

Α. Σ. Μαυρόπουλος

Το χρονικό της ανακάλυψης του περιοδικού νόμου /
συστήματος και ο Mendeleev



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



International Year
of the Periodic Table
of Chemical Elements

ΕΝΩΣΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ

2019

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή
 - 1.1. Η ανακάλυψη των στοιχείων
 - 1.2. Προβλήματα που απασχολούσαν τους χημικούς το πρώτο μισό του 19^{ου} αιώνα
 - 1.3. Το συνέδριο της Καρλσρούης (1860)
2. Το χρονικό της ανακάλυψης του Περιοδικού Νόμου / Πίνακα
 - 2.1. Alexandre de Chancourtois (Γάλλος γεωλόγος, 1820-1886)
 - 2.2. William Odling (Άγγλος χημικός, 1828-1921)
 - 2.3. John Newlands (Άγγλος χημικός, 1838-1898)
 - 2.4. Gustavus Hinrichs (Δανοαμερικανός Χημικός, Φυσικός, Μετεωρολόγος, Γεωλόγος, Ορυκτολόγος και καθηγητής μοντέρνων γλωσσών στο Παν. Iowa, 1836-1923)
 - 2.5. Lothar Meyer (Γερμανός χημικός, καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Μπρεσλάου, 1830-1895)
 - 2.6. Dmitry Mendeleev (Ρώσος χημικός, καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Πετρούπολης, 1834-1907)
 - 2.6.1. Ποιος ανακάλυψε πρώτος τον περιοδικό πίνακα: L. Meyer ή D. Mendeleev;
 - 2.6.2. Προβλεπτική και διορθωτική ικανότητα του περιοδικού νόμου (Mendeleev)
 - 2.6.3. Λάθη και αποπήματα του Mendeleev
3. Βελτίωση του Περιοδικού νόμου – πίνακα (μισό αιώνα μετά την ανακάλυψή του από τον Mendeleev)
4. Mendeleev: Επιστημονική και κοινωνική δράση
 - 4.1. Οι σπουδές του Mendeleev
 - 4.2. Η συγγραφή βιβλίων Χημείας από τον Mendeleev
 - 4.3. Ο πανεπιστημιακός Δάσκαλος Mendeleev
 - 4.4. Η κοινωνική δράση του Mendeleev
 - 4.5. Ο ερωτευμένος και δίγαμος Mendeleev
 - 4.6. Ο Μεντελέγιεβ και η εξουσία
 - 4.7. Ο Mendeleev και η Ακαδημία Επιστημών
 - 4.8. Ο Mendeleev διευθυντής του γραφείου μέτρων και σταθμών της Ρωσίας
 - 4.9. Ο Mendeleev και το βραβείο Nobel
5. Αντί επιλόγου

Αντί προλόγου

Φέτος (2019) γιορτάζονται διεθνώς τα 150 χρόνια από την ανακάλυψη του περιοδικού νόμου από τον Mendeleev το 1869.

Στην εργασία αυτή περιγράφεται το χρονικό της ανακάλυψης του περιοδικού νόμου / περιοδικού πίνακα, όπου γίνεται ανάλυση της συνεισφοράς των συνδιαμορφωτών του περιοδικού πίνακα: De Chancourtois (1862), Odling (1864), Newlands (1864 - 1866), Hinrichs (1867), Meyer (1864, 1870) και κυρίως του ιδιαίτερου ρόλου του Mendeleev (1869, 1871).

Με την ανακάλυψη του περιοδικού νόμου από τον Mendeleev, η Χημεία των σκόρπιων και ασύνδετων χημικών ουσιών, μετατράπηκε σε ένα ενιαίο οικοδόμημα που ένωσε, με τάξη, όλα τα στοιχεία. Το περιοδικό σύστημα, όχι μόνο ταξινόμησε-οργάνωσε τα δεδομένα με χρήσιμο και συνεκτικό τρόπο προκειμένου να εξηγήσει γνωστά χημικά φαινόμενα, αλλά αποτέλεσε και ένα εννοιολογικό εργαλείο που οδήγησε σε διάφορες διορθώσεις και αξιόλογες προβλέψεις.

Στο πλαίσιο αυτού του εορτασμού, η Δ.Ε. της ΕΕΧ, την οποία ευχαριστώ, αποφάσισε την έκδοση της συγκεκριμένης εργασίας.

Α. Σ. Μαυρόπουλος
Χημικός, Δρ. Φιλοσοφικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών
makmav72@gmail.com

1. Εισαγωγή

1.1. Η ανακάλυψη των στοιχείων

α) Χρονολογίες ανακάλυψης των στοιχείων

Μέχρι το 1 μ.Χ.	Au	Ag	Cu	Fe	Pb	Sn	Hg	S	C
1 - 1735 (Αλχημιστές)	As	Sb	Bi	P	Zn				
1735-1800	Co	Pt	Ni						
	H	N	O	Cl	Mn	Mo	W	Te	
	U	Sr	Ti	Y	Zr	V	Cr	Be	
1801-1805	Nb	Ta	Ce	Pd	Rh	Os	Ir		
1805-1815	Na	K	Ba	Ca	Mg	B	F	I	
1815-1825	Li	Cd	Se	Si					
1825-1845	Al	Br	Th	La	Tb	Er	Ru		
1845-1860									
1860-1863	Cs	Rb	Tl	In					
1863-1875									
1875-1885	Ga	Yb	Sm	Sc	Ho	Tm			
1885-1895	Pr	Nd	Gd	Dy	Ge	Ar			
1895-1905	He	Kr	Ne	Xe	Rn	Ra	Ac	Po	Eu

β) Πώς γινόνταν η ανακάλυψη των στοιχείων

Τα περισσότερα στοιχεία ανακαλύφθηκαν στη φύση (σε ορυκτά, στην ατμόσφαιρα, κ.λπ.)

i) Με χημική ανάλυση (Co, Ni, Mn, Ba, Mo, W, Te, Sr, Zr, U, Ti, Cr, Be, Nb, Ta, Pt, Pd, Rd, Os, Ir, Ru, F, Cl, I, Br, B, Cd, Li, Se, Si, Al, Th, V, ...).

ii) Με φυσικές μεθόδους π.χ. με κλασματική απόσταξη (Kr, Ne, Xe, ...).

iii) Με ηλεκτροχημική μέθοδο (Na, K, Mg, Ca, ...).

iv) Με φασματοσκοπική ανάλυση (Cs, Rb, Tl, In, ...), από το 1860 και μετά, με το φασματοσκόπιο που κατασκεύασαν οι Bunsen και Kirchhoff¹.

1.2. Προβλήματα που απασχολούσαν τους χημικούς το πρώτο μισό του 19^{ου} αιώνα

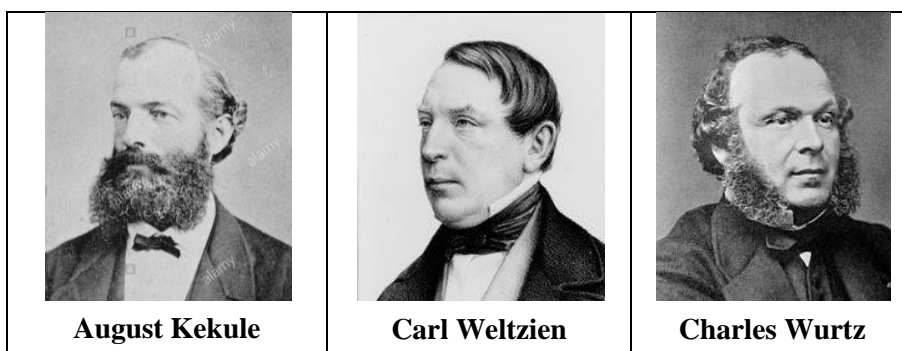
Βασικά προβλήματα που απασχολούσαν τους χημικούς το πρώτο μισό του 19^{ου} αιώνα, ήταν:

α) Η διάκριση μεταξύ «ατόμου» - «μορίου», β) Η χρήση του ισοδυναμίου και του ατομικού βάρους, γ) Ο χημικός συμβολισμός (στοιχείων και ενώσεων) – Η γραφή χημικών τύπων.

¹ Ο χημικός R.Bunsen (1811-1899) είχε αρχίσει να ασχολείται, στο Πανεπιστήμιο της Χαϊδελβέργης, με την ανίχνευση αλάτων στο νερό, με βάση τα χρώματα που έδιναν τα διάφορα μεταλλοϊόντα στη φλόγα ενός λύχνου. Όμως, η φλόγα του λύχνου που ο Bunsen χρησιμοποιούσε στο εργαστήριο τον δυσκόλευε να διακρίνει ικανοποιητικά τα χρώματα που έδιναν τα άλατα στη φλόγα. Έτσι, επινόησε και κατασκεύασε λύχνο (που πήρε το όνομά του: Λύχνος Bunsen), στον οποίο αναμειγνύεται ο αέρας με το αέριο πριν την ανάφλεξη. Επειδή και πάλι τα αποτελέσματα δεν ήταν πολύ ικανοποιητικά, συζήτησε το θέμα με τον φυσικό G.Kirchhoff (1824-1887), ο οποίος του πρότεινε να κάνει ανάλυση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας με πρίσμα. Το 1859 οι Bunsen & Kirchhoff συνεργάστηκαν και κατασκεύασαν φασματοσκόπιο, με το οποίο βρήκαν ότι: «κάθε στοιχείο δημιουργούσε χαρακτηριστικές φασματικές γραμμές που δεν επηρεάζονταν από την παρουσία άλλων στοιχείων».

1.3. Το συνέδριο της Καρλσρούης (1860)

Ο **August Kekule** (1829-1896), καθηγητής Χημείας στο Πανεπιστήμιο της Γάνδης, συνέλαβε την ιδέα διεξαγωγής διεθνούς συνάντησης χημικών, προκειμένου να συζητηθούν και ενδεχομένως να ξεκαθαριστούν κάποια σημεία της Χημείας στα οποία υπήρχε σύγχυση. Το φθινόπωρο του **1859** συζήτησε την ιδέα του αυτή με τους **Carl Weltzien** (1813-1870), καθηγητή Χημείας στο *Technische Hochschule* της Καρλσρούης και **Charles Wurtz** (1817-1884), καθηγητή Χημείας στο Πανεπιστήμιο του Παρισιού.



