

## Ατομικό φάσμα

Όταν τα άτομα είναι διεγερμένα εκπέμπουν φως ορισμένων μηκών κύματος που αντιστοιχούν σε διαφορετικά χρώματα. Το εκπεμπόμενο φως μπορεί να παρατηρηθεί ως μια σειρά χρωματιστών γραμμών με σκοτεινούς χώρους μεταξύ τους. Αυτή η σειρά χρωματιστών γραμμών ονομάζεται γραμμή ή ατομικά φάσματα. Κάθε στοιχείο παράγει ένα μοναδικό σύνολο φασματικών γραμμών. Δεδομένου ότι κανένα στοιχείο δεν εκπέμπει τις ίδιες φασματικές γραμμές, τα στοιχεία μπορούν να αναγνωριστούν από το φάσμα γραμμών τους.

## Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και η δυαδικότητα σωματιδίων - κυμάτων

Η ενέργεια μπορεί να ταξιδέψει μέσω κενού ή ύλης ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ένα εγκάρσιο κύμα με μαγνητικές και ηλεκτρικές συνιστώσες που ταλαντεύονται κάθετα μεταξύ τους. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι το εύρος όλων των πιθανών μηκών κύματος και συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένου του ορατού φωτός.

Σύμφωνα με την έννοια της διττότητας των σωματιδίων των κυμάτων, αν και η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συχνά θεωρείται κύμα, συμπεριφέρεται επίσης σαν ένα σωματίδιο. Το 1900, ενώ μελετούσε την ακτινοβολία του μαύρου σώματος, ο Max Planck ανακάλυψε ότι η ενέργεια περιοριζόταν σε ορισμένες τιμές και δεν ήταν συνεχής όπως υποτίθεται στην κλασική φυσική. Αυτό σημαίνει ότι όταν αυξάνεται η ενέργεια, το κάνει με μικροσκοπικά άλματα που ονομάζονται κβάντα (κβαντικά στο ενικό). Με άλλα λόγια, ένα κβάντο ενέργειας είναι προς τη συνολική ενέργεια ενός συστήματος, όπως ένα άτομο είναι στη συνολική μάζα ενός συστήματος. Το 1905, ο Άλμπερτ Αϊνστάιν πρότεινε ότι η ενέργεια είναι ομαδοποιημένη σε πακέτα, τα οποία έγιναν γνωστά ως φωτόνια. Η ανακάλυψη των φωτονίων εξήγησε γιατί η ενέργεια αυξάνεται με μικρά άλματα. Εάν η ενέργεια είναι ομαδοποιημένη σε μικροσκοπικά πακέτα, κάθε πρόσθετο πακέτο θα συνεισέφερε μια μικρή ποσότητα ενέργειας προκαλώντας τη συνολική ποσότητα ενέργειας να πηδήξει κατά μια μικρή ποσότητα, αντί να αυξηθεί ομαλά όπως υποτίθεται στην κλασική φυσική.

$\lambda$

είναι το μήκος κύματος του φωτός

$v$

είναι η συχνότητα του φωτός

$n$

είναι ο κβαντικός αριθμός μιας ενεργειακής κατάστασης

$E$

είναι η ενέργεια αυτής της κατάστασης

Πίνακας 1: Σημαντικές σταθερές		
Σταθερά-Σύμβολο	Σημασία	Τιμή
<b>c</b>	Ταχύτητα φωτός	$2.99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
<b>h</b>	Σταθερά του Planck	$6.62607 \times 10^{-34} \text{ Js}$
<b>eV</b>	Ηλεκτρονιοβόλτ(electron volt)	$1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$
<b>R<sub>H</sub></b>	Σταθερά Rydberg για το H	$2.179 \times 10^{-18} \text{ J}$

Μονάδες που πρέπει να γνωρίζετε

Το μήκος κύματος, ή η απόσταση από τη μία κορυφή στην άλλη ενός κύματος, μετράται συχνότερα σε μέτρα, αλλά μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας άλλες μονάδες SI μήκους όπου είναι πρακτικό. Ο αριθμός των κυμάτων που περνούν ανά δευτερόλεπτο είναι η συχνότητα του κύματος. Η μονάδα SI για τη συχνότητα είναι η Hertz (συντομογραφία Hz). 1 Hz ισούται με  $1\text{s}^{-1}$ . Η ταχύτητα του φωτός είναι σταθερή. Σε κενό η ταχύτητα του φωτός είναι  $2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ . Η σχέση μεταξύ μήκους κύματος ( $\lambda$ ), συχνότητας ( $\nu$ ) και ταχύτητας φωτός ( $c$ ) είναι:

$$\nu = c/\lambda \quad (1)$$

Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μιας συγκεκριμένης συχνότητας και επομένως χρώματος μετράται σε Joules και δίνεται από την εξίσωση:

