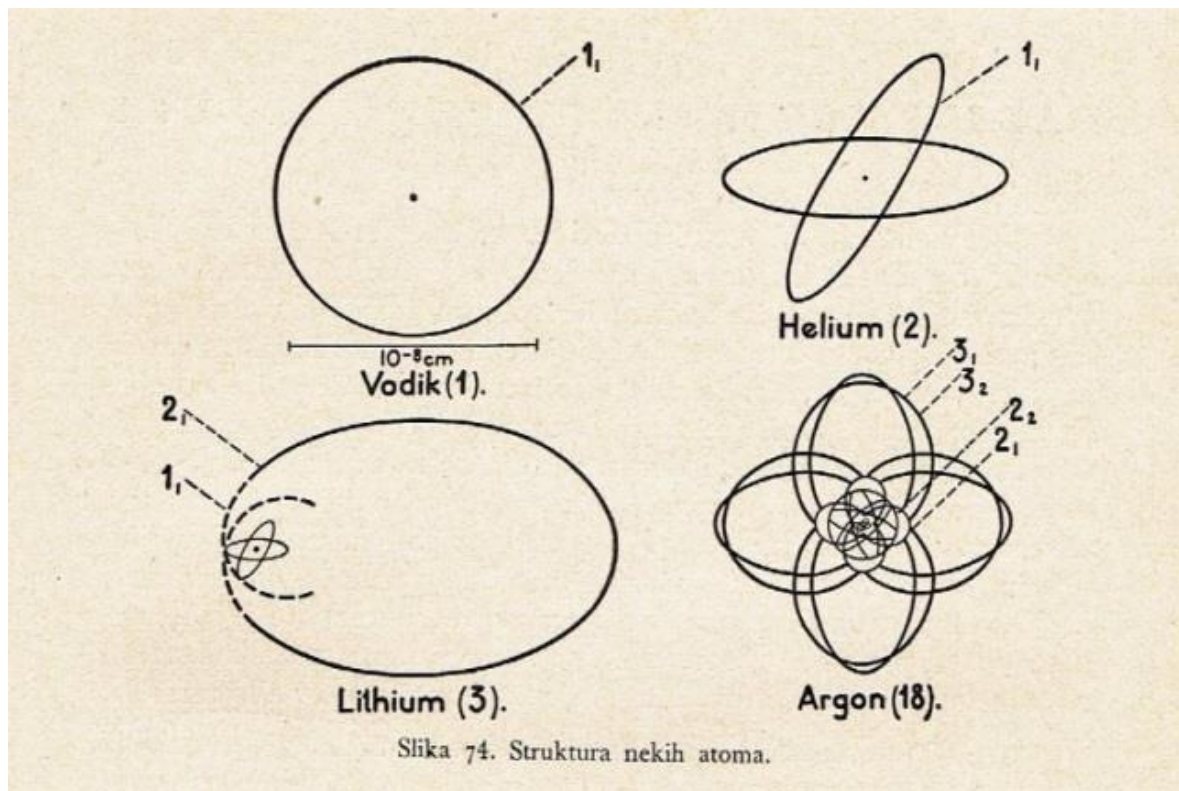
Tu novu pojavu, koja se sastoji u tome da na istom mjestu u periodnome sustavu elemenata stoji više elemenata s različitim atomskim težinama nazvao je Soddy izotopijom, a elemente izotopima. Za takve je elemente u periodnome sustavu predložio Fajanas da se zovu plejade.

Bubanović navodi kako je postojanje izotopa i eksperimentalno dokazano, to jest pokazano je kako oni imaju različitu atomsku težinu ali jednaka kemijska svojstva. Bubanović piše i kako ovo otkriće zatijeva ponovnu reviziju definicije elementa te ističe dvije alternative, kao prvu, Fajanasovu, prema kojoj su izotopi različiti elementi jednog kemijskog tipa ili alternativu prema kojoj su izotopi različite vrste jednog elementa.

Uz pojam radioaktivnosti i izotopa u ovom poglavlju govori i otvara Bubanović i pitanje o građi atoma i postojanju elektrona. Izlaže kako postoje nesumljivi dokazi da zaista postoje čestice materije manje od atoma te da atomi imaju posebnu unutarnju građu. Prema tadašnjim najnovijim otkrićima smatra se da su atomi građeni kao mali sunčevi sustavi. U središtu se nalazi jezgra, a oko te jezgre kruže elektroni, kao najmanje čestice materije. Bubanović navodi kako je Ruthefordu pošlo za rukom da u atomima vodika odijeli jezgru od elektrona i da dokaže kako oko vodikove jezgre kruži samo jedan elektron. Kada odvojimo taj jedan elektron od vodika ostaje samo jezgra koja je pozitivno nabijena, dok je elektron negativno nabijen. Negativni se elektroni kreću oko jezgre u kružnicama ili elipsama. Spominje i Bohrov model vodika i helija. Uz Bohrovu strukturu helija daje grafički prikaz i nekih drugih atoma, poput litija i argona (slika 49. i 50.).



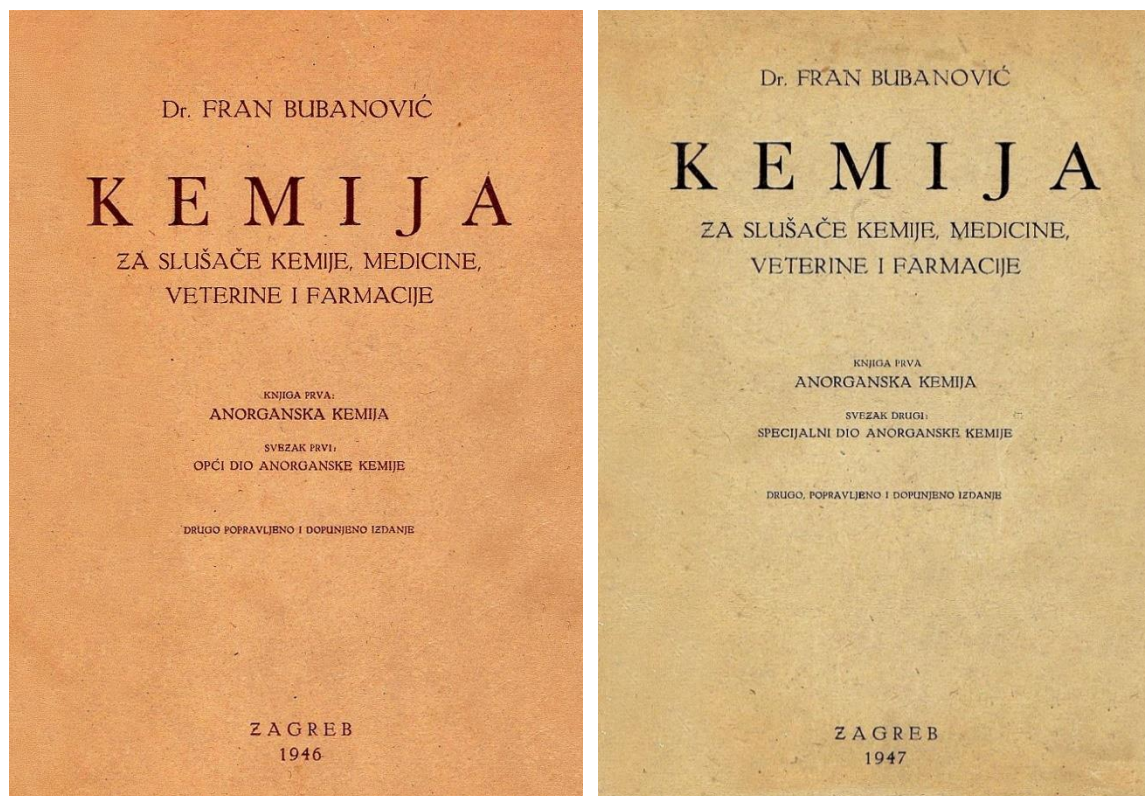
**Slika 49.** Struktura helijeva atoma prema Bohru u Bubanovićevu udžbeniku *Kemija* (1930.)



**Slika 50.** Struktura drugih atoma, helija, litija i argona u Bubanovićevu udžbeniku *Kemija* (1930.)

Kada Bubanović u ovom izdanju svoga udžbenika govori o unutrašnjoj građi atoma, govori o postaojanju elektrona i otkrićima J. J. Thomsona. Također govori o otkrićima E. Rutherforda i o dokazu postojanja pozitivne jezgre i negativno nabijenih elektrona te o tome kako se negativni elektroni kreću oko pozitivne jezgre u kružnicama ili elipsama. No, u ovom, prvom izdanju njegova udžbenika ne nalazimo spominjanje kvantne teorije niti dodatnih objašnjenja Bohrova modela atoma pomoću njegovih postulata.

Nakon objave udžbenika *Kemija* (Zagreb, 1930.) budući da je prvo izdanje udžbenika bilo rasprodano, Bubanović je priredio i drugo izdanje koje izlazi 1946./1947. godine, ponovno u tri sveska. Način izlaganja kemije zadržao je onakvim za kakav se odlučio u prvome izdanju (slika 51.). No, novo izdanje nadopunio je novim rezultatima znanstvenih istraživanja koja su donijela nove spoznaje u kemiji. Zbog toga je *Anorganska kemija*, koja se u drugom izdanju nalazi u prvom i drugom svesku, podijeljena na opći dio anorganske kemije (knjiga prva, svezak prvi) i na specijalni dio anorganske kemije (knjiga prva, svezak drugi). Bubanović već u predgovoru ističe kako: *Svaki naučni rezultat, koji danas tako idealno pristaje u logičan sklop veličanstvene i ponosne zgrade neke prirodne nauke, nije bio odmah od svog postojanja onako izgrađen i gladak kakvim se on danas pričinja.* (Bubanović, 1946.).



**Slika 51.** Naslovne stranice drugog izdanja udžbenika *Kemija za slušače kemije, medicine, vetrine i farmacije* Frana Bubačovića (1946./1947.)

U ovom izdanju udžbenika, slično kao i u današnjim modernim udžbenicima, Bubačović definira kemiju kao jednu od osnovnih prirodnih znanosti koja proučava građu od koje su napravljena sva prirodna tijela, a to je materija. Govori kako čiste tvari možemo podijeliti na kemijske spojeve i na kemijske elemente. Kemijske elemente možemo podijeliti u dvije grupe, elemente *mješance* (kakav je, npr. vodik) i na elemente *čistunce* (kakav je aluminij). Kod elemenata *mješanaca* nije masa svih atoma jednaka (izotopi, iako ih Bubačović ovdje tako ne zove), dok je kod elemenata *čistunaca* masa svih atoma jednaka. U ovom izdanju odmah na samome početku govori kako su atomi građeni od atomskih jezgara, oko kojih kruže elektroni. Atomske se jezgre mogu razbiti na sitnije čestice, protone (p), koji su pozitivno nabijene vodikove jezgre i na neutrone (n), koji su *neutralno nabijene vodikove jezgre*. Sami elektroni mogu biti pozitivni (*pozitroni*) i negativni (*negatroni*). Navodi i kako je masa elektrona toliko mala da ju gotovo zanemarujemo, no ona iznosi  $9 \times 10^{-28}$  g, dok je njihov naboj  $1,6 \times 10^{-19}$  C. Masa jezgre vodikova atoma, to jest protona iznosi  $1,5 \times 10^{-24}$  g i gotovo je dvije tisuće puta veća od mase elektrona. Protoni, neutroni i elektroni sastavljaju se u atomske čestice, a zatim atomi elemenata (njih tada oko 90 poznatih) grade molekule elemenata ili spojeva te tako nastaje raznolikost svijeta.



U uvodnom poglavlju ovoga izdanja Bubanović navodi kako kemija proučava elemente i njihove spojeve, a zaslugom najvećeg slavenskog kemičara Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva kemija ima i prirodni sustav u kojem se nalaze elementi sistematizirani u redovima i grupama. Kao i u prvom izdanju, i u drugom izdanju udžbenika nalazimo tablicu svih tada poznatih elemenata. U ovom izdanju ona se nalazi u petom poglavlju naslovljenom *Nomenklatura i razdioba kemijskih elemenata i spojeva*. No, za razliku od tablice u prvom izdanju, u kojoj su elementi bili poredani abecednim redom, u drugom izdanju elementi su poredani prema rastućim rednim brojevima (slika 52.).

Redosljed elemenata.

Redni broj i ime:	Simbol i atomska težina:
0 Neutron . . . . .	n 1,0087
1 Vodik (Hydrogenium) . . . . .	H 1,0080
2 Helium . . . . .	He 4,005
3 Litium . . . . .	Li 6,940
4 Berilium . . . . .	Be 9,02
5 Bor . . . . .	B 10,82
6 Ugljik (Carbonium) . . . . .	C 12,010
7 Dušik (Nitrogenium) . . . . .	N 14,008
8 Kisik (Oxygenium) . . . . .	O 16,0000
9 Fluor . . . . .	F 19,00
10 Neon . . . . .	Ne 20,185
11 Natrium . . . . .	Na 22,997
12 Magnesium . . . . .	Mg 24,32
13 Aluminium . . . . .	Al 26,97
14 Silicium . . . . .	Si 28,06
15 Fosfor (Phosphor) . . . . .	P 30,98
16 Sumpor . . . . .	S 32,06
17 Klor (Chlor) . . . . .	Cl 35,457
18 Argon . . . . .	Ar 39,944

Redni broj i ime:	Simbol i atomska težina:
19 Kalium . . . . .	K 39,096
20 Calcium . . . . .	Ca 40,08
21 Scandium . . . . .	Sc 45,10
22 Titan . . . . .	Ti 47,90
23 Vanadium . . . . .	V 50,95
24 Krom (Chrom) . . . . .	Cr 52,01
25 Mangan . . . . .	Mn 54,95
26 Željezo (Ferrum) . . . . .	Fe 55,85
27 Kobaltum . . . . .	Co 58,94
28 Nicolum . . . . .	Ni 58,69
29 Bakar (Cuprum) . . . . .	Cu 63,57
30 Cink (Zincum) . . . . .	Zn 65,38
31 Galium . . . . .	Ga 69,72
32 Germanium . . . . .	Ge 72,60
33 Arsen . . . . .	As 74,91
34 Selen . . . . .	Se 78,96
35 Brom . . . . .	Br 79,916
36 Krypton . . . . .	Kr 83,7
37 Rubidium . . . . .	Rb 85,48
38 Strontium . . . . .	Sr 87,65
39 Ytrium . . . . .	Y 88,92
40 Zirconium . . . . .	Zr 91,22
41 Niobium . . . . .	Nb 92,91
42 Molibden . . . . .	Mo 95,95
43 — . . . . .	— —
44 Rutenium . . . . .	Ru 101,7
45 Rhodium . . . . .	Rh 102,91
46 Paladium . . . . .	Pd 106,7
47 Srebro (Argentum) . . . . .	Ag 107,880
48 Cadmium . . . . .	Cd 112,41
49 Indium . . . . .	In 114,76
50 Kositar (Stannum) . . . . .	Sn 118,70
51 Antimon (Stibium) . . . . .	Sb 121,76
52 Telur . . . . .	Te 127,61
53 Jodum . . . . .	I 126,92
54 Xenon . . . . .	X 131,3
55 Cesium . . . . .	Cs 132,91
56 Barium . . . . .	Ba 137,36
57 Lantan . . . . .	La 138,92

Redni broj i ime:	Simbol i atomska težina:
58 Cerium . . . . .	Ce 140,15
59 Praseodim . . . . .	Pr 140,92
60 Neodim . . . . .	Nd 144,27
61 — . . . . .	— —
62 Samarium . . . . .	Sm 150,45
63 Europium . . . . .	Eu 152,0
64 Gadolinium . . . . .	Gd 156,9
65 Terbium . . . . .	Tb 159,2
66 Dysprosium . . . . .	Dy 162,46
67 Holmium . . . . .	Ho 164,94
68 Erbium . . . . .	Er 167,2
69 Tulium . . . . .	Tu 169,4
70 Yterbium . . . . .	Yb 173,04
71 Casiopeium . . . . .	Cp 174,99
72 Hafnium . . . . .	Hf 178,6
73 Tantal . . . . .	Ta 180,88
74 Rhenium . . . . .	Re 186,51
75 Osmium . . . . .	Os 190,2
76 Wollfram . . . . .	W 183,92
77 Iridium . . . . .	Ir 195,1
78 Platina . . . . .	Pt 195,25
79 Zlato (Aurum) . . . . .	Au 197,2
80 Živa (Hydrargyrum) . . . . .	Hg 200,61
81 Thalium . . . . .	Tl 204,59
82 Olovo (Plumbum) . . . . .	Pb 207,21
83 Bizmut . . . . .	Bi 209,00
84 Polonium . . . . .	Po ?
85 — . . . . .	— —
86 Radon . . . . .	Rn. 222,0
87 — . . . . .	— —
88 Radium . . . . .	Ra 226,05
89 Actinium . . . . .	Ac ?
90 Thorium . . . . .	Th 232,12
91 Protactinium . . . . .	Pa 231
92 Uran . . . . .	U 238,07

**Slika 52.** Popis elemenata po rednim brojevima s naznačenim imenom, simbolom i atomskom težinom u drugom izdanju udžbenika *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije* (knjiga prva: anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo i dopunjeno izdanje, Zagreb, 1946.)

Bubanović objašnjava kako tablica započinje s rednim brojem 0, koji pripada elementu neutron ( $n$  ili  $Nn$ ). Tumači da je to neutralna jezgra običnog vodikovog atoma, koji je 1932. godine otkrio Chadwick: *rastavivši element berilij (Be) na elemente neutron (n) i ugljik (C)*. Bubanović objašnjava kako tu pojavu zovemo transmutacijom elemenata, te se javlja kao spontana pojava kod radioaktivnih elemenata. Tablica elemenata završava s rednim brojem 92, koji pripada radioaktivnom uraniju, no nisu svi redni brojevi popunjeni (43, 61, 85, 87) što vodi do zaključka kako svi elementi još nisu otkriveni. U tablici se nalaze i elementi s rednim brojevima 84, polonij (Po) i 89, aktinij (Ac), kojima još nisu određene atomske težine. Bubanović ističe nepravilnosti koje postoje u periodnome sustavu vezano uz atomske težine, koje su riješene uvođenjem atomskog broja. Navodi kako je ova nepravilnost istraživačima zadala mnogo nedoumica. Da bi to objasnio moramo najprije biti upoznati s postankom periodnoga sustava elemenata. Bubanović navodi kako je Mendeljejev sudjelovao na međunarodnom kongresu u Karlsruheu (1860.) na kojem su ga se jako dojmlila Cannizarova izlaganja koja su se naslanjala na teze Avogadra, Gerhardta i Regnaulta. Upravo pod dojmovima s ovog kongresa Mendeljejev je po povratku u Rusiju započeo s pisanjem (1867./1868.) svog znamenitog udžbenika *Osnove kemije* te je tražio način kako bi prirodno poredao elemente. Prema Mendeljejevu svaki element ima svoje mjesto u periodnome sustavu na osnovi svoje atomske težine. Bubanović i u ovom izdanju svoga udžbenika navodi kako je Mendeljejev prvi puta iznio svoju zamisao o periodnome sustavu 1869. godine, dok zadnju njegovu inačicu nalazimo u osmom izdanju Mendeljejevljeva udžbenika *Osnove kemije* iz 1905. godine. Upravo je ta tablica otisnuta kao povijesni dokument i u ovom izdanju Bubanovićeva udžbenika. Bubanović i u ovom izdanju donosi povijesne okolnosti vezane uz otkriće periodnoga sustava elemenata te ističe kako je Mendeljejev odmah po objavi prve tablice periodnoga sustava elemenata nastavio rad na njoj, te predvidio karakteristična fizikalna i kemijska svojstva kasnije otkrivenih elemenata. On napominje da je periodni sustav usklađen s otkrićem plemenitih plinova (nulta skupina) te da su novo otkriveni elementi kao npr. radij našli svoje mjesto u Mendeljejevljevoj tablici.

Za razliku od prvog izdanja u ovom izdanju Bubanović ističe kako je i periodni zakon, kao i druga velika znanstvena otkrića, također plod rada i spoznaje više znanstvenika. Tako ovdje spominje Lothara Meyera, koji je 1870. godine objavio svoju tablicu. Bubanović navodi kako Meyera s pravom nazivaju suosnivačem periodnoga sustava, no ipak ističe kako je svu dalekosežnost i znanje ipak uočio Mendeljejev te donosi opsežnan citat Mendeljejeva iz

njegova udžbenika *Osnove kemije* u kojem Mendeljejev govori o svom otkriću periodnoga sustava i radu na njemu (Bubanović, 1946a.).

U knjizi slijedi potpoglavlje naslova *Najnovija modifikacija periodskoga sistema elemenata* (Bubanović, 1946b.) u kojem Bubanović govori o najnovijoj i prema njegovu mišljenju osobito uspješnoj verziji periodnoga sustava elemenata koju je priredio Antropov, tadašnji profesor teorijske kemije u Bonnu. Bubanović ističe kako je upravo Antropovljeva šarena tablica elemenata priložena prvom i drugom izdanju njegova udžbenika. Tablica je izdana u obliku velike tabele, a izdavač je bila tvrtka Köhler i Volckmar iz Leipziga. Također piše kako je Antropovu bilo osobito drago što je njegova tablica preuzeta i uvrštena u Bubanovićev udžbenik. Ovo nam je poznato iz korespondencije koju je Bubanović vodio s Antropovim, a dio te prepiske je prenesen u drugom izdanju Bubanovićeve udžbenika: *Čujem doduše, da po meni predložena forma periodskoga sistema elemenata znači jedan napredak. Ali je Vaša knjiga ipak prva, u kojoj dolazi do primjene* (Bubanović, 1946c.).

Bubanović dodaje kako je tablica u njegovom udžbeniku najnovija modifikacija koja se nalazi i u Ulichovoj knjizi iz 1942. godine (slika 53.).

1 H 1.008																	2 He 4.003
3 Li 6.940	4 Be 9.012	5 B 10.81	6 C 12.010	7 N 14.008	8 O 16.000	9 F 19.00	10 Ne 20.183									18 Ar 39.944	
11 Na 22.997	12 Mg 24.305	13 Al 26.97	14 Si 28.085	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.944									36 Kr 83.7	
19 K 39.096	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.60	33 As 74.91	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.7
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc -	44 Ru 101.1	45 Rh 102.91	46 Pd 106.4	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.91	54 Xe 131.3
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm -	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97	86 Rn 222
87 Fr -	88 Ra 226.03	89 Ac -	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np -	94 Pu -	95 Am -	96 Cm -	97 Bk -	98 Cf -	99 Es -	100 Fm -	101 Md -	102 No -	103 Lr -	86 Rn 222
LANTANIDI																	
57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm -	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97			

**Slika 53.** Antropovljeva tablica periodnoga sustava elemenata objavljena kao dodatak udžbeniku Frana Bubanovića *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije* (knjiga prva: anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo i dopunjeno izdanje, Zagreb, 1946.)

Bubanović objašnjava kako bi ova čitava tablica trebala biti ovijena oko valjka i rezana na mjestu gdje se nalaze plemeniti plinovi, koji onda dolaze i ispred prve i iza osme skupine elemenata. Objašnjava kako u ovako uređenom periodnome sustavu vidimo da postoji osam skupina osim nulte, te su te skupine podijeljene na dio *a* i *b*. Na vrhu čitavog periodnoga sustava stoji vodik, a Bubanović ponavlja kako mu je ovo mjesto dao upravo Antropov te kako bi prema nekim saznanjima upravo vodik mogao biti osnovni element od kojega nastaju drugi elementi, nekakav praelement. Helij u periodnome sustavu nalazimo i kao prvi element nulte skupine i kao poseban element nad osmom skupinom. Nad nultom skupinom u tablici koju nalazimo u prvom izdanju Bubanovićeve udžbenika ostavljeno je prazno mjesto za element koji bi trebao tek biti otkriven, a biti analogan plemenitim plinovima. U drugom se izdanju na tom mjestu nalazi neutron, *neutralna jezgra vodika*. Elementi helij (He), litij (Li), berilij (Be), bor (B), ugljik (C), dušik (N), kisik (O) i fluor (F) ponovno se nalaze na vrhovima pojedinih skupina, a svaka skupina obojana je posebnom bojom, te se također dijeli na *a* i *b* dio, osim nulte skupine.

Između tablice objavljene u prvom izdanju i ove u drugom izdanju postoje određene razlike. Više takvih razlika nalazimo kod atomskih težina pojedinih elemenata. Element pod rednim brojem 43, *mazurij*, u drugoj tablici više nije zastupljen. U prvoj tablici element pod rednim brojem 86, nosi oznaku Em, dok je u drugoj tablici označen s Rn. U prvoj tablici lantan, La, se nalazi u samoj tablici, dok je u drugoj prebačen kao prvi element dodanog reda za skupinu lantanoida. U drugoj tablici se dogodila i očita tiskarska pogreška, te je element bor označen simbolom Be, umjesto simbolom B.

Deveto poglavlje drugoga izdanja Bubanovićeve udžbenika nosi naslov *Teorija o atomima i molekulama*. To poglavlje započinje Bubanović konstatacijom kako je moderna teorija o atomima i molekulama nastala u okviru kemije kao znanstvene discipline iz potrebe za objašnjenjem zakonitosti kemijskog spajanja. No, Bubanović također ističe kako teorija o atomima ima dugu povijest koja kreće od niza grčkih filozofa, pa tako spominje Demokrita i njegove atome definirane kao najmanje čestice materije. Objašnjava ideju o jednakim atomima koji grade sve tvari pa zbog toga može doći do pretvaranja jednog tijela u drugo, za što su alkemičari tražili posebno sredstvo (*lapis philosophorum*). Ostatak poglavlja donosi povijesni razvoj ideje atoma i molekula, slično kao i u prvome izdanju.

Bubanović otvara potpoglavlje naslova *Ima li eksperimentalnih dokaza za egzistenciju čestica materije, što ih zovemo molekulama, atomima, ionima ili elektronima?* u kojem odmah daje

pozitivan odgovor te navodi kako danas postoji čitav niz takvih dokaza koje detaljnije opisuje (Bubanović, 1946d.).

Osim novosti vezanih uz građu atoma, u ovom izdanju udžbenika detaljno je obrađena i radioaktivnost te njezino značenje za nauku o elementima i atomima. Bubanović iznosi povijesne okolnosti vezane uz otkriće radioaktivnosti i supružnike Curie te otkriće radija. Govori o znanstvenim istraživanjima svojstava radija i radioaktivnih tvari: *Eksperimentalno se moglo dokazati, da se kod pojave radioaktivnosti sam element radij, a jednako tako i drugi radioaktivni elementi mijenjaju tako, da iz njih postaju novi elementi. Ta pojava zove se transmutacija elemenata, t.j. pretvaranje jednog elementa u drugi* (Bubanović, 1946e.).

Bubanović zaključuje da upravo pojava radioaktivnosti po prvi puta traži reviziju pojma kemijskog elementa. Također otvara pitanje smještanja izotopa u periodni sustav elemenata te navodi kako je na to pitanje odgovorio u prvom redu F. Soddy. On je na isto mjesto u periodni sustav elemenata stavio više elemenata različite atomske težine te to nazvao izotopijom. Izotopi su skupljeni oko glavnog elementa koji je zauzeo svoje mjesto u periodnome sustavu na osnovu poznate i direktno određene atomske težine. Eksperimentalno je dokazano kako izotopi pored različite atomske težine imaju jednaka kemijska svojstva, a razlikuju se po fizikalnim svojstvima.

Bubanović ističe kako i obični elementi, koji se u periodnome sustavu nalaze daleko od radioaktivnih također imaju izotope, a izotopi takvih elemenata su pronađeni zaslugom W. Astona. Zbog postojanja izotopa takvih *običnih* elemenata, teza o tome da su elementi nedjeljive vrste pokazuje se netočnom. Budući da članovi *plejade* jednog elementa, njegovi izotopi ne pokazuju razlike u kemijskim svojstvima možemo ih izolirati smo onim metodama koje koriste fizikalna svojstva, poput elektromagnetske analize kanalskih zraka (masene spektroskopije), za koju je aparaturu konstruirao J. J. Thompson. Bubanović zaključuje na temelju istraživanja koja je napravio F. Soddy kako dosada precizno određivane atomske težine nisu ništa drugo već srednje vrijednosti: *To će reći, da su naši obični elementi smjese od kemijski identičnih sastojina, koje se međusobno razlikuju po masi svojih partikula, t.j. atoma. Dotično, tolikim marom i ingenioznim metodama određivane naše atomske težine nijesu drugo, nego srednje vrijednosti težina čestica različite mase* (Bubanović, 1946f.).

Bubanović govori i o Rutherfordovim eksperimentima vezanim uz građu atoma te predstavlja Rutherfordov model atoma u kojem je, prema Bubanovićevim riječima, masa atoma sakupljena u malenoj jezgri (*nucleus*) oko koje kruže elektroni na relativno velikoj

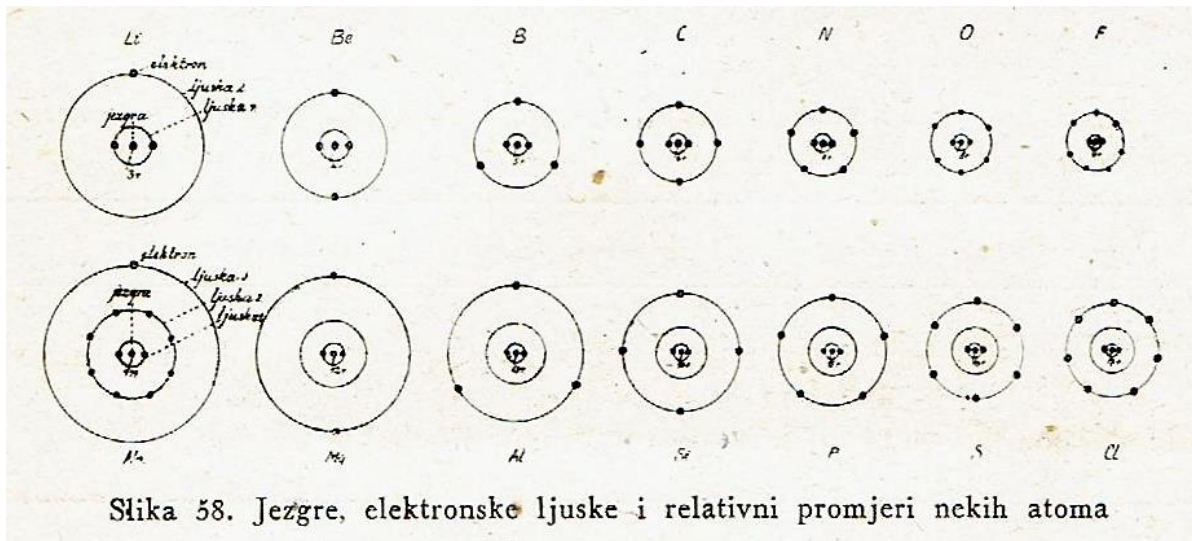
udaljenosti. Jezgra je pozitivno nabijena, a svaki je elektron negativno nabijen tako da je naboj izjednačen i atom je neutralan. Bubanović nadalje objašnjava i kako nastaju ioni, kada atom izgubi elektron iz svoje ljuske (oblaka) elektrona ili kada primi elektron. Uvodi u udžbenik i sliku atoma koju je zgodno usporediti sa sunčevim sustavom, gdje sunce predstavlja jezgru atoma i sadrži gotovo čitavu masu, a planeti predstavljaju elektrone s daleko manjom masom. Elektrone i jezgru u umjesto gravitacije veže električna sila. Ovdje Bubanović ponovno govori o masi i veličini jezgre i elektrona. Govori i o građi jezgre, za koju kaže kako jezgra nije samo prosta jedinica materije, već je građena od protona i neutrona, a one najteže građene su i od helijevih jezgara, koje u sebi imaju dva protona i dva neutrona. Spominje i defekt mase jezgre i Einsteinovu teoriju prema kojoj se masa jezgre ne gubi već prelazi u energiju. Bubanović također ističe i otkriće neutrona, za koje je zaslužan Chadwick koji je 1932. godine došao do tog otkrića. Bubanović zaključuje: *Svijet se konačno raspao u očima fizičara na četiri slova: n, p, e<sup>-</sup> i e<sup>+</sup>* (Bubanović, 1946g.).

