

## Εισαγωγή

Υπάρχουν πολλές ουσίες, και μπορούν να αλληλεπιδράσουν με πολλούς τρόπους μεταξύ τους. Ωστόσο, ακόμα και κατά την περίοδο που επικρατούσε η Αλχημεία ήταν διάχυτη η πεποίθηση ότι οι ουσίες μπορούσαν να ταξινομηθούν. Παρόλα αυτά η έννοια (η αντίληψη που υπήρχε για) των στοιχείων ήταν εντελώς διαφορετική: τα τέσσερα στοιχεία Νερό, Φωτιά, Γη και Αέρας είχαν περιγραφεί από τον Αριστοτέλη ο οποίος βασιζόταν στο έργο του Εμπεδοκλή. Ωστόσο τα στοιχεία αυτά έφεραν ιδιότητες, σε αντίθεση με τα στοιχεία όπως τα αντιλαμβανόμαστε εμείς σήμερα. Με άλλα λόγια, η χημική ουσία Νερό δεν είναι ταυτόσημη με την αρχαία στοιχειακή αρχή «Νερό», καθώς η ουσία Νερό μπορεί να γίνει στερεή (και κατά συνέπεια να αποκτήσει ιδιότητες της αρχής «Γη» ή να μετατραπεί σε μορφή αερίου, αποκτώντας κατ' αυτόν τον τρόπο τις ιδιότητες του στοιχείου «Αέρας» (δες π.χ Piesner, 2011).

Στοιχειακή ιδιότητα	Ψυχρή	Θερμή
Ξηρή	Γη	Φωτιά
Υγρή	Νερό	Αέρας

Συνεπώς, στο παρελθόν υπήρχε η έννοια των στοιχείων αλλά όχι έτσι όπως την χρησιμοποιούμε εμείς σήμερα. Ωστόσο, υπήρχε μια άλλη ιδέα που μπορεί να θεωρηθεί σχετική με την εννοιολογική ανάπτυξη της χημείας όπως αυτή αποκρυσταλλώνεται στον Περιοδικό Πίνακα: Η ιδέα της ταξινόμησης των χημικών ουσιών: Σύμφωνα με την Αριστοτέλεια αντίληψη, ο χρυσός ήταν το πλέον «καθαρό» απ' όλα τα μέταλλα. Ωστόσο ο χρυσός μπορούσε να υποβαθμιστεί και να μετατραπεί σε λιγότερο «καθαρές» ουσίες (Αυτή είναι και η βάση της ιδέας της «μεταστοιχείωσης» την οποία προσπάθησαν να εφαρμόσουν οι αλχημιστές με σκοπό να εξευγενίσουν τα μέταλλα και στο τέλος να τα μετατρέψουν σε χρυσό). Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η αλχημεία αποτελεί τη θεμελιώδη βάση της χημείας, ειδικά σε επίπεδο διαδικασιών. Οι αλχημιστές στόχευαν στη σύνθεση και το διαχωρισμό υλικών, έτσι ώστε στο τέλος με τον ανασυνδυασμό πρωταρχικών στοιχείων να συνθέσουν νέα υλικά και πιθανά χρυσό.

Συνεπώς η ανάπτυξη προς τον περιοδικό πίνακα μπορεί να αναγνωριστεί μόνο όταν αυτή η αντίληψη περί μεταστοιχείωσης ξεπεράστηκε και αντικαταστάθηκε από την αντίληψη ότι υπάρχουν κάποιες απλές ουσίες που δεν μπορούν να διαχωρισθούν μέσω οποιασδήποτε διαδικασίας σε άλλες απλούστερες και αυτές αποτελούν τη βάση σύνθετων ουσιών. Πιθανά ο πρώτος που εξέφρασε αυτή την αντίληψη (ή τουλάχιστον ο πρώτος που δημοσίευσε μια πραγματεία στην οποία εμφανιζόταν αυτή η αντίληψη) ήταν ο Ρόμπερτ Μπόιλ (Robert Boyle). Στη μονογραφία του *Ο Σκεπτικιστής Χημικός* διαχώρισε τη χημεία από την αλχημεία και ανέπτυξε μια άποψη σχετικά με τα χημικά στοιχεία η οποία έθεσε τις βάσεις για τη δική μας αντίληψη. Τόνισε ότι «... εννοώ τώρα με τον όρο στοιχεία ... κάποια πρωτογενή και απλά ή εντελώς μη αναμεμειγμένα σώματα· τα οποία χωρίς να είναι φτιαγμένα από άλλα σώματα, ή το ένα από το άλλο είναι τα συστατικά από τα οποία όλα τα αποκαλούμενα τέλεια αναμεμειγμένα σώματα, άμεσα συντίθενται και στα οποία τελικά αποσυντίθεται». (Boyle 1661, 187)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Δείτε επίσης <http://www.chemheritage.org/discover/online-resources/chemistry-in-history/themes/early-chemistry-and-gases/boyle.aspx>, τελευταία πρόσβαση 06.03. 2012

