



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

---

## Εργαστήριο Φυσικής III - Οπτική

Πέτρος Ρακιτζής

Τμήμα Φυσικής

---

## 7. ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΟΠΤΙΚΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

### 1. Σκοπός

- Μελέτη ιδιοτήτων οπτικού φράγματος περίθλασης
- Μελέτη φάσματος λάμπας υδραργύρου

### 2. Θεωρία

#### Βασική προαπαιτούμενη γνώση

Serway, Physics for Scientists & Engineers, Τόμος ΙΙΙ, Κεφ. 38.4 (συμπεριλαμβανομένων των αντίστοιχων παραδειγμάτων και προβλημάτων).

#### 2.1 Εισαγωγή

Μια επαναλαμβανόμενη ακολουθία από στοιχεία περίθλασης, είτε πρόκειται για οπές (ή σχισμές) είτε από “εμπόδια”, που έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση περιοδικών μεταβολών στη φάση, στο πλάτος, ή και στα δυο, του αναδύμενου κύματος, λέγεται **φράγμα περίθλασης**. Η απλούστερη περίπτωση φράγματος περίθλασης είναι το φράγμα πολλών σχισμών, που ανακαλύφθηκε από τον αστρονόμο Rittenhouse το 1785. Ένα μέτωπο κύματος που συναντά ένα τέτοιο φράγμα υπόκειται σε διαμόρφωση πλάτους. Μια άλλη μορφή φράγματος περίθλασης που συναντάται πολύ πιο συχνά, είναι ένα φράγμα από παράλληλες μεταξύ τους χαραγές, πάνω στην επιφάνεια γυάλινης πλάκας. Κάθε μια από τις χαραγές αποτελεί μια πηγή σκεδασμένου φωτός και όλες μαζί σχηματίζουν μια κανονική ακολουθία από παράλληλες ευθύγραμμες πηγές. Όταν το φράγμα είναι τελείως διαφανές, έτσι ώστε να είναι αμελητέα η διαμόρφωση πλάτους, οι κανονικές μεταβολές του οπτικού πάχους κατά μήκος του φράγματος προκαλούν διαμόρφωση φάσης. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens μπορούμε να φανταστούμε ότι τα στοιχειώδη κύματα (wavelets) εκπέμπονται με διαφορετικές φάσεις από τα διάφορα σημεία της επιφάνειας του φράγματος. Έτσι, το αναδύμενο μέτωπο κύματος εμπεριέχει περιοδικές μεταβολές του σχήματος και όχι του πλάτους του.

#### 2.2 Η εξίσωση του φράγματος

Στο Κεφάλαιο της περίθλασης, αποδείχθηκε η εξίσωση του φράγματος (εξ. 34) για την περίπτωση κάθετης πρόσπτωσης.

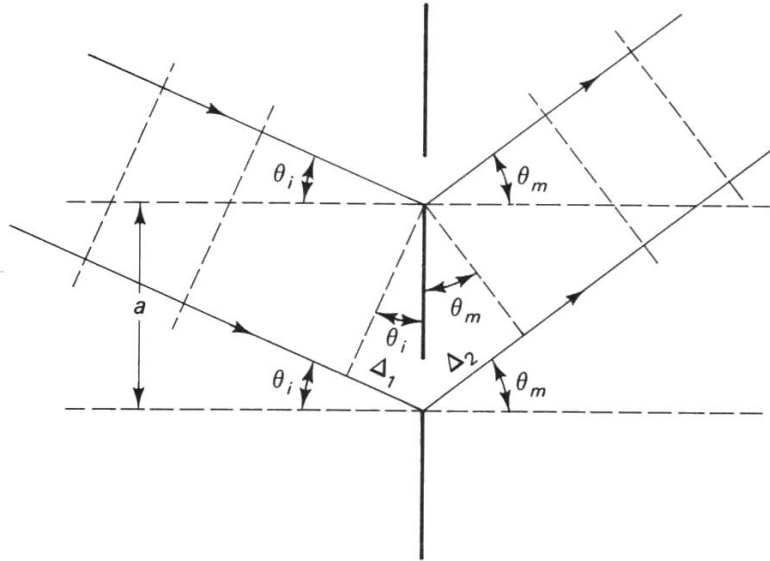
Η εξίσωση αυτή μπορεί εύκολα να γενικευθεί για την περίπτωση που τα προσπίπτοντα επίπεδα κυματικά μέτωπα φωτός σχηματίζουν μια οποιαδήποτε γωνία με την κάθετο στην επιφάνεια του φράγματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Η συνολική διαφορά δρόμου για κύματα από γειτονικές σχισμές που απέχουν κατά  $a$  είναι

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = a \sin \theta_1 + a \sin \theta_m \quad (1)$$

όπου  $a$  η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σχισμών.