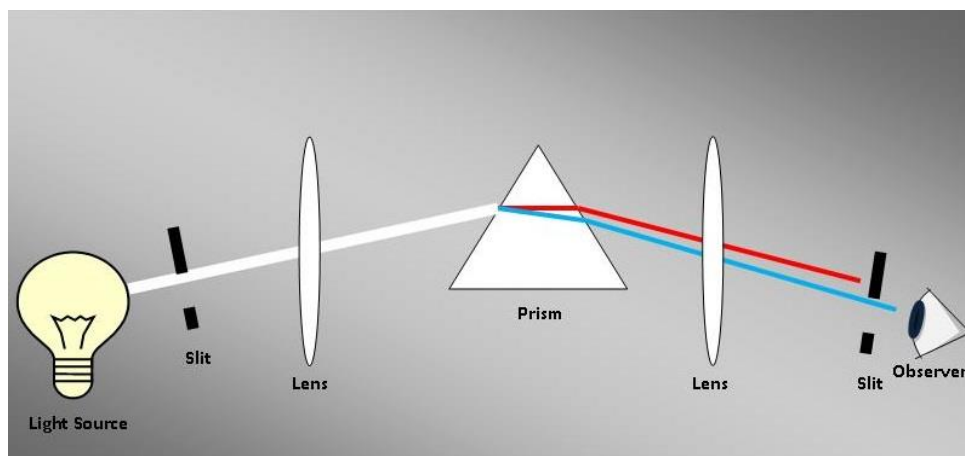
$$E = h \cdot \nu \quad (2)$$

με  $h$  τη σταθερά του Planck ( $6,62606876 \times 10^{-34} \text{ Js}$ )

Το ηλεκτρονιοβόλτ είναι μια άλλη μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται συνήθως. Το ηλεκτρονιοβόλτ (eV) ορίζεται ως η κινητική ενέργεια που αποκτά ένα ηλεκτρόνιο όταν επιταχύνεται από μια ηλεκτρική διαφορά δυναμικού 1V (βολτ). Είναι ίσο με  $1,60218 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

## Φασματοσκόπιο

Ένα φάσμα είναι ένα εύρος συχνοτήτων ή μηκών κύματος. Με τη διαδικασία της διάθλασης, ένα πρίσμα μπορεί να χωρίσει το λευκό φως στα μήκη κύματος των συστατικών του. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος είναι μάλλον ακατέργαστη, οπότε χρησιμοποιείται ένα φασματοσκόπιο για την πιο ακριβή ανάλυση του φωτός που διέρχεται μέσω του πρίσματος. Το διάγραμμα κάτω δείχνει ένα απλό φασματοσκόπιο πρίσματος. Όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ διακριτών μηκών κύματος, τόσο υψηλότερη είναι η ανάλυση του φασματοσκοπίου. Ο παρατηρητής (εμφανίζεται ως μάτι στο διάγραμμα) βλέπει την ακτινοβολία που διέρχεται από τη σχισμή ως φασματική γραμμή. Για να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις της ακτινοβολίας μια ηλεκτρονική συσκευή αντικαθιστά συχνά τον παρατηρητή, τότε το φασματοσκόπιο ονομάζεται φασματοφωτόμετρο. Σε πιο σύγχρονα φασματοφωτόμετρα, χρησιμοποιείται ένα περίβλημα περίθλασης αντί ενός πρίσματος για τη διασπορά του φωτός.



