

### 1 Σκοπός

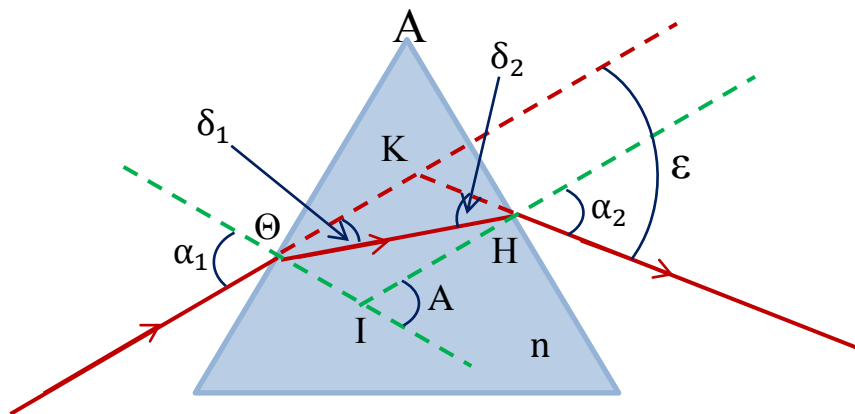
Ο δείκτης διάθλασης  $n$  ενός διαφανούς οπτικού μέσου είναι ένα ιδιαίτερο σημαντικό φυσικό μέγεθος στην οπτική. Ο δείκτης διάθλασης όχι μόνο μεταβάλλεται από υλικό σε υλικό αλλά έχει και σημαντική εξάρτηση από την συχνότητα του φωτός που χρησιμοποιείται.

Σε αυτή την άσκηση υπολογίζεται ο δείκτης διάθλασης διαφανούς οπτικού μέσου υπό μορφή πρίσματος χρησιμοποιώντας μονοχρωματική δέσμη Laser που εκπέμπει σε συγκεκριμένο, γνωστό μήκος κύματος. Η μέθοδος υπολογισμού του στηρίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό της γωνίας ελαχίστης εκτροπής  $\epsilon_{\min}$  σε πρίσμα γνωστής, θλαστικής γωνίας  $A$ .

### 2 Θεωρία

Πρίσμα ονομάζουμε κάθε διαφανές και ισότροπο μέσο που περιορίζεται από δυο ορικές επίπεδες επιφάνειες που σχηματίζουν γωνία  $A$  (η θλαστική γωνία του πρίσματος). Οι επίπεδες αυτές επιφάνειες καλούνται έδρες του πρίσματος, ενώ κάθε επίπεδο κάθετο στην ακμή του πρίσματος καλείται κύρια τομή αυτού.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η πορεία λεπτής φωτεινής δέσμης μονοχρωματικού φωτός που προσπίπτει στο σημείο  $\Theta$  της πρώτης έδρας του πρίσματος υπό γωνία  $\alpha_1$  και αναδύεται στο σημείο  $H$  της άλλης έδρας υπό γωνία  $\alpha_2$ . Η συγκεκριμένη πορεία της φωτεινής αυτής δέσμης θεωρείται ότι βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο μιας κύριας τομής του πρίσματος.



Σχήμα 1. Διάθλαση φωτεινής ακτίνας μέσω οπτικού πρίσματος.

Αν η εκτροπή που επιτυγχάνεται αντιστοιχεί σε γωνία  $\epsilon$  για το πρίσμα με δείκτη διάθλασης  $n$ , τότε ισχύουν οι σχέσεις:

$$n = \frac{\eta\mu\alpha_1}{\eta\mu\delta_1} = \frac{\eta\mu\alpha_2}{\eta\mu\delta_2} \quad \text{και} \quad A = \delta_1 + \delta_2 \quad \text{και} \quad \epsilon = \alpha_1 + \alpha_2 - A$$

Η πρώτη από τις σχέσεις διατυπώνει την εφαρμογή του νόμου του Snell στα σημεία  $\Theta$ ,  $H$  εισόδου, εξόδου από το πρίσμα, ενώ οι άλλες δυο οφείλουν την ύπαρξή τους στην γεωμετρία

των τριγώνων ΙΘΗ και ΘΚΗ.