Οι δύο ημιτονικοί όροι στην εξίσωση αυτή μπορεί να αθροίζονται ή να αφαιρούνται, ανάλογα με την διεύθυνση  $\theta_m$  του φωτός που έχει υποστεί περίθλαση. Για να ισχύει η (1) για όλες τις γωνίες περίθλασης, ορίζουμε ότι η γωνία  $\theta_m$  είναι θετική όταν και η προσπίπτουσα και η περιθλώμενη ακτίνα βρίσκονται στην ίδια πλευρά της καθέτου προς το φράγμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Διαφορετικά η γωνία  $\theta_m$  είναι αρνητική.



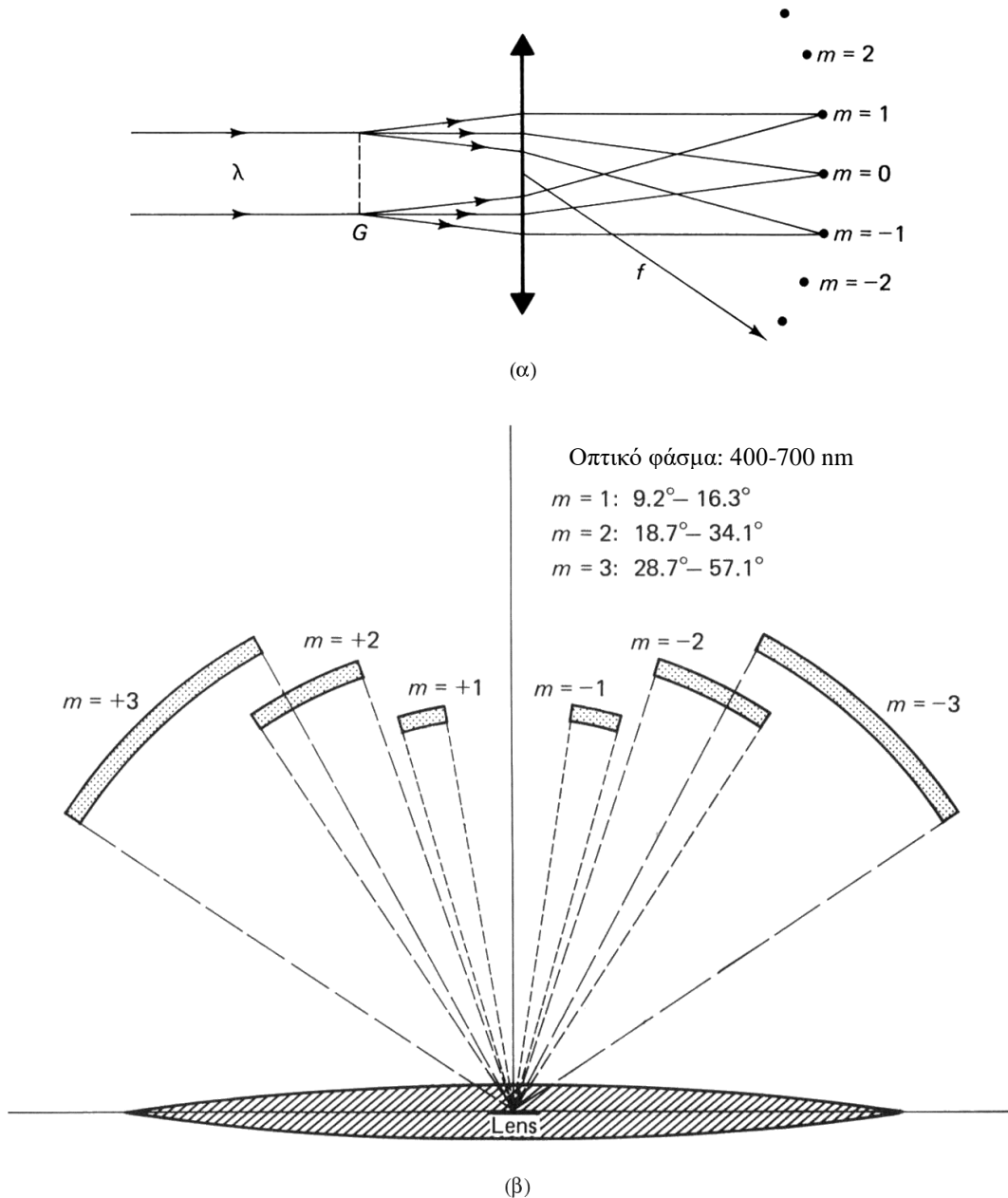
**Σχήμα 1:** Γειτονικές σχισμές του φράγματος, που φωτίζονται από παράλληλη φωτεινή δέσμη που προσπίπτει υπό γωνία  $\theta_i$  ως προς την κάθετο στο επίπεδο του φράγματος

