



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Χημείας

**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«Διδακτική της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες»**

**Διδακτική προσέγγιση της Ιστορίας της Χημείας.  
Η ιστορική πορεία της ολοκλήρωσης της δομής του ατόμου**

**ΣΕΡΠΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ  
ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Α.Π.Θ.**

*ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ*

*ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2012*



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

**Διδακτική προσέγγιση της Ιστορίας της Χημείας.  
Η ιστορική πορεία της ολοκλήρωσης της δομής του ατόμου**

ΣΕΡΠΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ  
ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Α.Π.Θ.

Επιβλέπων: Περικλής Ακρίβος

*Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής*

Μιχαήλ Σιγάλας  
Καθηγητής τμήματος Χημείας ΑΠΘ

Απόστολος Μαρούλης  
Αναπληρωτής καθηγητής τμήματος Χημείας ΑΠΘ

Περικλής Ακρίβος  
Αναπληρωτής καθηγητής τμήματος Χημείας Α.Π.Θ.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	σελ.	1
1.Διδακτική χρησιμότητα της διατριβής	σελ.	2
2.Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης	σελ.	6
3.Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων	σελ.	10
4.Η επανεμφάνιση του ατόμου	σελ.	12
5.Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας	σελ.	19
6.Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας	σελ.	28
7.Η διερεύνηση της δομής του ατόμου	σελ.	35
8.Αποσπάσματα από την ιστοσελίδα	σελ.	44
9.Προτάσεις διδακτικής εφαρμογής	σελ.	48
10.Βιβλιογραφία	σελ.	51

## **Περίληψη**

Η διατριβή αναφέρεται σε μια σχετικά συνοπτική αλλά ολοκληρωμένη παρουσίαση της πορείας των αντιλήψεων που υπήρχαν από τα πολύ παλιά χρόνια μέχρι τις μέρες μας σχετικά με τα υποθετικά καταρχήν και κατόπιν υπαρκτά ελάχιστα σωματίδια της ύλης. Οι αντιλήψεις για την ύπαρξη, τη μορφή και τις ιδιότητες των ελαχίστων αυτών σωματιδίων διαμόρφωσαν σε κάποιο βαθμό και γενικότερες αντιλήψεις στη Χημεία, ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έγιναν πάντοτε ευμενώς δεκτές από τους επιστήμονες.

Η δομή του ατόμου όπως είναι γνωστή στις μέρες μας δίνει μια πληθώρα πληροφοριών για την αναμενόμενη χημική συμπεριφορά ενός στοιχείου και κατά συνέπεια αποτελεί βάση για το συνολικό οικοδόμημα της Χημείας.

## **Summary**

The dissertation presents a concise but a complete description of the route that the ideas about the initial proposal for the existence and the later theories about the function of the tiniest particles of matter named either atoms or minima. The conception about the existence, the form and the properties of these physical entities which represent the terminal points of the chemical analysis has shaped to a degree the more general views and theories of chemists although it must be stated that they did not always or readily accept it.

The structure of the atom as it is known today offers valuable information about the chemical reactivity of an element and therefore forms a cornerstone in the building of Chemistry.

## 1. Διδακτική χρησιμότητα της διατριβής

Η εκπαίδευση των ανθρώπων που προορίζονται να διδάξουν στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση οφείλει να είναι συνεχής και πολύπλευρη περιλαμβάνοντας όλα εκείνα τα θεμελιώδη στοιχεία της επιστήμης που θα διδάξουν. Στόχος είναι να επιτευχθεί επιστημολογικά η γνώση του αντικειμένου που θα διδάξουν και αυτή να αντικαταστήσει τις πεποιθήσεις ή γνώμες που μπορεί να έχουν σχετικά μ' αυτό. Μη επιστημονικά ορθές αντιλήψεις σχηματίζονται κατά βάση στα παιδικά χρόνια όπου κυριαρχεί μία πιο εμπειρική αντίληψη του κόσμου<sup>1</sup>. Οι εμπειρικές αυτές αντιλήψεις είναι τόσο ισχυρές που σπάνια αντικαθίστανται με τις αντίστοιχες επιστημονικά ορθές ανεξαρτήτως του πόσο πολλή και πόσο καλή διδασκαλία σχετικά με το αντικείμενο θα δεχθούν στα σχολικά τους χρόνια<sup>2</sup>.

Για να οικοδομηθεί σωστά ένα μοντέλο διδασκαλίας απαιτείται ορθή και ολοκληρωμένη γνώση του αντικειμένου το οποίο πρόκειται να διδαχθεί. Η βελτίωση και μη ολοκλήρωση των γνώσεων, όμως, πάνω σε οποιοδήποτε γνωστικό αντικείμενο δεν αποτελεί μία απλή διαδικασία. Απαιτεί χρόνο και ικανότητα. Είναι ανάγκη, λοιπόν, να παρέχεται σχεδόν ολοκληρωμένη στους διδάσκοντες ώστε να μην λειτουργεί εις βάρος του παιδαγωγικού κομματιού της διδασκαλίας.

Επιπλέον, όταν ένας διδάσκοντας κατέχει ολοκληρωτικά το γνωστικό του αντικείμενο είναι περισσότερο έτοιμος να «ανακαλύψει» τις λανθασμένες ερμηνείες των μαθητών του και να βρει τους τρόπους με τους οποίους θα τις αναιρέσει και θα τις αντικαταστήσει. Ακόμη ο δάσκαλος που είναι ενημερωμένος για το γνωστικό και παιδαγωγικό περιεχόμενο του αντικειμένου του μπορεί να αντιλαμβάνεται τη διάθεση των μαθητών του απέναντι στο αντικείμενο της διδασκαλίας καλύτερα και να τη βελτιώνει.

Η Χημεία πρέπει να γίνει μέρος της πολιτιστικής παιδείας μας επειδή υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση της κοινωνίας και της επιστήμης της Χημείας τουλάχιστον τους τελευταίους τρεις αιώνες. Οι καινούριες έννοιες που <εισέβαλαν > στην καθημερινή ζωή λόγω της εξελιξή της προκάλεσαν κοινωνικές και κυβερνητικές δράσεις. Ακόμη διάφορα ιστορικά γεγονότα του παρελθόντος τεκμηριώθηκαν κάτω από το φως των σύγχρονων γνώσεων για το άτομο, το χημικό δεσμό και τη χημική αντίδραση.

Είναι πολύ σημαντικό, επίσης, η Ιστορία της Χημείας να μην παρουσιάζεται μέσα από σύντομες αναφορές σε βιογραφίες, ονόματα και ημερομηνίες. Η Ιστορία της Χημείας είναι γεμάτη από παραδείγματα επιστημόνων που το όνομά τους είναι γνωστό και αξιόλογο, για

τους οποίους είναι γνωστό ότι είτε έθεσαν το λάθος προβληματισμό είτε τη λάθος εξήγηση είτε παρέβλεψαν κάποια δεδομένα και έκαναν λάθος εκτίμηση είτε τέλος οδηγήθηκαν σε ένα λανθασμένο συμπέρασμα. Ακόμη υπάρχουν παραδείγματα επιστημόνων οι οποίοι πραγματοποίησαν ανακαλύψεις και συνέβαλλαν στην εξέλιξη της επιστήμης ενώ οι γνώσεις τους για βασικά σημεία της Χημείας υπολείπονται των γνώσεων που παρέχονται σήμερα στους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Τα παραδείγματα αυτά αποτελούν ένα εξαιρετικό διδακτικό εργαλείο με το οποίο ο διδάσκοντας μπορεί να δώσει στους μαθητές μια εικόνα σχετικά με το τι είναι η επιστήμη , πως αναπτύσσεται και το πώς οι επιστημόνες εργάζονται .

Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσεται η κριτική σκέψη των μαθητών οι οποίοι δε γίνονται μόνο δέκτες έτοιμων συμπερασμάτων άλλα ταυτόχρονα και του τρόπου με τον οποίο αυτά προσεγγίστηκαν και κατακτήθηκαν. Αντιλαμβάνονται ευκολότερα πως η επιστήμη και ο πολιτισμός συνδέονται και αλληλοεπηρεάζονται.

Οποσδήποτε η παροχή εγκυκλοπαιδικών στοιχείων σχετικά με το αντικείμενο της Χημείας, πρώτον μεν εμπλουτίζει το περιεχόμενο του διδακτικού βοηθήματος, κάνει το αντίστοιχο τμήμα του κειμένου που συνήθως έχει τον εύλογο τίτλο «Γνωρίζετε ότι...» πιο ελκυστικό και παρέχει υλικό για σκέψη από τον διδάσκοντα και από τους μαθητές πάνω στην ιστορική πορεία της εξέλιξης της επιστήμης καθώς και των νοητικών και λοιπών διαδικασιών που πιθανότατα πραγματοποίησαν επιστήμονες του παρελθόντος κάτω από τις συνθήκες της περιόδου στην οποία έζησαν και έδρασαν. Η Ιστορία της Επιστήμης ενίσχυσε τον ανθρωπιστικό χαρακτήρα της επιστήμης καθώς δεχόταν ισχυρή κριτική και αντιμετωπιζόταν ως ένα ψυχρό αντικείμενο μη συμβατό με την ανθρώπινη φύση. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα, οι μαθητές αποθαρρυνόταν από το να ασχοληθούν με την επιστήμη. Η εισαγωγή της Ιστορίας της Επιστήμης στη διδασκαλία των επιστημών δεν σχετίζεται μόνο σε ανθρωπιστικούς και συναισθηματικούς λόγους. Στις αρχές του αιώνα υπήρχε μία αντίληψη σύμφωνα με την οποία παραλληλιζόταν η διανοητική ανάπτυξη του ατόμου με την ιστορική ανάπτυξη της επιστήμης. Η αντίδραση του ατόμου στην επιστήμη δομείται από τα ίδια στάδια αντίδρασης του στον κόσμο δηλαδή: απορία , χρησιμότητα και ανάπτυξη νοητικών μοτίβων. Η διδασκαλία της επιστήμης, συνήθως, επικεντρώνεται στην ανάπτυξη των νοητικών μοτίβων αγνοώντας τα άλλα δυο. Με την σωστά καταμερισμένη παρουσία και των τριών στη διδασκαλία της επιστήμης, η επιστήμη γίνεται ενδιαφέρουσα και προσιτή στους μαθητές όλων των ηλικιών.

Στο στάδιο της επιλογής των υλικών, η ποιότητα και η ποσότητα των ιστορικών πηγών μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο και να οδηγήσει σε προβλήματα ειδικότερα όταν ο

διδάσκοντας δεν είναι γνώστης του αντικειμένου. Είναι χρήσιμο λοιπόν, να παρέχεται στους διδάσκοντες ποιοτικό υλικό προερχόμενο από αξιόπιστες πηγές για τη διευκόλυνση του έργου τους.

Η διατριβή παρέχει ένα σύνολο πληροφοριών για την ιστορική πορεία της μελέτης για την ύπαρξη και στη συνέχεια την κατανόηση της συμπεριφοράς του ατόμου. Προφανώς το άτομο αποτελεί τη βάση όλων των θεωριών για τη Χημεία και για το λόγο αυτό είναι χρήσιμο οι παραπάνω πληροφορίες να ενσωματωθούν στο γνωστικό υπόβαθρο των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Το υλικό της διατριβής παραδόθηκε και θα αναρτηθεί στο δικτυακό τόπο του Δι.Χη.Ν.Ε.Τ. (τρέχουσα διεύθυνση της σελίδας στο δίκτυο <http://www.molwave.com/testzone/akrivos/index.html>) ενώ θα κοινοποιηθεί και στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο καθώς και στο επιτελείο που ασχολείται με τη διαμόρφωση του Νέου Ηλεκτρονικού Σχολείου. Το υλικό της διατριβής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εμπλουτισμό υλικού που είναι ήδη διαθέσιμο για χρήση από τους μαθητές και καθηγητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης ενώ δεν αποκλείεται και η χρήση του για τη δημιουργία νέων αντίστοιχων δικτυακών σελίδων με πληροφορίες.

Το υλικό της διατριβής βρίσκεται επίσης στη διαδικασία ενσωμάτωσής του σε δικτυακή σελίδα όπου περιλαμβάνεται επίσης αντίστοιχο υλικό ιστορικής φύσης σχετικό με την ονοματοθεσία των χημικών στοιχείων. Ο δικτυακός αυτός τόπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους φορείς που προαναφέρθηκαν για την άντληση στοιχείων ή για την διοχέτευση σ' αυτόν των χρηστών του δικτύου, σε περίπτωση που το υλικό κρίνεται χρήσιμο και ενδιαφέρον.



## 2. Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης

Στην αρχαία Ελλάδα αναπτύχθηκε εκτός των άλλων και η φιλοσοφία, στα πρώτα της στάδια ως φυσική φιλοσοφία, δηλαδή προσπάθεια ερμηνείας του κόσμου. Αυτό που στους μεταγενέστερους χρόνους είναι γνωστό ως δίλημμα μεταξύ του **εμπειρισμού** και του **θετικισμού**, ή απλούστερα αν οι αισθήσεις είναι ικανές να δώσουν ικανοποιητική περιγραφή του κόσμου ή ο νους του ανθρώπου είναι που κάνει τον κόσμο να υπάρχει, ξεκίνησε πάλι από εκείνη την περίοδο.

Καταρχήν εμφανίστηκαν οι «απλούστερες» μονιστικές θεωρίες. Με τον όρο αυτό αναφέρονται οι φιλοσοφικές εκείνες προτάσεις που προσπαθούσαν μέσα στο φαινομενικό χάος των μεταβολών και των μορφών των σωμάτων να διακρίνουν το ένα και μόνο βασικό συστατικό του κόσμου καθώς και την κινούσα δύναμη. Προφανώς προτάθηκαν διάφορα σώματα με υλική υπόσταση όπως το νερό, ο αέρας, η φωτιά καθώς και με λιγότερο χειροπιαστή παρουσία όπως το άπειρο και ο αιθέρας.

Σαν αντίδραση σ' αυτές τις αντιλήψεις εμφανίστηκε στο προσκήνιο η σχολή των **Ελεατών** δηλαδή αυτών που είχαν ως πατρίδα ή χώρο δράσης την [Ελέα](#) της Μεγάλης Ελλάδας. Κυριότεροι εκπρόσωποι της σχολής αυτής είναι ο Παρμενίδης και ο Ζήνων. Αυτοί παρατήρησαν καταρχήν την φθίνουσα κίνηση των σωμάτων που φαινομενικά ήταν «ελεύθερα» και θεώρησαν ότι για να υπάρχει ακόμη ο κόσμος δεν μπορεί παρά να είναι αιώνιος, σταθερός και άφθαρτος, αφού κάθε κίνηση θα οδηγούσε αναπόφευκτα στην τελική στασιμότητα. Κατά συνέπεια οι παρατηρούμενες κινήσεις είναι μια «παραίσθηση» και μόνο ο νους μπορεί να κατανοήσει την αλήθεια.

Τα εξεζητημένα «παράδοξα» που εισηγήθηκαν ήταν που δημιούργησαν γενικότερο προβληματισμό και οδήγησαν πολλούς από τους επόμενους φιλοσόφους πρώτον μεν ν' αντιταχθούν στη θεώρηση αυτή και δεύτερον (σπουδαιότερο) να εγκαταλείψουν τον μονισμό τον οποίο θεώρησαν ως πηγή της διατύπωσης των αντιλήψεων των Ελεατών.

Τα κυριότερα παράδοξα των Ελεατών είναι σχετικά με την κίνηση του βέλους που εκτοξεύεται εναντίον ενός στόχου και η περίφημη καταδίωξη της χελώνας από τον Αχιλλέα. Εφόσον η κίνηση είναι ουτοπία, το βέλος δεν πρόκειται ποτέ να φθάσει στο στόχο του και ο Αχιλλέας ποτέ δεν θα φτάσει την προπορευόμενη χελώνα.



Σχηματική παράσταση του παραδόξου του Αχιλλέα όπως το έθεσε ο Ζήνων ο Ελεάτης. Αν ο Αχιλλέας ξεκινήσει σε μια απόσταση πίσω από τη χελώνα τότε η καθημερινή εμπειρία όλων καθώς και η Ομηρική παράδοση που θέλει τον ήρωα «γοργοπόδη» προβλέπει ότι θα φθάσει τη χελώνα και μάλιστα πάρα πολύ γρήγορα. Η νοητική επεξεργασία του προβλήματος με τη λογική και μόνο ανάλυση που παραδέχεται η σχολή των Ελεατών προβλέπει ότι σε πρώτη προσέγγιση, όταν ο Αχιλλέας έχει φθάσει στο σημείο όπου ήταν αρχικά η χελώνα αυτή θα έχει μετακινηθεί για μικρό διάστημα, οπότε το πρόβλημα πάλι επανέρχεται στην αρχική του θέση με μικρότερη απόσταση να χωρίζει τα δύο μέρη. Ωστόσο, σύμφωνα με το Ζήωνα, πάντοτε η χελώνα θα προηγείται έστω και κατά πολύ μικρό διάστημα. Προφανώς η λύση στο θεωρητικό αυτό ζήτημα λύνεται με τη μαθηματική διαδικασία που είναι γνωστή ως απειροστός λογισμός αλλά αυτή η προσέγγιση δεν ήταν δυνατή με τις μαθηματικές γνώσεις του καιρού εκείνου και ούτε θα ήταν παραδεκτή από τους φιλοσόφους.

Μέσα στους αντιτιθέμενους προς τους Ελεάτες συγκαταλέγονται και οι λεγόμενοι **Ατομικοί φιλόσοφοι** [Λεύκιππος](#) και ο [Δημόκριτος](#).

Ο Λεύκιππος θεωρούσε τον εαυτό του ενδιάμεσο μεταξύ των προηγουμένων φιλοσοφικών θεωριών και με τη δημιουργία της θεωρίας του προσπαθεί να βρει κάποιες εφαρμογές της στηριζόμενος σε μια απλοϊκή εννοητικότητα παρά στην προσπάθεια να διαμορφώσει ένα συνολικό σύστημα για τον κόσμο.

Ο Δημόκριτος συστηματοποίησε την θεωρία του ατομισμού, της έδωσε βάθος αλλά και συνοχή και δημιούργησε μια χαλαρή αλλά ενιαία κοσμοθεωρία για τον κόσμο όσο και τον άνθρωπο. «το ον υπάρχει τόσο όσο και το μη ον» (αντίθεση στον Παρμενίδα). Η φαινόμενη διαρκής γένεση και φθορά = αναδιάταξη ατόμων, πραγματικών όντων, άφθαρτων και συμπαγών.

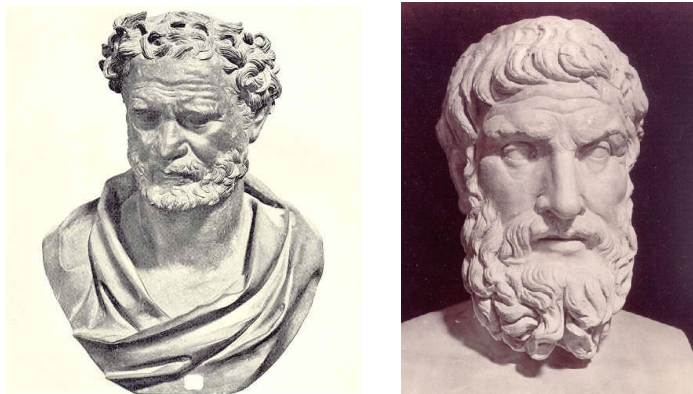
Οι άπειροι συνδυασμοί των ατόμων δημιουργούν τα διάφορα σώματα των οποίων η εξωτερική μορφή και οι ιδιότητες οφείλονται ακριβώς στο πλήθος, το είδος και τον τρόπο διάταξης των ατόμων που τα αποτελούν. Το χρώμα προφανώς είναι μια βασική ιδιότητα των σωμάτων και, κατά τον Δημόκριτο, οφείλεται στη διάταξη των ατόμων στην επιφάνεια, αφού εκεί θα ανακλάσουν και θα επιστρέψουν στον παρατηρητή το φως. Το φως πάλι, προκύπτει

πως θεωρείται σωματιδιακό, αποτελούμενο από μικρότατα τεμάχια που κινούνται ταχύτατα χάρις στο μικρό τους μέγεθος και το σφαιρικό τους σχήμα! Τα λεπτότερα και σφαιρικότερα άτομα, αποτελούν προφανώς και τα τελειότερα και για τον λόγο αυτό θεωρείται ότι αποτελούν τις ψυχές των όντων (απόλυτος υλισμός).

