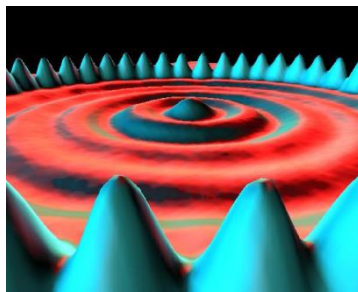


Κβαντοφυσική

*Η φυσική των πολύ μικρών στοιχείων
με τις μεγάλες εφαρμογές*



3^ο Μέρος : ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΡΙΟΤΗΤΕΣ

Διακριτά Φάσματα Εκπομπής



Το Quantum Spin-Off χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπό το πρόγραμμα LLP Comenius (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Laura Tamassia

Επαφή: renaat.frans@khlim.be

Το παρόν υλικό αντικατοπτρίζει τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για τη χρήση οποιασδήποτε πληροφορίας περιέχεται στο παρόν



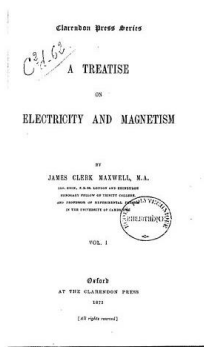
ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΘΕΜΑ:

Προσδιορίστε τα μήκη κύματος των διακριτών γραμμών εκπομπής του He

ΜΕΡΟΣ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

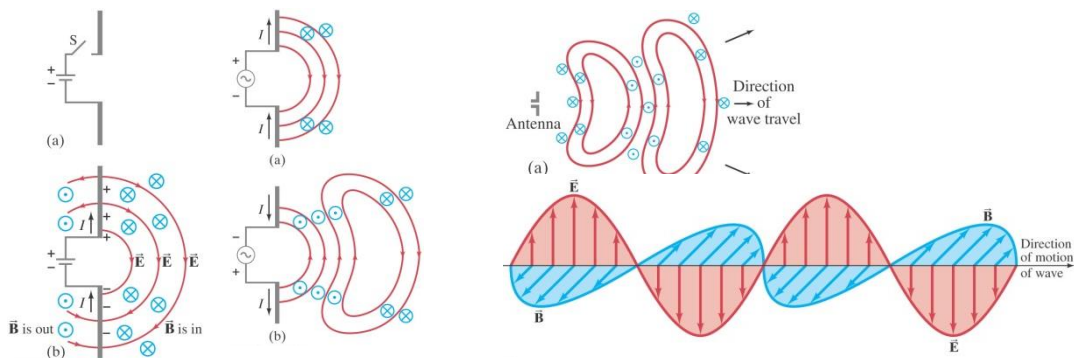
Ο Maxwell πρόβλεψε ότι το φως είναι ένα εγκάρσιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα



Ο Σκοτσέζος Φυσικός James Clerk Maxwell έκανε μια πρόβλεψη τον 19^ο αιώνα η οποία εκείνη την περίοδο δεν είχε παρατηρηθεί ακόμα πειραματικά: κάθε ηλεκτρική και/ή μαγνητική διαταραχή διαδίδεται σαν ένα εγκάρσιο κύμα (και όχι σαν ένα διάμηκες κύμα όπως πίστευαν πολλοί σύγχρονοί του). Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα ήταν η λύση των 4 εξισώσεων του που περιγράφουν τη συμπεριφορά των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων!