Και στις δύο περιπτώσεις, όταν η διαφορά δρόμων  $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = m\lambda$ , όπου  $m$  ακέραιος, τότε όλα τα περιθλώμενα κύματα είναι σε φάση και η εξίσωση φράγματος γράφεται σαν:

$$a(\sin \theta_i + \sin \theta_m) = m\lambda \quad \text{όπου } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση αυτή, η μηδενική τάξη συμβολής,  $m=0$ , συμβαίνει για  $\theta_m = -\theta_i$ , για όλα τα  $\lambda$ . Συνεπώς, στο κεντρικό μέγιστο έχουμε φως απ' όλα τα μήκη κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι μεγαλύτερες τάξεις συμβολής παράγουν “φασματικές γραμμές” εκατέρωθεν του κεντρικού μεγίστου. Για συγκεκριμένη διεύθυνση πρόσπτωσης ( $\theta_i$ ), η διεύθυνση ( $\theta_m$ ) του κάθε κύριου μεγίστου εξαρτάται από το μήκος κύματος. Για τάξεις με  $m \neq 0$ , συνεπώς, το φράγμα διαχωρίζει μεταξύ τους τα διάφορα μήκη κύματος της προσπίπτουσας φωτεινής δέσμης. Αυτή η ιδιότητα του φράγματος εξηγεί και την χρησιμότητά του ως συσκευής μέτρησης μηκών κύματος και φασματικής ανάλυσης.

Το Σχήμα 2α απεικονίζει τον σχηματισμό των φασματικών τάξεων περίθλασης για μονοχρωματικό φως. Το Σχήμα 2β δείχνει το γωνιακό εύρος του φάσματος ορατού φωτός για ένα συγκεκριμένο φράγμα. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μερική επικάλυψη μεταξύ του φάσματος 2ης και 3ης τάξης. Όταν ένα φάσμα είναι πολύπλοκο, η επικάλυψη μεταξύ των διαφορετικών τάξεων προκαλεί σημαντικά προβλήματα για την ερμηνεία του φάσματος. Για να αποφευχθεί αυτή η επιπλοκή, χρησιμοποιούνται ειδικά φίλτρα που αποκόπτουν π.χ. τα μικρότερα μήκη κύματος του προσπίπτοντος φωτός, έτσι ώστε να μην υπάρχει τελικά επικάλυψη.



**Σχήμα 2:** (α) Δημιουργία των τάξεων των κυρίων μεγίστων μονοχρωματικού φωτός που προσπίπτει κάθετα σε φράγμα G. (β) Γωνιακό εύρος των τριών πρώτων τάξεων του οπτικού φάσματος για φράγμα περίθλασης με 400 γραμμές ανά χιλιοστό. Οι διάφορες τάξεις απεικονίζονται σε διαφορετικές αποστάσεις από τον φακό για λόγους ευκρίνειας του σχήματος. Σε κάθε τάξη, το ερυθρό άκρο του φάσματος παρουσιάζει την μέγιστη απόκλιση. Υποθέτουμε ότι έχουμε κάθετη πρόσπτωση. Ο φακός χρησιμοποιείται για να εστιάζει τις διάφορες τάξεις στο πέτασμα.

### 2.3 Ελεύθερο φασματικό εύρος φράγματος

Η περιοχή μηκών κύματος σε μια συγκεκριμένη τάξη, που είναι ελεύθερη από επικαλύψεις από άλλες τάξεις, λέγεται **ελεύθερο φασματικό εύρος** (free spectral range), **F**.

Η επικάλυψη συμβαίνει διότι σύμφωνα με την εξίσωση φράγματος, ο όρος  $a(\sin \theta_i + \sin \theta_m)$  μπορεί να έχει την ίδια τιμή, για διάφορους κατάλληλους συνδυασμούς των  $m$  και  $\lambda$ . Έτσι, στη θέση όπου αντιστοιχεί φασματική γραμμή μήκους κύματος  $\lambda$ , σε πρώτη τάξη, μπορεί να αντιστοιχεί και φασματική γραμμή μήκους κύματος  $\lambda/2$  σε 2η τάξη, ή  $\lambda/3$  σε 3η τάξη κ.ο.κ. Το ελεύθερο φασματικό εύρος για τάξη  $m$  μπορεί να προσδιορισθεί με τον ακόλουθο τρόπο: Έστω  $\lambda_1$  το μικρότερο ανιχνεύσιμο μήκος κύματος στην προσπίπτουσα δέσμη. Το μεγαλύτερο μη επικαλυπτόμενο μήκος κύματος  $\lambda_2$  σε τάξη  $m$  συμπίπτει με την αρχή του φάσματος στην επόμενη (υψηλότερη) τάξη, δηλαδή

