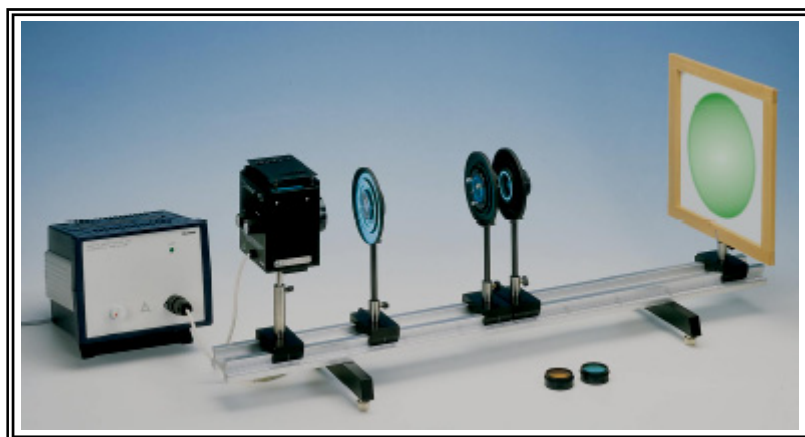

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΦΥΣΙΚΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ - ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & LASER
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ – ΧΗΜΕΙΑΣ & Τ/Υ**

ΑΣΚΗΣΗ ΝΟ4



ΔΑΚΤΥΛΙΟΙ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

Γ. Μήτσου

Δεκέμβριος 2007

A. ΘΕΩΡΙΑ

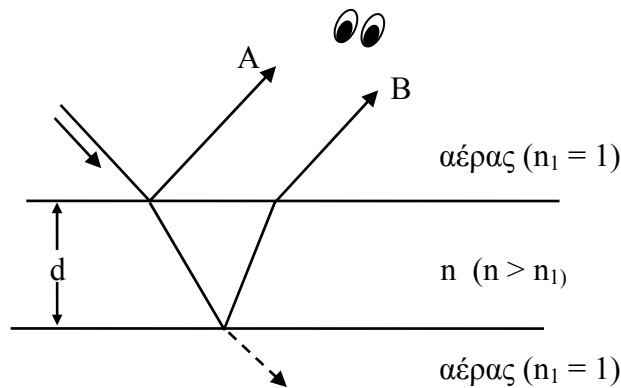
Εισαγωγή

Στο πείραμα αυτό θα προσδιορίσουμε το μήκος κύματος φωτεινής πηγής καθώς και την ακτίνα επιπεδόκυρτου φακού, χρησιμοποιώντας τη διάταξη παραγωγής δακτυλίων του Νεύτωνα. Αν ένας κυρτός φακός τοποθετηθεί επάνω σε γυάλινη, οπτικά επίπεδη πλάκα, ανάμεσα στις δυο επιφάνειες θα δημιουργηθεί ένα λεπτό στρώμα αέρα μεταβλητού πάχους. Αν στο σύστημα προσπέσει μονοχρωματικό φως, θα παρατηρηθούν ομόκεντροι δακτύλιοι συμβολής, με το κέντρο τους να ευρίσκεται στο σημείο επαφής των δυο επιφανειών. Οι δακτύλιοι αυτοί καλούνται δακτύλιοι του Νεύτωνα και δημιουργούνται από τη συμβολή των ανακλώμενων ακτίνων στις επιφάνειες του λεπτού στρώματος αέρα.

Σημείωση: Για την καλύτερη κατανόηση της άσκησης θεωρείται απαραίτητη η γνώση της θεωρίας συμβολής συμφώνου φωτός.