Στο τέλος Μαρτίου του **1860** οι τρεις αυτοί χημικοί συναντήθηκαν στο Παρίσι και καθόρισαν τον τόπο, τον χρόνο και τον σκοπό της διεθνούς συνάντησης χημικών. Στις 15 Ιουνίου 1860, έστειλαν σε όλους τους σημαντικούς Ευρωπαίους χημικούς την εξής επιστολή:

Παρίσι 15 Ιουνίου 1860

Αγαπητέ διακεκριμένε συνάδελφε

Η μεγάλη ανάπτυξη της χημείας τα τελευταία χρόνια και οι διαφορές που έχουν αναδειχθεί στις θεωρητικές απόψεις, καθιστούν επείγον, αναγκαίο και χρήσιμο να πραγματοποιηθεί ένα συνέδριο, με σκοπό τη συζήτηση σημαντικών θεμάτων, [...] προκειμένου να ξεκαθαριστούν ορισμένες παρεξηγήσεις σε μερικά από τα εξής σημεία: ο ορισμός σημαντικών χημικών ιδεών, όπως άτομο, μόριο, ισοδύναμο, ατομικότητα (σθένος), καθώς και το θέμα των χημικών τύπων και η καθιέρωση κοινού συμβολισμού και ονοματολογίας. ...

Το **1ο διεθνές συνέδριο Χημείας**, πραγματοποιήθηκε στις 3, 4 και 5 Σεπτεμβρίου **1860** στην **Καρλσρούη** και συμμετείχαν 140 Ευρωπαίοι χημικοί².

Σε τι συμφώνησαν, τελικά, οι συνέδριοι μετά από τρεις (3) μέρες συζητήσεων; Δεν κατέληξαν σε καμία συμφωνία!

Σημαντικό ρόλο στο συνέδριο έπαιξε ο Ιταλός χημικός *Stanislao Cannizzaro* (καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Γένοβα), ο οποίος την τελευταία ημέρα του συνεδρίου προσπάθησε να πείσει τους συνέδρους να αποδεχτούν τη διάκριση *ατόμου – μορίου* και την

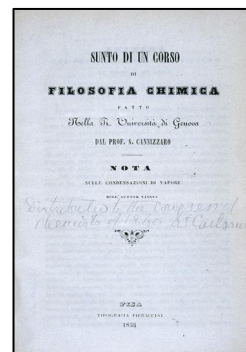


² Μερικοί από τους προσκεκλημένους συνέδρους: Bunsen, Cannizzaro, Dumas, Penning, Kekule, Korpp, Liebig, Marignac, Pasteur, Peligot, Roscoe, Stas, Strecker, Weltzien, Wohler, Wurtz, Zinin, ...

Μερικοί από τους μη προσκεκλημένους συνέδρους: Abel, Baeyer, Beilstein, Borodin, Carius, Erlenmeyer, Foster, Friedel, Fresenius, Guthrie, **Mendeleev**, **Meyer L.**, Nessler, **Odling**, Schiff, Schiskoff, Thenard L., Winkler, ...

υπόθεση του Avogadro. Ακόμη, τους μοίρασε ένα φυλλάδιο που είχε δημοσιεύσει το 1858, με τίτλο: «*Sunto di un corso di filosofia chimica*» («Σύνοψη μιας σειράς μαθημάτων χημικής φιλοσοφίας»).

Στο φυλλάδιο αυτό υπάρχουν και πίνακες με σχετικά αξιόπιστα ατομικά και μοριακά βάρη.



Σημείωση. Πολλοί ιστορικοί της επιστήμης θεωρούν ότι το διεθνές συνέδριο Χημείας της Καρλσρούης ήταν κρίσιμο για την ανάπτυξη της Χημείας, και είχε καταλυτική δράση στην ανακάλυψη του Περιοδικού Πίνακα.

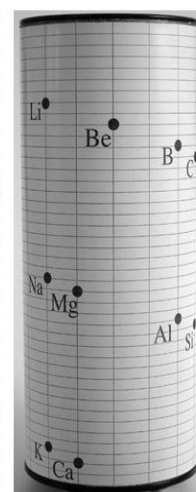
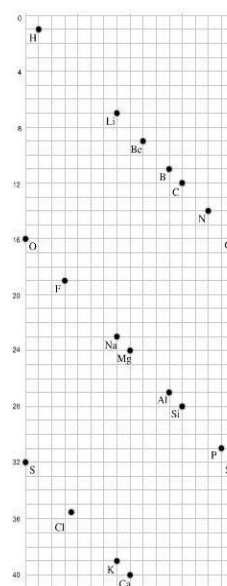
2. Το χρονικό της ανακάλυψης του Περιοδικού Νόμου / Πίνακα

α) *Πρόδρομοι* του Περιοδικού Πίνακα θεωρούνται οι: Dobereiner (1829), Gmelin (1843), Hess (1849), Kremers (1852), Lenssen (1857), Pettenkofer (1858), Dumas (1858), Strecker (1859).

β) *Συνδιαμορφωτές* του Περιοδικού Πίνακα θεωρούνται οι: De Chancourtois (1862), Odling (1864), Newlands (1864, 1865), Hinrichs (1867), Meyer (1864, 1870), Mendeleev (1869, 1871).

2.1. Alexandre de Chancourtois (Γάλλος γεωλόγος, 1820-1886)

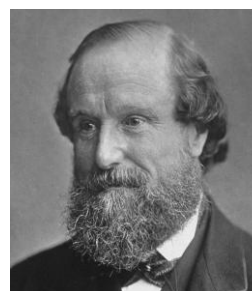
Το 1862 ο Chancourtois ταξινόμησε 24 στοιχεία (από τα 61 γνωστά) σε σπείρα εγγεγραμμένη σε κύλινδρο («*Vis tellurique*» / «τελλουρική έλικα») με βάση τα ατομικά βάρη τους, έτσι ώστε μετά από έναν ορισμένο αριθμό, στοιχεία με παρόμοιες ιδιότητες να εμφανίζονται στην ίδια στήλη, στον κύλινδρο (δηλ. στην ταξινόμηση του Chancourtois εμφανίζεται, για πρώτη φορά, η περιοδικότητα).



2.2. William Odling (Άγγλος χημικός, 1828-1921)³

Το 1864 ο Odling ταξινόμησε 57 στοιχεία με αυξανόμενο ατομικό βάρος:

			Ro 104	Pt 197
			Bu 104	Ir 197
			Pd 106·5	Os 199
.. H 1	"	"	Ag 108	Au 196·5
"	"	Zn 65	Cd 112	Hg 200
.. L 7	"	"	"	Tl 203
G 9	"	"	"	Pb 207
.. B 11	Al 27·5	"	U 120	"
C 12	Si 28	"	Sn 118 ...	"
.. N 14	P 31	As 75	Sb 122	Bi 210
O 16	S 32	Se 79·5	Te 129 ...	"
.. F 19	Cl 35·5	Br 80	I 127	"
.. Na 23	K 39	Rb 85	Cs 133	"
Mg 24	Ca 40	Sr 87·5	Ba 137 ...	"
	Ti 50	Zr 89·5	Ta 138	Th 231·5
	"	Ce 92	"	"
	Cr 52·5	Mo 96	{ V 137 ...	"
	{ Mn 55		{ W 184	"
	{ Fe 56			"
	{ Co 59			"
	{ Ni 59			"
	{ Cu 63·5			"



Η ταξινόμηση του W. Odling ("On the Proportional Numbers of the Elements", Quarterly Journal of Science, 1, 1864.

2.3. John Newlands (Άγγλος χημικός, 1838-1898)

Το 1864 ο Newlands δημοσίευσε δύο ταξινομήσεις των στοιχείων (η 2^η δημοσίευση «Relations Between Equivalents», *Chemical News*, περιλάμβανε 24 στοιχεία και ένα κενό).

Το 1865 ταξινόμησε 62 στοιχεία με αυξανόμενο ατομικό βάρος (χρησιμοποιώντας αριθμούς κατά σειρά, αντί τιμές ατομικών βαρών) και παρατήρησε ότι: «μετά από κάθε 7 στοιχεία, το 8^ο εμφάνιζε παρόμοιες χημικές ιδιότητες με το 1^ο της κάθε οκτάδας». Την κανονικότητα αυτή ο Newlands την ονόμασε, προσωρινά, «νόμο των οκτάβων» (όπως οι 8 νότες μιας οκτάβας στη μουσική).



³ Ο Odling διαδέχτηκε τον Faraday στο Βασιλικό Ινστιτούτο και αργότερα έγινε καθηγητής Χημείας στην Οξφόρδη.

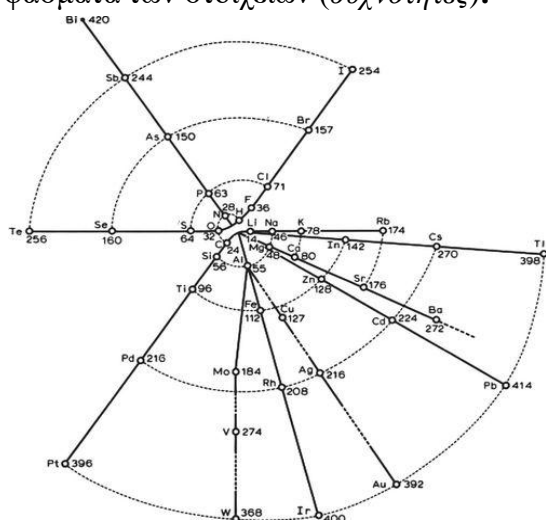
Η ταξινόμηση του Newlands (<i>Chemical News</i> , 1865)							
No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Tl 53
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Pb 54
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Th 56
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Hg 52
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Os 51

Το 1866 (1 Μαρτίου) ο Newlands παρουσίασε την εργασία του στη *Χημική Εταιρεία* του Λονδίνου (*London Chemical Society*), όπου στη συζήτηση που επακολούθησε ο Δρ. Gladstone διατύπωσε αντιρρήσεις σχετικά με το ότι «στην ταξινόμηση αυτή έχει υποτεθεί ότι δεν υπάρχουν στοιχεία που μπορεί να ανακαλυφθούν», ενώ ο G. Foster (καθηγητής στο University College London) ρώτησε ειρωνικά, «αν ο αξιότιμος ομιλητής δοκίμασε να τοποθετήσει τα στοιχεία με αλφαβητική σειρά»!

