

Život i djelo Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva – povodom 100. obljetnice smrti

KUI – 15/2007
Prispjelo 2. siječnja 2007.
Prihvaćeno 5. ožujka 2007.

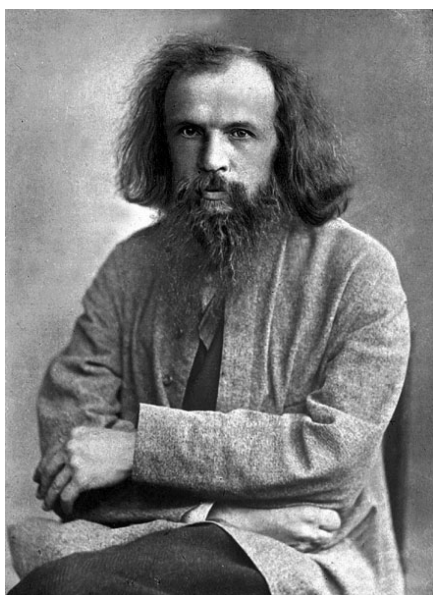
I. Esih* i V. Vaščić**

* Šubićeva 18, Zagreb, Hrvatska

** Savski trg 5, Beograd, Srbija

Prikazani su život i djelo D. I. Mendeljejeva s gledišta njegove uloge u razvoju kemije. Rođen u Toboljsku u brojnoj i siromašnoj obitelji 1834. godine, opterećen obiteljskim nedaćama i slabim zdravljem, završio je 1855. studij prirodnih znanosti u Sankt Peterburgu uz dodjelu zlatne medalje za izvanredan uspjeh. Godine 1855./56. radio je u srednjoj školi u Odesi. Magistrirao je 1856. u Sankt Peterburgu, gdje je 1857. izabran za privatnog docenta. U razdoblju 1859.–1861. bio je gostujući znanstvenik na Sveučilištu u Heidelbergu, gdje je istražujući ponašanje plinova pri promjenama tlaka i temperature otkrio kritičnu temperaturu ukapljivanja. Doktorirao je 1865. disertacijom o smjesama etanol/voda kojom je dokazao postojanje alkoholnih hidrata, postavši time pretečom suvremenih gledišta o solvataciji u otopinama. Iste je godine izabran za profesora na Sveučilištu u Sankt Peterburgu, gdje je radio do 1890., kada je prisilno umirovljen. Pripremajući udžbenik "Osnove kemije", Mendeljejev je 1869. otkrio da su svojstva kemijskih elemenata periodičke funkcije atomskih težina, što mu je omogućilo razradu periodnog sustava kao temelja za klasifikaciju gradiva i putokaza za razvojni rad u kemiji. Periodni sustav mu je poslužio za ispravak mnogih podataka o atomskim težinama i valentnosti elemenata kao i za predviđanje otkrića novih elemenata. Svjetska znanstvena javnost dočekala je Mendeljejevljev periodni sustav s nepovjerenjem, pa je on općenito prihvaćen tek nakon ostvarenja triju njegovih "proročanstava" otkrićem galija (1875.), skandija (1879.) i germanija (1886.). Kasnije su sukladno predviđanjima – pronađeni i drugi elementi, uključivo i transurane, pa je element s rednim brojem 101 u čast tvorcu periodnog sustava prozvan mendelevijem (1955.). Godine 1892. Mendeljejev je reaktiviran kao upravnik Ureda za mjere i utege u Sankt Peterburgu, gdje je radio do smrti na unapređenju metrologije u Rusiji. Opisana je i djelatnost kojom je Mendeljejev pridonio razvoju kemijskog inženjerstva (npr. razradom postupaka podzemnog rasplinjavanja ugljena, rafinacije nafte i proizvodnje bezdimnog baruta). Uspješno se bavio i metalurškom problematikom, agrokemijom, meteorologijom te aerodinamikom.

Ključne riječi: *D. I. Mendeljejev, povijest kemije, periodni sustav, razvoj kemije i kemijskog inženjerstva*



Slika 1 – Dmitrij Ivanovič Mendeljejev (1834. – 1907.)

Fig. 1 – Dmitriy Ivanovich Mendeleyev (1834 – 1907)

Djetinjstvo, školovanje i rad prije otkrića periodnog zakona (1834. – 1869.)

U zgradu suvremene kemije ugrađen je trud mnogih tisuća ljudi tijekom 20 i više stoljeća prije Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva. Sve do njegova otkrića periodičnosti svojstava kemijskih elemenata u ovisnosti o atomskoj težini 1869. godine vladala je u toj zgradi zbrka, što je kočilo daljnji razvoj kemije. Stanje je sređeno primjenom Mendeljejevljeva periodnog sustava koji kemijske elemente svrstava u skupine srodnih svojstava. Prihvaćanje tog sustava omogućilo je brz napredak kemije krajem 19. i početkom 20. stoljeća.

Dmitrij Ivanovič Mendeljejev je rođen 8. veljače 1834. godine u sibirskom gradu Toboljsku kao najmlađe, 17. dijete u obitelji ravnatelja tamošnje gimnazije, Ivana Pavloviča. Prije nego što je Dmitrij Ivanovič pošao u školu, obitelj je pogodila teška nesreća. Otac je, naime, oslijepio i morao napustiti službu, pa je brigu za brojnu obitelj preuzela majka Marija Dmitrijevna, rođena Kornijiljeva, kao upraviteljica obližnje tvornice stakla. Ona je tu tešku zadaću uspješno obavila, za što joj sin izražava duboku zahvalnost i dirljivo priznanje 1887. godine u posveti svom kapitalnom djelu, knjizi "Istra-

živanje gustoće vodenih otopina“. U gimnaziji je D. I. Mendeljejev lakoćom svladavao matematiku, fiziku i povijest, ali je često dobivao slabe ocjene iz latinskog jezika. Već 1847. umire Dmitriju Ivanoviču otac, a 1848. požar uništava majčinu tvornicu stakla. Godine 1849. D. I. Mendeljejev maturira, a 50 godina kasnije, prilikom posjeta Toboljsku, svraća na brežuljak na kojem je sa svojim kolegama proslavio maturu i pritom spalio omraženu latinsku gramatiku. Nakon mature, iste godine obitelj seli u Moskvu, a zatim u Sankt Peterburg, gdje uz pomoć očevih prijatelja uspijeva dobiti stipendiju za internatski studij na Fizikalno-matematičkom fakultetu. Kao student D. I. Mendeljejev je 1854. objavio prvi znanstveni rad pod naslovom “Kemijska analiza ortita iz Finske“. U to doba je teško obolio od tuberkuloze pluća, ali je i dalje marljivo studirao i 1855. diplomirao, pri čemu mu je za izvrstan uspjeh na studiju dodijeljena zlatna medalja.

Diplomom je Mendeljejev kvalificiran za srednjoškolskog nastavnika prirodnih znanosti i matematike, a kao bivši stipendist morao je ostati u državnoj službi, pa je imenovan za gimnazijskog profesora u Simferopolju na Krimu. Pri imenovanju je uzeto u obzir liječničko mišljenje da Mendeljejevu prijete brza smrt od sušice ako ne preseli iz Sankt Peterburga na jug, gdje je povoljnija klima. Uskoro je, međutim, bio premješten u Odesu jer se nastava u Simferopolju nije mogla održavati zbog Krimskog rata. Mendeljejev se u Odesi oporavio i nastavio raditi na magistarskoj radnji “O specifičnim volumenima“, koju je obranio 1856. u Sankt Peterburgu. Iste je godine održao i nastavno predavanje (“pro venia legendi“) s temom “Struktura silikatnih spojeva“. Godine 1857. imenovan je na temelju toga za docenta Sveučilišta u Sankt Peterburgu.