[Επίκουρος](#). Είναι φιλόσοφος αθηναϊκής καταγωγής που έζησε στα τέλη του 4<sup>ου</sup> και τις αρχές του 3<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. Αυτός επικεντρώθηκε στην ηθική φιλοσοφία. Αξίζει να σημειωθούν όμως κάποια σημεία που σχετίζονται με τις ατομιστικές αντιλήψεις. Συγκεκριμένα και βασιζόμενος προφανώς σε εμπειρικές παρατηρήσεις δέχθηκε την κίνηση των ατόμων προς τα κάτω και μάλιστα υπέθεσε ότι στο περιβάλλον κενό, όλα τα άτομα ανεξαρτήτως μεγέθους θα είχαν την ίδια ταχύτητα πτώσης, κάτι που έπρεπε να περιμένει πολλούς αιώνες για να διαπιστωθεί πειραματικά.

Υπέθεσε ακόμη ότι σε κάποια τυχαία σημεία της τροχιάς τους και για τυχαίο χρόνο και διάστημα, μερικά άτομα αποκλίνουν από την προκαθορισμένη τους πορεία και αυτό είναι που δημιουργεί τις απαραίτητες συγκρούσεις για τον σχηματισμό των διαφόρων σωμάτων.

Με τον τρόπο αυτό εισήγαγε την έννοια της βούλησης του καθενός ατόμου και με τον συνολικό παραπάνω συλλογισμό απέφυγε το αδυσώπητο και προδιαγεγραμμένο πεπρωμένο. Ο Δημόκριτος φυσικά δεν είχε αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό επειδή στη δική του θεώρηση ο άπειρος σε έκταση κόσμος με την απόλυτη τυχαιότητα στην κίνηση είχε καταργήσει τις τυπικές έννοιες του «πάνω» και του «κάτω», η κίνηση ήταν εντελώς χαοτική (όπως περίπου, σε πεπερασμένο παράδειγμα η κίνηση Brown).



Καλλιτεχνικές παραστάσεις του Δημοκρίτου και του Επικούρου.

Ο **Τίτος Λουκρήτιος Κάρος**, Ρωμαίος ποιητής από τους «ελάσσονες» για τον οποίο είναι γνωστό ένα μόνο έργο ημιτελές κι αυτό, το επικού ύφους διδακτικό ποίημα De Rerum Natura, δηλαδή «περί της φύσεως των πραγμάτων». Στο έργο του αυτό αναμφίβολα παρουσιάζει όσα έχει ενστερνιστεί από τις διδαχές του Επικούρου αφού επιχειρεί να

ανατρέψει το φόβο του θανάτου από τον φίλο του στον οποίο απευθύνεται. Στο πρώτο μέρος αναφέρεται γενικά στο «είναι» και το «μη είναι», τα άτομα και την κίνησή τους, το άπειρο καθώς και τη φύση του νου και του πνεύματος τα οποία θεωρεί υλικά και ταυτισμένα με τον ον στο οποίο αναφέρονται. Στο δεύτερο μέρος δίνει μια ατομιστική περιγραφή φαινομένων που σχετίζονται με τη σκέψη, τις αισθήσεις, τις φυσικές δυνάμεις, τις καλλιέργειες κλπ. Η επίδραση του Λουκρήτιου μέσω των λατινικών του κι όχι της ποιητικής του δεινότητας είναι που έδωσε το βήμα που χρειαζόταν κάποιοι, όπως ο Pierre Gassendi στα μέσα του 17<sup>ου</sup> αιώνα για να διαρρήξουν τους ισχυρούς δεσμούς με τα Αριστοτελικά κείμενα (εφαρμοσμένα από τους κυρίαρχους σχολαστικιστές με υπόδειξη ή με υποστήριξη της εξουσίας της δυτικής ρωμαϊκής εκκλησίας).

Η συμμετοχή της παπικής εκκλησίας στη διατήρηση ή απόρριψη αρχαίων ελληνικών κειμένων, σύμφωνα με τη συμφωνία τους ή όχι με τις αντιλήψεις της στήριξε μια μεγάλη σειρά από ερευνητές οι οποίοι επιτίθενται συλλήβδην στην «ελληνική επιστήμη» και βρίσκουν την ευκαιρία να τη διακρίνουν από τη «σύγχρονη επιστήμη». Με την έννοια αυτή, προσκολλώνται στις δοξασίες του Λουκρήτιου και θεωρούν ότι η ατομική αντίληψη του Δημόκριτου είναι μεταφυσικής σημασίας και εκτός των άλλων σχετίζεται και με τους αγγέλους! Αυτό είναι εντελώς αβάσιμο, είναι εφεύρημα των μεσαιωνικών δυτικών πατέρων για να αποδώσουν κάποιο έργο στους αγγέλους στη σύγχρονη εποχή, οπότε τους «τοποθέτησαν» δίκην ποντικών να περιστρέφουν τις αόρατες κρυστάλλινες σφαίρες στις οποίες ήταν τοποθετημένοι οι πλανήτες! Στηριζόμενοι ωστόσο στα παραπάνω αυθαίρετα αρχικά στοιχεία προσέγγισης, οι περισσότεροι αγγλοσάξωνες επιστήμονες είναι πολύ ευχαριστημένοι με τους δικούς τους πρόσφατους προγόνους οι οποίοι υποστήριξαν την ύπαρξη ατόμων με τη μορφή φυσικών οντοτήτων που έπρεπε να έχουν σχήμα, μέγεθος και κίνηση. Τα άτομα πάντως για τους όψιμους ατομιστές του 17<sup>ου</sup> αιώνα είναι, όπως και για το Δημόκριτο αυτό που θα χαρακτηρίζαμε σήμερα ως «το φυσικό τέλος της χημικής ανάλυσης ενός σώματος».

### 3. Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων

Η θεωρία του Αριστοτέλη σχετικά με τα ελάχιστα σωματίδια αναπτύχθηκε από τον Άραβα φιλόσοφο Averroes (1126-1198). Υπάρχει ένα κενό 5- 6 αιώνων μεταξύ του τελευταίου Έλληνα φιλόσοφου υποστηρικτή της απλούστερης θεωρίας (Simplicius) και του Averroes. Δεν είναι γνωστό πως εξελίχθηκε η θεωρία περί ατομισμού κατά την διάρκεια των αιώνων αυτών αλλά το γεγονός αυτό δεν προκάλεσε αξιόλογο κενό στην ιστορία του ατομισμού καθώς η θεωρία του Averroes συνδέεται στενά με αυτήν των απλούστερων μονιστικών θεωριών.

Από τα κείμενα του γίνεται φανερό ότι υποστηρίζει τη θεωρία των φυσικών ελαχίστων και με βάση αυτή προσπαθεί να εξηγήσει οποιοδήποτε φυσικό πρόβλημα. Πολλές από τις προτάσεις του αποτέλεσαν την αρχή της ανάπτυξης της θεωρίας των φυσικών ελαχίστων στη Δύση, οπού αρχίζει να εξοικειώνεται πλέον με τη θεωρία αυτή στις αρχές του 13<sup>ου</sup> αιώνα. Ο Averroes χαρακτηριστικά αναφέρει:

Όταν μετακινούμε ένα κομμάτι φωτιάς και η πράξη αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς, φτάνουμε σε ένα σημείο όπου η παραπέρα κατάτμηση θα οδηγήσει στο σβήσιμο της φωτιάς, διότι υπάρχει ένα καθορισμένο ελάχιστο φωτιάς.

Διακρίνει τη μαθηματική από τη φυσική διαίρεση όπως άλλωστε επιτάσσει η θεωρία των φυσικών ελαχίστων:

Μία γραμμή ως γραμμή μπορεί να διαιρείται απεριόριστα. Μία τέτοια όμως διαίρεση είναι αδύνατη εφόσον η γραμμή αυτή αποτελείται από ένα γήινο υλικό. Κάθε πράξη απαιτεί μία καθορισμένη ποσότητα. Είναι αδύνατο ένα υλικό να διαιρείται ή να αυξάνεται απεριόριστα, διότι αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή του.

Ο Averroes, επίσης, παραδέχεται όχι μόνο ένα ποσοτικό αλλά και ένα ποιοτικό ελάχιστο καθώς η κάθε πράξη είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης ενός ποιοτικού και ποσοτικού ελαχίστου. Πρέπει να επισημάνουμε πως για τον Averroes το φυσικό ελάχιστο αποτελεί κάτι πολύ περισσότερο από ένα θεωρητικό περιορισμό της κατάτμησης των υλικών. Αποτελεί την φυσική πραγματικότητα.

Οι Νομιναλιστές (Nominaists) τροποποίησαν με ένα πολύ ενδιαφέροντα τρόπο τη θεωρία των φυσικών ελαχίστων. Ο Buridan στο έργο του, στο πρώτο μισό του 14<sup>ου</sup> αιώνα, αναφέρει:

Κάθε ουσία αποτελείται από μία μικρή ποσότητα η οποία δε διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτή η μικρή ποσότητα θα συνεχίσει να υπάρχει και να συμβάλλει στην δημιουργία της ύλης μέχρι την καταστροφή της.

Ο Albert of Saxony (1316-1390) συμπληρώνει τον Buridan ως εξής:

Σε ένα καθορισμένο περιβάλλον και σε ορισμένες συνθήκες μια ουσία μπορεί να υφίσταται μόνο πάνω από ένα ορισμένο ελάχιστο. Ωστόσο, αυτό το ελάχιστο εξαρτάται από το περιβάλλον και τις συνθήκες, οπότε μία ποσότητα μίας ουσίας μπορεί να είναι πολύ μικρή για να υπάρχει σε ένα περιβάλλον αλλά να είναι πολύ σταθερή σε αυτή την ποσότητα σε ένα άλλο. Δεν είναι σωστό, λοιπόν, να αναφερόμαστε σε ένα απόλυτο ελάχιστο χωρίς να καθορίζονται οι συνθήκες κάτω από τις οποίες υφίσταται.

Κατά τη διάρκεια του 16<sup>ου</sup> αιώνα ο Augustine Nifo (1453-1546) αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πώς διδάχθηκε και αναπτύχθηκε η θεωρία του Averroes ανάμεσα στους υποστηρικτές του. Ο Nifo, στα κείμενα του, αναφέρει πως κάθε πράξη απαιτεί μία καθορισμένη ποσότητα. Η ύπαρξη κάθε υλικού προϋποθέτει μία συγκεκριμένη πράξη και μία συγκεκριμένη ποσότητα. Κανένα φυσικό υλικό δε δύναται να διαιρείται απεριόριστα.

Ο Julius Caesar Scaliger (1484-1558) υποστηρίζει την θεωρία του Averroes για το φυσικά ελάχιστα καθώς παρατηρεί, σκεπτόμενος την βαθμιαία εσκαφή μίας πέτρας από σταγόνες νερού:

Κάθε μικρό κομμάτι πέτρας (το οποίο κάθε φορά απομακρύνεται) αποτελεί το ελάχιστο κομμάτι πέτρας και το πρώτο κομμάτι της σύστασης της.

Ο J. Scaliger προσπάθησε να εξηγήσει, με βάση αυτήν τη θεωρία, διάφορες φυσικές και χημικές ιδιότητες των σωμάτων όπως για παράδειγμα η πυκνότητα. Αν μεταξύ των φυσικών ελαχίστων ενός σώματος δεν υπάρχει αέρας τότε το σώμα χαρακτηρίζεται από υψηλή πυκνότητα, αν υπάρχει τότε το σώμα χαρακτηρίζεται από μικρή πυκνότητα. Επίσης, για την λεπτότητα και την τραχύτητα των σωμάτων παρατηρεί:

Ένα σώμα του οποίου το ελάχιστο είναι μικρό θα είναι λεπτό, ένα σώμα του οποίου τα ελάχιστα είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος θα είναι πιο τραχύ. Ωστόσο και στις δύο περιπτώσεις τα ελάχιστα μπορεί να βρίσκονται πολύ κοντά το ένα στο άλλο. Άρα η λεπτότητα και η τραχύτητα των σωμάτων δεν σχετίζεται με την πυκνότητα αλλά με την ομοιογένεια τους. Κάποιες ιδιότητες των σωμάτων οφείλονται στη φύση των φυσικών ελαχίστων ενώ κάποιες άλλες στον τρόπο που αυτά συνδέονται.

Τα φυσικά ελάχιστα των διαφόρων σωμάτων διαφέρουν ως προς το μέγεθός τους.

#### 4. Η Επανεμφάνιση του Ατόμου

Στερεωμένες από την αναντίρρητα μεγαλειώδη σε έμπνευση δουλειά του Σταγειρίτη φιλοσόφου, οι γνώμες του αποτέλεσαν για δύο περίπου χιλιετίες τη βασική αντίληψη περί της φύσεως των πραγμάτων, παρότι περιστασιακά γινόταν αναφορές στις ατομιστικές αντιλήψεις. Με το ξαναγέννημα της τάσης για μελέτη του φυσικού κόσμου, αρχίζουν να εμφανίζονται στοιχεία των ατομικών απόψεων, με τη μορφή θεωριών περί της διακριτότητας της ύλης. Τον 14<sup>ο</sup> αιώνα, ο Νικόλαος από την Ωτρεκούρτ και στον 15<sup>ο</sup> αιώνα ο [Νικόλαος από την Κούζα](#) αναφέρονται στη διακριτότητα της ύλης. Μαθητής του τελευταίου ήταν ο [Giordano Bruno](#), που θεωρούσε ότι

"τα έσχατα στοιχεία της φύσης είναι τα ελάχιστα (minima), ή μονάδες, που πρέπει να νοηθούν σαν ζωντανά και έμψυχα. Η μεταξύ τους συνάφεια συντελείται με την ενέργεια της θεϊκής δύναμης που διαπλάθει τις άπειρες μορφές του κόσμου"

Ο Bruno κήκε στα 1600 από την [Ιερά Εξέταση](#), όχι ακριβώς για τις παραπάνω απόψεις του, αλλά κυρίως για τις συναρτημένες μ' αυτές, πανθειστικές αντιλήψεις του καθώς υποστήριζε όπως και κάποιοι Έλληνες φυσικοί φιλόσοφοι ότι ο ήλιος είναι ένα αστέρι ανάμεσα σε πολλά και κατά συνέπεια υπάρχουν άπειροι κόσμοι σαν το δικό μας κατοικημένοι από έλλογα όντα. Στα μέσα του 17<sup>ου</sup> αιώνα, ο Γάλλος Gassendi ([Pierre Gassendi](#), 1592-1655) κυριολεκτικά "ανακαλύπτει" τον Επίκουρο μέσα από σχετικά κείμενα του Διογένη του Λάερτιου και αποδίδει ειδικότερη σημασία στη μάζα των ατόμων. Για να τονίσει το μικρό τους μέγεθος, χρησιμοποιεί για τον ορισμό τους τον όρο molecula, υποκοριστικό του mole και ισοδύναμο του όρου μάζα. Ο [Boyle](#) (Robert Boyle, 1627-1691), σίγουρα επηρεάστηκε από τα κείμενα του Gassendi και εν μέρει ίσως οδηγήθηκε από αυτά στις μελέτες του για τα αέρια που απέδωσαν, εκτός των άλλων, και το γνωστό νόμο που φέρει το όνομά του. Στο μνημειώδες έργο του The Sceptical Chymist (1661), ο Boyle υποστηρίζει πως:

"φαίνεται λογικό να θεωρηθεί, όπως εγώ θεώρησα, ότι τα στοιχεία αποτελούνταν αρχικά από συγκεκριμένα μικρά και πρωταρχικά συγκροτήματα, από τα ελάχιστα σωματίδια της ύλης, σε άπειρα διακριτά τεμάχια, εντελώς όμοια μεταξύ τους, ώστε δεν φαίνεται γελοίο να υποτεθεί ότι παρόμοια πρωταρχικά συγκροτήματα μπορεί να είναι πολύ περισσότερα από τέσσερα ή πέντε".

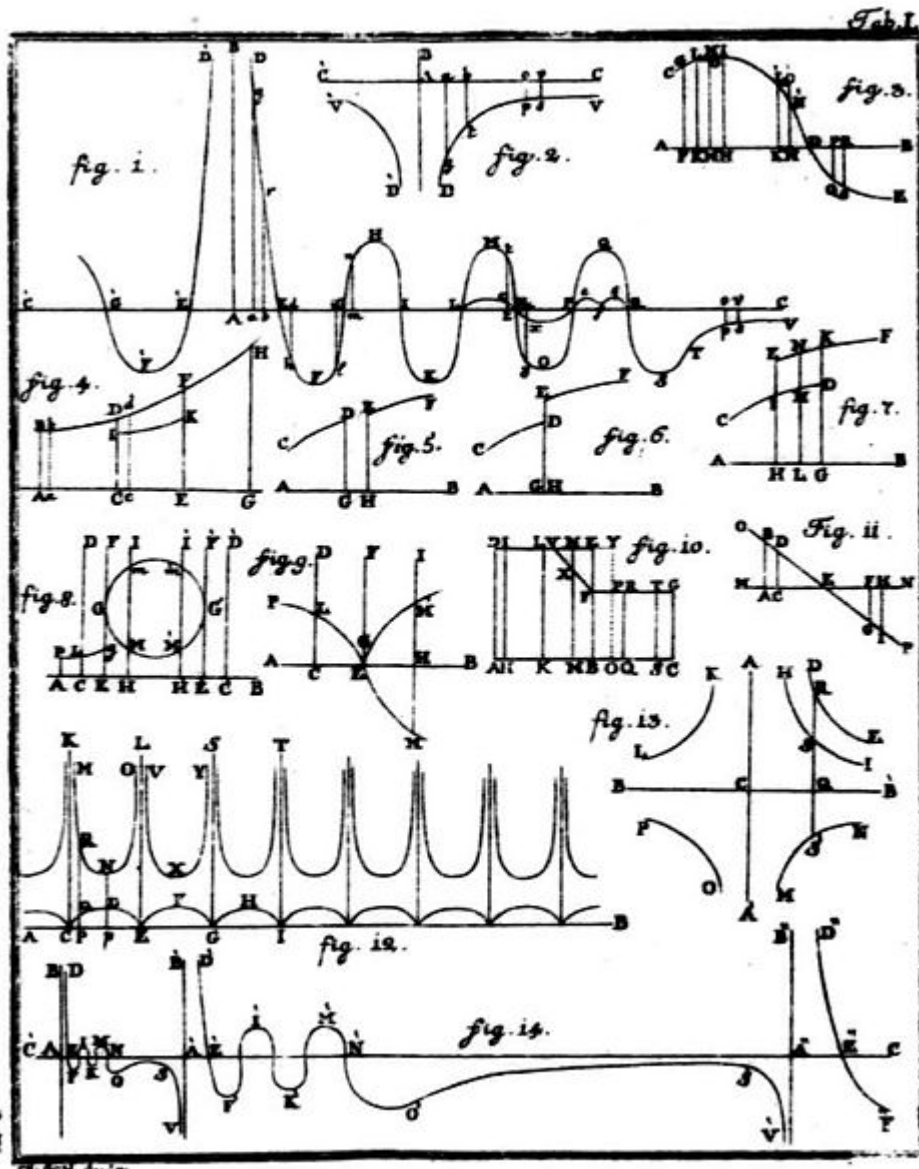


### Απεικονίσεις των Νικόλαου Κουζάνου, Giordano Bruno και Pierre Gassendi

Ο Boyle, επηρεασμένος από τη μηχανική του Newton επιθυμούσε την επέκτασή της στο χώρο της «νεοσύστατης» χημείας. Με την έννοια αυτή απέδωσε σταθερή μορφή και σχήμα σε κάθε άτομο, θεωρώντας το συμπαγές και αδιαπέραστο και θεώρησε ότι μόνο η κίνησή του ήταν μεταβλητή. Και πάλι η διαμάχη μεταξύ των επιστημόνων όσον αφορά την ύπαρξη κενού γύρω από τα άτομα, δεν επέτρεψε την ολοκληρωτική εφαρμογή των ατομιστικών αντιλήψεων του Boyle. Πάντως και οι ατομιστές του 17<sup>ου</sup> αιώνα προσπαθούσαν να ανάγουν τις μακροσκοπικές ιδιότητες των σωμάτων σε μερικές βασικές ιδιότητες που θάπρεπε να φέρουν τα άτομα, όπως κι ο Αριστοτέλης που πολεμούσαν, ανήγαγε όλα τα φυσικά φαινόμενα σε μεταβολές των αναλογιών και των σχετικών θέσεων των τεσσάρων βασικών στοιχείων.