Παρόλο που τα στοιχεία έγιναν κατά κάποιο τρόπο σημεία αναφοράς στη χημική επιχειρηματολογία, παρέμενε ασαφές το τί ακριβώς ήταν τα στοιχεία και τί ήταν οι σύνθετες ουσίες. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα: Ο αέρας θεωρούνταν στοιχείο μέχρι και τον 18<sup>ο</sup> αιώνα όταν αρκετοί χημικοί σχεδόν ταυτόχρονα άρχισαν να μελετούν τα αέρια και ήταν σε θέση να δείξουν ότι ο αέρας αποτελεί συνδυασμό πολλών αερίων. Μέχρι τα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα, το φλογιστό ήταν μια ουσία η ύπαρξη της οποίας ήταν αποδεκτή από τους φυσικούς φιλόσοφους μέχρι που ο Λαβουαζιέ καθιέρωσε τη χημική του θεωρία μαζί με μια νέα χημική ονοματολογία και μαζί με την πρώτη λίστα των χημικών στοιχείων. Στο σύστημα του Λαβουαζιέ το φλογιστό δεν υπήρχε πλέον. Αντίθετα συμπεριέλαβε το αστάθμητο (δηλαδή αβαρές) στοιχείο calorique (καλόριο-θερμίδιο) μαζί με το εξίσου αστάθμητο στοιχείο lumic (λούμιο) το οποίο ήταν το στοιχείο του φωτός. Αυτά τα στοιχεία διατηρήθηκαν μέχρι και ένα μεγάλο μέρος του 19<sup>ου</sup> αιώνα και εξαλείφθηκαν όταν άρχισε να καθιερώνεται η έννοια της ενέργειας.

Γίνεται εμφανές, ότι -παρόλο που δεν το έκανε με συστηματικό τρόπο- ο Λαβουαζιέ κατέταξε τα στοιχεία του σε μέταλλα, αμέταλλα, γήινες ουσίες και απλές ουσίες. Η ταξινόμησή του βασιζόταν στις ιδιότητες των στοιχείων: υλικά με παρόμοια συμπεριφορά στις χημικές αντιδράσεις ταξινομήθηκαν ως παρόμοια. Ωστόσο αυτή η οργάνωση των στοιχείων ήταν ακόμη απλοϊκή και δεν θα έπρεπε ίσως να θεωρείται καν ταξινόμηση. Παρόλα αυτά, υπάρχει ακόμη μία παράμετρος στο έργο του Λαβουαζιέ που είναι σημαντική για την ανάπτυξη του Περιοδικού Πίνακα: Ανέλυσε τις χημικές αντιδράσεις ποσοτικά. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπόρεσε να διαμορφώσει την αρχή διατήρησης της μάζας, σύμφωνα με την οποία η μάζα των αντιδρώντων σε μία χημική αντίδραση ισούται με τη μάζα των προϊόντων της.

Πιθανώς ο πρώτος που ανέπτυξε μια αξιόπιστη ταξινόμηση των χημικών στοιχείων ήταν ο φαρμακοποιός Γιόχαν Βόλφγκανγκ Ντεμπεράινερ (1780 – 1849) (Johann Wolfgang Döbereiner). Παρόλο που δεν είχε ακαδημαϊκή εκπαίδευση ως χημικός, έγινε καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Ιένας. Η εμπειρία και οι μελέτες του, του επέτρεψαν τόσο να κάνει χημικά πειράματα στο εργαστήριο του, όσο και να διδάσκει. Από τα πειράματά του παρατήρησε ότι υπάρχουν αρκετές ομάδες τριών στοιχείων οι οποίες συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο κατά τις χημικές αντιδράσεις. Μπόρεσε να βρει αρκετούς συνδυασμούς στοιχείων οι οποίοι πάντα αποτελούνταν από τρία στοιχεία. Επιπλέον, αυτά τα στοιχεία δεν αντιδρούσαν απλά κατά παρόμοιο τρόπο, αλλά παρουσίαζαν και κάποιες θεμελιώδεις ομοιότητες. Συγκεκριμένα, το ασβέστιο, το στρόντιο και το βάριο δεν επεδείκνυαν απλά παρόμοια συμπεριφορά αλλά επιπλέον οι μάζες τους παρουσίαζαν μια συγκεκριμένη αναλογία:

### TABLE OF SIMPLE SUBSTANCES.

Simple substances belonging to all the kingdoms of nature, which may be considered as the elements of bodies.