Godine 1859. Mendeljejev je upućen na dvogodišnje usavršavanje na renomiranom Sveučilištu u Heidelbergu, gdje su tada djelovali otkrivači spektralne analize Robert Wilhelm Bunsen i Gustav Robert Kirchhoff. Oni su tom metodom – upravo tijekom boravka Mendeljejeva u Heidelbergu – otkrili dva elementa, i to cezij 1860. i rubidij 1861. U Heidelbergu se Mendeljejev bavio istraživanjem kapilarnosti i ponašanja tekućina pri promjenama temperature i tlaka, o čemu je objavio nekoliko radova. Pritom je otkrio tzv. “apsolutno vrelište“ koje je identično današnjoj kritičnoj temperaturi plinova iznad koje se plin ne može ukapljiti povišenjem tlaka. Tu je temperaturu ponovno otkrio engleski kemičar Thomas Andrews 1869. godine.

Godine 1860. Mendeljejev je sudjelovao na prvom Međunarodnom kongresu kemičara u gradu Karlsruhe, gdje se raspravljalo o osnovnim kemijskim pojmovima kao što su atom, molekula, element, spoj, valencija itd. Kongres se odvijao u znaku prijepora između “stare“ i “nove“ škole, ostavivši dubok dojam na Mendeljejeva. On se odmah priklonio “novoj“ školi koju je zastupao Stanislao Cannizzaro oslanjajući se na radove – tada već pokojnih – Talijana Amedea Avogadra i Francuza Frédérica Gerhardta. Uskoro nakon Kongresa stavovi “nove“ škole su eksperimentalno potvrđeni i općenito prihvaćeni.

Poslije povratka iz Heidelberga Mendeljejev je napisao i objavio prvi ruski udžbenik organske kemije. Nakon toga je preveo s njemačkog jezika i dopunio “Tehnologiju po Wagneru“ obradivši u njoj nekoliko natuknica, među kojima valja istaknuti poglavlje o proizvodnji špirita i alkoholo-

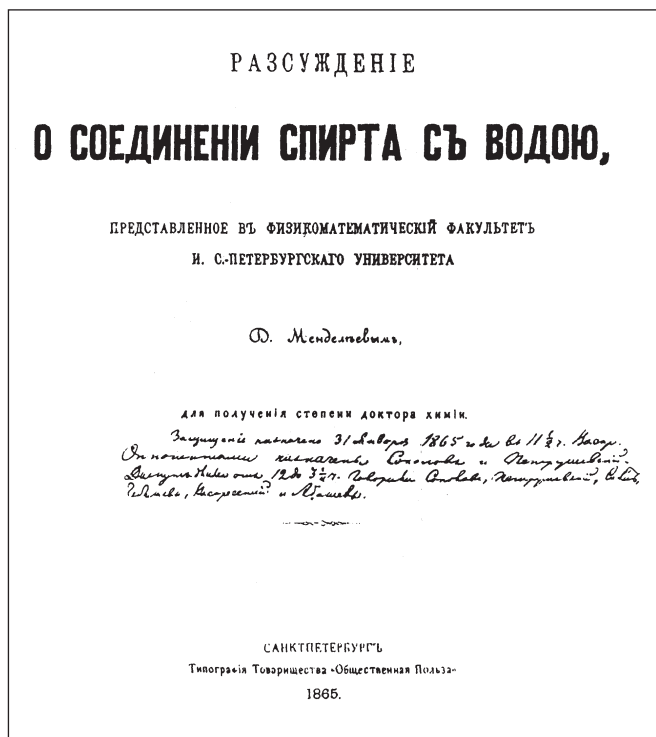
metriji jer ga je to potaknulo na opsežno istraživanje vodenih otopina i tekućih smjesa uopće. U okviru te djelatnosti pripada i doktorska disertacija D. I. Mendeljejeva.

Godine 1862. upućen je D. I. Mendeljejev na studijsko putovanje u Englesku i Belgiju. U Londonu je posjetio svjetsku izložbu, a zatim je obišao nekoliko engleskih i belgijskih metalurških postrojenja s ciljem da tamošnja iskustva prenese u rusku industriju. Godine 1863. vjenčao se Mendeljejev s osam godina starijom Feozvom Nikitičnom Lješčevom, s kojom je imao sina i dvije kćeri. Supružnike je dijelila ne samo dobnom razlika već i velik raskorak u razini naobrazbe, što je poslije nekoliko godina sretnog braka prouzročilo sve ozbiljnije i sve češće razmirice. Možda je tome pridonijela i preopterećenost Mendeljejeva radom na pisanju udžbenika “Osnove kemije“ i razradom ideje o “prirodnom“ sustavu kemijskih elemenata (kako je on nazivao periodni sustav). U to je doba Mendeljejev surađivao i u izdavanju “Tehničke enciklopedije“ pišući članke o proizvodnji stakla, šećera, brašna, škroba, alkoholnih pića i biljnih ulja. Iste 1863. poslan je i u Baku, kako bi proučio stanje u proizvodnji nafte u području Kaspijskog jezera i predložio mjere za unapređenje te djelatnosti u Rusiji. Treba naglasiti da je tada u svjetskim razmjerima naftna industrija bila u povojima jer još nije bio izumljen motor s unutarnjim izgaranjem, pa je nafta služila samo kao mazivo i gorivo (za rasvjetu i za grijanje). Mendeljejev je u izvještaju s putovanja u Baku naveo da nafta sadrži mnoge organske spojeve koji se mogu iskoristiti za razvoj organske kemijske tehnologije. Spaljivanje nafte smatrao je bezumnim uspređujući ga sa spaljivanjem novčanica. Predložio je da se istraživanje usmjeri na kemijsku preradu nafte, što je u globalnim razmjerima uskoro i ostvareno, a na temelju toga se razvila suvremena moćna petrokemijska industrija. Mendeljejev je došao i na ideju da se prijenos nafte na velike udaljenosti obavlja cjevovodima i posebnim brodovima, što je danas općenito prihvaćeno.

Mendeljejev je 1864. izradio i početkom 1865. obranio doktorsku disertaciju pod naslovom “Rasprava o miješanju etanola i vode“. U njoj je detaljno obradio utjecaj temperature i sastava smjesa etanola i vode na njihovu gustoću obavivši pritom ogroman broj preciznih mjerenja i ustanovivši da se miješanjem spomenutih tekućina smanjuje obujam smjese (tzv. kontrakcija volumena). Ustanovio je da je navedeni učinak maksimalan ako se 55 cm³ apsolutnog etanola pomiješa s 49 cm³ vode. Dobiva se, naime, samo 100 cm³ razrijeđenog alkohola. Tu je pojavu Mendeljejev protumačio nastajanjem etanolnih hidrata, što je u skladu s današnjom predodžbom o koordinativnim kemijskim vezama. Mendeljejev se time suprotstavio gledištima po kojima otapalo ne djeluje kemijski na otoplenu tvar, nego je samo “razrjeđuje“. Zapravo je svojom disertacijom dokazao da u otopinama nastaju solvati (npr. hidrati i alkoholati), tj. da između otapala i otopljene tvari dolazi do kemijskog međudjelovanja.

Nakon obrane disertacije Mendeljejev je iste godine izabran za izvanrednog i za redovnog profesora opće, anorganske, organske i tehničke kemije Sveučilišta u Sankt Peterburgu, na kojoj je dužnosti ostao do 1890.

Godine 1865. Mendeljejev je kupio veliko imanje Boblovo blizu grada Klina nedaleko od Moskve s dvostrukom namjerom, tj. da služi za ljetni odmor obitelji i da mu omogući



Slika 2 – Naslovnica doktorske disertacije Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva s vlastoručnom bilješkom o njezinoj obrani

Fig. 2 – Title page of PhD thesis of Dmitriy Ivanovich Mendeleev with an autographic note about the defence

provođenje opsežnih agrokemijskih pokusa na temelju kojih bi se utvrdile metode za unapređenje ruskog seoskog gospodarstva. Za te je pokuse Mendeljejev izradio program, objavljen u “Radovima Neovisnog ekonomskog društva” 1866. pod naslovom “Program pokusa s gnojivima na seoskom gospodarstvu”. Osim u Boblovu, pokusi su provedeni na još tri imanja, pri čemu su primijenjene 24 vrste prirodnih i umjetnih gnojiva na osnovi dušika, fosfora, kalija i kalcija. Program je uključivao ne samo ispitivanje gnojiva nego i druge agrotehničke mjere (plodored koji je uključivao mahunarke, kako bi se povećao udjel dušika u tlu, kombinirano ratarstvo sa stočarstvom radi proizvodnje stočne hrane i stajskog gnojiva, korištenje mehanizacije na parni pogon). Pokusi su trajali do 1872. i dali su izvrsne rezultate. Primjerice, prinos raži po hektaru porastao je prosječno 2,5 puta.