Τελικά, η *Chemical Society* αρνήθηκε να δημοσιεύσει την εργασία του Newlands. Ο λόγος απόρριψης της εργασίας, όπως ανέφερε ο W. Odling (γραμματέας της *Chemical Society*), ήταν ότι «αποφάσισαν να μη δημοσιεύουν θεωρητικές εργασίες, διότι οδηγούν σε αμφιλεγόμενες αντιπαραθέσεις».

2.4. Gustavus Hinrichs (Δανοαμερικανός Χημικός, Φυσικός, Μετεωρολόγος, Γεωλόγος, Ορυκτολόγος και καθηγητής μοντέρνων γλωσσών στο Παν. Iowa, 1836-1923)

Το 1867 ο Hinrichs ταξινόμησε τα στοιχεία με αυξανόμενο ατομικό βάρος, δημιουργώντας έναν αστρο-κυκλικό πίνακα⁴, βασιζόμενος στα φάσματα των στοιχείων (*συχνότητες*):



⁴ Στο βιβλίο *Atomechanics* (μηχανική των ατόμων) που δημοσίευσε ο Hinrichs το 1867, θεωρούσε ότι υπάρχει αναλογία μεταξύ αστρονομίας και χημείας.

2.5. Lothar Meyer (Γερμανός χημικός, καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Μπρεσλάου, 1830-1895)

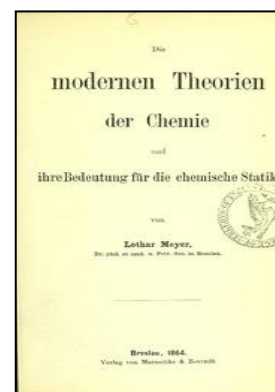


Το 1864 ο Meyer εξέδωσε το βιβλίο «*Die Modernen Theorien der Chemie*» («Οι μοντέρνες θεωρίες της χημείας»)⁵.

Στο βιβλίο αυτό ο Meyer περιλαμβάνει:

α) έναν πίνακα στον οποίο έχει ταξινομήσει 28 στοιχεία, κατ' αυξανόμενο ατομικό βάρος, σε 6 ομάδες / στήλες, με βάση τα σθένη τους και τις διαφορές των ατομικών βαρών τους.

Πίνακας του Meyer με τα <u>σθένη</u> , στο βιβλίο του: « <i>Die Modernen Theorien der Chemie</i> » [1864]					
4 werthig	3 werthig	2 werthig	1 werthig	1 werthig	2 werthig
				Li = 7,03	(Be = 9,3?)
C = 12,0	N = 14,04	O = 16,00	F = 19,0	Na = 23,05	Mg = 24,0
Si = 28,5	P = 31,0	S = 32,07	Cl = 35,46	K = 39,13	Ca = 40,0
---	As = 75,2	Se = 78,8	Br = 79,97	Rb = 85,4	Sr = 87,6
Sn = 117,6	Sb = 120,6	Te = 128,3	J = 126,8	Cs = 133,0	Ba = 137,1
Pb = 207,0	Bi = 208,0	---	---	(Tl = 204?)	---



β) δύο ακόμη πίνακες με 6 και 16 στοιχεία (τα ονομαζόμενα σήμερα *στοιχεία μετάπτωσης*):

4 werthig	4 werthig	4 werthig	2 werthig		4 werthig	6 werthig
Mn = 55,1 Fe = 56,0	Ni = 58,7	Co = 58,7	Zn = 65,0	Cu = 63,5	Ti = 48	Mo = 92
Ru = 104,3	Rh = 104,3	Pd = 106,0	Cd = 111,9	Ag = 107,91	Zr = 90	Vd = 137
Pt = 197,1	Ir = 197,1	Os = 199,0	Hg = 200,2	Au = 196,7	Ta = 137,6	W = 184

2.6. Dmitry Mendeleev (Ρώσος χημικός, καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Πετρούπολης, 1834-1907)

Το 1868 ο Mendeleev άρχισε να γράφει για τους φοιτητές του διδακτικό βιβλίο με τίτλο: «*OSNOVY XHMIH*» («Αρχές Χημείας»)⁶.

Αφού ολοκλήρωσε τη γραφή του 1^{ου} τόμου, ξεκινά αρχές του 1869 τη γραφή του 2^{ου} τόμου και, θέλοντας να μεθοδεύσει τα περιεχόμενα του βιβλίου αλλά και να τα συνδέσει με αυτά του 1^{ου} τόμου, ο Mendeleev

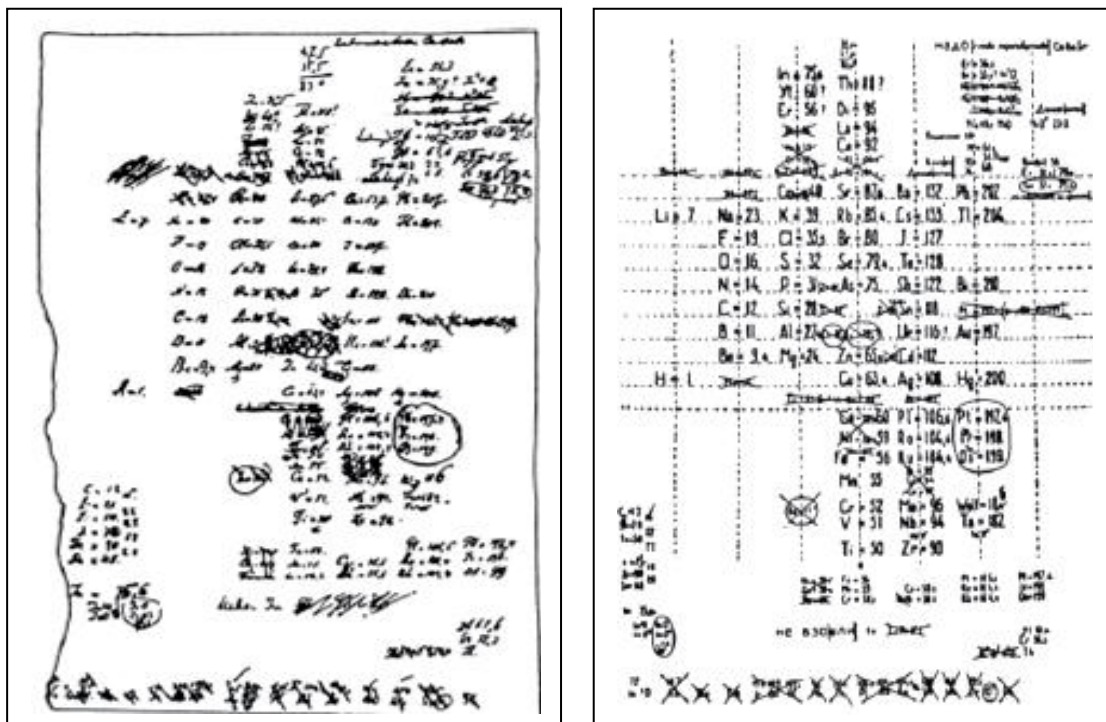


⁵ Το βιβλίο αυτό έκανε 5 εκδόσεις και μεταφράστηκε στα αγγλικά, γαλλικά και ρωσικά

⁶ Η συγγραφή του βιβλίου αυτού διήρκεσε 2 χρόνια – ολοκληρώθηκε τον Φεβρουάριο του 1871. Έκανε 13 εκδόσεις (8 στη διάρκεια ζωής του Mendeleev) και μεταφράστηκε στα αγγλικά, γαλλικά και γερμανικά.

κάνει διάφορες προσπάθειες ταξινόμησης-οργάνωσης των στοιχείων. Άρχισε να διευθετεί τα 63 γνωστά τότε στοιχεία με βάση το *ατομικό βάρος* τους, και την *ομοιότητα των ιδιοτήτων* και του σθένους τους⁷.

Στις 17 Φεβρ. 1869 ο Mendeleev, καταγράφει σε χαρτιά διάφορες ταξινομήσεις των στοιχείων⁸ και μάλιστα μία από αυτές στο πίσω μέρος επιστολής που είχε λάβει⁹ (κατά μία άλλη εκδοχή, καταγράφει σε κάρτες¹⁰ τις χαρακτηριστικές χημικές και φυσικές ιδιότητες των στοιχείων, τα ατομικά βάρη και τα σθένη τους, και στη συνέχεια διευθετεί τις κάρτες με διάφορους τρόπους-συνδυασμούς), και καταλήγει στην επόμενη ταξινόμηση (ανακαλύπτει τον «**περιοδικό νόμο**»¹¹: «*Τα στοιχεία όταν τοποθετούνται με βάση τις τιμές των ατομικών βαρών τους, παρουσιάζουν μια διακριτή περιοδικότητα στις ιδιότητές τους*»):



Ο 1^{ος} Πίνακας του Mendeleev (17 Φεβρ. 1869)

Την 1^η **Μαρτίου 1869**, ο Mendeleev έστειλε σε πολλούς Ρώσους και ξένους χημικούς ένα φύλλο χαρτί με εκτυπωμένη την «τελική» παραλλαγή του συστήματος του:

⁷ Ο Mendeleev εργαζόταν πάνω σε αυτό το πρόβλημα τρία ολόκληρα μερόνυχτα συνεχώς (σύμφωνα με τα λεγόμενα του φίλου του A. Inostrantzen, ο οποίος τον είχε επισκεφτεί εκείνη την ημέρα).

⁸ Βρέθηκαν 4 ταξινομήσεις που είχε κάνει ο Mendeleev στις 17 Φεβρουαρίου 1869.

⁹ Η επιστολή αυτή τον καλούσε να επισκεφθεί εκείνη την ημέρα κάποιους τυροκομικούς και αγροτικούς συνεταιρισμούς στην επαρχία του Tver, αλλά ανέβαλε το ταξίδι για να συνεχίσει την εργασία της ταξινόμησης, διότι μάλλον ήταν σε «καλό δρόμο».