Nakon toga ponavlja kako je redni broj puno dublji kriterij za određivanje mjesta pojedinog elementa u periodnome sustavu elemenata te ulazi u objašnjavanje znanstvenih rezultata i spoznaja koje su dovele do određivanja rednih brojeva, ali i do dubljeg uvida u strukturu atoma. Pomoću rentgenske spektroskopije i difrakcije (Laue, 1912.) koju su kasnije razvijali i usavršili otac William Henry Bragg i sin William Lawrence Bragg kao i Peter Debye. Bubanović i u ovom izdanju ističe kako svaki kemijski element pokazuje svoje posebne karakteristične spektralne linije kod rendgenoskopije. Napominje da: *svi elementi imaju u biti isti spektar Röntgenovih zraka, samo što se linije spektara pomiču prema porastu atomske težine pojedinih elemenata; prema sve većim brojevima titraja t.j. prema sve manjim dužinama valova* (Bubanović, 1946h.).

Nakon što je objasnio Rutherfordov model atoma te govorio o atomskoj jezgri, Bubanović nastavlja s objašnjavanjem građe elektronskog omotača. Ističe kako bi prema Maxwelllovoj elektromagnetskoj valnoj teoriji atomi, u kojima se elektroni gibaju, trebali emitirati elektromagnetske valove. Po toj bi se teoriji uslijed gubitka energije elektroni trebali srušiti u jezgru. No, to se ne događa. Navodi kako je Niels Bohr (1913.) nadopunio Rutherfordov model atoma oslanjajući se na otkrića Maxa Plancka i Alberta Einsteina (1879. – 1955.) o kvantovima energije. U ovome izdanju svog udžbenika detaljno objašnjava Bohrov model atoma u kojem je Bohr postulirao postojanje stacionarnih stanja, kao i emitiranje ili absorbiranje energije samo pri prelasku iz jednog u drugo stacionarno stanje. Bubanović ističe kako je pomoću ovog modela pošlo za rukom objasniti mnoge empirijske zakonitosti obzirom

na građu atoma i njihove spektre, ali ne u potpunosti. Do potpunog objašnjenja dolazi se upotrebom De Broglie-Schrödingerove valne mehanike i Heisenbergove kvantne mehanike.

Kada govori o građi elektronskog omotača, Bubanović uvodi pojam ljuske, za koje kaže da ih običavamo označavati brojevima od 1 do 7 ili slovima K, L, M, N, O, P i Q, a svaka ljuska može primiti  $2n^2$  elektrona, gdje je  $n$  broj ljuske. U ovom izdanju udžbenika Bubanović donosi slikovit prikaz jezgre i elektronskih ljusaka nekih atoma (slika 54.) i tablicu elemenata poredanih prema porastu rednih brojeva s podjelom elektrona na pojedine ljuske (slika 55.).



Slika 58. Jezgre, elektronske ljuske i relativni promjeri nekih atoma

**Slika 54.** Slikoviti prikaz jezgre i elektronskih ljusaka nekih atoma (Bubanović, 1946.)

		1	2	3	4	5	6	7
Periode	Ljuske →	K	L	M	N	O	P	Q
	↓ Elementi							
	0 n							
1.	1 H 2 He	1 2						
2.	3 Li 4 Be 5 B 6 C 7 N 8 O 9 F 10 Ne	2 2 2 2 2 2 2 2	1 2 3 4 5 6 7 8					
3.	11 Na 12 Mg 13 Al 14 Si 15 P 16 S 17 Cl 18 Ar	2 2 2 2 2 2 2 2	8 8 8 8 8 8 8 8	1 2 3 4 5 6 7 8				
	19 K 20 Ca	2 2	8 8	8 8	1 2			
4.	31 Ga 32 Ge 33 As 34 Sr 35 Br 36 Kr	2 2 2 2 2 2	8 8 8 8 8 8	18 18 18 18 18 18	3 4 5 6 7 8			
	37 Rb 38 Sr	2 2	8 8	18 18	8 8	1 2		
5.	49 In 50 Sn 51 Sb 52 Te 53 J 54 X	2 2 2 2 2 2	8 8 8 8 8 8	18 18 18 18 18 18	18 18 18 18 18 18	3 4 5 6 7 8		
	55 Cs 56 Ba	2 2	8 8	18 18	18 18	8 8	1 2	
6.	81 Tb 82 Pb 83 Bi 84 Po 85 — 86 Rn	2 2 2 2 2 2	8 8 8 8 8 8	18 18 18 18 18 18	18 18 18 18 18 18	18 18 18 18 18 18	3 4 5 6 7 8	
7.	87 — 88 Ra	2 2	8 8	18 18	18 18	18 18	8 8	1 2

Slika 55. Tablica elemenata poredanih prema porastu rednih brojeva s podjelom elektrona na ljuske (Bubanović, 1946.)



U udžbeniku se, nakon objašnjenja elektronskih struktura, Bubanović ponovno vraća na Mendeljejev periodni sustav te ističe kako brojevi grupa u sustavu dobivaju i dodatno značenje. Brojevi grupa označavaju i broj vanjskih elektrona u atomima elemenata određene skupine. Upravo o tim vanjskim elektronima ovise kemijska svojstva elemenata. Brojevi horizontalnih redova ili perioda označavaju i ljusku u kojoj se nalaze vanjski elektroni, dok nam redni brojevi ne pokazuju samo redosljed nego i naboj jezgre, pa prema tome i ukupan broj elektrona, budući da je atom neutralna čestica.

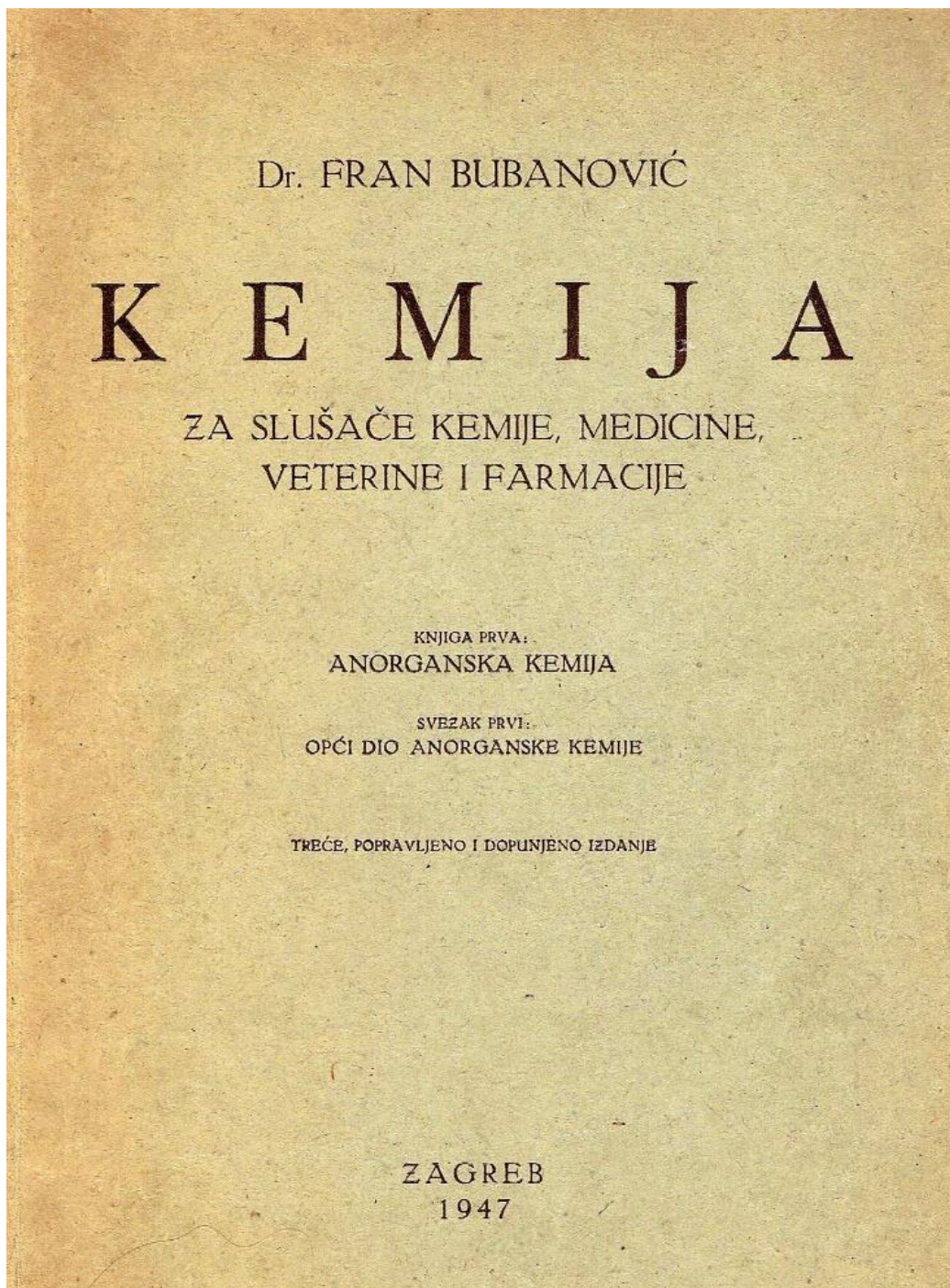
Bubanović spominje i valno mehanički model atoma i problem koji je Heisenberg uvidio u Bohrovom modelu atoma u kojem on elektrone smatra materijalnim česticama. Bubanović navodi kako je Heisenberg uz pomoć matematike (matričnog računa), kao i Schrödinger, zajedno s de Broglievim idejama izgradio atomski model na koji se može primijeniti Schrödingerova valna jednažba, koja ujedinjuje klasičnu i kvantnu fiziku.

Drugi svezak drugog izdanja udžbenika *Kemija* (1947.) posvećen je specijalnom dijelu anorganske kemije. U samom predgovoru ovom izdanju autor navodi kako je u prvom izdanju (1930.) ovaj dio bio u prvom dijelu udžbenika zajedno s općim dijelom. U ovom izdanju anorgansku kemiju iznesi postepeno prema grupama periodnoga sustava elemenata koji se novim znanstvenim spoznajama, otkada ga je postavio Mendeljejev, ne napušta već se samo nadopunjava (Bubanović, 1947.).

Bubanović u knjizi kreće s nultom skupinom ili plemenitim plinovima, posebno poglavlje posvećuje vodiku te nakon toga prelazi na elemente prve glavne skupine (Li, Na, K, Rb i Cs) i nastavlja s elementima prve sporedne skupine (Cu, Ag, Au), preko elemenata druge glavne skupine (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra) te tako redom dalje prema periodnome sustavu elemenata sve do osme skupine.

Drugo izdanje Bubanovićeva udžbenika koje je izdano u srpnju 1946. godine u nakladi Nakladnog zavoda Hrvatske rasprodano je jako brzo pa je Bubanović odmah pristupio priređivanju trećeg izdanja udžbenika koje izlazi u studenom 1947. godine. Premda treće izdanje nije istovjetno s drugim izdanjem, promjene vezane uz objašnjenje periodnoga sustava elemenata nisu značajne. U udžbeniku su ispravljene neke uočene pogreške i dodane ili pak izostavljene neke stvari. Suradnik profesora Bubanovića, Tomislav Pinter nije samo pregledao, već i ispravio i nadopunio poglavlja o galvanskim člancima, o koloidnom stanju materije i kapilarnoj kemiji te poglavlje o stehiometriji kao i poglavlje o termodinamici. Drugi Bubanovićev suradnik, Stanko Miholić (1890. – 1960.) ispravio je dijelove vezane uz povijest

kemije, Fran Tućan (1878. – 1954.) poglavlje o krutom stanju materije (Bubanović, 1947.) (slika 56.).



**Slika 56.** Naslovnica trećeg izdanja Bubanovićeva udžbenika *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, treće, popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, 1947.

U tablici gdje je iznesen redoslijed elemenata dodani su elementi rednog broja 93 (neptunij) i 95 (plutonij) koji čine drugu grupu elemenata rijetkih zemalja, za koju Bubanović navodi da ih analogno lantanidima možemo zvati *uranidi* (slika 57.).

Redoslijed elemenata.

Redni broj i ime:	Simbol i atomska težina:
0 Neutron . . . . .	n 1,0087
1 Vodik (Hydrogenium) . . . . .	H 1,0080
2 Helium . . . . .	He 4,005
3 Litium . . . . .	Li 6,940
4 Berilium . . . . .	Be 9,02
5 Bor . . . . .	B 10,82
6 Ugljik (Carbonium) . . . . .	C 12,010
7 Dušik (Nitrogenium) . . . . .	N 14,008
8 Kisik (Oxygenium) . . . . .	O 16,0000
9 Fluor . . . . .	F 19,00
10 Neon . . . . .	Ne 20,185
11 Natrium . . . . .	Na 22,997
12 Magnesium . . . . .	Mg 24,32
13 Aluminium . . . . .	Al 26,97
14 Silicium . . . . .	Si 28,06
15 Fosfor (Phosphor) . . . . .	P 30,98
16 Sumpor . . . . .	S 32,06
17 Klor (Chlor) . . . . .	Cl 35,457

Redni broj i ime:	Simbol i atomska težina:
18 Argon . . . . .	Ar 39,944
19 Kalium . . . . .	K 39,096
20 Calcium . . . . .	Ca 40,08
21 Scandium . . . . .	Sc 45,10
22 Titan . . . . .	Ti 47,90
23 Vanadium . . . . .	V 50,95
24 Krom (Chrom) . . . . .	Cr 52,01
25 Mangan . . . . .	Mn 54,95
26 Željezo (Ferrum) . . . . .	Fe 55,85
27 Cobaltum . . . . .	Co 58,94
28 Nicolum . . . . .	Ni 58,69
29 Bakar (Cuprum) . . . . .	Cu 63,57
30 Cinak (Zincum) . . . . .	Zn 65,38
31 Galium . . . . .	Ga 69,72
32 Germanium . . . . .	Ge 72,60
33 Arsen . . . . .	As 74,91
34 Selen . . . . .	Se 78,96
35 Brom . . . . .	Br 79,916
36 Krypton . . . . .	Kr 85,7
37 Rubidium . . . . .	Rb 85,48
38 Strontium . . . . .	Sr 87,65
39 Ytrium . . . . .	Y 88,92
40 Zirconium . . . . .	Zr 91,22
41 Niobium (Stibium) . . . . .	Nb 92,91
42 Molibden . . . . .	Mo 95,95
43 — . . . . .	— —
44 Rutenium . . . . .	Ru 101,7
45 Rhodium . . . . .	Rh 102,91
46 Paladium . . . . .	Pd 106,7
47 Srebro (Argentum) . . . . .	Ag 107,880
48 Cadmium . . . . .	Cd 112,41
49 Indium . . . . .	In 114,76
50 Kositar (Stannum) . . . . .	Sn 118,70
51 Antimon (Stibium) . . . . .	Sb 121,76
52 Telur . . . . .	Te 127,61
53 Jodum . . . . .	I 126,92
54 Xenon . . . . .	X 131,3
55 Cesium . . . . .	Cs 132,91
56 Barium . . . . .	Ba 137,36
57 Lantan . . . . .	La 138,92

Redni broj i ime:	Simbol i atomska težina:
58 Cerium . . . . .	Ce 140,13
59 Praseodim . . . . .	Pr 140,92
60 Neodim . . . . .	Nd 144,27
61 — . . . . .	— —
62 Samarium . . . . .	Sm 150,45
63 Europium . . . . .	Eu 152,0
64 Gadolinium . . . . .	Gd 156,9
65 Terbium . . . . .	Tb 159,2
66 Dysprosium . . . . .	Dy 162,46
67 Holmium . . . . .	Ho 164,94
68 Erbium . . . . .	Er 167,2
69 Talium . . . . .	Tl 169,4
70 Yterbium . . . . .	Yb 173,04
71 Casteopium . . . . .	Cp 174,99
72 Hafnium . . . . .	Hf 178,6
73 Tantal . . . . .	Ta 180,88
74 Wolfram . . . . .	W 185,92
75 Renium . . . . .	Re 186,31
76 Osmium . . . . .	Os 190,2
77 Iridium . . . . .	Ir 195,1
78 Platina . . . . .	Pt 195,23
79 Zlato (Aurum) . . . . .	Au 197,2
80 Ziva (Hydrargyrum) . . . . .	Hg 200,61
81 Thalium . . . . .	Tl 204,39
82 Olovo (Plumbum) . . . . .	Pb 207,21
83 Bizmut . . . . .	Bi 209,00
84 Polonium . . . . .	Po ?
85 — . . . . .	— —
86 Radon . . . . .	Rn 222,0
87 — . . . . .	— —
88 Radium . . . . .	Ra 226,05
89 Actinium . . . . .	Ac ?
90 Thorium . . . . .	Th 232,12
91 Protactinium . . . . .	Pa 231
92 Uran . . . . .	U 238,07
93 Neptunij . . . . .	Np 239
94 Plutonij . . . . .	Pu 239
95 Z(95) . . . . .	? 241
96 Z(96) . . . . .	? 242

**Slika 57.** Popis elemenata po rednim brojevima s naznačenim imenom, simbolom i atomskom težinom su trećem izdanju udžbenika *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije* knjiga prva: anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, treće, popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, 1947.

Naravno, i u trećem izdanju nalazi se Antropovljeva tablica periodnoga sustava elemenata. Treće izdanje udžbenika donosi jednaku tablicu kakvu nalazimo u drugome izdanju s ispravljenom pogreškom označavanja elementa bora (B), koji je u drugom izdanju bio označen simbolom (Be) (slika 58.).

**Periodički sistem elemenata**

O n 1.008																	2 He 4.003	
0	I	II	III	IV	V	VI	VII	0									0	
2 He 4.003	3 Li 6.940	4 Be 9.012	5 B 10.81	6 C 12.011	7 N 14.008	8 O 16.000	9 F 18.998	10 Ne 20.183									18 Ar 39.944	
10 Ne 20.183	11 Na 22.990	12 Mg 24.305	13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.06	17 Cl 35.453	18 Ar 39.944									36 Kr 83.7	
0	I a	II a	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII	I b	II b	III b	IV b	V b	VI b	VII b	0		
18 Ar 39.944	19 K 39.098	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.7
36 Kr 83.7	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc —	44 Ru 101.1	45 Rh 101.07	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.6	53 I 126.91	54 Xe 131.3
54 Xe 131.3	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71 —	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 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po —	85 At —	86 Rn 222
86 Rn 222	87 - —	88 Ra 226.025	89 Ac —	90 Th 232.038	91 Pa 231	92 U 238.029												
LANTANIDI																		
57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 - —	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97				

**Slika 59.** Tablica Antropovljevog periodnoga sustava elemenata objavljena u trećem izdanju Bubanovićeve udžbenika *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije* (knjiga prva: anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, treće, popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, 1947).

Bubanovićev udžbenik *Kemija* (1930.) prvi je cjeloviti sveučilišni udžbenik kemije pisan na hrvatskom jeziku. Budući da je udžbenik izdan u tri izdanja, možemo vidjeti koja nova znanstvena otkrića i spoznaje nalazimo prisutne u pojedinim izdanjima. Bubanović zasluge za otkriće periodnoga sustava elemenata pripisuje Mendeljejevu, čiju tablicu periodnog sustava donosi u svojim udžbenicima kao povijesni dokument. Ipak, za tablicu periodnog sustava elemenata po kojem bi studenti trebali učiti kemiju, odlučuje se za modifikaciju koju je napravio Antropov, te tu tablicu objavljuje kao dodatak u svim izdanjima svoga udžbenika. Vodik u tablici zauzima središnje mjesto u nultoj periodi. Bubanović govori i o neutronu elementu koji bi se nalazio prije vodika. U tablicama u svim izdanjima prisutna je skupina plemenitih plinova, kao nulta i zadnja skupina periodnoga sustava, dok su ostale skupine periodnoga sustava podijeljena na dva dijela (što je dodatno naglašeno bojom). Odvojena od glavnog dijela periodnoga sustava je skupina lantanoida. Bubanović govori i o atomskom broju, koji je riješio mnoge nedoumice koje su ranije postojale, a vezano uz redosljed

elemenata u periodnome sustavu. Govori i o građi atoma te spominje otkriće elektrona, protona i neutrona, kao i izotope. Već u prvom izdanju govori Bubenović o Bohrovom modelu atoma, no koncept izgleda atoma još uvijek ostaje onaj planetaran, u kojem se elektroni kreću oko jezgre u kružnicama ili elipsama. U drugom izdanju Bubenović govori i o građi elektronskog omotača, o čemu nije pisao u prvome izdanju. Navodi kako do potpunog objašnjenja građe atoma i spektara dolazi tek upotrebom kvantne mehanike. Uvodi i pojam ljuske, te donosi tablicu rasporeda elektrona po ljuskama za elemente periodnog sustava elemenata. Međutim, položaje elemenata u periodnome sustavu ne povezuje s njihovom elektronskom konfiguracijom niti daje objašnjenje ljusaka na način na koji ih kvantna mehanika danas objašnjava.

### 3.4.4. Vladimir Njegovan i periodni sustav elemenata



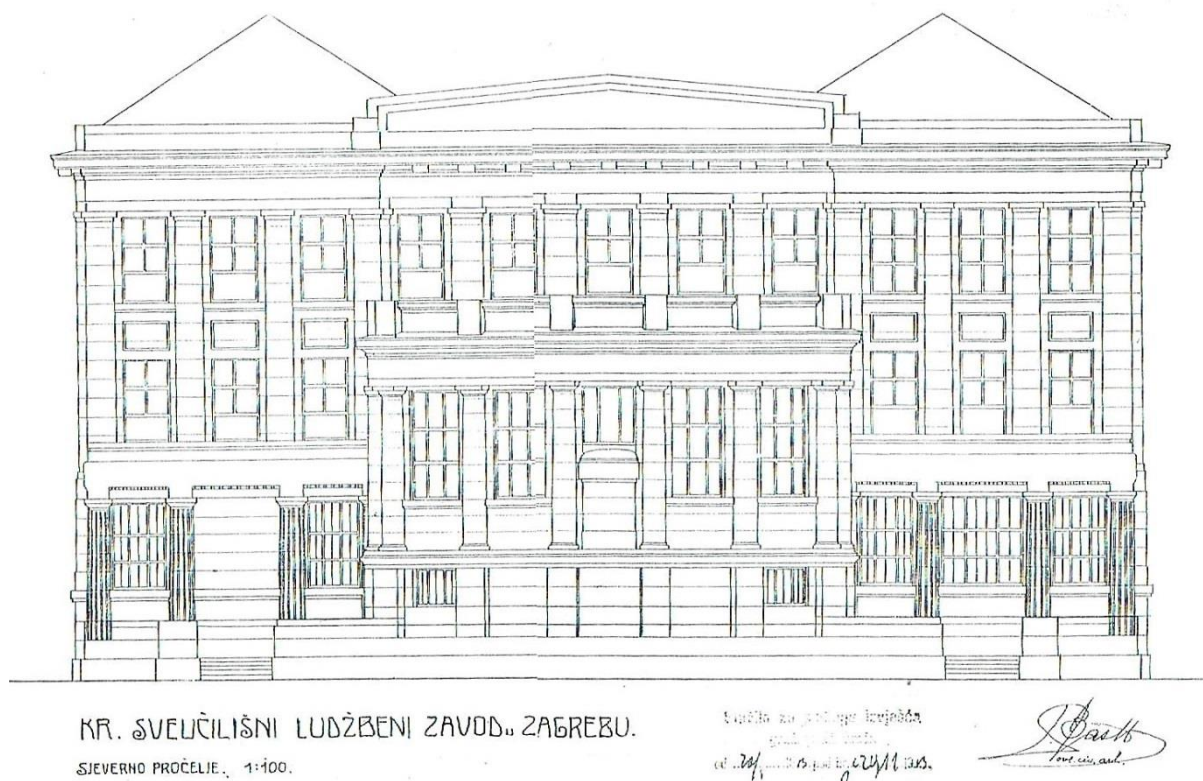
**Slika 59.** Vladimir Njegovan (1884. – 1971.)

Vladimir Njegovan (1884. – 1971.) (slika 59.) rodio se u Zagrebu te je maturirao na realnoj gimnaziji 1903. godine. Na Mudroslovnome fakultetu u Zagrebu upisuje studij kemije koji je završio na Tehničkoj visokoj školi u Beču, 1907. godine. Od 1907. bio je asistent u Agrikulturno-kemijskome zavodu Kraljevskoga višega gospodarskog učilišta u Križevcima. Nakon usavršavanja na Saveznoj politehnici u Zürichu i rada u Križevcima, doktorirao je na Visokoj tehničkoj školi u Beču (1912.). Godine 1913., premješten je i radi u prvoj realnoj gimnaziji u Zagrebu, a 1915. mobiliziran je u Prvom svjetskom ratu i radi u Vojnoj epidemijskoj bolnici u Vinkovcima. Bio je prvi profesor anorganske i analitičke kemije na Kemičko-inženjerskom odjelu Visoke tehničke škole u Zagrebu (1919.), njezin dekan (1920. – 1921., 1924. – 1926.), a zatim dekan Tehničkoga fakulteta u Zagrebu (1931. – 1933.). Utemeljitelj je studija kemije, kemijskog inženjerstva i kemijske tehnologije u Zagrebu (danas Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije). Bavio se analitičkom i fizikalnom kemijom, termodinamikom, kemijskom nomenklaturom i terminologijom. Godine 1926. osnovao je

prvo strukovno društvo kemičara na području Hrvatske pod imenom Jugoslavensko hemijsko društvo (preteču Hrvatskoga kemijskoga društva), a 1927. pokrenuo je *Arhiv za hemiju i farmaciju*, preteču časopisa *Croatica Chemica Acta*, kojemu je od 1927. do 1934. bio prvi glavni urednik. Napisao je velik broj udžbenika, popularnih knjiga, knjižica i brošura, među kojima se ističe *Hemija za više razrede srednjih i stručnih škola* (s Matijom Krajčinovićem, 1936.), koja je služila kao udžbenik na području cijele tadašnje države, kao i udžbenik *Osnovi hemije* (1939., Zagreb), koji je doživio sedam izdanja (Kovačević, 1972.; Kaštelan-Macan, 1989.).

#### 3.4.4.1. Tehnička visoka škola u Zagrebu

Godine 1918. utemeljena je u Zagrebu Tehnička visoka škola. Ideja i potreba za otvaranjem ovakve škole kao i potreba za školovanjem u području tehničkih znanosti javila se još krajem 19. stoljeća, no tada nisu bili stvoreni uvjeti za ostvarenje ovakvog pothvata. Nastavni i znanstveni rad na Tehničkoj visokoj školi bio je organiziran u više odjela. Vladimir Njegovan izabran je za redovnog profesora anorganske i analitičke kemije 3. rujna 1919. godine, te je ondje predavao sve do umirovljenja 1943. godine. Njegovan je kao jedini nastavnik novoosnovanog Kemičko-inženjerskog odjela morao organizirati nastavu kemije na svom Odjelu. Uredio je laboratorij i nabavio potrebne kemikalije i opremu za izvođenje nastave. Već u prvoj godini održane su laboratorijske vježbe iz kemije. Zavodu su 1918. godine za rad prvo bile dodijeljene prostorije na drugom katu zgrade na Trgu 29. listopada 1918. (danas Roosveltov trg 6), ali već 1920. godine Kemijsko-inženjerski odjel seli u novu zgradu Kemijskog zavoda Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu koja se nalazi na Mažuranićevu trgu 29 (kasnije Marulićev trg 20). Ovdje dobivaju prostor u južnom prizemnom dijelu, da bi se kasnije postupno širili (Kovačević, 1972.; Kaštelan-Macan, 1989.) (slika 60a i 60b.).



**Slika 60a.** Nacrt pročelja zgrade u kojoj je bio smješten Kemijsko-inženjerski odjel (1920.) Tehničke visoke škole (Kaštelan-Macan 1989.)



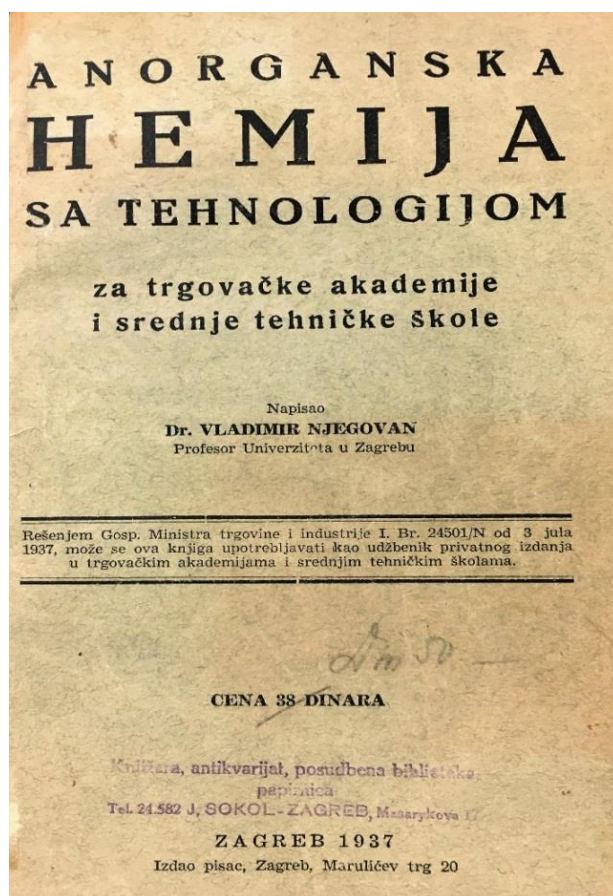
**Slika 60b.** Fotografija zgrade Kraljevskog sveučilišnog kemijskog zavoda u Zagrebu 1920. godine (Kaštelan-Macan, 1989.)



### 3.4.4.2. Njegovanova *Anorganska kemija s tehnologijom za tehničke akademije*

Spominjanje i osvrt na periodni sustav elemenata kod profesora Njegovana ne nalazimo samo u njegovim udžbenicima, već i u popularnoj literaturi koju piše. Tako se u knjižici *Što je materija?* iz 1924. godine spominje periodni sustav elemenata i Mendeljejeva kao njegova otkrivača, kao i opis i objašnjenje daljeg razvoja periodnog sustava. Također u knjižici profesor Njegovan donosi i tablicu periodnog sustava elemenata koja je u skladu s tadašnjim otkrivenim elementima i saznanjima u kemiji (Njegovan, 1924.).

