

# ΤΡΟΧΙΑΚΟ

## Ιστορική αναδρομή (φως & άτομο)

*Albert Einstein (1.917): «Για το υπόλοιπο της ζωής μου, θα αναλογίζομαι τι είναι το φως.»*

Το φως έχει μια ιδιαίτερη και σημαντική θέση στην αναζήτηση του ανθρώπου για την εξήγηση του φυσικού κόσμου. Οι «διαμάχες» για την φύση του φωτός ξεκίνησαν ήδη από την εποχή των Προσωκρατικών Φυσικών Φιλοσόφων, με τον Εμπεδοκλή (5ος αιώνας της παλαιάς χρονολογίας) να διατυπώνει ουσιαστικά την άποψη περί σωματιδιακής φύσης του φωτός. Άποψη που διατηρήθηκε για πάνω από 2.200 έτη. Συγκεκριμένα, σ' ένα απόσπασμα του Εμπεδοκλή διαβάζουμε:

«...πῦρ εἶναι τὸ φῶς καὶ τοῦτο ἐκ τῶν ὀφθαλμῶν προχεῖσθαί τε καὶ ἐκπέμπεσθαι καὶ τούτω τὸ ὄραϊν γίνεσθαι...»

Δηλαδή, ο Εμπεδοκλής πίστευε ότι «το φως, όντας κάτι σωματικό, απορρέει από το σώμα που φωτίζει και φτάνει στον χώρο ανάμεσα στην γη και στον ουρανό και ύστερα σε εμάς. Μας διαφεύγει όμως η κίνησή του εξ αιτίας της ταχύτητάς του!»

Ο Ἴηρων ο Αλεξανδρεύς, ο οποίος πιθανώς έζησε τον 3ο αιώνα της παλαιάς χρονολογίας (υπάρχουν πολλές απόψεις για το πότε έζησε), διατύπωσε και τους πρώτους νόμους για την κίνηση του φωτός: «Το φως, διαδιδόμενο, ακολουθεί την συντομότερη οδό.» Την οποία πρόταση οικειοποιήθηκε το 1.662 ο Φερμά και την ονόμασε «Αρχή του ελάχιστου χρόνου».

### Newton (1703)

Υποστηρικτής της σωματιδιακής φύσης του φωτός και απηνής κατήγορος της κυματικής φύσης του φωτός, που παρουσιάστηκαν την εποχή του από τους Hooke και Huygens.

Στο βιβλίο του με τίτλο «Optics», γράφει τα εξής: «Εάν ήμουν υποχρεωμένος να αποδεχτώ μια θεωρία, η θεωρία την οποία θα υποστήριζα, είναι αυτή της εκπομπής αόρατων σωματιδίων από τα φωτεινά αντικείμενα. Είναι η πιο αληθοφανής.»

### Huygens (1700)

Ο Ολλανδός Christian Huygens, στο βιβλίο του «Traite de la lumiere (Πραγματεία για το φως)», διατυπώνει την κυματική θεωρία, με την οποία εξηγεί τα φαινόμενα της ανάκλασης, της διάθλασης και της διπλής διάθλασης.

Μια από τις αντιρρήσεις που διατύπωσε ο Newton, ήταν η εξής: «Εφ' όσον τα φωτεινά κύματα είναι κύματα όπως εκείνα της θάλασσας, ποιος είναι ο ωκεανός γι' αυτά, όταν διαδίδεται το φως στο κενό;». Στο ερώτημα αυτό, οι υποστηρικτές της κυματικής θεωρίας, διατυπώνουν την θεωρία της ύπαρξης του αιθέρα.

### Fresnel (1825)

Ο Γάλλος φυσικός Augustin Fresnel, έδειξε με ένα πείραμά του ότι το φως εμφανίζει φαινόμενα συμβολής, υπεραμυνόμενος της κυματικής θεωρίας του Huygens.

Την ίδια εποχή, η ανακάλυψη της πόλωσης του φωτός, ενίσχυσε ακόμη περισσότερο την κυματική θεωρία, αποδεικνύοντας ότι το φως διαδίδεται ως εγκάρσιο κύμα.

Βεβαίως, παρέμεναν δύο πολύ σημαντικά ερωτήματα:

- Αν το φως είναι κύμα, ποιος είναι ο «ωκεανός»;
- Ποια είναι η φυσική ποσότητα που εκτελεί την ταλάντωση;

### Maxwell (1870)

Ο James Maxwell, με βάση την ηλεκτρομαγνητική του θεωρία, υποστηρίζει ότι το φως διαδίδεται με εγκάρσια κύματα.