Godine 1867. boravio je Mendeljejev tri mjeseca u Parizu, gdje je radio na postavljanju ruskog dijela Svjetske izložbe. Pritom se upoznao s dostignućima kemijske tehnologije u najrazvijenijim zemljama, o čemu je 1868. napisao detaljan izvještaj u obliku knjige pod naslovom “Pregledni prikaz Svjetske izložbe u Parizu 1867. o suvremenom razvoju nekih kemijskih proizvodnih postupaka.”

U to je doba Mendeljejev odlučio napisati sveučilišni udžbenik opće kemije, u kojem je namjeravao sustavno prikazati svojstva kemijskih elemenata i njihovih spojeva. Odmah je uvidio da u dotadašnjoj literaturi nema sustavnog pristupa tom građivu i da mora sam pronaći načelo za takav pristup, kako bi olakšao učenje kemije. Usto je s pravom bio uvjeren da će to načelo omogućiti brži napredak kemije

kao egzaktnosti znanosti koja je već u tom razdoblju raspolažala mnoštvom podataka o šezdesetak elemenata i desetak tisuća njihovih spojeva. Proučavajući te podatke, kako bi mogao napisati udžbenik, Mendeljejev je došao na ideju o “prirodnom” sustavu kemijskih elemenata, što je objavio početkom 1869., i to pismom koje je poslao istaknutim kemičarima u Rusiji i u inozemstvu te izvještajem Ruskom kemijskom društvu. Prema tome je otkriće periodnog sustava kemijskih elemenata neodvojivo od Mendeljejevljeva udžbenika “Osнове kemije”, tiskanog u Sankt Peterburgu u dva sveska (1869. odnosno 1871.). Udžbenik je u Rusiji izdan u 13 izdanja (posljednje 1947.), a preveden je na njemački, engleski i francuski jezik.

Otkriće periodnog zakona i daljnji rad na Sveučilištu u Sankt Peterburgu (1869.–1890.)

Godine 1869. u pismu ruskim i drugim kemičarima kao i u pismenom izvještaju Ruskom kemijskom društvu Mendeljejev iznosi tablicu “Pokusna sistematizacija elemenata na temelju njihovih atomskih težina i kemijskih svojstava”, proračun tekstem u kojem formulira otkriveni periodni zakon ovako: “Elementi svrstani po veličini atomske težine pokazuju izrazitu periodičnost svojstava.” Danas bi se taj zakon morao formulirati na ovaj način: “elementi svrstani po rednim brojevima (tj. po broju pozitivnih električnih naboja u jezgri njihovih atoma) pokazuju izrazitu periodičnost svojstava.” Smisao tih dviju formulacija je praktički identičan jer su redni brojevi (koji u Mendeljejevljevo doba nisu bili poznati), u pravilu, razmjerni atomskim težinama elemenata (današnjim relativnim atomskim masama). Među šezdesetak poznatih elemenata 1869. jedinu iznimku od tog pravila činio je par “telurij-jod”. Tada se, naime, već znalo da je atomska težina telurija 128, a joda 127. Ipak je Mendeljejev u tablici telurij smjestio prije joda, kako bi telurij pripao skupini kisika, a jod halogenim elementima, što je u skladu s njihovim svojstvima. Mendeljejev je bio uvjeren da je uzrok te anomalije pogrešna atomska težina telurija, ali njegovo mišljenje nije eksperimentalno potvrđeno. Tu su činjenicu koristili kao argument protivnici periodnog sustava kojih je do 1890. bilo mnogo. Kada je početkom 20. stoljeća dokazano da je redni broj telurija 52, a joda 53, taj se “nedostatak” periodnog sustava pretvorio u dodatni dokaz njegove ispravnosti. U prvu tablicu Mendeljejev je uvrstio tada prihvaćene vrijednosti atomskih težina erbija (56), itrija (60), indija (75,6), cerija (92), lantana (94), torija (118) i uranija (116), koje su bile sasvim pogrešne zbog krive procjene njihove valencije. Te veličine Mendeljejev, doduše nije mijenjao, ali je predvidio 4 prazna mjesta za elemente, čije otkriće valja očekivati, i to s atomskim masama 45 (danas skandij), 68 (vjerojatno srodan aluminiju, tj. galij), 70 (vjerojatno srodan siliciju, tj. germanij), odnosno 180 (vjerojatno srodan cirkoniju, tj. hafnij). Mnogima su se ta “proročanstva” 1869. godine činila smiješnima, ali su se sva 4 obistinila u sljedeće 53 godine (otkrićem hafnija 1922.).

Iste 1869. objavljena je u uglednom njemačkom časopisu “Journal für praktische Chemie” Mendeljejevljeva tablica s priloženim sažetkom njegova izvještaja Ruskom kemijskom društvu, tako da je o otkriću periodnog zakona svjetska znanstvena javnost bila bez odlaganja obaviještena. Sâm Mendeljejev je smjesto pristupio usavršavanju periodnog sustava, o čemu je pismeno izvijestio Rusko kemijsko dru-

štvo u prosincu 1869. radom pod naslovom "Prirodni sustav elemenata i njegova primjena za otkrivanje svojstava nepoznatih elemenata". U tom se radu nalazi nova, poboljšana tablica periodnog sustava (vidi sliku 3.) s bitno promijenjenim atomskim težinama itrija (88), indija (113), cerija (138), torija (232) i uranija (238), što je u skladu s formulama njihovih oksida (Y_2O_3 , In_2O_3 , CeO_2 , ThO_2 i UO_3). Navedene su veličine vrlo bliske danas usvojenim vrijednostima. Praznih je mjesta mnogo više nego u prvoj tablici jer je Mendeljejev spoznao da u sustav treba uklopiti i lantanoidne ili ceritne elemente (kako ih je on zvao). Elemente, koje valja pronaći, nazivao je po poznatim elementima iste skupine periodnog sustava dodajući nazivu elementa prefikse "eka", "dvi" ili "tri", što u staroindijskom jeziku sanskritu znači "prvi", "drugi", odnosno "treći". Tako je predvidio već spomenute "eka-bor" (skandij), "eka-aluminij" (galij), "eka-silicij" (germanij) i eka-cirkonij" (hafnij) te "eka-mangan" (tehnecij), "dvi-mangan" (renij), "eka-telurij" (polonij), "eka-jod" (astat), "eka-cezij" (francij), "eka-barij" (radij), "eka-lantan" (aktinij) itd. Svi su ti elementi pronađeni ili pripravljeni nuklearnim reakcijama do 1940. godine. Zanimljivo je da je u VIII. skupini periodnog sustava prikazane tablice Mendeljejev poredao platinske metale ispravno, tj. po njihovoj srodnosti, a ne po tada prihvaćenim atomskim težinama, dakle redom "rutenij – rodij – paladij, osmij – iridij – platina". Kasnije su njihove atomske težine točnije izmjerene i dobivene su vrijednosti usklađene s Mendeljejevim prijedlogom.