Godine 1937. izlazi udžbenik profesora Njegovana *Anorganska kemija sa tehnologijom za tehničke akademije i srednje tehničke škole*. Udžbenik je izdan rješenjem Ministarstva trgovine i industrije I. br. 24501/N te je navedeno kako se ova knjiga *može upotrebljavati kao udžbenik privatnog izdanja u trgovačkim akademijama i srednjim tehničkim školama*. Udžbenik je profesor Njegovan izdao samostalno (slika 61.).



**Slika 61.** Naslovna stranica Njegovanova udžbenika *Anorganska hemija s tehnologijom* (Njegovan, 1937.)

Na unutrašnjoj prednjoj stranici korica udžbenika nalazi se popis kemijskih elemenata koji su poredani abecedno prema njihovim simbolima. Uz simbol i ime elementa navedena je i njegova atomska težina. Na unutrašnjoj stražnjoj stranici korica udžbenika nalazi se tablica periodnoga sustava elemenata. Ista ta tablica nalazi se i u samome udžbeniku u okviru poglavlja koje nosi naslov *Periodni zakon elemenata* (slika 62.).

G r u p a		0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Sjedinjenja sa vodonikom :			E H	E H <sub>2</sub>	E H <sub>3</sub>	E H <sub>4</sub>	E H <sub>3</sub>	E H <sub>2</sub>	E H	E O <sub>4</sub>
kiseonikom :			E <sub>2</sub> O	E O	E <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	E O <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	E O <sub>3</sub>	E <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	E O <sub>3</sub> E O <sub>2</sub> E O
1 H 1,0078			a b	a b	a b	a b	a b	a b	a b	
I period	1 niz	2 H <sub>2</sub> 4,002	3 Li 6,940	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,000	7 N 14,008	8 O 16,0000	9 F 19,00	
II period	2 niz	10 Ne 0,183	11 Na 22,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 31,0	16 S 32,06	17 Cl 35,457	
III period	3 niz	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 55,84
	4 niz		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	27 Co 58,94
IV period	5 niz	36 Kr 83,7	37 Rb 85,44	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 96,0	43 Ma —	44 Ru 101,7
	6 niz		47 Ag 107,880	48 Cd 112,41	49 In 114,76	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 J 126,92	45 Rh 102,91
V period	7 niz	54 X 131,3	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La itd. 138,92	72 Hf 178,6	73 Ta 181,4	74 W 184,0	75 Re 186,31	76 Os 191,5
	8 niz		79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po (210,0)	85 — —	77 Ir 193,1
VI period	9 niz	86 Em 222	87 — —	88 Ra 226,07	89 Ac (227)	90 Th 232,04	91 Pa (231)	92 U 238,03		78 Pt 195,08

58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 P —	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3	65 Tb 159,2	66 Dy 162,46	67 Ho 163,5	68 Er 167,04	69 Tu 169,14	70 Yb 173,04	71 Lu 175,0
-----------------	-----------------	-----------------	-----------	-----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------

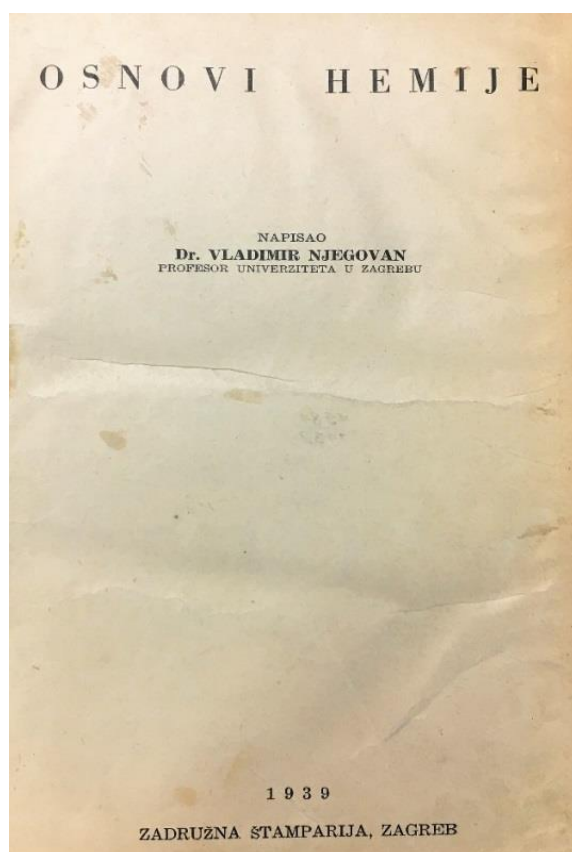
**Slika 62.** Tablica periodnoga sustava elemenata u Njegovanovu udžbeniku *Anorganska hemija s tehnologijom*, (1937.)

U ovom poglavlju Njegovan govori kako je ruski kemičar Dmitrij Ivanovič Mendeljejev 1869. poredao sve elemente prema porastu njihove atomske težine, te pronašao kako se kemijska svojstva elemenata periodično ponavljaju. Objasnio je kako je Mendeljejev konstruirao svoju tablicu te navodi kako neke stvari koje su danas poznate u kemiji nisu tada bile poznate, kao na primjer valencija nekih elemenata (berilij). Govori i o Mendeljejevim opisima i predviđanjima vezanim za tada nepoznate elemente (galij, skandij i germanij), kao i o otkriću plemenitih plinova čije postojanje nije bilo predviđeno, no oni se u potpunosti uklapaju u periodni sustav kao nulta skupina. U idućim poglavljima Njegovan govori i o otkriću radioaktivnosti i radija, raspadanju atoma te cijelo poglavlje posvećuje građi atoma. Govori kako nas više ne zadovoljava spoznaja da atomi postoje, nego nam se nameće i čitav niz pitanja vezanih uz njihovu građu, a to su pitanja poput postojanja izotopa i izobara, spektara te koji je uzrok radioaktivnom raspadu. Navodi da se atom sastoji od atomske jezgre s manje ili više pozitivnih naboja, dok je broj pozitivnih naboja identičan rednom ili

atomskom broju, što je bilo u skladu s tadašnjim znanstvenim spoznajama. Kada opisuje građu atoma navodi kako oko jezgre kruže elektroni, poput planeta oko sunca, na različitim udaljenostima. Elektronu ima onoliko koliko i pozitivnih naboja i atom ostaje neutralan. Navodi otkriće I. Chadwicka, koji je pronašao i neutralne dijelove – neutrone, dok su malo iza njega, 1933. godine, Anderson, pa Blacketh i Ochiliani pronašli i pozitivne elektrone – pozitrone, koji imaju istu atomsku težinu kao i elektroni. Govori i o Rutherfordovim pokusima kao i onima Irene Joliot- Curie (1897. – 1956.). No, u ovom udžbeniku ne spominje Bohra niti njegov model atoma kao ni bilo kakva otkrića vezana uz kvantnu teoriju (Njegovan, 1937.).

### 3.4.4.3. Njegovanov udžbenik *Osnovi hemije*

Njegovan 1939. godine objavljuje prvo izdanje udžbenika *Osnovi hemije* koji će doživjeti sedam izdanja (Njegovan, 1939.) (slika 63.).



**Slika 63.** Naslovna stranica prvoga izdanja udžbenika Vladimira Njegovana *Osnovi hemije* (1939., Zagreb)

U uvodu profesor Njegovan ističe da je ovaj udžbenik rezultat njegova gotovo dvadesetogodišnjeg nastavnčkog rada na Tehničkom fakultetu u Zagrebu. Naglašava kako je to tek jedan dio od udžbenika koje je zajedno s kolegom Matijom Krajčinovićem (1892. –

1975.) pisao za više razrede srednjih i stručnih škola. Navodi kako pisanje udžbenika na hrvatskom jeziku uvijek donosi i problem znanstvene terminologije i jezika. Na kraju uvoda zahvaljuje kolegama i suradnicima Vjeri Krajovan-Marjanović, Branku Božiću, Miroslavu Karšulinu, Matiji Krajčinoviću i Vladimiru Prelogu koji su mu pomogli u pisanju udžbenika.

U udžbeniku *Osnovi hemije* nalazimo poglavlje posvećeno atomskim težinama i periodnome sustavu elemenata. Izložena je povijest otkrića vezanih uz periodni sustav elemenata u kojoj Njegovan navodi ideje Döbereinera i njegove trijade, Cannizzara i kongres u Karlsruheu 1860. godine, pokušaje Chancourtoisa, zatim Newlandsa i zakon oktava. Također navodi kako je 1864. Meyer poredao elemente prema njihovim atomskim težinama i uočio pravilnu izmjenu valencija i nekih drugih zakonitosti. Svoju je tablicu Meyer nadopunio 1868., no nije ju objavio. Godine 1869. Dmitrij Ivanovič Mendeljejev objavio je svoju tablicu na temelju koje je izveo zakon periodičnosti.

**Periodni sistem elemenata po Mendeljevu**

Grupa		0	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
Sjedinjenja sa vodonikom :			EH		E H <sub>2</sub>		E H <sub>3</sub>		E H <sub>4</sub>		E H <sub>5</sub>		E H <sub>6</sub>		E H		E O <sub>4</sub>	
kiseonikom :			E <sub>2</sub> O		E O		E <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		E O <sub>2</sub>		E <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		E O <sub>3</sub>		E <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		E O <sub>2</sub> E O <sub>2</sub> E O	
I H			a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b		
1,0081																		
I period	1 niz	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 16,0000	9 F 19,00									
	2 niz	10 Ne 20,183	11 Na 22,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 31,02	16 S 32,06	17 Cl 35,457									
III period	3 niz	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 55,84	27 Co 58,94	28 Ni 58,69						
	4 niz		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									
IV period	5 niz	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 Ma —	44 Ru 101,7	45 Rh 102,91	46 Pd 106,7						
	6 niz		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 J 126,92									
V period	7 niz	54 Xe 131,3	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La itd. 138,92	72 Hf 178,6	73 Ta 180,88	74 W 183,92	75 Re 186,31	76 Os 190,2	77 Ir 193,1	78 Pt 195,23						
	8 niz		79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po (210,0)	85 — —									
VI period	9 niz	86 Rn 222	87 — —	88 Ra 226,05	89 Ac (227)	90 Th 232,12	91 Pa (231)	92 U 238,07										

58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 P —	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0	64 Gd 156,9	65 Tb 159,2	66 Dy 162,46	67 Ho 163,5	68 Er 167,2	69 Tm 169,4	70 Yb 173,04	71 Cp 175,0
-----------------	-----------------	-----------------	-----------	-----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	----------------

**Slika 64.** Mendeljejevljeva tablica periodnoga sustava elemenata objavljena u prvom izdanju udžbenika *Osnovi hemije* (1939.) Vladimira Njegovana

Njegovan ističe kako je Mendeljejev elemente poredao po rastućoj atomskoj težini i pronašao kako se svojstva tako poredanih elemenata periodnično ponavljaju, te je slične elemente svrstao u vertikalne skupine. Međutim napominje Njegovan kako Mendeljejevljeva tablica u sebi sadrži određene nepravilnosti i izuzetke, koje sam Mendeljejev nije mogao objasniti (slika 64.). Nakon Mendeljejeva mnogi su znanstvenici pokušali modificirati tablicu i u ovom udžbeniku se nalazi moderna tablica sa svim onim elementima koji su dodani nakon

Mendeljejevljeve originalne tablice. Ova tablica jednaka je kao i tablica izdana u udžbeniku *Anorganska kemija s tehnologijom* (Njegovan, 1937.).

Njegovan u udžbeniku *Osnovi hemije* objavljuje i periodni sustav elemenata po A. Werneru, u kojoj su razdvojene glavne i sporedne grupe, tablica dugih perioda (slika 65.) (Njegovan, 1939.).

### Vernerova modifikacija periodnog sistema elemenata

grupa	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a		1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	H He	
2	Li	Be	—	—	—	—	—	—	—	—	—	B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg	Al	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	—	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	X
6	Cs	Ba	R. z.	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	—	Rn
7	—	Ra	Ac	Th	Pa	U	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Slika 65.** Modifikacija periodnoga sustava elemenata (tablica dugih perioda) prema A. Werneru, koju profesor Njegovan objavljuje u svom udžbeniku *Osnovi hemije* (1939.)

Njegovan opisuje kako je Mendeljejev smjestio berilij u drugu skupinu periodnog sustava elemenata te kako je pretskazao svojstva onda još nepoznatih elemenata, kao što su germanij, skandij i galij. Prednost nad otkrićem periodnoga sustava daje Mendeljejevu uz objašnjenje: *Veliko značenje Mendeljejeva leži baš u tome što je on ne samo postavio i jasno precizovao periodni zakon, već što je on na osnovu toga učinio i proročanstva koja su se ispunila. U tome leži bitna razlika između njega i L. Majera (Meyer), kojem nije dostajalo hrabrosti za tako dalekosežna zaključivanja* (Njegovan, 1939a.).

Ističe i otkriće plemenitih plinova i njihovo smještanje u nultoj skupini periodnoga sustava. Njegovan navodi i da je razvojem znanosti postalo jasno kako za elemente nisu karakteristične njihove atomske težine, već atomski ili redni brojevi. Upravo je otkrićem atomskih brojeva riješena nepravilnost u poretku parova Te i I, Ar i K, Co i Ni, Th i Pa. Također navodi Njegovan kako danas u periodnome sustavu nedostaju elementi rednih brojeva 85 (astat, As, otkriven 1940.) i 87 (francij, Fr, otkriven 1939.). Uz udžbeniku Njegovan navodi i Mendeljejevljevu iscrpnu biografiju.

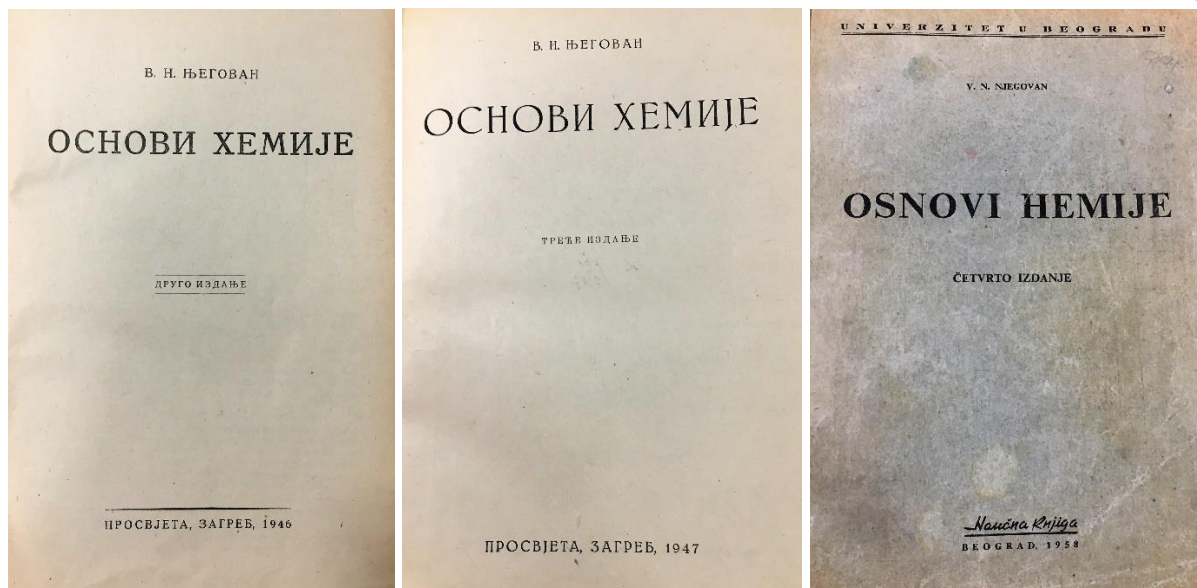
Njegovan uz tablicu srednje kratkih perioda, koja je tada bila najčešće korišten oblik periodnoga sustava, donosi i tablicu drugačijeg izgleda. Periodni sustav po Werneru prva je

tablica u hrvatskih udžbenicima kemije koja donosi izgled dugih perioda. Nažalost tablice periodnoga sustava koje Njegovan donosi u svome udžbeniku nisu usklađene. Tako se u tablici po Mendeljejevu vodik nalazi na posebnom mjestu u nultoj periodu ispred nulte skupine, dok se u onoj po Werneru vodik nalazi u prvoj periodu u 7b skupini. Plemeniti plinovi u tablici prema Mendeljejevu nalaze se u nultoj skupini, dok se u onoj prema Werneru nalaze u osmoj skupini. U Wernerovoj modifikaciji tablice nema elementa masurija ( $\text{Ma}$ ,  $Z = 43$ ), koji je prisutan u ranije navedenoj tablici objavljenoj u istome udžbeniku (slika 64.).

Poglavlje o strukturi atoma otvara Njegovan činjenicom da danas postoje realni dokazi da su atomi sastavljeni od negativno nabijenih elektrona (*negatrona*), pozitivno nabijenih elektrona (pozitrona) i neutrona. Detaljno piše o otkrićima ovih čestica (J.J. Thomson, A. Reuterdaahl, C. A. Anderson, P. Blackett, G. Ochiliani, F. Joliot-Curie, Irene Joliot-Curie, I. Chadwick). Navodi kako je već 1926. Antropov predviđao postojanje neutrona. U ovom poglavlju govori i o Bohr-Rutherfordovom modelu atoma, koja po mnogome izgleda kao planetarni sustav. Oko centralne jezgre, pozitivnoga električnog naboja, kruže u zatvorenim krugovima (navodi u zagradi zapravo elipsama) na različitim udaljenostima od jezgre negativno nabijeni elektroni. Kako bi mogao objasniti spektre atoma, Bohr je primijenio kvantnu teoriju Maxa Plancka (1900.). Njegovan objašnjava Bohrov model atoma te zaključuje kako je Bohr mogao na osnovu svoje teorije deducirati Mendeljejev periodni sustav elemenata, no ipak ne može objasniti sve njegove elemente.

Osvrće se i na nove teorije atoma. Ovdje kao takvu teoriju navodi kvantnu mehaniku i L. de Broglia, E. Schrödingera, W. Heisenberga, A. M. Diraca. U bilješci spominje kako je Stjepan Mohorovičić (1890. – 1980.), profesor u Zagrebu, 1934. godine postavio pitanje što će se dogoditi ako se sudare pozitron i negativni elektron. Prema Bohrovoj teoriji trebao bi nastati sustav tj. atom koji on naziva najjednostavnijim hipotetičkim elementom *elektrum* (Ec). Zaključuje kako će budućnost pokazati koliko su ova predviđanja točna (Njegovan, 1939b.). Na kraju udžbenika nalazi se popis literature koju je autor koristio, a u tom popisu nalazimo i Mendeljejev udžbenik *Osnove kemije* iz 1906.

Svega pet godina nakon prvog izdanja izlazi i drugo izdanje *Osnovi hemije* 1946. godine (Njegovan, 1946.). Već iduće godine, 1947. izlazi i treće izdanje udžbenika (Njegovan, 1947.) (slika 66.).



**Slike 66.** Naslovne stranice drugog (Zagreb, 1946.), trećeg (Zagreb, 1947.) i četvrtog (Beograd, 1958.) izdanja udžbenika *Osnovi hemije* Vladimira Njegovana

Drugo i treće izdanje Njegovanova udžbenika pisano je ćirilicom. Na unutrašnjosti prednjih korica drugoga izdanja nalazi se tablica periodnoga sustava elemenata. Tablica još uvijek ima oblik kratkih perioda u kojem su skupine podijeljene na dio *a* i *b*. Za razliku od tablice u prvom izdanju u kojoj je nulta skupina, plemenitih plinova, početna skupina periodnoga sustava, u tablici u drugome izdanju ona je premještena na kraj periodnoga sustava to jest nakon osme skupine. Novost u tablici su prisutne oznake perioda (K, L, M, N, O, P, Q) i izračun maksimalnog broja elektrona koji određena perioda može primiti. Na stražnjim koricama drugoga izdanja nalaze se simboli, imena i atomske težine elemenata iz 1941. godine (slika 67.).

Периодни систем елемената по Мендѣлѣеву

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0	
	E H E <sub>2</sub> O	E H <sub>2</sub> E O	E H <sub>3</sub> E <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	E H <sub>4</sub> E O <sub>2</sub>	E H <sub>5</sub> E <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	E H <sub>2</sub> E O <sub>3</sub>	E H E <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	E O <sub>4</sub> E O <sub>3</sub> E O <sub>2</sub> E O		
I = K 2 · 1 <sup>2</sup> = 2	1 H 1,0080								2 He 4,003	
II = L 2 · 2 <sup>2</sup> = 8	3 Li 6,940	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,010	7 N 14,008	8 O 16,0000	9 F 19,00		10 Ne 20,183	
III = M 2 · 2 <sup>2</sup> = 8	11 Na 22,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 30,98	16 S 32,06	17 Cl 35,457		18 Ar 39,944	
IV = N 2 · 3 <sup>2</sup> = 18	19 K 39,096 29 Cu 63,57	20 Ca 40,08 30 Zn 65,38	21 Sc 45,10 31 Ga 69,72	22 Ti 47,90 32 Ge 72,60	23 V 50,95 33 As 74,91	24 Cr 52,01 34 Se 78,96	25 Mn 54,93 35 Br 79,916	26 Fe 55,85 36 Kr 83,7	27 Co 58,94 37 Rb 85,47	28 Ni 58,69 38 Sr 87,62
V = O 2 · 3 <sup>2</sup> = 18	37 Rb 85,48 47 Ag 107,880	38 Sr 87,63 48 Cd 112,41	39 Y 88,92 49 In 114,76	40 Zr 91,22 50 Sn 118,70	41 Nb 92,91 51 Sb 121,76	42 Mo 95,95 52 Te 127,61	43 Ma — 53 I 126,92	44 Ru 101,7 54 X 131,3	45 Rh 102,91	46 Pd 106,7
VI = P 2 · 4 <sup>2</sup> = 32	55 Cs 132,91 79 Au 197,2	56 Ba 137,36 80 Hg 200,61	57 La itd. 138,92 81 Tl 204,39	72 Hf 178,6 82 Pb 207,21	73 Ta 180,88 83 Bi 209,00	74 W 183,92 84 Po (210,0)	75 Re 186,31 85 EI (211)	76 Os 190,2 86 Rn 222	77 Ir 193,1	78 Pt 195,23
VII = Q ?	87 AcK (223)	88 Ra 226,05	89 Ac (227)	90 Th 232,12	91 Pa (231)	92 U 238,07				

58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Il —	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0	64 Gd 156,9	65 Tb 159,2	66 Dy 162,46	67 Ho 164,94	68 Er 167,2	69 Tm 169,4	70 Yb 173,04	71 Cp 174,99
-----------------	-----------------	-----------------	------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------

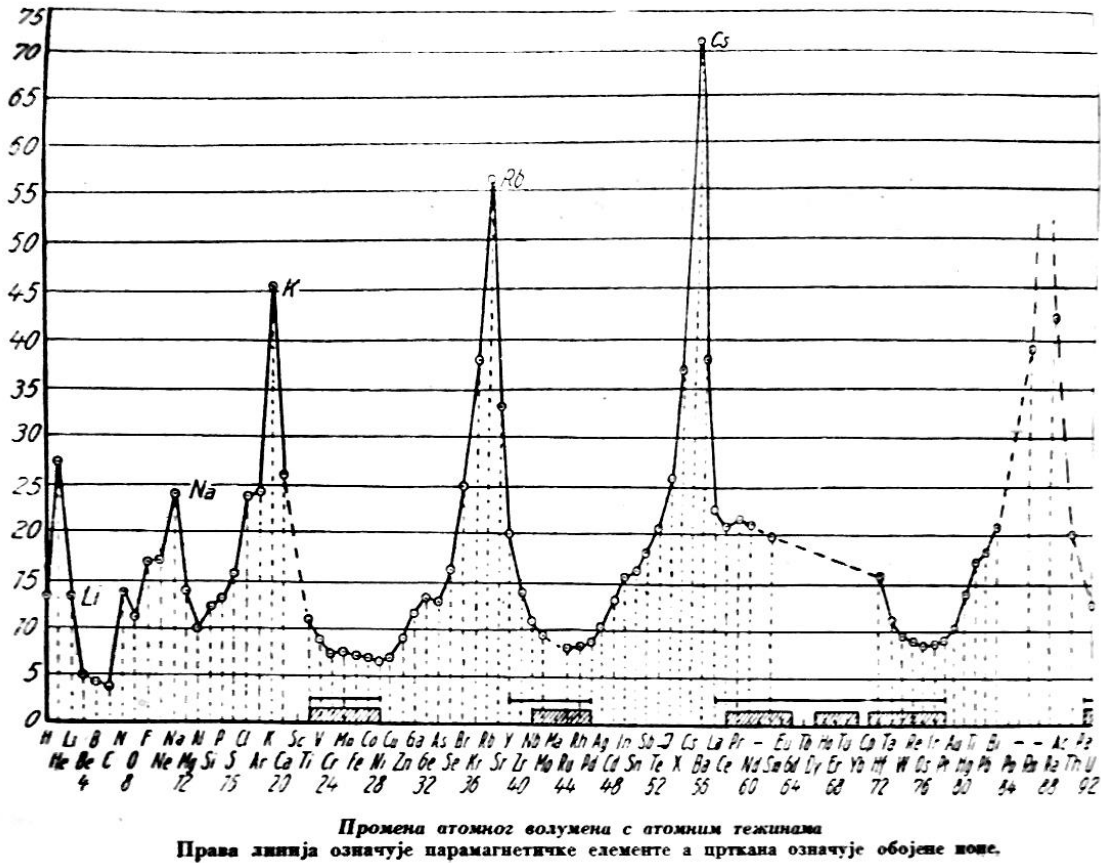
Slika 67. Tablica periodnoga sustava elemenata u drugom izdanju Njegovanova udžbenika *Osnovi hemije* (1946.)

Poglavlje o atomskim težinama i periodnome sustavu prisutno je u svim izdanjima iza prvoga, no s određenim promjenama sadržaja. Ponovno kao uvod u drugom, trećem i četvrtom izdanju nalazimo povijest otkrića periodnoga sustava. Počevši od drugog izdanja u udžbeniku nalazimo i prikaz atomskih volumena kao funkcije atomskih težina (Meyer) (slika 68.). Wernerova modifikacija periodnoga sustava elemenata, tablica dugih perioda, nalazi se i u svim izdanjima iza prvoga. Uz ovu modifikaciju nalazimo od drugog izdanja i Kippovu modifikaciju periodnoga sustava za koju Njegovan ne daje nikakva dodatna objašnjenja. U tekstu zaključuje kako su sve ovo varijacije prvobitnog Mendeljejevljevog originala koje ne mijenjaju sam princip periodnoga zakona kojeg je postavio Mendeljejev, a koji je potvrđen ondašnjim znanstvenim istraživanjima, prvenstveno onima vezanim uz unutarnju građu atoma, kojima periodni zakon dobiva svoj pravi značaj.

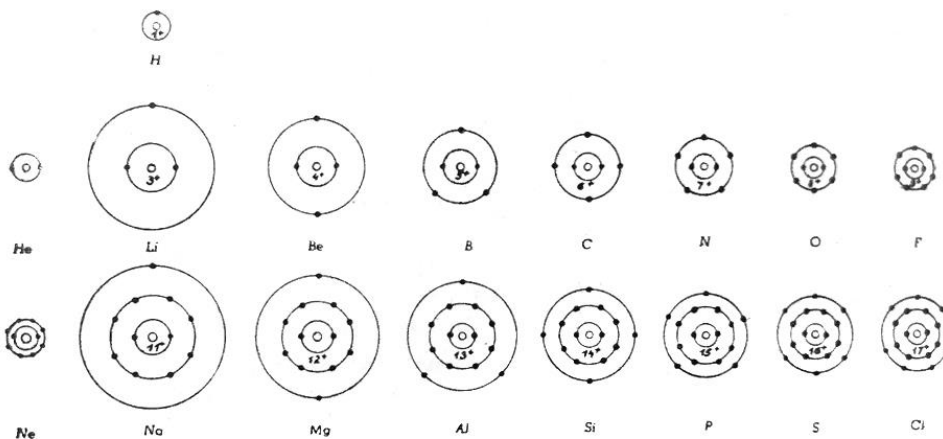
U poglavlju o strukturi atoma, od drugog izdanja, objašnjava i elektronsku konfiguraciju prema Bohrovoj teoriji. Pojedine ljuske označava slovima K, L, M, N, O, P, Q, te ih povezuje s linijskim spektrom atoma. Daje i shematski prikaz elektronskih struktura prvih osam elemenata periodnoga sustava, te navodi kako iz teorijskih izvoda i eksperimentalnih



podataka određujemo broj elektrona koji pojedina ljuska može sadržavati (slika 69.). Uz to donosi i Bohr – Thomsonov model broja i rasporeda elektrona u pojedinim ljuskama (slika 70. i 71.).



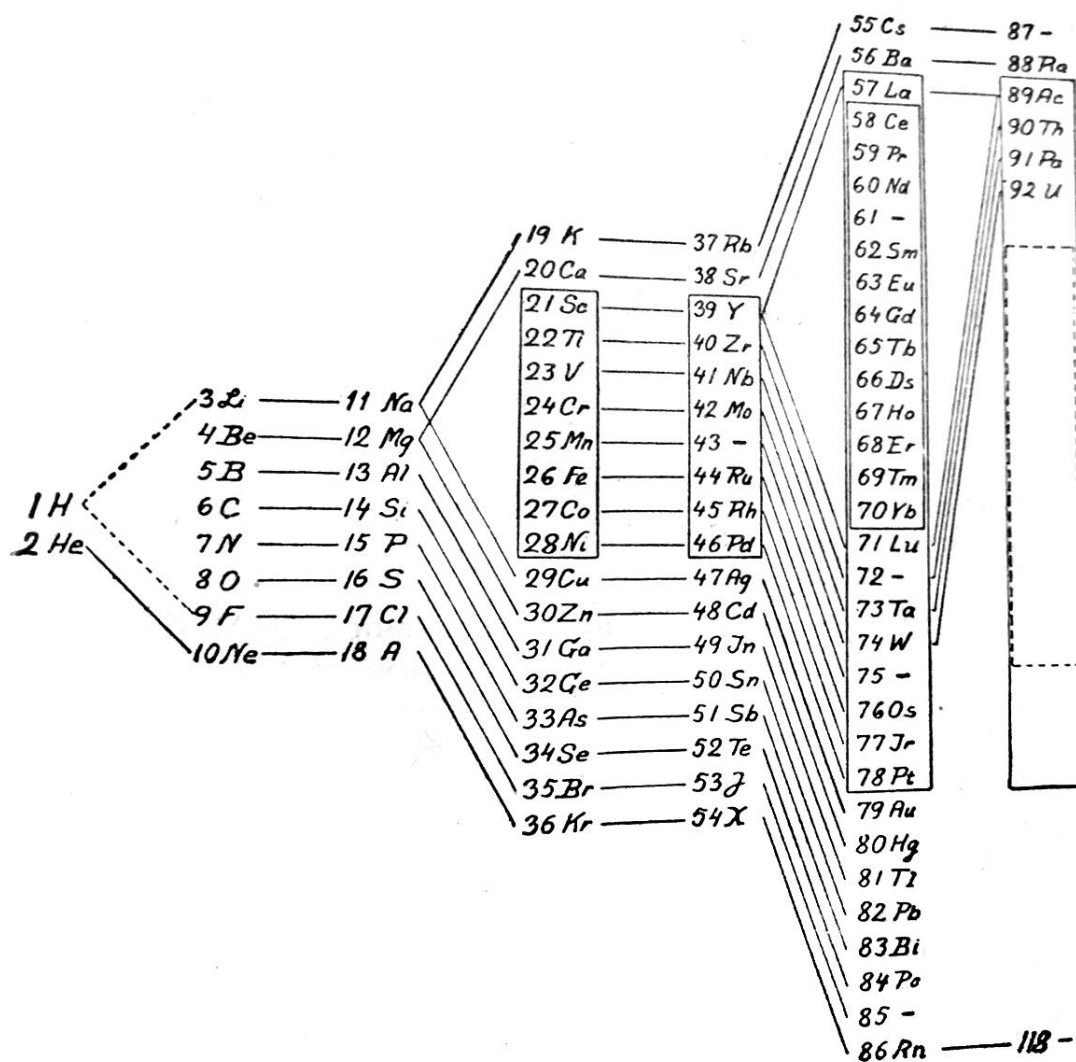
Slika 68. Meyerov prikaz atomskih volumena kao funkcije atomskih težina, reproduciran u drugom izdanju Njegovanova udžbenika *Osnovi hemije* (1946.)