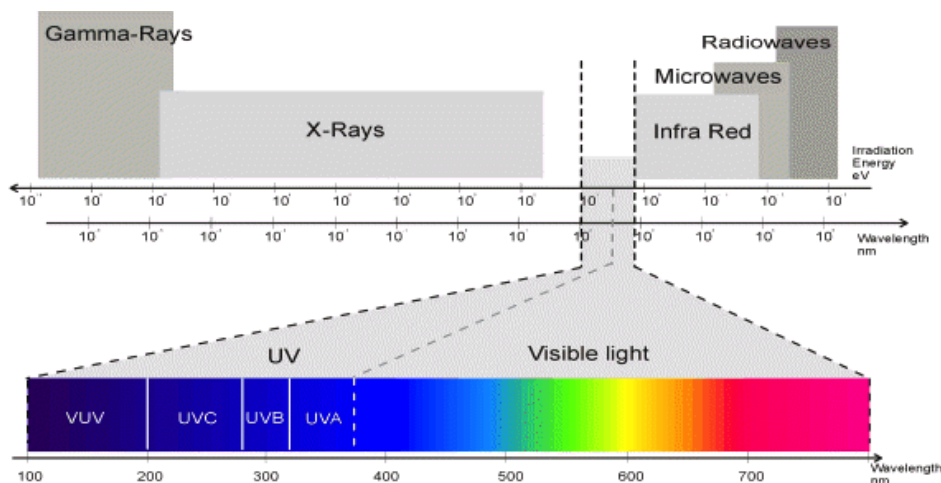
Οι εξισώσεις του Maxwell προέβλεπαν ότι μια αλλαγή στην ηλεκτρική ροή θα δημιουργούσε ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο είναι κάθετο στο ηλεκτρικό πεδίο. Με τη σειρά του, το επαγόμενο μαγνητικό πεδίο θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο με τη σειρά του θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό κλπ. Αυτό φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, όπου ένα εναλασσόμενο ρεύμα

αποστέλλεται δια μέσω μιας κεραίας (το ρεύμα I αρχικά ρέει προς τα πάνω και μετά προς τα κάτω). Το ρεύμα δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο (το \vec{B} έχει φορά προς τα μέσα και προς τα έξω από την επιφάνεια του χαρτιού), το οποίο επάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο \vec{E} κάθετο σε αυτό. Αυτό το μεταβαλλόμενο πεδίο διαδίδεται στο διάστημα.



Από τις εξισώσεις του Maxwell απορρέει ότι τα κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός (περίπου $3,0 \cdot 10^8$ m/s). Κατά συνέπεια έχουμε ένα πλήρες φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών

κυμάτων με διαφορετικά μήκη κύματος (από το μικρότερο μήκος κύματος προς το μεγαλύτερο): ακτίνες-γ, ακτίνες-Χ, υπεριώδεις ακτίνες, ορατό φως, υπέρυθρο φως, μικροκύματα, ραδιοκύματα. Το φάσμα φαίνεται παρακάτω. Μπορείτε



Πρακτική Δραστηριότητα: Διακριτά Φάσματα εκπομπής

να δείτε ότι τα μάτια μας είναι σε θέση να παρατηρήσουν μόνο ένα μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Το μήκος κύματος του ορατού φωτός καθορίζει το χρώμα που αντιλαμβάνονται τα μάτια μας.

Κατατάξτε τα χρώματα με φθίνουσα σειρά μήκους κύματος: κίτρινο, μπλέ, κόκκινο, μωβ, πράσινο.

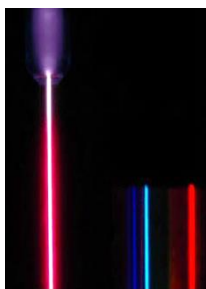
Χαρακτηριστικό φως των στοιχείων

Τον 19^ο αιώνα ανακαλύφθηκε ότι τα χημικά στοιχεία του περιοδικού πίνακα όπως το Υδρογόνο (H), το Ήλιο (He), ο Ψευδάργυρος (Hg) κ.α εκπέμπουν φως με χρώμα που είναι ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του κάθε στοιχείου. Το παρατηρούμενο χρώμα είναι τόσο μοναδικό που και μόνο με το να το κοιτάξουμε μπορούμε να μαντέψουμε ποιο στοιχείο το εξέπεμψε.

Αυτή η ιδιότητα των στοιχείων χρησιμοποιείται στις λάμπες αερίου, στα πυροτεχνήματα κ.α..

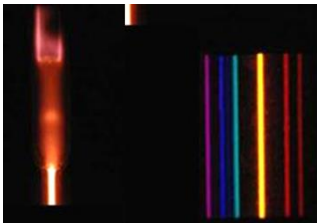


Λάμπα που γεμίζει με το στοιχείο Κάλιο, όπως αυτή χρησιμοποιείται στους Βελγικούς αυτοκινητοδρόμους



Χρησιμοποιώντας ένα πρίσμα μπορείτε να ξεχωρίσετε το εκπεμπόμενο φως στα χρώματα από τα οποία αποτελείτε και να δείτε ποια μήκη κύματος (χρώματα) εκπέμπονται από κάθε στοιχείο. Έτσι μετράτε το φάσμα εκπομπής!