Στα δύο προηγούμενα ερωτήματα απαντά λέγοντας ότι ο «ωκεανός» είναι ο αιθέρας και η φυσική ποσότητα που εκτελεί ταλάντωση είναι η ένταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Την θεωρία του Maxwell επιβεβαίωσε με πειράματα και ο Hertz.

### Michelson & Morley (1887)

Το 1887, οι Αμερικανοί Michelson & Morley, έκαναν το περίφημο πείραμα της μέτρησης της ταχύτητας του φωτός, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους ότι η γη κινείται σ' έναν ωκεανό ακίνητου αιθέρα. Από τα πειράματά τους αποδείχτηκε ότι δεν υπάρχει αιθέρας.

### Planck (1900)

Τον Δεκέμβριο του 1900, σ' ένα συνέδριο Γερμανών φυσικών, ο Max Planck ανακοίνωσε ότι οι περίεργες ιδιότητες που εμφάνιζε το φως, μπορούν να εξηγηθούν με την παραδοχή ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται κατά τρόπο ασυνεχή. Τα μικρά πακέτα ενέργειας τα ονόμασε κβάντα. Τα κβάντα φωτός ή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ονομάζονται **φωτόνια**.

Η ενέργεια που μεταφέρει κάθε κβάντο είναι  $E = h \cdot \nu$ , όπου  $h$  η σταθερή του Planck, που ισούται με  $6,63 \cdot 10^{-34}$  J και  $\nu$  η συχνότητα της ακτινοβολίας.

### de Broglie (1923)

Ο Γάλλος Louis de Broglie, το 1923 σε ηλικία 27 ετών, στην εργασία της διδακτορικής του διατριβής, διατύπωσε την εξής ερώτηση-υπόθεση:

*«Αφού τα φωτόνια δείχνουν συγχρόνως ιδιότητες σωματίων και κυμάτων, γιατί να μη συμβαίνει το ίδιο με όλες τις μορφές της ύλης, γιατί δηλαδή και τα σωματίδια να μη συμπεριφέρονται και ως κύματα».*

Η πιο πάνω πρόταση του de Broglie απαντούσε σε ερώτημα που πρόκυψε κατά τους υπολογισμούς της κίνησης των ηλεκτρονίων σ' ένα άτομο. Πράγματι, τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τον πυρήνα αλλά έδειξαν ότι υπήρχαν περιορισμοί στην κίνησή τους αυτή. Ο de Broglie, για να ξεπεράσει τους περιορισμούς, σκέφτηκε ότι το ηλεκτρόνιο πρέπει να εμφανίζει και ιδιότητες κύματος. Σύμφωνα λοιπόν με αυτή την υπόθεση, το ηλεκτρόνιο, αλλά και οποιοδήποτε άλλο σωματίδιο, έχει διττή υπόσταση: **Είναι σωματίδιο με ορμή  $p$  και κύμα με μήκος κύματος  $\lambda$** . Η σχέση που συνδέει τα δύο αυτά φυσικά μεγέθη είναι:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{ή} \quad \lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

όπου  $m$  η μάζα του ηλεκτρονίου,  $v$  η ταχύτητά του και  $h$  η σταθερή του Planck.

Η ιδέα του αυτή επιβεβαιώθηκε πλήρως το 1927 με την ανακάλυψη της περίθλασης των ηλεκτρονίων από κρυστάλλους. Με βάση την θεωρία του de Broglie, ξεκίνησε ένα νέος κλάδος της φυσικής, η λεγόμενη **Κυματική Μηχανική**.

### Heisenberg (1925)

Το 1925, ο Βαυαρός Werner Karl Heisenberg, σε ηλικία μόλις 24 ετών, δημοσιεύει τις πρώτες εργασίες του πάνω στην Κβαντομηχανική και ένα χρόνο αργότερα διορίζεται καθηγητής στην έδρα της Φυσικής στο πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης (Δανία), υπό την επίβλεψη του Niels Bohr. Το δε 1927, σε ηλικία 26 ετών, παίρνει την έδρα της Θεωρητικής Φυσικής

στο πανεπιστήμιο της Λειψίας. Ο Heisenberg ήταν πολύ καλός γνώστης της αρχαίας Ελληνικής γλώσσας. Όταν ο Ιάπωνας φυσικός Yukawa ανακάλυψε το σωματίδιο μεσόνιο, πρότεινε (ο Yukawa) να του δοθεί το όνομα mesotron. Ο Heisenberg είπε ότι η Ελληνική λέξη «μέσος» δεν περιέχει τα γράμματα «tr» και πρέπει να ονομαστεί μεσόνιο, ονομασία που έχει μέχρι και σήμερα.