Slika 69. Prikaz strukture atoma u drugom izdanju udžbenika *Osnovi hemije* (1946.)

Редни број	Симбол	Број електрона у љусци						
		K	L	M	N	O	P	Q
0	N <sub>0</sub>							
1	H	1						
2	He	2						
3	Li	2	1					
4	Be	2	2					
5–9		2	3–7					
10	Ne	2	8					
11	Na	2	8	1				
12	Mg	2	8	2				
13–17		2	8	3–7				
18	Ar	2	8	8				
19	K	2	8	8	1			
20	Ca	2	8	8	2			
21	Sc	2	8	8+1	2			
22–30		2	8	8+(2–10)	2			
31	Ga	2	8	18	3			
32–35		2	8	18	4–7			
36	Kr	2	8	18	8			
37	Rb	2	8	18	8	1		
38	Sr	2	8	18	8	2		
39	Y	2	8	18	8+1	2		
40–48		2	8	18	8+(2–10)	2		
49	In	2	8	18	18	3		
50–53		2	8	18	18	4–7		
54	X	2	8	18	18	8		
55	Cs	2	8	18	18	8	1	
56	Ba	2	8	18	18	8	2	
57	La	2	8	18	18	8+1	2	
58	Ce	2	8	18	18+1	8+1	2	
59–71		2	8	18	18+(2–14)	8+1	2	
72	Hf	2	8	18	32	8+2	2	
73–80		2	8	18	32	8+(3–10)	2	
81	Tl	2	8	18	32	18	3	
82–85		2	8	18	32	18	4–7	
86	Rn	2	8	18	32	18	8	
87	AcK	2	8	18	32	18	8	1
88	Ra	2	8	18	32	18	8	2
89	Ac	2	8	18	32	18	8+1	2
90	Th	2	8	18	32	18	8+2	2
91	Pa	2	8	18	32	18	8+3	2
92	U	2	8	18	32	18	8+5	1

Slika 70. Struktura elektronskog omotača u drugome izdanju udžbenika *Osnovi hemije* (1946.)



**Slika 71.** Bohr – Thomsonov model elektronske konfiguracije u drugom izdanju udžbenika *Osnovi hemije* (1946.)

Tablica strukture elektronskog omotača tj. tablica elemenata poredanih prema porastu rednih brojeva s podjelom elektrona na ljuske prvi puta u hrvatskim udžbenicima kemije nalazimo u Bubanovićevom drugom izdanju udžbenika *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije* (Bubanović, 1946.) (slika 55.). Usporedimo li tu tablicu u Bubanovićevom udžbeniku i ovu u Njegovanovom (slika 70.) možemo vidjeti kako u Bubanovićevom udžbeniku nedostaje elektronska konfiguracija elemenata d i f bloka. U Bubanovićevoj tablici napisana je konfiguracija do kalcija ( $Z = 20$ ), te onda nije napisana konfiguracija elemenata do galija ( $Z = 31$ ). Isto se ponavlja i kod elementa stroncija ( $Z = 38$ ), nakon kojeg nema napisane konfiguracije do elementa indija ( $Z = 49$ ). Nakon indija napisane su konfiguracije do barija ( $Z = 56$ ) i preskočene konfiguracije do elementa talija ( $Z = 81$ ). Bubanovićeva tablica kao zadnji

element ima napisanu konfiguraciju radija ( $Z = 88$ ). Njegovan u svojoj tablici donosi konfiguracije svih elemenata do uranija ( $Z = 92$ ).

Na slici 71. prikazan je Bohr – Thomsonov model elektronske konfiguracije u Njegovanovom drugom izdanju udžbenika Osnovi hemije (1946.). No, ovakav prikaz periodnoga sustava nije u potpunosti usklađen s tablicom koja se nalazi na unutrašnjim stranicama korica. U Bohr – Thomsonovom modelu elektronske konfiguracije ostavljena su prazna mjesta koje elementa rednih brojeva 43 (masurij), 72 (hafnij), 75 (renij), 85 (astat).

U svom udžbeniku Njegovan govori i o otkrićima nekih elemenata poput neptunija, Np (E. M. McMillan, P. H. Abelson), plutonija, Pu (G. T. Seaborg, A.C. Wahl, J. W. Kennedy), americija, Am, kirija, Cm, tehnicija, Tc (C. Perier, E. Sagre). U opsnom dijelu udžbenika govori o tehneciju, dok se u nekim tablicama nalazi prisutan masurij. Također spominje i otkrića prometija, Pm, astata, At, za koji navodi da je taj element također otkrila i Alisa Leigh-Smith, rođena Prebil, podrijetlom iz Hrvatske. Navodi i otkrića francija, Fr ili Fa, berkelija, Bk, kalifornija, Cf te za ono doba novootkrivenog einsteinija, Es, mendelevij, Mv i nobelija, No (Za detalje o godinama otkrića i osobama koje su otkrile elemente vidi tablicu u prilogu.).

Više od deset godina nakon trećega izlazi i četvrto izdanje (1958.). (Njegovan, 1958.) Na prvim stranicama četvrtog izdanja zabilježeno je kako je aktom Komisije za udžbenike Univerziteta u Beogradu br. 2762. od 2-VIII-1955 godine odobreno da se ovaj udžbenik tiska kao stalni udžbenik za studente Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Prije uvoda četvrtom izdanju sam profesor Njegovan je dodao citat J. J. Bezeliusa: *Sam đavo neka piše udžbenik za hemiju; za nekoliko godina sve se promijenilo* (Njegovan, 1958a.).

Vrlo velike promjene i otkrića vezana su upravo uz periodni sustav elemenata te uz građu materije i atoma. U pogovoru udžbenika četvrtog izdanja udžbenika Njegovan ističe kako tadanašnji suvremeni udžbenici kemije ne mogu odgovarati u potpunosti suvremenom razvoju struke, te unatoč nastojanjima autora, svaki takav udžbenik u svojim određenim dijelovima postaje zastarjeo zbog eksplozivnog razvoja struke. Također navodi kako i ove zastarjele ideje nisu bez značaja i vrijednosti jer one otkrivaju povijesni kontinuitet i razvoj struke te ističe kako su baš zbog toga u okviru udžbenika objavljene i biografija velikih znanstvenika, pogotovo Slavena, poput Lomonosova, Boškovića, Mendeljejeva, Marie Sklodowske Curie i drugih. U ovom izdanju udžbenika uvršteno je i poglavlje o razvoju kemijske nomenklature i

terminologije. Njegovan završava udžbenik citatom: *Kada čovjek svrši, onda počinje* (Njegovan, 1958b.).

Udžbenici profesora Njegovan donose različite modifikacije periodnoga sustava elemenata, među kojima postoje određene razlike i nedosljednosti. U udžbenicima su opisani svi važni događaji vezani uz razvoj samoga periodnoga sustava, od Mendeljejevljeve objave prve tablice, preko predviđanja postojanja elemenata za koje su u tablici ostavljena prazna mjesta, do otkrića galija, skandija i germanija, otkrića plemenitih plinova. Objašnjena su otkrića vezana uz atomski ili redni broj te strukturu atoma i elektronsku konfiguraciju počevši od Bohrovog modela do ideja koje uvodi kvantna mehanika.

Jednako kao i kroz Bubanovićeve udžbenike i kroz Njegovanove možemo pratiti na koji se način i u kojoj mjeri ondašnja znanstvena istraživanja, koja se odnose na periodni sustav elemenata, ugrađuju u hrvatsku visokoškolsku nastavu i kemijsku znanost.

### 3.4.5. Periodni sustav elemenata u udžbeniku Zvonimira Pinterovića

Zvonimir Pinterović (1904. – 1954.), rođen je u Ceriću, osnovnu pučku školu završio je u Nuštru, a gimnaziju u Vinkovcima 1922. godine. Nakon završetka gimnazije odlazi u Zagreb gdje upisuje studij fizike, kemije i matematike na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Slušao je predmete koji su predavali ugledni hrvatski prirodoslovci poput Stanka Hondla, Gustava Janečeka, Nikole A. Pušina, Frana Bubanovića, Frana Tućana i drugi. Tema njegove doktorske disertacije (1929.) bila je *O djelovanju oksalilnog klorida na jedno- i dvovaljane fenole* (Arhiv Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 1904. – 1954.; Arhiv rektorata Sveučilišta u Zagrebu, osobnik; Arhiv Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, disertacija Pinterović, 1929. ).

U predgovoru doktorskoj disertaciji Pinterović navodi da je radnja izrađena u medicinsko-kemijskom zavodu Sveučilišta Kraljevine SHS u Zagrebu, te zahvaljuje predstojniku medicinsko-kemijskog zavoda Franu Bubanoviću koji mu je omogućio rad u svom laboratoriju. Isto tako zahvaljuje i Josipu Mikšiću, tadašnjem asistentu na tom zavodu koji mu je čitavo vrijeme rada pomagao savjetima i iskustvom na tom području. U Zagrebu radi na II. muškoj realnoj gimnaziji do 1940. godine. Nakon toga zaposlen je na Visokoj pedagoškoj školi, te na kemijskim zavodima ondašnjeg Farmaceutskog fakulteta. Godine 1943. izabran je za izvanrednog profesora na Tehničkom fakultetu, na katedri Anorganaska i analitička kemija, a 1944. godine za redovitog profesora. Naime, od osnutka Tehničke visoke škole 1919. godine, do početka 1941. godine, cjelokupni kolegij Anorganska kemija na Kemijsko-inženjerskom odjelu izvodio se u laboratoriju, odnosno Zavodu za analitičku kemiju. Nastavu je na početku održavao Vladimir Njegovan, a od 1943. godine do 1951. godine nastavu su održavali redom Zvonimir Pinterović, zatim Vjera Marjanović-Krajovan, a potom Hrvoje Iveković (*Tehnički fakultet 1919. – 1994.*, 1994.; *Kemijsko-tehnološki studij 1919 – 1989*, 1989.; Trinajstić *et al.*, 2009.).

Zvonimir Pinterović ostavio nam je značajna djela vezana uz metodiku nastave prirodnih predmeta fizike i kemije u svojim objavljenim istraživanjima, kao i u nizu udžbenika koje je objavio.

Posebno su zanimljivi udžbenici *Kemija za više razrede srednjih i sličnih škola* (1940.), (Pinterović, 1940.) i *Kemija za niže razrede srednjih škola* (1941.). (Pinterović, 1941.)

U predgovoru udžbenika „*Kemija za niže razrede srednjih škola*“ autor piše: *Budući da je eksperiment osnova kemijske nastave, nastojao sam da i ova moja školska knjiga dobije što je moguće više eksperimentalni značaj... Želio sam udovoljiti tome pedagoškom načelu*

*poredanjem građe i načinom izlaganja. Nastojao sam, da po mogućnosti polazim od poznatog, da povezujem novo sa starim, da ne bude velikih skokova i da pomoću eksperimenata učinim građu zanimljivom... nastojao sam da djeca najprije upoznaju dosta kemijskih tvari i operacija, a onda tek zakone, znakove itd (Pinterović, 1941a.).*

Analizom i usporedbom sadržaja Pinterovićevih udžbenika za niže i za više razrede srednjih škola jasno je vidljivo da je način izlaganja ali i sadržaj za niže razrede manje opširan i s manjom upotrebom kemijskog zapisa, simbola, formula i računa. Gradivo se iznosi na nižem nivou, na način koji je prihvatljiv mlađim učenicima. Udžbenik za više razrede donosi potpunija objašnjenja, kemijske reakcije, formule, povijesne crtice i obavezna pitanja na kraju pojedinih poglavlja koja zahtijevaju višu razinu znanja, razvijeno apstraktno mišljenje i zaključivanje.

Udžbenik *Kemija za niže razrede srednjih škola* imao je dva izdanja, prvo iz 1941. godine i drugo iz 1942. godine. Dio udžbenika vezan uz periodni sustav elemenata nije promijenjen u smislu iznošenja novih otkrića i informacija. Dio poglavlja o kruženju elemenata u prirodi posvećen je periodnome zakonu elemenata. Kao otkrivače autor ističe Mendeljejeva i Meyera. U istome poglavlju govori o otkriću radioaktivnosti i pretvaranju elemenata tj. transmutaciji te o građi atoma. Vezano uz građu atoma navodi kako je 1911. godine Rutherford postavio svoj model atoma prema kojem se vodikov atom sastoji od pozitivno nabijene jezgre, u kojoj se sadržana gotovo sva masa atoma i elektrona koji oko nje kruži. Navodi kako je proučavajući spektre atoma danski istraživač Bohr 1913. godine promijenio sliku atoma tako što je uzeo da se elektron okreće oko jezgre kao planet oko Sunca. Govori i o Chadwickovom otkriću neutrona 1932. godine., kao i o otkriću pozitrona i umjetne radioaktivnosti (Pinterović, 1941a.; Raos, 2011.).

Udžbenik *Kemija za više razrede srednjih škola* također je imao dva izdanja (1940. i 1943.) (Pinterović, 1940.). Prvo izdanje odobreno je kao privremena školska knjiga odlukom bana Banovine Hrvatske br. 72587-II-1940., i uz ime profesora Pinterovića navedeno je kako je on profesor II. muške realne gimnazije u Zagrebu. Drugo izdanje odobreno je kao privremena školska knjiga odlukom Ministarstva narodne prosvjete Nezavisne Države Hrvatske U.M. 22550-1943. Oba izdanja imaju minimalne razlike, no sadržaj vezan uz periodni sustav elemenata nije u drugom izdanju obogaćen novim saznanjima.

Pinterović posvećuje cijelo poglavlje udžbenika *poređaju elemenata i njihovoj građi* te u tom poglavlju prvi dio nosi naslov *Periodni sustav elemenata*. On ovdje navodi da je kroz povijest bilo više pokušaja uređivanja i prikazivanja kemijskih elemenata u preglednom obliku povezanom po određenom redu i zakonu. Mendeljejev je sve poznate elemente poredao po rastućim atomskim težinama i u skupine po svojstvima. U isto vrijeme, navodi Pinterović, to je učinio i Lothar Meyer, no on iz toga nije izvodio toliko dalekosežne zaključke kao Mendeljejev. Mendeljejev je svoju tablicu mijenjao, a ona se mijenjala i nakon njega. Periodni sustav elemenata uveo je na vrlo domišljat i funkcionalan način tako da je sistematizirao i racionalizirao poznate kemijske činjenice. Predvidio je postojanje novih elemenata i tako potaknuo na daljnja istraživanja. Pinterović daje objašnjenje tablice periodnog sustava elemenata koja se nalazi u njegovom udžbeniku (slika 72.). U njoj su elementi poredani u osam horizontalnih perioda i u devet vertikalnih skupina. Elementi su označeni rednim brojevima. Kod pedeset i osmog elementa dolazi do male nepravilnosti, ti elementi zovu se metali rijetkih zemalja. To su po njegovom objašnjenju elementi koji zauzimaju posebno mjesto u tablici elemenata. Pojedine skupine dijele se na podskupine, koje su označene s *a* i *b*. Pinterovićev periodni sustav elemenata uz simbol elementa i redni broj sadrži i atomsku težinu. Plemeniti plinovi uvršteni su u periodni sustav elemenata kao *0 b* skupina na kraju periodnoga sustava elemenata. Skupina plemenitih plinova uvrštena je u periodni sustav elemenata nakon njihovog otkrića, za koje su Lord Rayleigh i William Ramsey 1904. godine primili Nobelovu nagradu. Pinterović objašnjava da su u prvoj skupini najjači elektropozitivni elementi, a dalje na desno pada elektropozitivnost. Od četvrte skupine ističe se kiselinski karakter elemenata, dok su najelektronegativniji elementi u sedmoj skupini. Kroz skupinu elektronegativnost pada. Povučemo li pravac od bora do joda, možemo odijeliti *metaloide* od metala. Ako u tablici gledamo s lijeva na desno opažamo kako valencije rastu prema halogenim elementima i prema kisiku, zaključuje Pinterović.



**Prirodni sustav elemenata**

Period i broj elemenata	Red	S K U P I N E														
		I a b	II a b	III a b	IV a b	V a b	VI a b	VII a b	VIII a	0 b						
I $2 \cdot 1^2 = 2$	1	1 H 1,0081									2 He 4,003					
II $2 \cdot 2^2 = 8$	2	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					
III $2 \cdot 2^2 = 8$	3	11 Na 22,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 30,98	16 S 32,06	17 Cl 35,457			18 Ar 39,944					
IV $2 \cdot 3^2 = 18$	4	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 27 Co 28 Ni 55,84 58,94 58,69							
	5	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					
V $2 \cdot 3^2 = 18$	6	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 Ma								
	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 J 126,92			54 X 131,3					
VI $2 \cdot 4^2 = 32$	8	52 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57-71	72 Hf 178,6	73 Ta 180,88	74 W 183,92	75 Re 186,31	76 Os 77 Ir 78 Pt 190,2 193,1 195,23							
	9	79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po 210	85 Ab 221			86 Rn 222					
VII	10	87 Vi 224	88 Ra 226,05	89 Ac 227	90 Th 232,12	91 Pa 231	92 U 238,07									
		57 La 138,92	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 II	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0	64 Gd 156,9	65 Tb 159,2	66 Dy 162,46	67 Ho 163,5	68 Er 167,2	69 Tu 169,4	70 Yb 173,04	71 Cp 175,0

**Slika 72.** Periodni sustav elemenata Zvonimira Pinterovića u udžbeniku *Kemija za više razrede srednjih i sličnih škola* (1940.)

Pinterović u udžbeniku spominje i otkrića germanija, skandija i galija kao i Mendeljejevljeva pretpostavljena svojstva tih elemenata. Također govori o otkriću radioaktivnosti, Becquerelu i Marie Curie. Vezano uz građu atoma govori o pokusima C. T. R. Wilsona i R. A. Milikana, no ne spominje J. J. Thompsona. Govori o Rutherfordovom otkriću jezgre kao i o Bohrovom modelu atoma i otkriću neutrona I. Chadwicka 1932. godine. Iznosi kako se elektroni nalaze u atomu na određenim udaljenostima od jezgre, te su smješteni u ljuskama. Za ljuske navodi kako se redom označavaju slovima: K, L, M i N. Uz to donosi tablicu u kojoj se može vidjeti raspored elektrona po ljuskama za određene elemente (slika 73.).

Redni broj i počelo	Broj elektrona u ljuskama			Redni broj i počelo	Broj elektrona u ljuskama					
	K	L	M		K	L	M	N		
1	H	1			19	K	2	8	8	1
2	He	2			20	Ca	2	8	8	2
3	Li	2	1		21	Sc	2	8	9	2
4	Be	2	2		22	Ti	2	8	10	2
5	B	2	3		23	V	2	8	11	2
6	C	2	4		24	Cr	2	8	13	1
7	N	2	5		25	Mn	2	8	13	2
8	O	2	6		26	Fe	2	8	14	2
9	F	2	7		27	Co	2	8	15	2
10	Ne	2	8		28	Ni	2	8	16	2
11	Na	2	8	1	29	Cu	2	8	18	1
12	Mg	2	8	2	30	Zn	2	8	18	2
13	Al	2	8	3	31	Ga	2	8	18	3
14	Si	2	8	4	32	Ge	2	8	18	4
15	P	2	8	5	33	As	2	8	18	5
16	S	2	8	6	34	Se	2	8	18	6
17	Cl	2	8	7	35	Br	2	8	18	7
18	Ar	2	8	8	36	Kr	2	8	18	8

**Slika 73.** Raspored elektrona po ljuskama za neke elemente u udžbeniku *Kemija za više razrede srednjih i sličnih škola* (1943., drugo izdanje) Zvonimira Pinterovića

Pinterovićev udžbenik *Kemija za više razrede* ne samo da donosi tablicu periodnog sustava elemenata, već je i tumači, dok u *Kemiji za niže razrede* također postoji tablica u potpuno istom obliku, ali sa znatno skromnijim objašnjenjima. Uz tablicu periodnog sustava elemenata u tom udžbeniku nalazi se i tablica sa simbolima elemenata, njihovim imenima, rednim brojem i atomskim težinama.

U usporedbi s današnjim srednjoškolskim udžbenicima Pinterovićev udžbenik sadrži puno više crtica i bilježaka iz povijesti kemije. Pinterović ove bilješke iznosi u prigodnim dijelovima knjige kada obrađuje pojedine dijelove gradiva.

Pinterovićevi udžbenici dragocjen su nam izvor informacija. Oni svjedoče o razini srednjoškolske nastave iz prirodnih predmeta toga vremena. Značajni su i za razvoj kemijske terminologije i sustavnog korištenja iste, kao i za razvoj sustavnog kemijskog obrazovanja u Hrvatskoj.

### 3.4.6. Prijedlog Franje Krleže za izgled periodnoga sustava elemenata

Franjo Krleža (1908. – 1988.) nakon mature upisuje studij kemije na Filozofskom fakultetu u Zagrebu 1927., studij nastavlja u Innsbrucku i vraća se u Zagreb gdje je 1931. i diplomirao (slika 74.). Doktorsku je disertaciju izradio na Filozofskome fakultetu u Zagrebu pod vodstvom profesora Gilberta Flumianija (1899. – 1976.), a doktorirao je 1942. godine tezom *Određivanje i odjeljivanje stroncija od željeza u prisutnosti fosfata.*



**Slika 74.** Franjo Krleža (1908. – 1988.)

Po završetku studija najprije je djelovao kao asistent volonter u Kemijskom zavodu Filozofskog fakulteta, a potom je 1933. postavljen za honorarnog nastavnika na Državnoj realnoj gimnaziji u Varaždinu, a zatim u Gospiću. Nakon položenog profesorskog ispita (1936.), unaprijeđen je i premješten na IV. mušku realnu gimnaziju u Zagreb. Na toj je gimnaziji predavao fiziku i kemiju. Za vrijeme Nezavisne države Hrvatske predavao je kemiju na Zastavničkoj školi oružanih snaga NDH, priredivši skripta iz kemije u četiri dijela. Bio je urednik časopisa *Priroda*, kojeg je izdavalo Hrvatsko prirodoslovno društvo (HPD) te upravitelj Zvezdarnice HPD-a. Znanstvene i predavačke aktivnosti u doba NDH bile su uzrokom velikih problema u kojima se našao poslije rata i to je bio glavni razlog njegova odlaska u Sarajevo.

Godine 1954. Krleža je izabran za docenta iz analitičke kemije na Filozofskome fakultetu u Sarajevu, zatim za izvanrednoga i redovitoga profesora na Prirodno-matematičkom fakultetu u Sarajevu. Na PMF-u u Sarajevu utemeljio je Katedru za analitičku kemiju i bio njen predstojnik sve do 1977. godine. Godine 1971. povjerena mu je dužnost glavnoga urednika *Glasnika kemičara i tehnologa Bosne i Hercegovine*, koju je obnašao do 1981. Osim toga obnašao je niz funkcija u Uniji kemijskih društava Jugoslavije. Franjo Krleža je također utemeljio i organizirao poslijediplomski studij kemije na PMF-u u Sarajevu (Paušek-Baždar, 2013.; Paušek-Baždar, Flegar, 2015.; Murko, 1979.).

Profesor Krleža autor je brojnih knjiga koje su se koristile u nastavi kemije i kolegijima koje je predavao. Uz to pisao je i popularno-znanstvene knjige. U svojim radovima profesor Krleža naglašava važnost i univerzalnost kemije. Povodom sedamdesete godišnjice Mendeljejevljevoga otkrića periodnoga sustava elemenata profesor Franjo Krleža u *Nastavnom vjesniku* objavljuje članak naslova „Prikazivanje periodskoga sistema kemijskih elemenata“ (Krleža, 1940.-1941.).

Članak Krleža započinje povijesnim prikazom istraživanja koja su pokušavala riješiti pitanje odnosa atomskih težina i svojstava elemenata. Navodi pokušaje Döbereinera (1817.) i pronalazak zakona trijada, kao i cijeli niz istraživača koji su se bavili ovom tematikom (Gmelin, Béguyer de Chancourtois, Newlands). Zaključuje kako su ovi pojedinci napravili predradnje i postavili temelje koji su Dmitiriju Ivanoviču Mendeljevevu i Juliusu Lotharu Meyeru omogućili otkriće periodnoga zakona i sustava elemenata. Krleža naglašava kako je otkriće periodnog sustava bilo vrlo korisno i poticajno no kako izgled tablice periodnog sustava elemenata nije potpuno zadovoljavao sve činjenice i saznanja pa se zbog toga tablica s vremenom i novim otkrićima poboljšavala i mijenjala. Kao najveću teškoću navodi Krleža sve

dulje periode elemenata. Sam Mendeljejev svrstavao je elemente u kratke periode. No, takav prikaz nije bio u skladu s krivuljom atomskih volumena, a dolazilo je i do odstupanja kod svojstava pojedinih elemenata. Tako su se na primjer u istoj skupini našli elementi koji nisu imali mnogo sličnosti poput cezija i zlata ili mangana i broma. Takvi nedostaci pokušali su se ukloniti uvođenjem dugih perioda. Autori koje profesor Krleže ističe su Alfred Werner prijedlogom iz 1905. godine (ovaj periodni sustav nalazimo u Njegovanovom udžbeniku *Osnovi hemije*) i Paul Pfeiffer prijedlogom iz 1920. godine, koji u svojim tablicama imaju duge periode. No, niti takav prikaz nije bio potpuno zadovoljavajući. Krleža navodi i rješenje Nilsa Bohra iz 1922. godine, koje je prema njegovom mišljenju teorijski najopravdanije, no zbog nepreglednosti nepovoljno za nastavu. Krleža izdvaja i oblik tablice periodnoga sustava elemenata kojeg je predstavio 1926. godine von Antropov, koja u sebi sadržava i Mendeljevljev sustav, a radi se o istoj tablici koju profesor Bubanović donosi u svim izdanjima svoga udžbenika *Kemija*) (Flegar i Trinajstić, 2017.).

Krleža u svom radu spominje i pokušaj spiralnog predočavanja periodnog sustava elemenata po D. O. Lyonu (1928.) i drugima. U radu zaključuje kako različita predočavanja periodnih svojstava elemenata (linearni, u stupcima, spiralno) sva imaju svojih prednosti i nedostataka. Konačna svrha tih predodžbi bila bi da se pokaže veza između građe atoma i periodnog zakona te stoga sam kreće u objašnjavanje i vizualizaciju periodnog sustava elemenata prema vlastitoj ideji.

Krleža tako podržava ideju prema kojoj se kontinuitet svojstava elemenata najbolje prikazuje u spiralnom obliku. U svome članku on navodi kako je pokušaja koji periodni sustav elemenata prikazuju u spiralnom obliku već bilo i prije njegove zamisli, no kako je on pokušao otkloniti nedostatke i nepreglednost istih. Profesor Krleža daje stoga svoj prijedlog izgleda tablice periodnoga sustava elemenata koji je kružnog oblika (slika 75.).



U Krležinom se prikazu periodnog sustava elemenata na istim kružnim isječcima nalaze elementi istih grupa. U sredini slike nalazi se krug, koji predstavlja cjelokupnu materiju izgrađenu od elemenata svih grupa. U sredini velikog kruga nalazi se mali koncentrični krug, koji predstavlja praelemente i ujedno vodik, koji je prema Krležinim navodima, najjednostavnija kombinacija praelemenata. Praelementi su za Krležu elektron, proton, pozitron i neutron. Pojedine periode počinju plemenitim plinom, a završavaju halogenim elementom. Tako među elementima nema prekida, već se oni nastavljaju jedan za drugim počevši od helija i završavaju s uranijem. U članku Krleža navodi kojim bi bojama pojedine skupine trebale biti obojene, kako bi se još dodatno naglasila sličnost između elemenata u skupinama (slika 76.).

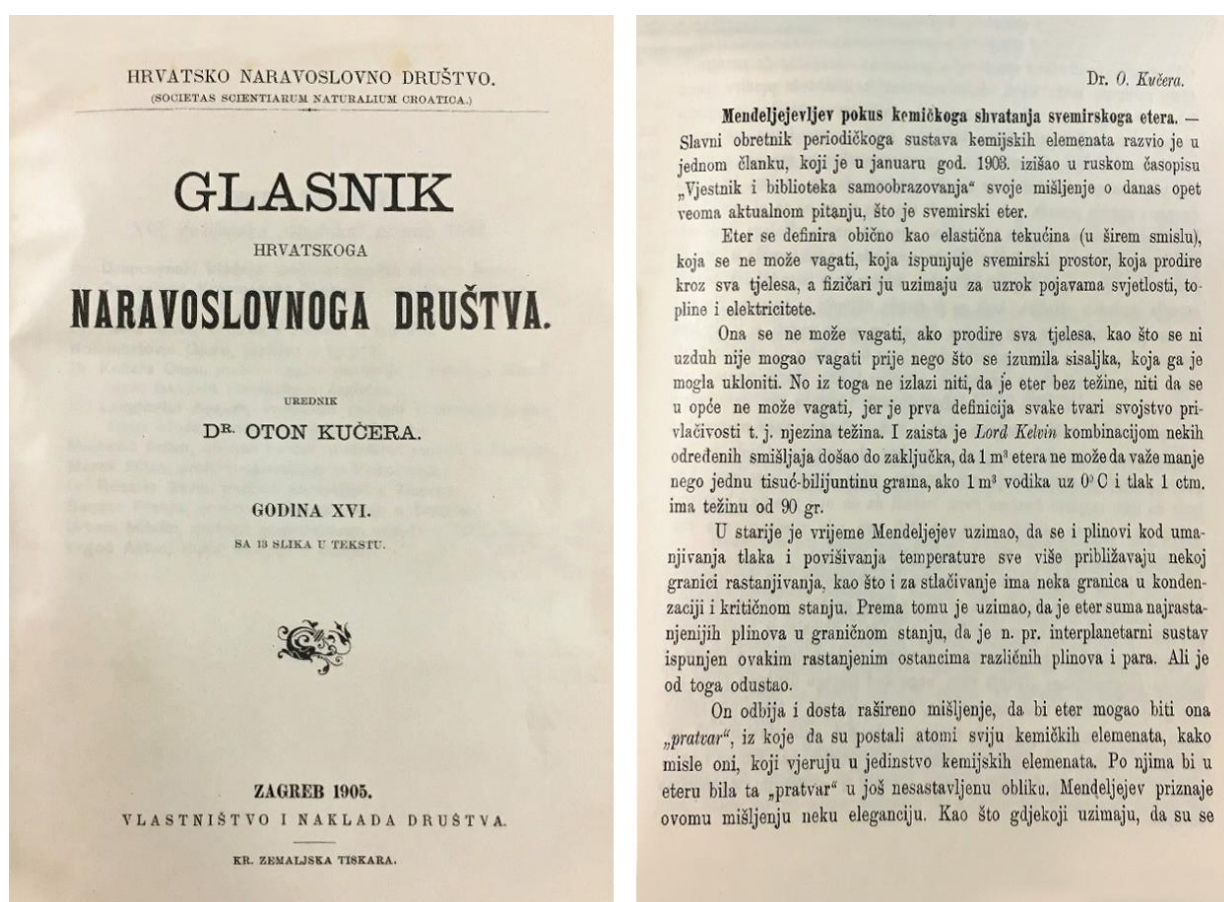
Profesor Krleža u članku zaključuje kako je uvjeren da bi ovakvo prikazivanje Mendeljejevljeva periodnog sustava elemenata bilo najprikladnije i kako se ovakvom predodžbom najbolje prikazuje periodičnost svojstava kemijskih elemenata bez prekidanja i podjele na periode.