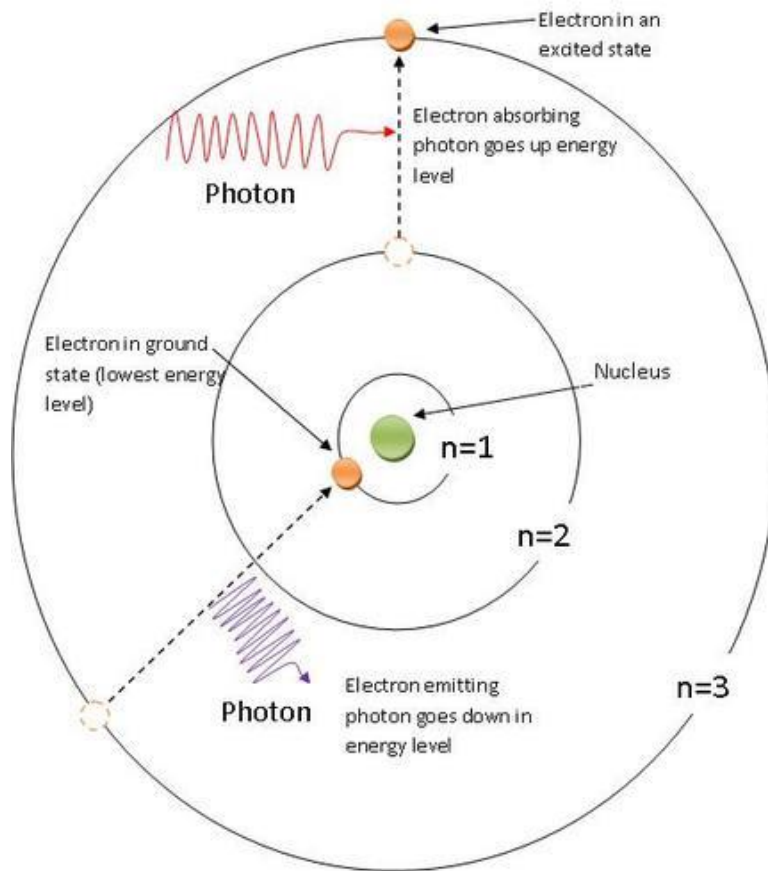
Πώς αντιδρούν τα άτομα όταν διεγείρονται από το φως

Τα ηλεκτρόνια μπορούν να υπάρχουν μόνο σε ορισμένες περιοχές γύρω από τον πυρήνα που ονομάζονται κελύφη. Κάθε κέλυφος αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ενέργειας που καθορίζεται από έναν κβαντικό αριθμό  $n$ . Δεδομένου ότι τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να υπάρχουν μεταξύ των επιπέδων ενέργειας, ο κβαντικός αριθμός  $n$  είναι πάντα ακέραια τιμή ( $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ ). Το ηλεκτρόνιο με το χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας ( $n = 1$ ) είναι το πλησιέστερο στον πυρήνα. Ένα ηλεκτρόνιο που καταλαμβάνει το χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας λέγεται ότι βρίσκεται στην βασική κατάσταση. Η ενέργεια ενός ηλεκτρονίου σε ένα ορισμένο επίπεδο ενέργειας μπορεί να βρεθεί από την εξίσωση:

$$E_n = -R_H/n^2 \quad (3)$$

Όπου το  $R_H$  είναι μια σταθερά ίση με  $2,179 \times 10^{-18} \text{ J}$  και το  $n$  είναι ίσο με το επίπεδο ενέργειας του ηλεκτρονίου.

## Μοντέλο Bohr του υδρογόνου



Όταν το φως πέφτει σε ένα άτομο, τα ηλεκτρόνια του απορροφούν φωτόνια τα οποία τα αναγκάζουν να αποκτήσουν ενέργεια και να πεδήσουν σε υψηλότερα επίπεδα ενέργειας. Όσο υψηλότερη είναι η ενέργεια του φωτονίου που απορροφάται, τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο ενέργειας που μεταβαίνει το ηλεκτρόνιο. Ομοίως, ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να μειώσει τα επίπεδα ενέργειας εκπέμποντας ένα φωτόνιο. Η απλουστευμένη εκδοχή αυτής της αρχής απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί με βάση το μοντέλο Bohr του ατόμου υδρογόνου. Η ενέργεια του φωτονίου που εκπέμπεται ή αποκτάται από ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να υπολογιστεί από αυτόν τον τύπο:

$$E_{\text{photon}} = R_H \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \quad (4)$$

Όπου  $n_i$  είναι το αρχικό επίπεδο ενέργειας του ηλεκτρονίου και το  $n_f$  είναι το τελικό επίπεδο ενέργειας του ηλεκτρονίου. Η συχνότητα του φωτονίου που εκπέμπεται όταν ένα

