

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

Ατομική Δομή της Ύλης

Ατομική Δομή της Ύλης

2.1 Φιλοσοφικές απόψεις κατά την αρχαιότητα

Η υπόθεση της ασυνέχειας της ύλης, σύμφωνα με την οποία η ύλη παρότι εμφανίζεται μακροσκοπικά συνεχής αποτελείται από μεγάλο αριθμό μικρών σωματιδίων, δηλαδή είναι μικροσκοπικά ασυνεχής, είναι πολύ παλιά.

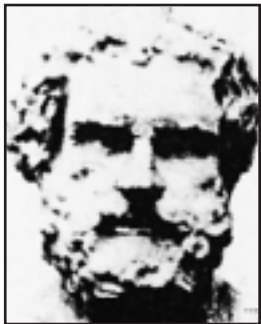
Ο Αναξαγόρας (περίπου 499-428 π.Χ.), ένας από τους τελευταίους φιλοσόφους της Ιωνικής σχολής, διατύπωσε την υπόθεση ότι η ύλη αποτελείται από άπειρο αριθμό μικροσκοπικών σωματιδίων, τα οποία ονόμασε *ομοιομερή*. Τα ομοιομερή ήταν «αδημιούργητα και άφθαρτα» και περιείχαν, σε εξαιρετικά μικρή κλίμακα, οτιδήποτε υπάρχει στον ορατό κόσμο.

Ο Εμπεδοκλής, σύγχρονος του Αναξαγόρα, υπέθεσε την ύπαρξη τεσσάρων διαφορετικών ειδών «ριζωμάτων» (νερό, αέρας, φωτιά, γη). Με τον Εμπεδοκλή εισάγεται η αντίληψη ότι όλα τα ορατά αντικείμενα που υπάρχουν στο κόσμο αποτελούνται από συνδυασμούς αυτών των ριζωμάτων. Η άποψη ότι η ύλη αποτελείται από τέσσερις μόνο βασικές οντότητες εμφανίζεται πολύ διαδε-

Ο Εμπεδοκλής όρισε την ποσοτική σχέση των οστών, τα οποία αποτελούνται από 8 μέρη γης, 2 μέρη νερού και 4 μέρη φωτιάς. Η αντίληψη αυτή μπορεί να θεωρηθεί αντίστοιχη του νόμου των σταθερών λόγων του Proust.

«ἐτεῖ ἅτομα καὶ
κενόν»

«ἀρχὰς εἶναι τῶν
ὄλων ἀτόμους καὶ
κενό, τὰ δ' ἄλλα
πάντα νενομίσθαι»



Δημόκριτος (περίπου
460-370 π.Χ.). Αρχαί-
ος Έλληνας φιλόσο-
φος από τα Άβδηρα
της Θράκης.

δομένη αργότερα στην αριστοτελική φιλοσοφία.

Η πρώτη διατύπωση μιας πραγματικής ατομικής θεωρίας, με τη σύγχρονη έννοια, συνδέεται με τις ιδέες που ανέπτυξε ο Λεύκιππος και ο μαθητής του Δημόκριτος.

Ο Δημόκριτος δίδαξε την ασυνέχεια της ύλης σε μικροσκοπικό επίπεδο και εισήγαγε την έννοια του *στοιχειώδους, ομοιόμορφου και άτμητου*, δηλαδή αδιαίρετου δομικού λίθου της ύλης, του *ατόμου*. Τα άτομα βρίσκονται, σύμφωνα με τη θεωρία του, σε συνεχή και τυχαία κίνηση μέσα στο κενό.

Η ατομική θεωρία του Δημόκριτου ήταν η πληρέστερη θεωρία για τη δομή της ύλης, που είχε αναπτυχθεί έως εκείνη την εποχή. Παρόλα αυτά, οι αντιλήψεις του Δημόκριτου παραμερίστηκαν σε μεγάλο βαθμό από τις θεωρίες του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη, οι οποίες κυριάρχησαν για πολλά χρόνια στο δυτικό κόσμο. Μετά την κλασική εποχή, τα άτομα επανεμφανίζονται στην Ευρώπη το 17^ο αιώνα.

2.2 Η ατομική θεωρία του Dalton

John Dalton (1766-1844). Άγγλος χημικός, μαθηματικός και φιλόσοφος. Πέραν των μελετών του για την ατομική δομή, περιέγραψε λεπτομερώς την πάθηση της αχρωματοψίας από την οποία έπασχε. Για το λόγο αυτό, η αχρωματοψία ονομάζεται και «δαλτονισμός».

Στα πρώτα χρόνια του 19^{ου} αιώνα, τα διαρκώς συσσωρευόμενα πειραματικά δεδομένα οδήγησαν τον J. Dalton (Ντάλτον) στη διατύπωση μιας ποσοτικής ατομικής θεωρίας, η οποία αποτέλεσε την αρχή της σύγχρονης εποχής στη χημεία.

Οι υποθέσεις, στις οποίες ο Dalton στήριξε τη θεωρία του, συνοψίζονται στα εξής:

- Η ύλη συνίσταται από εξαιρετικά μικρά και αδιαίρετα σωματίδια, τα άτομα. Όλα τα άτομα ενός στοιχείου είναι πανομοιότυπα, δηλαδή έχουν το ίδιο μέγεθος, την ίδια μάζα και χαρακτηρίζονται από τις ίδιες ιδιότητες. Τα άτομα

ενός στοιχείου είναι διαφορετικά από τα άτομα όλων των άλλων στοιχείων.

- Οι χημικές ενώσεις συντίθενται από άτομα δύο ή περισσότερων στοιχείων, τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους σε καθορισμένες, απλές αναλογίες. Ο λόγος δηλαδή, του αριθμού των ατόμων των στοιχείων ανά δύο, που συμμετέχουν στη χημική ένωση, είναι μικρός ακέραιος αριθμός ή κλάσμα μικρών ακέραιων αριθμών.

Η υπόθεση αυτή αποτελεί ερμηνεία του νόμου των σταθερών λόγων του Proust, διότι, εφόσον τα στοιχεία ενώνονται με σταθερές αναλογίες ατόμων για να σχηματίσουν χημικές ενώσεις και τα άτομα του ίδιου στοιχείου έχουν την ίδια μάζα, οι αναλογίες των μαζών των στοιχείων θα είναι επίσης σταθερές.

- Κατά τη διάρκεια των χημικών φαινομένων, τα άτομα απλά διαχωρίζονται και αναδιατάσσονται χωρίς να καταστρέφονται ή να δημιουργούνται νέα.

Η υπόθεση αυτή ερμηνεύει το νόμο της αφθαρσίας της ύλης του Lavoisier.

Σήμερα είναι γνωστό ότι τα άτομα δεν είναι αδιαίρετα αλλά δομούνται από άλλα μικρότερα σωματίδια. Παρόλα αυτά, οι υποθέσεις του Dalton είναι, στην ουσία, ορθές.

Οι μελέτες του Dalton, τον οδήγησαν αρχικά στην υπόθεση ότι τα άτομα όλων των ουσιών έχουν το ίδιο μέγεθος. Η υπόθεση αυτή δεν μπορούσε να ερμηνεύσει την πραγματική συμπεριφορά των αερίων. Έτσι, ο Dalton οδηγήθηκε στη σκέψη ότι υπάρχουν άτομα διάφορων μεγεθών.

Ο Dalton δεν επιχείρησε να περιγράψει τη δομή των ατόμων (στην πραγματικότητα δε γνώριζε πώς είναι ένα άτομο). Αντιλήφθηκε, όμως, ότι οι διαφορετικές ιδιότητες των στοιχείων μπορούν να ερμηνευθούν με την παραδοχή της διαφορετικότητας των ατόμων τους.