U popravljenoj je tablici Mendeljejev smjestio bakar, srebro i zlato u VIII. skupinu zbog određene sličnosti s drugim metalima te skupine, ali ih je uvrstio i u I. skupinu jer su srodni alkalnim metalima, zbog čega se danas smještaju u I.B skupinu. Mendeljejev je u tablicu unio točne podatke o valen-

ciji elemenata prema kisiku i vodik. Najviša valencija prema kisiku raste s brojem skupine od 1 (za I. skupinu) do 8 (za VIII. skupinu) u skladu s formulama Na_2O , Cu_2O ; MgO , ZnO ; B_2O_3 , Al_2O_3 ; CO_2 , SiO_2 , SnO_2 ; P_2O_5 , V_2O_5 ; SO_3 , CrO_3 ; Cl_2O_7 , Mn_2O_7 ; RuO_4 , OsO_4 . Naprotiv, valencija prema vodik opada od 4 (za IV. skupinu, npr. CH_4) do 1 (za VII. skupinu, npr. HCl).

U 10. poluperiodi prikazane tablice Mendeljejev je uz torij i uran predvidio i slobodna mjesta za druge elemente najvećih atomskih težina, tj. za današnje aktinide. Za eka-bor, eka-aluminij i eka-silicij iznio je u tablici predvidive atomske težine (44, 68 i 72), a u popratnom tekstu naveo je i neka druga svojstva tih elemenata i njihovih spojeva. Te je veličine proračunao iz veličina za poznate elemente u istoj skupini i za susjedne elemente u istoj periodu. Za eka-silicij je, primjerice, dobio gustoću $5,5 \text{ g/cm}^3$, za njegov dioksid gustoću $4,7 \text{ g/cm}^3$, za tetraklorid gustoću $1,9 \text{ g/cm}^3$, za tetraetilni spoj gustoću $0,96 \text{ g/cm}^3$ i vrelište 433 K .

Detaljan prikaz periodnog zakona Mendeljejev je objavio na njemačkom jeziku u članku "Periodična zakonitost kemijskih elemenata" tiskanom 1871. u časopisu "Liebig's Annalen". Članak je sadržavao novu, dodatno poboljšanu tablicu periodnog sustava i iscrpna obrazloženja mogućnosti njegove primjene za

- sistematizaciju gradiva u nastavi kemije,
- ispravak pogrešno određenih atomskih težina određivanjem pravog položaja elementa u periodnom sustavu na temelju njegovih svojstava,
- otkrivanje nepoznatih elemenata na temelju predvidivih svojstava elementa i njegovih spojeva prema položaju praznog mjesta u periodnom sustavu.

	Группа I.	Группа II.	Группа III.	Группа IV.	Группа V.	Группа VI.	Группа VII.	Группа VIII, переходъ къ группѣ I.
Типическіе элементъ.	H=1							
1-й периодъ.	Li=7	Be=9,1	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
2-й периодъ.	Na=23	Mg=24	Al=27,1	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	Fe=56, Co=59 Ni=59, Cu=63
3-й периодъ.	(Cu=63)	Zn=65	?=68	?=72	As=75	Se=78	Br=80	Ru=104, Rh=104 Pd=104, Ag=108
4-й периодъ.	Rb=85	Sr=87	Yt?=88?	Zr=90	Nb=94	Mo=96	- = 100	
5-й периодъ.	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sa=118	Sb=122	Te=128?	J=127	
6-й периодъ.	Cs=133	Ba=137	--=137	Ce=138?	--	--	--	
7-й периодъ.	--	--	--	--	--	--	--	
8-й периодъ.	--	--	--	--	Ta=182	W=184	--	Os=199?, Ir=198? Pt=197, Au=197
9-й периодъ.	(Au=197)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	--	--	
10-й периодъ.	--	--	--	Th=232	--	U=240	--	
Высшая содовая окисъ	R_2O	R_2O_2 или RO	R_2O_3	R_2O_4 или RO_2	R_2O_5	R_2O_6 или RO_3	R_2O_7	R_2O_8 или RO_4
Высшее водородное соединеніе			(RH_3)	RH_4	RH_5	RH_6	RH_7	RH_8

Slika 3 – Tablica periodnog sustava po Dmitriju Ivanoviču Mendeljejevu (prosinac 1869.)

Fig. 3 – Periodic table according to Dmitriy Ivanovich Mendeleev (December 1869)

Objavljivanje članka naišlo je na snažan odjek kemičara u svijetu izazvavši mnoge polemike o vrijednosti periodnog sustava, ali i o prioritetu pri otkriću periodnog zakona. Što se tiče prioriteta, spominjalo se nekoliko istraživača koji su prije Mendeljejeva uočili periodičnu ovisnost svojstava elemenata o atomskoj težini, ali nijedan od njegovih prethodnika nije kao on formulirao periodni zakon, razradio sveobuhvatni periodni sustav i izveo dalekosežne zaključke.

Već 1829. složio je Johann Wolfgang Döbereiner po atomskim težinama četiri "trijade" srodnih elemenata (litij – natrij – kalij, kalcij – stroncij – barij, sumpor – selenij – telurij i klor – brom – jod), ali nije uspio dalje razviti tu ideju. U razdoblju od 1840.–1860. bavili su se istom problematikom – bez većeg uspjeha – L. Gmelin, J. B. Dumas, J. P. Cooke, E. Lenssen, W. Odling i drugi. Novi poticaj radu na sistematizaciji kemijskih elemenata dao je spomenuti Kongres održan u Karlsruheu 1860., koji je snažno utjecao i na Mendeljejeva raspravama o osnovnim kemijskim pojmovima. Poslije Kongresa bavili su se sistematizacijom kemijskih elemenata spomenuti W. Odling, a zatim i A. E. Beguyer de Chancourtois, John Newlands i Julius Lothar Meyer. Svi su oni predlagali svrstavanje elemenata po vrijednostima atomskih težina, na temelju čega bi se formirale skupine srodnih elemenata. Tako je, primjerice, J. Newlands 1864. predložio u časopisu "Chemical News" da se elementi svrstavaju u "oktave" (po analogiji s glazbenom ljestvicom). U redoslijedu tada poznatih elemenata po atomskim težinama dobio bi se ovaj rezultat:

1. oktava: H, Li, Be, B, C, N, O, F
2. oktava: F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl
3. oktava: Cl, K, Ca itd.,

na temelju čega su srodni 1., 8. i 15. element (vodik, fluor i klor), 2., 9. i 16. element (litij, natrij i kalij) te 3., 10. i 17. element (berilij, magnezij i kalcij). Kada je 1866. Newlands izložio svoj prijedlog sistematizacije elemenata na osnovi "oktava" na skupštini britanskog Chemical Society bio je izvrnut općem ruglu, pa mu je čak postavljeno cinično pitanje "zašto nije elemente složio po abecedi". Francuz de Chancourtois je 1862. bezuspješno predložio sustav elemenata u obliku spirale, a Englez W. Odling je 1864. objavio tablicu elemenata sličnu prvoj Mendeljejevoj tablici iz 1869., ali je nije popratio nikakvim komentarom. Posebno mjesto među Mendeljejevljevima pretečama zauzima Lothar Meyer koji je također 1864. svrstao kemijske elemente u skupine po srodnosti, pri čemu mu je – uz atomsku težinu – kao kriterij poslužila valencija. Tako je dobio skupine ugljika, dušika, kisika te halogenih, alkalijskih i zemno-alkalijskih elemenata, čime se – uz W. Odlinga – najviše približio idejama D. I. Mendeljejeva, iznesenim u mnogo potpunijem obliku 1869. god. Zato su mnogi njemački kemičari zahtijevali da se Lotharu Meyeru prizna prioritet u otkriću periodnog zakona i sustava. Većina francuskih kemičara pripisivala je otkriće periodnog sustava de Chancourtoisu, a većina engleskih kemičara Johnu Newlandsu. Ti su prijepori trajali više od 30 godina i riješeni su ipak u korist Mendeljejeva prije njegove smrti, čemu su pridonijeli objektivni engleski, francuski, pa i njemački kemičari, a najviše sâm Lothar Meyer koji je u nekoliko navrata javno iznio mišljenje da je Mendeljejev otkrio periodni zakon. S druge strane, neosporan je krupan doprinos Lothara Meyera afirmaciji Mendeljejevljeva sustav elemenata tim što je 1868. god. utvrdio da su neka fizikalna svojstva, npr. atom-

ski volumen elementa (kvocijent između atomske težine i gustoće elementa u čvrstom stanju), periodičke funkcije atomske težine.