Μια εναλλακτική ατομιστική θεωρία της περιόδου αυτής είναι αυτή των «φυσικών ελαχίστων». Αυτά είναι τα απειροελάχιστα υλικά σώματα στα οποία καταλήγει η διαδοχική κατάτμηση ενός σώματος τα οποία δεν επιδέχονται πλέον κατάτμηση αλλά μπορούν ως φυσικά ελάχιστα να αναμιγνύονται μεταξύ τους δημιουργώντας νέα φυσικά ελάχιστα, των νέων σωμάτων. Ξεκινώντας από τον Αριστοτέλη και την αντίληψή του για τα κράματα, η ιδέα αυτή είναι σχετική με την ατομική θεωρία αλλά προβλέπει π.χ. τη συμβολή ενός ελαχίστου χαλκού κι ενός κασσιτέρου για τη δημιουργία ενός νέου ελαχίστου, του μπρούτζου. Τα ελάχιστα αυτά σωματίδια του μπρούτζου είναι τώρα αδιαίρετα αλλά δίνουν στο υλικό τις μακροσκοπικές του ιδιότητες.





Το πρώτο από τα σχεδιαγράμματα στο έργο του Boskovic όπου φαίνονται οι εκτιμήσεις του για τις ελκτικές και απωστικές δυνάμεις μεταξύ των στοιχειωδών σωματιδίων της θεωρίας του. Οι θετικές τιμές αντιστοιχούν σε απώσεις.

Οι μακροσκοπικές ιδιότητες και κυρίως η ελαστικότητα έδωσαν την ευκαιρία για τη διατύπωση, σε συμφωνία με τη μηχανική του Newton κάποιων ακραίων αντιλήψεων για τα άτομα. Ο Boskovic (Ruder Josip Bošković, 1711-1787) για παράδειγμα θεωρούσε τα άτομα ως σημεία αλλά με μάζα που δεν είναι παρά πηγή ισχυρών δυνάμεων έλξης ή άπωσης. Η έλξη και η άπωση μεταξύ των ατόμων αυτών εναλλάσσονται διαδοχικά μέχρις ότου, σε μακροσκοπική κλίμακα παρατηρείται η εφαρμογή του νόμου του Newton για τη δράση των μαζών. Δεν είναι απολύτως σαφές το ατομικό πρότυπο του Boskovic, φαίνεται όμως ότι δεχόταν πως τα ελάχιστα σωματίδια που κατά το Δημόκριτο θα αποτελούσαν τα άτομα πρέπει να έχουν εσωτερική δομή, δηλαδή να αποτελούνται από άλλα μικρότερα σωματίδια κι

εκείνα από άλλα ακόμη μικρότερα και τελικά να έχουμε ένα σύνολο από πραγματικά άτομα για τα οποία η φυσική ύπαρξη είναι προβληματική όσον αφορά τη θεωρία αυτή, αφού θάπρεπε να είναι ιδεατά σημεία με την Ευκλείδεια έννοια του όρου.

Ο ίδιος ο Newton έδειξε πως ένα σύνολο από άτομα αερίου με την εφαρμογή των μεταξύ τους μηχανικών αλληλεπιδράσεων θα υπάκουε στο γνωστό νόμο του Boyle για την πίεση των αερίων. Είναι εντυπωσιακό ένα γεγονός ακόμη, ότι δηλαδή κάποιος επιστήμονας, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση ο Boscovich είχε κάποιου είδους «ενόραση» σχετικά με την φυσική πραγματικότητα και διατύπωσε μια γνώμη που δεν ήταν τίποτε άλλο παρά μια δική του προσωπική πεποίθηση, χωρίς να έχει τα μέσα να την αποδείξει πλήρως ούτε και με βάση τις τρέχουσες θεωρίες του καιρού του. Στην τρέχουσα χρονική στιγμή, το πιο κοντινό ανάλογο προς την υπόθεση του Boscovich είναι η διάταξη ενός κρυστάλλου και το σύνολο των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων που δέχεται (και αντίστροφα, που εφαρμόζει) ένα μεμονωμένο ιόν στον κρύσταλλο όπου με διαδοχικούς όρους μιας σειράς Taylor προσεγγίζεται η σταθερά Mandelung του κρυστάλλου.



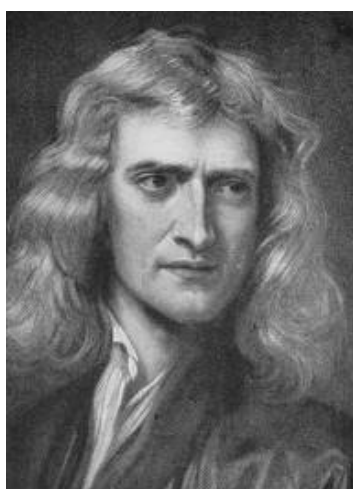
Απεικονίσεις των Ruder Bošković και Robert Boyle.

Ανάλογη πορεία ακολουθεί και ο [Newton](#) (Isaac Newton, 1642-1727). Αναφορές στις αντιλήψεις του περί διακριτότητας της ύλης αναφέρονται στο έργο του Opticks που είδε το φως της δημοσιότητας, ολοκληρωμένο, το 1704. Στην ακριβώς επόμενη γενιά ανήκει ο Ρώσος [Lomonosov](#) (Mikhail Lomonosov, 1711-1765), ο οποίος, σε ένα έργο του αναφέρει ότι ο διάφορος βαθμός συμπύκνωσης των σωμάτων εξηγείται από το διάφορο βαθμό σύνδεσης των σωματιδίων που αποτελούν τα σώματα αυτά. Ο Lomonosov δεν δημοσίευσε εκτενώς στα λατινικά και για το λόγο αυτό οι αντιλήψεις του, ομολογουμένως προχωρημένες για την εποχή του, δεν επηρέασαν την επιστήμη που ανθούσε κυρίως στη Δυτική Ευρώπη. Το παραπάνω έργο, γραμμένο 1739, δημοσιεύτηκε στα Αγγλικά το 1934!

Μέχρι τα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα, δεν υπήρχε διάκριση μεταξύ μιγμάτων και καθορισμένων σωμάτων. Η διάλυση π.χ., του χαλκού στο νιτρικό οξύ αντιμετωπιζόταν σαν μια διάνοιξη των "συγκροτημάτων" του χαλκού από τα "αιχμηρά" συγκροτήματα του οξέος. Η αναγκαία ποσότητα του οξέος που απαιτούνταν για τη διάλυση ορισμένης ποσότητας χαλκού, δεν φαινόταν να απασχολεί κανένα, επειδή η ακριβής μέτρηση δεν θεωρούνταν αναγκαία για την εκτέλεση και κυρίως την αποτίμηση ενός χημικού πειράματος. Ακόμη και ο [Lavoisier](#) (Antoine Laurent Lavoisier, 1743-1794), ο θεωρούμενος ως πατέρας της σύγχρονης χημικής επιστήμης, δεν ήταν σε θέση να κάνει την παραπάνω διάκριση, όπως φαίνεται και στο μνημειώδες έργο του *Traite Elementaire de Chimie* (1789), όπου αναφέρει ότι:

"ο ατμοσφαιρικός αέρας συνίσταται από δύο ελαστικά ρευστά που έχουν διάφορη, δηλαδή κατά κάποιο τρόπο αντίθετη συμπεριφορά"

Τον όρο, "συνίσταται", χρησιμοποιεί σε άλλο σημείο του ίδιου έργου για το νερό, το οποίο και είχε ήδη αποδειχθεί ότι ήταν σύνθετο αλλά καθορισμένης σύστασης σώμα, σε αντίθεση με τον αέρα, που ήταν γνωστό μίγμα αφού με σχετικά απλό τρόπο επιτυγχάνονταν ο φυσικός διαχωρισμός των συστατικών του.



Απεικονίσεις των Isaac Newton και Mikhail Lomonosov

Οι ατομιστικές αντιλήψεις του Newton επηρέασαν τους χημικούς της επόμενης περιόδου, ωστόσο στον 18<sup>ο</sup> αιώνα οι ιδέες αυτές περισσότερο αναφερόταν στη θεωρητική αντιμετώπιση της χημείας και των ιδιοτήτων των στοιχείων παρά σε κάτι πρακτικό αφού οι γνωστές χημικές μέθοδοι συνέχισαν να χρησιμοποιούνται με τον ίδιο όπως πριν τρόπο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η συντήρηση και διάδοση των παλιών αντιλήψεων περί συγγένειας των οποίων η ορολογία εξακολουθεί και χρησιμοποιείται ως τις μέρες μας. Η



ήταν να διερευνήσουν τις χημικές αντιδράσεις και να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματά τους. Με την έννοια αυτή και καθώς ήταν αποδέκτες της γνώμης του Boyle περί του βασικού και αδιαίρετου χαρακτήρα των ατόμων, προφανώς δεν επρόκειτο να ασχοληθούν συγκεκριμένα με το άτομο καθαυτό παρά μόνο με τις ιδιότητές του στην πορεία χημικών αντιδράσεων. Συνεπώς η νέα εκκίνηση της ατομικής θεωρίας έπρεπε να περιμένει τη συγκέντρωση αποτελεσμάτων και την εμφάνιση νέων ερευνητών με νέες κατευθύνσεις στην έρευνά τους.

## 5. Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας.

Το άτομο επανήλθε στην επιστημονική ορολογία σαν οντότητα, στην αρχή του 18<sup>ου</sup> αιώνα, με την ατομική θεωρία του [John Dalton](#) (1766-1844). Ακόμη και σήμερα, ο ορισμός που διδάσκεται στα σχολεία της μέσης εκπαίδευσης, είναι εκείνος που αναφέρεται από τον Dalton το 1808.

"Διάλεξα τη λέξη άτομο για να αποδώσει τα ελάχιστα σωματίδια, αντί για τις αντίστοιχες λέξεις σωματίδιο, μόριο ή οτιδήποτε άλλο, επειδή πιστεύω πως αυτή είναι πιο εκφραστική, αφού εμπεριέχει την έννοια της αδιαιρετότητας την οποία οι άλλες δεν εμπεριέχουν. Μπορεί να φανεί ότι επεκτείνω αρκετά τον ορισμό όταν μιλάω για σύνθετα άτομα. Ονομάζω το στοιχειώδες σωματίδιο του ανθρακικού οξέος ως σύνθετο άτομο. Αυτό το άτομο, μπορεί φυσικά να διαιρεθεί, αλλά τότε παύει να είναι πλέον άτομο ανθρακικού οξέος, αφού έχει αναλυθεί σε άνθρακα και οξυγόνο. Με την έννοια αυτή θεωρώ ότι δεν υπάρχει ανακολουθία όταν αναφέρομαι σε σύνθετα άτομα και αυτό που εννοώ γίνεται σαφές."

Δεν είναι φανερό από τον ορισμό αυτό, όπως και από τα υπόλοιπα κείμενα του, αν ο Dalton αντιμετώπιζε τα απλά άτομα σαν αδιαίρετα, δηλαδή σαν το φυσικό τέλος της διαδικασίας ανάλυσης της ύλης. Φαίνεται ωστόσο πως η διαίρεση παραπέρα, σε "τεμάχια" που να μην έχουν πια τις χημικές ιδιότητες των αντίστοιχων στοιχείων, δεν αντιβαίνει κατά κανένα τρόπο στη διατύπωση των απόψεών του γι' αυτά. Είναι πάντως αντιληπτό ότι θεωρούσε πως κάθε στοιχείο είχε ένα συγκεκριμένο είδος ατόμου διαφορετικό από τα άτομα κάθε άλλου στοιχείου. Αυτό σήμαινε ότι για τα περίπου 40 γνωστά τότε στοιχεία έπρεπε να υπάρχουν 40 διαφορετικά άτομα ως βασικά συστατικά σ' όλα τα σώματα. Τέλος, τα μόρια τα χαρακτήριζε επίσης άτομα αλλά τα ονόμασε «σύνθετα άτομα» compound atoms, όρος που έχει παραμείνει ως σήμερα όπου όλοι αναφερόμαστε στις χημικές ενώσεις με τον όρο compounds.

Ένα από τα προβλήματα που ο ίδιος ο Dalton δημιούργησε ήταν η αναμενόμενη μεν πλην απλουστευτική θέση πως δύο στοιχεία, A και B, που αλληλεπιδρούν θα σχηματίσουν κατ' ανάγκην την ένωση A-B ενώ έπρεπε να έχει στη διάθεσή του πολλά δεδομένα για να συνηγορήσει στη δυνατότητα σχηματισμού μιας «τριμερούς» ή ανώτερης τάξης ένωσης, όπως π.χ. A<sub>2</sub>B ή AB<sub>2</sub>. Έτσι, για τον Dalton τα γνωστά μας μόρια του νερού και της αμμωνίας θα είχαν τον συμβολισμό OH και NH αντίστοιχα. Παρόλα αυτά ο Dalton ήταν ο πρώτος που πρότεινε μια μεθοδολογία με βάση την οποία μπορούσε να προσεγγιστεί ο μικρόκοσμος.



Αφού πρότεινε την κλίμακα σχετικών βαρών των στοιχείων, προφανώς παρέκαμπε την ανάγκη να επιχειρεί μια απευθείας μέτρηση της εξαιρετικά μικρής μάζας του κάθε ατόμου αλλά μπορούσε να υπολογίσει, με βάση μακροσκοπικά αναλυτικά δεδομένα, τον λόγο των μαζών των στοιχείων σε κάθε ένωση. Με βάση την προηγούμενη παρατήρηση, γίνεται αντιληπτό ότι η κλίμακα ατομικών βαρών που εισηγήθηκε είναι εσφαλμένη με τα σημερινά δεδομένα, η όλη όμως σύλληψη συνετέλεσε πολύ στην ανάπτυξη της επιστήμης της Χημείας. Με βάση λοιπόν αναλυτικά δεδομένα του Gay-Lussac για το νερό, και γνωρίζοντας ότι κατά μέσον όρο αυτά έδιναν εκατοστιαία αναλογία οξυγόνου και υδρογόνου 84,7% και 12,6% και θεωρώντας ως μονάδα τη σχετική μάζα του ελαφρύτερου των ατόμων, του υδρογόνου, πρότεινε ως σχετικό ατομικό βάρος για το οξυγόνο το 7. Τα δεδομένα του μεταβαλλόταν με τον χρόνο όπως μεταβαλλόταν και τα σχετικά αναλυτικά δεδομένα και σε διάφορες χρονικές στιγμές παρουσίασε διάφορους πίνακες σχετικών βαρών τα οποία είναι εμφανές πως είχε την τάση να τα «στρογγυλέψει» κατά το δυνατόν. Ένα μικρό δείγμα από τα δεδομένα αυτά παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Στοιχείο	Έτος		
	1803	1808	1810
H	1	1	1
N	4,2	5	5
C	4,3	5	5,4
O	5,5	7	7
P	7,2	9	9
S	14,4	13	13
Fe		38	50
Zn		56	56
Cu		56	56
Pb		95	95

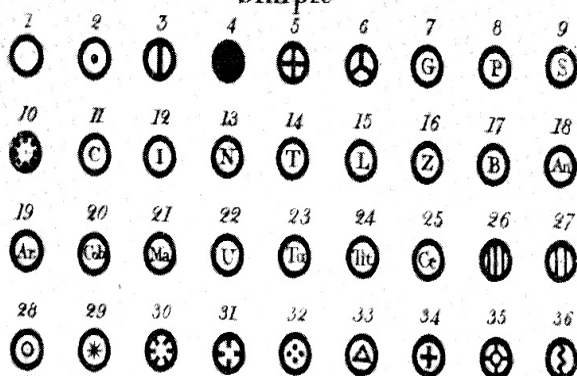
Ένα ακόμη βήμα της ατομικής θεωρίας του Dalton ήταν η αντίληψη περί της αφθαρσίας των ατόμων τα οποία μεταφερόταν από ένωση σε ένωση κατά την πορεία των αντιδράσεων και με την έννοια αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι η πρότασή του αποτελεί ένα πρόδρομο της διατύπωσης της χημικής εξίσωσης για μια αντίδραση.

Εκείνο που δυσκόλευε την όλη διαδικασία ήταν το αλχημιστικό κατάλοιπο του συμβολισμού των ατόμων. Ο Dalton δεν πρότεινε κάτι απλό που θα βοηθούσε την προσέγγιση της ατομικής του θεωρίας από πολλούς, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα ο κάθε κύκλος περιείχε ένα είδος διαγράμμισης που δεν βοηθούσε στην απομνημόνευση ούτε στη διάδοση των χημικών αντιδράσεων.

# ELEMENTS.

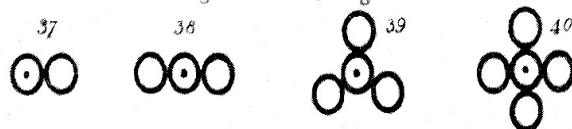
Plate. 5

## Simple

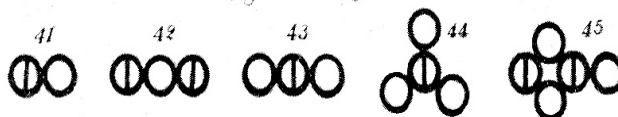


## Compound

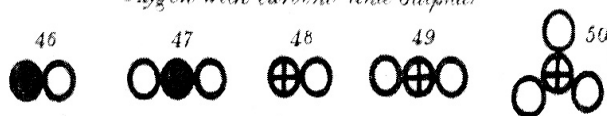
Oxygen with Hydrogen



Oxygen with Azote



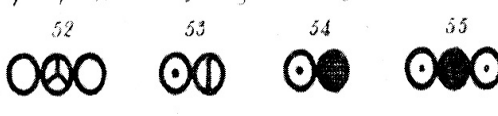
Oxygen with Carbone and Sulphur



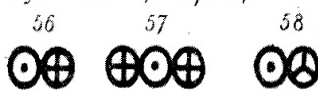
Oxygen with phosph.



Hydrogen with azote & Carbone



Hyd. with Sulph. & phosph



Sulphur with phosph



Αντίγραφο από το έργο του Ντάλτον, όπου παριστάνονται σχηματικά τα άτομα ορισμένων στοιχείων και τα μόριαμερικών ενώσεων, όπως αυτό ανατυπώθηκε και παρουσιάστηκε στο P.M. Harman, "Energy, Force and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth Century Physics", Cambridge University Press, 1980.

