Εργαστήρια Ατομικής και Μοριακής Φυσική
Άσκηση 5.6

Σχεδίαση φασματόμετρου φράγματος υψηλής διακριτικής ικανότητας

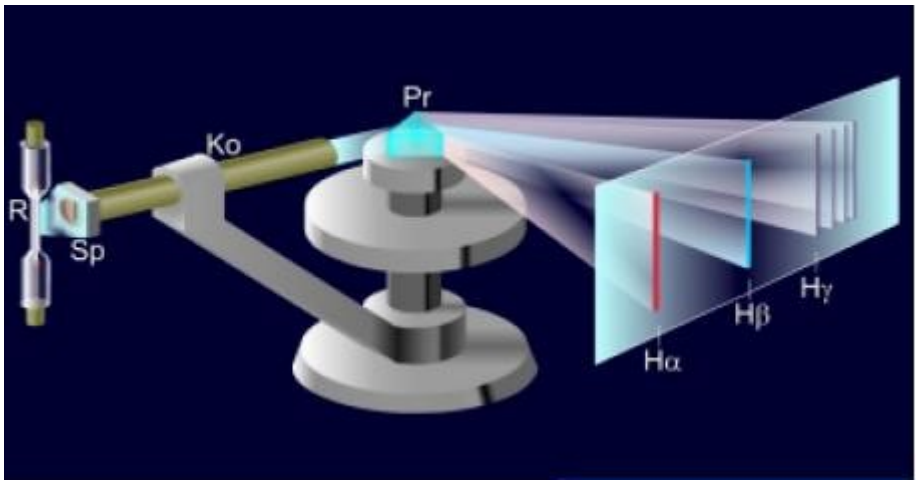
Μιχάλης Καλογεράκης
$10^{ο}$ Εξάμηνο
ΑΜ:09101187

Υπεύθυνος: Κόντος Αθανάσιος
Ημ διεξαγωγής: 2-5-2006

1)Στοιχεία θεωρίας- Σκοπός άσκησης

Στην άσκηση αυτή εξοικειωθήκαμε με τις μεθόδους σχεδίασης, ανάπτυξης και με τη δοκιμή φασματομέτρων που βασίζονται σε οπτικά φράγματα ανάκλασης. Ωστόσο ο κύριος σκοπός μας ήταν να μελετήσουμε το πώς μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη διακριτική ικανότητα φασματόμετρων φράγματος καθώς και το πώς γίνεται η ακριβής βαθμονόμησή τους.

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε τη διάταξη ενός φασματόμετρου πρίσματος, που δεν διαφέρει πολύ από τη δική μας διάταξη όσον αφορά τις αρχές λειτουργίας.



Η φωτεινή πηγή R, εκπέμπει ακτινοβολία που περνά από ένα φράγμα περίθλασης (Sp). Στη διπλανή διάταξη χρησιμοποιήθηκε επιπλέον ένας σωλήνας (Ko) προκειμένου να κατευθύνονται οι ακτίνες στο πρίσμα.
Λόγω της διαφορετικής γωνίας ανάκλασης για διαφορετικά μήκη κύματος, οι διάφορες φασματικές γραμμές εντοπίζονται σε διαφορετικά σημεία του χώρου.
Στη δική μας διάταξη τώρα, αντί για πρίσμα χρησιμοποιήσαμε ένα κάτοπτρο υψηλής ποιότητας το οποίο είχαμε την ικανότητα να περιστρέφουμε και να μετράμε τις διάφορες γωνίες στις οποίες παρατηρούσαμε φασματικές γραμμές.

Υπενθυμίζουμε εδώ κάποιες εξισώσεις που θα χρειαστούμε στη συνέχεια της άσκησης.