Η εικόνα δείχνει μια λάμπα αερίου η οποία είναι γεμάτη με υδρογόνο(H) και δίπλα της βλέπετε το μετρούμενο φάσμα εκπομπής όταν το φως διαχωρίζεται στα συστατικά του.



Η εικόνα δείχνει μια λάμπα αερίου γεμάτη με Ήλιο(He) καθώς και το φάσμα εκπομπής της.

Το φάσμα εκπομπής κάθε στοιχείου είναι μοναδικό κάτι το οποίο μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε την χημική σύσταση ενός υλικού μετρώντας το φάσμα εκπομπής. Αυτό, για παράδειγμα χρησιμοποιείται για να καθορίσει την χημική σύσταση των άστρων χωρίς να πηγαίνουμε σε αυτά, ή για να διαπιστώσουμε αν το 'χρυσό' μας δαχτυλίδι, είναι πράγματι φτιαγμένο από χρυσό.

Τι είναι αυτό στα άτομα που εκπέμπει το φως ;



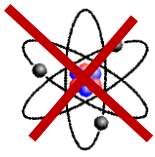
Το γεγονός ότι κάθε στοιχείο έχει το χαρακτηριστικό φάσμα εκπομπής του θα πρέπει να σχετίζεται κάπως με την μοναδική εσωτερική του δομή: κάθε στοιχείο έχει διαφορετικό αριθμό νουκλεονίων (πρωτονίων και νετρονίων) στον πυρήνα του και διαφορετικό αριθμό γύρω του. Οι πιθανότητες του πυρήνα να παίζουν ρόλο στην εκπομπή του φωτός είναι μηδαμινές. Λόγω του ότι το φως είναι ένα διαδιδόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα, φαίνεται λογικό ότι η κίνηση των ηλεκτρικά φορτισμένων ηλεκτρονίων με κάποιο τρόπο δημιουργούν

αυτά τα κύματα.

Η γρήγορη κίνηση των ηλεκτρονίων θα μπορούσε να προκαλέσει την εκπομπή ακτινοβολίας υψηλής συχνότητας, ενώ η πιο αργή κίνηση θα προκαλέσει εκπομπή ακτινοβολίας χαμηλότερης συχνότητας.

Διακριτές γραμμές εκπομπής και η τελική εξήγησή τους από το κβαντικό ατομικό πρότυπο

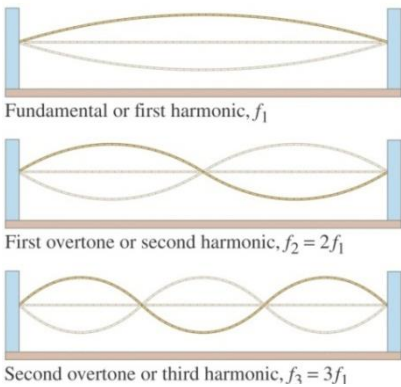
Το γεγονός των διακριτών ατομικών γραμμών των στοιχείων ήταν ήδη γνωστό από τον 19^ο αιώνα. Ο Niels Bohr που εργαζόταν ως νεαρός μαθητής στο εργαστήριο του Rutherford στο Cambridge στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, είχε προβληματιστεί από την αδυναμία του μοντέλου του Rutherford να εξηγήσει αυτές τις φασματικές γραμμές εκπομπής.



Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι δεν υπάρχει εκπομπή ανάμεσα σε αυτές τις γραμμές εκπομπής. Στο μοντέλο του Rutherford, το ηλεκτρόνιο κινείται γύρω από τον πυρήνα κατ'αναλογία με την κίνηση των πλανητών γύρω από τον ήλιο. Σε ένα τέτοιο μοντέλο το ηλεκτρόνιο θα ήταν σε θέση να εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ένα συνεχές εύρος ενεργειών. Αρκεί η μεταβολή της ταχύτητας του ηλεκτρονίου κατά ένα