¹⁰ Την πληροφορία αυτή την έδωσε, μετά το θάνατο του Mendeleev, ο φίλος του B. Brauner (Τσέχος χημικός), λέγοντας ότι για τις κάρτες του είχε πει ο ίδιος ο Mendeleev σε μια συζήτησή τους.

¹¹ Ο Mendeleev χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τον όρο «**περιοδικός νόμος**» το 1871, σε άρθρο του.

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

Ο 1^{ος} Πίνακας του Mendeleev (δημοσιεύτηκε στο γερμανικό περιοδικό *Zeitschrift für Chemie*, 12, 405, 1869)

Η 1η ανακοίνωση για την ανακάλυψη αυτή έγινε στη συνεδρίαση της *Ρώσικης Χημικής Εταιρείας* (RCS), στις 6 Μαρτίου 1869, με τίτλο: «Μια δοκιμή συστήματος στοιχείων, βασισμένη στο ατομικό βάρος τους και τη χημική ομοιότητα».

Την εργασία διάβασε ο χημικός N. Menshutkin, γραμματέας της RCS και φίλος του Mendeleev, διότι ο ίδιος ήταν σε αποστολή εκτός Πετρούπολης.

Πόσο αποδεκτός έγινε ο πίνακας του Mendeleev από την επιστημονική κοινότητα;

Ο πίνακας του Mendeleev δεν έγινε αμέσως αποδεκτός από πολλούς ρώσους και ξένους χημικούς (π.χ. από τους Bunsen, Nilson, Petersen, Rammelsberg, Kolbe, Zinin¹²), διότι οι περισσότεροι από αυτούς, εκείνη την εποχή, θεωρούσαν ότι δεν μπορούν να βασίζονται σε ανακαλύψεις μη πειραματικές.

2.6.1. Ποιος ανακάλυψε πρώτος τον περιοδικό πίνακα: L. Meyer ή D. Mendeleev;

Ας εξετάσουμε κάποια κοινά και μη κοινά χαρακτηριστικά των δύο αυτών χημικών (Meyer και Mendeleev) που συν-ανακάλυψαν το περιοδικό σύστημα:

1) Το **1859** ο Mendeleev και λίγο αργότερα ο Meyer πήγαν στην Χαϊδελβέργη για να εργαστούν κοντά στον Bunsen. Ο Mendeleev έφυγε πολύ γρήγορα από το εργαστήριο του Bunsen¹³, ενώ ο Meyer έμεινε εκεί και απέκτησε βαθύτερες γνώσεις για τα στοιχεία.

2) Το **1860** οι Meyer και Mendeleev παρακολούθησαν το συνέδριο της Καρλσρούης και μάλιστα είχαν εντυπωσιαστεί και οι δύο από τα επιχειρήματα του Cannizzaro.

¹² Ο Nikolai Zinin (κορυφαίος οργανικός χημικός και πρώτος πρόεδρος της ρώσικης χημικής εταιρείας / RSC), τον Σεπτέμβριο του 1869, συμβούλευσε τον Mendeleev να κάνει «πραγματική εργασία», εννοώντας πειραματική και κατά προτίμηση στην οργανική χημεία που ήταν το κυρίαρχο επιστημονικό πεδίο της εποχής.

¹³ Συνέχισε τα πειράματα στο δωμάτιό του (μελετούσε τη «διαλυτότητα της αιθυλικής αλκοόλης στο νερό»).

3) Ο Meyer τον Ιούλιο του **1868**, ενώ διόρθωνε το βιβλίο του («*Die Modernen Theorien der Chemie*») για 2^η έκδοση, ξανασχεδίασε τον πίνακά του, αλλά τον δημοσίευσε το **1870** και ενώ το **1869** είχε εμφανιστεί η εκδοχή του Mendeleev.

Είναι μάλλον βέβαιο ότι: Ο Meyer (στην έκδοση **1870**) άλλαξε κάποια σημεία της δικής του εκδοχής, όταν είδε τον πίνακα του Mendeleev (**1869**), και ο Mendeleev (στην έκδοση **1871**), άλλαξε κάποια σημεία της δικής του εκδοχής, όταν είδε τον πίνακα του Meyer (**1870**).

Π.χ. Ο Meyer αρχικά (1864) τοποθέτησε τα στοιχεία με παρόμοιες ιδιότητες σε στήλες και σε επόμενη έκδοση (1870) σε σειρές, ενώ ο Mendeleev αρχικά (1869) τοποθέτησε τα στοιχεία με παρόμοιες ιδιότητες σε σειρές και σε επόμενη έκδοση (1871) σε στήλες.

Πίνακας του Meyer (1870) (στο *Annalen, Supplementband*)

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	B = 11,0	Al = 27,3		—		? In = 118,4		Tl = 202,7
			—		—		—	
	C = 11,97	Si = 28		—		Sn = 117,8		Pb = 206,4
			Ti = 48		Zr = 89,7		—	
	N = 14,01	P = 30,9		As = 74,9		Sb = 122,1		Bi = 207,5
			V = 51,2		Nb = 93,7		Ta = 182,2	
	O = 15,96	S = 31,98		Se = 78		Te = 128?		—
			Cr = 52,4		Mo = 95,6		W = 183,5	
—	F = 19,1	Cl = 35,38		Br = 79,75		J = 126,5		—
			Mn = 54,8		Ru = 103,5		Os = 198,6?	
			Fe = 55,9		Rh = 104,1		Ir = 196,7	
			Co = Ni = 58,6		Pd = 106,2		Pt = 196,7	
Li = 7,01	Na = 22,99	K = 39,04		Rb = 85,2		Cs = 132,7		—
				Cu = 63,3		Ag = 107,66		Au = 196,2
?Be = 9,3	Mg = 23,9	Ca = 39,9		Sr = 87,0		Ba = 136,8		—
				Zn = 64,9		Cd = 111,6		Hg = 199,8

Πίνακας του Mendeleev (1871) (στο βιβλίο του «*Αρχές Χημείας*»)

Reihen	Gruppe I. R ² O	Gruppe II. RO	Gruppe III. R ² O ³	Gruppe IV. RH ⁴ RO ²	Gruppe V. RH ³ R ² O ⁵	Gruppe VI. RH ² RO ³	Gruppe VII. RH R ² O ⁷	Gruppe VIII. RO ⁴
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	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	—	—

4) Ο Meyer ασχολήθηκε κυρίως με την περιοδικότητα των *φυσικών* ιδιοτήτων των στοιχείων (π.χ. των ατομικών όγκων), ενώ ο Mendeleev ασχολήθηκε κυρίως με την περιοδικότητα των *χημικών* ιδιοτήτων τους.

5) Ο Meyer και ο Mendeleev άφησαν **κενά** στους πίνακές τους, για στοιχεία που δεν είχαν βρεθεί ακόμη.

- Ο Meyer ανέφερε ότι: «τα κενά θα συμπληρωθούν είτε με προσεκτικούς επαναπροσδιορισμούς των ατομικών βαρών είτε με ανακάλυψη νέων στοιχείων».
- Ο Mendeleev συνειδητοποίησε ότι ο περιοδικός νόμος είναι φυσικός νόμος (έχει κανονικότητα, καθολικότητα και προβλεπτικότητα) - και όχι μόνο μια βολική ταξινόμηση, και τον χρησιμοποίησε: α) για να **προβλέψει** τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των στοιχείων που θα καταλάμβαναν τα κενά του πίνακά του, β) για να «**διορθώσει**» τα ατομικά βάρη κάποιων στοιχείων.

6) Το **1880** κορυφώθηκε η *διαμάχη* μεταξύ Meyer και Mendeleev (μέσω του περιοδικού της *Γερμανικής Χημικής Εταιρείας* «*Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*») για την προτεραιότητα ως προς τη συνεισφορά τους στην ανακάλυψη και στην ανάπτυξη του περιοδικού πίνακα, με τελική υπεροχή του Mendeleev.

7) Το **1882** οι Meyer και Mendeleev τιμήθηκαν με το *μετάλλιο Davy* από την «*Βασιλική Χημική Εταιρεία*» του Λονδίνου, για την «*έρευνα στην ταξινόμηση των στοιχείων*».¹⁴

2.6.2. Προβλεπτική και διορθωτική ικανότητα του περιοδικού νόμου (Mendeleev)

α) Διορθώσεις ατομικών βαρών ορισμένων στοιχείων

Ο Mendeleev, προκειμένου να διασφαλίσει την *περιοδικότητα* των ιδιοτήτων των στοιχείων (να διατηρήσει τις *χημικές αναλογίες* και τα *σθένη*), όχι μόνο κάνει *αντιστροφές* στις θέσεις κάποιων στοιχείων (παρά τη σχέση των ατομικών βαρών τους), αλλά *αντιτίθεται* στα πειραματικά δεδομένα και «*διορθώνει*» τα **ατομικά βάρη** κάποιων στοιχείων (διορθώνει εμπειρικά δεδομένα με βάση τη θεωρία - χωρίς να κάνει κάποιο νέο πείραμα!), θεωρώντας ότι, *αν το ατομικό βάρος ενός στοιχείου οδηγεί σε λάθος ομάδα του πίνακα, τότε η τιμή του θα είναι λανθασμένη*.

Π.χ. ο Mendeleev διόρθωσε σωστά τα ατομικά βάρη: του βηρυλλίου (Be) από 14 σε 9,4 (9,0), του τιτανίου (Ti) από 52 σε 48 (47,9), του δημητρίου (Ce) από 92 σε 140 (140,1), του ουρανίου (U) από 120 σε 240 (238,0), αλλά διόρθωσε λανθασμένα του τελλουρίου (Te) από 128 σε 125 και αργότερα σε 127 (127,6)¹⁵.

¹⁴ Ο **Newlands** μαθαίνοντας για την απονομή μεταλλίου Davy στους Mendeleev και Meyer, δημοσίευσε το 1884 όλες τις προσπάθειές του σε βιβλίο («*On the Discovery of the Periodic Law, and on relations among the atomic weights*»), θέτοντας και θέμα προτεραιότητας ανακάλυψης του περιοδικού νόμου. Τελικά, η επιμονή του είχε αποτέλεσμα: το 1887 η *Royal Society* τον βράβευσε με το μετάλλιο *Davy*.