Za razradu periodnog sustava elemenata Mendeljejevu je trebao ogroman broj podataka o svojstvima elemenata i njihovih spojeva, koje je u to doba bilo vrlo teško prikupiti. Za svaki je element Mendeljejev podatke napisao na karticu i kartice složio po atomskim težinama, ali iz tog materijala nije mogao dokučiti periodni zakon, i to zato što su mnogi podaci bili pogrešni, a velik broj elemenata još nije bio otkriven. Kako je sâm pričao, nakon mnogih uzaludnih pokušaja tijekom tri dana i tri neprospavane noći čvrsto je zaspao i sanjao o periodnom sustavu. Probudivši se, opet se prihvatio posla i vrlo brzo složio prihvatljivu tablicu periodnog sustava.

Mendeljejev se nije nadao da će za vrijeme njegova života periodni sustav biti potvrđen otkrićem nekog elementa predviđenog u njegovim radovima. To se ipak dogodilo pronalaskom galija (1875.), skandija (1879.), germanija (1886.), polonija (1898.), radija (1898.) i aktinija (1899.). Prvi trijumf svojeg otkrića doživio je Mendeljejev kada je ujesen 1875. u "Izveštajima Pariške akademije znanosti" pročitao da je François Lecoq de Boisbaudran pronašao galij, kojem su svojstva bila srodna svojstvima aluminija. Analizom rezultata iz "Izveštaja" Mendeljejev je zaključio da se zapravo radi o otkriću eka-aluminija. Jedino se izmjerena gustoća galija ($4,7 \text{ g/cm}^3$) nije podudarala s predviđenom vrijednošću ($5,9 \text{ g/cm}^3$). Mendeljejev je pismom ukazao na to de Boisbaudranu, a on je ponovio mjerenje, ali s pročišćenim galijem. Rezultat je odgovarao Mendeljejevljevu prijedlogu. Otkriće galija / eka-aluminija izazvalo je senzaciju u svjetskoj stručnoj javnosti i potaknulo mnoge istraživače da rade na pronalaženju novih elemenata. Već 1879. god. izvjestio je Lars Frederic Nilson sa Sveučilišta u Uppsali (Švedska) o otkriću eka-bora pod nazivom skandij. Godine 1886. objavio je njemački kemičar Clemens Winkler otkriće germanija koji je identičan s eka-silicijem. Pritom je Winkler potvrdio sva Mendeljejevljeva predviđanja o tom elementu, samo što je nekoliko brojevanih vrijednosti kasnije neznatno korigirano zbog rafinacije uzoraka germanija, odnosno primjene točnijih metoda mjerenja. Konačno su pod vodstvom Pierrea i Marje Curie krajem 19. stoljeća pronađeni i dvi-telurij, eka-barij i eka-jod (Po, Ra i At).

Afirmaciji periodnog sustava zamijetno je pridonijelo i otkriće plemenitih plinova (helija, neona, argona, kripton, ksenona i radona) u razdoblju od 1894. do 1900. god. (zaslugom W. Ramsaya, J. W. Rayleigha i suradnika). Ti su plinovi kao zasebna skupina jednostavno uklopljeni u periodni sustav elemenata.

Dodatni doprinos općem prihvaćanju periodnog sustava dali su krajem 19. i početkom 20. stoljeća istraživači koji su ustanovili da se s atomskom težinom periodički mijenjaju i magnetna svojstva, atomski radijusi, ionizacijski potencijali, topline najstajanja halogenida, boje iona u otopinama i neka mehanička svojstva. Sva ta otkrića dovela su do toga da je periodni sustav D. I. Mendeljejeva već prije njegove smrti postao u svjetskim razmjerima osnova za nastavu i istraživanje na čitavom području kemije. Ovu činjenicu dobro ilustrira prikazana tablica periodnog sustava iz njemačkog općeg repetitorija "Violetov džepni priručnik za učenike viših učilišta" (Naklada W. Violet, Stuttgart, 1911.).



Slika 4a – Naslovna stranica repertorija “Violetov džepni priručnik za dake viših učilišta (10. izdanje, Stuttgart, 1911.)

Fig. 4a – Title page of the repertory book “Violet’s pocket guide for students in higher education institutions” (10th edition, Stuttgart, 1911)

U natpisu iznad tablice navedeno je da je to periodni sustav “prema Mendeljejevu i drugima”, pa je očito da je njemački obrazovni sistem u to doba priznao Mendeljejevu prioritet otkrića periodnog zakona.

Tablica je vrlo slična prikazanoj Mendeljejevljevoj tablici, ali su u nju uvršteni skandij, galij, germanij, radij, novootkriveni lantanoidi i 5 plemenitih plinova, a Ni je – suprotno Mendeljejevljevu prijedlogu – po atomskoj težini smješten prije Co. Položaj lantanoida i aktinoida (Th i U), naravno, nije u skladu s današnjim gledištima jer je specifičnost tih elemenata bila neobjašnjiva prije 1913. godine, kada je Niels Bohr svojim modelom atomske strukture, razrađenim na temelju kvantne teorije, omogućio stjecanje suvremenih spoznaja o svojstvima kemijskih elemenata. Tek nakon toga uveden je periodni sustav zasnovan na rednom broju elementa umjesto na atomskoj težini. U takav su sustav lako uključeni lantanoidi i aktinoidi, a položaj ostalih elemenata pretežno se poklapa s onim u Mendeljejevljevoj tablici. Zbog postojanja izotopa u 4 se slučaja redosljedi po rednom broju i po atomskoj težini ne poklapaju. Naime, u

parovima Co-Ni, Ar-K, Te-I i Th-Pa prvi element ima manji redni broj, ali mu je u prirodi atomska težina veća.

Nakon pronalaska galija, skandija i germanija počela su Mendeljejevu stizati mnogobrojna međunarodna priznanja. Mendeljejev je proglašen počasnim doktorom sveučilišta u Engleskoj (u Oxfordu i Cambridgeu), Škotskoj (u Edinburghu), Njemačkoj (u Göttingenu) i SAD (u Princetону), a izabran je i za člana brojnih znanstvenih akademija (u Engleskoj, Škotskoj, Irskoj, Mađarskoj, SAD, Belgiji i Danskoj, u Rimu, Pragu, Krakovu i drugdje). Već 1882. izabrala ga je za počasnog člana tadašnja Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti u Zagrebu. Dopisnim, tj. vanjskim članom Ruske akademije znanosti Mendeljejev je postao 1876. godine. Skupina kolega istaknula je kandidaturu D. I. Mendeljejeva za izvanrednog, tj. pravog člana te Akademije 1880. Za izbor je bila nužna dvotrećinska većina glasova Fizikalno-matematičkog odjela, tj. od ukupnog broja od 19 glasova moralo je biti 13 pozitivnih. Mendeljejev je dobio samo 9 glasova, što je izazvalo ogorčene prosvjede u ruskoj javnosti. Biografi spominju četiri vjerojatna motiva akademika koji su se protivili izboru Mendeljejeva:

- rivalski odnosi između Akademije i Sveučilišta u Sankt Peterburgu,
- pritisak carske vlasti protiv Mendeljejeva zbog njegovih liberalnih stavova, osobito što se tiče autonomije Sveučilišta,
- pripadnosti “njemačkoj” frakciji Akademije, koja je tada još Lotharu Meyeru priznavala prioritet u otkriću periodnog zakona, ili
- prezir prema Mendeljejevu zbog angažiranosti na rješavanju tehničkih problema, što su mnogi ljudi smatrali nedostojnim znanstvene elite.