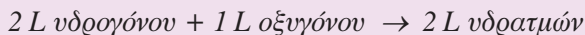
Ο Δημόκριτος, σε πλήρη συμφωνία με τις σύγχρονες αντιλήψεις, υποστήριξε: «Μηδέν τε ἐκ τοῦ μὴ ὄντος γίγνεσθαι μηδὲ εἰς τό μὴ ὄν φθείρεσθαι» (όπως διασώζεται στο έργο «Βίοι Φιλοσόφων» του Διογένη του Λαέρτιου).

2.3 Ο νόμος των αερίων όγκων και η υπόθεση Avogadro. Το μόριο

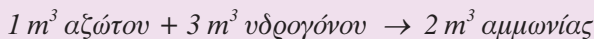
Το 1808 ο Gay-Lussac διατύπωσε το **νόμο των αερίων όγκων**, σύμφωνα με τον οποίο:

Σε σταθερή πίεση και θερμοκρασία, οι λόγοι των όγκων των αερίων, που αντιδρούν ή παράγονται σε μια χημική αντίδραση, είναι λόγοι απλών ακέραιων αριθμών.

Για παράδειγμα, κατά την αντίδραση σχηματισμού υδρατμών, 2 όγκοι υδρογόνου ενώνονται πάντα με 1 όγκο οξυγόνου και παράγονται 2 όγκοι υδρατμών.



Όμοια, κατά την αντίδραση σχηματισμού αμμωνίας, 1 όγκος αζώτου ενώνεται πάντα με 3 όγκους υδρογόνου και παράγονται 2 όγκοι αμμωνίας.



Λίγα χρόνια αργότερα, το 1811, ο A. Avogadro (Αβογκάντρο) διατύπωσε την παρακάτω υπόθεση, η οποία σήμερα είναι γνωστή ως **νόμος του Avogadro**:

Ίσοι όγκοι αερίων στις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας περιέχουν τον ίδιο αριθμό μορίων.

Για τον Avogadro, «μόρια» ήταν τα «στοιχειώδη σωματίδια» από τα οποία αποτελούνταν τα αέρια. Για να ερμηνεύσει, όμως, το νόμο των αερίων όγκων του Gay-Lussac, ο Avogadro αποδέχτη-

Ο Avogadro, μετά τη διατύπωση της υπόθεσής του, προχώρησε στη διάκριση ανάμεσα σε αυτά που ονόμασε «αέρεια μόρια» (τα μόρια όπως εννοούνται σήμερα) και «στοιχειώδη μόρια» (τα άτομα).

κε ότι τα «μόρια» ορισμένων στοιχείων αποτελούνται από δύο ή περισσότερα άτομα.

☞ Σύμφωνα με το νόμο του Avogadro, δύο όγκοι υδρατμών πρέπει να περιέχουν διπλάσιο αριθμό μορίων από έναν όγκο οξυγόνου. Κατά την αντίδραση σχηματισμού των υδρατμών, από έναν όγκο οξυγόνου παράγονται δύο όγκοι υδρατμών. Επομένως, το μόριο του οξυγόνου πρέπει να περιέχει διπλάσιο αριθμό ατόμων οξυγόνου από ένα μόριο νερού. Αφού τα άτομα είναι αδιαίρετα, το μόριο του νερού περιέχει τουλάχιστον ένα άτομο οξυγόνου και κατά συνέπεια το μόριο του οξυγόνου περιέχει τουλάχιστον δύο άτομα. Σήμερα είναι γνωστό ότι το μόριο του οξυγόνου αποτελείται από δύο άτομα.

Από αντίστοιχες αντιδράσεις αποδεικνύεται ότι τα μόρια του υδρογόνου, του αζώτου, του χλωρίου και άλλων αερίων στοιχείων αποτελούνται, επίσης, από δύο άτομα.

Σύμφωνα με τις σημερινές αντιλήψεις:

Μόριο είναι μία ορισμένη και διακριτή, ηλεκτρικά ουδέτερη ομάδα από τουλάχιστον δύο άτομα, ενωμένα μεταξύ τους με ελκτικές δυνάμεις.

Ένα μόριο μπορεί να αποτελείται από άτομα του ίδιου στοιχείου, οπότε είναι *μόριο στοιχείου*, ή από άτομα διαφορετικών στοιχείων, οπότε είναι *μόριο χημικής ένωσης*.

2.4 Οι μεγάλες ανακαλύψεις στα τέλη του 19^{ου} αιώνα

Το τέλος του 19^{ου} και οι αρχές του 20^{ου} αιώνα χαρακτηρίζονται από μια σειρά μεγάλων ανακαλύψεων στο χώρο των φυσικών επιστημών. Την ε-

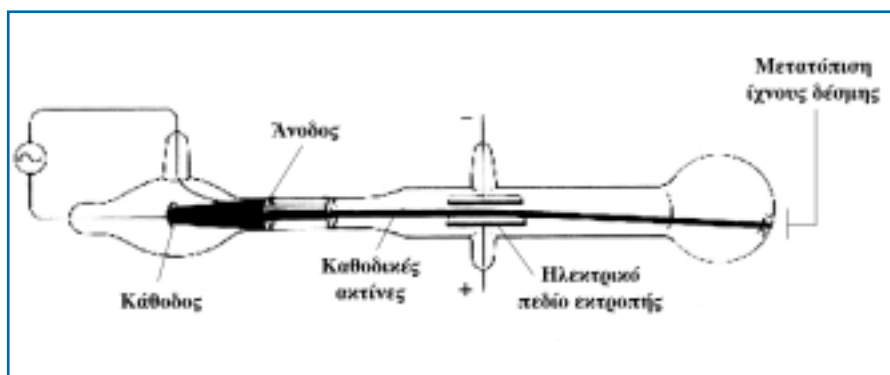
Οι ακτίνες X ανακαλύφθηκαν το 1895 από τον W. Rontgen. Πρόκειται για διεισδυτική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, παρόμοια με το ορατό φως αλλά με πολύ μικρότερο μήκος κύματος

Ο W. Crookes απέδειξε ότι οι καθοδικές ακτίνες κινούνται σε ευθεία γραμμή και μπορούν να περιστρέψουν ένα μικρό ευαίσθητο μύλο, όταν προσπίπτουν στα πτερύγιά του.

Συμπέρανε επίσης ότι οι καθοδικές ακτίνες είναι ροή ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων.

ποχή αυτή ανακαλύπτονται οι καθοδικές ακτίνες, οι ακτίνες X, το ηλεκτρόνιο, το πρωτόνιο, το νετρόνιο και η ραδιενέργεια. Οι ανακαλύψεις αυτές οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι τα άτομα αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια (υποατομικά) και επέτρεψαν τη μελέτη της δομής της ύλης και τη διατύπωση θεωριών για τη δομή του ατόμου.

Ήδη, από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, είχε διαπιστωθεί ότι κατά τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από σωλήνα υψηλού κενού παράγεται από την κάθοδο (αρνητικός πόλος) μια μορφή ακτινοβολίας, η οποία ονομάστηκε *καθοδική ακτινοβολία* (σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Ο καθοδικός σωλήνας είναι κενός από αέρα και περιέχει δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια μεταξύ των οποίων επιβάλλεται υψηλή τάση. Ηλεκτρόνια παράγονται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) και μετακινούνται προς το θετικό (άνοδος). Η δέσμη των ηλεκτρονίων (καθοδικές ακτίνες) μπορεί να εκπραπεί με την επιβολή ηλεκτρικού πεδίου.