Φυσικά μερικά σημεία ήταν σχετικά απλό να προσεγγιστούν από τον Dalton αφού ήδη αποτελούσαν κεντρικό και αναμφισβήτητο κομμάτι της χημικής γνώσης από την εποχή του Lavoisier. Ήταν δηλαδή κατανοητό ότι οι χημικές ενώσεις αποτελούνταν από συνδυασμούς χημικών στοιχείων, τα οποία ήταν αδύνατο να διασπαστούν παραπέρα σε απλούστερα



συστατικά. Επίσης η αρχή της αφθαρσίας υπεδείκνυε ότι τα βάρη των στοιχείων μεταφέρονταν αυτούσια από ένωση σε ένωση κατά την πορεία των χημικών αντιδράσεων. Ο ίδιος ο Dalton είχε εργαστεί και είχε δώσει θετικά αποτελέσματα στον τομέα αυτό με τις παρατηρήσεις του πάνω στη σύσταση των χημικών ενώσεων που είναι γνωστές με τη μορφή του νόμου των σταθερών αναλογιών. Προφανώς κι εκεί είχε προηγηθεί η εξαιρετική αποδεικτική δουλειά του Proust που είχε καταδείξει ότι τα βάρη με τα οποία τα χημικά στοιχεία συμμετείχαν σε μια ένωση ήταν ανεξάρτητα της φυσικής κατάστασης της ένωσης ή των εξωτερικών συνθηκών κατά την ώρα της μέτρησης καθώς και ανεξάρτητα από την πειραματική διαδικασία παρασκευής της ένωσης. Στηριγμένος στα παραπάνω μπόρεσε ο Berzelius να προχωρήσει στην απεικόνιση της ατομικής θεωρίας του Dalton με τη συμβολική μορφή των χημικών τύπων των ενώσεων. Σημαντικό στοιχείο της θεωρίας ήταν η δυνατότητα για σχετικά ακριβείς προβλέψεις με βάση τους σχετικούς νόμους που προαναφέρθηκαν σχετικά με τη σύσταση των ενώσεων. Για παράδειγμα, ο λεγόμενος νόμος των πολλαπλών αναλογιών όπως προτάθηκε από τον Dalton και επιβεβαιώθηκε πειραματικά προτείνει πως αν δυο στοιχεία A και B ενώνονται με ένα στοιχείο Γ και σχηματίζουν ενώσεις στις οποίες τα βάρη τους είναι  $\chi$  και  $\psi$  ως προς το ίδιο βάρος του Γ, τότε αν ενωθούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένωση, ο λόγος των βαρών τους στην ένωση αυτή θα είναι  $\chi/\psi$ . Κατ'αντιστοιχία αλλά χωρίς τη βαρύτητα της παραπάνω πρότασης, υπήρξε η πειραματική επιβεβαίωση από τον Gay-Lussac ότι η ένωση αερίων για σχηματισμό ενώσεων πραγματοποιείται με όγκους που έχουν μεταξύ τους αναλογία ακεραίων αριθμών. Φυσικά την εποχή εκείνη πολύ λίγα ήταν τα γνωστά και χαρακτηρισμένα αέρια και για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη πρόταση δεν είχε ευρεία εφαρμογή.

Στο Jons Jakob Berzelius (1770-1848) οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, ο καθορισμός των συμβόλων των ατόμων με τη μορφή που είναι γνωστά σήμερα, ιδιαίτερα η πρόταση για χρήση και δεύτερου γράμματος, εφόσον ορισμένα στοιχεία είχαν το αυτό αρχικό. (π.χ. C= Carbon, Cl= Chlorine, Cs= Caesium, Cr= chromium κλπ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο άνθρακας, λόγω της αρχαιότητάς του ή λόγω της εκτεταμένης συμμετοχής ενώσεών του στον έμβιο κόσμο διατήρησε το προνόμιο του μοναδικού αρχικού γράμματος). Αυτός όμως είχε την τάση να συμβολίζει τα άτομα οξυγόνου ως τελείες δίπλα στα άτομα με τα οποία το οξυγόνο σχημάτιζε ένωση, ενώ για να δηλώσει την παρουσία δύο ή περισσότερων ατόμων A σε μια ένωση χρησιμοποιούσε ένα σύνθετο σύμβολο με μια ή περισσότερες οριζόντιες γραμμές να διαπερνούν το σύμβολο του A. Έτσι, το μόριο  $\text{H}_2\text{O}$  για παράδειγμα το συμβολίζει ως  $\overset{\cdot}{\text{H}}$ . Ωστόσο πρότεινε την κατά σειρά καταγραφή των διαφορετικών ατόμων (εκτός του οξυγόνου όπως προαναφέρθηκε) για κάθε ένωση, κάτι που είχε γίνει γενικά αποδεκτό μέχρι

τα 1830 και έμενε μόνο στον Liebig (Justus von Liebig, 1803 –1873) να προτείνει στα 1834 ως μια απλούστευση, τον συμβολισμό με αριθμητικό δείκτη δίπλα στο σύμβολο κάθε στοιχείου τον αριθμό των ατόμων του στο κάθε μόριο, δίνοντας στη χημεία την τελική γλώσσα για την έκφρασή της.

Ο Liebig πάντως ευθύνεται, ως ένα βαθμό με τις πρωτοποριακές του μελέτες, για μια περιστασιακή καθυστέρηση στην αποδοχή της ατομικής θεωρίας, που συνδέεται με το φαινόμενο της ισομέρειας. Στα 1824 παρουσίασε τις παρατηρήσεις του πάνω στα άλατα του άγνωστου τότε φουλμινικού οξέος (HCNO) ενώ ταυτόχρονα ο Wöler εμφάνιζε τα δικά του αποτελέσματα πάνω σε μια επίσης κατηγορία αλάτων, του αγνώστου επίσης ισοκυανικού οξέος (HNCO). Η προφανής ταύτιση των αποτελεσμάτων των στοιχειακών αναλύσεων για τις δύο κατηγορίες ενώσεων δημιουργούσε πρόβλημα αξιοπιστίας του ενός από τους δύο, αφού οι ενώσεις είχαν κάποιες διαφοροποιήσεις στη χημική τους συμπεριφορά. Μετά από επανειλημμένες συναντήσεις και συζητήσεις μεταξύ των δύο και μετά από εμπεριστατωμένη ανάλυση των στοιχείων από τον Berzelius, ο τελευταίος διατύπωσε στα 1831 την άποψη πως μπορεί να υπάρχουν ισομερείς ενώσεις, δηλαδή ενώσεις που να έχουν την ίδια στοιχειομετρία αλλά διαφορετικές ιδιότητες, επειδή οι τελευταίες οφείλονται όχι στον αριθμό αλλά στη σχετική διάταξη των ατόμων μέσα στο κάθε μόριο. Για τον Berzelius αυτή ήταν μια ευκαιρία να επεκτείνει τη διστακτική του θεωρία πέρα από τις τυπικά ανόργανες ενώσεις και σ' όλο το φάσμα των οργανικών, αποδεχόμενος ότι στο μοντέλο των ενώσεων που εισηγούνταν, μπορούσαν να συμμετέχουν περισσότερα από δύο είδη ατόμων.



Απεικονίσεις των John Dalton, Jöns Jacob Berzelius και Justus von Liebig.

Η αρχική θέση του Dalton όσον αφορά την ατομική θεωρία του είναι πως αποτελούσε το αντίστοιχο της μηχανικής του Newton στη Χημεία. Συνεπώς, όπως ο Newton με τους νόμους

της έλξης είχε δώσει το θεωρητικό υπόβαθρο στους εμπειρικούς νόμους του Keppler για την κίνηση των πλανητών έτσι και η ατομική θεωρία έλυσε το αίνιγμα της ύπαρξης των διάφορων νόμων που πρόσφατα είχαν προταθεί σχετικά με τη σύσταση των χημικών ενώσεων. Προχωρώντας λίγο περισσότερο ο Berzelius πρότεινε ένα ιδιότυπο ατομιστικό σχήμα για να περιγράψει τη χημεία του καιρού του. Στο σχήμα αυτό η ατομική θεωρία ήταν κεντρική όχι όμως και οι διάφορες ιδιότητες του ατόμου πέρα από το βάρος του. Ο Berzelius έμεινε στην απεικόνιση των χημικών ενώσεων με τύπους, στους οποίους η παρουσία ενός στοιχείου σήμαινε την παρουσία συγκεκριμένου βάρους του και οι διάφοροι συνελεστές ή τα αντίστοιχα σύμβολα είχαν την έννοια της πολλαπλότητας ενός βασικού στοιχειώδους βάρους του στοιχείου αυτού. Στη βάση αυτή δημιούργησε τη δυστική θεωρία του κατά την οποία όλα τα σώματα μπορούν να αποδοθούν με τη μορφή  $A^+B^-$ , όπου A και B δύο κατάλληλα τμήματα του συνολικού σώματος που περιγράφεται ως AB. Η ύπαρξη του σώματος AB αποδίδεται στις ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ των δύο αντίθετα φορτισμένων τμημάτων του. Έτσι, για παράδειγμα ο θεϊκός χαλκός περιγράφεται ως  $CuO + SO_3$  και παραπέρα υπάρχει μια εξέλιξη πολύ σημαντική για την εξέλιξη της σύγχρονης Χημείας. Ο Berzelius θεωρεί ότι στο θετικό κομμάτι της ένωσης ο θεϊκός χαλκός συνδέεται με το αρνητικό οξυγόνο, αλλά με τρόπο ώστε το σύνολό τους παραμένει ελαφρώς ηλεκτροθετικό, κάτι που το κάνει ικανό να συνδυαστεί παραπέρα με το ηλεκτραρνητικό κομμάτι  $SO_3$ . Με τον τρόπο αυτό γίνεται η εισαγωγή στην εποχή της χρήσης των χημικών τύπων και συγκεκριμένα, στη θεωρία των χημικών ριζών.

Στη συνέχεια, τη σημαντικότερη προσφορά στον τομέα της θεώρησης του ατόμου και μέσα από αυτό, ολόκληρης της φυσικής επιστήμης, πραγματοποιεί ο Mendeleev (Dmitri Ivanovich Mendeleev 1834-1907) που πρότεινε, στα 1867, τη συστηματική κατάταξη των διαφόρων στοιχείων με ορισμένη σειρά, σε οριζόντιες σειρές, με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργούνται κατακόρυφες στήλες που να περιέχουν στοιχεία με παρόμοιες χημικές ιδιότητες. Παρόμοιες προσπάθειες, προϋπήρξαν, αυτή ήταν όμως η πιο συστηματική, πλήρης όσον αφορά τα υπάρχοντα τότε γνωστά στοιχεία και, κυρίως, δυναμική εφόσον "επέτρεπε" την ανακάλυψη νέων στοιχείων, για μερικά από τα οποία πρόέβλεψε με ακρίβεια ορισμένες φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Για την ακρίβεια, οι ιδιότητες ορισμένων στοιχείων που ήταν τότε άγνωστα, προτάθηκαν με βάση τις υποτιθέμενες ενδιάμεσες τιμές που έπρεπε να έχουν σε σχέση με τα γειτονικά τους στον πίνακα στοιχεία. Πράγματι, σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα οι προτάσεις αυτές επαληθεύτηκαν για τα στοιχεία που ακολουθούσαν το Αργίλιο και το Πυρίτιο στις ομάδες 13 και 14 του σύγχρονου πίνακα, όπως αυτές αναφέρονται από την IUPAC.

Ιδιότητα	εκα-Αργίλιο	Γάλλιο	εκα-Πυρίτιο	Γερμάνιο
Ατ. βάρος	68	69,7	72	72,59
Χρώμα	γκρι	γκριζόλευκο	γκρι	γκριζόλευκο
Πυκνότητα (g mL <sup>-1</sup> )	-	-	5,5	5,47
Επίδραση οξέων	διαλυτό	διαλυτό	καμιά	καμιά
Τύπος οξειδίου	E <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub>	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	EkO <sub>2</sub>	GeO <sub>2</sub>
Τύπος χλωριδίου	ECl <sub>3</sub>	GaCl <sub>3</sub>	EkCl <sub>4</sub>	GeCl <sub>4</sub>

Αυτός ο πίνακας περιοδικότητας των στοιχείων, με ελάχιστες τροποποιήσεις και, φυσικά, με τις προσθήκες των νέων στοιχείων, είναι ο χρησιμοποιούμενος μέχρι και σήμερα.

			<i>Zi=50</i>	<i>Zz=90</i>	<i>Z=160.</i>
			<i>V=57</i>	<i>Nb=94</i>	<i>Za=182</i>
			<i>Cr=52</i>	<i>Mo=96</i>	<i>W=186.</i>
			<i>Mn=55</i>	<i>Rh=104,4</i>	<i>Pb=207,4.</i>
			<i>Fe=56</i>	<i>Ru=101,4</i>	<i>Zr=189.</i>
			<i>Ni=6=58.</i>	<i>Pd=105,6</i>	<i>Os=199.</i>
				<i>Ag=108.</i>	<i>Hg=200.</i>
<i>H=1</i>	<i>?=8</i>	<i>?=22</i>	<i>Cu=63,4</i>	<i>Au=197.</i>	<i>?</i>
	<i>Be=9,4</i>	<i>Mg=24.</i>	<i>Zn=65,2</i>	<i>Pt=195.</i>	<i>?</i>
<del><i>B=11</i></del>	<i>B=11</i>	<i>Al=27,4</i>	<i>?=68</i>	<i>Ir=192.</i>	<i>?</i>
	<i>C=12</i>	<i>Si=28</i>	<i>?=70</i>	<i>Co=58,9.</i>	<i>?</i>
	<i>N=14</i>	<i>P=31</i>	<i>As=75</i>	<i>Ni=58,7.</i>	<i>?</i>
	<i>O=16</i>	<i>S=32</i>	<i>Se=78,4</i>	<i>Fe=55,8.</i>	<i>?</i>
	<i>F=19</i>	<i>Cl=35,5</i>	<i>Br=80</i>	<i>J=127.</i>	<i>?</i>
<i>Li=7.</i>	<i>Na=23</i>	<i>K=39.</i>	<i>Rb=85,4</i>	<i>Cs=133</i>	<i>Tl=204.</i>
		<i>Ca=40</i>	<i>Sr=87,6</i>	<i>Ba=137</i>	<i>Pb=207.</i>
		<i>?=45.</i>	<i>Cd=112.</i>	<i>?</i>	<i>?</i>
		<i>?=50?</i>	<i>La=138,9.</i>	<i>?</i>	<i>?</i>
		<i>?=60?</i>	<i>Pr=140,9.</i>	<i>?</i>	<i>?</i>
		<i>?=70?</i>	<i>Sm=150,4.</i>	<i>?</i>	<i>?</i>

Τμήμα από τον πρώτο πίνακα περιοδικότητας του Mendeleev.

Η προσπάθεια του Mendeleev δεν ήταν ούτε η μόνη ούτε η πρώτη. Ήδη από το 1789 ο Lavoisier είχε δημοσιεύσει ένα πίνακα με τα 33 τότε γνωστά χημικά στοιχεία. Ωστόσο αυτός, πιστός στις σκέψεις και τους στόχους του τα κατέταξε σε ομάδες ως αέρια και γαίες ή μέταλλα και μη μέταλλα, ανάλογα δηλαδή με τη φυσική τους κατάσταση και τις βασικές χημικές τους ιδιότητες. Οποσδήποτε όμως η κατάταξη αυτή δημιούργησε τη βάση για παραπέρα μελέτη όχι μόνο για τον εντοπισμό νέων στοιχείων αλλά και για την ανίχνευση νέων τρόπων κατάταξης των στοιχείων ώστε από αυτήν να προκύπτουν περισσότερα δεδομένα για αυτά.

Το 1829 ο Johann Wolfgang Döbereiner παρατήρησε πως ορισμένα στοιχεία μπορούσαν να ομαδοποιηθούν σε τριάδες ανάλογα με τις χημικές τους ιδιότητες. Έτσι για παράδειγμα το λίθιο, το νάτριο και το κάλιο αποτελούσαν μια τριάδα από ελαφρά, μαλακά και πολύ δραστικά μέταλλα. Ακόμη, έκανε την παρατήρηση ότι στις τριάδες που είχε υπόψη του και εφόσον κατέτασσε τα στοιχεία κατά σειρά αυξανόμενου ατομικού βάρους, το μέσο στοιχείο είχε ατομικό βάρος περίπου τον μέσο όρο των ατομικών βαρών των ακραίων στοιχείων. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώθηκε και από άλλους και έγινε γνωστή ως ο κανόνας των τριάδων. Στη συνέχεια δίνεται ένα παράδειγμα με δύο από τις πιο γνωστές περιπτώσεις τριάδων με τα σύγχρονα ατομικά βάρη και για το μεσαίο στοιχείο σε παρένθεση δίνεται ο αναμενόμενος μέσος όρος από τα βάρη των ακραίων μελών της τριάδας.

Li	6,94	Na	22,99 (23,02)	K	39,10
Cl	35,45	Br	79,90 (81,18)	I	126,90

Η προφανής επιτυχία της κατάταξης αυτής έδωσε το έναυσμα για παραπέρα μελέτες και ένας από τους πιο ένθερμους μελετητές, ο Γερμανός Leopold Gmelin ήταν σε θέση, το 1843 να αναφέρει την ύπαρξη δέκα τέτοιων τριάδων στοιχείων, τριών τετράδων και ακόμη μιας ομάδας πέντε στοιχείων. Ακολούθησαν και άλλοι αλλά οι κατηγοριοποιήσεις σε μικρές ομάδες δεν έδιναν τη δυνατότητα στους χημικούς να διευρύνουν την έρευνά τους και κυρίως όσον αφορά την πρόβλεψη των ιδιοτήτων κάποιων στοιχείων. Αφού ήταν ήδη γνωστή και παραδεκτή η ιδιότητα του σθένους κάποιων στοιχείων, ο Julius Lothar Meyer (1864) έκανε μια καταγραφή των 49 γνωστών στοιχείων σύμφωνα με το σθένος τους και παρατήρησε ότι στοιχεία με το ίδιο σθένος εμφάνιζαν παρόμοιες ιδιότητες. Τέλος και ο Άγγλος John Newlands παρουσίασε κάποιες εργασίες του το 1864 και 1865 όπου κατατάσσοντας τα στοιχεία κατά αυξανόμενο ατομικό βάρος παρατήρησε την ομοιότητα των ιδιοτήτων περίπου κανονικά σε κάθε ένατο στοιχείο. Ωστόσο προσπάθησε να συνδέσει την παρατήρηση της ύπαρξης οκτάδων με τη μουσική και τις αντίστοιχες οκτάβες και για το λόγο αυτό έγινε

καταγέλαστος στη Βασιλική Χημική Εταιρεία όπου αρνήθηκαν να δημοσιεύσουν τα αποτελέσματά του.



Απεικονίσεις των Döbereiner, Gmelin, Meyer και Newlands.

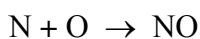
## 6. Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας

Πάντως το μεγαλύτερο μέρος του 19<sup>ου</sup> αιώνα πέρασε με την ατομική θεωρία στο κέντρο της αμφισβήτησης αφού αρκετοί, κυρίως φυσικοχημικοί όπως οι Wilhelm Ostwald και Ernst Mach ήταν όχι απλώς αδιάφοροι επειδή δεν τους «χρησίμευε» σε κάτι αλλά και επικριτικοί.

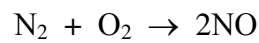
Πάντως υπήρχαν και δεδομένα που συνηγορούσαν τουλάχιστον για τη χρησιμότητα του ατομικού μοντέλου της ύλης στην καθημερινή πρακτική. Σύγχρονοι του Berzelius έκαναν προτάσεις για τη χρήση ενός είδους ατομικής θεωρίας με στόχο την ερμηνεία κάποιων ηλεκτρικών φαινομένων της ύλης. Για παράδειγμα ο Ampère πρότεινε την ύπαρξη ηλεκτρικών ρευμάτων εντός των ατόμων για να εξηγήσει το μαγνητισμό και ο Poisson έδειξε ότι η ηλεκτροστατική επαγωγή θα μπορούσε να ερμηνευτεί με την υπόθεση της ύπαρξης ατομικών διπόλων. Ωστόσο σε καμία περίπτωση οι υποθέσεις που σχετίζονταν με την ατομιστική αντίληψη δεν στηριζόταν σε κάτι άλλο εκτός από το φαινόμενο για το οποίο έδιναν την εξήγηση. Πάντως η ύπαρξη τέτοιων περιπτώσεων έδειχνε στους υποστηρικτές της ατομικής θεωρίας ότι αυτή ήταν χρήσιμη στην καθημερινή χημική πρακτική.

Οπωσδήποτε μετά το 1852 και την πρόταση για τα σθένη (valencies, αρχικά ατομικότητες = atomicities) του Frankland (Edward Frankland, 1825-1899) δημιουργήθηκε μεγάλη αναστάτωση με τα σθένη διαφόρων ατόμων που φαινόταν να είναι ποικίλα και εν πολλοίς απροσδιόριστα.