U članku profesor Krleža ne navodi od kojeg autora je eventualno preuzeo ovaj oblik tablice periodnoga sustava elemenata. Krleža je autor nekoliko udžbenika iz kemije, no ovu njegovu zamisao ne nalazimo u tim udžbenicima te nam ostaje samo za nagađati je li ovakvu ideju o izgledu tablice periodnoga sustava elemenata predlagao svojim studentima i koristio u nastavi kemije.

### 3.5. Periodni sustav u časopisima i popularizacijskoj literaturi u Hrvatskoj

Osim u udžbenicima kemije i znanstvenoj zajednici, odjek otkrića i razvoja Mendeljejevljevog periodnoga sustava u Hrvatskoj možemo pratiti i u popularnoj literaturi, časopisima, popularnim knjigama i drugim tiskovinama.

N. Raos u svom članku „Periodni sustav u Hrvata“ ističe kako *unatoč Janečekovoj sklonosti periodnome sustavu, prvi članak o njemu na hrvatskom jeziku ne dugujemo Janečku, pa ni nekom drugom kemičaru. Godine 1904. prvi je upravitelj zagrebačke zvjezdarnice Oton Kučera (1856. – 1932.) objavio članak Mendeljejevljev pokus kemičkog shvatanja svemirskog etera* (Raos, 2011.).



**Slika 77.** Naslovna stranica *Glasnika hrvatskog naravoslovnog društva* (1905.) s člankom profesora Otona Kučere „Mendeljejevljev pokus kemičkog shvatanja svemirskog etera“



	Grupa 0	Grupa I.	Grupa II.	Grupa III.	Grupa IV.	Grupa V.	Grupa VI.	Grupa VII.					
	0	<i>x</i>											
Redovi ili periode elemenata	1	<i>y</i>	<i>H</i> 1·008										
	2	<i>He</i> 4	<i>Li</i> 7·03	<i>Be</i> 9·1	<i>B</i> 11	<i>C</i> 12	<i>N</i> 14·04	<i>O</i> 16	<i>F</i> 19				
	3	<i>Ne</i> 19·9	<i>Na</i> 23·05	<i>Mg</i> 24·1	<i>Al</i> 27	<i>Si</i> 28·4	<i>P</i> 31	<i>S</i> 32·06	<i>Cl</i> 35·45	Grupa VIII.			
	4	<i>Ar</i> 38	<i>K</i> 39·1	<i>Ca</i> 40·1	<i>Sc</i> 44·1	<i>Ti</i> 48·1	<i>V</i> 51·4	<i>Cr</i> 52·1	<i>Mn</i> 55	<i>Fe</i> 55·9	<i>Co</i> 59	<i>Ni</i> 59	<i>(Cu)</i>
	5		<i>Cu</i> 63·6	<i>Zr</i> 65·4	<i>Ga</i> 70	<i>Ge</i> 72·3	<i>As</i> 75	<i>Se</i> 79	<i>Br</i> 79·95				
	6	<i>Kr</i> 81·8	<i>Rb</i> 85·4	<i>Sr</i> 87·6	<i>Y</i> 89	<i>Zr</i> 90·6	<i>Nb</i> 94	<i>Mo</i> 96	—	<i>Ru</i> 101·7	<i>Rh</i> 103	<i>Pd</i> 106·5	<i>(Ag)</i>
	7		<i>Ag</i> 107·9	<i>Cd</i> 112·4	<i>In</i> 114	<i>Sn</i> 119	<i>Sb</i> 120	<i>Te</i> 127	<i>I</i> 127				
	8	<i>Xe</i> 128	<i>Cs</i> 132·9	<i>Ba</i> 137·4	<i>La</i> 139	<i>Ce</i> 140	—	—	—	—	—	—	(—)
	9		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	—	—	—	<i>Yb</i> 173	—	<i>Tu</i> 183	<i>W</i> 184	—	<i>Os</i> 191	<i>Ir</i> 193	<i>Pt</i> 194·9	<i>(Au)</i>
	11		<i>Au</i> 197·2	<i>Hg</i> 200	<i>Tl</i> 204·1	<i>Pb</i> 206·9	<i>Bi</i> 208	—	—	—	—	—	—
	12	—	—	<i>Rd</i> 224	—	<i>Th</i> 232	—	<i>U</i> 239	—	—	—	—	—

**Slika 78.** Tablica periodnoga sustava elemenata u članku Otona Kučere „Mendeljejevlev pokus kemičkog shvatanja svemirskog etera“ s elementima *x* i *y* objavljena u *Glasniku hrvatskog naravoslovnog društva* (1905.)

U svom članku „Mendeljejevlev pokus kemičkog shvatanja svemirskog etera“ (Kučera, 1904.) već u prvoj rečenici profesor Kučera naglašava kako je Mendeljejev slavni otkrivač periodnoga sustava elemenata (slika 77.). U članku je donesena i tablica periodnoga sustava elemenata u kojoj se nalazi element *y*. Element *y* smješten je u nultoj skupini i prvoj periodi, ispred vodika, koji se nalazi u prvoj skupini prve periode, a ispod elementa *x*, koji se nalazi u nultoj periodi i nultoj skupini. Za element *y* profesor Kučera navodi kako ne može biti *svemirski eter* te ističe kako je u svojoj najnovijoj modifikaciji periodnoga sustava (1904.) Mendeljejev uveo nultu periodu i u nultu skupinu stavio element *x*, koji bi trebao biti najlakši od svih elemenata i po gustoći i po atomskoj težini te bi ga trebalo biti svugdje i kao svemirski eter bi trebao prodirati kroz sve. Mendeljejev je u to doba odbacio mišljenje da su od tog elementa, kojeg naziva *newtonium*, nastali svi ostali elementi (slika 78.).

Kučera i prije ovog članka, posvećeng Mendeljejevu i njegovu periodnom zakonu, godine 1895./1896. u *Glasniku* objavljuje članak „Dva znatna otkrića: argon i helij“. Kučera u članku iznosi činjenicu da Mendeljejev nije predvidio mjesto argonu u svome periodnome sustavu elemenata (Kučera, 1895. – 1896.).

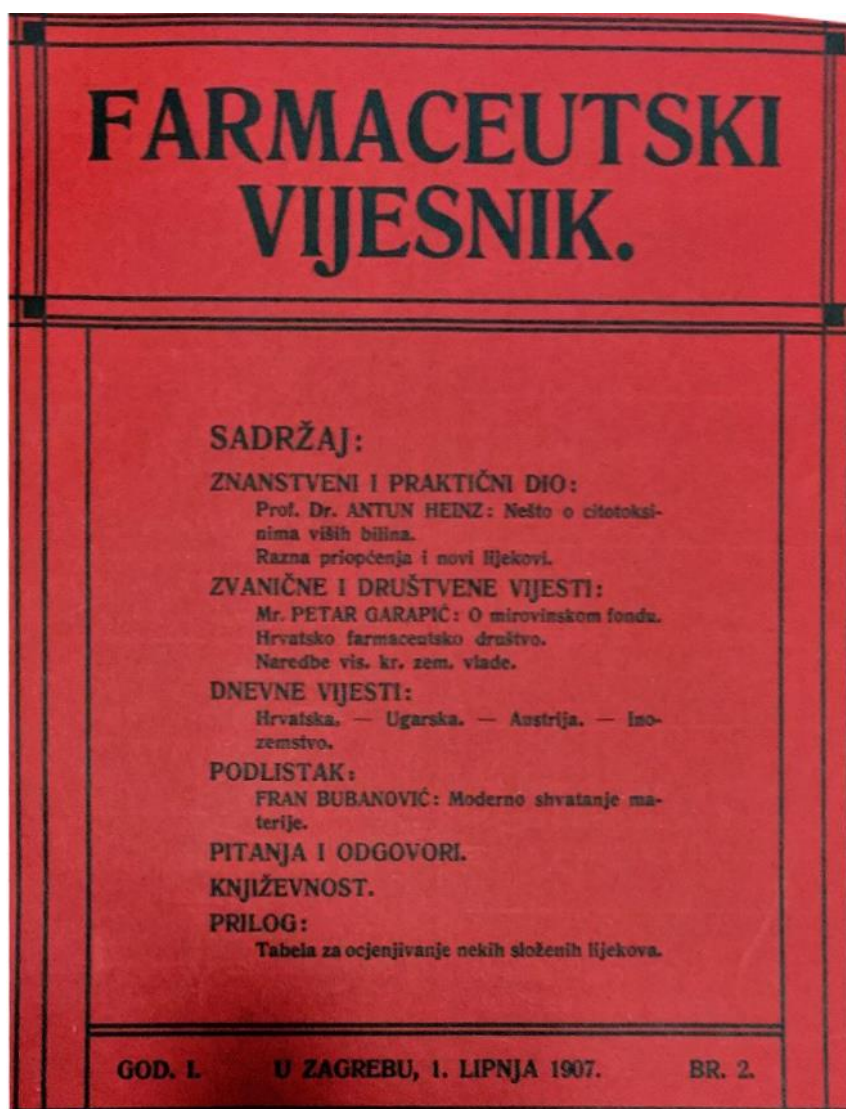
*Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva* bio je časopis koji je izdavalo Hrvatsko Naravoslovno Društvo, osnovano 1885. godine. Prema dosada poznatim arhivskim podacima prvi pismeni poziv za utemeljenje Društva nalazimo 1865. godine u izvještaju gimnazije u Senju, a napisao ga je profesor Viktor Mihailović. Osnivačka skupština održana je 26. prosinca 1885. Za predsjednika je 1885. godine izabran Spiridon Brusina. Gjuro Pilar i Spiridon Brusina su u pozivnici na skupštinu istakli potrebu za osnivanjem ovakvog društva da bi se potaknuo razvoj prirodnih znanosti u Hrvatskoj. Posebno je naglašena i važnost postojanja i objavljivanja znanstvenih prirodoslovnih tekstova, te je odlučeno kako će Društvo izdavati *Glasnik naravoslovnog društva*. *Glasnik* počinje izlaziti 1886. godine i to je prvi znanstveni časopis s područja prirodnih znanosti u Hrvatskoj. Usporedno s izdavanjem časopisa Društvo je pokrenulo i izdavanje monografija (Dadić, 1985.).

Raos u članku „Periodni sustav u Hrvata“ (Raos, 2011.) zaključuje kako se, osim spomena Mendeljejeva u sveučilišnim udžbenicima i gdje kojem popularnom članku o periodnom sustavu elemenata, za njega gotovo i nije čulo te ga nema u znanstveno-popularnim knjigama iz kemije.

Međutim, Mendeljejev periodni sustav jest predstavljen široj javnosti u Hrvatskoj. Uz Otona Kučeru i Fran Bubanović također u nekoliko popularnih publikacija piše o periodnome sustavu elemenata i Mendeljejevu.

U svibnju godine 1907. počinje izlaziti *Farmaceutski vijesnik*, glasilo Hrvatskog farmaceutskog društva u Zagrebu. Uredništvo u uvodu prvog broja časopisa naglašava: *Pratit ćemo točne prilike susjednih naroda, o njima izvješćivati, te se upoznavati sa novim tečevinama na našem stručnom polju, obradjivanim kod bližih, većih i naprednijih naroda* (Farmaceutski vijesnik, 1907.).

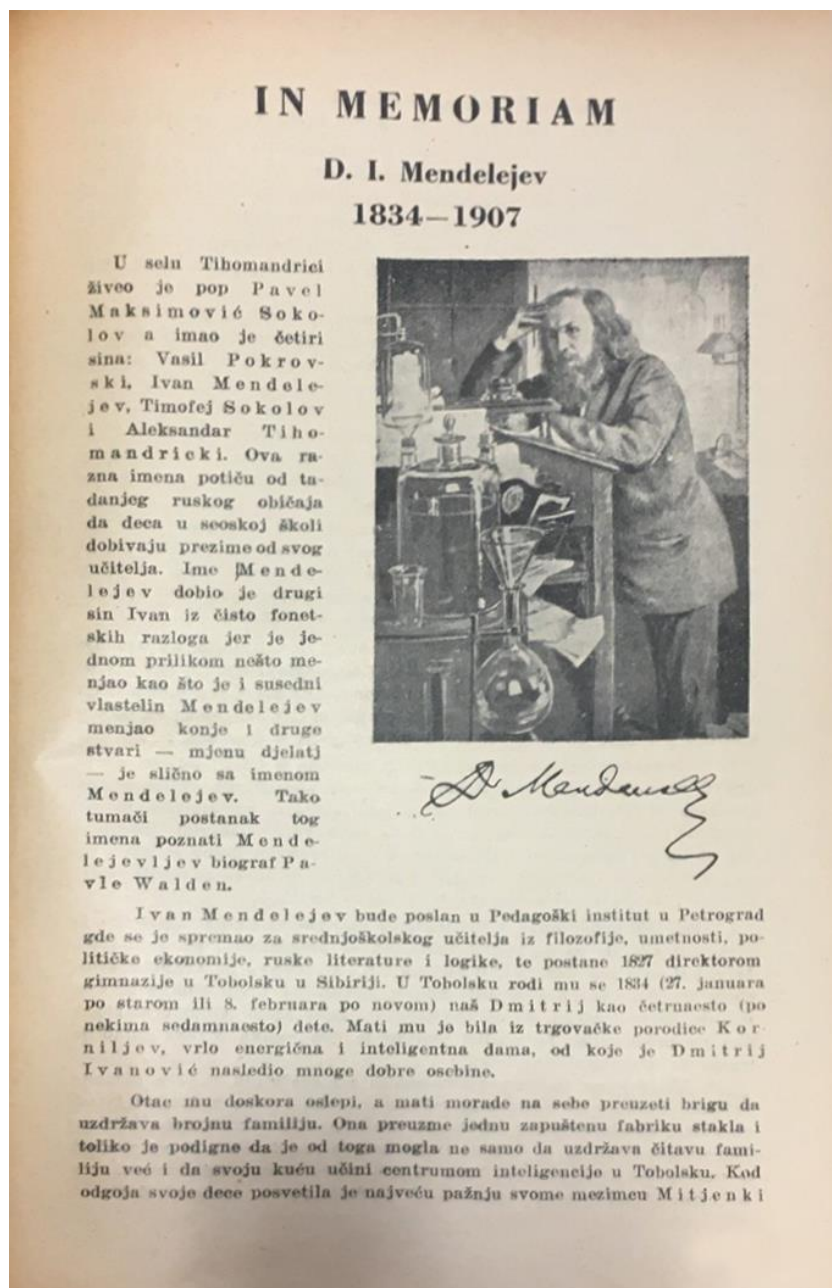
Od prvog broja *Farmaceutskog vijesnika* Bubanović piše članak naslova „Moderno shvatanje materije“ u nastavcima, koji su objavljivani u više brojeva. Bubanović o periodnome sustavu kemijskih elemenata koji je napravio Dmitrij Ivanovič Mendeljejev na osnovi atomskih težina elemenata i analogije u kemijskim svojstvima (slika 79.). Dalje govori i o otkriću galija, germanija i drugih elemenata koji su potvrdili i opravdali Mendeljejeve ideje (Bubanović, 1907.). Bubanović tvrdi kako je u to doba došlo do preispitivanja atomske teorije i uvedena je teorija elektrona. Također spominje i otkriće radija i rentgenskih zraka (Bubanović, 1907a.).



**Slika 79.** Naslovna stranica *Farmaceutskog vijesnika* (1907.) u kojem je objavljen članak Frana Bubanovića „Moderno shvatanje materije“ u kojem on spominje Mendeljejeva i otkriće periodnoga zakona

U zadnjem broju prvog godišta *Farmaceutskog vijesnika* u prosincu 1907. godine izlazi članak profesora Vladimira Njegovana „Znamenovanje Mendelejeva po razvitak fizikalne kemije“. U tom članku Njegovan govori o Mendeljejevljevom otkriću periodnoga sustava elemenata, za koji navodi kako je Mendeljejev početkom 1869. razaslao svoju tablicu mnogim kemičarima, te je istu predstavio u ožujku na zasjedanju Ruskog kemijskog društva te navodi kako je ovo tiskano i u Glasniku Ruskog kemijskog društva iste godine. Piše kako je Mendeljejev nastavio raditi i nadopunjavati svoju tablicu te kako 1871. godine u *Liebigovim analima* izlazi njegova vrlo opširna rasprava o ovoj temi naslova „Die periodische Gesetzmässigkeit der chem. Elemente“. Dalje u članku opisuje Mendeljejevljev zakon i njegovu ideju prema kojoj je sastavljao tablicu (Njegovan, 1907.).

Idući broj *Farmaceutskog vijesnika* (1908.) donosi nastavak članka u kojem se govori o periodnome sustavu, o Mendeljejevljevima predviđanjima postojanja tada nepoznatih elemenata, njihovom pronalasku kao i otkriću plemenitih plinova. Njegovan navodi u članku i razloge zbog kojih Mendeljejevu pripada prednost otkrića periodnoga zakona te činjenicu kako su 1882. Lothar Meyer i Dmitrij Ivanovič Mendeljejev dobili Davyevu medalju *Royal Societyja* u Londonu za ovo otkriće (Njegovan, 1908.).



Slika 80. „In memoriam“ kojeg je Vladimir Njegovan napisao povodom stote godišnjice Mendeljejevljeva rođenja, *Arhivu za hemiju i farmaciju*, 1934.

Njegovan je i autor „In memoriam“ posvećenog Dmitriju Ivanoviču Mendeljejevu objavljenog 1934. godine u *Arhivu za hemiju i farmaciju* (slika 80.) (Njegovan, 1934.).

Godine 1908. u *Farmaceutskom vijesniku* tiskana je i „Posmrtna besjeda Dmitriju Ivanoviču Mendeljejevu“ koju je napisao profesor Gustav Janeček te je objavljena u nastavcima u nekoliko brojeva (Janeček, 1908.).

*Farmaceutski vijesnik* od kolovoza 1910. objavljuje kao prilog svakome broju „Repetitorij farmaceutske lučbe za polaznike vježbeničke škole“. Zadnji repetitorij objavljen je u studenom 1911. godine, a zadnje poglavlje posvećeno je periodnome sustavu elemenata i periodnome zakonu te je u ovom broju *Farmaceutskog vijesnika* tiskana i tablica periodnoga sustava (*Farmaceutski vijesnik*, 1911.; Vouk, 1910. – 1911.) (slika 81.).

Br. 11. »FARMACEUTSKI VIJESNIK« Str. 85.

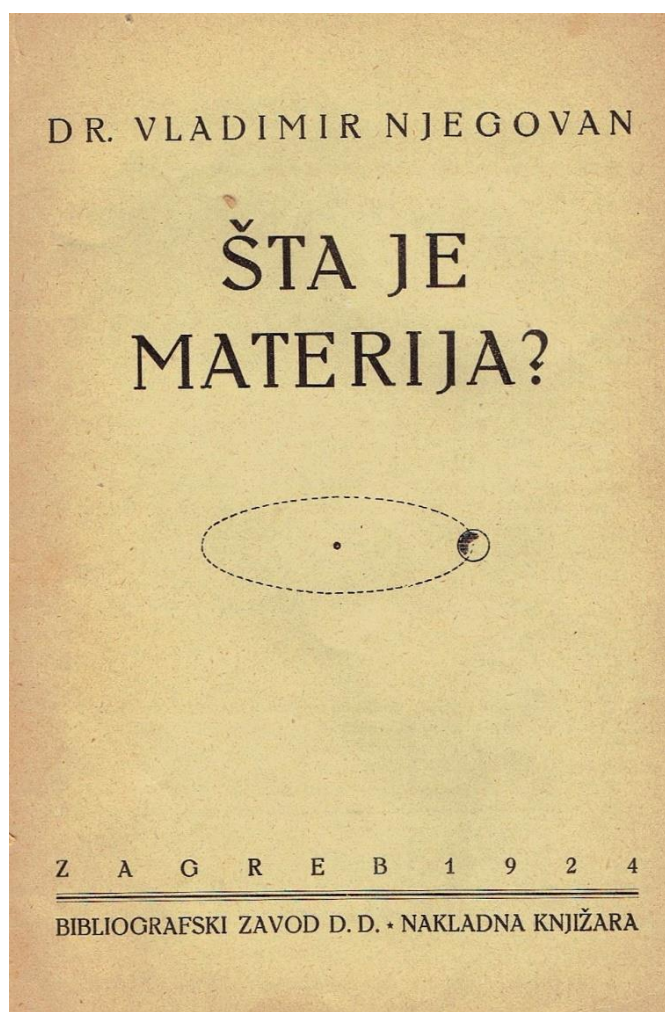
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1 perioda	He	Li	Be	B	C	N	O	F	—
2 »	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	—
3 »	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe, Ni, Co
	—	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	—
4 »	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	—	Ru, Rh, Pd,
	—	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	—
5 »	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Ta	W	—	Os, Ir, Pt
	—	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	—	—	—
6 »	—	—	Ra	—	Th	—	Ur	—	—

**Slika 81.** Tablica periodnoga sustava elemenata objavljena u „Repetitoriju farmaceutske lučbe za polaznike vježbeničke škole“, izdanog kao prilog *Farmaceutskom vijesniku* (1910. – 1911.)

Bubanović u svojoj knjizi *Slike iz kemije* (Bubanović, 1917.) puno prostora posvećuje upravo otkriću i razvoju periodnoga sustava elemenata, a objavljuje i tablicu periodnoga sustava. Ova publikacija nam otkriva kako je i šira društvena javnost bila upoznata s otkrićem periodnoga sustava elemenata kao i otkrićima vezanima uz razvoj periodnog sustava.

Osim u popularnoj knjizi profesora Bubanovića, periodni sustav elemenata nalazimo i u popularnoj publikaciji profesora Vladimira Njegovana *Što je materija?* (Njegovan, 1924.).

Ova knjižica već na svojoj naslovnici prikazuje dva tijela od kojih se jedno nalazi u sredini elipse po kojoj drugo tijelo kruži oko njega. Kasnije u knjižici nalazimo istu sliku za koju profesor Njegovan navodi da je model atoma vodika (slika 82.). U knjižici Njegovan raspravlja o razvoju ideje o građi materije još od vremena antičkih grčkih filozofa (Tales, Empedoklo, Aristotel, Leukip i Demokrit) i Egipćana, preko razvoja u okviru alkemije (Geber, Avicena, Albertus Magnus, Raymondus Lullus, Basilus Valentinus, Paracelsus) do razvoja u okviru znanstvene discipline kemije (Stahl, Lavoisier, Priestley, Lomonosov, Berthelot, Prosut, Richter, Dalton, Avogadro, Berzelius, Davy, Wöhler, Liebig, Cannizzaro i drugi.). Njegovan zaključuje da su ova otkrića i dostignuća kroz povijest osigurala put ruskom kemičaru Mendeljejevu koji 1869. godine po prvi put u prvom svesku glasila Ruskog kemijskog društva objavljuje svoj periodni sustav elemenata (1869.). Njegovan navodi kako nakon ove objave slijedi cijeli niz Mendeljejevljevih članaka vezanih na ovu temu ne samo na ruskom već i na njemačkom jeziku kao i objava njegova udžbenika *Osnove kemije*.



**Slika 82.** Naslovna stranica popularne knjižice Vladimira Njegovana *Što je materija?* (Zagreb, 1924.)

Njegovan objašnjava kako je Mendeljejev sastavio tablicu, prema rastućim atomskim masama i sličnim kemijskim svojstvima elemenata koji se nalaze u istim skupinama. Navodi kako je Mendeljejev ostavio prazna mjesta i prerekao svojstva tih elemenata, koji su ubrzo otkriveni (galij, skandij i germanij) kao i o otkriću plemenitih plinova, koji su svoje mjesto našli u periodnome sustavu kao nulta skupina (Njegovan, 1924a.) (slika 83.).

U knjižici spominje Moseleyjeve eksperimente i karakteristične rentgenske spektre koje ima svaki kemijski element. Navodi kako Moseleyjev zakon ne pokazuje nikakvih izuzetaka kod redosljeda elemenata u periodnome sustavu te zaključuje kako očito atomska težina nije bitna karakteristika elemenata već je to atomski ili redni broj (Njegovan, 1924b.).

U knjižici Njegovan govori i o Röntgenovim otkrićima kao i o otkriću radioaktivnosti i istraživanjima supružnika Curie. Piše i o izotopima i radioaktivnim elementima kao i o pokusu Ernesta Rutherforda 1911. godine koji je želio dati odgovor o strukturi atoma. Navodi kako je Rutherford konstruirao modal atoma, koji je kasnije usavršio Niels Bohr 1913. godine oslanjajući se na kvantnu teoriju Maxa Plancka. Piše kako se prema Rutherford–Bohrovoj teoriji atomi sastoje od pozitivno nabijene jezgre oko koje se nalaze negativni elektroni. Vodik ima redni broj 1, što znači da njegova jezgra ima samo jedan pozitivan elementarni kvantum, oko kojeg kruži negativni elektron. Helij ima redni broj dva, sastoji se stoga od jezgre s dvostrukim pozitivnim nabojem oko kojeg kruže dva negativna elektrona. Zaključuje kako se tako dobiva pozitivna jezgra svih elemenata u periodnome sustavu ako se svaki put doda jedan pozitivan naboj, a to stoji u skladu s Moseleyjevim opažanjima.

Na temelju dotadašnjih znanstvenih istraživanja on zaključuje da je građa atoma komplicirana i da se atom sastoji od jezgre s pozitivnim nabojem i negativnih elektrona (Njegovan, 1924c.).

**Periodički sistem elemenata**

Skupina	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Oblik spojeva s H		EH	EH <sub>2</sub>	EH <sub>3</sub>	EH <sub>4</sub>	EH <sub>5</sub>	EH <sub>6</sub>	EH	
„ „ „ O		E <sub>2</sub> O	EO	E <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EO <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	EO <sub>3</sub>	E <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	EO <sub>4</sub> EO <sub>3</sub> EO <sub>2</sub>
$\frac{1}{1008}$ H									
I. period, 1. niz.	2 He 4·00	3 Li 6·94	4 Be 9·1	5 B 11·0	6 C 12·005	7 N 14·01	8 O 16·00	9 F 19·0	
II. period, 2. niz.	10 Ne 20·2	11 Na 23·00	12 Mg 24·32	13 Al 27·1	14 Si 28·3	15 P 31·04	16 S 32·06	17 Cl 35·46	
III. period, 3. niz.	18 Ar 39·88	19 K 39·10	20 Ca 40·07	21 Sc 44·1	22 Ti 48·1	23 V 51·6	24 Cr 52·0	25 Mn 54·93	27 Fe 28 Co 29 Ni 55·84 58·97 58·68
4. niz.		29 Cu 63·57	30 Zn 65·37	31 Ga 69·5	32 Ge 72·5	33 As 74·96	34 Se 79·2	35 Br 79·92	
IV. period, 5. niz.	36 Kr 82·9	37 Rb 85·45	38 Sr 87·63	39 Y 88·7	40 Zr 90·6	41 Nb 93·5	42 Mo 96·0	43 — —	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101·7 102·9 106·7
6. niz.		47 Ag 107·88	48 Cd 112·4	49 In 114·8	50 Sn 118·7	51 Sb 121·7	52 Te 127·7	53 J 126·92	
V. period, 7. niz.	54 X 130·2	55 Cs 132·81	56 Ba 137·37	57 La 139·0	58 Ce itd. 140·25	73 Ta 181·5	74 W 184·0	75 — —	76 Os 77 Ir 78 Pt 190·9 193·3 195·2
8. niz.		79 Au 197·2	80 Hg 200·6	81 Tl 204·0	82 Pb 207·2	83 Bi 209·0	84 Po (210)	85 — —	
VI. period, 9. niz.	86 Em (222·0)	87 — —	88 Ra 226·0	88 Ac (226)	90 Th 232·15	91 Pa (230)	92 U 238·2		

\* 59 Pr 60 Nd 61 — 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tu 70 Yb 71 Lu 72 Hf  
140·9 144·3 — 150·4 152·0 157·3 159·2 162·5 163·5 167·6 168·5 173·5 175·0 174

**Slika 83.** Tablica periodnoga sustava elemenata objavljena u knjižici profesora Njegovana Što je materija? (1924.)

Njegovan u *Glasniku Jugoslavenskog profesorskog društva* objavljuje rad „Razvoj fizike i hemije u poslednjih dvadeset i pet godina“ (1931.), koji predstavlja njegovo predavanje održano 22. studenog 1931. prigodom 25. godišnjice osnutka Akademskog prirodoslovnog kluba i Kluba slušača matematike i fizike na Sveučilištu u Zagrebu (Njegovan, 1931.).

U tom članku govori o Bohrovoj teoriji o unutarnjoj strukturi atoma iz 1913. godine, kao i njenim nedostacima. Njegovan navodi istaživanja de Brogliea, Diraca, Schrödingera, Borna i Heisenberga i objašnjava: *Po toj teoriji ne možemo uopšte da štogod iskazujemo u putovima, položajima i brzinama elektrona. Može se navesti samo neka određena verovatnost o položaju i brzini elektrona, prema kojoj se može direktno opažati, a to sa spektralne linije koju emitiraju atomi* (Njegovan, 1931a.). Zaključuje kako su te teorije u središtu istraživanja teorijskih fizičara onoga doba.



U časopisu *Priroda*, hrvatskom časopisu za popularizaciju prirodnih znanosti koje je Hrvatsko naravoslovno društvo (danas Hrvatsko prirodoslovno društvo) počelo izdavati 1911. godine, Pavle Savić (1909. – 1994.) objavljuje članak „Cepanje atomskih jezgara“ (1945.). U tom članku on daje i periodni sustav elemenata (Savić, 1945.; Bondžić, 2013.) (slika 84.).

Savić je na istu temu u Zagrebu održao javno predavanje 22. 9. 1945. u punoj dvorani Tehničkog fakulteta. Predavanje je organiziralo Hrvatsko prirodoslovno društvo, a u ime Društva Fran Tućan najavio je predavača i temu. U svojoj je najavi istaknuo kako je otkriće cijepanja atomske jezgre, koje su napravili Savić i Irene Joliot Curie jedno od najvećih trijumfa moderne znanosti. U časopisu *Priroda* već je ranije te godine (br. 1–2, 1945.) u rubrici *vijesti* objavljeno kako su Irene Joliot-Curie i Pavle Savić prvi otkrili i eksperimentom utvrdili cijepanje jezgre uranijevog atoma (*Priroda*, 1945.). Savić se u izlaganju osvrnuo na prirodni sustav elemenata i istaknuo kako su sve stvari u prirodi sastavljene od određenog broja elemenata, kojih je u ono doba bilo poznato 92. Te je elemente ruski kemičar Mendeljejev po atomskim težinama svrstao u periodni sustav. Naglasio je kako se prema ondašnjem shvaćanju atom sastoji od jezgre koja se nalazi u središtu i elektrona koji oko nje kruže. Sama jezgra sastavljena je od pozitivnih protona i neutralnih neutrona. Broj protona u jezgri nije ništa drugo nego redni broj u Mendeljevovom periodnome sustavu.