	<i>New Names.</i>	<i>Correspondent old Names.</i>
Light	- - -	Light.
Caloric	- - -	Heat.
		Principle or element of heat.
		Fire. Igneous fluid.
		Matter of fire and of heat.
Oxygen	- - -	Dephlogisticated air.
		Empyreal air.
		Vital air, or
Azote	- - -	Base of vital air.
		Phlogisticated air or gas.
Hydrogen	- - -	Mephitic, or its base.
		Inflammable air or gas, or the base of inflammable air.

### Oxydable and Acidifiable simple Substances not Metallic.

	<i>New Names.</i>	<i>Correspondent old names.</i>
Solphur	- - -	The same names.
Phosphorus	- - -	
Charcoal	- - -	
Muriatic radical	- - -	Still unknown.
Fluoric radical	- - -	
Boracic radical	- - -	

### Oxydable and Acidifiable simple Metallic Bodies.

	<i>New Names.</i>	<i>Correspondent Old Names.</i>
Antimony	- - -	Antimony.
Arfenic	- - -	Arfenic.
Bismuth	- - -	Bismuth.
Cobalt	- - -	Cobalt.
Copper	- - -	Copper.
Gold	- - -	Gold.
Iron	- - -	Iron.
Lead	- - -	Lead.
Manganefe	- - -	Manganefe.
Mercury	- - -	Mercury.
Molybdena	- - -	Molybdena.
Nickel	- - -	Nickel.
Platina	- - -	Platina.
Silver	- - -	Silver.
Tin	- - -	Tin.
Tungstein	- - -	Tungstein.
Zinc	- - -	Zinc.

### Salifiable simple Earthy Substances

	<i>New Names.</i>	<i>Correspondent old Names.</i>
Lime	- - -	Chalk, calcareous earth.
		Quicklime.
Magnesia	- - -	Magnesia, base of Epsom salt
		Calcined or caustic magnesia
Barytes	- - -	Barytes, or heavy earth.
Argill	- - -	Clay, earth of alum.
Silex	- - -	Siliceous or vitrifiable earth.