Ένα ακόμη πρόβλημα ήταν η ατομικότητα πολλών στοιχείων, κάτι που δεν ήταν ούτε γνωστό ούτε κατανοητό εκείνη την περίοδο και παρά τη σύλληψη του Avogadro (Lorenzo Romano Amedeo Lacquisha Carlo Avogadro, 1776-1856) και την προώθηση της ιδέας του από τον Cannizzaro (Stanislao Cannizzaro, 1826-1910) σχετικά με την κατοχή ίσου όγκου οποιουδήποτε αερίου από ίσο αριθμό ατόμων του καθώς και από τις εργασίες του Boltzmann πάνω στην εξήγηση των μακροσκοπικών ιδιοτήτων των αερίων, η ατομική θεωρία δύσκολα κέρδιζε οπαδούς. Αξιοπερίεργο είναι πως μεταξύ εκείνων που αντιστάθηκαν ιδιαίτερα στην υπόθεση του Avogadro ήταν ο ίδιος ο Dalton, που βασιζόταν στα αποτελέσματα τόσο τα δικά του όσο και άλλων σύγχρονων πάνω στις αντιδράσεις μεταξύ αερίων σωμάτων. Επειδή δεν μπορούσε να δεχθεί ότι τα άτομα του αζώτου για παράδειγμα θα μπορούσαν να σχηματίσουν ένα σύνθετο άτομο με την αλληλεπίδρασή τους ανά δύο, αντιδρούσε προφανώς και στην περιγραφή της αντίδρασης του αζώτου με το οξυγόνο επειδή σύμφωνα με την απλή δική του αντίληψη αυτή περιγράφεται ως



δηλαδή από δύο όγκους αρχικών αερίων παράγεται ένας όγκος προϊόντος. Σύμφωνα με την υπόθεση του Avogadro και την παραδοχή του σχηματισμού μορίων αζώτου και οξυγόνου με δύο άτομα το καθένα, η αντίδραση παίρνει τη μορφή που γνωρίζουμε και σήμερα, δηλαδή



και κατά συνέπεια από δύο όγκους αρχικών σωμάτων λαμβάνονται δύο όγκοι προϊόντος, μια παρατήρηση που η ατομική θεωρία στα χέρια του Dalton δεν ήταν σε θέση να εξηγήσει επαρκώς. Κάτι που ακόμη περισσότερο συντελούσε στην κριτική στάση απέναντι στην ατομική θεωρία ήταν η συνεχής ανακάλυψη νέων στοιχείων για τα οποία προφανώς έπρεπε να υπάρχουν διακριτά άτομα, δημιουργώντας έτσι μια πολυπλοκότητα απαράδεκτη για όσους επιχειρούσαν μέσα από την επιστήμη και τη μελέτη των νόμων της να αποκαλύψουν την απλότητα του φυσικού κόσμου.

Μπορεί να ειπωθεί ότι η τελική συνολική αποδοχή της ολοκληρώθηκε όταν ο Einstein έδωσε μια ατομική κατά βάση εξήγηση για το φαινόμενο της κίνησης Brown στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Ωστόσο, σποραδικά τουλάχιστον υπήρχαν εφαρμογές της ατομικής θεωρίας, όπως για παράδειγμα στην ιοντική θεωρία περί ηλεκτρολυτών του Arrhenius (Svante Arrhenius, 1859-1927). Ακόμη, μια σειρά πειραματικών δεδομένων εμφάνιζε αποτελέσματα όπου κάποιο μετρούμενο μέγεθος είχε εξάρτηση από συγκεκριμένες ποσότητες (όπως φορτίο, σθένος ή κάτι ανάλογο) του είδους των ατόμων που εμπλεκόταν στο πείραμα. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η μνημειώδης σε έκταση και σύλληψη εργασία του Faraday στην ηλεκτρόλυση, όπου οι δύο νόμοι της φέρουν το όνομά του ενώ η ποσότητα του φορτίου που φέρει ένα mole φορτισμένων σωματιδίων ονομάζεται σταθερά Faraday.

Ο προσδιορισμός των ατομικών βαρών ήταν σημαντικός για την εξέλιξη της Χημείας, ωστόσο βρήκε μεγάλα εμπόδια στον πειραματικό του προσδιορισμό, πρώτον μεν από κάποιες αντιλήψεις περί της σύστασης των ενώσεων (όπως για παράδειγμα την υπόθεση ότι όλα τα οξέα περιέχουν οξυγόνο), από τις διαδικασίες προσδιορισμού που ήταν κυρίως η μέτρηση της τάσης των ατμών, που πραγματοποιείται με εξαέρωση της ένωσης σε ένα περιβάλλον με οξυγόνο και υδρατμούς (όπου κυρίως ενώσεις του χλωρίου δεν παραμένουν αδρανείς ενώ ταυτόχρονα συνυπολογίζονται και οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας) καθώς και από την ακρίβεια και επαναληψιμότητα των μετρήσεων που έπρεπε να πραγματοποιηθούν. Έτσι, για παράδειγμα, υιοθετώντας την άποψη του Dalton περί της απλούστερης στοιχειομετρίας κάθε ένωσης, η οποία παρουσιάζεται σαν μια δεύτερη στήλη δίπλα στη σημερινή και μέσα σε παρένθεση, για τη μικρή σειρά των ενώσεων που ακολουθεί, υπάρχει η διακύμανση των ατομικών βαρών που παρουσιάζεται.



CH <sub>4</sub>	(CH)	ατ. βάρος C	3,0		
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	(CH)	ατ. βάρος C	6,0		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	(CHO)	ατ. βάρος C	4,0	ατ. βάρος O	3,0
CH <sub>3</sub> Cl	(CHCl)	ατ. βάρος C	4,0	ατ. βάρος Cl	12,0
HCl	(HCl)	ατ. βάρος Cl	36,0		
H <sub>2</sub> O	(HO)	ατ. βάρος O	8,0		
Cl <sub>2</sub> O	(ClO)	ατ. βάρος Cl	4,5		

Παρά τις γενικές δυσκολίες προτάθηκαν κάποιες πειραματικές διαδικασίες για την εκτίμηση των ατομικών βαρών, όλες όμως είχαν περισσότερα μειονεκτήματα παρά προτερήματα και καμία δεν είχε την απαιτούμενη γενικότητα ώστε να γίνει αποδεκτή και να είναι παράλληλα ακριβής. Έτσι για παράδειγμα αναφέρθηκε η δυσκολία όσον αφορά τον προσδιορισμό της τάσης των ατμών των αερίων σωμάτων αφού μπορούσε να εφαρμοστεί μόνο σε αέρια ή πτητικά σώματα κι επιπλέον οι γνώσεις της εποχής δεν μπορούσαν να αντιμετωπίσουν την περίπτωση των πολυατομικών στοιχείων. Προτάθηκε επίσης από τους Dulong και Petit η ιδέα ότι το γινόμενο της ειδικής θερμότητας ενός στοιχείου επί το ατομικό του βάρος έπρεπε να είναι σταθερό αλλά για την εκτενή εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνταν η πρότερη γνώση μιας σειράς ατομικών βαρών και μάλιστα με ακρίβεια. Τέλος υπήρξε και η μακροσκοπική προσέγγιση του Mitscherlich περί της ισομορφίας των κρυστάλλων ενώσεων με αντίστοιχο χημικό τύπο. Αυτή η προσέγγιση προφανώς περιοριζόταν στις κρυσταλλικές ουσίες ενώ υπήρχαν και γνωστά παραδείγματα όπου δεν είχε εφαρμογή.

Οι εξελίξεις των μέσων του 19<sup>ου</sup> αιώνα όσον αφορά την Οργανική Χημεία έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη και την αποδοχή των ατομιστικών θεωριών, κυρίως λόγω της εκτεταμένης εφαρμογής των χημικών τύπων και των επακολούθων τους. Φυσικά η διαδικασία δεν ήταν ούτε απλή ούτε χωρίς προβλήματα. Για παράδειγμα, ακόμη και με τους σημερινούς όρους ο εμπειρικός τύπος για το οξείκό οξύ είναι CH<sub>2</sub>O. Αυτός όμως δεν μας λέει τίποτε όσον αφορά τη χημική του συμπεριφορά, για παράδειγμα ότι είναι δυνατόν στο εργαστήριο να γίνουν διαδικασίες αντικατάστασης των υδρογόνων με χλώρια και μάλιστα υπάρχουν τρία προϊόντα όπου ο λόγος των βαρών του εισερχομένου χλωρίου είναι 1:2:3 τα οποία έχουν όξινη συμπεριφορά όπως το αρχικό οξύ, ενώ υπάρχει κι ένα τέταρτο προϊόν το οποίο συμπεριφέρεται μάλλον ως άλας παρά ως οξύ. Ακόμη κι αν πραγματοποιηθούν προσδιορισμοί του μοριακού βάρους και αποδειχθεί ότι ο μοριακός τύπος είναι C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub> τίποτε από τα παραπάνω δεν γίνεται ξεκάθαρο αν δεν γραφεί ο χημικός τύπος με τη γνωστή μορφή του ως C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>H. Έτσι γίνεται τώρα κατανοητό ότι μπορούν να υπάρξουν τρία χλωροξικά οξέα (μονο-, δι- και τρι-) καθώς και το ακετυλοχλωρίδιο ως προϊόντα της

αντικατάστασης των ατόμων του υδρογόνου από άτομα χλωρίου. Με βάση ανάλογες πειραματικές διαδικασίες και μετρήσεις προτάθηκε η ιδιότητα του σθένους.

Μια άλλη εξέλιξη που επηρέασε θετικά την Οργανική Χημεία ήταν η υιοθέτηση των υποθέσεων περί των ριζών και περί των δομών. Οι ρίζες θεωρήθηκαν οντότητες που μεταφέρονταν από ένωση σε ένωση αυτούσιες, λίγο ως πολύ με τρόπο ανάλογο με τα άτομα των κλασικών ανόργανων ενώσεων. Με βάση την προσέγγιση αυτή πραγματοποιήθηκε η εξέλιξη που είναι γνωστή ως «ομόλογες σειρές» όπου οι ενώσεις μιας σειράς διαφέρουν μεταξύ τους κατά μια σταθερή ποσότητα που ο μοριακός της τύπος είναι  $\text{CH}_2$ , δηλαδή μπορεί να θεωρηθεί ότι στη βασική τους ρίζα προστίθεται συστηματικά αυτή η ποσότητα χωρίς σημαντική επίδραση στις βασικές ιδιότητες του συστήματος.

Όλα τα παραπάνω καθώς και η υιοθέτηση της αντίληψης περί της ισομέρειας δεν υπέθεταν και πλήρη αποδοχή της ατομικής θεωρίας. Οι χημικοί τύποι με τα σύμβολα που περιλάμβαναν μπορεί να υποτεθεί ότι για τους περισσότερους αντιπροσωπεύανε την αναλογία βαρών των στοιχείων που υπήρχαν σε μια ρίζα ή μια δομή. Ένας αριθμός από χημικούς που ασχολήθηκαν με την Οργανική Χημεία την περίοδο αυτή δεχόταν όπως φαίνεται ένα ιδιαίτερο είδος ατομικής θεωρίας αφού υπάρχουν αναφορές τους στο λεγόμενο «χημικό άτομο». Με τον όρο αυτό πιθανότατα επιχειρούσαν να διακρίνουν την οντολογική σημασία του όρου από την αντίστοιχη χρήση του από τους σύγχρονους τους φυσικούς επιστήμονες για τους οποίους το άτομο ήταν ένα σωματίδιο στο οποίο έπρεπε να εφαρμόζονται οι νόμοι του Newton και η ύπαρξή του έπρεπε να εξηγεί ένα πλήθος φυσικά φαινόμενα και παρεμπιπτόντως και κάποιο χημικό αποτέλεσμα. Το «χημικό άτομο» πρέπει να θεωρηθεί ως εντελώς αντίστοιχο με τη θεώρηση του Δημόκριτου, δηλαδή το φυσικό τέρμα της χημικής ανάλυσης, το ελάχιστο τεμαχίδιο που μπορούσε να εμφανίζει τις ιδιότητες του υλικού στο οποίο ανήκε. Οι μελέτες στον τομέα της Χημείας είναι αυτές που για τους χημικούς ατομιστές της περιόδου θα έδειχναν ποιες είναι οι ειδικές ιδιότητες που πρέπει να αποδίδονται στο χημικό άτομο και η αντίληψη αυτή ενδυναμώθηκε από τις εξελίξεις στις θεωρίες των ριζών κλπ που προαναφέρθηκαν καθώς επίσης και από την πρόταση περί του σθένους. Πάντως για όλους τους σύγχρονους μελετητές της ιστορίας, αυτός ο χημικός ατομισμός θεωρείται αδύναμος σε σχέση με τον αντίστοιχο φυσικό ατομισμό, ισχυρότερος πάντως από την απλούστερη αντίληψη περί των νόμων των αναλογιών στη σύσταση των χημικών ενώσεων. Με τον τρόπο αυτό προέκυψε και μια βελτίωση της αρχικής ατομικής θεωρίας στην οποία η μόνη εμφανής ιδιότητα των ατόμων σχετιζόταν με το σχετικό τους βάρος. Ωστόσο δεν υπήρχε ένα καθαρά χημικό σύστημα αξιολόγησης των ατόμων και πρόβλεψης των χημικών ιδιοτήτων των στοιχείων τους ή των ενώσεων όπου αυτά

συμμετείχαν. Το κυριότερο παράδειγμα αυτής της αδυναμίας ήταν ακριβώς το φαινόμενο της ισομέρειας όπου ενώσεις με τον ίδιο μοριακό τύπο δηλαδή με την ίδια στοιχειομετρία εμφάνιζαν διαφορετικές χημικές και κάποιες φορές και διαφορετικές φυσικές ιδιότητες. Αυτό ήταν απλώς μια χημική ανακάλυψη, δεν μπορούσε να στηριχτεί σε κανενός είδους ατομική ή άλλη θεωρία.

Η πρώτη θεωρία που δεχόταν την ατομικότητα και είχε υποστήριξη από εμπειρικά δεδομένα ανεξάρτητα από τα φαινόμενα τα οποία πραγματευόταν άμεσα ήταν η κινητική θεωρία των αερίων. Βασική της προϋπόθεση η στατιστική επεξεργασία όπως προτάθηκε από τον Maxwell το 1859 και εξελίχθηκε από τον Boltzmann το 1872. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή η συμπεριφορά των αερίων εξηγείται με βάση τις κινήσεις και τις ελαστικές κρούσεις μεταξύ μεγάλου αριθμού μορίων. Οι κινήσεις θεωρούνται τυχαίες ενώ η κίνηση καθενός σωματιδίου υπακούει στους νόμους της μηχανικής τόσο κατά τις κρούσεις του όσο και στα ενδιάμεσα διαστήματα. Για να έχει εφαρμογή η θεωρία θα πρέπει ο όγκος των ατόμων να είναι αμελητέος σε σχέση με τον όγκο που καταλαμβάνει το αέριο και ο χρόνος των κρούσεων να είναι ελάχιστος σε σχέση με το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών κρούσεων του ίδιου ατόμου. Τα σωματίδια του αερίου είναι μεν μικρά θα πρέπει όμως να έχουν ένα ορισμένο όγκο έτσι ώστε να μην κινούνται ανεμπόδιστα στο χώρο που καταλαμβάνει το αέριο. Η κινητική θεωρία μπορούσε να εξηγήσει τους νόμους των αερίων που συνέδεαν όγκο, θερμοκρασία και πίεση, την υπόθεση του Avogadro για την ύπαρξη ίσου αριθμού στοιχειωδών σωματιδίων σε ίσους όγκους διαφορετικών αερίων καθώς και το νόμο του Gay Lussac. Με βάση αυτά μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η πυκνότητα των αερίων για τον καθορισμό των ατομικών και μοριακών βαρών τους όπως ακριβώς είχε γίνει παράλληλα με τους χημικούς τύπους των οργανικών ενώσεων. Επιπλέον εξηγούσε τους νόμους της διάχυσης των αερίων. Τέλος παρείχε στοιχεία για την αντιμετώπιση των περιπτώσεων εκείνων των πραγματικών αερίων με τρόπο ανάλογο προς τα ιδανικά αέρια. Ήταν γνωστό από παλιά ότι τα αέρια απέκλιναν από την ιδανική συμπεριφορά κάτω από συνθήκες αυξημένης πίεσης και καθώς προσέγγιζαν στο σημείο υγροποίησής τους. Λαμβάνοντας υπόψη πως στις συνθήκες αυτές ούτε ο όγκος των ατόμων ήταν αμελητέος σε σχέση με τον όγκο του αερίου ούτε οι χρόνοι μεταξύ των διαδοχικών κρούσεων μεγάλοι, προτάθηκαν διορθώσεις όπως η εξίσωση του Van der Waals, οι οποίες επαληθεύτηκαν από τα πειραματικά δεδομένα.

Και πάλι όμως η κινητική θεωρία των αερίων δεν ήταν μια απόλυτη ατομική θεωρία επειδή ήδη από την αρχική της διατύπωση ασχολούνταν μόνο με ορισμένα πειραματικά στοιχεία και στόχευε όχι στη διατύπωση κάποιων αρχών για τη συνολική δομή και συμπεριφορά των

ενώσεων παρά μόνο στην εξήγηση ορισμένων συγκεκριμένων πειραματικών παρατηρήσεων. Με την έννοια αυτή τα άτομα είχαν φυσική οντότητα αλλά όχι χημική εφόσον δεν πραγματοποιούνταν χημικές αντιδράσεις στο χώρο των παρατηρήσεων. Οι απλές και βασικές ιδιότητες των ατόμων που ήταν απαραίτητες στην κινητική θεωρία των αερίων ήταν αυτές που προέκυπταν από τη μηχανική θεώρηση του Newton, αφού οι παρατηρήσεις είχαν στατιστική συμπεριφορά και ήταν μακροσκοπικές.

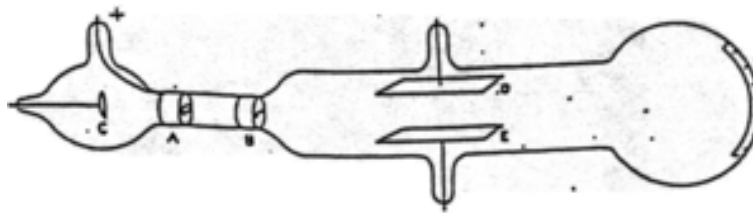
Παράλληλα όμως αρκετοί, κυρίως φυσικοχημικοί, μπορούσαν να υποστηρίξουν τις θεωρίες τους και ειδικά την κινητική θεωρία των αερίων και την επαγόμενη επέκτασή της στη μελέτη της συμπεριφοράς ποσοτήτων αερίων με τη μορφή της φαινομενολογικής θερμοδυναμικής, χωρίς την ανάγκη ενός υποβάθρου με ατομικό πρότυπο. Ειδικά ο Gibbs προχώρησε με βάση τη νέα επιστημονική θεωρία της θερμοδυναμικής, σε εξαιρετικές προβλέψεις όσον αφορά την πυκνότητα αερίων μειγμάτων που βρισκόταν σε χημική ισορροπία. Οι υποστηρικτές της ατομικής θεωρίας αντιμετώπισαν τα αποτελέσματα αυτά ως ενθαρρυντικά στοιχεία αφού μπόρεσαν να τα ενσωματώσουν στην ατομική θεωρία η οποία μέχρι τότε αντιμετώπιζε τα σχετικά φαινόμενα ως «ανώμαλα», από την άλλη όμως οι οπαδοί της θερμοδυναμικής χρειαζόταν μόνο τους βασικούς νόμους της διατήρησης της ενέργειας και της μεταβολής της εντροπίας και καθόλου την ιδέα μιας μικρο-δομής των σωμάτων που τους απασχολούσαν ώστε να καταλήξουν στα αποτελέσματά τους. Έτσι, έπρεπε να αναμένονται μελέτες στα διαλύματα και ειδικά στις προσθετικές ιδιότητές τους (αύξηση του σημείου ζέσεως, μείωση του σημείου πήξεως, οσμωτική πίεση κλπ) προκειμένου να γίνει αντιληπτό καταρχήν και να ερμηνευτεί σωστά στη συνέχεια το γεγονός ότι οι εξισώσεις που περιγράφαν τα σχετικά φαινόμενα ήταν πανομοιότυπες με εκείνες των ιδανικών αερίων. Ακόμη πιο στέρεη έγινε η παραπάνω αντίληψη για την επιτυχή χρήση της ατομικότητας σε τομείς όπου αρχικά δεν φαινόταν να συμβάλλει ουσιαστικά, όταν μελετήθηκαν οι προσθετικές ιδιότητες διαλυμάτων μη ηλεκτρολυτών. Έτσι, ξεφεύγοντας από το «βολικό» χαρακτηρισμό των οντοτήτων που βρισκόταν στο διάλυμα με μορφή ιόντων τα οποία μπορούσε να μην έχουν καμία αντιστοίχιση με τα βασικά δομικά στοιχεία-άτομα, τα διαλύματα των μη ηλεκτρολυτών φανέρωναν πως οι ιδιότητές τους δεν είχαν εξάρτηση από το μέγεθος ή άλλο φυσικό χαρακτηριστικό των δομικών τους μονάδων αλλά μόνο από τον αριθμό τους.