Το 1897 ο J. J. Thomson (Τόμσον) έδειξε ότι η καθοδική ακτινοβολία είναι ρεύμα όμοιων σωματιδίων, αρνητικά φορτισμένων, με μάζα πολύ μικρότερη από τη μάζα του ατόμου του υδρογόνου (το οποίο είναι το άτομο με τη μικρότερη μάζα). Τα σωματίδια αυτά παράγονται πάντα, ανεξάρτητα από τη φύση της καθόδου και, επομένως, αποτελούν κοινό συστατικό όλων των ατόμων. Τα σωματίδια αυτά ονομάστηκαν **ηλεκτρόνια**.

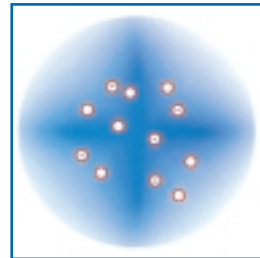
Η άποψη ότι το άτομο είναι αδιαίρετο ήταν πλέον αστήρικτη. Ήταν φανερό ότι τα άτομα χαρακτηρίζονται από κάποια δομή στην οποία συμμετέχουν απλούστερα σωματίδια, όπως τα ηλεκτρόνια. Η διαπίστωση αυτή έθεσε το πρόβλημα της διευσθέτησης των υποατομικών σωματιδίων μέσα στο ατομικό συγκρότημα, δηλαδή, το πρόβλημα του τρόπου δόμησης του ατόμου.

Το άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Έτσι, εφόσον περιέχει αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, θα πρέπει να περιέχει και θετικά φορτία, τα οποία να αντισταθμίζουν τα αρνητικά.

Πρώτος ο Thomson, το 1899, πρότεινε ένα ατομικό πρότυπο, σύμφωνα με το οποίο το άτομο είναι μια θετικά φορτισμένη σφαίρα, στο εσωτερικό της οποίας υπάρχουν ηλεκτρόνια. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων είναι τέτοιος, ώστε να εξουδετερώνει το θετικό φορτίο της σφαίρας και το άτομο να εμφανίζεται ηλεκτρικά ουδέτερο (σχήμα 2.2).

Τα πειραματικά δεδομένα της εποχής, όμως, απαιτούσαν τη διατύπωση πληρέστερων προτύπων. Πριν την παρουσίασή τους, θα πρέπει να αναφερθεί η ανακάλυψη της ραδιενέργειας.

Το 1896, ο A. H. Becquerel (Μπεκερέλ) ανακάλυψε τυχαία ότι το ουράνιο εκπέμπει μια άγνωστη ακτινοβολία. Το φαινόμενο μελετήθηκε εκτενώς από το ζεύγος Curie (Κιουρί) και άλλους ερευνητές. Μεταξύ άλλων, διαπιστώθηκε ότι και άλλα στοιχεία, εκτός από το ουράνιο, εκπέμπουν την ακτινοβολία αυτή, η οποία ονομάστηκε **ραδιενέργεια**.



Σχήμα 2.2: Το άτομο του Thomson μοιάζει με καρπούζι. Το θετικό φορτίο εκτείνεται σε όλο τον όγκο του «καρπού», ενώ τα σπόρια είναι τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια).

Οι ακτίνες γ είναι παρόμοιες με τις ακτίνες X, αλλά χαρακτηρίζονται από μικρότερα μήκη κύματος.

Διαπιστώθηκε ότι η ραδιενέργεια αποτελείται από τρεις τύπους ακτινοβολίας: την *άλφα*, τη *βήτα* και τη *γάμα*. Η ακτινοβολία άλφα αποτελείται από θετικά φορτισμένους πυρήνες ηλίου (He^{2+}), τα σωματίδια α . Η ακτινοβολία β αποτελείται από ηλεκτρόνια, ενώ η γ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

2.5 Το ατομικό πρότυπο του Rutherford



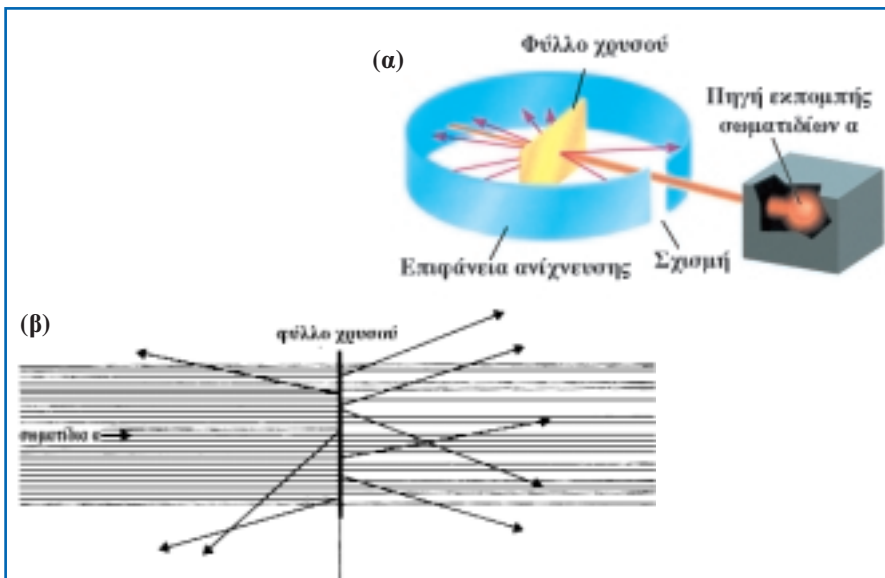
Ernest Rutherford (1871-1937). Νεοζηλανδός φυσικός. Τιμήθηκε με το βραβείο Nobel χημείας το 1908 για τις έρευνές του σχετικά με τη δομή του ατομικού πυρήνα.

Κατά το βομβαρδισμό λεπτών φύλλων χρυσού με σωματίδια α διαπιστώθηκε ότι τα περισσότερα σωματίδια διαπερνούν το μεταλλικό φύλλο, χωρίς να εκτρέπονται από την αρχική τους πορεία. Ορισμένα σωματίδια εκτρέπονται και λίγα επιστρέφουν προς τα πίσω (σχήμα 2.3).

Το 1911 ο E. Rutherford (Ράδερχορντ), προκειμένου να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα του πειράματός αυτού, διατύπωσε ένα ατομικό πρότυπο, σύμφωνα με το οποίο:

Τα άτομα αποτελούνται από τον πυρήνα, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο τους, έχει μεγάλη μάζα και είναι θετικά φορτισμένος. Γύρω από τον πυρήνα και σε μεγάλες σχετικά αποστάσεις κινούνται ηλεκτρόνια, με συνολικό φορτίο ίσο και αντίθετο από το φορτίο του πυρήνα.

Σύμφωνα με τον Rutherford, οι ατομικοί πυρήνες έχουν διαμέτρους της τάξης των 10^{-15} m (10^{-5} Angstrom), ενώ η διάμετρος του ατόμου φθάνει τα 10^{-10} m, είναι δηλαδή 100000 φορές μεγαλύτερη. Το σύνολο σχεδόν της μάζας του ατόμου βρίσκεται στον πυρήνα, παρότι το γεγονός ότι ο όγκος του τελευταίου είναι πολύ μικρός σε σχέση με τον όγκο του ατόμου.



Σχήμα 2.3: α) Το πείραμα των Rutherford - Geiger - Marsden. Τα σωματίδια α καταγράφονται με κατάλληλη ανιχνευτική διάταξη. β) Οι τροχιές των σωματιδίων α σε πιο λεπτομερή αναπαράσταση.

Ο Rutherford δέχτηκε ότι ο πυρήνας αποτελείται από θετικά φορτισμένα σωματίδια, τα οποία ονόμασε **πρωτόνια**. Το φορτίο του πρωτονίου είναι ίσο και αντίθετο με το φορτίο του ηλεκτρονίου. Επομένως, ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων του ατόμου. Η μάζα του πρωτονίου είναι κατά προσέγγιση ίση με τη μάζα ενός ατόμου υδρογόνου και περίπου 1836 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου.