$$m\lambda_2 = (m+1)\lambda_1$$

Τότε, το free spectral range τάξης  $m$  δίνεται από τη σχέση:

$$F = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1}{m} \quad (3)$$

Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη η τάξη τόσο μικρότερο το ελεύθερο φασματικό εύρος (free spectral range). [Το FSR έχει οριστεί με διαφορετικό σύμβολο στο πείραμα περίθλασης]

## 2.4 Διασπορά φράγματος

Όπως είναι γνωστό από το Πείραμα Περίθλασης, οι υψηλότερες τάξεις περίθλασης γίνονται προοδευτικά αμυδρότερες (αυξανόμενου του  $m$ ). Από την άλλη πλευρά, το σχήμα 2b εδώ, δείχνει ότι τα μήκη κύματος διαχωρίζονται καλύτερα μεταξύ τους, όσο μεγαλώνει η τάξη περίθλασης. Αυτή η ιδιότητα περιγράφεται ποσοτικά από την γωνιακή διασπορά  $\mathcal{D}$ , που ορίζεται ως

$$\mathcal{D} \equiv \frac{d\theta}{d\lambda_m} \quad (4)$$

Η μεταβολή της  $\theta_m$  συναρτήσει του  $\lambda$  δίνεται από την εξίσωση φράγματος (2), από την οποία προκύπτει ότι:

$$\mathcal{D} = \frac{m}{a \cos \theta_m} \quad (5)$$

Για κάθετη πρόσπτωση ( $\theta_i = 0$ ), η εξίσωση φράγματος μπορεί να ενσωματωθεί στην σχέση (5), οπότε προκύπτει ότι:

$$\mathcal{D} = \frac{m}{a \cos \theta} = \left( \frac{a \sin \theta}{\lambda} \right) \left( \frac{1}{a \cos \theta} \right) = \frac{\tan \theta}{\lambda} \quad (6)$$

όπου για ευκολία έχουμε θέσει  $\theta = \theta_m$

Έτσι η διασπορά είναι στην πραγματικότητα ανεξάρτητη της σταθεράς του φράγματος για μια δεδομένη γωνία περίθλασης και αυξάνει ταχύτατα αυξανόμενου του  $\theta$ .

Όπως φαίνεται από την εξίσωση (5) σε μια συγκεκριμένη γωνία περίθλασης, η αύξηση της σταθεράς του φράγματος έχει ως συνέπεια την αύξηση της τάξης περίθλασης.

## 2.5 Διακριτική ικανότητα φράγματος

Η μεγαλύτερη διασπορά δεν αρκεί από μόνη της για να διακρίνονται καλύτερα μεταξύ τους γειτονικά μήκη κύματος, εκτός αν οι ίδιες οι κορυφές έντασης είναι αρκετά αιχμηρές. Η τελευταία αυτή ιδιότητα περιγράφεται από την “διακριτική ικανότητα”.

Η διακριτική ικανότητα φράγματος είναι η ικανότητά του να παράγει διακεκριμένες κορυφές κοντινών μηκών κύματος σε μια συγκεκριμένη τάξη περίθλασης.

Γενικά, η διακριτική ικανότητα ορίζεται ως

$$R = \frac{\lambda}{(\Delta\lambda)_{\min}} \quad (7)$$

όπου  $(\Delta\lambda)_{\min}$  η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο φασματικών συνιστωσών που μόλις διακρίνονται μεταξύ τους, σύμφωνα με το κριτήριο Rayleigh (Σχήμα 9, στο Πείραμα Περίθλασης).

Για κάθετη πρόσπτωση, και για το κύριο μέγιστο τάξης  $m$ , έχουμε σύμφωνα με την εξίσωση (2), ότι:

$$a \sin \theta = m(\lambda + d\lambda) \quad (8)$$

Για να ικανοποιείται το κριτήριο Rayleigh πρέπει αυτή η κορυφή να συμπίπτει (ίδια  $\theta$ ) με το πρώτο ελάχιστο της κορυφής του γειτονικού μήκους κύματος στην ίδια τάξη (όπως προκύπτει από το Σχήμα 14α και την εξίσωση (33), στο Πείραμα Περίθλασης), δηλ.

$$a \sin \theta = \left( m + \frac{1}{N} \right) \lambda \quad (9)$$

όπου  $N$  ο συνολικός αριθμός των χαραγών του φράγματος που φωτίζονται από την δέσμη με πάχος  $w$ , ώστε  $N = w/a$ .