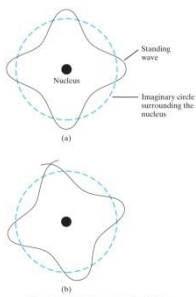
ποσό για να εκπεμφθεί ενέργεια ίση με την μεταβολή της κινητικής ενέργειας. Στο μοντέλο του Rutherford, ένα ηλεκτρόνιο που εκπέμπει ακτινοβολία θα χάσει ενέργεια. Και λόγω του νόμου της διατήρησης της ενέργειας θα κινείται πιο αργά με αποτέλεσμα να πλησιάζει ολοένα τον πυρήνα. Σε αυτήν την περίπτωση, το ηλεκτρόνιο θα έπεφτε πάνω στον πυρήνα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Με άλλα λόγια, το ατομικό μοντέλο του Rutherford όχι μόνο δεν μπορούσε να προβλέψει τις διακριτές γραμμές εκπομπής, αλλά στην πραγματικότητα προέβλεπε ότι τα άτομα δεν μπορούσαν να υπάρχουν σε μια σταθερή μορφή επειδή τα ηλεκτρόνια θα καταρρέυσουν στον πυρήνα μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό



διάστημα.

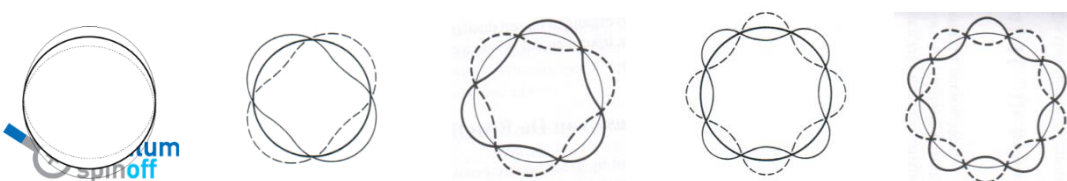
Ο Louis de Broglie είχε εντυπωσιαστεί από την ομοιότητα ανάμεσα στις γραμμές εκπομπής οι οποίες ανταποκρίνονται σε μία καθορισμένη περιοχή ενεργειών και στις διακριτές ταλαντώσεις μιας χορδής, τα λεγόμενα στάσιμα κύματα.



Μόνο όταν ο De Broglie υπέθεσε ότι τα ηλεκτρόνια επίσης συμπεριφέρονται ως κύματα έγινε κατανοητό ότι όπως και με τις δονήσεις μιας χορδής, έτσι και στο άτομο δεν επιτρέπονται όλοι οι τρόποι ταλάντωσης αλλά μόνο ένα διακριτό τμήμα τους.

Το κύμα του ηλεκτρονίου στο μοντέλο του De Broglie κινείται σε έναν κύκλο γύρω από τον πυρήνα. Στη χορδή του βιολιού μπορούν να δημιουργηθούν μόνο συγκεκριμένα κύματα. Όλα τα άλλα θα συμβάλλουν ακυρωτικά με τον εαυτό τους. Ομοίως και ένα δέσμιο ηλεκτρόνιο θα υπάρχει μόνο σε έναν πεπερασμένο αριθμό

τρόπων ταλάντωσης γύρω από τον πυρήνα. Το κύμα του ηλεκτρονίου στο μοντέλο του De Broglie κινείται σε κύκλο γύρω από τον ατομικό πυρήνα.



Πρακτική Δραστηριότητα: Διακριτά Φάσματα εκπομπής

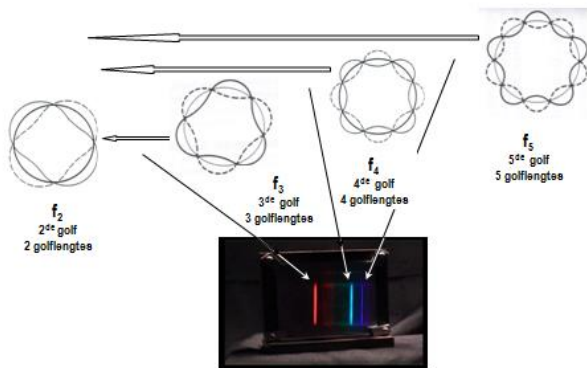
1 μήκος κύματος 2 μήκη κύματος 3 μήκη κύματος 4 μήκη κύματος 5 μήκη κύματος

Πιθανά στάσιμα ηλεκτρονιακά κύματα γύρω από τον πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου στο κβαντικό ατομικό μοντέλο του De Broglie : από ένα πλήρες μήκος κύματος σε 5 πλήρη μήκη κύματος. Οποιαδήποτε άλλη δυνατότητα δεν μπορεί να υπάρξει επειδή θα συνέβαλλε ακυρωτικά με τον εαυτό της.