Το ατομικό πρότυπο του Rutherford έδωσε απάντηση σε σημαντικά ερωτήματα, είχε όμως μια βασική αδυναμία: δεν αποδείκνυε τη σταθερότητα του ατόμου.

Σύμφωνα με τη, γνωστή εκείνη την εποχή, ηλεκτρομαγνητική θεωρία, κάθε ηλεκτρικά φορτισμένο σωματίδιο που επιταχύνεται σε ηλεκτρικό πεδίο εκπέμπει στο περιβάλλον ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Έτσι,

Η περιστροφική κίνηση περιλαμβάνει μια συνεχή επιτάχυνση λόγω της αλλαγής της φοράς της ταχύτητας, αν και το μέτρο της παραμένει σταθερό.

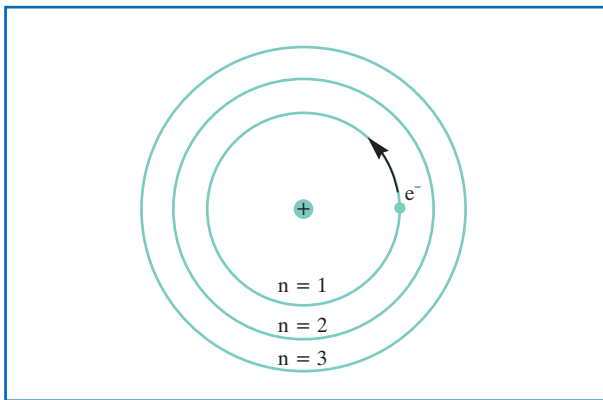
τα ηλεκτρόνια, ως επιταχυνόμενα φορτία μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο του πυρήνα, θα έπρεπε να εκπέμπουν συνεχώς ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να μειώνεται σταθερά η ενέργειά τους. Η ενέργεια, όμως, είναι μικρότερη κοντά στον πυρήνα και μεγαλώνει ανάλογα με την απόσταση από αυτόν. Αναπόφευκτη συνέπεια λοιπόν του προτύπου του Rutherford ήταν η πτώση, τελικά, των ηλεκτρονίων πάνω στον πυρήνα (κατάρρευση ατόμου).

2.6 Το ατομικό πρότυπο του Bohr



Niels H. D. Bohr (1885-1962). Δανός φυσικός. Τιμήθηκε με το βραβείο Nobel φυσικής το 1922, για τη θεωρία του σχετικά με την ερμηνεία του φάσματος του ατόμου του υδρογόνου.

Το 1913, ο N. Bohr (Μπορ) προσπαθώντας αρχικά να ερμηνεύσει τη σταθερότητα του ατόμου του υδρογόνου πρότεινε ένα νέο ατομικό πρότυπο. Σύμφωνα με αυτό:



Σχήμα 2.4: Σύμφωνα με τον Bohr, το άτομο του υδρογόνου έχει πλανητική μορφή και αποτελείται από έναν πυρήνα (πρωτόνιο) με ηλεκτρικό φορτίο $+e$, γύρω από τον οποίο περιφέρεται - σε κυκλική τροχιά - ένα ηλεκτρόνιο με ηλεκτρικό φορτίο $-e$. Με το γράμμα e συμβολίζεται το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο, που είναι ίσο με $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

- Η ενέργεια του ηλεκτρονίου, μέσα σε ένα άτομο, μπορεί να έχει μόνο καθορισμένες τιμές, οι οποίες ονομάζονται ενεργειακές στάθμες ή στιβάδες. Αυτές αντιστοιχούν σε καθορισμένες, επιτρεπόμενες, κυκλικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα.

Σε κάθε στιβάδα αντιστοιχεί ένας φυσικός αριθμός n , που ονομάζεται κύριος κβαντικός αριθμός. Όσο αυξάνει η τιμή του n , τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση της στιβάδας από τον πυρήνα. Από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του ατόμου, οι στιβάδες συμβολίζονται με τα γράμματα K, L, M, N, O, P, Q.

Κάθε στιβάδα μπορεί να «φιλοξενήσει» ένα μέγιστο αριθμό ηλεκτρονίων, ο οποίος είναι ίσος με $2n^2$.

Έτσι, η στιβάδα K ($n=1$) μπορεί να δεχθεί μέχρι $2 \cdot 1^2 = 2$ ηλεκτρόνια, η L ($n=2$) μέχρι $2 \cdot 2^2 = 8$ ηλεκτρόνια, η M ($n=3$) μέχρι $2 \cdot 3^2 = 18$ ηλεκτρόνια, κ.ο.κ.

- Η συνολική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου, όταν αυτό κινείται σε κάποια από τις επιτρεπόμενες στιβάδες (τροχιές), είναι σταθερή. Η ενέργεια αυτή μεταβάλλεται μόνο κατά τη μετάβαση του ηλεκτρονίου από μια ενεργειακή στάθμη σε μια άλλη.

Η ενέργεια των στιβάδων αυξάνεται ανάλογα με την απόστασή τους από τον πυρήνα. Η στιβάδα K, με $n=1$, χαρακτηρίζεται από ελάχιστη ενέργεια.

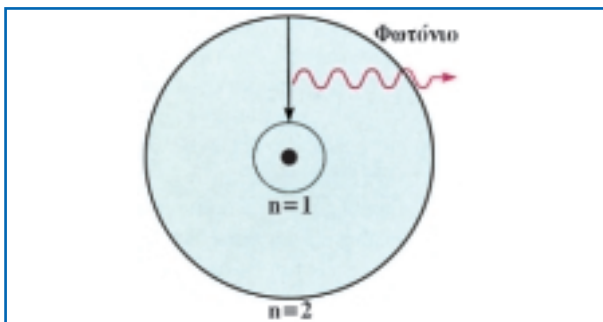
Η μετάπτωση του ηλεκτρονίου από μια στάθμη υψηλότερης σε μια στάθμη χαμηλότερης ενέργειας συνοδεύεται από εκπομπή ενέργειας, με τη μορφή ενός φωτονίου. Η ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου ισούται με τη διαφορά ενέργειας μεταξύ των επιτρεπόμενων στιβάδων (σχήμα 2.5).

Το ατομικό πρότυπο του Bohr βελτιώθηκε από τον A. Sommerfeld (Σόμερφελντ), ο οποίος θεώ-

n	στιβάδα
1	K
2	L
3	M
4	N
5	O
6	P
7	Q

Ένα άτομο υδρογόνου με το ηλεκτρόνιο του στη στιβάδα K βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση ελάχιστης ενέργειας. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταβεί σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη αν απορροφηθεί ενέργεια από το περιβάλλον. Τότε, το άτομο του H είναι διεγερμένο.

ρησε ότι οι τροχιές των ηλεκτρονίων μπορεί να είναι και ελλειπτικές.

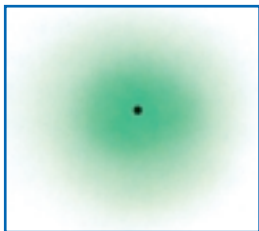


Σχήμα 2.5: Μετάπτωση ηλεκτρονίου από τη στάθμη L ($n=2$) στη στάθμη K ($n=1$) με εκπομπή ενέργειας.

Ο L. De Broglie, το 1924, διατύπωσε την αρχή του дуϊσμού της ύλης, σύμφωνα με την οποία: «Κάθε σωματίδιο παρουσιάζει τόσο υλικό όσο και κυματικό χαρακτήρα».