ηλεκτρόνιο κατεβαίνει επίπεδα ενέργειας μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας τον τύπο:

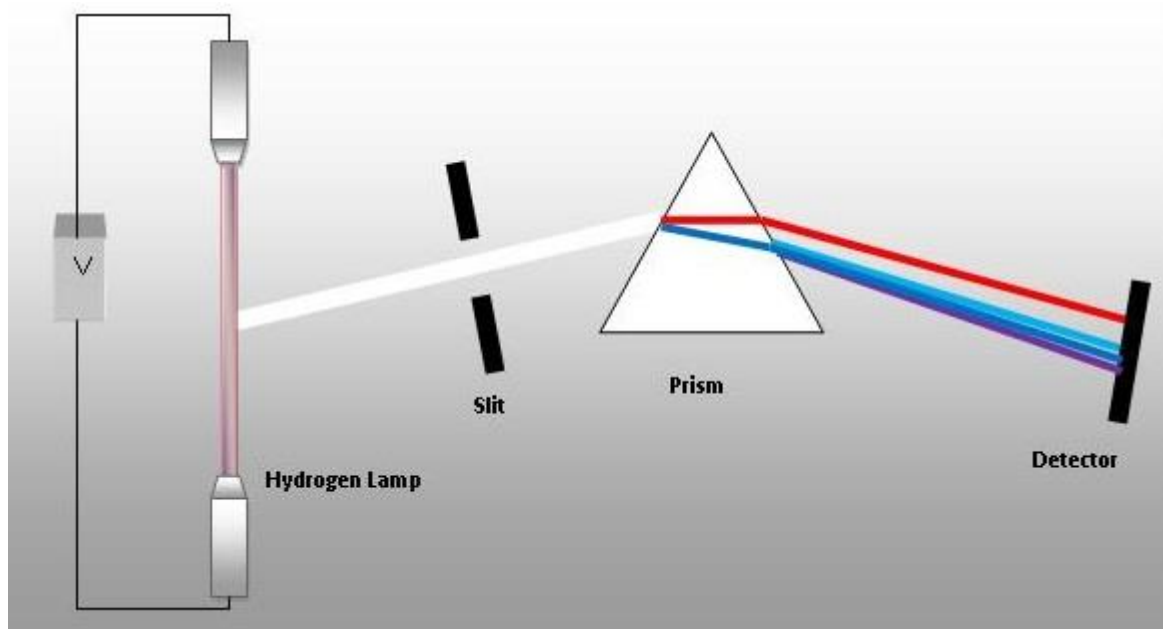
$$n_{\text{photon}} = E_i - E_f/h \quad (5)$$

με  $E_i$  είναι η αρχική ενέργεια του ηλεκτρονίου και  $E_f$  είναι η τελική ενέργεια του ηλεκτρονίου.

Δεδομένου ότι ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να υπάρχει μόνο σε ορισμένα επίπεδα ενέργειας, μπορούν να εκπέμπονται μόνο φωτόνια συγκεκριμένων συχνοτήτων. Αυτές οι συγκεκριμένες συχνότητες φωτός στη συνέχεια παρατηρούνται ως φασματικές γραμμές. Ομοίως, ένα φωτόνιο πρέπει να έχει το ακριβές μήκος κύματος που χρειάζεται το ηλεκτρόνιο για να ανεβεί τα επίπεδα ενέργειας για να απορροφηθεί, εξηγώντας τις σκοτεινές ζώνες ενός φάσματος απορρόφησης.

Γραμμές εκπομπής

Όταν ένα ηλεκτρόνιο σε ένα άτομο πέφτει από ένα επίπεδο ενέργειας σε χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας, εκπέμπει ένα φωτόνιο συγκεκριμένου μήκους κύματος και ενέργειας. Όταν πολλά ηλεκτρόνια εκπέμπουν το ίδιο μήκος κύματος των φωτονίων, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση του φάσματος σε αυτό το συγκεκριμένο μήκος κύματος, με αποτέλεσμα το σχέδιο ζωνών που φαίνεται στα φάσματα ατομικής εκπομπής. Το γράφημα στη συνέχεια είναι μια απλοποιημένη εικόνα ενός φασματογράφου, στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται για τη φωτογράφιση των φασματικών γραμμών του υδρογόνου.