Σήμερα, από πολλούς θεωρείται πως η τελική στροφή προς την αποδοχή της ατομικής θεωρίας από όλους τους σκεπτικιστές, πραγματοποιήθηκε με το πείραμα του Jean Perrin το σχετικό με την κίνηση Brown. Η κίνηση Brown αναφέρεται στην παρατήρηση μέσω μικροσκοπίου της κίνησης σωματιδίων σε ένα εκχύλισμα. Μέχρι το 1908 υπήρχαν αρκετές υποψίες ότι η κίνηση αυτή σχετιζόταν με την κίνηση των μορίων που προέβλεπε η κινητική

θεωρία των αερίων. Το 1908 ο Perrin έδωσε την επιβεβαίωση στις υποψίες αυτές αποδεικνύοντας πρώτον μεν ότι η κίνηση ήταν εντελώς τυχαία καθώς και ότι η κίνηση είναι μόνιμη αφότου αποκατασταθεί στο εκχύλισμα κατάσταση ισορροπίας. Επιπλέον, όλα τα χαρακτηριστικά της κίνησης παρέμεναν σταθερά για παρατηρήσεις σε μια σταθερή θερμοκρασία. Η τυχαιότητα της κίνησης εξάλειψε την πιθανότητα να οφείλεται σε θερμά ρεύματα του υγρού τα οποία δρουν σε μακροκλίμακα, αφού τότε γειτονικά σωματίδια θα είχαν σχεδόν παράλληλες πορείες. Η μονιμότητα της κίνησης ήταν προβληματική αφού αναμενόταν μια κίνηση του σωματιδίου ανάμεσα στο μόρια ενός συμπαγούς υγρού να οδηγεί στη σταδιακή απώλεια ενέργειας. Ήδη από το 1905 ο Einstein είχε προτείνει ότι η διατήρηση της κίνησης των σωματιδίων ήταν θερμικής προέλευσης, φαίνεται όμως ότι τουλάχιστον στην αρχή ο Perrin δεν είχε υπόψη του την πρόταση αυτή, στη συνέχεια όμως το αντιλήφθηκε και όντως εργάστηκε προς την κατεύθυνση που ο Einstein θεωρούσε ως ορθή. Ο Perrin μπόρεσε να υπολογίσει την μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων της κίνησης Brown και όταν, σύμφωνα με όσα ήταν γνωστά για τις προσθετικές ιδιότητες μη ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων, την εξίσωσε με την αντίστοιχη ενέργεια των σωματιδίων ενός ιδανικού αερίου, μπόρεσε να κάνει μια εκτίμηση για την τιμή της σταθεράς του Avogadro, πολύ ακριβή και σε πολύ καλή συσχέτιση με άλλες μεθόδους που είχαν πραγματοποιήσει πιο «έμμεσες» παρατηρήσεις. Σύμφωνα με δηλώσεις του ίδιου, αυτό ήταν από τα κορυφαία σημεία ευχαρίστησης στην όλη πειραματική διαδικασία.

## 7. Η διερεύνηση της δομής του ατόμου

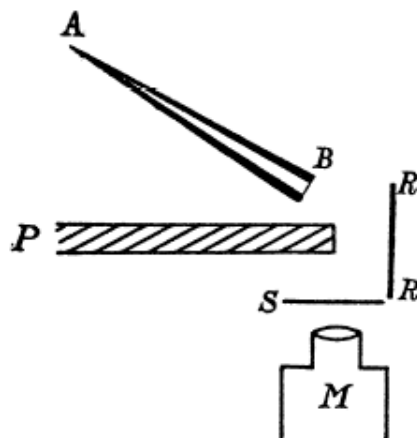
Η ανακάλυψη ότι το άτομο έχει δομή, αποτελείται δηλαδή από μικρότερα σωματίδια ήρθε πριν έναν περίπου αιώνα όταν ο Thomson (James John Thomson, 1856-1940) μελετώντας τις ιδιότητες της καθοδικής ακτινοβολίας διαπίστωσε ότι αποτελούνταν από αρνητικά φορτισμένα σωματίδια των οποίων μάλιστα προσδιόρισε τη μάζα. Τα σωματίδια αυτά ονομάστηκαν ηλεκτρόνια επειδή ακριβώς αλληλεπιδρούσαν με ηλεκτρικό πεδίο και ήταν αυτά που έδωσαν το έναυσμα της καθαίρεσης του ατόμου από το τέλος της φυσικής και χημικής ανάλυσης της ύλης, αφού γινόταν φανερό πως θα περιείχε επιπλέον και σωματίδια με θετικό φορτίο, εφόσον μακροσκοπικά εμφανιζόταν ουδέτερο.



Σχηματική παράσταση της συσκευής που χρησιμοποίησε ο Thomson για τη μελέτη των καθοδικών ακτίνων. Πρόκειται για ένα αερόκενο σωλήνα Crookes όπου τα δύο ηλεκτρόδια στο αριστερό άκρο βρίσκονται κάτω από διαφορά δυναμικού. Κάποια στιγμή από την κάθοδο C εκπέμπεται η καθοδική ακτινοβολία η οποία περνώντας μέσα από τα φίλτρα A και B εστιάζεται και οδηγείται μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται μεταξύ των παράλληλων μεταλλικών πλακών στο κέντρο του σωλήνα. Απουσία πεδίου η ακτινοβολία εστιάζεται στο κοίλο μέρος του σωλήνα στα δεξιά, σε ευθεία ως προς την κάθοδο ενώ επίδραση πεδίου την εκτρέπει.

Ο [Becquerel](#) (Antoine Henri Becquerel, 1852-1908) μελετούσε φωσφορίζοντα ορυκτά του ουρανίου, ως πηγή φυσικών ακτίνων X, παρεμβάλλοντας πλάκα γυαλιού μεταξύ δειγμάτων τους και φωτογραφικού φιλμ. Το πείραμα έδωσε αποτελέσματα ακόμη και στο σκοτάδι, όταν μια πρόσκαιρη συννεφιά δεν επέτρεψε την έκθεση στο φως, και ο Becquerel απέδωσε το φαινόμενο στο άτομο του ουρανίου κι όχι σε κάποιο φαινόμενο φωσφορισμού. Το 1898 η [Curie](#) (Maria Sklodovska-Curie, 1867-1934) παρατήρησε την ίδια ιδιότητα και στο θόριο, ενώ στη συνέχεια παρατήρησε μια εντονότερη ακτινοβολία σε ένα ορυκτό ουρανίου από τη Βοημία, που περιείχε το άγνωστο τότε Ράδιο. Το 1899 ανακαλύφθηκαν δύο είδη εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από το ουράνιο, η άλφα, που απορροφώνταν σε απόσταση μερικών εκατοστών από τον αέρα και η βήτα, ανάλογη σε ιδιότητες με τις ακτίνες X. Το 1900 ο Becquerel ανακοίνωσε την εκτροπή των ακτίνων βήτα με επίδραση μαγνητικού πεδίου και έδειξε ότι αποτελούνταν από ηλεκτρόνια, ενώ λίγο αργότερα ανακαλύφθηκε και τρίτη, ακόμη πιο διεισδυτική ακτινοβολία, η γάμα. Η ραδιενέργεια αποδιδόταν σε ανακατατάξεις στο άτομο, το οποίο σταθεροποιούταν με εκπομπή ακτίνων X.

Ο [Rutherford](#) (Ernest Rutherford, 1871-1937) εντόπισε την έρευνά του στη μεγάλη ιονιστική δράση, άρα και μεγάλη ενέργεια, των ακτίνων α, παρά το πρόβλημα της γρήγορης απορρόφησής τους από τον αέρα. Μετρήσεις της ισχύος ιονισμού τους έδωσαν τιμή απαγορευτική για χημική ενέργεια κι έτσι προτάθηκε η ύπαρξη άλλου είδους αλλαγών που οδηγούσαν στην ελευθέρωσή τους. Η μεταβολή αυτή πιστοποιήθηκε από το 1903 και τελικά το 1908 υπολογίστηκε ο χρόνος υποδιπλασιασμού του ραδίου (που ως τότε θεωρούταν σταθερή πηγή ακτινοβολιών) σε 1600 χρόνια. Η εκτροπή των ακτίνων α με την επίδραση μαγνητικού πεδίου πιστοποίησε το ότι αποτελούνται από σωματίδια με μεγάλη μάζα και είχαν λόγο μάζας προς φορτίο περίπου διπλάσιο από εκείνον που η ηλεκτρόλυση είχε δείξει για τα ιόντα του υδρογόνου. Ο Rutherford αφιέρωσε μεγάλο μέρος της δραστηριότητάς του στη μελέτη αυτών ακριβώς των ακτινοβολιών και ήδη το 1905 ήταν σε θέση να γνωρίζει ότι ορισμένα από τα σωματίδια αυτά σκεδαζόταν κατά την πρόσπτωσή τους σε λεπτούς μεταλλικούς στόχους. Την περίοδο 1908-1909 ο συνεργάτης του Geiger διαπίστωσε συσχέτιση της γωνίας σκέδασης με το ατομικό βάρος του υλικού του στόχου. Η πιθανότητα σκέδασης κατά μεγαλύτερες γωνίες ήταν εξαιρετικά μικρή και κανένας ποτέ δεν κατάλαβε γιατί ανατέθηκε στον Marsden, μεταπτυχιακό φοιτητή της περιόδου, ο εντοπισμός σωματιδίων α που θα σκεδαζόταν κατά γωνίες μεγαλύτερες από 90°, αυτός όμως γρήγορα διαπιστώθηκε πως για φύλλο χρυσού πάχους 0,00004 cm το 1 στα 20.000 σωματίδια α είχε σκεδαστεί κατά 180°. Εξαντλητικές μελέτες είχαν ως τελικό συμπέρασμα την πρόταση για την ύπαρξη ενός περιορισμένου χώρου, του πυρήνα, όπου ήταν συγκεντρωμένη η μεγάλη πλειοψηφία της μάζας του ατόμου. Μελέτες που έγιναν πάνω σε στόχους από ελαφρά μέταλλα, κατέγραψαν μετρήσιμη ανάδρομη κίνηση των πυρήνων, με συνέπεια τη δυνατότητα μέτρησης του φορτίου που αυτοί έφεραν. Δεδομένου ότι για το υδρογόνο είχε γίνει αποδεκτή η ύπαρξη της μονάδας φορτίων στο μόριό του αποδείχθηκε ότι, ο άνθρακας π.χ. έπρεπε να είχε έξι τέτοιες μονάδες στον πυρήνα του και κατά συνέπεια έξι αντίθετα φορτισμένες οντότητες γύρω του, ώστε το άτομο να εμφανίζεται ουδέτερο. Έτσι ο Rutherford επεξέτεινε την μαθηματικά αποδεδειγμένη θεώρηση πως ένα άτομο θα μπορούσε να είναι κατασκευασμένο στο πρότυπο του πλανήτη Κρόνου, με τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια σε ρόλο δακτυλίων. Η πρόταση αυτή είχε προηγηθεί κατά το 1904 από τον Ιάπωνα Hantaro Nagaoka αλλά η αποδοχή της μορφής των ηλεκτρονίων ως συμπαγών ή διάχυτων δακτυλίων γύρω από τον πυρήνα οδηγούσε σε μαθηματικές λύσεις που δεν έδιναν σταθερότητα στο σύστημα.



Περιγραφή της πειραματικής διάταξης του πειράματος του Rutherford όπως εμφανίστηκε στην αρχική της δημοσίευση. Στον σωλήνα AB είχε τοποθετηθεί το ραδιενεργό υλικό, η πλάκα μολύβδου P εξασφάλιζε ότι οι ακτίνες α από τον πομπό δεν θα μπορούσαν να πέσουν στο φθορίζον πέτασμα S παρά μόνο μετά την ανάκλασή τους στην επιφάνεια RR. Η παρατήρηση στο φθορίζον πέτασμα γινόταν μέσω του μικρής ισχύος μικροσκοπίου M.

Ο Δανός [Bohr](#) (Niels Bohr, 1885-1962) εργάστηκε με τον Rutherford για ένα διάστημα και όταν επέστρεψε στην πατρίδα του είχε επηρεαστεί από την επιτυχή εξέταση των φαινομένων της σκέδασης των ακτίνων α με βάση το μοντέλο του πυρήνα με περιφερόμενα φορτία και αποφάσισε να το χρησιμοποιήσει για να εξετάσει τα φαινόμενα τα σχετικά με τα φορτία της περιφέρειας. Ήδη είχε επέλθει μια "τάξη" στα φάσματα εκπομπής που μέχρι τότε αντιμετωπιζόταν περιστασιακά και εμπειρικά. Έγινε φανερό ότι δεν υπήρχε μόνο η συγκεκριμένη ομάδα φασματικών γραμμών που είχε ανακαλύψει ο Balmer (Johann Jakob Balmer, 1825-1898) για το άτομο του υδρογόνου, για την οποία η συχνότητα καθεμιάς γραμμής μπορούσε να υπολογισθεί από τη σχέση

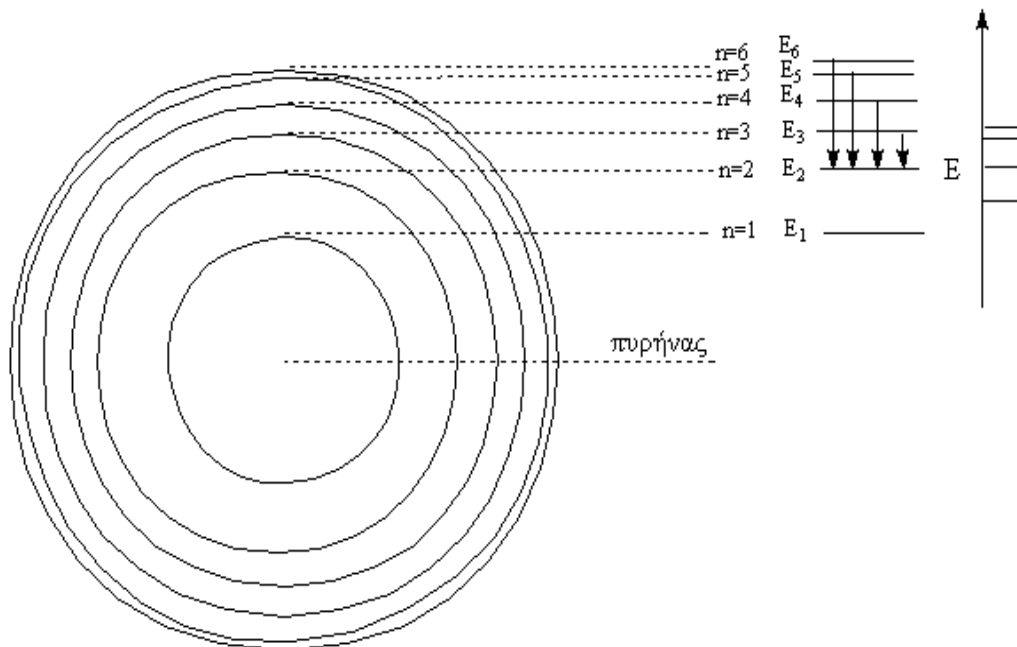
$$\nu = \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

με το n να είναι ακέραιος μεγαλύτερος του 2.

Εντελώς ανάλογες φασματικές γραμμές παρατηρήθηκαν σε άλλες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η "τάξη" αυτή απαγόρευε στα ηλεκτρόνια να βρίσκονται γύρω από το άτομο σε μια άτακτη μορφή "σούπας" και τους απέδιδε ορισμένες θέσεις ή, ορισμένες ενεργειακές καταστάσεις και μόνο αυτές. Ακόμη, είχε χρησιμοποιηθεί από τον Einstein η κβαντική θεώρηση του Planck, στην αντιμετώπιση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Συνδυάζοντας τα δύο αυτά στοιχεία, ο Bohr θεώρησε ότι το ηλεκτρόνιο, κινούμενο από μια ορισμένη κατάσταση σε μια άλλη, εκπέμπει ορισμένο κβάντο ενέργειας, ίσο με τη διαφορά ενέργειας των καταστάσεων αυτών. Έτσι, στα 1913 εγκαταλείπεται το μοντέλο του Maxwell για την ακτινοβολία την προερχόμενη από επιταχυνόμενο ηλεκτρικό



φορτίο και δοκιμάζεται το τολμηρό σχέδιο των κβαντισμένων τροχιών του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Έτσι αν ονομαζόταν οι επιτρεπτές τροχιές 1, 2, 3 κλπ αρχίζοντας από την πλησιέστερη προς τον πυρήνα, το μοντέλο του ατόμου έμοιαζε με το πολύ γνωστό σήμερα σχήμα.