Η θεωρία των Bohr-Sommerfeld είχε επιτυχία εφαρμογή στο άτομο του υδρογόνου, αλλά παρουσίαζε αρκετές αδυναμίες, μερικές από τις οποίες είναι ότι: α) η εισαγωγή της έννοιας των καθορισμένων ενεργειακών σταθμών, αν και ορθή, ήταν αυθαίρετη και θεωρητικά αστήρικτη και β) αδυνατούσε να εξηγήσει με επιτυχία τις ιδιότητες των ατόμων με περισσότερα από ένα ηλεκτρόνια.

2.7 Κβαντικοί αριθμοί και ηλεκτρονική δομή



Σχήμα 2.6: Αναπαράσταση του ηλεκτρονικού νέφους γύρω από τον πυρήνα, σε ένα άτομο υδρογόνου.

Σύμφωνα με τις νεότερες αντιλήψεις, ένα ηλεκτρόνιο συμπεριφέρεται σα να ήταν ταυτόχρονα σωματίδιο και ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Δεν έχει συγκεκριμένη θέση και ταχύτητα, αλλά θεωρείται ως «διάχυτο» στο χώρο αρνητικό φορτίο, που ονομάζεται *ηλεκτρονικό νέφος* (σχήμα 2.6).

Τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου κατανέμονται σε στιβάδες, όπως και στο πρότυπο του Bohr, αλλά κάθε στιβάδα αποτελείται από μία ή περισσότερες υποστιβάδες.

Κάθε ηλεκτρόνιο (ηλεκτρονικό νέφος) προσδιορίζεται από τέσσερις αριθμούς, οι οποίοι ονομάζονται **κβαντικοί αριθμοί** και είναι οι εξής:

α) **Κύριος κβαντικός αριθμός (n):**

Αντιστοιχεί στον κβαντικό αριθμό του Bohr και καθορίζει σε ποια στιβάδα ανήκει ένα ηλεκτρόνιο.

β) **Δευτερεύων (ή αξιμουθιακός) κβαντικός αριθμός (ℓ):**

Καθορίζει σε ποια υποστιβάδα ανήκει ένα ηλεκτρόνιο. Οι υποστιβάδες συμβολίζονται και με τα λατινικά γράμματα s, p, d, f,....

Ο ℓ προσδιορίζει τη «γεωμετρική μορφή» των ηλεκτρονικών νεφών.

γ) **Μαγνητικός κβαντικός αριθμός (m_ℓ):**

Προσδιορίζει τον προσανατολισμό των ηλεκτρονικών νεφών στο χώρο.

δ) **Μαγνητικός κβαντικός αριθμός του σπιν (m_s):**

Κάθε ηλεκτρόνιο εκτός από την «κίνηση» γύρω από τον πυρήνα, θεωρείται ότι περιστρέφεται και γύρω από τον εαυτό του. Ο κβαντικός αριθμός m_s προσδιορίζει τον προσανατολισμό της ιδιο-περιστροφής (σπιν) του ηλεκτρονίου. Έτσι, ανάλογα με τη φορά της, λαμβάνει δύο τιμές, τις $m_s = +\frac{1}{2}$ και $-\frac{1}{2}$.

Κβαντικός είναι ένας αριθμός, ο οποίος χαρακτηρίζει την κατάσταση ενός ηλεκτρονίου και προσδιορίζει την τιμή κάποιας ιδιότητάς του.

ℓ	υποστιβάδα
0	s
1	p
2	d
3	f
4	g
5	h

Δύο ηλεκτρόνια με την ίδια φορά ιδιο-περιστροφής, δηλαδή ίδια σπιν, ονομάζονται *ομόρροπα* ή *παράλληλα*, ενώ όταν έχουν αντίθετα σπιν ονομάζονται *αντίρροπα* ή *αντιπαράλληλα*.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι δυνατές τιμές όλων των κβαντικών αριθμών:

Κβαντικός αριθμός	Τιμές που λαμβάνει
n	1, 2, 3,...
ℓ	0 έως ($n-1$)
m_ℓ	- ℓ , ..., 0, ... + ℓ
m_s	+ $\frac{1}{2}$ και - $\frac{1}{2}$

Παράδειγμα:

Για $n=2$ (στιβάδα L), ο δευτερεύων κβαντικός αριθμός παίρνει τις τιμές $\ell=0$ και $\ell=1$.

Για $\ell=0$, ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός παίρνει την τιμή $m_\ell = 0$.

Για $\ell=1$ ο m_ℓ παίρνει τις τιμές $-1, 0, 1$.

Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του σπιν m_s παίρνει πάντα τις τιμές $+\frac{1}{2}$ ή $-\frac{1}{2}$.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται αναλυτικά οι δυνατοί συνδυασμοί κβαντικών αριθμών για τα ηλεκτρόνια της στιβάδας M ($n=3$).

n	ℓ	m_ℓ	m_s	α/α ηλεκτρονίου
3	0	0	$+\frac{1}{2}$	1
			$-\frac{1}{2}$	2
	1	-1	$+\frac{1}{2}$	3
			$-\frac{1}{2}$	4
		0	$+\frac{1}{2}$	5
			$-\frac{1}{2}$	6
		1	$+\frac{1}{2}$	7
			$-\frac{1}{2}$	8
	2	-2	$+\frac{1}{2}$	9
			$-\frac{1}{2}$	10
		-1	$+\frac{1}{2}$	11
			$-\frac{1}{2}$	12
		0	$+\frac{1}{2}$	13
			$-\frac{1}{2}$	14
		1	$+\frac{1}{2}$	15
			$-\frac{1}{2}$	16
		2	$+\frac{1}{2}$	17
			$-\frac{1}{2}$	18

Τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου κατανέμονται στις στιβάδες με βάση ορισμένες αρχές και κανόνες:

Απαγορευτική αρχή του Pauli

Δεν είναι δυνατό στο ίδιο άτομο να υπάρχουν δύο ή περισσότερα ηλεκτρόνια που να έχουν και τους τέσσερις κβαντικούς αριθμούς ίδιους.

Έτσι -σύμφωνα με τον πίνακα των δυνατών τιμών των κβαντικών αριθμών- στην πρώτη ηλεκτρονική στιβάδα με $n=1$, αντιστοιχούν δύο διαφορετικές τετράδες τιμών των κβαντικών αριθμών. Οπότε, στη στιβάδα αυτή θα περιέχονται το πολύ δύο ηλεκτρόνια. Όμοια, στη στιβάδα με $n=2$ θα περιέχονται μέχρι οκτώ ηλεκτρόνια, όσες είναι οι τετράδες τιμών των κβαντικών αριθμών. Στη στιβάδα με $n=3$, όπως φαίνεται και στο προηγούμενο παράδειγμα, περιέχονται το πολύ 18 ηλεκτρόνια.

Από τα παραπάνω αποδεικνύεται ότι ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε κάθε στιβάδα είναι ίσος με $2n^2$.

Αρχή της ελάχιστης ενέργειας

Τα ηλεκτρόνια «τοποθετούνται» με τέτοιο τρόπο γύρω από τον πυρήνα, ώστε το άτομο να χαρακτηρίζεται συνολικά από τη μικρότερη δυνατή ενέργεια. Τότε βρίσκεται σε «θεμελιώδη κατάσταση».

Καθώς η ενέργεια των στιβάδων αυξάνεται ανάλογα με την απόστασή τους από τον πυρήνα, τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν πρώτα τις στιβάδες με τη χαμηλότερη ενέργεια. Έτσι, οι στιβάδες συμπληρώνονται διαδοχικά, με τη σειρά ($n=$) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \dots$ ή $K \rightarrow L \rightarrow M \dots$, από «μέσα» προς τα «έξω», με το μέγιστο αριθμό ηλεκτρονίων που μπορεί να δεχθούν ($2n^2$).

Ισχύουν, όμως, οι εξής περιορισμοί:

α) η εξωτερική στιβάδα ενός ατόμου δεν μπορεί

Ηλεκτρονική δομή είναι η περιγραφή του τρόπου με τον οποίο κατανέμονται τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα του ατόμου.