Međunarodna priznanja ubrzo su dokazala da odluka protiv primanja nije bila sramotna za Mendeljejeva nego za Rusku akademiju znanosti, baš kao što je 200 godina ranije za Francusku akademiju bila sramotna odluka da se u nju ne primi Molière. Zanimljivo je da je “Kraljevsko društvo” iz Londona za otkriće periodnog zakona dodijelilo Mendeljejevu visoko priznanje, Davyjevu medalju, koju su za isto otkriće dobili i prethodnici Mendeljejeva L. Meyer i J. Newlands, tj. čovjek koga su zbog toga 18 godina ranije ismijali članovi britanskoga Kemijskog društva.

70-ih je godina brak Mendeljejevih dospio u duboku krizu, pa je supruga s djecom veći dio godine boravila na imanju Boblovu, dok je on ostajao u Sankt Peterburgu radeći na Sveučilištu, ali i na mnogim drugim poslovima. Godine 1872. počeo je istraživati stlačivost plinova nastojeći protumačiti odstupanja od Boyle-Mariotteova zakona u širokom području tlakova. To istraživanje pobudilo je u Mendeljejevu zanimanje za pojave u atmosferi, a time i za meteorologiju, zrakoplovstvo i balistiku. U tom se razdoblju Mendeljejev bavio tehnološkom problematikom, i to osobito u vezi s eksploatacijom nafte. Godine 1876. bio je Mendeljejev poslan u SAD da posjeti Svjetsku izložbu u Filadelfiji i da prouči metode eksploatacije nafte u Pensilvaniji. Današnjom terminologijom moglo bi se reći da mu je tadašnja carska vlada povjerala ulogu industrijskog obavještajca. Godine 1877. podnio je opsežan izvještaj o tom putovanju pod naslovom “Nafta u Americi”, a objavio je i knjigu “Naftna industrija u Pensilvaniji i na Kavkazu”.

2) - Das periodische System der Grundstoffe (nach Mendelejeff u. a.)

	Gruppe I R ₂ O	Gruppe II RO	Gruppe III R ₂ O ₃	Gruppe IV RH ₄	Gruppe V RH ₃ R ₂ O ₅	Gruppe VI RH ₂ RO ₃	Gruppe VII RH R ₂ O ₇	Gruppe VIII	Gruppe IX (Edelgase)
1	H = 1								He = 3,9
2	Li = 7	Be = 9	B = 10,9	C = 11,9	N = 13,9	O = 15,9	F = 18,9		Ne = 19,9
3	Na = 22,9	Mg = 24,2	Al = 26,9	Si = 28,2	P = 30,8	S = 31,8	Cl = 35,2	Fe = 55,5	Ar = 39,6
4	K = 38,9	Ca = 39,7	Sc = 43,8	Ti = 47,7	V = 50,8	Cr = 51,7	Mn = 54,6	Ni = 58,6	
5	Ca = 63,1	Zn = 64,9	Ga = 69,5	Ge = 71,9	As = 74,5	Se = 78,6	Br = 79,4	Co = 58,8	Kr = 81,2
6	Rb = 84,9	Sr = 86,9	Y = 88,8	Zr = 89,9	Nb = 93,8	Mo = 95,3		Ru = 100,9	
7	Ag = 107,1	Cd = 111,5	In = 114	Sn = 118,1	Sb = 119,8	(Te = 126,6)	J = 126,0	Rh = 102,2	
8	Cs = 131,9	Ba = 136,4	La = 137,9	Ce = 139,2	Pr = 139,4	Nd = 142,5	Sa = 149,2	Pa = 105,7	Xe = 127
9	Gd = 154,8		Tb = 158,8		Er = 164,7		Tu = 169,7	Os = 189,6	
10			Yb = 171,7		Ta = 181,6	W = 182,6		Ir = 191,6	
11	Au = 195,7	Hg = 198,5	Tl = 202,6	Pb = 205,4	Bi = 206,9			Pt = 198,8	
12		Rd = 223,3		Th = 230,8		U = 236,7			

Slika 4b – Periodni sustav elemenata iz "Violets Taschenbuch für Schüler höherer Lehranstalten" (Stuttgart, 1911., str. 179)

Fig. 4b – Periodic System of Elements from "Violets Taschenbuch für Schüler höherer Lehranstalten" (Stuttgart, 1911, p. 179)



Slika 5 – Dmitriy Ivanovič Mendeljejev 1907. godine (portret supruge Ane Ivanovne)

Fig. 5 – Dmitriy Ivanovich Mendeleev (portrait by his wife Anna Ivanovna)

U to se doba konačno raspao Mendeljejev brak i on je pokrenuo brakorazvodni postupak koji je tada bio vrlo dugotrajan. U međuvremenu je stupio u zajednicu s mladom djevojkom, Anom Ivanovnom Popovom koja je bila glazbeno i umjetnički obrazovana. Zbog te veze optuživali su Mendeljejeva za bigamiju, što mu je donijelo velike neprilike i prouzročilo teške duševne krize. Rastava braka je odobrena tek 1881., pa je Mendeljejev stupio u drugi brak koji je bio sretan do njegove smrti. U tom je braku Mendeljejev imao dvije kćeri i dva sina. Ana Ivanovna je kao darovita slikarica izradila posljednji Mendeljejev portret priložen ovom osvrtu.

Istražujući stlačivost plinova uz niske tlakove, Mendeljejev se zainteresirao za mogućnost ispitivanja svojstava zraka u višim slojevima, koji su tada bili pristupačni samo balonima. Za balone se tada zanimalo i rusko Ministarstvo vojske jer su oni uspješno korišteni u francusko-pruskom ratu 1870./71. godine (a i ranije) za izviđanje i dostavu materijala. Zato

je Mendeljejevu uspjelo dobiti sredstva od Ministarstva vojske da 1878. ode na duži studijski boravak u Francusku, kako bi proučio tamošnju zrakoplovnu (zapravo "balonsku") tehniku. Budući da se baloni kreću na velikim visinama, tj. u atmosferskim slojevima koje proučava meteorologija, Mendeljejev je 1879. upućen i na drugi svjetski Meteorološki kongres, održan u Rimu. Godine 1880. Mendeljejev je objavio monografiju "O otporu gibanju u fluidima i o zrakoplovstvu", koja po mišljenju glasovitog ruskog fizičara Nikolaja Jegoroviča Zukovskog, jednog od pionira aerodinamike i hidrodinamike, može poslužiti kao osnovni priručnik svima koji se bave zrakoplovstvom, brodogradnjom i balistikom. Izvještaj o višegodišnjem istraživanju elastičnosti plinova objavio je Mendeljejev 1881. Premda su tim istraživanjem ostvareni vrijedni rezultati, izvještaj je loše ocijenjen u Ruskom tehničkom društvu, što je donekle opravdano, ali je motivirano i prevelikim očekivanjima koje je stručna javnost očekivala od tako renomiranog istraživača. Pogođen tim neuspjehom, a istodobno opterećen sukobima na Sveučilištu i teškoćama u osobnom životu, Mendeljejev je pao u duboku depresiju, pa mu je radi oporavka 1881. godine odobren višemjesečni dopust. Mendeljejev se, zaista, potpuno oporavio, čemu je sigurno doprinijelo istodobno sređivanje obiteljskih prilika razvodom i novim brakom.

Usprkos navedenim neprilikama Mendeljejev se sljedećih godina nastavio baviti istraživanjem ponašanja plinova pri različitim tlakovima i temperaturama. U okviru te djelatnosti poduzeo je 1887. let balonom za vrijeme pomrčine Sunca. Za taj let dodijeljen mu je vojni balon na pogon vrućim zrakom i jedan pukovnik specijaliziran za upravljanje balonom. Neposredno prije pomrčine Sunca počela je padati jaka kiša tako da je balon otežao i nije mogao poletjeti s dva člana posade. Mendeljejev, ipak, nije odustao od leta, pa je – znajući da je pomrčina Sunca rijetka pojava i da traje jedva dvije minute – prisilio pukovnika da se iskrca iz košare i sâm poletio balonom. Let je prošao sretno, a na pitanje novinara, je li se bojao, Mendeljejev je odgovorio da se preplašio samo pri prizemljenju. Vjetar ga je, naime, odnio do neke njive na kojoj su seljaci obavljali svoje poslove prikladnim alatom. Mendeljejev se bojao da će ga seljaci tim alatom zatući kada se spusti među njih, misleći da im je stigao "Nečastivi". Njegova se bojazan, srećom, ipak nije ostvarila, a Francusko zrakoplovno društvo mu je za taj neobični podvig dodijelilo posebnu medalju.