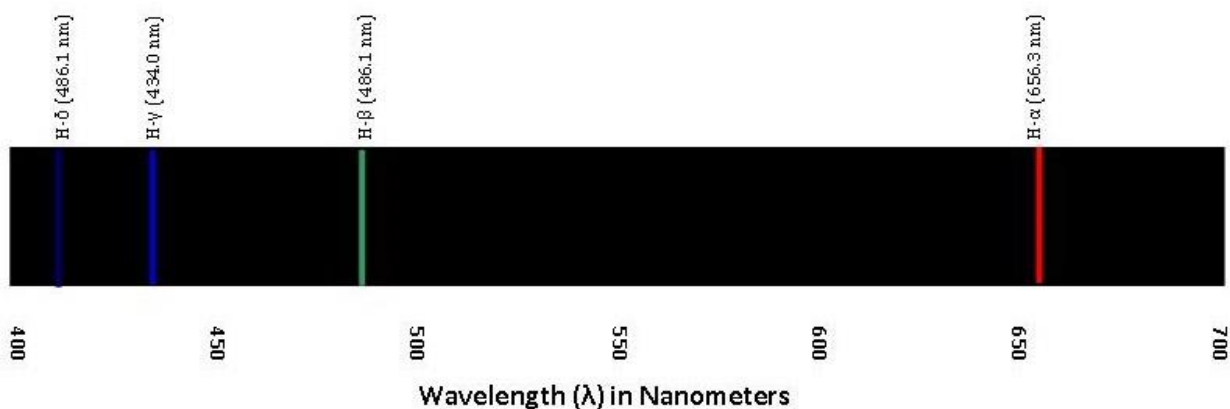
Εικόνα 1

Σε αυτόν τον φασματογράφο, τα άτομα υδρογόνου μέσα στη λάμπα διεγείρονται από ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Το φως από τη λάμπα στη συνέχεια περνά μέσα από ένα πρίσμα, το οποίο το διασπά στις διαφορετικές του συχνότητες. Δεδομένου ότι οι συχνότητες του φωτός αντιστοιχούν σε ορισμένα επίπεδα ενέργειας ( $n$ ) είναι επομένως δυνατό να προβλεφθούν οι συχνότητες των φασματικών γραμμών του υδρογόνου χρησιμοποιώντας μια εξίσωση που ανακαλύφθηκε από τον Johann Balmer.

$$\nu = 3.2881 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} (1/2^2 - 1/n^2) \quad (6)$$

Όπου  $n$  πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 2/ Αυτό συμβαίνει γιατί ο τύπος του Balmer ισχύει για το ορατό φως και μερικά μήκη κύματος μεγαλύτερα του υπεριώδους

### Balmer Series for Hydrogen Atom



Εικόνα 2

Οι συχνότητες σε αυτήν την περιοχή των ατομικών φασμάτων του υδρογόνου ονομάζονται σειρά Balmer. Η σειρά Balmer για το υδρογόνο απεικονίζεται στην Εικόνα 1. Υπάρχουν πολλές άλλες σειρές στο άτομο υδρογόνου που αντιστοιχούν σε διαφορετικά μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η σειρά Lyman, για παράδειγμα, εκτείνεται στο υπεριώδες και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ενέργειας έως  $n = 1$ .

### Γραμμές απορρόφησης

Όταν ένα ηλεκτρόνιο πηδά από χαμηλό επίπεδο ενέργειας σε υψηλότερο επίπεδο, το ηλεκτρόνιο θα απορροφήσει ένα φωτόνιο συγκεκριμένου μήκους κύματος. Αυτό θα εμφανιστεί ως μείωση του αριθμού των φωτονίων αυτού του μήκους κύματος και ως μαύρη ζώνη σε αυτό το μέρος του φάσματος. Η εικόνα 1 απεικονίζει έναν μηχανισμό για την ανίχνευση ενός φάσματος απορρόφησης. Λευκό φως εκπέμπεται μέσα από ένα δείγμα. Τα άτομα στο δείγμα απορροφούν μέρος του φωτός, διεγείροντας τα ηλεκτρόνια τους. Δεδομένου ότι τα ηλεκτρόνια απορροφούν μόνο φως ορισμένων συχνοτήτων, το φάσμα

απορρόφησης θα εμφανίζεται ως μια σειρά από μαύρες ζώνες σε ένα κατά τα άλλα συνεχές φάσμα.