- να έχει περισσότερα από 8 ηλεκτρόνια και
 β) η αμέσως προηγούμενη από την εξωτερική στιβάδα δεν μπορεί να έχει περισσότερα από 18 ηλεκτρόνια.

2.8 Ατομικά τροχιακά

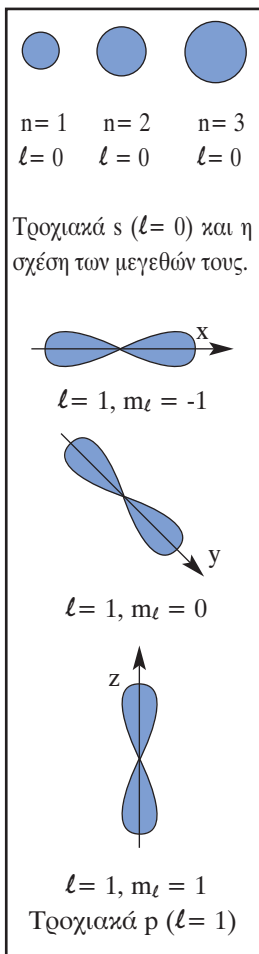
Η ενέργεια και η «μορφή» των ηλεκτρονικών νεφών περιγράφεται με την έννοια του ατομικού τροχιακού:

Ένα ατομικό τροχιακό είναι μια περιοχή του ατόμου γύρω από τον πυρήνα, όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να βρεθούν ηλεκτρόνια.

Κάθε ατομικό τροχιακό αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τριάδα τιμών των κβαντικών αριθμών n , ℓ και m_ℓ . Σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli, σε ένα ατομικό τροχιακό μπορούν να περιέχονται το πολύ δύο ηλεκτρόνια, καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από διαφορετικό m_s (αντιπαράλληλα ηλεκτρόνια).

Τα ατομικά τροχιακά εμφανίζουν διάφορα γεωμετρικά σχήματα, ανάλογα με το δευτερεύοντα και ανεξάρτητα από τον κύριο κβαντικό αριθμό τους. Έτσι, υπάρχουν τα s τροχιακά, τα p , τα d κ.ο.κ. Ο προσανατολισμός των τροχιακών αυτών στο χώρο προσδιορίζεται από το μαγνητικό κβαντικό αριθμό (m_ℓ).

Μια απλοποιημένη εικόνα της ηλεκτρονικής δομής θα μπορούσε να παρασταθεί ως εξής: οι στιβάδες αποτελούνται από υποστιβάδες και αυτές με τη σειρά τους από ατομικά τροχιακά, τα οποία καταλαμβάνονται από ηλεκτρόνια.



Σχήμα 2.7: Γεωμετρική αναπαράσταση ατομικών τροχιακών s και p .

2.9 Ατομικός και μαζικός αριθμός

Το 1930 οι W. Bothe (Μπότε) και H. Becker (Μπέκερ) παρατήρησαν ότι ο βομβαρδισμός ατόμων βηρυλλίου (Be) με σωματίδια α είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή μιας διεισδυτικής ακτινοβολίας. Ο J. Chadwick (Τσάντγουικ), το 1932, απέδειξε ότι η ακτινοβολία αυτή αποτελείται από ηλεκτρικά ουδέτερα σωματίδια με μάζα περίπου ίση με αυτή των πρωτονίων. Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται **νετρόνια** και αποτελούν κοινό συστατικό των ατομικών πυρήνων.

Ο πυρήνας ενός ατόμου αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Οι πυρήνες διαφορετικών ατόμων δομούνται από διαφορετικό πλήθος πρωτονίων και νετρονίων.

Ένα άτομο χαρακτηρίζεται από:

- τον **ατομικό αριθμό (Z)**, ο οποίος δηλώνει τον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα του,
- το **μαζικό αριθμό (A)**, ο οποίος δηλώνει το συνολικό αριθμό πρωτονίων και νετρονίων στον πυρήνα του.

Ο αριθμός των νετρονίων (N) στον πυρήνα ενός ατόμου είναι ίσος με τη διαφορά μεταξύ μαζικού και ατομικού αριθμού, δηλαδή:

$$N = A - Z$$

Ο ατομικός αριθμός είναι χαρακτηριστικός για κάθε στοιχείο. Όλα τα άτομα ενός στοιχείου έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό, ενώ άτομα διαφορετικών στοιχείων έχουν διαφορετικό ατομικό αριθμό.

Τα άτομα του ίδιου στοιχείου μπορεί να έχουν διαφορετικούς μαζικούς αριθμούς, δηλαδή, να

Ο Rutherford, μετά την ανακάλυψη των πρωτονίων, κατέληξε ότι ο ατομικός πυρήνας περιέχει και ηλεκτρικά ουδέτερα σωματίδια, ίδιας μάζας με τα πρωτόνια, τα οποία ονόμασε **νετρόνια**.

Τα πρωτόνια και νετρόνια ονομάζονται και **νουκλεόνια**. Ο μαζικός αριθμός ενός ατόμου είναι ο συνολικός αριθμός των νουκλεονίων του πυρήνα του.

διαφέρουν στον αριθμό των νετρονίων του πυρήνα.

Άτομα με ίδιο ατομικό αλλά διαφορετικό μαζικό αριθμό ονομάζονται ισότοπα.

Κάθε άτομο, ο πυρήνας του οποίου χαρακτηρίζεται από ορισμένο ατομικό και μαζικό αριθμό, ονομάζεται νουκλίδιο. Το *νουκλίδιο* είναι κάποιο συγκεκριμένο ισότοπο ενός στοιχείου και συμβολίζεται ως εξής:

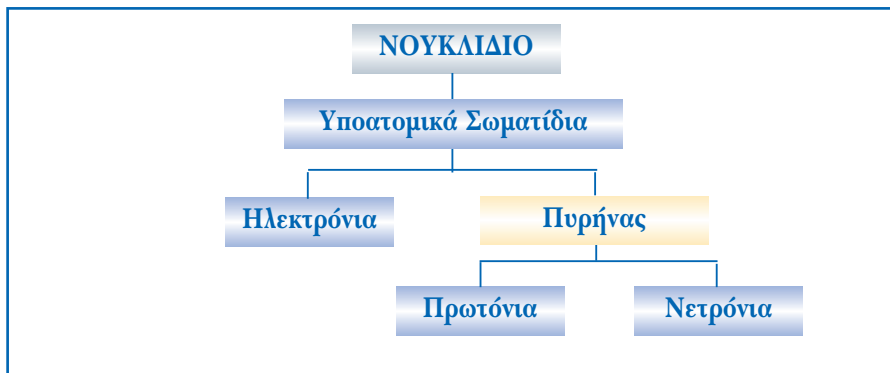


όπου X το στοιχείο, A ο μαζικός και Z ο ατομικός του αριθμός.

Για παράδειγμα, το νουκλίδιο του νατρίου με $A=23$ και $Z=11$ συμβολίζεται ως ${}^{23}_{11}\text{Na}$ και αποτελείται από 11 πρωτόνια και $23-11=12$ νετρόνια.

☞ Το νάτριο συναντάται στη φύση με ένα μόνο ισότοπο, όπως και το αλουμίνιο, αλλά τα περισσότερα στοιχεία στη φύση είναι μίγματα ισοτόπων. Έτσι, το φυσικό οξυγόνο αποτελείται από 99,759 % ${}^{16}_8\text{O}$, 0,037 % ${}^{17}_8\text{O}$ και 0,204 % ${}^{18}_8\text{O}$.