¹⁵ Ο B. Brauner (ο οποίος μέχρι το 1890 εύρισκε για το Te ατομικό βάρος 125 – τιμή που βόλευε τον Mendeleev), μετά από προσεκτικό επαναπροσδιορισμό, το 1895, βρήκε ότι το ατομικό βάρος του Te είναι 127,6. Ο Mendeleev θεώρησε, αρχικά, ότι ο Brauner μάλλον είχε εργαστεί με ακάθαρτο τελλούριο, ενώ στη συνέχεια ζητούσε επαναπροσδιορισμό του ατομικού βάρους του ιωδίου. Στον πίνακα του 1906, ο Mendeleev θεωρεί ότι το Te και το I έχουν ίδιο ατομικό βάρος=127.

β) Πρόβλεψη της ύπαρξης «άγνωστων» στοιχείων και των ιδιοτήτων τους και επαλήθευση των προβλέψεων του Mendeleev

Το 1871 ο Mendeleev δημοσίευσε στο περιοδικό της «RCS» άρθρο με θέμα: «Φυσικό σύστημα των στοιχείων και εφαρμογή του για την υπόδειξη των ιδιοτήτων στοιχείων που δεν έχουν ανακαλυφθεί». Το άρθρο αυτό αφορούσε την περιγραφή των ιδιοτήτων για τρία άγνωστα στοιχεία που αντιστοιχούσαν στα τρία κενά του πίνακά του – στις θέσεις κάτω από τα στοιχεία: βόριο, αλουμίνιο και πυρίτιο. Αυτά τα στοιχεία τα ονόμασε (προσωρινά) με χρήση του προθέματος *έκα-* (σανσκριτικά: *ένα*): *εκα-βόριο*, *εκα-αλουμίνιο* και *εκα-πυρίτιο*.

Οι προβλέψεις του Mendeleev επαληθεύτηκαν με τις ανακαλύψεις των στοιχείων αυτών μερικά χρόνια αργότερα¹⁶:

i) Ανακάλυψη Εκα-αλουμινίου (Γάλλιο / Ga)

Το 1875 ο Γάλλος χημικός **Lecoq Boisbaudran** (1838-1912) μελετώντας ένα είδος ορυκτού σφαλερίτη (ZnS), ανακάλυψε φασματοσκοπικά ένα νέο στοιχείο που το ονόμασε **γάλλιο** (προς τιμήν της πατρίδας του - Gallia ή του ίδιου, διότι *lecoq=gallus= κόκορας*).

Ο Boisbaudran εργάστηκε πολύ σκληρά (~20 μήνες, με ~400 kg μεταλλεύματος) για να πάρει ~1g γαλλίου. Με το ποσό αυτό, προσδιόρισε πειραματικά την *πυκνότητα*, το *σ.τ.*, την ένωσή του με οξυγόνο, κ.ά., και δημοσίευσε τα αποτελέσματά του στο περιοδικό «*Comptes Rendus de L' Academie des Sciences*», 81, 1875.¹⁷

Ποια ήταν η έκπληξη του Boisbaudran, όταν πήρε, μέσω της Ακαδημίας Επιστημών του Παρισιού, ένα γράμμα από τη Ρωσία που του γνωστοποιούσε ότι το στοιχείο αυτό είχε προβλεφθεί, είχε ονομασθεί *εκα-αλουμίνιο*, και ότι: «*Στην περιγραφή των ιδιοτήτων του γαλλίου είναι όλα σωστά, εκτός από την πυκνότητά του, που δεν είναι 4,7 αλλά 5,9*».

Ο Boisbaudran επαναπροσδιόρισε την πυκνότητα του γαλλίου, υποβάλλοντας το σε πιο επιμελημένο καθαρισμό, και βρήκε ότι είχε κάνει λάθος – η πυκνότητα του γαλλίου ήταν 5,9! *Μήπως είχε ανακαλύψει το Ga και κάποιος άλλος; Όχι.* Ο συντάκτης της επιστολής δεν ήταν άλλος από τον Mendeleev, ο οποίος χωρίς να έχει δει το γάλλιο, είχε δίκιο¹⁸. Ο θεωρητικός, δηλαδή, είχε «δει» τις ιδιότητες ενός στοιχείου, σαφέστερα από τον χημικό που το είχε ανακαλύψει εμπειρικά.

¹⁶ Από το 1871 μέχρι το 1875 δεν ανακαλύφθηκε κανένα νέο στοιχείο που ενδεχομένως θα επιβεβαίωνε ή θα διέψευδε τις προβλέψεις του Mendeleev.

¹⁷ «*Caracteres Chimiques et Spectroscopiques d' un Nouveau Metal, le Gallium, Decouvert Dans un Blende de la Mine de Pierrefitte, Valee d'Argeles (Pyrenees)*».

¹⁸ Μετά από αυτό, ο Boisbaudran έστειλε φωτογραφία του στον Mendeleev με την υποσημείωση: «*Με βαθύ σεβασμό και ένθερμη επιθυμία να μετράω τον Mendeleev ανάμεσα στους φίλους μου*». Ο Mendeleev έγραψε κάτω από αυτό: «*Lecoq de Boisbaudran, ανακάλυψε το εκα-αλουμίνιο το 1875 και το ονόμασε γάλλιο*». Το **Ga** μπήκε στην **3η έκδ.** του βιβλίου του Mendeleev «*Osnovy khimii*» το **1877**.

	Εκα-αλουμίνιο (Προβλέψεις Mendeleev το 1871)	Γάλλιο (Ανακαλύφθηκε το 1875)
Ατομικό βάρος	68	69,9
Πυκνότητα	5,9	5,94
Σημείο τήξης	Χαμηλό	30,15° C
Χημική συμπεριφορά	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν θα προσβάλλεται από τον αέρα, • Θα διασπά τους υδρατμούς σε υψηλή θερμοκρασία, • Θα διαλύεται αργά σε οξέα και αλκάλια 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν προσβάλλεται από τον αέρα, • Διασπά τους υδρατμούς σε υψηλή θερμοκρασία, • Διαλύεται αργά σε οξέα και αλκάλια
Τύπος οξειδίου	Ea_2O_3	Ga_2O_3
Ιδιότητες οξειδίου	Πρέπει να διαλύεται σε οξέα και να σχηματίζει άλατα του τύπου EaX_3	Διαλύεται σε οξέα και σχηματίζει άλατα του τύπου GaX_3

ii) Ανακάλυψη Εκα-βορίου (Σκάνδιο / Sc)

Το **1879**, ο Σουηδός χημικός **Lars Nilson** (1840-1899) ανακάλυψε ένα νέο στοιχείο, το οποίο ονόμασε **σκάνδιο**, και δημοσίευσε άρθρο με τίτλο «*Σκάνδιο, ένα σπάνιο μέταλλο*», αλλά με λανθασμένα αποτελέσματα γι' αυτό: α) θεώρησε ότι είναι τετρασθενές στοιχείο και άρα το οξείδιό του θα έχει χημικό τύπο ScO_2 , β) πρότεινε ότι θα πρέπει να τοποθετηθεί στον περιοδικό πίνακα μεταξύ Sn και Th, γ) έδωσε περιοχή ατομικού βάρους μεταξύ: 160-180.

Ο Σουηδός χημικός **P. Gleve** (1840-1905) μελέτησε επί πέντε (5) μήνες το Sc (είχε ήδη ανακαλύψει τα στοιχεία Ho και Tm) και έδειξε ότι είναι τρισθενές (οπότε το οξείδιό του θα έχει χημικό τύπο Sc_2O_3), και ότι δεν ήταν άλλο από το εκα-βόριο με ατομικό βάρος 44, που είχε προβλέψει ο Mendeleev¹⁹. Ο Gleve ενημέρωσε με επιστολή τον Mendeleev, στην οποία έγραφε: «*Έχω την τιμή να σας ενημερώσω ότι το στοιχείο σας εκα-βόριο έχει βρεθεί. Είναι το σκάνδιο που ανακαλύφθηκε από τον Nilson*»²⁰.

iii) Ανακάλυψη Εκα-πυριτίου (Γερμάνιο / Ge)

Το **1885**, ο Γερμανός χημικός **Clemens Winkler** (1838-1904) αναλύοντας το ορυκτό *αργυροδίτης*, απομόνωσε ένα νέο στοιχείο το οποίο ονόμασε **γερμάνιο**.

Το γερμάνιο, τελικά, βρέθηκε ότι δεν ήταν άλλο από το εκα-πυρίτιο που είχε προβλέψει ο Mendeleev. Ο Winkler, σε διάφορες εργασίες και διαλέξεις του, επαίνεσε τον Mendeleev για τις επιτυχείς προβλέψεις του με βάση τον περιοδικό νόμο, και ο Mendeleev, με τη σειρά του, επαίνεσε τον Winkler ως «επαληθευτή» του συστήματός του²¹.

¹⁹ Τελευταία επιβεβαιώθηκε η πυκνότητα του σκανδίου το 1937 από τον γερμανό χημικό W. Fischer, ο οποίος την προσδιόρισε σε $3,0 \text{ g/cm}^3$ (δηλαδή, ακριβώς όσο είχε προβλέψει ο Mendeleev).

²⁰ Το **Sc** μπήκε στην **4η** έκδ. του βιβλίου του Mendeleev «*Osnovy khimii*» το **1881**.

²¹ Το **Ge** μπήκε στην **5η** έκδ. του βιβλίου του Mendeleev: *Osnovy khimii* (**1889**)

	Εκα-πυρίτιο (προβλέψεις Mendeleev το 1871)	Γερμάνιο (ανακαλύφθηκε το 1885)
Ατομικό βάρος	72	72,32
Πυκνότητα	5,5	5,47
Σθένος	4	4
Τύπος οξειδίου	EsO ₂	GeO ₂
Πυκνότητα οξειδίου	4,7	4,70
Τύπος χλωριδίου	EsCl ₄	GeCl ₄
Πυκνότητα χλωριδίου	1,9	1,89

Μετά από αυτές τις ανακαλύψεις που επιβεβαίωναν τις προβλέψεις του Mendeleev, ο περιοδικός πίνακας άρχισε να γίνεται αποδεκτός - αναγνωρίστηκε η σημασία του τόσο ως προς τη συστηματοποίηση της χημείας όσο και ως προς την βοήθειά του για την ανακάλυψη νέων στοιχείων, και έκτοτε αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο του οικοδομήματος της Χημείας και όχι μόνο.