Το 1927, ο Heisenberg διατυπώνει την περίφημη **αρχή της αβεβαιότητας ή αρχή της α-προσδιοριστίας**, σύμφωνα με την οποία:

**«Όσο πιο πολύ καθορίζεται με ακρίβεια η θέση ενός σωματιδίου, με τόσο λιγότερη ακρίβεια είναι γνωστή η ορμή του σωματιδίου για εκείνη την στιγμή, και αντιστρόφως.»**

Συμφώνως με αυτήν, όσο ακριβέστερα επιχειρούμε μια χρονική στιγμή να προσδιορίσουμε την θέση ενός ηλεκτρονίου, τόσο λιγότερα πράγματα γνωρίζουμε εκείνη την χρονική στιγμή για την ορμή του. Φυσικά ισχύει και το αντίστροφο: Όσο ακριβέστερα επιχειρούμε μια χρονική στιγμή να προσδιορίσουμε την ορμή ενός ηλεκτρονίου, τόσο λιγότερα πράγματα γνωρίζουμε την ίδια χρονική στιγμή για την θέση του.

### Schrodinger

Όλες οι προηγούμενες απόψεις και κυρίως εκείνες του de Broglie, σε ό,τι αφορούσαν στα λεγόμενα «κύματα ηλεκτρονίων», περιείχαν μεγάλες ασάφειες και τους έλειπε το μαθηματικό υπόβαθρο. Ο Schrodinger ήταν εκείνος που πρότεινε τις μαθηματικές εξισώσεις για τις πρώιμες εκείνες ασαφείς ιδέες. Σύμφωνα με τον Schrodinger, κάθε κατάσταση ενός συστήματος περιγράφεται από μία ποσότητα που λέγεται **κυματοσυνάρτηση** και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα  $\Psi$ .

Η εξίσωση που πρότεινε, καθόριζε το πώς διαδίδεται ένα κύμα στον χώρο και στον χρόνο. Η τελική μορφή που είχε η εξίσωσή του ήταν η εξής:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = - \frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right)$$

όπου  $\hbar = h/2\pi$ , και  $m$  η μάζα του σωματιδίου.

Ο ίδιος ο Schrodinger αγνοούσε την φυσική σημασία της κυματοσυνάρτησης  $\Psi$ , αν και η λύση της έδινε πληροφορίες για τις τιμές της ενέργειας και της στροφορμής των ηλεκτρονίων στο άτομο. (Οι πληροφορίες αυτές ουσιαστικά περιέχονται στους τρεις κβαντικούς αριθμούς  $n$ ,  $\ell$  και  $m_\ell$ , οι οποίοι ήδη είχαν κάνει την εμφάνισή τους).

Παρά την μεγάλη επιτυχία της εξίσωσης του Schrodinger, το ερώτημα της φυσικής σημασίας της κυματοσυνάρτησης  $\Psi$  παρέμενε, δηλαδή: «Τποια ήταν η ποσότητα  $\Psi$  που ταλαντώνονταν σε κάθε κύμα ενός σωματιδίου;». Με άλλα λόγια «ποια ήταν η φυσική της υπόσταση;» (διότι γνωρίζουμε ότι το κύμα είναι η διάδοση μιας ταλάντωσης, αλλά στην περίπτωση του ηλεκτρονίου, ποίου πράγματος διαδίδεται η ταλάντωση;)

### Max Born

6 μήνες μετά την ημέρα που ο Schrodinger δημοσίευσε την κυματική του εξίσωση, ένας άλλος σπουδαίος φυσικός και μαθηματικός, ο **Max Born**, όταν εφάρμοσε την εξίσωση στην μελέτη που πραγματοποιούσε πάνω στην πρόσκρουση ηλεκτρονίων στα άτομα, κατάλαβε την καταπληκτική χρησιμότητα της εξίσωσης.