Αφού τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα, ο αριθμός των ηλεκτρονίων τους είναι ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα τους, δηλαδή με τον ατομικό τους αριθμό. Οι ιδιότητες, όμως, κάθε διαφορετικού στοιχείου καθορίζονται αποκλειστικά από τον αριθμό και την κατανομή των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα των ατόμων του. Επομένως, ο ατομικός αριθμός καθορίζει τις ιδιότητες κάθε στοιχείου.



Σχήμα 2.8: Τα σωματίδια που συγκροτούν το άτομο.

2.10 Επίλογος (Ιστορική αναδρομή)

Η μέθοδος των Ελλήνων διανοητών της αρχαιότητας ήταν η σκέψη και όχι το πείραμα. Έτσι, η ατομική θεωρία τους ήταν ουσιαστικά μεταφυσική παρά φυσική. Η ανεκτίμητη προσφορά όμως των φιλοσόφων αυτών στην επιστήμη είναι ότι υπήρξαν οι πρώτοι που προσπάθησαν να παρουσιάσουν τα πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα ως αποτέλεσμα συνδυασμού απλών φαινομένων. Έθεσαν, δηλαδή, τους αντικειμενικούς στόχους προς τους οποίους κατευθύνθηκε αργότερα η επιστήμη.

Η ατομική θεωρία, στο πνεύμα των αρχών του Δημόκριτου, εμφανίστηκε στην Ευρώπη τον 17^ο αιώνα, δύο χιλιάδες χρόνια μετά την κλασική περίοδο. Αρχικά, τα πειράματα του Boyle για τη συμπεριφορά του ατμοσφαιρικού αέρα οδήγησαν στο πολύ σημαντικό συμπέρασμα ότι τα αέρια αποτελούνται από μικρά σωματίδια, τα οποία βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Από την άλλη, τα υγρά και τα στερεά είναι πρακτικά ασυμπίεστα. Έτσι, αν αποτελούνταν από μικρά σωματίδια, θα έπρεπε αυτά να βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους. Η θεωρία αυτή υποστηρίχθηκε

αργότερα και από τον I. Newton (Νιούτον), ο οποίος αποδεχόταν ότι η συνοχή της ύλης και η εκδήλωση της χημικής συγγένειας είναι το αποτέλεσμα δυνάμεων μεταξύ ατόμων. Όμως, η έννοια του ατόμου εισήλθε ουσιαστικά στην επιστημονική σκέψη στο τέλος του 18^{ου} αιώνα, ως συνέπεια των πειραμάτων του Lavoisier για την καύση των σωμάτων.

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα ο Dalton διατύπωσε μια ποσοτική ατομική θεωρία, σύμφωνη με τα πειραματικά δεδομένα της εποχής, η οποία σηματοδοτεί την έναρξη της σύγχρονης εποχής στη χημεία.

Η ανάπτυξη των ιδεών για το άτομο, σε όλη τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, βασίστηκε στις αρχές της κλασικής φυσικής, όπως αυτές είχαν καθοριστεί από τη μηχανική του Newton και την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell. Την τελευταία όμως δεκαετία του 19^{ου} αιώνα έγινε ξεκάθαρο ότι η κλασική φυσική δεν ήταν σε θέση να δώσει ικανοποιητικές ερμηνείες στη «χιονοστιβάδα» των νέων πειραματικών δεδομένων για τη συμπεριφορά της ύλης και των ακτινοβολιών. Το 1900, ο Planck εισήγαγε στην επιστήμη την επαναστατική θεωρία των κβάντων. Η εξέλιξη της θεωρίας αυτής τα επόμενα χρόνια ανέτρεψε όλα τα δεδομένα που υπήρχαν έως τότε για το μικροσκοπικό κόσμο των ατόμων.

Το 1913, ο Bohr ενσωμάτωσε την ιδέα των κβάντων στην περιγραφή της συμπεριφοράς των ηλεκτρονίων στο άτομο και κατάφερε να εξηγήσει με επιτυχία το φάσμα εκπομπής των ατόμων του υδρογόνου. Το ατομικό πρότυπο του Bohr είναι το μεταίχμιο μεταξύ των κλασικών και των σύγχρονων αντιλήψεων. Παρά τις ατέλειές του είχε τεράστια σημασία, γιατί αποτέλεσε τη γέφυρα, η οποία οδήγησε στην κβαντική θεωρία του ατόμου.

Η ανακάλυψη της κυματικής φύσης της ύλης και η διατύπωση της αρχής του δυϊσμού, το 1924,

από τον L. De Broglie εδραίωσαν την αντίληψη ότι τα ηλεκτρόνια δεν είναι απλώς σωματίδια, όπως πιστευόταν μέχρι τότε, αλλά συμπεριφέρονται άλλοτε ως κύματα και άλλοτε ως σωματίδια, ανάλογα με τις περιστάσεις υπό τις οποίες μελετώνται.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1920, ο E. Schrödinger (Σρέντινγκερ) και ο V. Heisenberg (Χάιζενμπεργκ) ανέπτυξαν τη θεωρία της *κβαντομηχανικής*, με τη βοήθεια της οποίας οι επιστήμονες εξήγησαν αποτελεσματικά την αλληλεπίδραση της ύλης και των ακτινοβολιών, τη δομή των ατόμων, τη ραδιενέργεια και τους χημικούς δεσμούς. Ο Schrödinger διατύπωσε μια μαθηματική εξίσωση, την *εξίσωση κύματος*, για να περιγράψει τα κυματικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων. Η εφαρμογή της σε ηλεκτρόνια ατόμων επιτρέπει την «απεικόνιση» περιοχών γύρω από έναν ατομικό πυρήνα, όπου υπάρχει αυξημένη ηλεκτρονική πυκνότητα, δηλαδή μεγάλη πιθανότητα να βρεθούν ηλεκτρόνια. Η κίνηση των ηλεκτρονίων δεν περιγράφεται πλέον με την ανακριβή εικόνα των κλασικών «πλανητικών» τροχιών αλλά με την πιο σύνθετη έννοια των ατομικών τροχιακών. Έτσι, τα πολύπλοκα μαθηματικά της κβαντομηχανικής οδηγούν σε μια «νεφώδη» αναπαράσταση του ηλεκτρονίου.

Σύμφωνα με τον Heisenberg, εγγενής ιδιότητα του μικροσκοπικού κόσμου είναι η *αβεβαιότητα* στον προσδιορισμό, ταυτόχρονα, της θέσης και της ταχύτητας ενός σωματιδίου. Η περιγραφή της φύσης της ύλης σε διαστάσεις της τάξης των 10^{-8} cm έχει να κάνει περισσότερο με πιθανότητες παρά με ακριβείς προβλέψεις.

Η κβαντομηχανική προέκρινε το μικροσκοπικό κόσμο με «παράξενες», για την καθημερινή αντίληψη, εικόνες, αποκαλύπτοντας ότι η πραγματικότητα είναι πιο πολύπλοκη από ό,τι πιστευόταν για πολύν καιρό. Παρά τη μεγάλη ισχύ και επιτυχία της, όμως, στην αποκρυπτογράφηση της δομής

της ύλης και την ερμηνεία των φαινομένων, δεν είναι η τελική θεωρία. Νέες ιδέες και νέες, ακόμη πιο πολύπλοκες, θεωρίες αναδύονται συνεχώς, με σκοπό τη βαθύτερη ερμηνεία του κόσμου. Η συνεχής αυτή αλλαγή και ανανέωση συμπίπτει αρμονικά με τη θέση του αρχαίου Έλληνα φιλόσοφου Ηράκλειτου, που πρόσβευε πως, αν υπάρχει κάτι σταθερό, αυτό είναι η αλλαγή. Η σταθερότητα της αλλαγής - «τά πάντα ρεῖ», δηλαδή όλα ρέουν, όπως το νερό στο ποτάμι - είναι η ουσιαστική πραγματικότητα του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Το ατομικό πρότυπο του Dalton βασιζόταν στην υπόθεση ότι η ύλη συνίσταται από εξαιρετικά μικρά και αδιαίρετα σωματίδια, τα άτομα. Το πρότυπο αυτό ερμήνευε ικανοποιητικά τις μεταβολές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των χημικών φαινομένων.