2.6.3. Λάθη και ατοπήματα του Mendeleev

α) Λανθασμένες προβλέψεις

Ο Mendeleev, εκτός από τις σωστές προβλέψεις, έκανε και κάποιες λανθασμένες:

Σωστές προβλέψεις			Λανθασμένες προβλέψεις (τα στοιχεία δεν βρέθηκαν)	
Πρόβλεψη Mendeleev	Προβλεπό- μενη τιμή Ar	Σωστή τιμή Ar	Πρόβλεψη Mendeleev	Προβλεπόμενη τιμή Ar
▪ εκα-βόριο (σκάνδιο)	44	44,6	κορόνιο	0,4
▪ εκα-αλουμίνιο (γάλλιο)	68	69,2	αιθέρας	0,17
▪ εκα-πυρίτιο (γερμάνιο)	72	72,0	εκα-δημήτριο	54
▪ εκα-μαγγάνιο (τεχνητό, 1939)	100	99	εκα-μολυβδαίνιο	140
▪ τρι-μαγγάνιο (ρήνιο, 1925)	190	186	εκα-νιόβιο	146
▪ ντβι-τελλούριο (πολόνιο, 1898)	212	210	εκα-κάδμιο	155
▪ ντβι-καίσιο (φράνκιο, 1939)	220	223	εκα-ιώδιο	170
▪ εκα-ταντάλιο (πρωτακτίνο, 1917)	235	231	εκα-καίσιο	175

β) Ανακάλυψη των ευγενών αερίων - Ο περιοδικός νόμος μπαίνει σε δοκιμασία

Ο Άγγλος φυσικός **John Strutt**, λόρδος του **Rayleigh** (1842-1919) και ο χημικός **William Ramsay** (1852-1916) απομόνωσαν το 1895 ένα νέο αέριο και διαπίστωσαν πειραματικά ότι δεν ενωνόταν με άλλα στοιχεία, δηλαδή ήταν αδρανές (το ονόμασαν **αργό** = «οκνηρό», από τα ελληνικά). Ο Ramsay το 1895 εντόπισε και κάποιο άλλο αέριο στον αέρα, το **ήλιο**, ενώ το 1898 ανακάλυψε τα στοιχεία Kr, Ne και Xe.

Το ερώτημα που δημιουργήθηκε ήταν πού θα τοποθετηθούν τα νέα αυτά στοιχεία, διότι ο Mendeleev δεν είχε προβλέψει την ύπαρξή τους, και μάλιστα φαινόταν ότι στον πίνακα του όλες οι ομάδες ήταν τοποθετημένες με λογική σειρά - δεν υπήρχε χώρος για νέες ομάδες στοιχείων.

Ο Ramsay πρότεινε τα στοιχεία αυτά να αποτελέσουν μια νέα ομάδα, την ομάδα μηδέν (επειδή ως αδρανή έχουν σθένος μηδέν), και να τοποθετηθούν αριστερά στον Περιοδικό Πίνακα, πριν από την ομάδα των αλκαλιμετάλλων.

Ο Mendeleev σε πρώτη φάση αντέδρασε. Όμως, το 1900 αποδέχτηκε τη νέα ομάδα των ευγενών αερίων (την ενσωμάτωσε στον πίνακα της 7^{ης} έκδ. του βιβλίου του, το 1902), και κατέταξε τον Ramsay στους «ενισχυτές» του περιοδικού νόμου, γράφοντας: «Η τοποθέτηση των ευγενών αερίων στον πίνακα, αποτελεί μια λαμπρή επιβεβαίωση της γενικής εφαρμογής και εγκυρότητας του περιοδικού νόμου».

γ) Ραδιενέργεια

Ο Mendeleev, πληροφορείται για την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου (από τον J.J.Thomson, 1897) και της ραδιενέργειας (από τον P. Curie, 1898) και διαφωνεί - αντιδρά. Δεν πιστεύει καθόλου στην μεταστοιχείωση (θεωρεί ότι η ανακάλυψη αυτή καταστρέφει τα θεμέλια του περιοδικού νόμου). Τα «δικά του» άτομα είναι αναλλοίωτα και το καθένα από αυτά κατέχει μια ορισμένη θέση στον πίνακα «του» (το 1898, σε άρθρο του, αμφισβητεί τη ραδιενέργεια).

Περιοδικός Πίνακας που μπήκε στην 8η έκδοση (1906) του βιβλίου «Αρχές Χημείας» (τελευταία έκδοση στη ζωή του Mendeleev).

Периодическая система элементов по группам и рядамъ.

Рядъ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ:											
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	—	Водородъ H 1,008	—	—	—	—	—	—	—			
2	Гелий. He 4,0	Литій. Li 7,03	Берил- лій. Be 9,1	Боръ. B 11,0	Угле- родъ. C 12,0	Азотъ. N 14,01	Кисло- родъ. O 16,00	Фторъ. F 19,0	—			
3	Неонъ. Ne 19,9	На- трий. Na 23,05	Маг- нiй. Mg 24,36	Алю- минiй. Al 27,1	Крем- нiй. Si 28,2	Фос- форъ. P 31,0	Сѣра. S 32,06	Хлоръ. Cl 35,46	—			
4	Аргонъ. Ar 38	Кал- цiй. Ca 40,1	Скандi- дiй. Sc 44,1	Титанъ. Ti 48,1	Вана- дiй. V 51,2	Хромъ. Cr 52,1	Манганъ. Mn 55,0	Желе- зо. Fe 55,9	Кобальтъ. Co 59	Никкелъ. Ni 59	(Cu)	
5	—	Медъ. Cu 63,6	Цинкъ. Zn 65,4	Галiй. Ga 70,0	Гер- манiй. Ge 72,5	Мышь- екъ. As 75	Селенъ. Se 79,2	Бромъ. Br 79,95	—	—	—	
6	Крип- тонъ. Kr 81,8	Рубi- дiй. Rb 85,5	Строн- цiй. Sr 87,6	Ит- трий. Y 89,0	Цир- конiй. Zr 90,6	Нiо- бiй. Nb 94,0	Молиб- денъ. Mo 96,0	—	Рутенiй. Ru 101,7	Роди- дiй. Rh 103,0	Пал- ладiй. Pd 106,5	(Ag)
7	—	Сере- бро. Ag 107,93	Кад- мiй. Cd 112,4	Индi- дiй. In 115,0	Оло- во. Sn 119,0	Сурь- ма. Sb 120,2	Тел- луръ. Te 127	Йодъ. J 127	—	—	—	—
8	Ксе- нонъ. Xe 128	Цезi- й. Cs 132,9	Барi- й. Ba 137,4	Лан- танъ. La 138,9	Церi- й. Ce 140,2	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	Иттер- бiй. Yb 173	—	Та- нталъ. Ta 183	Вольф- рамъ. W 184	—	Ос- мiй. Os 191	Ири- дiй. Ir 193	Платi- на. Pt 194,8	(Au)
11	—	Зло- то. Au 197,2	Ртуть. Hg 200,0	Талий. Tl 204,1	Свин- ецъ. Pb 206,9	Вис- мутъ. Bi 208,5	—	—	—	—	—	—
12	—	—	Радiй. Rd 225	—	Торий. Th 232,5	—	Уранъ. U 238,5	—	—	—	—	—

ВЪШШЕ СОСЛОВИЯЩЕ ОКСИДЪ:
R R⁰ RO | R²O³ | RO² | R²O⁵ | RO³ | R²O⁷ | RO⁴

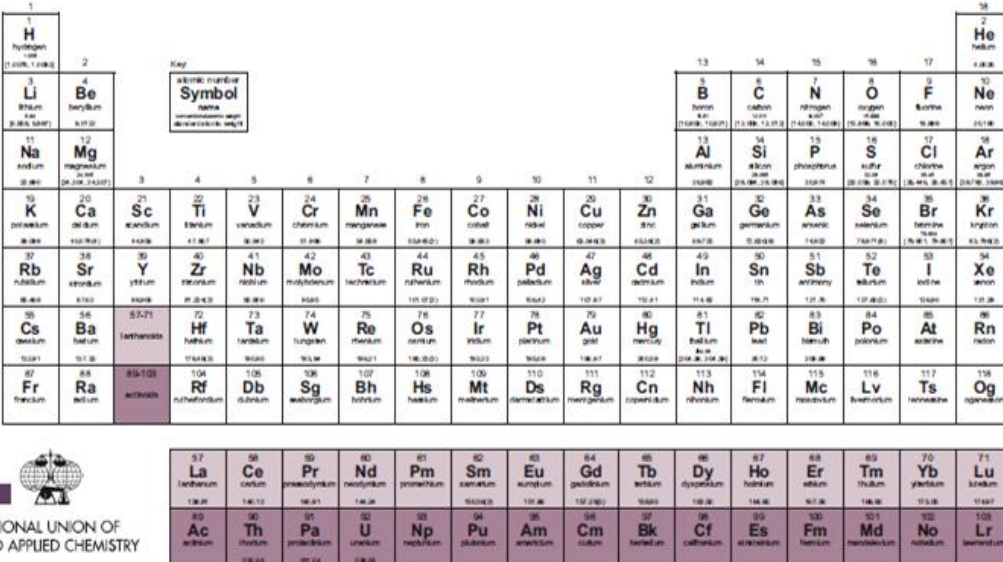
ВЪШШЕ ГАЗООБРАЗНЪ ОДОРОДНЪ СОСЛОВИЯЩЕ:
| | RH⁴ | RH³ | RH² | RH |

Д. Менделѣевъ.
1869 — 1906.

3. Βελτίωση του Περιοδικού νόμου – πίνακα (μισό αιώνα μετά την ανακάλυψή του από τον Mendeleev)

Το 1913 ο Άγγλος φυσικός **Henry Moseley** (1887-1915) μελέτησε τα φάσματα 12 στοιχείων και κατέληξε στο ότι: «οι χημικές ιδιότητες των στοιχείων είναι περιοδική συνάρτηση του ατομικού αριθμού τους».