Πιο συγκεκριμένα, ο Max Born, διαπίστωσε ότι όταν ένα ηλεκτρόνιο προσκρούει σ' ένα άτομο, μπορεί να σκεδαστεί μεν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση **αλλά: η πιθανότητα να σκεδαστεί προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση αυξάνεται, αν γι' αυτή την κατεύθυνση οι τιμές της κυματοσυνάρτησης  $\Psi$  είναι μεγαλύτερες.**

Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων

Με βάση αυτό το δεδομένο, ο Max Born διαισθάνθηκε ότι η κυματοσυνάρτηση  $\Psi$  είναι «**συνάρτηση που θα μπορούσε να οδηγήσει στην πιθανότητα**». Μάλιστα υποστήριξε ότι το  $|\Psi|^2$  δίνει την πιθανότητα να βρεθεί ένα σωματίδιο σε ορισμένο χώρο, σε μια ορισμένη χρονική στιγμή.

Με άλλα λόγια, τα κύματα ηλεκτρονίων δεν είναι κύματα κάποιου άγνωστου πράγματος, αλλά η φυσική τους υπόσταση έγκειται στο ότι οι τιμές της κυματοσυνάρτησης  $\Psi$ , για κάποιο σημείο του χώρου, μας δίνουν την πιθανότητα στο να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο σ' αυτό το σημείο του χώρου, επομένως τα κύματα ηλεκτρονίων είναι **κύματα πιθανότητας**.

Αυτή η άποψη του Max Born ήταν η αρχή μιας νέας επιστήμης, η οποία **ΔΕΝ ΠΡΟΒΛΕΠΕΙ** τα φαινόμενα, αλλά το μόνο που μπορεί να κάνει είναι να μας **ΔΙΝΕΙ ΤΗΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ** να συμβούν τα φαινόμενα.

## 1η (ή μηχανική) συνθήκη του Bohr

Τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα σε ορισμένες κυκλικές τροχιές. Κάθε επιτρεπόμενη τροχιά έχει καθορισμένη ενέργεια, είναι δηλαδή κβαντισμένη.

Στην περίπτωση του ατόμου του H (1 πρωτόνιο & 1 ηλεκτρόνιο), η συνολική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι:  $E_n = \frac{-2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ J}$ , όπου  $n$  ο κύριος κβαντικός αριθμός.

Ένα άτομο είναι σε **θεμελιώδη κατάσταση** όταν τα ηλεκτρόνια του είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον πυρήνα.

Ένα άτομο είναι σε **διέγερση** όταν τα ηλεκτρόνια του μεταπηδούν σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες.

## 2η (ή οπτική) συνθήκη του Bohr

Το ηλεκτρόνιο απορροφά ή εκπέμπει ενέργεια, υπό μορφή ακτινοβολίας, μόνο όταν μεταπηδά από μια τροχιά σε άλλη (όταν δηλαδή αλλάζει ενεργειακή στάθμη).

Η θεωρία του Bohr, ερμηνεύει την συμπεριφορά σε άτομα με 1 ηλεκτρόνιο, τα λεγόμενα υδρογονοειδή (π.χ.  $\text{He}^{1+}$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ), αλλά όχι σε άτομα με 2 ή περισσότερα ηλεκτρόνια και γι' αυτόν τον λόγο εγκαταλείφθηκε το 1925.

## Κυματική θεωρία de Broglie

«Το φως, του οποίου το κβάντο ονομάζεται, φωτόνιο, όπως και κάθε κινούμενο σωματίδιο, παρουσιάζει διττή φύση, σωματιδίου (κβάντα) και κύματος (ηλεκτρομαγνητικό κύμα).»

Το «διττή φύση» δεν σημαίνει ότι το  $e$  συμπεριφέρεται με 2 διαφορετικούς τρόπους αλλά ότι εμείς, αναλόγως με την πειραματική διάταξη που χρησιμοποιούμε, άλλοτε το «βλέπουμε» ως ύλη και άλλοτε ως κύμα.

Το μήκος κύματος τέτοιων σωματιδίων υπολογίζεται από την σχέση:  $\lambda = \frac{h}{m \cdot u}$ ,

όπου  $h$  η σταθερή του Planck,  $m$  η μάζα του και  $u$  η ταχύτητά του.

## Αρχή της αβεβαιότητας

«Είναι αδύνατον να προσδιορίσουμε με ακρίβεια συγχρόνως την θέση και την ορμή ενός μικρού σωματιδίου.»

Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων

Όταν λέμε «μικρά σωματίδια», εννοούμε σωματίδια τάξης μεγέθους των ατομικών σωματιδίων.

Η αρχή της αβεβαιότητας (ή απροσδιοριστίας) του Heisenberg καταρρίπτει το ατομικό πρότυπο του Bohr.

### Κυματική εξίσωση Schrodinger

Σύμφωνα με τον Schrodinger, κάθε κατάσταση ενός συστήματος περιγράφεται από μία ποσότητα που λέγεται **κυματοσυνάρτηση** και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα  $\Psi$ .

Η εξίσωση που πρότεινε, καθορίζει το πώς διαδίδεται ένα κύμα στον χώρο και στον χρόνο. Η τελική μορφή που είχε η εξίσωσή του ήταν η εξής:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = - \frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right)$$

όπου  $\hbar = h/2\pi$ , και  $m$  η μάζα του σωματιδίου.

Με βάση την ανωτέρω εξίσωση μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια ενός ηλεκτρονίου.

Ο ίδιος ο Schrodinger αγνοούσε την φυσική σημασία της κυματοσυνάρτησης  $\Psi$ , αν και η λύση της έδινε πληροφορίες για τις τιμές της ενέργειας και της στροφορμής των ηλεκτρονίων στο άτομο. (Οι πληροφορίες αυτές ουσιαστικά περιέχονται στους τρεις κβαντικούς αριθμούς  $n$ ,  $\ell$  και  $m_\ell$ , οι οποίοι ήδη είχαν κάνει την εμφάνισή τους).

Η τιμή του  $\Psi$  δίνει μια ένδειξη της παρουσίας ή μη ενός ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα ( $\psi=0$  σημαίνει απουσία του  $e$ , ενώ  $\psi \neq 0$  σημαίνει παρουσία του  $e$ ) και δεν έχει καμία φυσική σημασία (το  $\Psi$ ). Αντιθέτως, το  $\Psi^2$  έχει φυσική σημασία καθώς εκφράζει την πιθανότητα να βρεθεί το  $e$  σε ορισμένο σημείο του χώρου γύρω από τον πυρήνα.

Επίσης: Το  $\Psi^2$  (ακριβέστερα το  $-e \cdot \Psi^2$ ) εκφράζει την κατανομή ή πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους στον χώρο γύρω από τον πυρήνα.

## Τροχιακό (orbital)

Η λέξη **τροχιακό** (στ' αγγλικά: **orbital**) προτάθηκε το 1932 από τον Αμερικανό Mulliken, προς τιμή του Niels Bohr, ο οποίος είχε χρησιμοποιήσει τον όρο orbit (τροχιά) για να περιγράψει την κίνηση των ηλεκτρονίων στο άτομο.

Συμφώνως με τις νέες απόψεις, το ατομικό πρότυπο του Bohr, αντικαθίσταται από το κβαντομηχανικό μοντέλο. Με άλλα λόγια, αντί για συγκεκριμένες τροχιές στις οποίες είναι υποχρεωμένο να κινείται ένα  $e$ , σύμφωνα τώρα με την εξίσωση του Schrodinger έχουμε ένα σύνολο από κυματοσυναρτήσεις, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη τιμή ενέργειας του ηλεκτρονίου και ταυτοχρόνως περιγράφει μια συγκεκριμένη κατάσταση του  $e$ . Κάθε μία από αυτές τις κυματοσυναρτήσεις ονομάζεται **τροχιακό** (orbital).

Τα ατομικά τροχιακά είναι συναρτήσεις της μορφής  $\psi(x, y, z)$ , όπου  $x, y$  και  $z$  οι τρεις συντεταγμένες του χώρου, που καθορίζουν τη θέση του  $e$  γύρω από τον πυρήνα.

Όπως προαναφέρθηκε, το  $\psi$ , αυτό καθ' εαυτό, δεν έχει φυσική σημασία. Αντιθέτως, το  $\psi^2$  έχει φυσική σημασία (εκφράζει την πιθανότητα να βρεθεί το  $e$  σε μια συγκεκριμένη περιοχή του χώρου γύρω από τον πυρήνα).