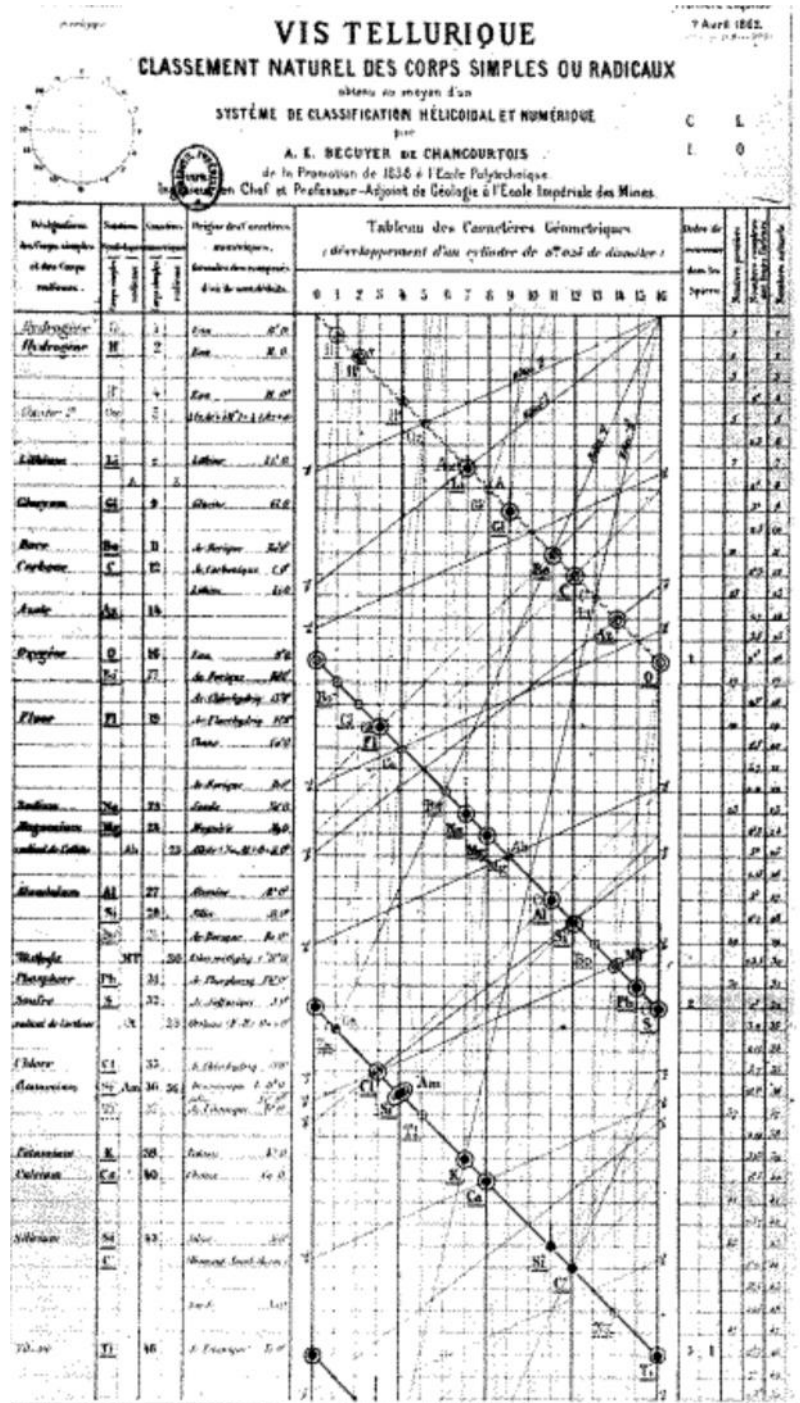
Εικόνα 1: <http://www3.ul.ie/~childsp/CinA/Issue43/cianct6.jpg>

η μάζα του στρόντιου είχε τη μέση τιμή αυτών του ασβεστίου και του βαρίου. Ο Ντεμπεράινερ αποκάλεσε αυτές τις «τριπλές» τριάδες. Σε ένα άρθρο που δημοσίευσε στα Χρονικά της Φυσικής (Annalen der Physik), ο Ντεμπεράινερ αναφέρθηκε στις μετρήσεις του Μπερζέλιους (Berzelius) οι οποίες έδειχναν ότι μια παρόμοια αναλογία προέκυπτε ανάμεσα στα στοιχεία χλώριο, βρώμιο και ιώδιο. Τελικά ο Ντεμπεράινερ ήταν σε θέση να σχηματίσει δέκα τριάδες οι οποίες κάλυπταν τριάντα από τα πενήντα τρία στοιχεία τα οποία ήταν γνωστά τότε.

Κάποιοι Γερμανοί χημικοί προσπάθησαν τα επόμενα χρόνια να επεκτείνουν αυτή τη συστηματοποίηση. Ειδικά ο Γκμέλιν (Gmelin) επεξέτεινε το σύστημα του Ντεμπεράινερ εισάγοντας ομάδες με περισσότερα από τρία στοιχεία. Ωστόσο το σύστημά του στο τέλος δεν έγινε αποδεκτό.

Τριάντα χρόνια περίπου μετά από την προσπάθεια του Ντεμπεράινερ να συστηματοποιήσει τα χημικά στοιχεία, κάποιοι άλλοι χημικοί ανέπτυξαν διαφορετικά συστήματα ταξινόμησης. Ανάμεσα τους ήταν ο Ζαν Μπατιστ Αντρε Ντιμά (Jean Baptiste Andre Dumas) και ο Μαξ φον Πέτενκόφερ (Max von Pettenkofer), οι οποίοι ισχυρίστηκαν ότι μπορούσε να βρεθεί μια μαθηματική φόρμουλα που να εκφράζει το ατομικό βάρος των στοιχείων που έχουν παρόμοια χημική συμπεριφορά. Άλλοι χημικοί ισχυρίστηκαν ότι η χημική στοιχειομετρική σχέση των διαφόρων ουσιών σχετίζεται με τις μάζες τους και συνεπώς αποτελεί ένδειξη για τη δημιουργία μιας νέας οργανωτικής αρχής - π.χ  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $OH_2$  και  $FH$ .