Periodski sistem kemijskih elemenata

Perioda	I. Grupa	II. Grupa	III. Grupa	IV. Grupa	V. Grupa	VI. Grupa	VII. Grupa	VIII. Grupa	0. Grupa
I	1 H 1,008								2 He 4,00
II	3 Li 6,94	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,000	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00		10 Ne 20,18
III	11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 31,02	16 S 16,000	17 Cl 35,46		18 Ar 39,94
IV	19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 51,0	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 27 Co 28 Ni 55,84 58,94 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 79,92		36 Kr 83,7
V	37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 96,0	43 Ma (98)	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101,7 102,9 106,7	
	47 Ag 107,88	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 S 121,76	52 Te 127,61	53 J 126,93		54 X 131,3
VI	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 do 71 Rijetke zemlje	72 Hf 178,6	73 Ta 180,88	74 W 184,0	75 Re 186,3	76 Os 77 Ir 78 Pt 191,5 193,1 195,2	
	79 Au 197,2	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209,0	84 Po (210)	85 —		86 Rn 222
VII	87 —	88 Ra 226,0	89 Ac (227)	90 Th 232,1	91 Pa (231)	92 U 238,1			

Rijetke zemlje: 57 La | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 — | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tu | 70 Yb | 71 Cp  
138,9 | 140,1 | 140,9 | 144,3 | — | 150,4 | 151,9 | 157,3 | 159,2 | 162,5 | 163,5 | 167,2 | 169,4 | 173,04 | 175,0

Slika 84. Tablica periodnoga sustava elemenata objavljena u časopisu *Priroda* 1945. godine

Iduće godine, 1946., u časopisu *Priroda* izlazi članak „Nepoznati kemijski elementi“ koji potpisuje Marin Katalinić (Katalinić, 1946.).

Članak donosi pojedinosti o Mendeljejevom otkriću periodnoga sustava i o njegovom razvoju. Veći dio Katalinićeva članka posvećen je novootkrivenim kemijskim elementima, njihovim otkrivačima i načinu na koji su oni otkriveni. Spominju se elementi poput mazurija, ilinija, florencija, anglo-helvecija, moldavija, aktinija itd.

Posebno je zanimljiv detalj vezan uz otkriće anglo-helvecija za koje autor navodi da su godine 1942. Alice Leigh-Smith i Walter Mider rastumačili kako nastaje radioaktivnim raspadom torija (Leigh-Smith i Minder, 1942.). Za Alice Leigh-Smith autor navodi da je Hrvatica s djevojačkim prezimenom Prebil, rođena u Karlovcu 1907 godine. Srednju je školu završila u Sušaku, a sveučilište u Beogradu. Za ove podatke u bilješkama autor zahvaljuje profesoru Tućanu. Prema literaturnim navodima Alice Leigh-Smith bila je studentica Marie Curie i prva žena u Velikoj Britaniji s doktoratom iz nuklearne fizike (Scerri, 2013.).



Sl. 4.

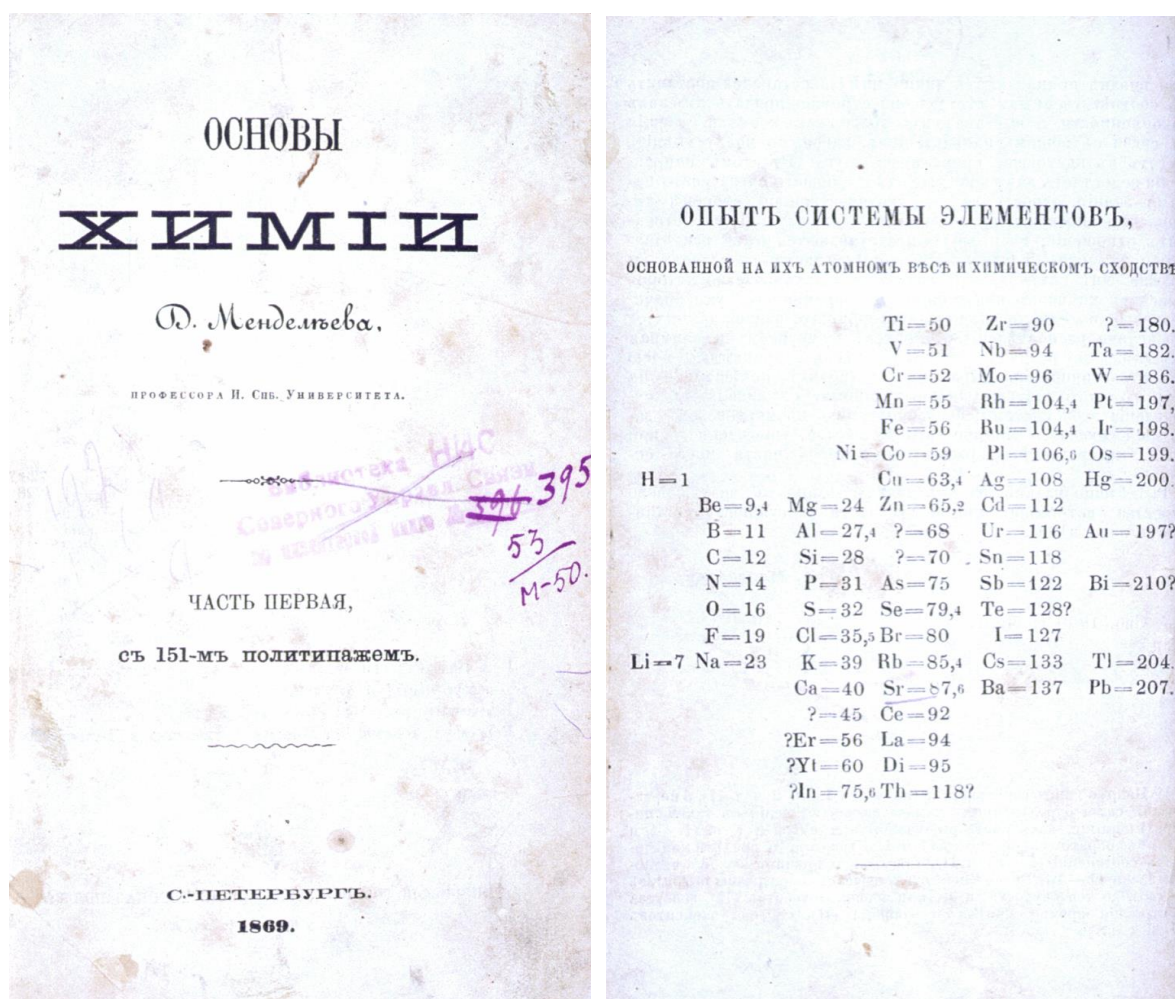
Alice Leigh-Smith rod. Prebil

**Slika 85.** Fotografija Alice Leigh-Smith objavljena u članku „Nepoznati kemijski elementi“ u časopisu *Priroda* (1946.)

Iduće, 1947. godine, povodom četrdesete obljetnice smrti Dmitrija Ivanoviča Mendeljevja profesor Bubanović u *Prirodi* objavljuje članak o Mendeljevju i njegovom periodnome sustavu (Bubanović, 1947.).

### 3.6. Prvi udžbenici s periodnim sustavom elemenata u drugim zemljama

Kao što je već istaknuto Mendeljejev je paralelno uz rad na periodnome sustavu elemenata pisao i svoj udžbenik *Osnove kemije* (1869.). Tako je prvi udžbenik u kojem nalazimo tablicu periodnoga sustava elemenata upravo taj Mendeljejev udžbenik, objavljen u Rusiji. Budući da je Mendeljejev nastavio s radom na periodnome sustavu i usavršavao ga, a njegov udžbenik objavljen je u više izdanja, u idućim izdanjima nalazimo drugačije oblike periodnoga sustava (slika 86.).



**Slika 86.** Naslovnica prvog izdanja udžbenika *Osnova kemije* Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva u kojoj je objavljena tablica periodnoga sustava elemenata (St. Peterburg, 1869.)

(izvor: <http://rbx-exhibit2000.scs.illinois.edu/mendeleev.htm>, pristupljeno 28. srpnja 2018.)

Tako se u *Osnovama kemije* iz 1871. godine nalazi periodni sustav elemenata tiskan kao tablica koja se presavijala i izvlačila iz udžbenika (slika 87.). U tablici su ostavljena prazna mjesta za elemente kojima je Mendeljejev predviđao otkriće.

ЕСТЕСТВЕННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВЪ Д. МЕНДЕЛѢЕВА.

	Периодъ 1-й.	Периодъ 2-й.	Периодъ 3-й.	Периодъ 4-й.	Периодъ 5-й.
Периодъ 1-й.	Р'О H=1 H=1 Li=7 Be=9	Р'О H=2 Be=9 Mg=24 Ca=40	Р'О H=3 B=11 Al=27 Ga=75	Р'О H=4 C=12 Si=28 Ge=72	Р'О H=5 N=14 P=31 As=75
Периодъ 2-й.	Li=7 Be=9 B=11 C=12 N=14 O=16 F=19 Ne=20	Mg=24 Ca=40 Sc=45 Ti=48 V=51 Cr=52 Mn=55 Fe=56 Co=59 Ni=59 Cu=63 Zn=65	Al=27 Ga=75 In=76 Sn=118 Sb=122 Te=128 I=127 Br=80	Si=28 Ge=72 Se=78 Mo=96 Ru=104 Rh=104 Pd=106 Ag=108	P=31 As=75 Sb=122 Bi=208 Po=210 At=210 Rn=210
Периодъ 3-й.					
Периодъ 4-й.					
Периодъ 5-й.					

H  
Na Mg Al Si P S Cl  
K Ca Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn As Se Br  
Rb Sr Yt Zr Nb Mo Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I  
Cs Ba Dy Ce Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi  
Er La Ta W Th U

Slika 87. Tablica periodnog sustava elemenata u udžbeniku *Osnove kemije*, D. I. Mendeljejeva iz 1871. godine

(izvor: <https://www.bookvica.com/pages/books/233/d-i-mendeleev/osnovy-khimii-i-e-the-principles-of-chemistry/?soldItem=true>, pristupljeno 28. srpnja 2018.)

**Kurzes Lehrbuch**  
der  
**Anorganischen Chemie**

wesentlich für

**Studirende auf Universitäten und Polytechnischen Schulen  
sowie zum Selbstunterricht**

von

**Prof. Dr. V. v. Richter.**

Mit 62 Holzschnitten und einer Spectraltafel.

**Bonn, 1875.**  
Verlag von Max Cohen & Sohn  
(Fr. Cohen.)  
**226155 - B.**



**Slika 88.** Naslovnica udžbenika *Kurzes Lehrbuch der Anorganischen Chemie wesentlich für Studirende auf Universitäten und Polytechnischen Schulen sowie zum Selbstunterrichte* Viktora Richtera, Cohen, 1875.

Vrlo važnu ulogu u širenju Mendeljejevljevog periodnoga sustava elemenata imao je Victor Richter. Richterov udžbenik iz 1874. godine prvi je objavljeni udžbenik nakon Mendeljejevljevog koji je sadržavao periodni sustav elemenata (Richter, 1874.). Iduće, 1875. godine, taj udžbenik preveden je na njemački jezik, *Kurzes Lehrbuch der Anorganischen Chemie wesentlich für Studirende auf Universitäten und Polytechnischen Schulen sowie zum Selbstunterrichte*, (Richter, 1875.). Ovaj udžbenik predstavlja i prvi udžbenik na njemačkom jeziku u kojem nalazimo periodni sustav elemenata (slika 88.).

Sama tablica periodnoga sustava objavljena u udžbeniku identična je tablici koju je Mendeljejev 1871. godine objavio u *Annalen der Chemie und Pharmacie* (Richter, 1875.; Mendelejeff, 1871.). Elementi su u tablici podijeljeni u osam skupina i jedanaest redova.

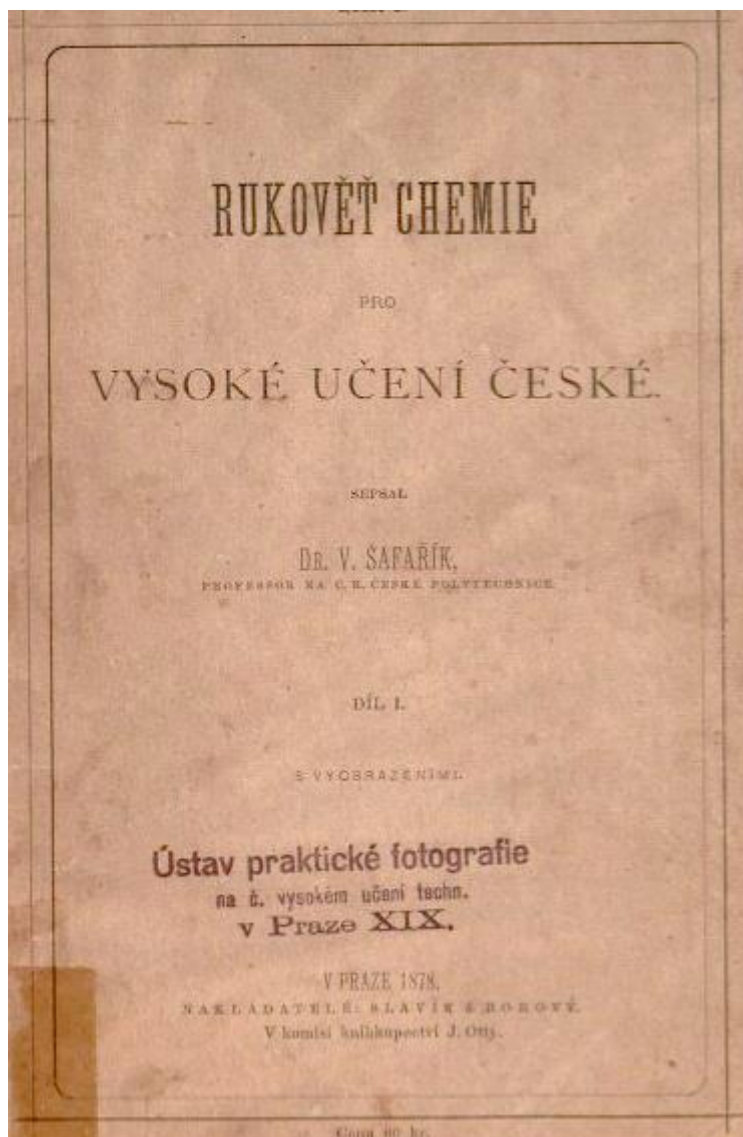
Vodik zauzima mjesto u prvoj skupinu u nultome redu. Unutar skupina elementi su podijeljeni u dvije podskupine, osim u zadnjoj, osmoj skupini, gdje su podijeljeni u tri podskupine. Tablica ima ostavljena prazna mjesta za tada nepoznate elemente (slika 89.).

Periodisches System der Elemente.

	I. Gruppe.	II. Gruppe.	III. Gruppe.	IV. Gruppe.	V. Gruppe.	VI. Gruppe.	VII. Gruppe.	VIII. Gruppe.
	— R <sub>2</sub> O	— RO	— R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RH <sub>4</sub> RO <sub>2</sub>	RH <sub>3</sub> R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RH <sub>2</sub> RO <sub>3</sub>	RH R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	R <sub>2</sub> H RO <sub>4</sub>
Reihe 1	H=1 Li=7	Be=9	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
2	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
3	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56 Co=59 Ni=59 Cu=63
4	[Cu=68]	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
5	Rb=85	Sr=87	(Y=88)	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104 Rh=104 Pd=106 Ag=108
6	[Ag=108]	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	I=127	
7	Cs=133	Ba=137	(Di=138)	(Ce=140)	—	—	—	
8	—	—	—	—	—	—	—	
9	—	—	(Er=178)	(La=180)	Ta=182	W=184	—	Os=195 Ir=197 Pt=198 Au=199
10	[Au=199]	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
11	—	—	—	Th=231	—	Ur=240	—	

Die wahren Atomgewichte der in ( ) eingeschlossenen Elemente sind noch nicht mit Sicherheit festgestellt.

**Slika 89.** Tablica periodnoga sustava elemenata u udžbeniku *Kurzes Lehrbuch der Anorganischen Chemie wesentlich für Studierende auf Universitäten und Polytechnischen Schulen sowie zum Selbstunterrichte* Viktora Richtera, Cohen, 1875.



**Slika 90.** Naslovnica udžbenika Vojtěcha Šafaříka, *Rukověť chemie pro vysoké učení české. Díl I. Chemie anorganická*, Praha, 1878.

Prvi udžbenik na češkom jeziku u kojem nalazimo periodni sustav elemenata je udžbenik Vojtěcha Šafaříka, *Rukověť chemie pro vysoké učení české. Díl I. Chemie anorganická* objavljen 1878. godine (Šafařík, 1878.) (slika 90.).

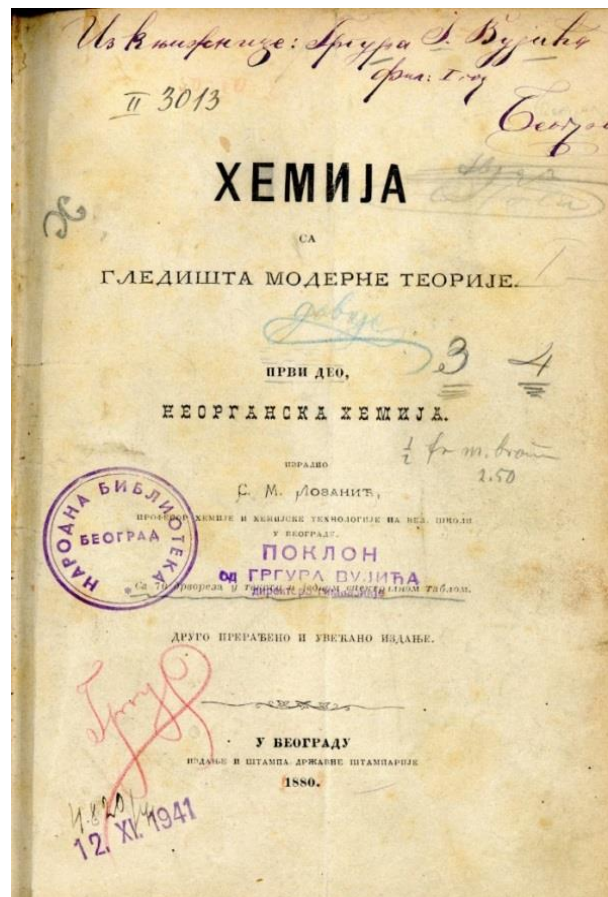
U naslovu iznad tablice vidljivo je da je periodni sustav elemenata preuzet od Mendeljejeva i nadopunjen novim saznanjima. Iako izgled same tablice nije identičan Mendeljejevljevoj (1871.) tablica je vrlo slična. Sastoji se od devet skupina i dvanaest redova. Vodik se nalazi u prvoj skupini u prvome redu tablice. Skupine nisu podijeljene na podskupine, osim zadnje. Rutenij i osmij izdvojeni su u posebnoj skupini, dok su kod Mendeljejeva i Richtera oni svrstani u istu skupinu s preostalim metalima, željezom, kobaltom, niklom, bakrom, srebrom,

itd. U tablicu je uveden novookriveni element galij (1875.) iako mu nije navedena atomska težina (slika 91.).

Přehled periodické soustavy prvků dle Mendělejeva,  
dopláčné výskumy novějšími.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	
1	H = 1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Li 7	Be 9	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19	—	—
3	Na 23	Mg 24	Al 27	Si 28	P 31	S 32	Cl 35	—	—
4	K 39	Ca 40	Ga? 47	Ti 47	V 51	Cr 53	Mn 55	—	Fe 56 Co 59 Ni 59
5	Cu 63	Zn 65	—	—	As 75	Se 79	Br 80	—	—
6	Rb 85	Sr 87	Y? 89	Zr 90	Nb 94	Mo 96	—	Ru 104	Rh 104 Pd 104
7	Ag 108	Cd 112	In 114	Sn 118	Sb 122	Te 128	I 127	—	—
8	Cs 133	Ba 137	La 139	Ce 138	—	—	—	—	—
9	—	—	Di 147	—	—	—	—	—	—
10	—	—	E? 168	—	Ta 182	W 184	—	Os 198	Ir 197 Pt 197
11	Au 196	Hg 200	Tl 204	Pb 206	Bi 207	—	—	—	—
12	—	—	—	Th 233	—	U 240	—	—	—
Kapacita kyslíková	H <sub>2</sub> O	Be <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Ru <sub>4</sub> O <sub>9</sub>	—
Kapacita vodíková	—	—	—	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	SH <sub>2</sub>	FH	—	—

Slika 91. Tablica periodnoga sustava elemenata u udžbeniku Vojtěcha Šafaříka, *Rukověť chemie pro vysoké učení české. Díl I. Chemie anorganická*, Praha, 1878.



Slika 92. Naslovnica udžbenika *Hemija sa gledišta moderne teorije. Prvi deo. Neorganska hemija*, Sime Lozanića, Beograd, 1880.



Udžbenik Sime Lozanića *Hemija sa gledišta moderne teorije. Prvi deo. Neorganska hemija*. prvi je udžbenik u Srbiji u kojem se nalazi Mendeljevljev periodni sustav elemenata. (Lozanić, 1880.) (slika 92.). U Lozanićevoj su tablici uz atomske težine navedeni i atomski volumeni elemenata. U tablicu je uvršten galij, no mjesta za skandij i germanij još su prazna (slika 27).

Odras otkrića periodnog sustava elemenata u udžbenicima u Rusiji, Njemačkoj, Češkoj i Srbiji događa se i prije otkrića novih elemenata, galija, skandija i germanija. Autori prate daljnji razvoj periodnoga sustava i popunjavaju ga novim saznanjima. Budući da su sveučilišta i nastava kemije u tim zemljama bile već razvijene periodni se sustav odmah koristi i u nastavnom procesu.

Za razliku od ostalih nama susjednih zemalja, Njemačkoj i Češkoj, u kojima objavu Mendeljevljeva periodnoga sustava nalazimo gotovo istodobno s onim u Rusiji, u Hrvatskoj nije takav slučaj. Kao što je već više puta naglašeno, u vrijeme Mendeljevljeve objave periodnoga sustava, visokoškolskog obrazovanja iz kemije u Hrvatskoj nema, ne postoje stručni niti popularni časopisi koji bi objavljivali ove teme. Hrvatska je javnost na to morala pričekati.

## § 4. ZAKLJUČAK

*The periodic system is more than a sum of its parts. It deals with phenomena all the way from macroscopically observable properties down to the structure of atoms and ions which are used to explain the same macroscopic chemical phenomena. There is no more striking or informative an icon anywhere in science as the periodic table of chemistry.*

Eric Scerri, *Foundations of Chemistry* 3, editorial, 2001

Kao i u ostalim europskim zemljama, utjecaj otkrića i razvoja periodnoga sustava u Hrvatskoj je vrlo specifičan. U nekim zemljama poput Rusije dolazi do istodobne objave Mendeljejevljeva otkrića i uvođenja tablice periodnog sustava u udžbenik kemije (Mendeljejev, 1869.). U Njemačkoj, prvu informaciju o periodnome sustavu nalazimo u znanstvenim časopisima dok on u udžbenike i nastavni proces ulazi nekoliko godina nakon same objave (Richter, 1975.). U Češkoj također, u kemijskim časopisima, nalazimo prve radove o periodnome sustavu (Brauner, 1877.), a ubrzo nakon toga i prvi udžbenik s periodnim sustavom (Šafařík, 1878.). U Srbiji razvoj kemije ali i utjecaj i korištenje periodnoga sustava u nastavi vežemo uz Simu Lozanića i njegove udžbenike i publikacije (Lozanić, 1880.).

U Hrvatskoj je situacija drugačija i ne postoji recepcija otkrića periodnoga sustava elemenata odmah po njegovoj objavi (1869.) kao i u narednih nekoliko godina. Naime, u vrijeme objave periodnoga sustava, u Hrvatskoj ne postoji sveučilište i nema visokoškolske nastave iz kemije. Do obnove Sveučilišta u Zagrebu, godine 1874., kemija se u Hrvatskoj predavala na realnim gimnazijama. Prvi udžbenik kemije pisan na hrvatskom jeziku objavljen je 1866. godine (Žulić, 1866.), a njegovo dopunjeno izdanje jedanaest godina poslije, 1877. godine (Žulić, 1877.). No, u tom izdanju ne nalazi se periodni sustav elemenata niti se spominje. OdNo, u tom izdanju nema periodnog sustava elemenata, niti se on spominje.

Prvi profesori na Sveučilištu bili su ujedno i članovi Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti koji su 1882. godine izabrali Mendeljejeva za svog počasnog člana upravo zbog otkrića periodnoga sustava elemenata (*lex Mendeljejev*). Tako je Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti postala prva europska znanstvena akademija koja je Mendeljejevu odala priznanje.

Prvi hrvatski udžbenik koji donosi tablicu periodnoga sustava elemenata udžbenik je Julija Domca, *Anorganska kemija za više razrede realnih gimnazija i realki* iz 1901. godine. Uz

tablicu u udžbeniku nalazimo i detaljne informacije o otkriću periodnoga sustava. Udžbenik nije bio koncipiran prema periodnome sustavu, već prema tada propisanom nastavnom planu i programu za realne gimnazije. U tablici još nema plemenitih plinova iako ih Domac spominje u udžbeniku. U tablicu su uneseni novotkriveni elementi galij (Ga, 70), germanij (Ge, 72) i skandij (Sc, 44). Telurij se u tablici nalazi ispred joda iako je atomska težina telurija (Te, 125), manja od joda (I, 127). U periodnome sustavu ostavljena su prazna mjesta za dotada nepoznate elemente.

Janečekov udžbenik *Kemija I., opći dio* (1919.), prvi sveučilišni udžbenik opće kemije na hrvatskom, donosi periodni sustav elemenata. Uz Mendeljejevljevu originalnu tablicu Janeček je u udžbeniku objavio, za ono doba, i suvremenu tablicu koja je podijeljena u devet skupina i deset horizontalnih perioda. Za razliku od one u Domčevu udžbeniku *Anorganska kemija* (1901.) u ovom nalazimo i nultu skupinu plemenitih plinova koja započinje s helijem. Vodika u ovoj tablici nema, vjerovatno zbog tiskarske greške budući da se vodik kao element spominje i navodi na drugim mjestima u udžbeniku. Berilij je smješten u drugu skupinu, a uneseni su i elementi galij, germanij i silicij. Uraniju je utvrđena atomska težina 238. Tablica je još uvijek zapisana u formi kratkih perioda, no unutar skupina nalazimo elemente podijeljene na lijevu i desnu stranu.

Nasljednik Domca na kraljevskoj realci u Zagrebu, Franjo Šandor, u svom udžbeniku *Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta* (1912.) donosi tablicu periodnoga sustava. U njegovom udžbeniku tablica je vrlo slična onoj u Janečekovom udžbeniku, no u njoj se nalazi vodik koji je smješten u prvome nizu u sedmoj skupini iznad fluora.

Na novoosnovanome Medicinskom fakultetu u Zagrebu (1917.) uvedena je nastava iz kemije koju je predavao Fran Bubašević. On piše prvi sveobuhvatni moderni sveučilišni udžbenik iz kemije na hrvatskom jeziku, *Kemija* (1930). U udžbeniku, Bubašević donosi presliku Mendeljejevljeve tablice periodnoga sustava iz njegova osmog izdanja udžbenika *Osnove kemije* (1906). Kao poseban prilog tiskana je tablica periodnoga sustava u boji koju je autor preuzeo od Anderas von Antropova. Posebnost Antropovljeve tablice je u njenom izgledu koji kombinacijom boja povezuje periodni sustav s kratkim i dugim periodama. Ovu je tablicu Bubašević koristio u sva tri izdanja svoga udžbenika s minimalnim izmjenama. Tekst Bubaševićeva udžbenika znatno se mijenjao, osobito drugo izdanje u kojem se spominje i razvoj kvantne mehanike i njen utjecaj na objašnjenje periodnoga sustava elemenata. Od drugog izdanja, u udžbeniku se nalazi i tablica elemenata s podjelom elektrona na ljuske (elektronskom konfiguracijom).

Među udžbenicima Vladimira Njegovana najviše se ističe udžbenik *Osnovi hemije* (Zagreb, 1939., prvo izdanje), koji je doživio sedam izdanja. Periodni sustav elemenata prisutan je od prvoga izdanja. Od drugog izdanja Njegovan uvodi u svoje udžbenike podjelu periodnoga sustava na elektronske ljuske te donosi tablice s elektronskim konfiguracijama. U njegovim udžbenicima objavljeno je više modifikacija periodnoga sustava, od originalne Mendeljejevljeve tablice, preko tablice kratkih perioda, Wernerove tablice dugih perioda, jedne spiralne modifikacije kao i Bohrova prikaza.

Zvonimir Pinterović je autor udžbenika *Kemija za više razrede srednjih škola* (1940.) i *Kemija za niže razrede srednjih škola* (1941.). U oba udžbenika nalazimo tablice periodnoga sustava elemenata. U udžbeniku za više razrede nalazi se i opširno poglavlje posvećeno Mendeljejevom otkriću periodnoga sustava kao i otkrićima koja su nakon toga uslijedila. Tablica se sastoji od devet skupina i deset perioda s izdvojenom periodom lantanoida.

Osim standardnih tabličnih prikaza periodnoga sustava u hrvatskoj literaturi nalazimo i jednu kružnu prezentaciju periodnoga sustava. Takav način predočavanja periodnoga sustava objavio je Franjo Krleža u *Nastavnom vjesniku* (Krleža, 1940./1941.) U članku autor raspravlja o prednostima ovakvog kružnog prikaza periodnoga sustava u kojem se jasno vidi kontinuitet kemijskih elemenata prema njihovim periodičnim svojstvima.

Recepciju Mendeljejevljeve objave periodnoga sustava elemenata nije moguće uočiti u hrvatskim popularnim znanstvenim časopisima odmah po njenoj objavi krajem 1869. godine jer u to vrijeme takvih časopisa u Hrvatskoj nije ni bilo. Objavljivanjem popularizacijske znanstvene literature odjek novih otkrića vezanih uz periodni sustav elemenata i njegov razvoj vidljiv je u publikacijama kao što su *Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva* (Kučera, 1895./1896. i 1904.), *Farmaceutski vijesnik* (Bubanović, 1907., Njegovan, 1907., Janeček, 1908.), *Arhiv za hemiju i farmaciju* (Njegovan, 1934.) i *Priroda* (Savić, 1945., Katalinić, 1946.). S posebnim zanimanjem pratile su se novosti vezane uz otkrića novih kemijskih elemenata, te otkrića vezana uz pojavu i primjenu radioaktivnosti.