Οι μεγάλες ανακαλύψεις στα τέλη του 19^{ου} αιώνα έδειξαν ότι τα άτομα αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια. Ο Thomson πρότεινε ότι το άτομο είναι μια θετικά φορτισμένη σφαίρα, μέσα στην οποία υπάρχουν αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, τα ηλεκτρόνια. Αργότερα, ο Rutherford έδειξε ότι τα άτομα αποτελούνται από μια μεγάλη συγκέντρωση θετικά φορτισμένης μάζας στο κέντρο τους, τον πυρήνα, γύρω από τον οποίο κινούνται ηλεκτρόνια (πλανητικό μοντέλο).

Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, οι πυρήνες των ατόμων αποτελούνται από θετικά φορτισμένα σωματίδια, τα πρωτόνια, και από ουδέτερα σωματίδια, τα νετρόνια. Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ονομάζεται ατομικός αριθμός (Z), ενώ ο συνολικός αριθμός πρωτονίων και νετρονίων ονομάζεται μαζικός αριθμός (A). Όλα τα άτομα του ίδιου στοιχείου έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό, ενώ άτομα του ίδιου στοιχείου με διαφορετικό μαζικό αριθμό, ονομάζονται ισότοπα.

Σύμφωνα με τον Bohr, τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου κινούνται σε καθορισμένες ενεργειακές στάθμες ή στιβάδες γύρω από τον πυρήνα. Η συνολική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου, όταν αυτό κινείται σε κάποια από τις επιτρεπόμενες τροχιές, είναι σταθερή.

Η σύγχρονη κβαντική θεωρία δέχεται ότι ένα ηλεκτρόνιο δεν έχει συγκεκριμένη θέση και ταχύτητα, αλλά μοιάζει ως «διάχυτο» στο χώρο αρνητικό φορτίο (ηλεκτρονικό νέφος). Οι περιοχές του ατόμου γύρω από τον πυρήνα, όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να βρεθούν ηλεκτρόνια, ονομάζονται ατομικά τροχιακά. Τα ηλεκτρόνια κατανέμονται σε στιβάδες και υποστιβάδες. Η κατάσταση και οι ιδιότητές τους προσδιορίζονται από τους τέσσερις κβαντικούς αριθμούς.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Η ανάλυση τριών διαφορετικών δειγμάτων ενός υλικού που περιέχει μόνο σίδηρο και οξυγόνο έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

	Μάζα Fe	Μάζα O
Δείγμα Α	2,8 g	1,2 g
Δείγμα Β	4,2 g	1,8 g
Δείγμα Γ	4,9 g	2,1 g

Το υλικό αυτό είναι χημική ένωση ή όχι; Σε ποια υπόθεση του Dalton και ποιο νόμο της Χημείας θα μπορούσε να στηριχθεί η απάντηση;

2. α) Πού περιέχονται περισσότερα μόρια; Σε 2 L αερίου υδρογόνου ή σε 2 L αερίου υδροχλωρίου;
 β) Έχει βρεθεί πειραματικά ότι ένας όγκος υδρογόνου αντιδρά με έναν όγκο χλωρίου και σχηματίζονται δύο όγκοι υδροχλωρίου. Να αποδειχθεί ότι το μόριο του χλωρίου αποτελείται τουλάχιστον από δύο άτομα χλωρίου.
3. α) Να αναφερθούν συνοπτικά οι πληροφορίες που δίνουν για το ηλεκτρόνιο τα ατομικά πρότυπα των α) Thomson, β) Rutherford, γ) Bohr καθώς και οι σύγχρονες (κβαντικές) αντιλήψεις.
 β) Να διατυπωθούν τρεις τουλάχιστον αρχές (ή κανόνες) σύμφωνα με τις οποίες κατανέμονται τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου σε στιβάδες.
4. Ποιες από τις ακόλουθες ονομασίες αντιστοιχούν σε υποατομικά σωματίδια;
 ακτινοβολία β, πρωτόνιο, ακτινοβολία γ, σωματίδιο α, νετρόνιο, ηλεκτρόνιο, άτομο υδρογόνου, καθοδικές ακτίνες.
5. Ο πυρήνας περιέχει σχεδόν το σύνολο της μάζας ενός ατόμου και είναι πολύ πυκνός. Αν ο πυρήνας του ατόμου του φθορίου θεωρηθεί σφαίρα ακτίνας 5×10^{-13} cm και μάζας $3,15 \times 10^{-23}$ g, να υπολο-

γιστεί η πυκνότητά του σε g/mL και τόνους/mL. (1 τόνος= 1000 kg).

6. Το θείο (S) έχει ατομικό αριθμό 16. Η ηλεκτρονική δομή του είναι:

α. K(2), L(8), M(4)

γ. K(2), L(8), M(6)

β. K(2), L(8), M(18), N(6)

δ. K(2), L(6).

Να επιλεγεί η σωστή απάντηση.

7. Ποια είναι η ηλεκτρονική δομή των στοιχείων ${}_{12}\text{Mg}$, ${}_{18}\text{Ar}$;

8. Για ένα ηλεκτρόνιο της στιβάδας N, ποιες είναι οι δυνατές τιμές του κβαντικού αριθμού l ; Πόσες υποστιβάδες έχει η στιβάδα με $n=4$; Εάν ο κβαντικός αριθμός l είναι ίσος με 3, ποιες τιμές μπορεί να πάρει ο m_l ;

9. Ποιες από τις ακόλουθες τετράδες κβαντικών αριθμών δεν είναι ορθές;

	n	l	m_l	m_s
α.	2	0	0	$+\frac{1}{2}$
β.	1	1	0	$+\frac{1}{2}$
γ.	3	1	-1	$-\frac{1}{2}$
δ.	6	5	5	1
ε.	2	1	-1	$-\frac{1}{2}$

10. Ο παρακάτω πίνακας δίνει μερικές πληροφορίες για τα άτομα πέντε στοιχείων Α, Β, Γ, Δ και Ε.

Στοιχείο	Ατομικός αριθμός	Μαζικός αριθμός	Αριθμός ηλεκτρονίων	Αριθμός πρωτονίων	Αριθμός νετρονίων
A	17	18	8	20	8
B			18		
Γ			20		
Δ	11	23			10
E					

- α) Να συμπληρωθούν τα κενά του πίνακα.
β) Ποια από τα παραπάνω στοιχεία είναι ισότοπα;

11. Να διαταχθούν τα άτομα ${}^{40}_{19}\text{K}$, ${}^{35}_{17}\text{Cl}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{40}_{18}\text{Ar}$:

- α) κατά σειρά αυξανόμενου αριθμού ηλεκτρονίων,
β) κατά σειρά αυξανόμενου αριθμού νετρονίων.

12. Να αιτιολογηθεί ποιες από τις ακόλουθες προτάσεις είναι σωστές και ποιες λάθος:

- α. Τα ισότοπα είναι άτομα που ανήκουν στο ίδιο στοιχείο.
β. Τα ισότοπα άτομα περιέχουν στον πυρήνα τους απαραίτητα διαφορετικό αριθμό νετρονίων.
γ. Τα άτομα του ίδιου στοιχείου χαρακτηρίζονται από τον ίδιο μαζικό αριθμό.
δ. Δύο ή περισσότερα άτομα, αν και χαρακτηρίζονται από τον ίδιο μαζικό αριθμό, μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικά στοιχεία.