Velik dio Mendeljejevljeva znanstvenog rada na Sveučilištu odnosio se na istraživanje utjecaja sastava i temperature na gustoću tekućih binarnih smjesa, i to u prvom redu vodenih otopina. Pritom je detaljno proučio više od 240 sustava "otopljena tvar – otapalo" nastavivši na taj način ispitivanja koja je započeo u svojoj doktorskoj disertaciji preciznim mjerenjima gustoće smjesa etanol/voda piknometrom. Iz rezultata takvih mjerenja Mendeljejev je zaključio da otapalo nije samo sredstvo za razrjeđivanje nego da – barem djelomično – ulazi u kemijske interakcije s otopljenom tvari tvoreći asocijacije. U njima se u dinamičkoj ravnoteži nalaze otopljena tvar, otapalo i produkti njihove interakcije (hidrati, alkoholi, amonijakati ili, općenito, solvati). Mendeljejevljeva istraživanja otopina većim su dijelom prikazana u već spomenutoj, opsežnoj monografiji "Istraživanje gustoće vodenih otopina", tiskanoj 1887. godine. Ta knjiga nije naišla na veći odjek u svjetskoj znanstvenoj javnosti jer

su u njoj iznesene teze bile u suprotnosti s gledištima van't Hoffa i Arrheniusa o osmotskom tlaku i elektrolitičkoj disocijaciji. Ti su istraživači u isto doba razvili teoriju idealnih, tj. vrlo razrijeđenih otopina, kakve Mendeljejev nije istraživao. Današnje predodžbe o realnim, tj. koncentriranijim otopinama sukladne su s osnovnim idejama o odnosima između otapala i otopljene tvari, iznijetima u Mendeljejevljevoj knjizi, i nimalo ne protuslove stavovima Arrheniusa i van't Hoffa o idealnim otopinama, koji su općenito prihvaćeni. Naprotiv, Mendeljejevljeve "asocijacije" između otopljene tvari i otapala analogne su hidratima i drugim solvatima, čije je postojanje u otopinama egzaktno dokazano. Treba ipak reći da je Mendeljejev do smrti uporno negirao Arrheniusovu teoriju elektrolitičke disocijacije. Takav tvrdoglav stav bio je vjerojatno jedan od razloga zašto Mendeljejev nije dobio Nobelovu nagradu za kemiju, koja je ustanovljena 1901. i dodijeljena te godine van't Hoffu, a 1903. Arrheniusu.

Između 1870. i 1890. Mendeljejev se bavio i kemijskom tehnologijom. Nastavio je svoja ranija istraživanja o mogućnostima racionalnije eksploatacije kavkaske nafte te surađivao u projektiranju i izgradnji prvih naftovoda i prve rafinerije u Rusiji. Bavio se i razvojem rudarstva i metalurgije u Donjeckom ugljenom bazenu. Pritom je razradio metodu podzemnog rasplinjavanja ugljena za proizvodnju gorivog plina (1887.). Time bi se, doduše uz zamjetan gubitak ogrijevne moći, izbjegao iskop i prijevoz ugljena jer bi se plin cijevima izravno iz podzemlja dopremao potrošaču. U drugoj polovini 20. stoljeća izgrađeno je u SSSR-u, SAD-u i drugdje nekoliko postrojenja za podzemno rasplinjavanje ugljena, čime se uspjelo iskoristiti napuštena ili siromašna nalazišta. Danas je rasplinjavanje ugljena potisnuto primjenom plinova iz nafte i zemnog plina, ali će u budućnosti zbog naftne krize Mendeljejevljev postupak podzemnog rasplinjavanja ugljena možda ponovno postati komercijalno zanimljivo.

Tijekom rada na Sveučilištu Mendeljejev je često bio angažiran kao sudski vještak ili stručni recenzent. Radio je i na unapređivanju međunarodne znanstvene i stručne suradnje, sudjelovao u pokretu za ravnopravnost žena i žestoko nastupao protiv različitih oblika praznovjerja (npr. u meteorologiji). Napisao je čak i opsežan članak protiv spiritizma.

Posljednje razdoblje (1890. – 1907.)

Tijekom rada na Sveučilištu u Sankt Peterburgu Mendeljejev se često sukobljavao s prosvjetnim vlastima zbog kršenja sveučilišne autonomije. Najozbiljniji sukob je izbio između njega i ministra prosvjete Deljanova 1890. godine. Mendeljejev je morao podnijeti ostavku i otići u mirovinu, ali je ipak već 1892. reaktiviran kao upravitelj Glavnog ureda za mjere i utege u Sankt Peterburgu. To mu je mjesto ponuđeno kao cijenjenom metrologu jer se za vrijeme tri desetljeća istaknuo mnogim radovima za koje su bila nužna precizna mjerenja.

Početkom 90-ih godina Mendeljejev je upućen u Francusku sa zadatkom da se u tamošnjoj industriji upozna s proizvodnjom bezdimnog baruta koja tada nije postojala u Rusiji. Francuzi su ga gostoljubivo primili i pokazali mu proizvodno postrojenje, ali mu nisu htjeli odati recepturu. Mendeljejev se ipak snašao – sprijateljio se sa željezničari-

ma koji su industrijskim kolosijekom dopremali sirovine u tvornicu i dobio od njih podatke koliko vagona celuloze, dušične i sumporne kiseline, alkohola i etera ulazi u postrojenje. Na temelju toga proračunao je recepturu i provjerio je nakon povratka u Rusiju, tako da je već 1892. i tamo započela industrijska proizvodnja bezdimnog baruta za potrebe vojske i rudarstva.

Godine 1890. pripremalo je rusko Ministarstvo financija sređivanje sustava trošarina na alkoholna pića i derivate nafte, pa je kao savjetnik angažiran Mendeljejev koji je na osnovi ranijih radova već sastavio tablice za određivanje jakosti alkoholnih pića mjerenjem gustoće uz različite temperature. Te su tablice i tada korištene u Rusiji i nekim srednjeeuropskim zemljama kao najbolje. Mendeljejev je o sustavu trošarina napisao i objavio opsežan izvještaj (1891./92. u tri dijela), pa su već 1891. stupili na snagu novi zakonski propisi o trošarinama, koji se godinama nisu mijenjali jer su se afirmirali u praksi.

U Glavnom uredu za mjere i utege Mendeljejev se bavio izradom etalona za masu i duljinu. Njegov prijedlog s Osnivačkog kongresa Ruskog kemijskog društva 1868. da se u Rusiji uvede metarski sustav za mjerenje duljine, djelomično je prihvaćen 1899. godine. Tada je, naime, propisana alternativna primjena metarskog sustava i starog ruskog sustava prema kojem je 1 vrsta = 500 sežanja = 1500 laktova (aršina) = 1066,8 m.

Iste 1899. godine Mendeljejev je poslan na Ural, kako bi proučio mogućnosti unapređenja tamošnjeg rudarstva i metalurgije, o čemu je pismeno izvjestio ukazujući na potrebu povezivanja Uralskog i Kuznječkog rudarskog bazena i aktivacije drugih rudarskih područja u azijskom dijelu Ruskog carstva (npr. Altajskog i Jakutskog bazena).

Pri kraju svog životnog puta Mendeljejev je objavio sljedeće knjige:

- “Zavjetne misli”, 1903./1905. u 4 sveska,
- “Pokušaj kemijskog tumačenja svjetskog etera”, 1905. i
- “Za poznavanje Rusije”, 1906.