Από τις (8) και (9) συμπεραίνουμε ότι  $\frac{\lambda}{d\lambda} = mN$ . Εφόσον, το  $d\lambda$  είναι η ελάχιστη διακριτή διαφορά μηκών κύματος, τότε η διακριτική ικανότητα του φράγματος είναι σύμφωνα με την Εξίσωση (7):

$$R = mN \quad (10)$$

Για ένα φράγμα με  $N$  χαραγές, η διακριτική ικανότητα είναι ανάλογη της τάξης περίθλασης. Για συγκεκριμένη τάξη περίθλασης, η διακριτική ικανότητα αυξάνει, αυξανόμενου του συνολικού αριθμού των χαραγών του φράγματος. Για να αυξηθεί το  $N$ , για δεδομένο πλάτος φράγματος  $w$ , οι χαραγές πρέπει να έχουν ανάλογα μικρότερη απόσταση μεταξύ τους. Για να εκμεταλλευτούμε τη μέγιστη διακριτική ικανότητα φράγματος, πρέπει η προσπίπτουσα δέσμη να καλύπτει πλήρως το (χαραγμένο) πλάτος του φράγματος.

Π.χ. ένα φράγμα με 5.000 χαραγές/cm και πλάτος 8 cm, φωτίζεται κάθετα με δέσμη με πάχος ( $\alpha$ )  $w=0.5$  cm και ( $\beta$ )  $w=8$  cm. Σε αυτές τις περιπτώσεις, έχουμε ( $\alpha$ )  $N=(5000\text{χαρ/cm})\times 0.5\text{cm} = 2500$  και η διακριτική του ικανότητα σε πρώτη τάξη ( $m=1$ ) είναι  $R=2500$ , και ( $\beta$ )  $N=(5000\text{χαρ/cm})\times 8\text{cm} = 40000$  και η διακριτική του ικανότητα σε πρώτη τάξη ( $m=1$ ) είναι  $R=40000$ . Δηλαδή, στην περίπτωση ( $\beta$ ), για  $\lambda=500\text{nm}$ , δύο φασματικές γραμμές που απέχουν μεταξύ τους μόλις 0,0125 nm είναι διακριτές (εξ. 7). Σε δεύτερη τάξη, η ποσότητα αυτή βελτιώνεται στα 0,0063 nm κ.ο.κ.

Οι καλύτερες τιμές διακριτικής ικανότητας φράγματος είναι μεταξύ  $10^5$  και  $10^6$ . Για παράδειγμα, ένα φράγμα με 1000 χαραγές/cm και πλάτος 20 cm έχει διακριτική ικανότητα 1 εκατομμύριο σε 5η τάξη. Για κάθετη πρόσπτωση, η εξίσωση φράγματος καθορίζει ότι το μέγιστο περιθλώμενο μήκος κύματος υπ' αυτές τις συνθήκες είναι μόλις 200 nm. Για μη κάθετη πρόσπτωση, το μέγιστο περιθλώμενο μήκος κύματος γίνεται  $400 \square \text{nm}$ .

Επιπλέον, σε μεγάλες τάξεις περίθλασης έχουμε μικρές εντάσεις, γεγονός που περιορίζει σημαντικά την δυνατότητα λειτουργίας στις τάξεις αυτές (εκτός εάν χρησιμοποιηθεί η τεχνική του blazing).

Η διακριτική ικανότητα, όπως και η διασπορά είναι ανεξάρτητη της απόστασης μεταξύ διαδοχικών χαραγών για συγκεκριμένη γωνία περίθλασης. Γράφοντας,  $N=w/a$ , και χρησιμοποιώντας την εξίσωση φράγματος (για κάθετη πρόσπτωση) παίρνουμε από την (10)

$$R = mN = \left( \frac{a \sin \theta_m}{\lambda} \right) \frac{w}{a} \Rightarrow R = \frac{w \sin \theta_m}{\lambda} \quad (11)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (11), η διακριτική ικανότητα φράγματος για γωνία περίθλασης  $\theta_m$  εξαρτάται από το πλάτος του φράγματος και όχι από τον αριθμό των χαραγών του. Αλλά, για συγκεκριμένο λόγο  $\sin(\theta_m)/\lambda$ , η εξίσωση φράγματος καθορίζει και τον λόγο  $m/a$ . Έτσι, αν χρησιμοποιήσουμε ένα φράγμα με λιγότερες χαραγές, και άρα μεγαλύτερη σταθερά φράγματος, πρέπει να εργασθούμε σε ψηλότερη τάξη, με όλες τις επιπλοκές που προαναφέρθηκαν.