1. Φαινόμενα συμβολής σε λεπτά στρώματα

Υποθέτουμε ότι δέσμη μονοχρωματικού φωτός, μήκους κύματος λ , προσπίπτει σε ένα λεπτό στρώμα διαφανούς υλικού, το οποίο παρουσιάζει πάχος d και δείκτη διάθλασης n . Στο σημείο πρόσπτωσης η δέσμη θα διασπαστεί σε δυο τμήματα: ένα τμήμα της θ' ανακλαστεί στην πρώτη επιφάνεια του στρώματος (ακτίνα A) και ένα άλλο θα περάσει στο υλικό, θα ανακλαστεί στην κάτω επιφάνειά του και αφού επιστρέψει στην πρώτη επιφάνεια, θα εξέλθει στο ίδιο μέσο από το οποίο προήλθε η αρχική δέσμη (α-



Σχήμα 1. Μονοχρωματικό φως προσπίπτει σε λεπτό στρώμα και συμβάλλει αφού ανακλαστεί στις δυο επιφάνειες του στρώματος.

κτίνα B). Οι ακτίνες A και B θα συμβάλλουν μεταξύ τους, είτε ενισχυτικά είτε αποσβεστικά, ανάλογα με τη διαφορά φάσης που παρουσιάζουν. Πιο συγκεκριμένα:

Η ακτίνα A, κατά την ανάκλασή της στην επάνω επιφάνεια του λεπτού στρώματος, υφίσταται μια μεταπήδηση φάσης κατά π ($\phi_1 = \pi$), δεδομένου ότι ανακλάται σε επιφάνεια υλικού που παρουσιάζει δείκτη διάθλασης μεγαλύτερο από το δείκτη διάθλασης του υλικού από το οποίο προέρχεται. Αυτή η αλλαγή της φάσης κατά π έχει το ί-

διο αποτέλεσμα σαν να προστίθεται στον οπτικό δρόμο της ακτίνας μισό επιπλέον μήκος κύματος ($\lambda/2$).

Σημείωση:

- Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μεταβάλλει τη φάση του κατά π (ή 180°) όταν ανακλαστεί σε οπτικά πυκνότερο υλικό (μεγάλος δείκτης διάθλασης) από αυτό που προέρχεται
- Δεν μεταβάλλεται η φάση του κύματος, όταν αυτό ανακλαστεί σε οπτικά αραιότερο (μικρός δείκτης διάθλασης) υλικό από αυτό που προέρχεται

Η ακτίνα Β, επειδή ανακλάται σε αραιότερο υλικό, δεν θα μεταβάλει τη φάση της κατά την ανάκλαση. Όμως θα παρουσιάσει διαφορά φάσης με την ακτίνα Α, λόγω του επιπλέον οπτικού δρόμου που διανύει. Αν θεωρήσουμε κάθετη πρόσπτωση του φωτός, τότε η επιπλέον οπτική διαδρομή που θα διανύσει η ακτίνα Β θα είναι $2d$, όπου d το πάχος του στρώματος και επομένως η μεταβολή στη φάση της θα είναι:

$$\varphi_2 = 2\pi \frac{2d}{\lambda_n}, \text{ όπου } \lambda_n \text{ είναι το μήκος κύματος του φωτός στο υλικό}$$

Αντικαθιστώντας όπου $\lambda_n = \lambda/n$, όπου λ το μήκος κύματος στο κενό και n ο δείκτης διάθλασης του υλικού, η τελευταία σχέση μετατρέπεται σε:

$$\varphi_2 = 2\pi \frac{2dn}{\lambda}$$

Τελικά οι δυο ακτίνες θα συμβάλουν παρουσιάζοντας διαφορά φάσης:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \frac{2dn}{\lambda} - \pi = \pi \left(\frac{4dn}{\lambda} - 1 \right) = 2\pi \begin{cases} m & \text{(ενισχυτική συμβολή)} \\ m + \frac{1}{2} & \text{(αποσβεστική συμβολή)} \end{cases} \quad (1)$$