Σύγχρονη μορφή περιοδικού πίνακα (2018)



The image shows the modern periodic table of elements as of 2018. It is organized into 7 periods and 18 groups. The elements are color-coded by groups: Group 1 (purple), Group 2 (orange), Groups 3-10 (various shades of blue and green), Group 11 (yellow), Group 12 (light blue), Groups 13-18 (various shades of green and yellow). A key indicates that the symbol in the top right of each element box represents the element's symbol. The logo of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) is visible in the bottom left corner.

4. Mendeleev: Επιστημονική και κοινωνική δράση

4.1. Οι σπουδές του Mendeleev

Ο Mendeleev σπούδασε στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο της Πετρούπολης (1850-1855). Είχε την τύχη να έχει εκεί έναν εξαιρετικό δάσκαλο χημείας, τον Aleksandr Voskresensky²², αλλά και φυσικό τον E.H. Lentz, βιολόγο τον F.F. Brandt και μαθηματικό τον M.V. Ostrogradskii.

Το 1859 ο Mendeleev εξασφάλισε 22-μηνη υποτροφία για μεταπτυχιακές σπουδές (1859-1861) και πήγε στο Παρίσι όπου μαθήτευσε αρχικά στον Henri Regnault, έναν από τους μεγαλύτερους πειραματιστές της εποχής. Στη συνέχεια πήγε στη Χαϊδελβέργη να εργαστεί υπό την καθοδήγηση του Bunsen, με τον οποίο όμως, ήρθε σύντομα σε ρήξη και εγκατέλειψε το εργαστήριο του Πανεπιστημίου, διότι δεν ήταν ευχαριστημένος, όπως έγραψε στο φίλο του L. Shishkov, στις 2 Δεκ. 1859:

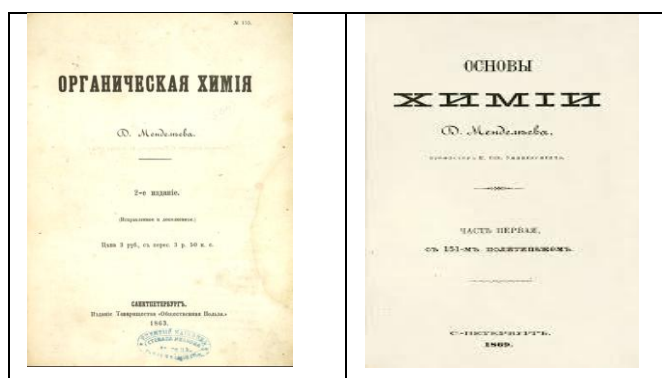
²² A. Voskresensky (1808-1880): Ρώσος χημικός, γνωστός ως ο «παππούς της ρώσικης χημείας». Έκανε μεταπτυχιακές σπουδές στη Γερμανία, όπου παρακολούθησε μαθήματα των Mitscherlich, Rose και Liebig (ο Liebig θεωρούσε τον Voskresensky ως έναν από τους πιο ταλαντούχους μαθητές του). Το 1839 πήρε το διδακτορικό του υπό την εποπτεία του Hess. Το 1843 έγινε καθηγητής στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο και στο Πανεπιστήμιο της Πετρούπολης. Τα τελευταία χρόνια του ασχολήθηκε με την βελτίωση της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

«Δεν μπορούσα να δουλέψω εκεί. Οι αναθυμιάσεις από τις θειούχες ενώσεις με τις οποίες εργαζόταν ο Carius στο εργαστήριο, μου προκαλούσαν πόνους στο κεφάλι και στο στήθος Δεν έβλεπα τίποτα απαραίτητο σε αυτό το εργαστήριο, και, κυρίως, δεν υπάρχει καθαρή και ήσυχη γωνία όπου θα μπορούσε κανείς να κάνει ... λεπτά πειράματα Όλα τα ενδιαφέροντα σε αυτό το εργαστήριο είναι, δυστυχώς, αρκετά σχολικά: πολλοί από τους συναδέλφους είναι αρχάριοι. Αποφάσισα να οργανώσω τα πάντα στο σπίτι μου».

4.2. Η συγγραφή βιβλίων Χημείας από τον Mendeleev

Τον Φεβρουάριο του 1861 ο Mendeleev επιστρέφει στην Πετρούπολη και αρχίζει να γράφει εγχειρίδιο **Οργανικής Χημείας** (ολοκλήρωσε το χειρόγραφο σε 4 μήνες). Αυτό το βιβλίο (500 σελίδων) ήταν το πρώτο εγχειρίδιο ρωσικής Οργανικής Χημείας (η 1^η έκδ. εξαντλήθηκε γρήγορα και το επόμενο έτος κυκλοφόρησε η 2^η έκδοση)²³.

Το 1868 άρχισε να γράφει για τους φοιτητές του διδακτικό βιβλίο με τίτλο: «**Αρχές Χημείας**». Η συγγραφή του βιβλίου αυτού διήρκεσε 2 χρόνια.



4.3. Ο πανεπιστημιακός Δάσκαλος Mendeleev

Μεταξύ των φοιτητών του Mendeleev ήταν ο μετέπειτα αναρχικός πρίγκιπας Κροπότκιν, σύμφωνα με τις αναμνήσεις του οποίου:

«Η αίθουσα ήταν πάντα κατάμεστη από 200 περίπου φοιτητές... . Το μάθημα του Mendeleev ήταν ένα ισχυρό διεγερτικό των νοητικών μας λειτουργιών και ένα μάθημα πάνω στην επιστημονική σκέψη, που έχει αφήσει βαθιά ίχνη στην εξέλιξή μας, ..».

4.4. Η κοινωνική δράση του Mendeleev

Ο Mendeleev ήταν προοδευτικός κοινωνικός παράγοντας της εποχής του, και αγωνίστηκε με ζήλο για:

- α) την εξάπλωση της παιδείας,
- β) τη μόρφωση των γυναικών,
- γ) την υποστήριξη του φοιτητικού κινήματος που στόχευε στη βελτίωση των συνθηκών της ζωής των φοιτητών και των σπουδών τους,

²³ Το 1862 ο Mendeleev πήρε το «βραβείο Demidov» από την Ακαδημία Επιστημών της Πετρούπολης για το βιβλίο αυτό της Οργανικής.

δ) την ανάπτυξη των παραγωγικών δυνάμεων της Ρωσίας (εκμετάλλευση ορυκτών της Σιβηρίας, ανάπτυξη γαλακτοκομικών βιομηχανιών, εφαρμογή επιστημονικής γεωργίας, βελτίωση παραγωγής πετρελαίου²⁴, κ.ά.).

4.5. Ο ερωτευμένος και δίδυμος Mendeleev

Ο Mendeleev το 1876 (43 ετών) ερωτεύτηκε μια φοιτήτρια (19 ετών) της σχολής καλών τεχνών, την Anna Popova. Οι γονείς της φοιτήτριας την έστειλαν στη Ρώμη με πρόσχημα τις σπουδές της, αλλά ο Mendeleev την ακολούθησε, και την έπεισε να τον παντρευτεί.

Όμως, ο Mendeleev απαγορευόταν να παντρευτεί, διότι ναι μεν πήρε διαζύγιο το 1881 από τον πρώτο του γάμο (είχε παντρευτεί το 1862 με την Feozna Leshchenaya), αλλά με βάση τον ρωσικό νόμο έπρεπε να περάσουν 7 χρόνια, μετά το διαζύγιο, για να παντρευτεί.

Τι έκανε; «Λάδωσε» με πολλά χρήματα κάποιον ιερέα Kutnevich, ο οποίος έκανε μεν το γάμο (1882), αλλά απολύθηκε αμέσως μόλις μαθεύτηκε η παρανομία του²⁵.

4.6. Ο Μεντελέγιεβ και η εξουσία

Ο υπουργός εθνικού διαφωτισμού-Παιδείας Dmitry Tolstoy (1866-1880) ήθελε να κάνει μεταρρυθμίσεις (1871) στην εκπαίδευση και διόρισε τον Medeleev μέλος μιας επιτροπής για αναμόρφωση των σχολικών προγραμμάτων. Ο υπουργός ήθελε να μειωθούν οι ώρες διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στα γυμνάσια, προς όφελος των κλασικών σπουδών (Λατινικών και Αρχαίων ελληνικών). Ο Mendeleev αντέδρασε έντονα και ήρθε σε ρήξη με τον Tolstoy, ο οποίος αργότερα τον εκδικήθηκε γι' αυτό, εμποδίζοντας την εκλογή του στην Ακαδημία Επιστημών!

Το **1890**, σε μια από τις εξεγέρσεις των φοιτητών (στις οποίες ο Medeleev έπαιρνε συνήθως το μέρος τους) προσφέρθηκε να μεταφέρει τα αιτήματά τους στον υπουργό Παιδείας. Ο υπερσυντηρητικός υπουργός Παιδείας Ivan Delyanov (1882-1897 και 1905-1906) αρνήθηκε να δεχτεί τον Mendeleev και τα αιτήματα των φοιτητών, με προτροπή του προς αυτόν «*να ασχολείται μόνο με τη διδασκαλία και να μην ανακατεύεται με τους φοιτητές και την πολιτική*». Μετά από αυτή την προσβλητική απάντηση του υπουργού, ο Mendeleev παραιτήθηκε από το Πανεπιστήμιο (1890), όπου δίδαξε για περισσότερα από 30 χρόνια.

Στις 3 Απριλίου 1890 ο Mendeleev έδωσε την τελευταία του διάλεξη στους φοιτητές, στο μάθημα γενικής χημείας.

4.7. Ο Mendeleev και η Ακαδημία Επιστημών

Το 1880 προκηρύχθηκε η έδρα χημικής τεχνολογίας στην Ακαδημία Επιστημών. Ο Mendeleev ήταν ο επικρατέστερος υποψήφιος, αλλά λόγω των δημοκρατικών του τάσεων, τα αντιδραστικά μέλη του τμήματος φυσικής και μαθηματικών (με τη βοήθεια και του υπουργού Tolstoy!) προώθησαν τον Beilstein, ο οποίος πήρε την έδρα με ψήφους 10-9.

²⁴ Στο βιβλίο του «*Παραγωγή πετρελαίου στην Πενσυλβάνια και στον Καύκασο*», ήταν επικριτικός για την τσαρική κυβέρνηση, διότι δεν έδινε κατάλληλα κίνητρα για βιομηχανική ανάπτυξη.