Αρχικά θα μας χρησιμεύσει η συνθήκη ενισχυτικής συμβολής:

$$d(\sin\theta_i + \sin\theta_d) = m\lambda \quad (1)$$

Οι γωνίες θ_i και θ_d, είναι οι γωνίες πρόσπτωσης και περίθλασης μετρημένες ως προς την κάθετο στο οπτικό φράγμα. Το m είναι ακέραιος αριθμός που αντιστοιχεί στην τάξη της περίθλασης και d=1\N η απόσταση των διαδοχικών χαραγών του φράγματος. Το λ είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Από την (1) με παραγώγιση προκύπτει ότι:

$$d\cos\theta_d d(\theta_d) = md\lambda \quad (2)$$

Οπότε προκύπτει ότι $\dfrac{d\theta_d}{d\lambda} = \dfrac{m}{d\cos\theta_d}$ (3)

Με βάση το αποτέλεσμα αυτό, το μήκος dx στο οποίο θα εκτείνεται το $d\theta_d$ στο εστιακό επίπεδο κατόπτρου εστιακής απόστασης f, θα είναι:

$$dx = f\cdot d\theta_d \Leftrightarrow dx = f\left(\frac{m}{d\cos\theta_d}\right)d\lambda \Leftrightarrow \frac{dx}{d\lambda} = \frac{f\cdot m}{d\cdot\cos\theta_d} \quad (4)$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει πως είναι επιθυμητό σε αντίστοιχες διατάξεις να έχουμε όσο το δυνατόν πιο μεγάλη γωνία θ_d ώστε ο παράγοντας πλάκας $\dfrac{dx}{d\theta}$ για δεδομένη τάξη περίθλασης (m) να είναι μέγιστος.

Στην διάταξή μας, η ανάλυση γίνεται με ταυτόχρονη μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης και της γωνίας περίθλασης. Επομένως οι σχέσεις μετασχηματίζονται στις εξής σχέσεις:

$$2d\sin\theta_d = m\lambda \quad (5)$$

και

$$\frac{dx}{d\lambda} = \frac{2f\cdot m}{d\cdot\cos\theta_d} \quad (6)$$

2)Επεξεργασία μετρήσεων

1)Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις μετρήσεις μας όσον αφορά τις φασματικές γραμμές που παρατηρήσαμε, καθώς και τη γωνία που τις παρατηρήσαμε (μετά την αφαίρεση της γωνίας αναφοράς). Οι αρχικές μετρήσεις επισυνάπτονται στο τέλος της άσκησης.

Χρώμα	Σχόλια	Γωνία	Γωνία ανηγμένη
Κατοπτρική		114	0
Μπλε	1 γραμμή πολύ ασθενής	75,5	38,5
Μπλε	Τριπλέτα. 1η γραμμή	72	42
Μπλε	Τριπλέτα. 3η γραμμή	71,5	42,5
Μπλε	Ασθενής	68	46
Μπλε	Ισχυρή. Μόνη της	66	48
Μπλε	Διπλή	65,5	48,5
Μπλε	Τριπλέτα, 1η γραμμή	61,5	52,5
Μπλε	Τριπλέτα, 3η γραμμή	61	53
Πράσινη	Ασθενής (μόνη της)	50,5	63,5
Πράσινη	Πολύ ισχυρή και πλατιά	33	81

Με βάση τη σχέση 5 θα υπολογίσουμε το μήκος κύματος που προκύπτει για κάθε γωνία. Το d είναι

$$d = \frac{1}{N} = \frac{1}{3600}\cdot 10^{-3}m = 2{,}8\cdot 10^{-7}m\,.$$

Αρχικά δοκιμάζουμε να υπολογίσουμε όλα τα μήκη κύματος θέτοντας m=1. Στη συνέχεια, αν παρατηρήσουμε περιπτώσεις όπου δεν συμφωνεί το μήκος κύματος με το χρώμα, θα δοκιμάσουμε και άλλες τάξεις.

Θέτοντας λοιπόν m=1 και

$d = 2,8 \cdot 10^{-7} m$, μπορούμε να υπολογίσουμε όλα τα μήκη κύματος που παρατηρήσαμε.