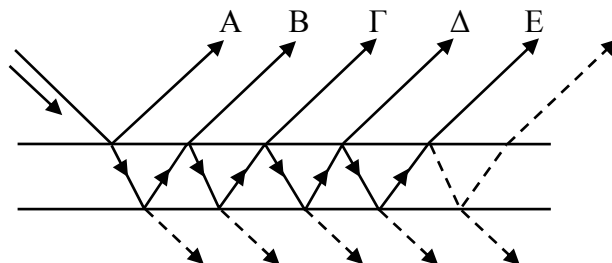
όπου $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Η δε διαφορά οπτικών δρόμων τους θα είναι: $\Delta r = 2dn$. Επιλύουμε την σχέση (1) ως προς $2dn$ και έχουμε:

$$2dn = \begin{cases} \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda & \text{(ενισχυτική συμβολή)} \quad (\alpha) \\ m\lambda & \text{(αποσβεστική συμβολή)} \quad (\beta) \end{cases} \quad (2)$$

Στην τελευταία σχέση παρατηρούμε ότι η συνθήκη ενισχυτικής/αποσβεστικής συμβολής έχει αναστραφεί και αυτό οφείλεται στην επί πλέον διαφορά οπτικού δρόμου που εισάγεται (κατά $\lambda/2$), λόγω της ανάκλασης της πρώτης ακτίνας σε οπτικά πυκνότερο υλικό.

Στην μέχρι τώρα διερεύνηση του φαινομένου, θεωρήσαμε μόνο την αλληλεπίδραση των δυο πρώτων ακτίνων. Επειδή η ένταση της κάθε ακτίνας μειώνεται κάθε φορά που διασπάται σε δυο τμήματα (δηλαδή ένα τμήμα που ανακλάται και ένα που διαθλάται), είναι φανερό ότι οι δυο πρώτες ακτίνες παρουσιάζουν την υψηλότερη ένταση και επομένως διαμορφώνουν, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό, την απεικόνιση της συμ-



Σχήμα 2. Οι ακτίνες Γ , Δ , E , ... επηρεάζουν την ένταση με την οποία εμφανίζονται οι κροσσοί, όμως δεν αλλάζουν τη συνθήκη ενισχυτικής ή αποσβεστικής συμβολής.

βολής. Όμως και οι υπόλοιπες ακτίνες επιδρούν σ' αυτή τη διαδικασία. Για παράδειγμα, επειδή οι ακτίνες Γ , Δ , E , ... είναι όλες συμφασικές με την ακτίνα B (Σχήμα 2), προστιθέμενες θα εμφανίσουν ένταση ίση με αυτή της ακτίνας A και αυτό θα δώσει τελείως σκοτεινό κροσσό κατά τη μέγιστη αποσβεστική συμβολή. Όμως, αν και ο συνυπολογισμός των άλλων ακτίνων επιδρά στην ένταση με την οποία εμφανίζεται το φαινόμενο της συμβολής, εν τούτοις δεν αλλάζει τη συνθήκη μέγιστης ενισχυτικής/αποσβεστικής συμβολής, όπως αυτή διαμορφώνεται από τις σχέσεις $2(\alpha)$ και $2(\beta)$.

2. Κροσσοί συμβολής

Ο τύπος των κροσσών συμβολής που παρατηρούνται στα λεπτά στρώματα, εξαρτάται από το ποιοι παράγοντες μεταβάλλουν την τιμή τους στις σχέσεις $2(\alpha)$, (β) . Εάν το πρώτο μέλος της σχέσης (2) διατηρείται σταθερό (δηλαδή $d = \text{σταθερό}$) και μεταβάλλεται το μήκος κύματος λ τότε, ανάλογα με την τιμή του m , για κάποια μήκη κύματος θα έχουμε αποσβεστική συμβολή και για κάποια άλλα θα έχουμε ενισχυτική και η απεικόνιση της συμβολής θα είναι μια σειρά από σκοτεινές και φωτεινές ζώνες που καλούνται ζώνες ίσης χρωματικής τάξης (FECO – Fringes of Equal Chromatic Order). Στην περίπτωση που το πάχος d του στρώματος μεταβάλλεται (δηλαδή το στρώμα παρουσιάζει σφηνοειδή μορφή), οι κροσσοί συμβολής θα διαμορφώνονται ως φωτεινές – σκοτεινές γραμμές σταθερού πάχους που καλούνται ζώνες Fizeau.