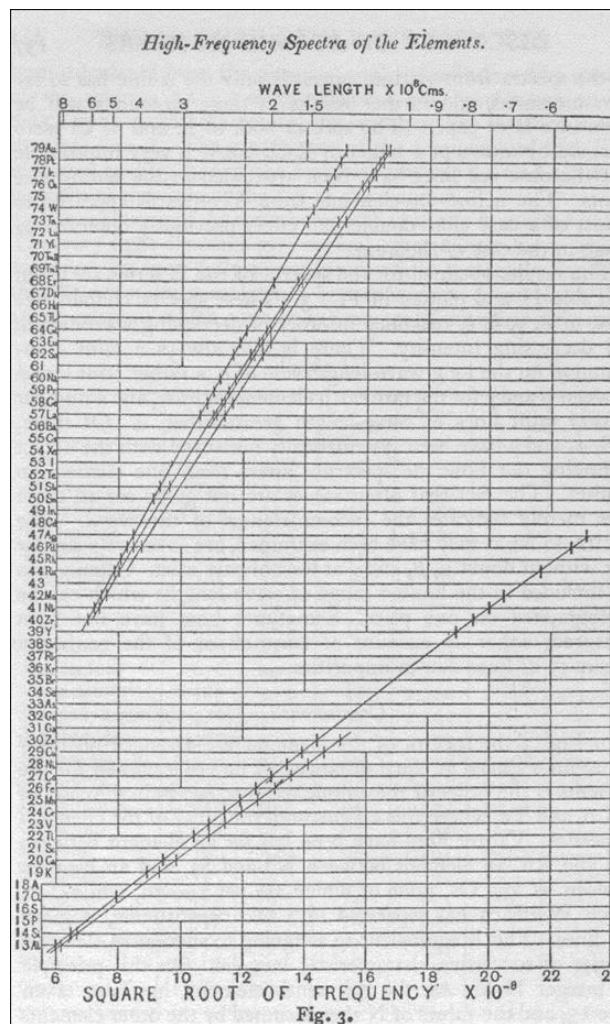
Σχηματική παράσταση του ατόμου σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr. Οι επιτρεπτές τροχιές συμβολίζονται με τους ακέραιους αριθμούς 1, 2, 3 κλπ. τα βέλη δείχνουν τις πορείες αποδιέγερσης των ηλεκτρονίων, που έδιναν τις παρατηρούμενες σειρές ταινιών στο φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου. Στο διάγραμμα δίνεται η σειρά γραμμών που παρατηρήθηκε αρχικά από τον Balmer στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Το 1913, ο 26χρονος Moseley (Henry Gwyn Jeffreys Moseley, 1887-1915) που εργαζόταν υπό την επίβλεψη του Rutherford πραγματοποίησε μια από τις πιο έξυπνες και πιο πετυχημένες πρώιμες εφαρμογές της φασματοσκοπίας ακτίνων X. Συγκεκριμένα κατέγραψε τα φάσματα εκπομπής ακτίνων X από διάφορα στοιχεία, κυρίως μεταλλικά. Η διαδικασία περιλάμβανε περίθλαση των ακτίνων μέσα από κρυστάλλους και με την έννοια αυτή ήταν μια από τις πρώτες εφαρμογές του πρόσφατου νόμου του Bragg, με βάση τον οποίο ο Moseley ήταν σε θέση να υπολογίσει το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εξέπεμπε κάθε στοιχείο. Ο Moseley παρατήρησε μια συστηματική μαθηματική σχέση μεταξύ των εκπεμπόμενων από τα στοιχεία ακτίνων X και των ατομικών τους αριθμών. Αξίζει όμως να αναφερθεί ότι την περίοδο εκείνη ως ατομικός αριθμός εννοούνταν ένας ακέραιος αριθμός σε μια περίπου εμπειρική διαδοχή ξεκινώντας από το 1 για το υδρογόνο, ο οποίος αποδιδόταν σε κάθε άτομο περισσότερο χάριν ευκολίας στην ταξινόμησή του. Ήταν γνωστή η κατάταξη των χημικών

στοιχείων με τη μορφή πινάκων και ο περιοδικός πίνακας του Mendeleev ήταν γνωστός και γενικά παραδεκτός, όμως κι εκείνος δεν ήταν χωρίς «ανωμαλίες». Κάποια στοιχεία δηλαδή δεν βρισκόταν στη θέση που προέβλεπε το ατομικό τους βάρος (κάτι που μπορούσε να μετρηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια) αλλά σε διπλανή θέση, με βάση την πεποίθηση του Mendeleev ότι η χημική και όχι η φυσική κατάταξη των στοιχείων έπρεπε να ακολουθείται. Ο Moseley με τα πειράματά του έδωσε την απάντηση στο ζήτημα αυτό δείχνοντας ότι σωστά το Κοβάλτιο τοποθετήθηκε πριν από το Νικέλιο επειδή ο ακεραίος αριθμός που προέκυπτε από τις μετρήσεις του ήταν 27 ενώ του Νικελίου 28. Η εξίσωση που έδωσε ο Moseley είχε τη μορφή

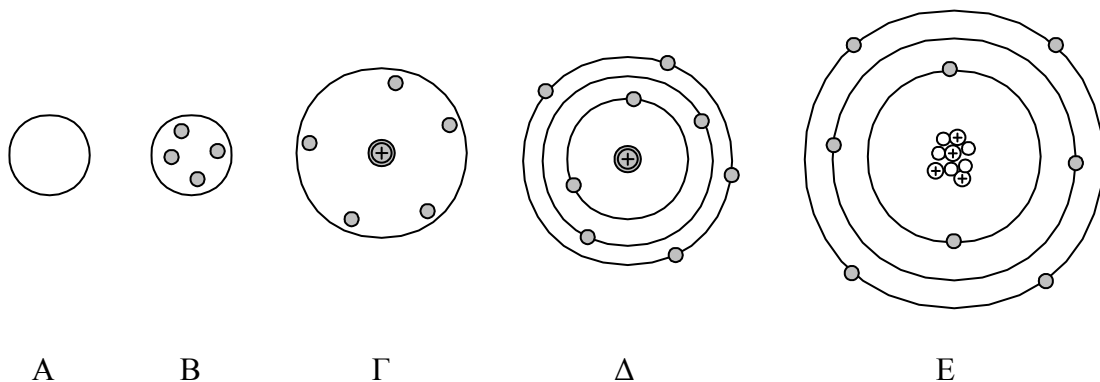
$$\sqrt{\nu} = k_1(Z - k_2)$$

και ο σημαντικός και χαρακτηριστικός ακεραίος αριθμός ο  $Z$ . Αυτός ο αριθμός ήταν ο χαρακτηριστικός για κάθε άτομο και έμεινε με την ονομασία ατομικός αριθμός.



Ο Moseley με ένα σωλήνα παραγωγής ακτίνων X και μια φωτογραφική απεικόνιση της πρώτης παρουσίασης των ακτινοβολιών  $K\alpha$  και  $K\beta$  κάποιων στοιχείων, από τη θέση των οποίων προέκυψε η εξίσωση του Moseley.

Ταυτόχρονα συνεχιζόταν η μελέτη του πυρήνα του ατόμου, επειδή ήταν προφανώς, η πηγή των αλληλεπιδράσεων που προκαλούσαν το φαινόμενο της ραδιενέργειας. Ακόμη, μέχρι τη στιγμή εκείνη ήταν σχεδόν απόλυτα κατανοητή η δομή του ατόμου του υδρογόνου, με ένα σωματίδιο στον πυρήνα, που προφανώς θα έφερε ένα φορτίο, καθώς και με ένα αντίθετα φορτισμένο ηλεκτρόνιο που περιστρεφόταν γύρω απ' αυτόν. Το άτομο του ηλίου όμως, που ήταν το αμέσως βαρύτερο, περιείχε μάζα ισοδύναμη με 4 σωματίδια στον πυρήνα και είχε περιφερειακά μόνο δύο ηλεκτρόνια, φαινόταν λοιπόν ότι γενικά, ο αριθμός των στοιχειωδών φορτίων που έφερε ο πυρήνας αυτός ήταν περίπου ο μισός σε σχέση με τα στοιχειώδη σωματίδια που περιείχε, γεγονός που έπρεπε να ερευνηθεί και να απαντηθεί θεωρητικά και πειραματικά. Πράγματι, το 1932, ο Chadwick (James Chadwick, 1891-1974) παρατήρησε πως η ακτινοβολία ενός ραδιενεργού υλικού που κατευθυνόταν σε ένα στόχο βηρυλίου, προκαλούσε εκπομπή ακτινοβολίας η οποία δεν έφερε φορτίο, και συνεπώς δεν καταγραφόταν από το θάλαμο νέφωσης, προκαλούσε όμως μέσα σ' αυτόν, την εμφάνιση ενός ηλεκτρονίου κι ενός "αναπηδώντος" ατόμου. Προσδιορίζοντας την ταχύτητα κίνησης διαφόρων ατόμων στα οποία επέδρασε η ακτινοβολία αυτή, ο Τσάντγουικ μπόρεσε να υπολογίσει τη μάζα των σωματιδίων της ως λίγο μεγαλύτερη από εκείνη του πρωτονίου. Έτσι, φάνηκε πως εντοπίστηκε η θεμελιώδης απλότητα την οποία υπέθεταν όλοι πως ακολουθούσε η φύση. Τα σωματίδια που συγκροτούσαν τα άτομα ήταν γνωστά προέκυπτε όμως η ανάγκη ύπαρξης μιας εξαιρετικά ισχυρής δύναμης, με εξαιρετικά μικρή όμως εμβέλεια, ώστε να συγκρατούνται τα φορτισμένα σωματίδια του πυρήνα.

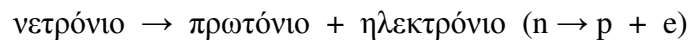


Σχηματική παράσταση των διαφορετικών ατομικών μοντέλων όπως προτάθηκαν ιστορικά. Α το συμπαγές άτομο του Dalton, Β το άτομο του Thomson με τα τυχαία σπαρμένα ηλεκτρόνια (μαύροι κύκλοι), Γ το πρότυπο του Rutherford με τον συμπαγή θετικά φορτισμένο πυρήνα, Δ το πρότυπο του Bohr με τις κυκλικές τροχιές των ηλεκτρονίων και Ε το μοντέλο όπως διαμορφώθηκε μετά την ανακάλυψη των νετρονίων από τον Chadwick.



Φωτογραφίες των Nagaoka, Bohr, Rutherford και Chadwick

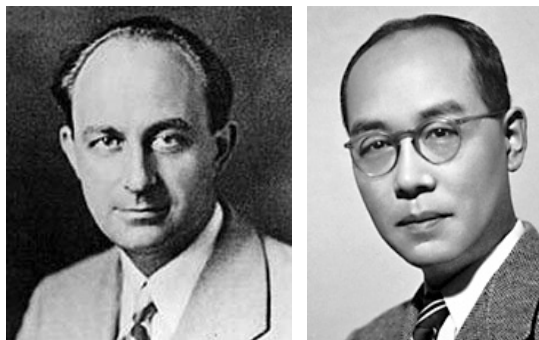
Η σχετική αστάθεια των νετρονίων, όταν πειραματικά επαληθεύτηκε, δημιούργησε ακόμη ένα πρόβλημα, που εντάθηκε ακόμη περισσότερο όταν ανακαλύφθηκε ότι δεν ίσχυε η αρχή διατήρησης της ενέργειας κατά τη διαδικασία:



Ο Fermi (Enrico Fermi, 1901-1954) πρότεινε το 1934, την ύπαρξη ενός μικρού ουδέτερου σωματιδίου, του νετρίνου, το οποίο έπαιρνε επίσης μέρος στην αντίδραση, η οποία τροποποιούνταν τώρα σε:



Ο Yukawa (Hideki Yukawa, 1907-1981) ένα χρόνο αργότερα, εφαρμόζοντας την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg, σχετικά με τη μάζα ενός σωματιδίου και το χρόνο παρατήρησής του, διατυπωμένη ως  $\Delta M \cdot c^2 \Delta t > h$ , έδινε ως αποτέλεσμα της παρατήρησής του για διάστημα  $4,3 \cdot 10^{-24}$  s, μεταβολή μάζας ίση με τη μάζα ισορροπίας του και απροσδιοριστία στη θέση του της τάξης του 100%. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Yukawa προβλεπόταν η ύπαρξη "δυνητικών" στοιχειωδών σωματιδίων τα οποία μπορούσαν να είναι υπεύθυνα για τη σταθερότητα των πυρήνων. Η ανταλλαγή ενός τέτοιου "δυνητικού" σωματιδίου μεταξύ δύο πρωτονίων υπολογίστηκε πως δημιουργούσε μια εξαιρετικά ισχυρή ελκτική δύναμη μεταξύ των δύο πρωτονίων, ικανή να αναιρέσει την ηλεκτροστατική τους άπωση. Πάντως, μέσα στο 1938, οι Νεντερμάγιερ και Άντερσον, συνδυάζοντας έναν μετρητή Γκάιγκερ-Μίλερ και ένα θάλαμο νέφωσης, μπόρεσαν να εντοπίσουν ένα τέτοιο σωματίδιο με μάζα 240 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου. Το σωματίδιο, επειδή έφερε αυτή την ενδιάμεση μάζα ονομάστηκε αρχικά μεσοτρόνιο για να συντημηθεί στη συνέχεια σε μεσόνιο. Η σταδιακή ανακάλυψη ενός μεγάλου αριθμού από αντίστοιχα μεσόνια, οδήγησε στην ανάγκη να καταταγούν και να ονομαστούν, συνήθως με κάποιο ελληνικό γράμμα. Έτσι, εντοπίστηκαν τα  $\mu$ ,  $\pi$ , K και  $\Lambda$  μεσόνια.



Φωτογραφίες των Fermi και Yukawa

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας δίνει τη δυνατότητα για περισσότερα και πιο ακριβή πειράματα στις φυσικές επιστήμες. Έτσι, η αρχική πρόταση του Lawrence (Ernest O. Lawrence, 1901-1958) για την μελέτη ενός κύκλωτρου το 1929, οδήγησε στην κατασκευή μεγάλων τέτοιων συσκευών που μπορούσαν να επιταχύνουν μια δέσμη πρωτονίων και να την οδηγήσουν πάνω σε κάποιο στόχο, με σκοπό την καταγραφή των αποτελεσμάτων της αλληλεπίδρασης αυτής, που συνήθως οδηγούσε στην καταστροφή του πυρήνα των ατόμων του στόχου. Η τεχνική αυτή έδωσε ακόμη και συνθετικά αποτελέσματα, το 1940, οπότε ο McMillan (Edwin Mattison McMillan, 1907-1991) ανακάλυψε τα νέα, τεχνητά στοιχεία Πλουτόνιο και Νεπτούνιο στα προϊόντα ενός τέτοιου βομβαρδισμού ατόμων με επιταχυνθέντα πρωτόνια, ενώ ακόμα μεγαλύτερες επιταχύνσεις, άρα και ενέργειες, έγιναν δυνατές με την κατασκευή των λεγόμενων σύγχροτρων. Η διάσπαση των θεωρούμενων στοιχειωδών σωματιδίων και η ολοένα και αυξανόμενη σειρά από υποατομικά σωματίδια, "αντικατοπτρίζει" κατά κάποιο τρόπο την περίοδο του 18ου και 19ου αιώνα με τη συνεχή ανακάλυψη νέων στοιχείων και την κατάτμηση των Αριστοτελικών στοιχείων σε επιμέρους συστατικά. Πράγματι, το 1963, ο Φινλανδός φυσικός Mat Roos κατέγραψε σε ένα άρθρο του, μέσα σε 5 σελίδες και με τη χρήση 2 πινάκων, όλα τα γνωστά υποατομικά σωματίδια. Το άρθρο αυτό βελτιωνόταν κάθε φορά που γινόταν νέες ανακαλύψεις και τελικά, το 1976 έφτασε να έχει έκταση 245 σελίδων με ένα παράρτημα 30 σελίδων!

Ορισμένα από τα στοιχειώδη σωματίδια εμφάνιζαν μια "παραξενιά", ως προς το ότι ήταν σχετικά σταθερά, δηλαδή η διάσπασή τους σε άλλα σωματίδια ήταν βραδεία διαδικασία, με ημιπερίοδο ζωής της τάξης των  $10^{-10}$  s. Αυτό οδήγησε τους Nishijima και Gell-Mann (Murray Gell-Mann), να προσδιορίσουν, το 1953 μια νέα, μη κλασική ιδιότητα για τα σωματίδια αυτά, την λεγόμενη "παραξενιά" (strangeness). Η ανάγκη της συστηματοποίησης των στοιχειωδών σωματιδίων ώστε να προκύψει, μέσα από το μεγάλο αριθμό τους μια τάξη και μια βασική απλότητα στον τρόπο κατασκευής του ατόμου ικανοποιήθηκε ως ένα βαθμό με κάτι ανάλογο με εκείνο που έκανε ο Mendeleev, συστηματοποιώντας την διάταξη σε οκτάδες

των γνωστών σ' εκείνον ατόμων. Διευθέτηση των αδρονίων (στοιχειώδη σωματίδια που υπόκεινται στις ισχυρές αλληλεπιδράσεις) σε σύστημα αξόνων που περιγράφουν τις ιδιότητές τους, έδειξε πως μπορούν να διακριθούν σε οκτάδες, κάτι που είναι γνωστό ως eightfold way. Η κατάταξη επιτεύχθηκε το 1962 και μόλις δύο χρόνια κατόπιν δόθηκε μια σχετικά απλή εξήγηση γιατί μέσα από μια απλή στη βάση της δομή προέκυπτε ένα μεγάλο σύνολο από υποατομικά σωματίδια. Απαιτούνταν μόνο η ύπαρξη τριών βασικών "συστατικών", των λεγόμενων κουάρκ (quarks). Τα κουάρκ, σε διάφορους συνδυασμούς, δημιουργούσαν τα πρωτόνια, τα νετρόνια κι όλα τα άλλα σωματίδια που σχετίζονταν με τις αλληλεπιδράσεις τους, και έφεραν κάποιες χαρακτηριστικές, μη κλασσικές ιδιότητες, ονομάστηκαν δε πάνω (up, u), κάτω (down, d) και παράξενο (strange, s). Η μαθηματική διερεύνηση της θεωρίας απέδειξε τελικά πως και τα κουάρκ πρέπει να υπάρχουν σε ζεύγη, έτσι ώστε σήμερα αναγνωρίζονται τρία επιπλέον κουάρκ, που ονομάστηκαν βασικό (bottom, b), κορυφαίο (top, t) και γοητευτικό (charming, c) αντίστοιχα.



McMillan, Gell-Mann και Nishijima

Μέχρι τη στιγμή αυτή, τα κουάρκ φαίνεται να συμπεριφέρονται με απλό τρόπο, κατά συνέπεια δεν απαιτείται έρευνα για κάποια ακόμη πιο στοιχειώδη σωματίδια που να τα αποτελούν. Ακόμη κι αν αυτό είναι όμως αλήθεια, δεν είναι δυνατόν, τουλάχιστον με την υπάρχουσα τεχνολογία να γίνουν μελέτες, αφού για να επιχειρηθεί διάσπαση των κουάρκ θα απαιτηθούν ενέργειες τεράστιες, που σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Φέιμαν θα απαιτούσαν την κατασκευή γραμμικών επιταχυντών με μήκος μερικών ετών φωτός! Φυσικά το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί εν μέρει με τη χρήση κυκλικών επιταχυντών, ωστόσο το αποτέλεσμα είναι ενδεικτικό του μεγέθους των ενεργειών που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν καθώς και της εξαιρετικής ακρίβειας στην κατασκευή του συστήματος και των εξαιρετικών μέτρων προφύλαξης από τις δέσμες των σωματιδίων καθώς και την εκλυόμενη ενέργεια.

Στο σημείο αυτό πρέπει κανείς να αναλογιστεί την ιστορική εξέλιξη διαφόρων εννοιών στον κορμό των θετικών επιστημών. Οι αρχαίοι φιλόσοφοι έθεσαν το θέμα του προσδιορισμού του βασικού και αναλλοίωτου, στην ουσία του, συστατικού των πάντων. Προτάθηκε η ύπαρξη των "ατόμων", που δεν αποτελούσαν παρά διαφορετικές εκφάνσεις του βασικού συστατικού, με διαφορετικές ιδιότητες στο μέγεθος και τη συμπεριφορά. Στη συνέχεια, το συστατικό αυτό εντοπίστηκε, μελετήθηκε και αποδείχθηκε ότι δεν αποτελούσε το "άτομο" του Δημοκρίτου. Τα αρχικά συστατικά του ατόμου έδειξαν πως ήταν επίσης περίπλοκα συγκροτήματα ακόμα πιο μικρών, σε μέγεθος ή ισοδύναμη μάζα, σωματιδίων. Η αναζήτηση των απλούστερων συστατικών της ύλης, η συμπεριφορά των οποίων θα μπορεί να εξηγή τη διαφοροποίηση στη συμπεριφορά των μεγαλύτερων συστημάτων, φαίνεται πως έχει φθάσει σε ένα όριο, ωστόσο, "αν αντικατασταθούν οι έννοιες Γη, Νερό, Αέρας, Φωτιά και Αιθέρας με τις σύγχρονες αντιλήψεις για τη Στερή, την Υγρή και την Αέρια φάση των σωμάτων, την Ενέργεια και το Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο, μπορούμε να πούμε, ότι οι αρχαίοι είχαν θέσει έναν προβληματισμό που εξακολουθεί να ισχύει και σήμερα".

## 8.Αποσπασμάτα από την ιστοσελίδα

Όπως προαναφέρθηκε, το περιεχόμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας χρησιμοποιήθηκε για την κατεσκευή μίας ιστοσελίδας με τίτλο "Θέματα Ιστορίας της Χημείας". Η ιστοσελίδα αυτή περιλαμβάνει, εκτός της παρούσης, το περιεχόμενο άλλων δύο διπλωματικών εργασιών που εκπονήθηκαν στα πλαίσια του Δι.Χη.Ν.Ε.Τ. και αφορούν στην ανακάλυψη και ονοματοθεσία στοιχείων και στις τυχαίες ανακαλύψεις στη χημεία. Χωρίζεται, λοιπόν, σε τρεις ενότητες και η καθεμία από αυτές στις επιμέρους υποενότητες. Στη συνέχεια ακολουθεί μία συνοπτική παρουσίαση της ιστοσελίδας με χαρακτηριστικά αποσπασμάτα της όπως αυτά εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή.