Utjecaj otkrića i razvoja periodnoga sustava elemenata u svim europskim zemljama nosi svoje specifičnosti i razlike. Recepcija samog otkrića periodnoga sustava elemenata u Hrvatskoj nije prisutna istodobno s njegovom objavom. Od Mendeljejevljeve objave otkrića periodnog zakona do njegova prihvatanja i širenja u Hrvatskoj prošlo je petnaestak godina. Unatoč činjenici da je većina hrvatskih srednjoškolskih i sveučilišnih profesora svoje formalno obrazovanje i usavršavanje završila u zemljama njemačkog govornog područja,

kako u udžbenicima, tako i u popularizacijskim publikacijama u Hrvatskoj nalazimo podatke o otkriću periodnoga sustava koji su gotovo isključivo vezani uz Mendeljejeva, te se drugi autori spominju rijetko, eventualno u povijesnom kontekstu kao Mendeljejevljevi prethodnici. Iako su autori bili upoznati s Mendeljejevljevim publikacijama o periodnome sustavu elemenata, redovito se kao izniman moderan udžbenik ističu *Osnove kemije* i to razna izdanja.

Razvoj periodnoga sustava elemenata te potvrda njegove trajne vrijednosti, kroz otkrivanje novih elemenata i otkrića svih plemenitih plinova, događa se paralelno s razvitkom sveučilišne nastave kemije u Hrvatskoj. Iako s početnim vremenskim odmakom, srednjoškolski i sveučilišni udžbenici kemije u Hrvatskoj, prate razvoj periodnog sustava elemenata i donose tadašnje aktualne tablice i informacije o znanstvenim otkrićima vezanim uz evoluciju periodnoga sustava.

## § 5. LITERATURA

**Akeroyd M. F. (2003.)**, „Prediction and the periodic table: a response to Scerri and Worrall, *Journal for General Philosophy of Science*, 34, str. 337–355.

**Anschütz R. (1929.)**, *August Kekulé*, in 2 Bänden, Verlag Chemie, Berlin

**Antropoff A. (1926.)**, „Eine neue Form des periodischen Systems der Elementen“, *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, 39, 23, str. 722–725.

**Arhiv Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (1929.)**, disertacija Zvonimir Pinterović: *O djelovanju oksalilnog klorida na jedno- i dvovaljane fenole*, Arhiv Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

**Arhiv HAZU (1882.)**, *Popis znanstvenih radova i dostignuća Dmitrija Ivanovića Mendeljejeva*, Arhiv HAZU, registratura Akademije 1882. godina.

**Arhiv HAZU (1883.)**, registratura Akademije 1883. godina. (Prijevod Mendeljejevlevog pisma naveden prema Hrvoje Iveković, „Izbor Dimitrija Ivanovića Mendeljejeva za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu godine 1882.“, *Kemija u Industriji*, 12, Zagreb, 1969., str. 802–804.)

**Arhiv rektorata Sveučilišta u Zagrebu (1904. – 1954.)**, *Osobnik Zvonimir Pinterović*, Podaci iz sveučilišnih dokumenata

**Arhiv rektorata Sveučilišta u Zagrebu (1922.-26.)** *Redoviti slušači filozofskog fakulteta 1 semestar 1922-23, 2 semestar 1923-24, 1-2 semestar 1925-26*

**Barić Lj. (1981.)**, „O izboru Mendeljejeva za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti“, *Zbornik radova Trećeg simpozija iz povijesti znanosti. Prirodne znanosti i njihove primjene krajem 19. i početkom 20. stoljeća u Hrvatskoj*, Hrvatsko prirodoslovno društvo, Sekcija za povijest znanosti, Zagreb, str. 159–169.

**Boeck G. (2015.)**, „The Periodic System and Its Influence on Research and Education in Germany between 1870 and 1910“, *Early responses to the Periodic System*, u Masanori Kaji, Helge Kragh, Gábor Palló (ur.), New York, Oxford University Press, str. 47–71.

**Boisbaudran P. E. (1875.)**, „Caractères Chimiques et Spectroscopiques d'un Nouveau Métal, le Gallium, Decouvert Dans un Blende de la Mine de Pierrefite, Valée d'Argèles (Pyrenées)“, *Comptes Rendus de l'Academies des Sciences*, Paris, 81, str. 493–495.

**Bondžić D. (2013.)**, „Pavle-Savić – naučnik u ratu“, *Intelektualci i rat 1939. -1947. Zbornik radova s Desničarskih susreta 2012.*, urednici Drago Roksandić i Ivana Cvijović Javorina, Biblioteka Desničarski susreti, sv. 8, dio 1. Filozofski fakultet u Zagrebu, Zagreb, str. 239–249.

- Boyle R. (1911.)**, *The Sceptical Chymist*, London, J. M. Dent & Sons.
- Brauner B. (1877.)**, „O atomech a mocenstvích některých prvků, jakož i o pravidelnostech v číslech atomových“, *Listy chemické*, 2, str. 30–36, 87–93, 129–137.
- Brauner B. (1878.)**, „Ueber das Atomgewicht des Berylliums (I)“, *Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft*, 11, str. 872–874.
- Brauner B. (1916.)**, „O razvoji periodické soustavy“, *Chemické listy pro vědu a průmysl*, 10, str. 238–242.
- Brush S. G. (1996.)**, „The reception of Mendeleev's periodic Law in America and Britain“, *Isis*, 87, str. 595–628.
- Bubanović F. (1907.)**, „Moderno shvatanje materije“, *Farmaceutski vijesnik*, god.1, br. 2, str. 18–19.
- Bubanović F. (1907a.)**, „Moderno shvatanje materije“, *Farmaceutski vijesnik*, god.1, br.3, str. 34–35.
- Bubanović F. (1917.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb
- Bubanović F. (1917a.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 97–98.
- Bubanović F. (1917b.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 103.
- Bubanović F. (1917c.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 75–93.
- Bubanović F. (1917d.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 85.
- Bubanović F. (1917e.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 92.
- Bubanović F. (1917f.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 93.
- Bubanović F. (1917g.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 105.
- Bubanović F. (1917h.)**, *Slike iz kemije*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 106.
- Bubanović F. (1930.)**, *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“
- Bubanović F. (1930.)**, *Kemijo, hvala ti (Chemistry, thank you)*, Beograd, str. 89.
- Bubanović F. (1930a.)**, *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. V.
- Bubanović F. (1930b.)**, *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. VI.
- Bubanović F. (1930c.)**, *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 61–128.
- Bubanović F. (1930d.)**, *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 174–175.

**Bubanović F. (1930e.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 177.

**Bubanović F. (1930f.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 181.

**Bubanović F. (1930g.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 184.

**Bubanović F. (1930h.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 186.

**Bubanović F. (1930i.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 192.

**Bubanović F. (1930j.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 196.

**Bubanović F. (1930k.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 311.

**Bubanović F. (1930l.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, Zagreb, Naklada „Farmaceutskog vjesnika“, str. 324–329.

**Bubanović F. (1946.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. IV.

**Bubanović F. (1946.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske., *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak drugi: specijalni dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. V.

**Bubanović F. (1946a.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str.94, 95.

**Bubanović F. (1946b.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. 95–98.

**Bubanović F. (1946c.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. 95–96.



**Bubanović F. (1946d.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. 226–233.

**Bubanović F. (1946e.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. 238.

**Bubanović F. (1946f.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. 245.

**Bubanović F. (1946g.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. 252.

**Bubanović F. (1946h.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, drugo popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. 260.

**Bubanović F. (1947.),** *Kemija za slušače kemije, medicine, veterine i farmacije*, knjiga prva: Anorganska kemija, svezak prvi: opći dio anorganske kemije, treće popravljeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske, str. V.

**Bubanović F. (1947a.),** „Dmitrij Ivanovič Mendeljejev. Povodom četrdesete obljetnice smrti“, *Priroda*, 47, str. 69–75.

**Cannizzaro S. (1858.),** „Sunto di un Corso di Filosofia Chimica fatto nella Reale Università di Genova“, *Il Nuovo Cimento*, 7, str. 321–366. Prevedeno na engleski u: *Sketch of a Course of Chemical Philosophy Given in the Royal University of Genova*, Alembic Club Reprints, No. 18, Edinburgh, 1910.

**Chancourtois A. E. B. (1862.),** „Mémoire sur un Classement Naturel des Corps Simples ou Radicaux Appelé Vis Tellurique“, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 54, str. 757–761, 840–843, 967–971.

**Crosland M. (1978.),** „Chemical symbolism“, u: Maurice P. Crosland, *Historical studies in the language of chemistry*, New York, Dover publications, str. 227–265.

**Dadić Ž. (1985.),** poglavlje „Razvitak i djelovanje Hrvatskog prirodoslovnog društva od njegova utemeljenja godine 1885. do danas“, u: *Spomenica Hrvatskog prirodoslovnog društva*, glavni urednik Žarko Dadić, Zagreb, Hrvatsko prirodoslovno društvo, str. 7–27.

**Dadić Ž. (2010.)**, poglavlje „Utemeljenje Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti“, u Žarko Dadić, *Egzaktne znanosti u Hrvata u doba kulturnog i znanstvenog preporoda (1835-1900)*, Zagreb, Izvori, str. 238–250.

**Damjanović V., Mlinac-Jerković K., Kalanj Bognar S., Lovrić J. (2017.)**, „Fran Bubanović: The Visionary of Medical Chemistry and Biochemistry in Croatia“, *Croatica Chemica Acta*, 20, str. 509–514.

**Deželić M. (1977.)**, „Počeci kemijske nastave na Sveučilištu u Zagrebu. Sjećanje na profesore Janečeka, Bubanovića i Pušina“, *Croatica Chemica Acta*, 50 Suppl., Zagreb, str. 90.

**Diels H. (1983.)**, poglavlja „Leukip“ i „Demosten“, u Herman Diels *Predsokratovci, fragmenti, II svezak* (naslov izvornika: *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 1974.), Zagreb, Naprijed, str. 71–139.

Döbereiner J. (1829.), *Annalen der Physik und Chemie*, 2 Folge: Bd. 15–16. Leipzig, str. 301–307.

**Domac J. (1901.)**, *Anorganska kemija za više razrede realnih gimnazija i realka*, Zagreb

**Domac J. (1901a.)**, „predgovor“, *Anorganska kemija za više razrede realnih gimnazija i realka*, Zagreb, 1901, str. IV.

**Domac J. (1901b.)**, „Teorija najmanjih čestica. Molekul i atom.“, *Anorganska kemija za više razrede realnih gimnazija i realka*, Zagreb, 1901, str. 20–22.

**Don C. Rawson (1974.)**, „The process of discovery: Mendeleev and the periodic law“, *Annals of Science*, 31, 3, 1974., str. 181–204.

*Farmaceutski vijesnik* (1911.) „Naravni ili periodički sistem počela“, god. 5., br. 11., str. 84–85.

*Farmaceutski vijesnik* (1907.), uvod, br. 1, Zagreb, str. 2.

**Findlay Hendry R. (2005.)**, „Lavoisier and Mendeleev on the elements“, *Foundations of Chemistry*, 7, str. 31–48.

**Findlay Hendry R. (2012.)**, „Elements“, *Handbook of the Philosophy of Science, Volume 6: Philosophy of Chemistry*, urednici volumena: Robin Findlay Hendry, Paul Needham i Andrea I. Woody, glavni urednici: Dov. M. Gabbay, Paul Thagard, John Woods, Elsevier, str. 255–269.

**Flegar V. i Trinajstić N. (2017.)**, „Doprinos profesora Franje Krleže prikazu periodnoga sustava elemenata“, *Prirodoslovlje: časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske*, 17, 1–2, str. 27–40.

**Fleischer G. (1882.)**, *Naputak za metodično naučenje anorganske lučbe, Prvi dio* (prijevod udžbenika F. Willbrandta s njemačkog), Bjelovar, tisak i naklada J. Fleischmann

- Flumiani G. (1937.)**, „Gustav Janeček“, *Ljetopis JAZU*, str. 225–241.
- Gasparini R. (1896.)**, *Analitička kemija*, Split, Tipografia sociale spalatina (G. Laghi)
- Giunta C. J. (2001.)**, „Argon and the periodic system: the piece that would not fit“, *Foundations of Chemistry*, 3, str. 105–108.
- Gordin M. D. (2004.)**, *A well-Ordered thing: Dmitrii I. Mendeleev and the Shadow of the Periodic Table*, New York
- Gordin M. D. (2012.)**, „Dmitrii Ivanovich Mendeleev (1834 - 1907)“, *Handbook of the Philosophy of Science*, Volume 6: *Philosophy of Chemistry*, urednici volumena: Robin Findlay Hendry, Paul Needham i Andrea I. Woody, glavni urednici: Dov. M. Gabbay, Paul Thagard, John Woods, Elsevier, str. 79 – 87.
- Gordin M. D. (2013.)**, „The table and the word: translation, priority, and the periodic system of chemical elements“, *Ab Imperio*, 3, str. 53–83.
- Grdenić D. (1953.)**, „Fran Bubanović: Povodom sedamdesetgodišnjice života“, *Priroda*, 40, str. 369–374.
- Grdenić D. (1977.)**, „Sveučilišna kemijska nastava u devetnaestom stoljeću“ (Chemical Education at Universities in the Nineteenth Century), *Croatica Chemica Acta*, 50, Suppl., Zagreb, str. 3–38.
- Grdenić D. (1993.)**, „Prvi hrvatski kemičari“, *Kemija u Industriji*, 42, str. 171–186.
- Grdenić D. (2001.)**, poglavlje „Filozofska podloga“ u: Drago Grdenić, *Povijest kemije*, Zagreb, Novi liber, str. 123–151.
- Grdenić D. (2001a.)**, *Povijest kemije*, Zagreb, Novi liber, 2001., str. 399–411.
- Grdenić D. (2001b.)**, poglavlje „Povijest anorganske kemije“, u Drago Grdenić, *Povijest kemije*, Zagreb, Novi liber, Zagreb, str. 729–794.
- Grdenić D. (2001c.)** poglavlje „Plemeniti plinovi“, u Drago Grdenić, *Povijest kemije*, str. 765–766.
- Grdenić D. (2001c.)**, poglavlje „Povijest anorganske kemije“ u Drago Grdenić, *Povijest kemije*, Zagreb, Novi liber, 2001., str. 729 – 794.
- Grdenić D. (2002.)**, „Gustav Janeček, osnivač hrvatske kemije“, u *Gustav Janeček (1848.-1929.) život i djelo*, urednik Drago Grdenić, Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, str. 11–47.
- Guthrie W. K. C. (2005.)**, poglavlje „Početci filozofije u Grčkoj“, u W. K. C. Guthrie *Povijest grčke filozofije, knjiga I. Raniji predsokratovci i pitagorovci* (naslov izvornika: *A History of Greek Philosophy*, Cambridge University Press, 1962.), preveli: Laura Blažetić, Juraj Bubalo, Branko Malić, Zagreb, Naklada Jurčić, str. 21–33.

**Guthrie W. K. C. (2005a.)**, poglavlja „Tales“ i „Anaksimandar“, u W. K. C. Guthrie *Povijest grčke filozofije, knjiga I. Raniji predsokratovci i pitagorovci* (naslov izvornika: *A History of Greek Philosophy*, Cambridge University Press, 1962.), preveli: Laura Blažetić, Juraj Bubalo, Branko Malić, Zagreb, Naklada Jurčić, str. 37–89.

**Horvat Z. (1963.)**, *Nastava i nauka kemije kod nas u 19. stoljeću*, Beograd, A. G. Matoš

**Ihde A. J. (1964.)**, *Development of Modern Chemistry*; New York, Harper and Row

**Inić S. i Kujundžić N. (2012.)**, *Julije Domaca život i djelo 1853-1928*, Zagreb, Hrvatsko farmaceutsko društvo i Farmaceutsko biokemijski fakultet sveučilišta u Zagrebu

**Inić S. i Kujundžić N. (2012a.)**, *Julije Domaca život i djelo 1853-1928*, Zagreb, Hrvatsko farmaceutsko društvo i Farmaceutsko biokemijski fakultet sveučilišta u Zagrebu, str. 79.

**Iveković H. (1969.)**, „Izbor Dimitrija Ivanoviča Mendeljejeva za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu godine 1882.“, *Kemija u Industriji*, 12, Zagreb, str. 802–804.

**Iveković H. (1969a.)**, „A letter addressed by D.I. Mendeleev to the Yugoslav Academy of Sciences and Arts in Zagreb, 1883.“, *Bulletin Scientifique*, Section A, 14, 11–12, 1969., str. 878.

**Smith J. R. (1975.)**, „Persistence and Periodicity“, neobjavljena doktorska disertacija, University of London, str. 460.

**Janeček G. (1874.)**, *Úvahy o elektrolysi vody*, Zprávy spolku chemikuv českých, 2, 1874.–76. Svoju disertaciju je Janeček objavio u *Vjestima društva čeških kemičara* u skraćenom obliku.

**Janeček G. (1883.)**, *Rukovodnik za praktičke vježbe u kvalitativnoj kemijskoj analysu neorganskih tjelesa*, Zagreb, Troškom i nakladom kr. hrv. – slav. – dalm. zem. vlade

**Janeček G. (1883.)**, *Rukovodnik za praktičke vježbe u kvalitativnoj kemijskoj analysi neorganskih tjelesa*, Zagreb

**Janeček G. (1885.)**, *Lučbeni zavod Kr. hrvat. sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu* (*Das Chemische Institut Kgl. Kroatischen Franz Joseph I. Universität zu Agram*, Knjigotiskarski i litografski zavod C. Albrechta

**Janeček G. (1887.)**, „O sastavu tvari“, *Rad JAZU*, 83, str. 65.

**Janeček G. (1890.)**, *Obća teoretička i fizikalna lučba, I. knjiga: Tvar i atomistički nazor o njezinu sastavu, I. polovica*, Zagreb, Komisionalnom nakladom Kr. sveučilišne knjižare Franje Župana

**Janeček G. (1908.)**, *Dmitrij Ivanović Mendeljev – posmrtna besjeda*, separat, preštampano iz 22. sveska „Ljetopisa“ Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, tisak Dioničke tiskare, str. 17–20.

- Janeček G. (1908a.),** *Dmitrij Ivanović Mendeljejev – posmrtna besjeda*, separat, preštampano iz 22. sveska „Ljetopisa“ Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, tisak Dioničke tiskare, str. 27.
- Janeček G. (1908b.),** *Dmitrij Ivanović Mendeljejev – posmrtna besjeda*, separat, preštampano iz 22. sveska „Ljetopisa“ Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, tisak Dioničke tiskare, str. 38.
- Janeček G. (1908c.),** *Dmitrij Ivanović Mendeljejev – posmrtna besjeda*, separat, preštampano iz 22. sveska „Ljetopisa“ Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, tisak Dioničke tiskare, str. 39.
- Janeček G. (1919.),** *Kemija I. Opći dio*, tiskano kao rukopis, Zagreb, Obrtnička zadružna tiskara, pripomena.
- Kaji M. (2002.),** „D. I. Mendeleev's concept of chemical elements and the principles of chemistry“, *Bull.Hist.Chem*, 27, 1, str. 4–16.
- Kaji M. i Brooks N. (2015.),** „The early Response to Mendeleev's Periodic System in Russia“, u: *Early responses to the Periodic System*, Masanori Kaji, Helge Kragh, Gábor Palló (ur.), New York, Oxford University Press, str. 13–47.
- Kaji M., Kragh H., Palló G. (ur.) (2015.)** *Early responses to the Periodic System*, New York, Oxford University Press.
- Kaštelan-Macan M. (1989.),** *Počeci kemijsko-tehnološkog studija u Hrvatskoj*, Zagreb, str. 13–18.
- Katalinić M. (1946.),** „Nepoznati kemijski elementi“, *Priroda*, 33, 4, str. 111–116.
- Katz G. (2001.),** „An Eight-Period Table for the 21st Century“, *Chemical Educator*, 6, str. 324–332.
- Kedrov B. M. (1981.),** „Mendeleev“, *Dictionary of scientific biography*, gl. urednik Charles Coulston Gillispie, vol 9. Charles Scribner's sons, New York, str. 286-295.
- Knight D. (1992.)** *Ideas in Chemistry: A history of the science*, London, The Athlone Press
- Korlević A. i Beyer J. (1897.),** *Počela kemije i mineralogije: za niže razrede srednjih učilišta, ženske liceje i više djevojačke škole te više pučke škole realnoga smjera*, Zagreb, Kraljevska zemaljska tiskara
- Kovačević J. (1972.),** „Prof. Dr. Vladimir Njegovan“, *Priroda*, br.1., str 30.
- Kovalevski S. I. (1874.),** *Uчебник химии*, St. Petersburg, Tipografiya M. Stasyulevich, 1874., prvo izdanje, 1878., drugo izdanje, 1880., treće izdanje, ... ukupno 13 izdanja.
- Kragh H. (2001.),** „The first subatomic explanations of the periodic system“, *Foundations of Chemistry*, 3, str. 129–143.

- Kragh H. (2015.)**, „The many faces of the Bohr atom“, u *One Hundred Years of the Bohr Atom Proceedings from a conference*, ur: Finn Aaserud i Helge Kragh, Royal Danish Academy of Sciences and Letters, str. 95–111.
- Krleža F. (1940. - 1941.)**, „Prikazivanje periodnoga sustava kemijskih elemenata“, *Nastavni vjesnik*, XLIX, 5, svibanj – lipanj, Društvo hrvatskih srednjoškolskih profesora, Zagreb, str. 351–356.
- Kučera O. (1895. - 1896.)**, „Dva znatna otkrića: argon i helij“, *Glasnik hrvatskog naravoslovnog društva*, 8., 1-6, str. 157–160.
- Kučera O. (1904.)**, „Mendeljejevljev pokus kemijskog shvatanja svemirskog etera“, *Glasnik Naravoslovnog Društva*, 16, str. 205–213.
- Kuhn T. (2002.)**, *Struktura znanstvenih revolucija*, Zagreb, Naklada Jesenski i Turk
- Lavoisier A. (1973.)**, *Traité Élémentaire de Chimie*, Cuchet, Paris.
- Leigh-Smith A. i Minder W. (1942.)**, “Experimental Evidence of the Existence of Element 85 in the Thorium Family”, *Nature*, 150, str. 767–768.
- Levine I. (2009.)**, poglavlja „Quantum mechanics“ i „Atomic Structure“, u Ira N. Levine *Physical Chemistry*, sixth edition, New York, McGraw Hill, str. 590–672.
- Lewis G. (1966.)**, *Valence and Structure of Atoms and Molecules*, New York, Dover Publications
- Lieben A. (1875.)**, *Mittheilungen aus dem Universitätslaboratorium zu Wien*, Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft, 8, str. 1017.
- Lipton P. (1990.)**, „Prediction and Prejudice“, *International Studies in Philosophy of Science*, 4, str. 51–60.
- Lozanić S. (1880.)**, *Hemija sa gledišta moderne teorije. Prvi dio. Neorganska hemija*, drugo izdanje, Beograd, Izdanje i štampa državne štamparije, str. 124 – 130.
- Maksić Z. (1976.)**, poglavlja „Porijeklo kvantne teorije“, „Kvantna mehanika“, i „Elektronska struktura atoma“, u Zvonimir Maksić, *Kvantna kemija*, Zagreb, Sveučilišna naklada Liber, str. 15–99.
- Mans C. i Eugen Schwarz W.H. (2011.)**, *Von Antropoff's Periodic table: history, significance, and propagation from Germany to Spain*, Department of Chemical Engineering, University of Barcelona, ([http://www.angel.qui.ub.es/mans/Documents/Textos/2011-09-30\\_Periodic%20Table%20-%20Antropoff%20-%20from%20Germany%20to%20Spain%20-%20CM%20&%20WHES.pdf](http://www.angel.qui.ub.es/mans/Documents/Textos/2011-09-30_Periodic%20Table%20-%20Antropoff%20-%20from%20Germany%20to%20Spain%20-%20CM%20&%20WHES.pdf) ), pristupljeno 10. srpnja 2018.

- Matzner J. (1903.)**, *Chemie anorganická pro vyšší školy reální*, České Budějovice, Dubský, 1903.
- Mazurus E. G. (1974.)**, *Graphic Representations of the Periodic System During One Hundred Years*, Tusculoosa, University of Alabama Press
- Medicinski fakultet Sveučilište u Zagrebu 1917-2017 (2017)**, monografija, urednici Marko Pećina i Marijan Klarica, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu – Medicinski fakultet, str. 410–418.
- Mendeleev D. (1869.)**, „Sootnošenje svojstv s atomnim vesom elementov“, *Zhurnal Russkoe Fiziko- Khimicheskoe Obshchestvo* (Časopis Ruskog kemijskog društva), 1 (2/3), str. 60-77.
- Jensen W.B. (2005.)**, *Mendeleev on the Periodic law, selected writings, 1869-1905*, New York, Dover publications
- Mendeleev D. I. (1874.)**, „Narav elemenata“, *Žurn. russk. fiz. him. obšč.*
- Mendeleev D. I. (1880.)**, „Periodički zakon elemenata“, *Žurn. russk. fiz. him. obšč.*
- Mendeleev D. I. (1881.)**, „La position du Gallium dans le système périodique“, *Comptes Rendus*
- Mendelejeff D. (1869.)**, „Über die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente“, *Zeitschrift für Chemie*, 12, 5, str. 405-406.
- Mendelejeff D. (1871.)**, „Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen elemente“, *Annalen der Chemie und Pharmacie Supplementband*, 8, str. 133–229.
- Mendelejeff D. I. (1871a.)**, „Zur Frage über das System der Elemente“, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 4, str. 348–352.
- Meyer J. L. (1864.)**, *Die Modernen Theorien und ihre Bedeutung für die chemische Statistik*, Breslau (Worclaw).
- Meyer J. L. (1870.)**, „Die Natur der chemischen Elemente als Function ihrer Atomgewichte“, *Annalen der Chemie*, Supplementband 7, str. 354–364.
- Meyer L. (1864.)**, „Die Modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statik“, Breslau, Maruschke und Berendt
- Meyer L. (1871.)**, „Die Natur der chemischen Elemente als Funktionen ihrer Atomgewichte“, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, VII Supplementband, str. 133–229.
- Michelis A. (1878.)**, *Ausführliches Lehrbuch der Chemie*, Braunschweig, Vieweg
- Mićović V. M. (1969.)**, „Odjek otkrića periodnog sistema u Srba i Hrvata“, ur: P. Stevanović, Beograd, Srpska akademija nauka i umetnosti
- Mierzecki R. (1985.)** *The Historical Development of Chemical Concepts*, Warszawa, Polish Scientific Publishers and Kluwer Academic Publishers

**Mikšić J. (1933.)**, „Povodom pedesetogodišnjice Prof. Dr. Frana Bubanovića“, *Farmaceutski vjesnik*, 22, str. 1–8.

**Moseley H. G. J. (1913.)**, „The high frequency spectra of the elements“, *Philosophical Magazine*, str. 1024, dostupno na: [http://www.chemistry.co.nz/henry\\_moseley\\_article.htm](http://www.chemistry.co.nz/henry_moseley_article.htm); Henry G.J. Moseley, „Atomic Models and X-Ray Spectra“, *Nature*, 92, 1993., str. 554.

**Murko D. (1979.)**, „Sedamdesetogodišnjica života profesora dr Franje Krleže, glavnog urednika Glasnika hemičara i tehnologa BiH“, *Glasnik hemičara i tehnologa BiH*, 26, Sarajevo, str. 3 i 4.

**Needham P. (2006.)**, „Aristotle's theory of chemical reaction and chemical substances“, u: Davis Baird, Eric Scerri, Lee McIntyre (ur.), *Philosophy of Chemistry: Synthesis as a New Discipline*, Netherlands, Springer, str. 43–67.

**Nekoval-Chikhaoui L. (1994.)** „Diffusion de la classification périodique de Mendéléïev en France entre 1869 et 1934“, doktorska disertacija, Univ. Paris-Sud U.F.R. Scientifique d'Orsay

*Ljetopis Jugoslavenske akademije (1877)*, 1867–1877, knj.1, Zagreb

**Novak G. (1966.)**, *Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, 1866-1966*, Zagreb, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, str 6.

**Nye M. J. (1984.)**, *The question of the Atom: From the Karlsruhe Congress to the First Solvay Conference 1860-1911*, History of Modern Physics, 1800–1950, vol. IV, Los Angeles – San Francisco, Tomash Publishers

**Njegovan V. (1907.)**, „Znamenovanje Mendeljejeva po razvitak fizikalne kemije“, *Farmaceutski vijesnik*, god. 1., br. 8, str. 138–145.

**Njegovan V. (1908.)**, „Znamenovanje Mendeljejeva po razvitak fizikalne kemije“, *Farmaceutski vijesnik*, 1., 9, str. 138–145.

**Njegovan V. (1924.)**, *Što je materija?*, Zagreb, Bibliografski zavod.

**Njegovan V. (1924a.)**, *Što je materija?*, Zagreb, Bibliografski zavod, str. 17–21.

**Njegovan V. (1924b.)**, *Što je materija?*, Zagreb, Bibliografski zavod, str. 39–41.

**Njegovan V. (1924c.)**, *Što je materija?*, Zagreb, Bibliografski zavod, str. 39–55.

**Njegovan V. (1931.)**, *Što je materija?*, Zagreb, Bibliografski zavod, „Razvoj fizike i hemije u posljednjih dvadeset i pet godina“, *Glasnik Jugoslavenskog profesorskog društva*, XII., 3., str. 302–316.

**Njegovan V. (1931a.)**, *Što je materija?*, Zagreb, Bibliografski zavod, „Razvoj fizike i hemije u posljednjih dvadeset i pet godina“, *Glasnik Jugoslavenskog profesorskog društva*, XII., 3., str. 307.



- Njegovan V. (1934.)**, „In memoriam Dmitrij Ivanovič Mendeljejev“, *Arhiv za hemiju i farmaciju*, 8., str. 199–205.
- Njegovan V. (1937.)**, *Anorganska kemija s tehnologijom za trgovačke akademije i srednje tehničke škole*, Zagreb, vlastita naklada.
- Njegovan V. (1939.)**, *Osnovi hemije*, Zagreb, Združna štamparija
- Njegovan V. (1939a.)**, *Osnovi hemije*, Zagreb, Združna štamparija, str. 281.
- Njegovan V. (1939b.)**, *Osnovi hemije*, Zagreb, Združna štamparija, str. 350–377.
- Njegovan V. (1946.)**, *Osnovi hemije*, Zagreb, Prosvjeta (Ovaj je udžbenik pisan ćirilicom).
- Njegovan V. (1947.)**, *Osnovi hemije*, Zagreb, Prosvjeta (Ovaj je udžbenik pisan ćirilicom).
- Njegovan V. (1958.)**, *Osnovi hemije*, Beograd, Naučna knjiga (Ovaj je udžbenik pisan latinicom).
- Njegovan V. (1958a.)**, *Osnovi hemije*, Beograd, Naučna knjiga, predgovor.
- Njegovan V. (1958b.)**, *Osnovi hemije*, Beograd, Naučna knjiga, pogovor.
- Partington J. R. (1954.)**, *A History of Chemistry*, vol. IV., London, MacMillan and Co.
- Partington J. R. (1964.)**, „Berthelot, Wurtz, Cannizzaro“ u: *A History of Chemistry*, vol. 4, London, Macmillan and Co., str. 465–499.
- Partington J. R. (1970.)**, *A History of Chemistry*, London, MacMillan and Co.
- Paušek-Baždar S. (1999.)**, „Hrvatska prirodoslovna književnost u postpreporodno doba“, *Dani hvarskog kazališta*, XV, str. 423–430.
- Paušek-Baždar S. (2000.)**, „Prva prirodoslovna djela i udžbenici na hrvatskom jeziku“, *Dani hvarskog kazališta* XXVI, str. 310–320.
- Paušek-Baždar S. (2002.)**, „Prvi doktorati iz kemije na Zagrebačkom sveučilištu“, *Gustav Janeček (1848.-1929.) – život i djelo*, ur. Drago Grdinić, Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, str. 135–149.
- Paušek-Baždar S. (2013.)**, „Krleža Franjo, kemičar“, *Hrvatski biografski leksikon*, Zagreb, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, str. 184
- Paušek-Baždar S. i Grdinić V. (2005.)**, „Janeček, Gustav“, *Hrvatski biografski leksikon*, Zagreb, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, str. 313–314.
- Paušek-Baždar S. i Trinajstić N. (2006.)**, „Hrvatska kemija u 19. stoljeću“, *Kemija u Industriji*, 7–8, 55, str. 333–339.
- Paušek-Baždar S. i Flegar V. (2015.)**, „Franjo Krleža i razvitak hrvatske i bosanskohercegovačke kemije“, *Prirodoslovlje: časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske*, 15, 1–2, Zagreb, str. 165–179.