Ο Γάλλος Αλεξάντρ - Εμίλ Μπεγκιέρ ντε Σανκουρτουά (Alexandre - Emile Beguyer de Chancourtois) προχώρησε ένα βήμα πιο πέρα σε σχέση με αυτές τις έρευνες. Οργάνωσε τα χημικά στοιχεία σε ένα είδος σπирάλ, σύμφωνα με την ατομική τους μάζα - δημιουργώντας μια δομή την οποία ονόμασε «τελουρική δύναμη» (vis tellurique). Ο Σανκουρτουά παρατήρησε ότι βάζοντας τα στοιχεία σε σειρά πάνω στο σπирάλ κατά αύξοντα αριθμό ατομικής μάζας και ενώ είχε αρκετές διαστάσεις στο σπирάλ, κάποια στοιχεία που σε αυτήν την κατασκευή ήταν το ένα πάνω από το άλλο παρουσίαζαν αξιοσημείωτες ομοιότητες στη συμπεριφορά τους.



Εικόνα 2: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/0/05/Vis\\_tellurique\\_de\\_Chancourtois.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/0/05/Vis_tellurique_de_Chancourtois.gif)

Ένας άλλος ερευνητής ο οποίος ανέπτυξε ένα σύστημα ταξινόμησης του όλο και αυξανόμενου αριθμού των στοιχείων ήταν ο βρετανός Αλεξάντερ Ρείνα Νιούλαντς (Alexander Reina Newlands) ο οποίος επίσης δημοσίευσε το έργο του κατά τη δεκαετία του 1860. Ο Νιούλαντς παρατήρησε ότι «Αν τα στοιχεία τοποθετηθούν στη σειρά των ισοδυνάμων τους (δλδ. κατά σχετικές ατομικές μάζες σύμφωνα με τη σύγχρονη ορολογία) με λίγες μετατοπίσεις, γίνεται φανερό ότι τα στοιχεία που ανήκουν στην ίδια ομάδα εμφανίζονται στην ίδια οριζόντια γραμμή. Επίσης οι αριθμοί παρόμοιων στοιχείων διαφέρουν κατά επτά ή πολλαπλάσια του επτά. Τα στοιχεία έχουν μεταξύ τους την ίδια σχέση όπως τα άκρα μιας μουσικής οκτάβας. Έτσι, στην ομάδα του αζώτου ο φώσφορος είναι το έβδομο στοιχείο μετά το άζωτο, και το αρσενικό είναι το δέκατο τέταρτο στοιχείο μετά το φώσφορο, όπως και το αντιμόνιο μετά το αρσενικό. Προτείνω να ονομασθεί αυτή η περιέργη σχέση «Ο Νόμος των Οκτάβων»<sup>2</sup>. Ο Νιούλαντ συσχέτισε αυτή τη δομή των στοιχείων με τις μουσικές οκτάβες. Αυτός ο συνδυασμός μουσικών και επιστημονικών συστημάτων κατάταξης δεν ήταν τόσο ασυνήθιστος όσο φαίνεται σ' εμάς σήμερα: Ο Κέπλερ είχε μια παρόμοια προσέγγιση όταν ταξινόμησε τους πλανήτες του ηλιακού συστήματος στο σύστημά του, που ονόμασε Αρμονία του Κόσμου (Harmonia Mundi). Καθώς φαίνεται, ο Νιούλαντ δεν είχε σαφή αντίληψη των υποκείμενων αρχών του συστήματός του, ωστόσο ήταν σε θέση να υπονοήσει ότι μπορεί να υπάρχει κάποια κρυμμένη συστημική σχέση πίσω από τη συμπεριφορά των χημικών στοιχείων. Παρόλο που δόμησε το σύστημά του σύμφωνα με τις μάζες των στοιχείων είχε σαφή επίγνωση ότι υπήρχαν κάποιες ανωμαλίες σε αυτό (όπου δύο στοιχεία με παρόμοιες ατομικές μάζες βρίσκονται σε «λάθος θέση» όταν η χημική τους συμπεριφορά συγκρίνεται με στοιχεία άλλων οκτάβων). Έτσι, ο Νιούλαντ, χρησιμοποιώντας όχι μόνο την ατομική μάζα σα παράμετρο δόμησης του συστήματός του, άλλαξε τη θέση των στοιχείων αυτών στο σύστημά του. Ωστόσο, παρότι η προσέγγισή του δεν έτυχε γενικής αποδοχής, μπορεί να ειπωθεί ως ένδειξη ότι οι χημικοί σκέφτονταν όλο και περισσότερο την ταξινόμηση των χημικών στοιχείων<sup>3</sup>.

Κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1860, δύο επιστήμονες οι οποίοι δούλευαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, δημιούργησαν δύο εξαιρετικά παρόμοιες ταξινομήσεις των χημικών στοιχείων: Ο Lothar Meyer (Λόταρ Μέγιερ) και ο Dmitri Mendeleev (Ντμίτρι Μεντελέγιεφ) Ο Μέγιερ δημοσίευσε το έργο του το Δεκέμβριο του 1869 στα *Annalen fur Chemie und Pharmazie* (Χρονικά της Χημείας και της Φαρμακευτικής), ενώ ο Μεντελέγιεφ δημοσίευσε μια λεπτομερή εργασία στο ίδιο περιοδικό το 1871 χωρίς να κάνει καμία αναφορά στο έργο

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

3: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Mendelejevs\\_periodiska\\_system\\_1871.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Mendelejevs_periodiska_system_1871.png)

<sup>2</sup> Δείτε και <http://www.rsc.org/Education/Teachers/Resources/periodictable/pre16/develop/newlands.htm>, τελευταία πρόσβαση 21 02 2014

<sup>3</sup> Πρέπει να γίνει κατανοητό οι περισσότεροι χημικοί απλώς παρέθεταν τα χημικά στοιχεία κατά αλφαβητική σειρά ή έβαζαν μαζί μέταλλα και μη-μέταλλα. Ένα σημαντικό βήμα για τη διαμόρφωση του Περιοδικού Συστήματος έγκειται στην αντίληψη ότι βασική αρχή για την ταξινόμησή τους, πρέπει να αποτελεί η χημική τους συμπεριφορά σε συνδυασμό με την ατομική τους μάζα.

του Μέγιερ. Ωστόσο, αποδείχτηκε ότι δεν ήταν η πρώτη εργασία του Μεντελέγιεφ πάνω στο αντικείμενο, καθώς είχε δημοσιεύσει μια περιγραφή του έργου του σε ένα ρωσικό περιοδικό το Μάρτιο του 1869, οπότε μπορούσε να διεκδικήσει το δικαίωμα της προτεραιότητας.

Πάντως, υπάρχουν κάποιες διαφορές ανάμεσα στον πίνακα του Μεντελέγιεφ και το σύγχρονο περιοδικό πίνακα. Μια βασική διαφορά προκύπτει από τη μη διαφοροποίηση μεταξύ των βασικών και των δευτερευουσών ομάδων στοιχείων. Επίσης, τόσο στο σύστημα του Μεντελέγιεφ όσο και στο σύστημα του Μέγιερ δεν υπάρχουν ευγενή αέρια<sup>4</sup>. Επιπλέον, το σύστημα προβλέπει και κάποιες κενές θέσεις: Συγκεκριμένα ο Μεντελέγιεφ προέβλεψε τρεις θέσεις για τρία επιπλέον στοιχεία των οποίων υποψιαζόταν την ύπαρξη και τα οποία είχαν ατομικές μάζες 45, 68 και 70 αντίστοιχα. Μερικά χρόνια αργότερα αυτά τα στοιχεία (τα οποία ο Μεντελέγιεφ ονόμασε εκα – αλουμίνιο, εκα – βόρον και εκα – σιλικόνη) ταυτοποιήθηκαν και ονομάστηκαν γάλλιο, σκάνδιο και γερμάνιο.

Αυτό δείχνει τη νέα οπτική της προσέγγισης του Μεντελέγιεφ: Οι ανοιχτές θέσεις στο σύστημα του Μεντελέγιεφ, λειτουργούσαν σαν πρόβλεψη για τα στοιχεία που μέχρι τότε δεν είχαν ανακαλυφθεί. Όλες οι προηγούμενες προσπάθειες να δημιουργηθεί μια ταξινόμηση των χημικών στοιχείων δεν παρείχαν τη δυνατότητα. Τόσο ο Μέγιερ όσο και ο Μεντελέγιεφ τροποποίησαν τα επόμενα χρόνια τους Πίνακες των Στοιχείων που είχαν δημιουργήσει (Häusler, 1990). Κατά πάσα πιθανότητα και οι δύο ερευνητές κατέληξαν σε παρόμοιες συστηματοποιήσεις των στοιχείων ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον. Με αυτό το σκεπτικό, η Βασιλική Εταιρεία του Λονδίνου απένευσε το βραβείο Κόπλεϊ (Copley) και στους δύο.