Διακριτές γραμμές εκπομπής και η εξήγηση της κβαντικής θεωρίας

Όταν ένα στοιχείο λαμβάνει ενέργεια (για παράδειγμα εφαρμόζοντας υψηλή τάση όπως γίνεται στις λάμπες των φασματομέτρων), τα ηλεκτρονιακά κύματα του ατόμου θα ταλαντωθούν με υψηλότερη συχνότητα και επομένως θα έχουν υψηλότερη ενέργεια.

Τα ηλεκτρονιακά κύματα στο μοντέλο του De Broglie μπορούν μόνο να ταλαντωθούν σε διακριτούς τρόπους. Ως συνέπεια, η ενέργεια των ηλεκτρονίων μπορεί να πάρει μόνο καθορισμένες τιμές: είναι κβαντισμένη.



Ένα κύμα ηλεκτρονίου το οποίο δονείται σε υψηλή συχνότητα (δηλ. υψηλή ενέργεια) μπορεί να χάσει μέρος της ενέργειάς του. Λόγω της κβάντωσης των τρόπων ταλάντωσης, μπορεί να δώσει ενέργεια η οποία θα ισούται με την ενεργειακή διαφορά ανάμεσα στους τρόπους ταλάντωσης. Μπορεί για παράδειγμα να μεταβεί από τον 3^ο στον 2^ο τρόπο ταλάντωσης, από τον 4^ο στον 2^ο ή από τον 5^ο στον 2^ο. Κατά τη διάρκεια

μιας τέτοιας μετάβασης, το ηλεκτρόνιο εκπέμπει ενέργεια ΔE η οποία ελευθερώνεται με τη μορφή ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος (δηλαδή φωτός). Όσο περισσότερη ενέργεια εκπέμπεται, τόσο υψηλότερη η συχνότητα του εκπεμπόμενου φωτός. Πράγματι, ο Max Planck ανακάλυψε ότι η ενέργεια του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι ανάλογη με τη συχνότητα, βάσει της σχέσης:

$$\Delta E = h \cdot f$$

Εδώ το h είναι μια πολύ μικρή σταθερά αναλογίας, γνωστή και ως σταθερά του Planck (η οποία ανακαλύφθηκε από τον Max Planck το 1900):

$$h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} Js$$

Το ενεργειακό πακέτο που εκπέμπεται από το ηλεκτρόνιο μεταδίδεται ως ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα ενέργειας : $E = h \cdot f$. Αφού το χρώμα του φωτός καθορίζεται από τη συχνότητά του, εν τέλει η μετάπτωση του ηλεκτρονίου είναι αυτή που καθορίζει το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός.

Αν το ηλεκτρόνιο μεταβεί από τον 3^ο τρόπο ταλάντωσης του στον 2^ο, μόνο ένα μικρό τμήμα ενέργειας θα εκπεμφθεί: εκπέμπεται ένα κόκκινο φωτόνιο. Η συχνότητα του κόκκινου φωτός είναι σχετικά (χαμηλή/υψηλή).

Η μετάβαση από τον 4^ο στον 2^ο τρόπο ταλάντωσης προκαλεί την εκπομπή μεγαλύτερης ποσότητας ενέργειας, δημιουργώντας ένα τρκουάζ φωτόνιο.

Η μετάβαση από τον 5^ο στον 2^ο τρόπο ταλάντωσης αντιστοιχεί σε μια καόμη μεγαλύτερη ενέργεια και εκπέμπει ένα μπλε-μωβ φωτόνιο.