U “Zavjetnim mislima” i u knjizi “Za poznavanje Rusije” Mendeljejev raspravlja o općim problemima razvoja Rusije koji se – po njemu – mora osnivati na aktiviranju prirodnih resursa i na industrijalizaciji privrede. U knjizi “Pokušaj kemijskog tumačenja svjetskog etera” on iznosi pogrešnu tvrdnju da je “svjetski eter kemijski element lakši od vodika i da taj plin prožima čitav svijet”.

Dana 2. veljače 1907. godine umro je Dmitrij Ivanovič Mendeljejev od upale pluća.

Opći osvrt

Život i djelo Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva svjedoče o ogromnoj energiji i upornosti, o dubokoj vjeri u moć znanosti i o strastvenoj ljubavi prema domovini, ali i o ljudskim slabostima kao što su tvrdoglavost i naivnost. Kako je već rečeno, tvrdoglavost se očitovala u upornom odbijanju Mendeljejeva da prihvati Arrheniusovu ideju o elektrolitičkoj disocijaciji, kada je ona već bila potpuno dokazana. Mendeljejevljeva se naivnost pokazala, prije svega, u njegovim ekonomsko-sociološkim amaterskim radovima, u koji-



Slika 6 – Dmitrij Ivanovič Mendeljejev u radnoj sobi (fotografija)

Fig. 6 – Dmitriy Ivanovich Mendeleev in his cabinet (photograph)

ma se zastupa nerealna teza da se problemi na tom području mogu riješiti industrijalizacijom i drugim mjerama unapređenja privrede. Povijest Rusije u 20. stoljeću dokazuje da je ta teza posvema netočna.

Bibliografija D. I. Mendeljejeva je golema. Ona obuhvaća 431 objavljeni rad, i to 245 s područja kemije, 121 s područja fizike i 65 s ekonomsko-sociološkom i ostalom tematikom. Oko 2/3 tih publikacija čine izvorni znanstveni radovi, a preostali su udžbenici te pregledni i literarni članci, u kojima je došlo do izražaja enciklopedijsko znanje autora.

Mendeljejev se družio s mnogim ruskim i inozemnim kemičarima. Tijekom usavršavanja u Heidelbergu 1859. – 1861. blizak mu je bio talentirani organski kemičar Aleksandar Porfirevič Borodin, budući profesor na Medicinskom veleučilištu u Sankt Peterburgu, mnogo poznatiji kao skladatelj opere “Knez Igor”, nekoliko simfonija i drugih djela. Na svom se fakultetu Mendeljejev najviše družio s Aleksandrom Mihajlovičem Butlerovim, koji je otkrio izomeriju organskih spojeva, i s Nikolajem Aleksandrovičem Menšutkinom, koji se bavio kemijskom kinetikom i analitičkom kemijom. U svojoj je kući Mendeljejev često okupljao istaknute ruske slikare (Ilju Jefimoviča Rjepina, Ivana Nikolajeviča Kramskog, Vasilija Ivanoviča Surikova i druge), a pisao je čak i likovne kritike.

Mendeljejev je volio glazbu i beletristiku, a posebno je bio oduševljen romanima Julesa Vernea, tadašnjom inačicom znanstvene fantastike. Mendeljejev je imao neobične hobije; izrađivao je, pa i prodavao, kovčege i okvire za slike, a bavio se i uvezivanjem knjiga. Kada je jednom u trgovini ku-

povao materijal za svoje hobije, čuo je kako drugi kupac pita prodavača, tko je taj čovjek. Prodavač je odgovorio da je to znameniti majstor za izradu kovčega. O njemu kao kemičaru, naravno, nije ništa znao. Ipak je Mendeljejev u ruskom narodu još za života postao vrlo popularan, što su iskoristili proizvođači votke u reklamne svrhe. Izmislili su, naime, da rade votku po Mendeljejevovu propisu. On je stvarno detaljno proučavao smjese alkohola i vode, ali nije preporučio nikakav recept za votku. Ta se legenda ipak održala u Rusiji do današnjih dana, pa se i sada još katkad govori o "Mendeljejevovoj votki".

Inače su po Mendeljejevu nazvane mnoge znanstvene ustanove i udruge u Rusiji, a njegovo ime nosi i jedan vulkan na Kurilskom otočju, te jedan krater na Mjesecu i Rusko kemijsko društvo. Na njegov rođendan svake godine to društvo održava svečano zasjedanje. Na zasjedanju se autorima najboljih radova s područja kemije dodjeljuju medalje D. I. Mendeljejeva. Najveće priznanje Mendeljejevu dodijeljeno je tek 38 godina nakon smrti, kada je na prijedlog Nobelovca Glenna Theodora Seaborga 1955. netom otkriveni element s rednim brojem 101 nazvan mendelevijem. Tom

je prigodom Seaborg obrazložio prijedlog činjenicom da je veliki ruski kemičar prvi koristio svoj periodni sustav za predviđanje svojstava nepoznatih elemenata. Seaborg je dodao da su se istim sustavom služili istraživači koji su otkrili niz transuranijskih elemenata (1940. i kasnije).

Literatura

References

1. V. E. Tiščenko, M. N. Mladencev, Dmitrij Ivanovič Mendeljejev. *Jevo žiznj i dejateljnost'*. Universitetskij period 1861–1890 gg., Nauka, Moskva, 1993.
2. D. K. Samin, 100 velikih učonih, Veče, Moskva, 2000.
3. D. Grdenić, Povijest kemije, Novi Liber – Školska knjiga, Zagreb, 2001.
4. J. A. Timm, General Chemistry, 4. Ed., McGraw-Hill Book Co., 1966.
5. Violets Taschenbuch für Schüler höherer Lehranstalten, 10. Auflage, Violets Vlg., Stuttgart, 1911.
6. V. N. Njegovan, Osnovi hemije, Prosvjeta, Zagreb, 1947.
7. E. Wiberg, Anorganska kemija, Školska knjiga, Zagreb, 1967.

SUMMARY

The Life and Activities of Dmitriy Ivanovich Mendeleev – Centenary of his Death

I. Esih* and V. Vaščić**

The life and activities of D. I. Mendeleev are presented primarily in view of his role in the progress of chemistry. Born in Tobolsk in 1834 to a numerous and poor family, burdened by the family's bad luck and his ill health, he graduated natural sciences in 1855 at St. Petersburg and was awarded a gold medal for exceptional success. In 1855/56 he was teacher at a secondary school in Odessa. He obtained his MSc degree in 1856 in St. Petersburg where he was appointed lecturer in 1857. He was guest scientist 1859–1861 at the University in Heidelberg where he investigated the behavior of gases under various pressures and temperatures and discovered the critical temperature of liquefaction. He achieved his PhD degree in 1865 in St. Petersburg with a thesis on ethanol/water mixtures. Therein he had proven the existence of alcohol hydrates. His work later enabled the elaboration of modern conceptions on solvate formation in solutions. In 1865 he was elected professor at the University in St. Petersburg where he worked until 1890 when he was forced to retire. Preparing his textbook "Fundamentals of Chemistry" in 1869, he discovered that properties of chemical elements depend periodically on atomic weights. This enabled the elaboration of a periodic system as the base for classification in chemistry, as well as for further research and development of chemical science and technology. The international scientific community accepted Mendeleev's system with distrust and it was generally acknowledged not before three "prophecies" of Mendeleev were realized by the discovery of gallium (1875), scandium (1879) and germanium (1886). Later, in verification of his predictions, other elements – including transuranics – were discovered. Hence, in honor of the creator of the periodic system, the element of atomic number 101 was named mendelevium (1955). Mendeleev was reactivated in 1892 as director of the Central Bureau for Measures and Weights where he worked until his death contributing to the progress of metrology in Russia. His activity in the field of chemical engineering is also described (e.g. underground gasification of coal, mineral oil refining, production of smokeless gunpowder). He was also successfully active in the fields of metallurgy, agrochemistry, meteorology and aerodynamics.

* Šubićeva 18, Zagreb, Croatia

** Savski trg 5, Beograd, Serbia

Received: January 2, 2007

Accepted: March 5, 2007