Ένα ενδιαφέρον ερώτημα που θα μπορούσε να τεθεί είναι γιατί πολλοί χημικοί κατασκεύασαν τόσα διαφορετικά συστήματα για την ταξινόμηση των στοιχείων κατά τη δεκαετία του 1860. Ένας παράγοντας που σίγουρα έπαιξε σημαντικό ρόλο ήταν η ανακάλυψη – εφεύρεση της σπεκτροσκοπικής μεθόδου από τους Robert Wilhelm Bunsen (Ρόμπερτ Βίλχελμ Μπούνσεν) και Gustav Robert Kirchhof (Γκούσταβ Ρόμπερτ Κίρκχοφ), η οποία επέτρεψε στους χημικούς να εντοπίσουν πολλά άγνωστα μέχρι τότε στοιχεία. Το γεγονός ότι πολλά στοιχεία ήταν πλέον γνωστά, έδωσε τη δυνατότητα στους χημικούς να δουν τις ουσίες που είχαν παρόμοια χημική συμπεριφορά.

Ωστόσο παρά αυτή την επιτυχία, πολλά ερωτήματα παρέμεναν εκκρεμή: Ένα από αυτά αφορούσε την ύπαρξη και άλλων στοιχείων. Ο εντοπισμός των ευγενών αερίων απέδειξε ότι υπήρχε μια ολόκληρη ομάδα στοιχείων η οποία έπρεπε να προστεθεί στο και να ενσωματωθεί στο ήδη υπάρχον σύστημα. Ήταν δυνατόν να υπάρχουν και άλλα στοιχεία; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό δόθηκε από τον Βρετανό χημικό Henry Moseley (Χένρι Μόζλεϊ). Απέδειξε ότι υπήρχε σχέση ανάμεσα στο μήκος του κύματος στο φάσμα των ακτινών Χ και στον ατομικό αριθμό. Από τη σχέση αυτή ο Μόζλεϊ συνήγαγε το ακόλουθο συμπέρασμα. «Υπάρχει εδώ η πιθανότητα ύπαρξης τριών στοιχείων που δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί» (Moseley, 1913, 713). Κατά κάποιον τρόπο ο Μόζλεϊ σκέφτηκε με παρόμοιο τρόπο με τον Μεντελέγιεφ, δηλαδή ανακάλυψε μια διαφορετική μαθηματική σχέση η οποία περιέγραφε τις ιδιότητες των ατόμων. Ωστόσο, υπήρχαν κάποια κενά στο σύστημά του. Όπως και ο Μεντελέγιεφ, χρησιμοποίησε αυτά τα κενά για να εικάσει την ύπαρξη τριών νέων στοιχείων, τα οποία αργότερα ταυτοποίησε ως τεχνήτιο, προμήθιο και ρήνιο. Ωστόσο υπάρχει μία ουσιώδης διαφορά ανάμεσα σε αυτόν και τον Μεντελέγιεφ: Ο Μόζλεϊ δεν προέβλεψε απλά την ύπαρξη τριών νέων στοιχείων, επιχειρηματολόγησε ότι κανένα άλλο στοιχείο δεν μπορούσε να βρεθεί παρά μόνο εάν αυτό ήταν βαρύτερο από το χρυσό.

Παρά αυτή τη μεγάλη εξέλιξη παρέμενε μία παράμετρος η οποία δεν μπορούσε να αφομοιωθεί από το σύστημα. Παρόλο που ήταν δυνατόν τα στοιχεία να διαταχθούν σύμφωνα με τη χημική και φυσική τους συμπεριφορά, η μάζα τους – η οποία αρχικά αποτελούσε τη βάση μιας από τις μεθόδους ταξινόμησης – δεν αυξανόταν ανάλογα με τη θέση τους στο σύστημα, αλλά υπήρχαν κάποια στοιχεία των οποίων το άτομο ήταν ελαφρύτερο από το αντίστοιχο του προηγούμενου στοιχείου στη σειρά. Επιπλέον η μάζα τους δεν ήταν άρτιο πολλαπλάσιο της ατομικής μάζας του υδρογόνου. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα δόθηκε από τον Frederick Soddy (Φρέντερικ Σόντυ) και τον Francis W. Aston (Φράνσις Άστον). Ο Σόντυ μπόρεσε να αποδείξει ότι ορισμένες ραδιοενεργές ουσίες αποτελούνταν από ισότοπα, δηλαδή άτομα με ταυτόσημες χημικές ιδιότητες, αλλά ελαφρώς διαφορετική μάζα. Ο Άστον κατασκεύασε μία συσκευή η οποία παρήγαγε μια ακτίνα ιονισμένων ατόμων. Αυτή