Για παράδειγμα, αν για μία θέση γύρω από τον πυρήνα η λύση της κυματοσυναρτήσεως  $\psi$  δίνει τιμή  $\psi_1 = 0,1$  ενώ για μία άλλη θέση δίνει τιμή  $\psi_2 = -0,2$  θα είναι  $\psi_1^2 = 0,01$  και  $\psi_2^2 = 0,04$ . Οι τιμές αυτές μας πληροφορούν ότι η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο στη 2η θέση (για την οποία είναι  $\psi_2 = -0,2$ ) είναι 4 φορές μεγαλύτερη από την πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο στην 1η θέση (για την οποία είναι  $\psi_1 = 0,1$ ), διότι  $\psi_2^2 = 4 \cdot \psi_1^2$ .

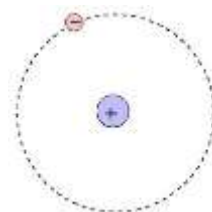
Και για να είμαστε πιο ακριβείς:

**Το  $-e \cdot \psi^2$  (όπου  $e$  το φορτίο του ηλεκτρονίου) εκφράζει την κατανομή ή πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους στο χώρο γύρω από τον πυρήνα.**

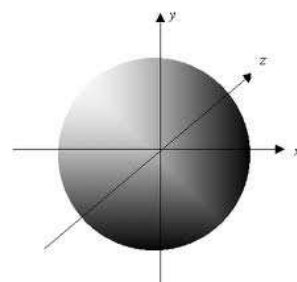
Λαμβάνοντας ως παράδειγμα το άτομο του υδρογόνου, ας δούμε τις διαφορές μεταξύ του ατομικού πρότυπου του Bohr και των σύγχρονων απόψεων. Με άλλα λόγια, ας δούμε την διαφορά μεταξύ του όρου **orbit** ή **τροχιά**, που χρησιμοποίησε ο Bohr και του όρου **orbital** ή **τροχιακό**, που πρότεινε ο Mulliken.

Στο ατομικό πρότυπο του Bohr, ο πυρήνας του ατόμου του H και το ηλεκτρόνιό του, παριστάνονται όπως στο διπλανό σχήμα.

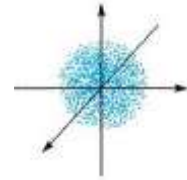
(Υποτίθεται ότι η θέση και η ταχύτητα του ηλεκτρονίου είναι γνωστά κάθε χρονική στιγμή).



Συμφώνως όμως με τις σύγχρονες απόψεις, με τον όρο orbital ή τροχιακό, εννοούμε μια περιοχή του χώρου γύρω από τον πυρήνα, όπου υπάρχει πιθανότητα μεγαλύτερη από 90% να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. Στην περίπτωση του H και όταν το άτομο είναι στην θεμελιώδη του κατάσταση, η περιοχή αυτή έχει σχήμα σφαίρας, της οποίας το κέντρο είναι στον πυρήνα και παριστάνεται όπως στο διπλανό σχήμα.



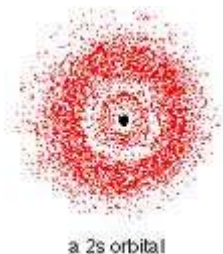
Ορισμένες φορές, αντί της σφαιρικής σχηματικής απεικόνισης, χρησιμοποιούμε σχέδιο, στο οποίο παριστάνουμε με στιγμές (σημεία) την περιοχή όπου υπάρχει πιθανότητα πάνω από 90% να βρεθεί το ηλεκτρόνιο.



Το τι «κάνει» το ηλεκτρόνιο στην περιοχή του χώρου όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να το βρούμε, ΔΕΝ το γνωρίζουμε οπότε και αγνοούμε το ερώτημα. Το μόνο που μπορούμε να γνωρίζουμε είναι ότι όταν το ηλεκτρόνιο βρίσκεται σ' ένα συγκεκριμένο τροχιακό, θα έχει μια συγκεκριμένη ενέργεια, η οποία μπορεί να προσδιορισθεί επακριβώς.

Κάθε τροχιακό έχει και ένα διαφορετικό όνομα. Στο πιο πάνω παράδειγμα, το συγκεκριμένο τροχιακό συμβολίζεται (ή ονομάζεται) ως **1s τροχιακό**. Ο αριθμός **1** σημαίνει ότι το τροχιακό αντιστοιχεί στο χαμηλότερο δυνατό ενεργειακό επίπεδο. Το γράμμα **s** δείχνει τη μορφή (σχήμα) του τροχιακού. Για παράδειγμα, τα **s** τροχιακά είναι σφαιρικά συμμετρικά σε σχέση με τον πυρήνα.