Από τους υπολογισμούς μας, προέκυψε ο παρακάτω πίνακας:

Γωνία ανηγμένη	λ(nm)
0	0
38,5	348,60
42	374,71
42,5	378,33
46	402,83
48	416,16
48,5	419,41
52,5	444,28
53	447,23
63,5	501,16
81	553,11

Παρατηρούμε ότι όλα τα μήκη κύματος αντιστοιχούν στο χρώμα που παρατηρήσαμε. Επιπλέον βλέπουμε ότι οι 3 πρώτες μετρήσεις είναι στο υπεριώδες, συνεπώς και οι μετρήσεις στις 42 μοίρες και στις 42,5 μοίρες είναι στο υπεριώδες όπως μας δείχνει για τη συγκεκριμένη τριπλέτα λεπτής υφής και το ενεργειακό διάγραμμα μεταπτώσεων του Hg.

Εδώ θα πρέπει να καταστεί σαφές ότι δεν ήταν δυνατόν να παρατηρήσουμε όλες τις γραμμές του φάσματος του Hg, Η διάταξή μας μπορεί να ήταν επαρκώς επιμελημένη, από την άλλη όμως, ο θάλαμος στον οποίο βρισκόμασταν δεν ήταν απόλυτα σκοτεινός.

Επιπλέον κατά τη διεξαγωγή του πειράματος χρειαζόταν συχνά να ανάβουμε κάποιο φως για να μετρήσουμε τη γωνία περίθλασης, οπότε το μάτι δεν μπορούσε να προσαρμοστεί αμέσως στο σκοτάδι.

2) Θα υπολογίσουμε τη διαφορά μήκους κύματος μεταξύ των δύο ακραίων γραμμών της τριπλέτας που εμφανίζεται ανάμεσα σε 72 και 71,5 μοίρες. Εκεί μετρήσαμε ότι οι γραμμές έχουν πάχος περίπου 1mm. Επιπλέον, η απόσταση μεταξύ των δύο ακραίων φασματικών γραμμών είναι 4mm, ενώ η δεξιά από τη μεσαία απέχουν 3mm.

Η θεωρία μας δίνει ότι $\frac{dx}{d\lambda} = \frac{2f \cdot m}{d \cdot \cos\theta_d}$. Μετρήσαμε την εστιακή απόσταση f=51cm.

Λύνοντας ως προς dλ παίρνουμε ότι: $d\lambda = \frac{d \cdot \cos\theta_d \cdot dx}{2f \cdot m}$.

Ας υπολογίσουμε πρώτα τη διαφορά μήκους κύματος μεταξύ της αριστερής και της μεσαίας.