- Pexidr G. (1887.)**, *Kemija za niže razrede srednjih učilišta* (prijevod udžbenika Antuna Kauera s njemačkog jezika), Zagreb, Tiskara Narodnih novina
- Pinterović Z. (1940.)**, *Kemija za više razrede srednjih i sličnih škola*, Zagreb
- Pinterović Z. (1941.)**, *Kemija za niže razrede srednjih škola*, Zagreb
- Pinterović Z. (1941a.)**, *Kemija za niže razrede srednjih škola*, Zagreb, predgovor
- Potočnjak I. i Pexidr G. (1884.)**, *Fizika i kemija za ratarnice i druge niže škole*, Zagreb, Tiskara Narodnih novina
- Pravdić V. (1969.)**, „Nove dimenzije za periodni sustav“, prijevod „Napomena dra Glenna T. Seaborga povodom proslave 100-godišnjice periodnoga sistema D. I. Mendeljejeva, Lenjingrad, SSSR, 26. septembra 1969.“, *Kemija u Industriji*, 12, str. 781–791.
- Principe L. (1998.)**, *The Aspiring Adept: Robert Boyle and His Alchemical Quest: Including Boyle's „Lost“ Dialogue on the Transmutation of Metals*, New York, Princeton University Press, Princeton.
- Priroda, (1945.)**, „Pavle Savić i Irene Curie dolaze na trag cijepanja atoma“, 35, ½, str. 28.
- Radić F. (1886.)**, *Fizika i kemija: za više pučke i nalike im učione* (prijevod udžbenika Eugena Netoliczke), Zagreb, Tisak i naklada L. Hartman
- Raos N. (2011.)**, „Periodni sustav u Hrvata“, *Kemija u Industriji*, 60, 12, str. 633–638.
- Raos N. (2012.)**, „Pan-slavism and the periodic system of the elements“, *Bulletin for the History of Chemistry*, vol. 37, 1, str. 24–28.
- Richter V. (1869.)**, „Berichte aus St. Petersburg vom 17. Oktober 1869.“, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 2, str. 552–554.
- Richter V. (1874.)**, *Uчебник неорганической химии по новейшим воззрениям*, Warsaw, Типография Ивана Яворского
- Richter V. (1875.)**, *Kurzes Lehrbuch der Anorganischen Chemie wesentlich für Studierende auf Universitäten und Polytechnischen Schulen sowie zum Selbstunterrichte*, Bonn, Cohen
- Sabaneev A. P. (1876.)**, „O sootnoshenii i klassifikatsii elementov“, *Priroda*, 3, 1876., str. 186–197.
- Savić P. (1945.)**, „Cepanje atomskih jezgara“, *Priroda*, 35, 7/8, str. 105–112.
- Scerri E. (1991.)**, „Chemistry, Spectroscopy, and the Question of Reduction“, *Journal of Chemical Education*, 68, 2, str. 122–126.
- Scerri E. (1991a.)**, „The Electronic Configuration Model, Quantum Mechanics and Reduction“, *The British Society for the Philosophy of Science*, 42, str. 309–325.

- Scerri E. (2007.)**, poglavlje „The Periodic System: An Overview“, u: *The periodic table Its Story and Its the Significance*, New York, Oxford University Press, str. 3-29.
- Scerri E. (2007a.)**, poglavlje „Quantitative Relationships among the elements and the Origins of the Periodic Table“, u Eric Scerri, *The periodic table Its Story and Its the Significance*, New York, Oxford University Press, str. 29–63.
- Scerri E. (2007b.)**, poglavlje „Discoverers of the Periodic System“, u Eric Scerri *The periodic table Its Story and Its the Significance*, New York, Oxford University Press, str. 63–101.
- Scerri E. (2007c.)**, poglavlje „Mendeleev“, u Eric Scerri, *The periodic table it's story and it's significance*, New York, Oxford University Press, str. 101–235.
- Scerri E. (2007d.)**, poglavlje „Prediction and Accomodation, The Acceptance of Mendeleev's Periodic System, u Eric Scerri, *The periodic table it's story and it's significance*, New York, Oxford University Press, str. 123–157.
- Scerri E. i Worrall J. (2001.)**, „Prediction and the Periodic table“, *Stud. Hist. Phil. Sci.*, Vol 32, 3, str. 407–452. (Pretisak u: Eric Scerri, *Selected papers on The Periodic Table*, London, Imperial College Press, 2009., str 45–91.)
- Senčar-Čupović I. (1977.)**, „Sto godina sveučilišne kemijske nastave u Hrvatskoj“, *Croatica Chemica Acta*, 50, Suppl., str. 59–76.
- Senčar-Čupović I. (1977a.)**, „Aleksandar Veljkov – prvi profesor kemije na Sveučilištu u Zagrebu“, *Croatica Chemica Acta*, 50, Suppl., str. 45.
- Senčar-Čupović I. (1984.)**, „Doprinos Aleksandra Veljkova, prvog profesora kemije na Sveučilištu u Zagrebu, razvitku kemije u Hrvatskoj“, *Bulletin de la Societe Chimique Beograd*, 49, str. 345–353.
- Senčar-Čupović I. (1989.)**, „Chemistry in Croatia, Influence of European Chemistry on the Nineteenth-Century Chemistry in Croatia“, *Kemija u Industriji*, 38, 10, str. 485–491.
- Senčar-Čupović I. (1989a.)**, „Bubanović, Fran“, u: *Hrvatski biografski leksikon*, sv. 2, ur. Aleksandar Stipčević, Zagreb, Leksikografski zavod *Miroslav Krleža*, str. 394–395.
- Senčar-Čupović I. (1990.)**, „The foundation of first modern chemical laboratories in Yugoslav countries“, *Ambix*, 37, 2, str. 74–84.
- Senčar-Čupović I. (1997.)**, „Prvi kemijski zavod Sveučilišta u Zagrebu“, *Croatica Chemica Acta*, 50, Suppl., str. 59.
- Soddy F. (1913.)**, „Intra-atomic Charge“, *Nature*, 92, str. 399–400.
- Spomenica 125 godina Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti 1866-1991 (1991.)**, gl. ur. Hrvoje Požar, Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, str 11–22.

*Spomenica 150 HAZU 1861-2011* (2011.), gl. ur. Franjo Šanjek, Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, str. 13–21.

**Spronsen J. W. (1969.)**, *The Periodic System of Chemical Elements. A History of the First Hundred Years*, Amstardam, Elsavier

**Šafařík V. (1878.)**, *Rukověť chemie pro vysoké učení české. Díl I. Chemie anorganická*, Praha, Slavík a Borový

**Šandor F. (1912.)**, *Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta*, Zagreb, str.125.

**Šandor F. (1912a.)**, *Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta*, Zagreb, str. 127.

**Šandor F. (1912b.)**, *Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta*, Zagreb, str. 178–180.

**Šidak J. (1981.)**, *Kroz pet stoljeća hrvatske povijesti*, Zagreb, str. 189–199.

**Štrbáňová S. (2015.)**, „Nationalism and the Process of Reception and Appropriation of the Periodic System in Europe and the Czech Lands“, u *Early responses to the Periodic System*, ur. Masanori Kaji, Helge Kragh, Gábor Palló, New York, Oxford University Press, str. 121–149.

*Tehnički fakultet 1919.-1994. (1994.)*, *Monografija u povodu 75. obljetnice osnutka tehničke visoke škole u Zagrebu*, Zagreb, str. 10–30, 175;

**Thomson J. J. (1904.)**, „On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure“, *Philosophical magazine and Journal of Science*, 6, str. 237–265.

**Torbar J. (1869.)**, „Boškovićeve elementa materiae naspram današnjoj atomistici“, *Rad JAZU* 4, Zagreb, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, str. 20–46.

**Trinajstić N. et al. (2009.)**, „Hrvatska kemija u XX. Stoljeću“, *Kemija u Industriji*, 58, 7–8, str. 315–336.

**Trinajstić N. i Paušek-Baždar S. (2014.)**, *Hrvatska kemija u 20. stoljeću, ljudi i događaji*, Zagreb, Školska knjiga i Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti

**Trinajstić N., Paušek-Baždar S., Flegar V. (2011.)**, „150 godina Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti i 125 godina prisutnosti kemičara u Akademiji“, *Kemija u Industriji*, 60, 9, str. 447–457.

**Vančik H. (1999.)**, „Opus magnus: outline of chemistry“, *Foundations of Chemistry*, 3, str. 239–254.

**Vouk B. (1910.-1911.),** *Repetitorij farmaceutske ludžbe za polaznike vježbeničkog tečaja*, prilog *Farmaceutskom vijesnika*, Zagreb, 1912. godine repetitorij je tiskan i kao separat.

**Vukotinović Lj. (1868.),** „O kamenom uglju i ugljičnoj kiselini“, *Rad JAZU* 5, Zagreb, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, str. 30–43.

**Welkow A. (1873.),** „Beryllium – Platinchlorid“, *Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin*, 6, str. 1228–1229.

**Welkow A. (1874.),** „Beryllium – Palladiumchlorid“, *Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin*, 7, str. 38–39.

**Welkow A. (1874a.),** „Beryllium – Palladiumchlorür“, *Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin*, 7, str. 803–805.

**Welkow S. (1874b.),** „Berillium és kettös sók“, Budapest, članak objavljen u Budimpešti dostupan na: [http://real-eod.mtak.hu/2018/1/ErtekTermtudKorebol\\_05\\_03.pdf](http://real-eod.mtak.hu/2018/1/ErtekTermtudKorebol_05_03.pdf), pristupljeno 1. kolovoza 2018.

**Žulić P. (1866.),** *Obća kemija za male realke*, Zagreb, Narodna tiskara dra. Ljudevita Gaja

**Žulić P. (1877.),** *Uputa u kemiju za velike realke, dio I. Anorganička kemija*, Zagreb, Kr. dalm. hrv. slav. zemaljska vlada

**Žulić P. (1878.),** *Kemija* (prijevod udžbenika Henryja Roscoea), Zagreb, Tiskarna i litografija C. Albrecht

## § 6. PRILOZI

Prilog 1: abecedni popis kemijskih elemenata


Ime elementa	Simbol elementa	Atomski broj	Ime elementa	Simbol elementa	Atomski broj
Aktinij	Ac	89	Cirkonij	Zr	40
Aluminij	Al	13	Darmštatiј	Ds	110
Americij	Am	95	Disprozij	Dy	66
Antimon	Sb	51	Dubnij	Db	105
Argon	Ar	18	Dušik	N	7
Arsen	As	33	Einsteinij	Es	99
Astat	At	85	Erbij	Er	68
Bakar	Cu	29	Europij	Eu	63
Bariј	Ba	56	Fermij	Fm	100
Berilij	Be	4	Flerovij	Fl	114
Berkelij	Bk	97	Fluor	F	9
Bizmut	Bi	83	Fosfor	P	15
Bohrij	Bh	107	Francij	Fr	87
Bor	B	5	Gadolinij	Gd	64
Brom	Br	35	Galij	Ga	31
Cerij	Ce	58	Germanij	Ge	32
Cezij	Cs	55	Hafnij	Hf	72
Cink	Zn	30	Hasij	Hs	108

Helij	He	2	Litij	Li	3
Holmij	Ho	67	Livermorij	Lv	116
Indij	In	49	Lutecij	Lu	71
Iridij	Ir	77	Magnezij	Mg	12
Iterbij	Yb	70	Mangan	Mn	25
Itrij	Y	39	Meitnerij	Mt	109
Jod	I	53	Mendelevij	Md	101
Kadmij	Cd	48	Molibden	Mo	42
Kalcij	Ca	20	Moskovij	Mc	115
Kalifornij	Cf	98	Natrij	Na	11
Kalij	K	19	Neodimij	Nd	60
Kisik	O	8	Neon	Ne	10
Klor	Cl	17	Neptunij	Np	93
Kobalt	Co	27	Nihonij	Nh	113
Kopernicij	Cn	112	Nikal	Ni	28
Kositar	Sn	50	Niobij	Nb	41
Kripton	Kr	36	Nobelij	No	102
Krom	Cr	24	Oganeson	Og	118
Ksenon	Xe	54	Olovo	Pb	82
Kurij	Cm	96	Osmij	Os	76
Lantan	La	57	Paladij	Pd	46
Lawrencij	Lr	103	Platina	Pt	78


Plutonij	Pu	94	Stroncij	Sr	38
Polonij	Po	84	Sumpor	S	16
Praseodimij	Pr	59	Talij	Tl	81
Prometij	Pm	61	Tantal	Ta	73
Protaktinij	Pa	91	Tehnecij	Tc	43
Radij	Ra	88	Telurij	Te	52
Radon	Rn	86	Tenes	Ts	117
Renij	Re	75	Terbij	Tb	65
Rodij	Rh	45	Titanij	Ti	22
Roentgenij	Rg	111	Torij	Th	90
Rubidij	Rb	37	Tulij	Tm	69
Rutenij	Ru	44	Ugljik	C	6
Rutherfordij	Rf	104	Uranij	U	92
Samarij	Sm	62	Vanadij	V	23
Seaborgij	Sg	106	Vodik	H	1
Selenij	Se	34	Volfram	W	74
Silicij	Si	14	Zlato	Au	79
Skandij	Sc	21	Željezo	Fe	26
Srebro	Ag	47	Živa	Hg	80




**Prilog 2:** popis kemijskih elemenata s godinom otkrića i otkrivačem poredan prema atomskim brojevima elemenata



Naziv elementa	Simbol elementa	Atomski broj		Godina otkrića	Otkrivač
vodik	H	1		1766.	(Phillip von Hohenheim (Paracelsus)); (Robert Boyle); Henry Cavendish
helij	He	2		1895.	Sir William Ramsay
litij	Li	3		1817.	Johan August Arfwedson
berilij	Be	4		1797.	Louis Nicolas Vauquelin
bor	B	5		1808.	Joseph Louis Gay-Lussac i Louis Jacques Thénard
ugljik	C	6		poznat od davnina	
dušik	N	7		1772.	Daniel Rutherford
kisik	O	8		1774.	Joseph Priestley i Carl Wilhelm Scheele
fluor	F	9		1866.	Ferdinand Frederick Henri Moissan
neon	Ne	10		1898.	Sir William Ramsay i Morris William Travers
natrij	Na	11		1807.	Sir Humphry Davy
magnezij	Mg	12		1808.	Sir Humphry Davy
aluminij	Al	13		1825.	Friedrich Wöhler














silicij	Si	14		1823.	Jöns Jakob Berzelius
fosfor	P	15		1669.	Hennig Brand
sumpor	S	16		poznat od davnina	
klor	Cl	17		1774.	Carl Wilhelm Scheele
argon	Ar	18		1894.	John William Strutt, III. barun Rayleigh i Sir William Ramsay
kalij	K	19		1807.	Sir Humphry Davy
kalcij	Ca	20		1808.	Sir Humphry Davy
skandij	Sc	21		1879.	Lars Fredrik Nilson
titanij	Ti	22		1791.	William Gregor
vanadij	V	23		1830.	Andrés Manuel del Río Fernández; Nils Gabriel Sefström
krom	Cr	24		1797.	Louis Nicolas Vauquelin
mangan	Mn	25		1774.	Johan Gottlieb Gahn i Carl Wilhelm Scheele
željezo	Fe	26		poznato od davnina	
kobalt	Co	27		1735.	Georg Brandt
nikal	Ni	28		1751.	Axel Fredrik Cronstedt

bakar	Cu	29		poznat od davnina	
cink	Zn	30		poznat od davnina	
galij	Ga	31		1875.	Paul Émile (François) Lecoq de Boisbaudran
germanij	Ge	32		1886.	Clemens Alexander Winkler
arsen	As	33		1250.	Albertus Magnus
selenij	Se	34		1817.	Jöns Jakob Berzelius
brom	Br	35		1826.	Antoine Jérôme Balard
kripton	Kr	36		1898.	Sir William Ramsay i Morris William Travers
rubidij	Rb	37		1861.	Robert Wilhelm Eberhard Bunsen i Gustav Robert Kirchhoff
stroncij	Sr	38		1808.	Sir Humphry Davy
itrij	Y	39		1794.	Johan Gadolin
cirkonij	Zr	40		1789.	Martin Heinrich Klaproth
niobij	Nb	41		1801.	Charles Hatchett
molibden	Mo	42		1778.	Carl Wilhelm Scheele
tehnecij	Tc	43		1937.	Carlo Perrier i Emilio Gino Segré

rutenij	Ru	44		1844.	(Jędrzej Śniadecki); Karl Ernst Claus
rodij	Rh	45		1803.	William Hyde Wollaston
paladij	Pd	46		1803.	William Hyde Wollaston
srebro	Ag	47		poznato od davnina	
kadmij	Cd	48		1817.	Friedrich Stromeyer
indij	In	49		1863.	Ferdinand Reich i Hieronymus Theodor Richter
kositar	Sn	50		poznat od davnina	
antimon	Sb	51		poznat od davnina	
telurij	Te	52		1782.	Franz-Joseph Müller Freiherr von Reichenstein
jod	I	53		1811.	Bernard Courtois
kсенон	Xe	54		1898.	Sir William Ramsay i Morris William Travers
cezij	Cs	55		1860.	Robert Wilhelm Eberhard Bunsen i Gustav Robert Kirchhoff
barij	Ba	56		1808.	Sir Humphry Davy
lantан	La	57		1839.	Carl Gustaf Mosander

cerij	Ce	58		1803.	Jöns Jakob Berzelius, Wilhelm Hisinger i Martin Heinrich Klaproth
praseodimij	Pr	59		1885.	Carl Auer Freiherr von Welsbach
neodimij	Nd	60		1885.	Carl Auer Freiherr von Welsbach
prometij	Pm	61		1945.	Lawrence Elgin Glendenin, Charles DuBois Coryell i Jacob Akiba Marinsky
samarij	Sm	62		1879.	Paul Émile (François) Lecoq de Boisbaudran
europij	Eu	63		1896.	Eugène Anatole Demarçay
gadolinij	Gd	64		1880.	Jean Charles Galissard de Marignac
terbij	Tb	65		1843.	Carl Gustaf Mosander
disprozij	Dy	66		1886.	Paul Émile (François) Lecoq de Boisbaudran
holmij	Ho	67		1879.	Per Teodor Cleve
erbij	Er	68		1843.	Carl Gustaf Mosander
tulij	Tm	69		1879.	Per Teodor Cleve
iterbij	Yb	70		1878.	Jean Charles Galissard de Marignac
lutecij	Lu	71		1907.	Georges Urbain i Carl Auer Freiherr von Welsbach
hafnij	Hf	72		1923.	Dirk Coster i Georg Karl von Hevesy (Hevesy György)

tantal	Ta	73		1802.	Anders Gustaf Ekeberg
volfram	W	74		1783.	Juan José Elhuyar Lubize i Fausto de Elhuyar
renij	Re	75		1925.	Masataka Ogawa; Walter Noddack, Ida Eva Tacke (udana Noddack) i Otto Berg
osmij	Os	76		1803.	Smithson Tennant
iridij	Ir	77		1803.	Smithson Tennant
platina	Pt	78		1741.	Sir Charles Wood, William Brownrigg i Antonio de Ulloa
zlato	Au	79		poznato od davnina	
živa	Hg	80		poznata od davnina	
talij	Tl	81		1861.	Sir William Crookes
olovo	Pb	82		poznato od davnina	
bizmut	Bi	83		1753.	Claude François Geoffroy
polonij	Po	84		1898.	Marie Skłodowska-Curie
astat	At	85		1940.	Dale R. Corson, K. R. MacKenzie i Emilio Gino Segré

radon	Rn	86		1900.	Friedrich Ernst Dorn
francij	Fr	87		1940.	Marguerite Catherine Perey
radij	Ra	88		1898.	Pierre Curie i Marie Skłodowska-Curie
aktinij	Ac	89		1899.	André Louis Debierne
torij	Th	90		1828.	Jöns Jakob Berzelius
protaktinij	Pa	91		1917.	(Sir William Crookes); Kazimierz Fajans i O. H. Göhring; Otto Hahn i Lise Meitner; Frederick Soddy i John Cranston
uranij	U	92		1789.	Martin Heinrich Klaproth
neptunij	Np	93		1940.	Edwin Mattison McMillan i Philip Hauge Abelson
plutonij	Pu	94		1940.	Glenn Theodore Seaborg, Edwin Mattison McMillan, Joseph William Kennedy i Arthur C. Wahl
americij	Am	95		1944.	Glenn Theodore Seaborg, Ralph Arthur James, Leon O. Morgan i Albert Ghiorso
kurij	Cm	96		1944.	Glenn Theodore Seaborg, Ralph Arthur James i Albert Ghiorso
berkelij	Bk	97		1949.	Albert Ghiorso, Stanley G. Thompson i Glenn Theodore Seaborg
kalifornij	Cf	98		1950.	Stanley G. Thompson, Kenneth Street, Jr., Albert Ghiorso i Glenn Theodore Seaborg

einsteinij	Es	99		1952.	Albert Ghiorso
fermij	Fm	100		1952.	Glenn Theodore Seaborg i dr.
mendelevij	Md	101		1955.	Albert Ghiorso, Glenn Theodore Seaborg, Bernard G. Harvey, Greg R. Choppin i Stanley G. Thompson
nobelij	No	102		1957.	H. Herding, W. Forsling, Albert Ghiorso, John R. Walton, Torbjørn Sikkeland i Glenn Theodore Seaborg
lavrencij	Lr	103		1961.	Albert Ghiorso, Torbjørn Sikkeland, Almon Larsh i Robert M. Latimer
rutherfordij	Rf	104		1964.	Georgii Nikolayevich Flerov i suradnici
dubnij	Db	105		1970.	Georgii Nikolayevich Flerov i suradnici
seaborgij	Sg	106		1974.	Georgii Nikolayevich Flerov i Yuri Tsolakovich Oganessian; Albert Ghiorso i suradnici
bohrij	Bh	107		1981.	Gottfried Münzenberg i Peter Armbruster
hassij	Hs	108		1984.	Gottfried Münzenberg i Peter Armbruster
meitnerij	Mt	109		1982.	Gottfried Münzenberg i Peter Armbruster
darmstadij	Ds	110		1994.	Sigurd Hofmann, Gottfried Münzenberg i Peter Armbruster
roentgenij	Rg	111		1994.	Sigurd Hofmann, Gottfried Münzenberg i Peter Armbruster





## § 7. ŽIVOTOPIS

Prezime i ime: **FLEGAR VANJA**  
Matični broj istraživača: 319212  
Mrežna stranica: <https://hazu.academia.edu/vanjablegar>  
Poveznica na CROSBİ profil: <https://www.bib.irb.hr/pregled/znanstvenici/319212>

### OBRAZOVANJE

2011. doktorandica na Sveučilišnom doktorskom studiju kemije, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kemijski odsjek
2009. profesor fizike i kemije, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

### ZAPOSLENJE

2009. znanstveni novak u Zavodu za povijest i filozofiju znanosti Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti

### STIPENDIJE I STUDIJSKI BORAVCI

2018. studijski boravak u British Library, London, Ujedinjeno Kraljevstvo
2017. studijski boravak u *Biblioteca Ambrosiana*, Milano, Italija
2014. stipendija Balassi Intezeta za znanstveno usavršavanje, Budimpešta, Mađarska

### ČLANSTVA

2013. Član Hrvatskog nacionalnog odbora za povijesne znanosti
2010. Član Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske
2009. Član Hrvatskog kemijskog društva

### ORGANIZACIJA ZNANSTVENIH SKUPOVA I RADIONICA

2017. Suautorica koncepta izložbe „Tragovima Fausta Vrančića“
2017. Organizacija znanstvenog skupa „Hrvatski prirodoslovci 26, Uloga Hrvata znanstvenika u razvoju prirodoslovlja u Krapinsko-zagorskoj županiji“
2015. – 2017. Članica Organizacijskog odbora znanstvenih skupova „Hrvatska filozofija i znanost: jučer, danas, sutra“
2016. Suautorica koncepta izložbe „Faust Vrančić – Upoznajmo hrvatsku znanstvenu baštinu“
- Organizirala više popularnih radionica u okviru projekta *Hrvatska filozofija i znanost u europskom kontekstu od 12. do 20. stoljeća* i projekta *Upoznajmo hrvatsku znanstvenu baštinu*.

**NAJVAŽNIJE ZNANSTVENE SURADNJE**

2016. Suradnica na projektu *Upoznajmo hrvatsku znanstvenu baštinu* Zaklade Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti i Ministarstva znanosti i obrazovanja. Voditelj: Marijana Borić.
2014. – 2018. Suradnica na projektu *Hrvatska filozofija i znanost u europskom kontekstu od 12. do 20. stoljeća* Hrvatske zaklade za znanost. Voditelj: Erna Banić-Pajnić.
2009. – 2013. Suradnica na projektu *Odnos prirodne filozofije i alkemije u renesansi u Hrvata* Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa. Voditelj: Snježana Paušek-Baždar.

**BIBLIOGRAFIJA****a) KVALIFIKACIJSKI RADOVI**

*Metoda za određivanje efikasnosti ugrađivanja imunomodulatora peptidoglikanske strukture u liposome*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Kemijski odsjek, 2009. 99 str., diplomski rad

**b) ZNANSTVENI RADOVI**

Izvorni znanstveni radovi u CC/WOS časopisima:

*First appearance of Mendeleev's Periodic System of Elements in Croatian Chemistry Textbooks*; Flegar, Vanja; Inić, Suzana; Croatica Chemica Acta (2018), prihvaćeno za tisak

*Neutralization/purification of the wastewaters from the printed circuit boards production using waste by-products*; Oreščanin, Višnja; Kollar, Robert; Halkijević, Ivan; Kuspilić, Marin; Flegar, Vanja; Journal of environmental science and health. Part A. 49 (2013), 5; 540-544

Izvorni znanstveni radovi u časopisu s međunarodnom recenzijom ili s njima po vrsnoći izjednačenim časopisima (A1, A2):

Poglavlja u knjizi:

*Srećko Bošnjaković, utemeljitelj prvog privatnog javnog kemijsko-analitičkog zavoda u Zagrebu*; Paušek-Baždar, Snježana; Flegar, Vanja; Srećko Bošnjaković (1865. - 1907.) znanstvenik i poduzetnik, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, ZAGREB, (2016); 45-64

Izvorni znanstveni radovi u drugim časopisima i zbornicima:

*Doprinos profesora Franje Krleže prikazu periodnoga sustava elemenata*; Flegar, Vanja; Trinajstić, Nenad; Prirodoslovlje : časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske (1333-6347) 17 (2017), 1-2; 27-40

*Mladen Deželić - gradnja Prirodno-matematičkog fakulteta i početci nastave i znanstvenih istraživanja iz kemije u Sarajevu*; Flegar, Vanja; Paušek-Baždar, Snježana; Prirodoslovlje : časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske (1333-6347) 15 (2015), 1-2; 79-101

**Franjo Krleža i razvitak hrvatske i bosanskohercegovačke kemije;** Paušek-Baždar, Snježana; Flegar, Vanja; Prirodoslovlje : časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske (1333-6347) 15 (2015), 1-2; 165-179

**Konstantin Georgević i Zvonimir Pinterović, doktori kemije;** Trinajstić, Nenad; Flegar, Vanja; Prirodoslovlje: časopis odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske, Barbara Bulat (ur.), (2014); 69-86

**August Vierthaler - profesor kemije na splitskoj Velikoj realnoj gimnaziji;** Paušek-Baždar, Snježana; Flegar, Vanja; Godišnjak njemačke zajednice DG Jahrbuch, Renata Trischler (ur.), (2014); 81-90

Pregledni radovi u drugim časopisima i zbornicima:

**Ljekarničke obitelji Thierry i Feller – začetnici farmaceutske industrije u Hrvatskoj,** Inić, Suzana; Flegar, Vanja; Prirodoslovlje : časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske. 17 (2017) , 1-2; 129-147

**150 godina Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti i 125 godina prisutnosti kemičara u Akademiji;** Trinajstić, Nenad; Paušek-Baždar, Snježana; Flegar, Vanja; Kemija u industriji : časopis kemičara i tehnologa Hrvatske. 60 (2011) , 9; 447-457

#### c) **STRUČNI RADOVI:**

Enciklopedijske natuknice

**Dudić (Dudić Orehovički), Andrija;** Flegar, Vanja; Mandušić, Iva; Enciklopedija Hrvatskog Zagorja, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, (2017); 177-178

Popularnoznanstveni rad

**Profesori kemije na Splitskoj velikoj realci i njihov kemijski rad;** Flegar, Vanja; Prirodoslovlje 11 , časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice Hrvatske. 1 (2011) , 1; 181-192

**Kemijski rad profesora Rikarda Gasperinija;** Flegar, Vanja; Prirodoslovlje : časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske. 1-2 (2010) , 1-2/10; 93-106

Prikazi

Hrvatska kemija u 20. stoljeću - ljudi i događaji. // Kemija u industriji : časopis kemičara i tehnologa Hrvatske. 64 (2015) , 1-2; 68-68

Znanstveni skup uz 40. obljetnicu časopisa Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine. // Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine. 80 (2015) , 40/2; 528-540

S. Paušek-Baždar i N. Trinajstić: Hrvatska kemija u 20. stoljeću - ljudi i događaji. // Croatica chemica acta. 88 (2015) , 2; 207-208

Stanko Hondl (1873.-1971.) život i djelo. // Prirodoslovlje : časopis Odjela za prirodoslovlje i matematiku Matice hrvatske. 1-2 (2014) , 14; 230-231

Ivana Skuhala Karasman, U potrazi za znanjem o budućem: predviđanje u srednjovjekovnoj i renesansnoj prirodnoj filozofiji – H. Dalmatin, F. Grisogono i J. Dubrovčanin. // Prolegomena : časopis za filozofiju. 13 (2014) , 1; 192-196

Popularni članci

**Faust Vrančić Hrvatski izumitelj svjetskog glasa**, Borić, Marijana; Flegar, Vanja;  
Priroda. 106 (2016) , 3-4; 30-34

**Popis znanstvenih radova akademika Dionisa Emerika Sunka** // Dionis Emerik Sunko  
1922.- 2010., / Trinajstić, Nenad (ur.), Zagreb : Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti,  
2011. Str. 43-55