Το τροχιακό **2s** είναι παρόμοιο με το **1s**, με τη διαφορά ότι η περιοχή όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στην περίπτωση του **1s** (από ενεργειακής άποψης είμαστε ένα ενεργειακό επίπεδο πιο πάνω απ' ό,τι στην περίπτωση του **1s**).

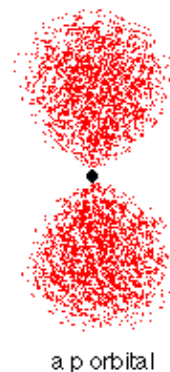


Στο διπλανό σχήμα, όπου απεικονίζεται ένα **2s** τροχιακό, βλέπουμε ότι υπάρχει μια δεύτερη περιοχή, με ελαφρώς αυξημένη ηλεκτρονιακή πυκνότητα, κοντά στον πυρήνα.

Γενικότερα, στα **2s**, **3s**, **4s** κλπ τροχιακά, τα ηλεκτρόνια περνούν ένα μέρος από τον χρόνο τους πιο κοντά στον πυρήνα, διότι με αυτό τον τρόπο ελαττώνεται ελαφρώς η ενέργεια στα **s** τροχιακά (διότι όσο πιο κοντά στον πυρήνα είναι ένα **e**, τόσο λιγότερη ενέργεια έχει).

Βεβαίως, τα ηλεκτρόνια δεν κατέχουν στο χώρο μόνο σφαιρικές περιοχές. Μάλιστα, ελάχιστα «κυκλοφορούν» σε σφαιρικές περιοχές.

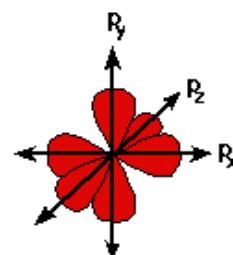
Στο 1ο ενεργειακό επίπεδο, το μόνο διαθέσιμο τροχιακό είναι το **1s**, αλλά στο **2ο ενεργειακό επίπεδο**, μαζί με το **2s** τροχιακό, υπάρχουν και άλλα, που ονομάζονται **2p** τροχιακά, το σχήμα των οποίων φαίνεται στην διπλανή εικόνα.



Ένα **p** τροχιακό μοιάζει με δύο μπαλόνια τα οποία είναι δεμένα στον πυρήνα. Στην περιοχή αυτή των δύο μπαλονιών υπάρχει πιθανότητα 95% να βρούμε ένα ηλεκτρόνιο.

Αντίθετα μ' ένα **s** τροχιακό, ένα **p** τροχιακό έχει μια συγκεκριμένη διεύθυνση στο χώρο. Αυτό που απεικονίζεται στην διπλανή εικόνα έχει διεύθυνση κατά μήκος της σελίδας.

Σε οποιοδήποτε ενεργειακό επίπεδο, είναι δυνατόν να υπάρχουν 3 απολύτως ισότιμα **p** τροχιακά, των οποίων οι διευθύνσεις σχηματίζουν ανά δύο γωνία  $90^\circ$ . Σ' αυτά, έχουν δοθεί αυθαίρετα τα ονόματα **p<sub>x</sub>**, **p<sub>y</sub>** και **p<sub>z</sub>**.



Ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων

Τα **p** τροχιακά του 2ου ενεργειακού επιπέδου συμβολίζονται ως **2p<sub>x</sub>**, **2p<sub>y</sub>** και **2p<sub>z</sub>**. Του 3ου ενεργειακού επιπέδου ως **3p<sub>x</sub>**, **3p<sub>y</sub>** και **3p<sub>z</sub>** κ.ο.κ.

Όλα τα ενεργειακά επίπεδα εκτός του 1ου, έχουν **p** τροχιακά.

Στο **3ο ενεργειακό επίπεδο**, εκτός από το **s** και τα **p** τροχιακά, υπάρχει μια πεντάδα **d** τροχιακών (το σχήμα τους είναι περίπλοκο). Επομένως, στο 3ο ενεργειακό επίπεδο υπάρχουν συνολικά 9 τροχιακά (ένα **s**, τρία **p** και πέντε **d**).

Στο **4ο ενεργειακό επίπεδο**, υπάρχουν και επτά **f** τροχιακά (συνολικά 16 τροχιακά).