### 3. Περιγραφή της πειραματικής διάταξης

Για την μελέτη του φράγματος χρησιμοποιούμε γωνιόμετρο ακριβείας (HARRIS) , λάμπα υδραργύρου, και οπτικό φράγμα 600 χαραγών/mm.

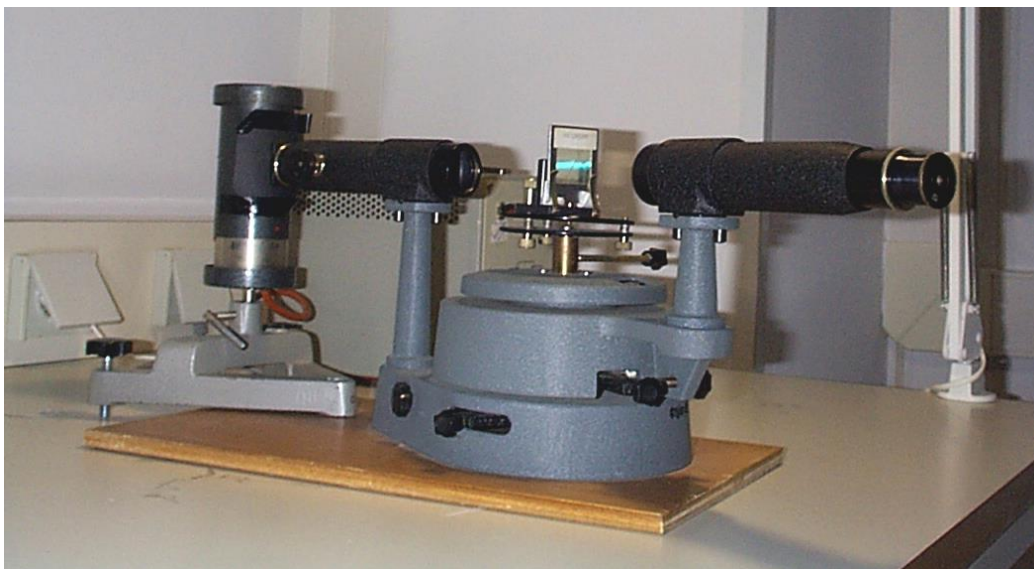
Η πειραματική διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 3.

Το γωνιόμετρο αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- τον κατευθυντήρα
- την διόπτρα
- τον δίσκο όπου τοποθετείται το φράγμα που μελετάται κάθε φορά

Για να μετρηθούν με ακρίβεια οι διάφορες γωνίες πρέπει απαραίτητως η φωτεινή πηγή να παράγει δέσμη όσο γίνεται λιγότερο αποκλίνουσα. Με την σωστή ρύθμιση του φακού του κατευθυντήρα είναι δυνατόν η δέσμη που εξέρχεται να είναι παράλληλη. Από την θεωρία της οπτικής, η διόπτρα οφείλει να είναι ρυθμισμένη στο άπειρο προκειμένου το είδωλο να είναι ευκρινές (βλ. Πείραμα μελέτης πρίσματος).

Ο δίσκος περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Το γωνιόμετρο που πρόκειται να χρησιμοποιήσετε επιτρέπει την μέτρηση γωνιών με ακρίβεια της τάξης του λεπτού της μοίρας. Ωστόσο, αυτό επιτυγχάνεται μετά από προσεκτικές και διαδοχικές μηχανικές και οπτικές ρυθμίσεις.



**Σχήμα 3:** Πειραματική διάταξη αποτελούμενη από το γωνιόμετρο με την περιστρεφόμενη τράπεζα, όπου τοποθετείται το φράγμα, την διόπτρα τον κατευθυντήρα, και την λάμπα (εδώ υδραργύρου) με το αντίστοιχο τροφοδοτικό.

### 4. Εκτέλεση του πειράματος

#### 4.1 Ρύθμιση του οργάνου

##### *Μηχανικές ρυθμίσεις*

Το επίπεδο του δίσκου στο γωνιόμετρο πρέπει να είναι παράλληλο προς το επίπεδο που ορίζουν οι άξονες του κατευθυντήρα και της διόπτρας.

Παρατηρήστε ότι ο άξονας περιστροφής του δίσκου είναι κάθετος προς το βάθρο του οργάνου. Αυτό σημαίνει ότι ρυθμίζοντας κατάλληλα τους τρεις κοχλίες που συνδέουν το δίσκο με τον άξονα θα επιτύχετε και την ζητούμενη παραλληλία.