²⁵ Λέγεται ότι, όταν «κάρφωσαν» τον Mendeleev στον τσάρο ως δίδυμο, ο τσάρος είπε: «*Μπορεί ο Mendeleev να έχει δύο γυναίκες, αλλά εγώ έχω έναν Mendeleev*».

Η επιστημονική κοινότητα διαμαρτυρήθηκε έντονα κατά της απόφασης της Ακαδημίας Επιστημών της Ρωσίας, και πολλά ξένα ιδρύματα και επιστημονικές εταιρείες ανακήρυξαν τον Mendeleev πλήρες ή επίτιμο μέλος.

4.8. Ο Mendeleev διευθυντής του γραφείου μέτρων και σταθμών της Ρωσίας

Ο Mendeleev, από το 1893 μέχρι τον θάνατό του, διετέλεσε διευθυντής του γραφείου μέτρων και σταθμών. Του ανατέθηκε η βελτίωση και τυποποίηση του ρωσικού συστήματος μέτρων και σταθμών και η εφαρμογή του.

4.9. Ο Mendeleev και το βραβείο Nobel

Το Νόμπελ Χημείας δόθηκε το 1904 στον Ramsay (για την ανακάλυψη των ευγενών αερίων) και το 1905 στον Bayer²⁶ (για τις οργανικές βαφές και τις υδραρωματικές ενώσεις).

Το 1906, η Επιτροπή Νόμπελ Χημείας πρότεινε στη Σουηδική Ακαδημία τον Mendeleev (με ψήφους 4:1, έναντι του Moissan), για την ανακάλυψη του περιοδικού νόμου²⁷.

Στη συνέχεια, η Σουηδική Ακαδημία έπρεπε να εγκρίνει την επιλογή της επιτροπής. Απροσδόκητα, στην ολομέλεια της Ακαδημίας, ο Σουηδός χημικός Johan Clason (1848-1937) διαφώνησε και πρότεινε την υποψηφιότητα του Henri Moissan (για την απομόνωση του φθορίου), διότι όπως είπε *«δεν θα μπορούσε να γίνει η ανακάλυψη του περιοδικού πίνακα, χωρίς τα ακριβή ατομικά βάρη του Cannizzaro»*, και άρα μαζί με τον Mendeleev θα έπρεπε να βραβευτεί και ο Cannizzaro. Όμως, ο Cannizzaro δεν ήταν μεταξύ των υποψηφίων το 1906 (βάσει του κανονισμού, μπορούσαν να εξεταστούν μόνο οι υποψηφιότητες που είχαν υποβληθεί μέχρι 31 Ιανουαρίου).

Στα βραβεία Νόμπελ Φυσικών Επιστημών, σύμφωνα με τους κανονισμούς, έπρεπε να συμμετέχουν οι εκπρόσωποι και των δύο επιτροπών: Χημείας και Φυσικής. Εκπρόσωπος της επιτροπής Νόμπελ Φυσικής ήταν ο Σουηδός φυσικο-χημικός Svante Arrhenius (1859-1927), ο οποίος είχε μεγάλη επιρροή στην Ακαδημία. Ο Arrhenius πρότεινε την απόρριψη του Mendeleev, υποστηρίζοντας ότι ο 37-ετής «περιοδικός πίνακας» ήταν πολύ παλιός για να αναγνωρισθεί η ανακάλυψή του το 1906²⁸, και τελικά, η Ακαδημία ψήφισε τον Moissan.

Το 1907, οι Mendeleev και Cannizzaro ήταν μεταξύ των υποψηφίων για το Νόμπελ. Όμως, στις 31 Ιανουαρίου **1907**, ο Mendeleev πέθανε.

²⁶ Συνυποψήφιοι ήταν και οι Mendeleev και Moissan.

²⁷ Το **1906** η Σουηδική Ακαδημία κάλεσε τον **Α. Χρηστομόνο** (καθηγητή Γενικής Χημείας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών) να υποβάλλει υποψηφιότητα για το βραβείο Νόμπελ Χημείας (πρακτικά ΦΜΣ). Όμως, τη χρονιά εκείνη ο Χρηστομόνος πέθανε.

²⁸ Ο Arrhenius, σύμφωνα με κάποιους σύγχρονους, υποκινήθηκε από μνησικακία, διότι ο Mendeleev δεν είχε αποδεχτεί ποτέ τη θεωρία του για την *«ηλεκτρολυτική διάσταση»*.

Αντί επιλόγου

Με την ανακάλυψη του περιοδικού νόμου από τον Mendeleev, η Χημεία των σκόρπιων και ασύνδετων χημικών ουσιών, μετατρέπεται σε ένα ενιαίο οικοδόμημα που ένωσε σε ένα ενιαίο σύνολο, με τάξη, όλα τα στοιχεία.

Η υπόθεση του Mendeleev σχετικά με το πώς μπορούν να οργανωθούν οι γνωστές «χημικές» πληροφορίες, πέρασε όλες τις δοκιμές: Ο περιοδικός πίνακας όχι μόνο ταξινόμησε-οργάνωσε τα δεδομένα με χρήσιμο και συνεκτικό τρόπο για να εξηγήσει γνωστά χημικά φαινόμενα, αλλά αποτέλεσε και ένα *ενοσιολογικό εργαλείο* που οδήγησε σε αρκετές αξιολογες προβλέψεις (οι οποίες αργότερα βρέθηκαν ακριβείς), καθώς και σε *διορθώσεις* κάποιων λανθασμένων ατομικών βαρών. Ο Mendeleev δηλαδή, άνοιξε το δρόμο στη σύγχρονη και στη μελλοντική χημεία, δείχνοντας το σωστό-λογικό (rational) δρόμο για την ανακάλυψη νέων στοιχείων. Οι επιστήμονες, στηριγμένοι στον περιοδικό νόμο, πρόβλεψαν την ύπαρξη άγνωστων στοιχείων και περιέγραψαν τις ιδιότητές τους. Τα άγνωστα αυτά στοιχεία, οι ιδιότητές τους και οι ιδιότητες των ενώσεών τους, καθώς και οι νόμοι συμπεριφοράς τους στη φύση – όλα βρέθηκαν, όλα επιβεβαιώθηκαν.

Ο περιοδικός νόμος είχε επίσης μεγάλη επίδραση στην *πρόοδο* της έρευνας πάνω στην ηλεκτρονιακή δομή του ατόμου (κβαντομηχανική) και στη φύση της ύλης. Μετά την ανακάλυψη του περιοδικού νόμου, ξεκαθαρίστηκε ότι: α) τα άτομα όλων των στοιχείων είναι δομημένα με ενιαίο τρόπο, β) η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων μπορεί να είναι μόνο αυτή, που καθορίζεται από την περιοδικότητα των χημικών ιδιοτήτων τους.

Τέλος, ο *ρόλος* και η *σημασία* του έργου του Mendeleev δεν περιορίζεται μόνο στον τομέα της *Χημείας* και της *Φυσικής*. Ο περιοδικός νόμος χρειάζεται στους *βιολόγους* που ερευνούν τα φαινόμενα της ζωής, στους *γεωλόγους* που διεισδύουν στα βάθη της γήινης σφαίρας, στους *αστρονόμους* που ανακαλύπτουν τα μυστικά της δημιουργίας του κόσμου, ...

(Petryanov & Trifonov ELEMENTARY ORDER: Mendeleev's Periodic System, 1984).



Ο Mendeleev στο γραφείο του (1904)

Βιβλιογραφία (επιλεγμένη)

- Asimov I. (1965). *A short history of chemistry* (Heineman)
- Brock, W. (1992). *The fontana history of chemistry*, London: Fontana Press.
- Cannizzaro S. (1858). *Sunto di un corso di filosofia chimica*.
- Dalton J. (1808). *A new system of chemical philosophy*. London, UK: Bickerstaff.
- Ede A. (2006). *The Chemical Element, A Historical Perspective*.
- Gordin M. (2004). *A well-ordered thing, Dimitri Mendeleev and the shadow of the periodic table*. Cambridge: Basic Books.
- Holmyard E. (1931). *Makers of chemistry* (Oxford Press)
- Hudson J. (1992). *The history of chemistry* (MacMillan)
- Jaffe B. (1976). *Crusibles, The story of chemistry* (Dover)
- Jensen W. (2002). *Mendeleev on the Periodic Law, selected writings, 1869-1905*. Dover
- Leicester H. (1956). *The historical background of chemistry* (Dover)
- Kaji M., Kragh H., Palló G. (2015). *Early Responses to the Periodic System*. Oxford University press
- Mendeléeff D. (1905). *The principles of chemistry*, ed. Thomas A. Pope, 3rd English ed., two vols. Longmans.
- Meyer L. (1864). *Modernen Theorien der Chemie*. Breslau
- Moore F. (1939). *A history of chemistry* (McGraw-Hill)
- Morris R. (2003). *Last Sorcerers Path from Alchemy to the Periodic Table*. Joseph Henry Press
- Partington, J.R. (1957). *A short history of chemistry*, 3rd ed., Dover Publications.
- Partington, J.R. (1962). *A history of chemistry*, vol. III, IV. London: Macmillan.
- Petryanov I. - Trifonov D. (1984). *Elementary order: Mendeleev's Periodic System* (Mir Moscow)
- Scerri E. (2007). *The periodic table, its story and its significance*. NY: Oxford University Press.
- Scerri E. (2009). *Selected Papers on the Periodic Table*. Imperial University Press
- Scerri E. (2013). *A tale of seven elements*. NY: Oxford University Press.
- Scerri E. (2018). *Mendeleev to Oganesson, A Multidisciplinary Perspective on the Periodic Table*. Oxford University Press
- Stengers I., Bensaude-Vincent B. (1999). *Ιστορία της Χημείας* (Τραυλός)
- Strathern P. (2000). *Mendeleev's Dream, The Quest for the Elements*. Penguin Books.
- Trifonov D.N., Trifonov V D. 1985). *Chemical Elements - How they were Discovered*. Mir Moscow
- Van Spronsen J. (1969). *The periodic system of the chemical elements, the history of the first hundred years*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Weeks, M. (1956). *Discovery of the elements*, 6th ed. JCE.