<sup>4</sup> Μολονότι το ήλιο είχε αναγνωρισθεί στο ηλιακό φάσμα, εκείνη την περίοδο δεν ήταν γνωστό πως υπήρχε στη γη. Τα πρώτα ευγενή αέρια ως χημικά στοιχεία ταυτοποιήθηκαν μόλις στο τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα.

η ακτίνα εισερχόταν σε ένα μαγνητικό πεδίο. Η κλίση της ακτίνας σχετιζόταν με το φορτίο και τη μάζα των ατόμων. Αυτός ο φασματογράφος μάζας, όπως ονομαζόταν η συσκευή, επέτρεψε στον Άστον να ταυτοποιήσει εκατοντάδες ισότοπα σε μη ραδιενεργά στοιχεία. Παράλληλα, με αυτή τη μέθοδο απέδειξε ότι τα περισσότερα στοιχεία ήταν μια μείξη ατόμων με τις ίδιες χημικές ιδιότητες αλλά διαφορετική μάζα. Αυτά τα άτομα, τα οποία ονομάστηκαν ισότοπα. Η μάζα των ισωτόπων ήταν (σχεδόν) άρτια πολλαπλάσιο της μάζας του ατόμου του υδρογόνου, ενώ η μάζα των στοιχείων είχε το μέσο όρο του βάρους της μάζας των ισωτόπων.

## Βιβλιογραφία

- Beyer, L. (2000). Abbildungsformen des Periodensystems der Elemente. *Naturwissenschaft im Unterricht* **11**, 125-131.
- Boyle, R. (1661). *The sceptical chymist*. London, J.M. Dent & Sons. (Reprint Mineola, Dover 2003)
- Cahn, R.M. (2002). Historische und philosophische Aspekte des Periodensystems der chemischen Elemente. Karlsruhe: HYLE.
- Döbereiner, J.W. (1829). „Versuch einer Gruppierung der elementaren Stoffe nach ihrer Analogie“. *Annalen der Physik* **91**, 301-307.
- Frercks, J. (2006). "Die Lehre an der Universität Jena als Beitrag zur deutschen Debatte um Lavoisiers Chemie." *Gesnerus* **63**(3-4): 209-239
- Häusler, K. (1990). „Entdeckungsgeschichte des Periodensystems“. *Naturwissenschaft im Unterricht* **1**(5), 178-183.
- Kauffman, G.B. (1999). "From Triads to Catalysis: Johann Wolfgang Döbereiner (1780–1849) on the 150th Anniversary of His Death". *Chem. Educator* **4**: 186–197
- Malley, M. C. (2011). *Radioactivity : a history of a mysterious science*. New York, Oxford University Press.
- Meinel, C. (1987). "Zur Sozialgeschichte des chemischen Hochschulfaches im 18. Jahrhundert." *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* **10**, 147–168
- Moseley, H. G. J. (1913): *The High-Frequency Spectra of the Elements*. *Phil Mag.* **27**, 703-713.
- Priesner, C. (2011). *Geschichte der Alchemie*. München, Beck.
- Scerri, E. R. (2007). *The periodic table : its story and its significance*. Oxford; New York, Oxford University Press.
- Thompson, B. Count Rumford (1804). *Kleine Schriften politischen, ökonomischen und philosophischen Inhalts*. München.

**Κείμενο: Peter Heering**

**Μετάφραση στα ελληνικά: Σπύρος Κόκκοτας – Ναυσικά Καψαλά**

**Το ιστορικό Υπόβαθρο – Αναδρομή: Η Ιστορία του Περιοδικού Πίνακα** γράφηκε από τον Peter Heering με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (έργο: 518094-LLP-1-2011-1-GR-COMENIUS-CMP) και του Πανεπιστημίου του Φλένσμπουργκ. Η δημοσίευση αυτή αντανάκλα τις απόψεις του συγγραφέα και μόνον και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που αυτή περιέχει.