##### *Οπτικές ρυθμίσεις*

Τοποθετήστε την λάμπα υδραργύρου στην οπτική τράπεζα και τροφοδοτήστε την.



Ρυθμίστε με τον κοχλία την διόπτρα στο άπειρο (σ' αυτή τη θέση λαμβάνει καθαρό είδωλο ενός αντικειμένου που φωτίζεται από παράλληλη δέσμη φωτός). Βεβαιωθείτε ότι βλέπετε το σταυρόνημα ευκρινώς (σε αυτή τη ρύθμιση το σταυρόνημα που παρατηρείτε βρίσκεται στην εστία του αντικειμενικού φακού).

## 4.2 Μελέτη οπτικού φράγματος

### 4.2.1 Το φάσμα της λάμπας υδραργύρου

#### Πειραματική Διαδικασία:

- Παρατηρήστε το φάσμα και αναγνωρίστε τις κύριες γραμμές χρησιμοποιώντας το φράγμα των 600 γραμμών ανά mm.
- Οι πιο έντονες γραμμές μπορούν να παρατηρηθούν με συνήθη φωτισμό περιβάλλοντος και με μικρό εύρος σχισμής εισόδου. Παρατηρήστε τις γραμμές:

|               |                        |
|---------------|------------------------|
| Ιώδης         | 404.7 nm               |
| Κυανή         | 435.8 nm               |
| Πράσινη       | 546.1 nm               |
| Διπλή Κίτρινη | { 577.0 nm<br>579.0 nm |

- Για να μπορέσετε να παρατηρήσετε τις λιγότερο έντονες γραμμές ελαττώστε τον εξωτερικό φωτισμό και αυξήστε το πλάτος της σχισμής. Παρατηρήστε τις γραμμές:

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| Δεύτερη ιώδης γραμμή          | 407.8 nm                  |
| Μία γαλάζια-πράσινη           | 491.6 nm                  |
| Δεύτερη πράσινη γραμμή        | 535.4 nm                  |
| Δύο επιπλέον κίτρινες γραμμές | 567.5 και 580.3 nm        |
| Μία πορτοκαλί γραμμή          | 587.9 nm                  |
| Τρεις κόκκινες γραμμές        | 607.3, 612.3 και 623.4 nm |

### 4.2.2. Κάθετη πρόσπτωση

#### Πειραματική Διαδικασία:

- Τοποθετήστε την διόπτρα απέναντι από σχισμή πολύ μικρού εύρους και ρυθμίστε την θέση της ώστε το είδωλό της να συμπέσει με το κέντρο του σταυρονήματος
- Ακινητοποιήστε την διόπτρα έτσι, ώστε ο άξονας της να συμπίπτει με εκείνον του κατευθυντήρα
- Τοποθετήστε στο κέντρο της τράπεζας το φράγμα των 600 γραμμών ανά mm, κάθετα στον άξονα διόπτρας-κατευθυντήρα.
- Επισημάνετε περιστρέφοντας την διόπτρα και καταγράψτε τις θέσεις των κυριότερων γραμμών του φάσματος της λάμπας υδραργύρου, σε πρώτη και δεύτερη τάξη.

#### Ζητούμενα:

- Χαράξτε την καμπύλη  $\sin(\theta)=f(\lambda)$  και επαληθεύστε τον θεμελιώδη νόμο του φράγματος.
- Από την καμπύλη αυτή βρείτε μία τιμή για τις γραμμές ανά mm (1/a), και συγκρίνετε με την γνωστή τιμή 600 γραμμών ανά mm. Εκτιμήστε την ακρίβεια του αποτελέσματος.

### 4.2.3. Μεταβλητή πρόσπτωση

#### Πειραματική Διαδικασία:

- Στο γωνιόμετρο δεν προβλέπεται ειδική διάταξη για την άμεση μέτρηση της γωνίας πρόσπτωσης της φωτεινής δέσμης πάνω στο φράγμα. Μπορεί να ρυθμιστεί η γωνία πρόσπτωσης στην επιθυμητή τιμή με τη βοήθεια κατόπτρου (τον ρόλο αυτό παίζει το ίδιο το φράγμα) και την κλίμακα που χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της θέσης της διόπτρας. Η διαδικασία είναι:



- Στερεώνετε τη δίοπτρα σε θέση που να σχηματίζει την γωνία  $i$  με την διεύθυνση της φωτεινής δέσμης
  - Τοποθετείτε το φράγμα στην τράπεζα περίπου κάθετα στον άξονα της δίοπτρας και περιστρέφετε ελαφρά την τράπεζα ώστε το είδωλο του σταυρονήματος, που προέρχεται από ανάκλαση πάνω στο φράγμα, συμπίπτει με το σταυρόνημα
- Ακινήτοποιήστε την τράπεζα στη θέση αυτή. Το φράγμα σχηματίζει πλέον γωνία  $i$  με την φωτεινή δέσμη

#### Ζητούμενα:

- Επαληθεύστε ότι το άθροισμα  $\sin i \pm \sin \theta$  παραμένει σταθερό για δεδομένο μήκος κύματος  $\lambda$ .
- Προσδιορίστε την τιμή  $(1/a)$  και εκτιμήστε την ακρίβεια του αποτελέσματος.