Ο τύπος των κροσσών συμβολής που θα μελετήσουμε σ' αυτή την εργασία είναι οι ζώνες Fizeau που δημιουργούνται κατά τη συμβολή μονοχρωματικού φωτός σε λεπτά στρώματα αέρα. Αυτό το φαινόμενο έχει αρκετές πρακτικές εφαρμογές στην οπτική τεχνολογία. Για παράδειγμα, μπορούμε να ελέγξουμε την ομαλότητα επίπεδων επιφανειών. Προς τούτο τοποθετούμε επάνω από την επιφάνεια που θέλουμε να ελέγξουμε μια οπτικά επίπεδη γυάλινη πλάκα (δηλαδή πλάκα που παρουσιάζει στην επιφάνειά της ανωμαλίες μικρότερες του $\lambda/10$ του φωτός που χρησιμοποιούμε) και φωτίζουμε με μονοχρωματικό φως. Αν οι κροσσοί συμβολής που παρατηρούνται κατά τη συμβολή του φωτός στο ενδιάμεσο στρώμα αέρα, μεταξύ των δυο επιφανειών, είναι παράλληλες γραμμές που ισαπέχουν, τότε η επιφάνεια που ελέγχεται είναι επίπε-

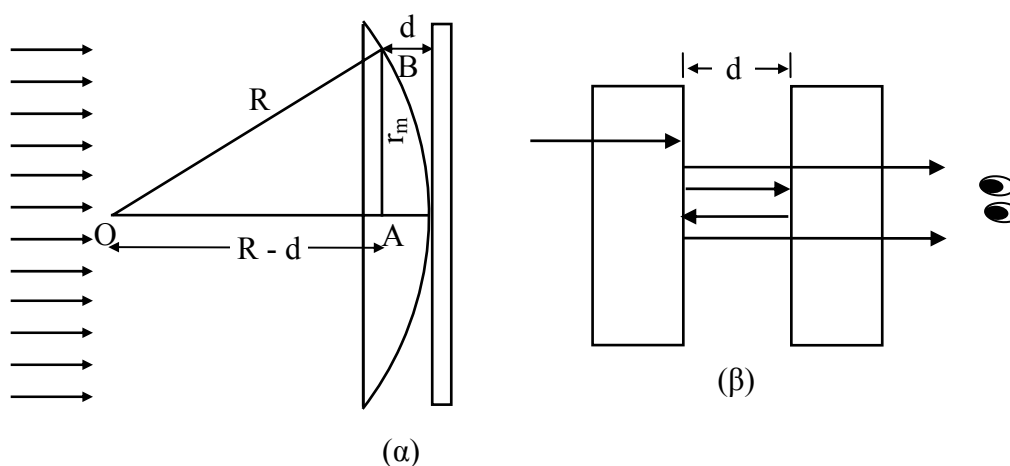
δη. Κάθε ανωμαλία της ελεγχόμενης επιφάνειας θα γίνεται αντιληπτή από τις ανωμαλίες που θα παρουσιάζει η μορφή των κροσσών.

Οι ζώνες Fizeau παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά από τον Robert Boyle το 1663 ως ομόκεντροι δακτύλιοι, με κέντρο το σημείο επαφής μεταξύ ενός κυρτού φακού και επίπεδης γυάλινης πλάκας. Επειδή όμως μελετήθηκαν ακόμη περισσότερο από το Νεύτωνα, έμειναν γνωστοί ως δακτύλιοι του Νεύτωνα.