Οι ενεργειακές μεταβάσεις μπορούν να αντιστοιχήσουν σε πολύ μικρά ή πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας τέτοια ώστε να μην μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εκπεμπόμενα φωτόνια με τα μάτια μας. Το ηλεκτρόνιο εκπέμπει, για παράδειγμα, φωτόνια στην υπέρυθρη ή την υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Πρακτική Δραστηριότητα: Διακριτά Φάσματα εκπομπής

Με αυτόν τον τρόπο, το κβαντικό ατομικό μοντέλο μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια και να εξηγήσει την ύπαρξη διακριτών φασματικών γραμμών. Η υπόθεση ότι άτομα σαν τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια, τα νετρόνια και ακόμα και ολόκληρα μόρια επίσης συμπεριφέρονται σαν κύματα αποδείχτηκε ότι ήταν μια θεμελιώδης ιδιότητα της φύσης.

Στον μαθησιακό σταθμό 7 θα υπολογίσουμε το μήκος κύματος των εκπεμπόμενων φωτονίων με ακρίβεια 4 δεκαδικών χρησιμοποιώντας το κβαντικό μοντέλο του De Broglie.

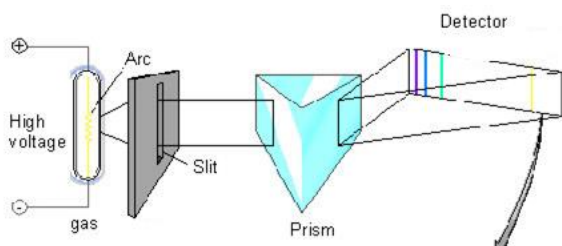
Γιατί το κάθε στοιχείο έχει διαφορετικές φασματικές γραμμές;

Κάθε στοιχείο έχει τη δική του «σκάλα» ενεργειακών επιπέδων στα οποία μπορούν να συμβούν μεταβάσεις. **Κάθε αέριο έχει τις δικές του φασματικές γραμμές επειδή τα ενεργειακά επίπεδα των ηλεκτρονίων είναι διαφορετικά για κάθε στοιχείο.**

Μέρος 2^ο : Πείραμα

Προσδιορίστε τα μήκη κύματος των διακριτών γραμμών εκπομπής του He

Σε αυτό το πείραμα θα μετρήσουμε τα διακριτά μήκη κύματος του He.



Δεν είναι δυνατό να προσδιορίσουμε τα επιμέρους χρώματα του φωτός με γυμνό μάτι. Ένα φασματόμετρο διαχωρίζει μια φωτεινή δέσμη στα συστατικά της χρώματα (με χρήση πρίσματος), έτσι ώστε τα διαφορετικά μήκη κύματος να παρατηρούνται ξεχωριστά. Οι γραμμές προβάλλονται σε μία οθόνη που είναι βαθμονομημένη έτσι ώστε να μετράμε σε νανόμετρα. Με τον τρόπο αυτό βρίσκουμε τα μήκη κύματος των φασματικών γραμμών. Το He βρίσκεται σε έναν σωλήνα στον οποίο μπορούμε να εφαρμόσουμε υψηλή τάση.

Φασματόμετρο



<http://labs.physics.dur.ac.uk/level1/projects/spectrometer.php>

Μέθοδος:

1. Ανάψτε την πηγή της λάμπας (περιμένετε ένα λεπτό ώστε να ζεσταθεί η λάμπα)
2. Δείτε δια μέσω του κυαλιού όλες τις φασματικές γραμμές του He
3. Μετακινήστε το κυάλι ώστε να δείτε όλες τις γραμμές.
4. Καταγράψτε την θέση των γραμμών στην κλίμακα. Η κλίμακα προβάλλεται στο μάτι μας με τη χρήση μιας λάμπας. Ανάψτε την λάμπα.
5. Συμπληρώστε τον πίνακα
6. Γράψτε το αντίστοιχο μήκος κύματος σε νανόμετρα χρησιμοποιώντας την καμπύλη βαθμονόμησης του φασματομέτρου σας. Τα φασματόμετρα έχουν τις κατάλληλες ετικέτες.



Μετρήσεις:

Χρώμα της γραμμής	Σχετική ένταση (1=ασθενής, 3=πολύ δυνατή)	Θέση στην κλίμακα	Μήκος κύματος λ (nm) (Χρησιμοποιήστε την καμπύλη βαθμονόμησης του φασματομέτρου)
Κόκκινο	1		
Κόκκινο	3		
Κίτρινο	3		
Πράσινο	1		
Πράσινο	2		
Πράσινο-Μπλε	2		
Μωβ	1		
Μωβ	2		