#### 4.2.4. Χρησιμοποίηση της ελάχιστης απόκλισης

Όπως στην περίπτωση του πρίσματος, μπορούμε να μελετήσουμε την γωνία ελάχιστης απόκλισης μεταξύ της προσπίπτουσας και περιθλώμενης ακτίνας. Μπορείτε να αποδείξετε εύκολα (**άσκηση**) ότι ελάχιστη απόκλιση έχουμε όταν η γωνία πρόσπτωσης ισούται με την γωνία ανάδυσσης, και ότι:

$$2 \sin\left(\frac{\delta_m}{2}\right) = \frac{m\lambda}{a} \quad (12).$$

#### Πειραματική Διαδικασία:

- Ο προσδιορισμός της ελάχιστης απόκλισης μίας δοσμένης φασματικής γραμμής μπορεί να γίνει για δύο συμμετρικές θέσεις του φράγματος προς τον άξονα του κατευθυντήρα. Η γωνία των δύο αντιστοίχων θέσεων της δίοπτρας είναι ίση με  $2\delta_m$ .
- Μετρήστε τη γωνία ελάχιστης απόκλισης για την ιώδη και πράσινη γραμμή για το φάσμα 1ης και 2ης τάξης.
- Περιστρέφοντας την τράπεζα βρείτε την θέση ελάχιστης απόκλισης για την γραμμή που μελετάτε, όπως και στο πείραμα του πρίσματος.
- Έστω  $Y$  η θέση που αντιστοιχεί στην δίοπτρα. Προσδιορίστε την συμμετρική θέση του φράγματος ως προς τον άξονα του κατευθυντήρα. Ορίστε  $Y'$  τη νέα θέση της δίοπτρας. Τότε θα ισχύει ότι

$$\delta_m = \frac{Y' - Y}{2}.$$

#### Ζητούμενα:

- Χρησιμοποιήστε τις προηγούμενες μετρήσεις για τον προσδιορισμό του  $N$ ., αφού πρώτα αποδείξετε ότι για μικρές γωνίες ισχύει η σχέση (12).
- Εκτιμήστε την ακρίβεια του υπολογισμού σας.

#### Ερωτήσεις

1. Έστω φως 500nm που προσπίπτει κάθετα στο φράγμα σας (που έχει 600 χαραγές/mm). Ποια η γωνιακή διασπορά σε πρώτη τάξη;
2. Εάν το μικρότερο ανιχνεύσιμο μήκος κύματος που εκπέμπεται από την λάμπα υδραργύρου είναι 404.7nm, βρείτε το ελεύθερο φασματικό εύρος (free spectral range) για τις τρεις πρώτες τάξεις περίθλασης για το φράγμα που χρησιμοποιήσατε.
3. Ποια είναι η διακριτική ικανότητα του φράγματος που χρησιμοποιήσατε, σε 1η και 2η τάξη;
4. Υπολογίστε το γωνιακό πλάτος της πράσινης γραμμής των 546.1nm, λόγω διαπλάτυνσης του οργάνου (instrumental broadening).
5. Υπολογίστε την σχετική ένταση της πράσινης γραμμής των 546.1nm στο φάσμα πρώτης, δεύτερης και τρίτης τάξης.
6. Συγκρίνετε την εξάρτηση της γωνίας απόκλισης από το μήκος κύματος, στην περίπτωση που το στοιχείο διασποράς είναι φράγμα περίθλασης και στην περίπτωση που είναι πρίσμα.

#### Βιβλιογραφία

- R.A. Serway, Physics for scientists and engineers, Τόμος ΙΙΙ, παράγραφοι 38.4
- F.L. Pedrotti & L.S. Pedrotti, Introduction to Optics, Prentice Hall International Editions, 1993, ch. 17
- E. Hecht, Optics, Addison-Wesley Publishing Company, 1987, ch. 10.27

# Σημειώματα

## Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Π. Ρακιτζής, 2014. «Εργαστήριο Φυσικής III - Οπτική». Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.uoc.gr>.

## Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

## Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