3. Δακτύλιοι του Νεύτωνα

Το φαινόμενο, που είναι γνωστό ως δακτύλιοι του Νεύτωνα, εμφανίζεται όταν μονοχρωματικό φως συμβάλλει στο λεπτό ενδιάμεσο στρώμα αέρα που δημιουργείται μεταξύ ενός κυρτού φακού μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας και μιας οπτικά επίπεδης γυάλινης πλάκας, όταν αυτά έρθουν σε επαφή.

Στο Σχήμα (3α) παρουσιάζεται η γεωμετρία της διάταξης για την παρατήρηση των κροσσών συμβολής. Παρατηρείστε ότι υπάρχει μια σταδιακή αύξηση του πάχους του λεπτού στρώματος αέρα, καθώς απομακρυνόμαστε από τη σημείο επαφής των δυο



Σχήμα 3. (α) Γεωμετρία της διάταξης παρατήρησης δακτυλίων του Νεύτωνα. (β) Λεπτομερειακό διάγραμμα της διαφοράς οπτικών δρόμων δυο κυμάτων που διαδίδονται δια μέσου των δυο επιφανειών.

επιφανειών (δηλαδή από το σημείο όπου $d = 0$), λόγω της σχετικής καμπύλωσης του φακού. Όταν η διάταξη φωτιστεί με παράλληλη δέσμη μονοχρωματικού φωτός (σημείωση: θεωρούμε κάθετη πρόσπτωση), η κυκλική γεωμετρία της διάταξης θα μας δώσει κροσσούς συμβολής υπό μορφή ομόκεντρων δακτυλίων, με κέντρο το σημείο επαφής των δυο επιφανειών. Η παρατήρηση αυτών των κροσσών μπορεί να γίνει είτε από ανάκλαση είτε από μετάδοση του φωτός δια μέσου του συστήματος των επιφανειών.

3.1 Παρατήρηση των κροσσών από ανάκλαση

Όταν ακτίνα μονοχρωματικού φωτός προσπέσει στον επιπεδόκυρτο φακό, θα ανακλαστεί μερικώς στην κάτω επιφάνεια του φακού (επάνω πλευρά του λεπτού φιλμ αέρα) και μερικώς στην επιφάνεια της επίπεδης γυάλινης πλάκας (κάτω πλευρά του

φιλμ). Παρατηρούμε λοιπόν μια εσωτερική ανάκλαση και μια εξωτερική. Το γεγονός αυτό εισάγει μια επιπλέον διαφορά δρόμων $\lambda/2$ ανάμεσα στις δυο ακτίνες. Έτσι, αν d είναι το πάχος του λεπτού στρώματος αέρα σε απόσταση r_m από το σημείο επαφής του φακού με την επίπεδη πλάκα, τότε η διαφορά δρόμων θα είναι:

$$\Delta r = 2d + \lambda/2 \quad (3)$$

Για αποσβεστική συμβολή θα πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη:

$$\Delta r = 2d + \lambda/2 = (m + 1/2)\lambda \quad \text{ή}$$

$$2d = \lambda m \quad (4)$$

Για ενισχυτική συμβολή θα πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη:

$$\Delta r = 2d + \lambda/2 = m\lambda \quad \text{ή}$$

$$2d = (m - 1/2)\lambda \quad (5)$$

Από τη σχέση (4) είναι φανερό ότι ο κεντρικός κροσσός που παρατηρείται από ανάκλαση θα είναι σκοτεινός (για $m = 0$ έχουμε $d = 0$)

Η σχέση μεταξύ της ακτίνας r_m του δακτύλιου m τάξης, της ακτίνας καμπυλότητας R του φακού και του πάχους d του λεπτού στρώματος αέρα, διαμορφώνεται από τη γεωμετρία του Σχήματος (3α) ως εξής:

Εφαρμόζουμε το Πυθαγόρειο θεώρημα στο ορθογώνιο τρίγωνο OAB . Αυτό μας δίνει:

$$R^2 = (R - d)^2 + r_m^2 \Rightarrow d(2R - d) = r_m^2$$

Επειδή όμως $d \ll R$, η τελευταία σχέση γίνεται:

$$r_m^2 = 2Rd \quad (6)$$

Εάν r_m είναι η ακτίνα του σκοτεινού κροσσού m τάξης, τότε από τις σχέσεις (4) και (6) έχουμε:

$$r_m^2 = mR\lambda \quad m = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (7)$$