### ❖ Απόσπασμα από την αρχική σελίδα





## ❖ Αποσπάσματα από την σελίδα με τίτλο : " Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης "

The screenshot shows a website interface with a navigation bar at the top containing 'Αρχική', 'Βιβλιογραφία', 'Σχετικά', and 'Δι.Χη.Ν.Ε.Τ.'. Below the navigation bar are three tabs: 'Ιστορία της ανακάλυψης του ατόμου', 'Ανακάλυψη και ονοματοθεσία στοιχείων', and 'Ισχυρές ανακαλύψεις στη λημια'. The main content area is titled 'Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης'. It contains three paragraphs of text discussing ancient Greek philosophy and the development of atomic theory. To the right of the text is a purple sidebar titled 'Περιεχόμενα Κεφαλαίου' with a list of links: 'Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης', 'Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων', 'Η Επανεμφάνιση του Ατόμου', 'Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας', 'Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας', and 'Η διερεύνηση της δομής του ατόμου'.

## ❖ Αποσπάσματα από την σελίδα με τίτλο : " Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων"

The screenshot shows a website interface with a navigation bar at the top containing 'Αρχική', 'Βιβλιογραφία', 'Σχετικά', and 'Δι.Χη.Ν.Ε.Τ.'. Below the navigation bar are three tabs: 'Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων', 'Ανακάλυψη και ονοματοθεσία στοιχείων', and 'Ισχυρές ανακαλύψεις στη λημια'. The main content area is titled 'Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων'. It contains three paragraphs of text discussing the development of atomic theory during the Middle Ages. To the right of the text is a purple sidebar titled 'Περιεχόμενα Κεφαλαίου' with a list of links: 'Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης', 'Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων', 'Η Επανεμφάνιση του Ατόμου', 'Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας', 'Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας', and 'Η διερεύνηση της δομής του ατόμου'.

## ❖ Αποσπάσματα από την σελίδα με τίτλο : " Η επανεμφάνιση του ατόμου "

The screenshot shows a website page with a navigation bar at the top containing 'Ιστορία της ανακάλυψης του ατόμου', 'Ανακάλυψη και ονομασία', 'Αρχική', 'Βιβλιογραφία', 'Σχετικά', and 'Δι.Χη.Ν.Ε.Τ.'. The main content area is titled 'Η Επανεμφάνιση του Ατόμου'. The text discusses the revival of the atom concept, mentioning the 14th-century philosopher Nicolaus of Oresme and the 17th-century philosopher Giordano Bruno. A sidebar on the right, titled 'Περιεχόμενα Κεφαλαίου', lists sections: 'Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης', 'Οι ατομικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων', 'Η Επανεμφάνιση του Ατόμου', 'Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας', and 'Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας'.

## ❖ Απόσπασμα από την σελίδα με τίτλο : " Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας "

The screenshot shows a website page with a navigation bar at the top containing 'Ιστορία της ανακάλυψης του ατόμου', 'Ανακάλυψη και ονομασία', 'Αρχική', 'Βιβλιογραφία', 'Σχετικά', and 'Δι.Χη.Ν.Ε.Τ.'. The main content area is titled 'Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας'. It features a sub-section for 'John Dalton' which explains his atomic theory from 1808, including the definition of an atom and the concept of molecules. A sidebar on the right, titled 'Περιεχόμενα Κεφαλαίου', lists sections: 'Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης', 'Οι ατομικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων', 'Η Επανεμφάνιση του Ατόμου', 'Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας', and 'Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας'.

❖ **Απόσπασμα από την σελίδα με τίτλο : " Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας "**

Αρχική Βιβλιογραφία Σχετικά Δι.Χη.Ν.Ε.Τ.

Ιστορία της ανακάλυψης του ατόμου Ανακάλυψη και ονοματοθεσία στοιχείων Τυχαίες ανακαλύψεις στη Χημεία

### Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας

Πάντως το μεγαλύτερο μέρος του 19ου αιώνα πέρασε με την ατομική θεωρία στο κέντρο της αμφισβήτησης αφού αρκετοί, κυρίως φυσικοχημικοί όπως οι **Wilhelm Ostwald** και **Ernst Mach** ήταν όχι απλώς αδιάφοροι επειδή δεν τους «χρησίμευε» σε κάτι αλλά και επικριτικοί.

Πάντως υπήρχαν και δεδομένα που συνηγορούσαν τουλάχιστον για τη χρησιμότητα του ατομικού μοντέλου της ύλης στην καθημερινή πρακτική.

Σύγχρονοι του Berzelius έκαναν προτάσεις για τη χρήση ενός είδους ατομικής θεωρίας με στόχο την ερμηνεία κάποιων ηλεκτρικών φαινομένων της ύλης.

Για παράδειγμα ο **Ampère** πρότεινε την ύπαρξη ηλεκτρικών ρευμάτων εντός των ατόμων για να εξηγήσει το μαγνητισμό και ο **Poisson** έδειξε ότι η ηλεκτροστατική

**Περιεχόμενα Κεφαλαίου**

- Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης
- Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων
- Η Επανεμφάνιση του Ατόμου
- Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας

❖ **Απόσπασμα από την σελίδα με τίτλο : " Η διερεύνηση της δομής του ατόμου "**

Αρχική Βιβλιογραφία Σχετικά Δι.Χη.Ν.Ε.Τ.

### Η διερεύνηση της δομής του ατόμου

Η ανακάλυψη ότι το άτομο έχει δομή, αποτελείται δηλαδή από μικρότερα σωματίδια ήρθε πριν έναν περίπου αιώνα όταν ο **Thomson** (James John Thomson, 1856-1940) μελετώντας τις ιδιότητες της καθοδικής ακτινοβολίας διαπίστωσε ότι αποτελούνται από αρνητικά φορτισμένα σωματίδια των οποίων μάλιστα προσδιόρισε τη μάζα.

Τα σωματίδια αυτά ονομάστηκαν ηλεκτρόνια επειδή ακριβώς αλληλεπιδρούσαν με ηλεκτρικό πεδίο και ήταν αυτά που έδωσαν το έναυσμα της καθάρσεως του ατόμου από το τέλος της φυσικής και χημικής ανάλυσης της ύλης, αφού γινόταν φανερό πως θα περιείχε επιπλέον και σωματίδια με θετικό φορτίο, εφόσον μακροσκοπικά εμφανιζόταν ουδέτερο.

Σχηματική παράσταση της συσκευής που χρησιμοποίησε ο Thomson για τη μελέτη των καθοδικών ακτίνων. Πρόκειται για ένα αερόκενο σωλήνα Crookes όπου τα δύο ηλεκτρόδια στο αριστερό άκρο βρίσκονται κάτω από διάφορο δυναμικό. Κάποια στιγμή από την κάθοδο C εκπέμπεται η καθοδική ακτινοβολία η οποία περνώντας μέσα από το φίλτρο A και β εστιάζεται και οδηγείται μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται μεταξύ των παράλληλων μεταλλικών πλακών στο κέντρο του σωλήνα. Απουσία πεδίου η ακτινοβολία εστιάζεται στο καύλο

**Περιεχόμενα Κεφαλαίου**

- Το άτομο και η διακριτότητα της ύλης
- Οι ατομιστικές αντιλήψεις στη διάρκεια των μέσων χρόνων
- Η Επανεμφάνιση του Ατόμου
- Το ξεκίνημα της σύγχρονης ατομικής θεωρίας
- Αρχικές αντιδράσεις και τελική εδραίωση της ατομικής θεωρίας
- Η διερεύνηση της δομής του ατόμου

## 9. Προτάσεις διδακτικής εφαρμογής

Μέρος του υλικού που περιλαμβάνεται στη διατριβή μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε αυτούσιο είτε με μικρομετατροπές και κατάλληλες διαφοροποιήσεις και συμπληρώσεις στο πληροφοριακό τμήμα αρκετών κεφαλαίων των βιβλίων Χημείας που διδάσκονται στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Η αλήθεια είναι ότι σε κάποια σημεία των βιβλίων υπάρχει αντίστοιχο υλικό και για το λόγο αυτό αφήνεται στην κρίση τόσο των συγγραφέων όσο και των αρμοδίων υπηρεσιών να κρίνουν το τι θα μπορούσε να παραλειφθεί και τι να περιληφθεί στα συγκεκριμένα σημεία. Για παράδειγμα, στο κεφάλαιο που αναφέρεται στο ατομικό πρότυπο, υπάρχει κατά κανόνα μια φωτογραφία του Bohr και μερικά βιογραφικά του στοιχεία καθώς και κάποια μοντέλα του ατομικού προτύπου. Θα μπορούσε το υλικό αυτό να διαφοροποιηθεί και να αναφερθούν κάποια στοιχεία για τις πρώτες προτάσεις σχετικά με το ατομικό πρότυπο όπως αυτό που δίνουμε στη σελίδα 39 ενώ θα μπορούσε να δίνονται δικτυακοί σύνδεσμοι για την ανεύρεση βιογραφικών στοιχείων για τους αναφερόμενους επιστήμονες..

### ❖ Σχολικά εγχειρίδια Β΄ και Γ΄ τάξης γυμνασίου

<b>Χημεία Β΄ Τάξης</b>
Ομάδα συγγραφής : Σ. Αβραμιώτης, Β. Αγγελόπουλος, Γ. Καπελώνης, Π. Σιναγάλιας, Δ. Σπαντίδης, Α.Τρικαλίτη, Γ.Φίλος
<b>Γενική Ενότητα 2 : Από το νερό στο άτομο. Από το μακρόκοσμο στο μικρόκοσμο</b>
Κεφάλαιο 2.6 Διάσπαση του νερού- Χημικές ενώσεις και χημικά στοιχεία
Κεφάλαιο 2.7 Χημική αντίδραση
Κεφάλαιο 2.8 Άτομα και μόρια
Κεφάλαιο 2.9 Υποατομικά σωματίδια – Ιόντα
Κεφάλαιο 2.10 Σύμβολα χημικών στοιχείων και χημικών ενώσεων
Κεφάλαιο 2.11 Χημική εξίσωση
<b>Χημεία Γ΄ Τάξης</b>
Ομάδα συγγραφής : Π.Θεοδωρόπουλος , Π.Θεοφάνους , Φ.Σιδέρη
<b>2<sup>η</sup> Ενότητα : Ταξινόμηση των στοιχείων –Στοιχεία με ιδιαίτερο ενδιαφέρον</b>
Κεφάλαιο 2.1 Ο περιοδικός πίνακας

❖ Σχολικά εγχειρίδια Α΄ και Γ΄τάξης λυκείου

<b>Χημεία Α΄ Τάξης</b>
Ομάδα συγγραφής : Σ.Λιοδάκης, Δ.Γάκης, Δ.Θεοδωρόπουλος, Π.Θεοδωρόπουλος, Α.Κάλλης
<b>Κεφάλαιο 1 : Βασικές έννοιες</b>
Κεφάλαιο 1.3 Δομικά σωματίδια της ύλης - Δομή του ατόμου. Ατομικός αριθμός, Μαζικός αριθμός .Ισότοπα
<b>Κεφάλαιο 2 : Περιοδικός πίνακας -Δεσμοί</b>
2.1 Ηλεκτρονική δομή των ατόμων
2.2 Κατάταξη των στοιχείων (Περιοδικός Πίνακας). Χρησιμότητα του Περιοδικού Πίνακα
2.3 Γενικά για το χημικό δεσμό- Παράγοντες που καθορίζουν τη χημική συμπεριφορά του ατόμου. Είδη χημικών Δεσμών (Ιοντικός- Ομοιοπολικός)
2.4 Η γλώσσα της χημείας. Αριθμός οξείδωσης. Γραφή χημικών τύπων και εισαγωγή στην ονοματολογία των ενώσεων
<b>Κεφάλαιο 6 : Γενικό μέρος οργανικής χημείας</b>
6.4 Ισομέρεια

<b>Χημεία Γ΄Τάξης (Θετικής κατεύθυνσης )</b>
Ομάδα συγγραφής :
<b>Κεφάλαιο 1 : Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων και περιοδικός πίνακας</b>
1.1 Τροχιακό-κβαντικοί αριθμοί
1.2 Αρχές δόμησης
1.3 Δομή περιοδικού πίνακα (τομείς <i>s</i> , <i>p</i> , <i>d</i> , <i>f</i> )-στοιχεία μετάπτωσης
1.4 Μεταβολή ορισμένων περιοδικών ιδιοτήτων

Στη Β Γυμνασίου στην ενότητα 2.9 όπου γίνεται εκτενής αναφορά για το άτομο και τα υποατομικά σωματίδια, μπορούν να δοθούν μέσα σε παρένθεση ακόμη, τα χρονολογικά στοιχεία για την απομόνωση και ταυτοποίηση των υποατομικών σωματιδίων ώστε να καταδειχθεί ότι η ολοκλήρωση της αντίληψής μας για το άτομο είναι κάτι πολύ πρόσφατο.

Στην ενότητα 2.1 της Γ Γυμνασίου θα ήταν πιο εποπτικό, κατά τη γνώμη μας, να παρουσιαστεί ο χειρόγραφος περιοδικός πίνακας του Mendeleev με κάποια στοιχεία για τις προηγούμενες προσπάθειες παρουσίασης των στοιχείων και να δοθεί το γνωστό αλλά επίσης εποπτικό παράδειγμα της σύμπτωσης των ιδιοτήτων για τα στοιχεία που πρότεινε την ύπαρξή τους ενώ ήταν εκείνη τη στιγμή άγνωστα. Επίσης στο ίδιο κεφάλαιο θα μπορούσε να έχει θέση η προσθήκη που αναφέρθηκε προηγουμένως για την ενότητα 2.9 της Β Γυμνασίου.

Στην ύλη της Α Λυκείου στο κεφάλαιο 1.3 θα μπορούσε να περιληφθεί μια παράσταση των αρχικών μετρήσεων του Moseley, από τις οποίες προέκυψε η έννοια και η σημασία του ατομικού αριθμού και να δίνεται επίσης μια δυνατότητα τόσο να βρεθούν βιογραφικά στοιχεία για τον συγκεκριμένο επιστήμονα καθώς και για όλους τους σχετικούς με τις αρχικές έρευνες σχετικά με το άτομο.

Και στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να παρατεθούν έστω και σε συντομία, μερικά στοιχεία για τις χρονολογίες που ανακαλύφθηκαν τα διάφορα υποατομικά σωματίδια, όπως προτείνουμε και στο κεφάλαιο 2.9 της ύλης της Β Γυμνασίου. Κατά τη γνώμη μας, η αναφορά στα λόγια που έχουν πει διάφοροι μεγάλοι σύγχρονοι επιστήμονες για το άτομο, μπορεί να ικανοποιεί τους συγγραφείς κατά το ότι είναι «σύγχρονοι» αλλά δεν παρουσιάζει κάτι νέο ή ενδιαφέρον για τους μαθητές, από τους οποίους είναι ζήτημα αν ο ένας στους 100 θα φθάσει κάποτε στο σημείο να διδαχθεί στα πλαίσια ενός προπτυχιακού κύκλου μαθημάτων σε Α.Ε.Ι. για το τι ήταν και τι πίστευε ο Φέινμαν ή ο Πόπλ.

Για την Α τάξη του Λυκείου και πάλι, στο κεφάλαιο 2.1 όπου γίνεται για μια ακόμη φορά αναφορά στο άτομο και τη δομή του, κατά τη γνώμη μας θα ήταν πιο άμεσο για τους μαθητές να εισαχθεί ένας συνοπτικός πίνακας χρονολογικών στοιχείων με τη σκιαγράφιση της «πορείας» προς την σύγχρονη ατομική θεωρία και να δίνονται έστω και με τη μορφή συνδέσμων στο δίκτυο, ιστότοποι όπου μπορεί να βρεθούν στοιχεία για τη βιογραφία των επιστημόνων που αναφέρονται.

Στο κεφάλαιο 2.2 του ίδιου βιβλίου όπου γίνεται αναφορά στον περιοδικό πίνακα, μπορεί να εισαχθεί ένα ικανοποιητικής έκτασης κείμενο με ιστορικά στοιχεία όσον αφορά τις προτάσεις για την κατάταξη των στοιχείων σύμφωνα με τις ιδιότητές τους, όπου μπορεί να βρει θέση το αντίστοιχο τμήμα της διατριβής, πιθανόν και στο σύνολό του.



## 10.Βιβλιογραφία

### Γενική Βιβλιογραφία

1. I.Asimov, *A Short History of Chemistry*, Greenwood Press Publishers, 1965.
2. I.Asimov, *Το χρονικό των Επιστημονικών Ανακαλύψεων*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2008.
3. C. Bailey, *The Greek Atomists and Epicurus. A Study*, Russel & Russell, New York, 1928.
4. W.H. Brock, *The Norton History of Chemistry*, W.W. Norton and Company, 1992.
5. J. Hudson, *The History of Chemistry*, MacMillan, 1992.
6. H.M. Leicester, *Historical Background to Chemistry*, Dover, 1971.
7. R. Mierzecki, *The Historical Development of Chemical Concepts*, Dordrecht, 1991.
8. J.R. Partington, *A Short History of Chemistry*, Dover, 1937.
9. H.W. Salzberg, *From Caveman to Chemist*, American Chemical Society, 1991.
10. Sir Basil Schonland, *The Atomists (1805-1933)*, Clarendon Press, Oxford, 1968.
11. A. G.R. Smith, *Science and Society in the Sixteenth and Seventeenth Centuries*, Thames and Hudson, London, 1972.
12. A.G. van Melsen, *From Atomos to Atom. The History of the Concept Atom*, Harper and Brothers, 1960 ανατύπωση του αρχικού κειμένου του 1912.
13. B. Pullman, A. Reisinger, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press, 2001.
14. <http://atomiictimeline.net/index.php>
15. <http://www.nobeliefs.com/atom.htm>
16. <http://cstl-csm.semo.edu/mcgowan/ch181/atomhist.htm>
17. <http://kori-designs.com/Chem%20Timeline/atomiictimeline/>
18. <http://www.cartage.org.lb/en/themes/sciences/physics/atomicphysics/atomicstructure/atomiictimeline/atomiictimeline.htm>

### Ειδική Βιβλιογραφία

1. G.D. Fenstermacher, Review in Research Education, American Research Educational Association, Washington D.C., 1994
2. P. J. Garnetta, P.J. Garnettb, M.W. Hackling, *Studies Sci. Educ.*, **25**, 1995, 69
3. P. Birk, M.J. Kurtz, *J. Chem. Educ.*, **76**, 1999, 124 και G.M. Bodner, *J. Chem. Educ.*, **68**, 1991, 385

4. J. Bennett, *Int. J. Sci. Educ.*, **23**, 2001, 833
5. L. Paoloni, *Eur. J. Sci. Educ.*, **3**, 1918,139
6. A. Stinner, B. MacMillan, D. Metz, J. Jilek, S. Klassen, *Sci. Educ.*, **12**, 2003, 617
7. Lewis, J.: 1972, *Teaching School Physics*, Penguin Books, Harmondsworth.
8. Brush, S.: 1969, 'The Role of History in the Teaching of Physics', *The Physics Teacher* (May), 271–280
9. A. Binnie, *Sci. Educ.*, **10**, 2001, 379, I. Galili, A. Hazan, *Phys. Educ. Res.*, 68, 2000, S3
10. Livingstone, R.: 1916, *A Defence of Classical Education*, MacMillan, London
11. HMSO: 1918, 'Report of the Committee Appointed by the Prime Minister to Inquiry into the Position of Natural Science in the Educational System of Great Britain (Thomson Report)', in *Reports from Commissioners-5-Education*, Governmental Publications, London
12. Board of Education: 1938, *Report of the Consultive Committee on Secondary Education with Special Reference to Grammar Schools and Technical High Schools (Spens Report)*, HMSO, London