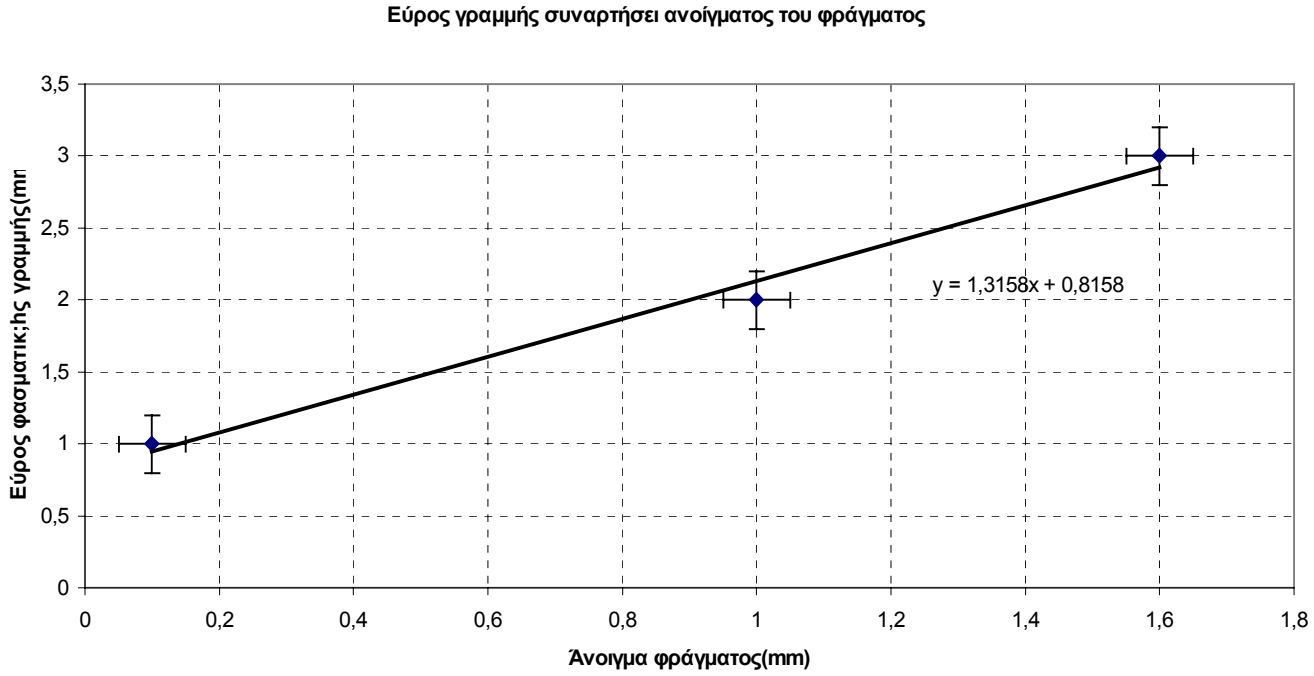
Έχουν απόσταση 1mm. Αυτό σημαίνει ότι $d\lambda = \frac{2,8 \cdot 10^{-7} \cdot 0,743 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,51 \cdot 1} m = 2,04 nm$

Πάμε να υπολογίσουμε τώρα τη διαφορά μήκους κύματος μεταξύ της μεσαίας και της δεξιάς.

Έχουν απόσταση 3mm. Εϊναι λοιπόν $d\lambda = \frac{2,8 \cdot 10^{-7} \cdot 0,737 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,51 \cdot 1} m = 4,04 nm$.

Αν λάβουμε υπόψιν και τα σφάλματα τα οποία είναι πολύ σημαντικός παράγοντας σ' αυτή την άσκηση, οι τιμές που προκύπτουν είναι σύμφωνες με το πείραμα. Το κύριο σφάλμα εδώ είναι στη μέτρηση της απόστασης μεταξύ των γραμμών. Επειδή οι γραμμές είναι μεγάλες σε πάχος, μετρήσαμε την απόσταση μεταξύ του πιο αριστερού και του πιο δεξιού άκρου των γραμμών. Επειδή επιπλέον η αριστερή με τη μεσαία δεν διακρίνονται, είναι λογικό να έχουμε κι εκεί σφάλμα, το οποίο αν θέσουμε ότι δdx=0,5mm (όσο το μισό του πάχους της γραμμής δηλαδή), θα μας δώσει δλ=1,5nm μέσω της θεωρίας διάδοσης σφαλμάτων.

Φράγμα (mm)	Πάχος γραμμής(mm)
1,6	3
1	2
0,1	1

3)Στο διπλανό πίνακα βλέπουμε την εξάρτηση του εύρους της παρατηρούμενης γραμμής από το άνοιγμα του φράγματος περίθλασης. Παρατηρούμε ότι όσο πιο μικρό είναι το άνοιγμα του φράγματος τόσο καλύτερα μπορούμε να διακρίνουμε τη γραμμή, πράγμα που οφείλεται κυρίως στο ότι μειώνουμε τα σφάλματα των φακών. Στην επόμενη σελίδα βλέπουμε και τη γραφική παράσταση που ζητείται. Παρατηρούμε ότι

υπάρχει γραμμική εξάρτηση μεταξύ των δύο μεγεθών, τουλάχιστον όσο μας επιτρέπουν να το υποθέσουμε αυτό οι μετρήσεις μας.