και για φωτεινούς δακτύλιους η (7) γίνεται:

$$r_m^2 = \left(m - \frac{1}{2}\right)R\lambda \quad m = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (8)$$

3.2 Παρατήρηση των κροσσών από μετάδοση του φωτός

Στην περίπτωση αυτή, το κύμα που προσπίπτει στον επιπεδόκυρτο φακό θα περάσει στο λεπτό στρώμα αέρα και ένα μέρος του θα διέλθει από την άλλη πλευρά όπου και θα συμβάλλει με το υπόλοιπο τμήμα του, που εξέρχεται και αυτό, αφού πρώτα υπο-

στεί δυο διαδοχικές ανακλάσεις στην κάτω και επάνω επιφάνεια του λεπτού στρώματος αέρα (Σχήμα 3β). Η διαδικασία αυτή εισάγει μια επιπλέον διαφορά δρόμου κατά $\lambda/2 + \lambda/2 = \lambda$ (οι ανακλάσεις γίνονται και στις δυο περιπτώσεις από αραιότερο προς πυκνότερο μέσο) και επομένως η συνολική διαφορά οπτικού δρόμου που παρουσιάζουν τα δυο κύματα κατά τη συμβολή τους θα είναι:

$$\Delta r = 2d + \lambda \quad (9)$$

Για αποσβεστική συμβολή θα πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη:

$$\Delta r = 2d + \lambda = (m + 1/2)\lambda \quad \text{ή}$$

$$2d = (m - 1/2)\lambda \quad (10)$$

Για ενισχυτική συμβολή θα πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη:

$$\Delta r = 2d + \lambda = m\lambda \quad \text{ή}$$

$$2d = (m - 1)\lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

Στο σημείο επαφής των δυο επιφανειών (δηλαδή για $d = 0$), θα έχουμε πάντα ενισχυτική συμβολή κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, ανεξάρτητα από την τιμή του μήκους κύματος λ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Εάν r_m είναι η ακτίνα του σκοτεινού κροσσού m τάξης, τότε από τις σχέσεις (6) και (10) έχουμε:

$$r_m^2 = \left(m - \frac{1}{2}\right)R\lambda \quad (12)$$

Κατά παρόμοιο τρόπο από τις σχέσεις (6) και (11) θα υπολογίσουμε την ακτίνα r_m του φωτεινού κροσσού m τάξης ως:

$$r_m^2 = (m - 1)R\lambda \quad (13)$$

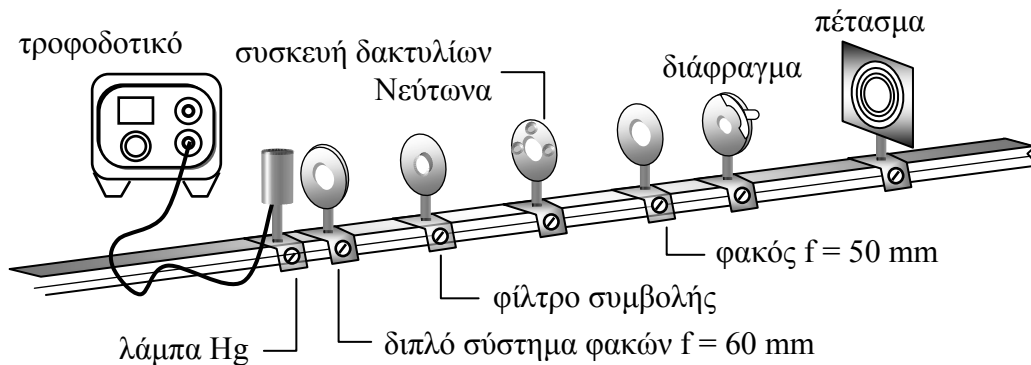
B. Πείραμα

1. Σκοπός

Στο πείραμα αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τη διάταξη δακτυλίων του Νεύτωνα για να παρατηρήσουμε τους κροσσούς (από εκπεμπόμενο φως) που δημιουργούνται από τη συμβολή μονοχρωματικού φωτός σε λεπτό στρώμα αέρα που διαμορφώνεται μεταξύ επιπεδόκυρτου φακού και επίπεδης γυάλινης πλάκας και στη συνέχεια θα προσδιορίσουμε το μήκος κύματος μονοχρωματικής πηγής, καθώς και την ακτίνα καμπυλότητας του φακού.

2. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη για την παρατήρηση των δακτυλίων του Νεύτωνα παρουσιάζεται στο Σχήμα (4) και περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:



Σχήμα 4. Η πειραματική διάταξη για την παρατήρηση των δακτυλίων του Νεύτωνα.

Λάμπα Hg με το αντίστοιχο τροφοδοτικό της
Συσκευή δακτυλίων Νεύτωνα
Διπλό σύστημα φακών $f = 60 \text{ mm}$
Φακό $f = 50 \text{ mm}$
Φίλτρα συμβολής
Διάφραγμα ίριδας
Πέτασμα
Οπτική τράπεζα

3. Πειραματική διαδικασία

Στη συγκεκριμένη διάταξη, το φως που εκπέμπει η λάμπα Hg μετατρέπεται σε παράλληλη δέσμη με τη βοήθεια του διπλού συστήματος φακών $f = 60 \text{ mm}$ και περνώντας από το αντίστοιχο φίλτρο, προσπίπτει κάθετα, ως μονοχρωματική ακτινοβολία, στη συσκευή δακτυλίων του Νεύτωνα. Επειδή η παρατήρηση των κροσσών συμβολής θα γίνει κατά τη διεύθυνση διάδοσης του φωτός, φέρουμε τους κροσσούς συμβολής στο εστιακό επίπεδο ενός συγκλίνοντα φακού $f = 50 \text{ mm}$ και τους παρατηρούμε σε πέτασμα, αφού πρώτα παρεμβάλουμε ένα διάφραγμα για να αυξήσουμε την αντίθεση φωτεινού – σκοτεινού. Τοποθετούμε επομένως στην οπτική τράπεζα όλα τα στοιχεία, εκτός του φίλτρου, με τη σειρά που εμφανίζονται στο Σχήμα (4) και ευθυ-

γραμμίζουμε την πορεία των ακτίνων έως ότου εμφανιστούν στο πέτασμα οι δακτύλιοι συμβολής. Κατόπιν παρεμβάλλουμε το φίλτρο και ρυθμίζουμε τους κοχλίες που βρίσκονται επάνω στη συσκευή δακτυλίων του Νεύτωνα μέχρις ότου ο κεντρικός φωτεινός δακτύλιος βρεθεί ακριβώς στο κέντρο της κλίμακας (σταθεράς 1 mm), η οποία είναι δομημένη επάνω στη συσκευή του Νεύτωνα και προβάλλεται μαζί με τους κροσσούς στο πέτασμα.

Σημείωση: Θα ρυθμίσουμε τις θέσεις συσκευής Νεύτωνα – φακού $f = 50$ mm κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να έχουμε αφ' ενός καθαρό είδωλο στο πέτασμα και αφ' ετέρου η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών γραμμών της κλίμακας να είναι ακριβώς 10 mm. Αυτός θα είναι και ο συντελεστής μεγέθυνσης, όταν θα μετράμε την ακτίνα των δακτυλίων.

Κατά τη ρύθμιση, προσέχουμε ώστε οι δυο επιφάνειες (δηλαδή ο επιπεδόκυρτος φακός και η επίπεδη γυάλινη πλάκα) μόλις ν' ακουμπήσουν μεταξύ τους. Αυτό θα έχει επιτευχθεί όταν σφίγγοντας τους κοχλίες, δεν αναδύονται άλλοι κροσσοί από το κέντρο των δακτυλίων.

Όταν η διαδικασία ρύθμισης τελειώσει και στο πέτασμα παρατηρήσουμε ευκρινείς δακτύλιους, με ικανοποιητικό επίπεδο αντίθεσης φωτεινού – σκοτεινού, είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε τη διαδικασία της μέτρησης. Αν η ακτίνα καμπυλότητας R του επιπεδόκυρτου φακού είναι δεδομένη, μπορούμε να προσδιορίσουμε το μήκος κύματος λ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Προς τούτο θα μετρήσουμε τις ακτίνες αρκετών φωτεινών δακτυλίων. Η γραφική παράσταση της σχέσης (13) (δηλαδή $r_m^2 = f(m-1)$) θα μας δώσει ευθεία γραμμή, της οποίας η κλίση ε θα είναι:

$$\varepsilon = R\lambda \quad (14)$$

Αν λοιπόν υπολογίσουμε την κλίση της ευθείας, τότε από τη σχέση (14) θα προσδιορίσουμε το μήκος κύματος λ , δεδομένου ότι μας είναι γνωστή η τιμή της R . Κατά παρόμοιο τρόπο μπορούμε να προσδιορίσουμε την τιμή της R , αν μας είναι γνωστό το μήκος κύματος λ .

Σημείωση: Στην περίπτωση που κατά τη ρύθμιση, ο επιπεδόκυρτος φακός πιεστεί ελαφρά στο σημείο επαφής του με την επίπεδη πλάκα, έτσι που η απόσταση d να μειωθεί κατά d_0 , η σχέση (13) θα διαμορφωθεί ως:

$$r_m^2 = (m-1)R\lambda + 2Rd_0 \quad m = 2, 3, 4, \dots \quad (15)$$

Στην περίπτωση αυτή η ευθεία θα τμήσει τον άξονα r_m^2 στο σημείο $2Rd_0$.

4. Εργασίες

1. Αναγνωρίζουμε τα μέρη της διάταξης και τα τοποθετούμε, όπως στο Σχήμα (4).
2. Ρυθμίζουμε σύμφωνα με τις οδηγίες της παραγράφου 3.
3. Σημειώνουμε επάνω στο πέτασμα τις διαμέτρους των δακτυλίων (τουλάχιστον 6 - 7), ξεκινώντας από το δεύτερο δακτύλιο.
4. Θέτουμε την πηγή Hg εκτός λειτουργίας.
5. Μετράμε επάνω στο μιλιμετρέ τις διαμέτρους των δακτυλίων και καταχωρούμε τις τιμές στον Πίνακα 1 (Δεν ξεχνάμε το συντελεστή μεγέθυνσης $\times 10$).
6. Σχεδιάζουμε τη χαρακτηριστική $r_m^2 - N$ (όπου $N = m - 1$) και από την κλίση της ευθείας υπολογίζουμε το μήκος κύματος λ χρησιμοποιώντας τη σχέση (14). Θέτουμε $R = 12.141 \text{ m}$.
7. Αν το μήκος κύματος της πηγής είναι γνωστό από τον κατασκευαστή, θα υπολογίσουμε από την κλίση της ευθείας την ακτίνα καμπυλότητας R και θα τη συγκρίνουμε με την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής (δηλαδή $R = 12.141 \text{ m}$).
8. Αν το διάγραμμα $r_m^2 - N$ διαμορφώνεται από τη σχέση (15), να υπολογιστεί η τιμή d_0 .
9. Από τον τύπο των κατασκευαστών των φακών, να υπολογιστεί η εστιακή απόσταση f του επιπεδόκυρτου φακού.

Πίνακας 1

m	διάμετρος (mm)	ακτίνα r_m (mm)	r_m^2 (mm) ²	N (= m - 1)
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				