Η θεωρία αλλά και το πείραμα συμφωνούν ότι η γωνία εκτροπής  $\epsilon$  εξαρτάται από:

1. Τον δείκτη διάθλασης  $n$  του υλικού του πρίσματος
2. Την θλαστική γωνία  $A$  και ακόμη
3. Μεταβάλλεται με την γωνία πρόσπτωσης  $\alpha_1$  ενώ λαμβάνει την ελάχιστη τιμή  $\epsilon_{\min}$  όταν  $\alpha_1 = \alpha_2 = (\alpha)$  και  $\delta_1 = \delta_2 = (\delta)$  (θέση ελαχίστης εκτροπής).

Στην θέση της ελάχιστης εκτροπής μάλιστα αποδεικνύεται ότι ισχύουν οι σχέσεις:

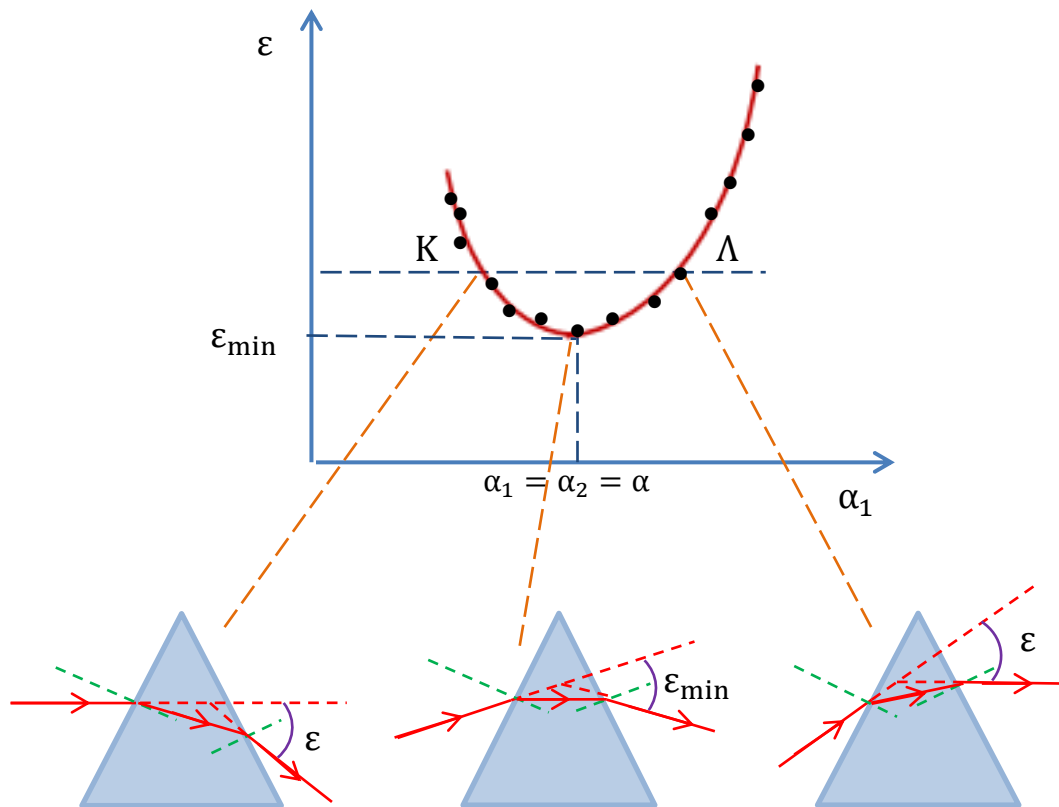
$$n = \frac{\eta\mu\alpha}{\eta\mu\delta}, \quad A = 2\delta \quad \text{και} \quad \epsilon_{\min} = 2\alpha - A$$

Εάν συνδυαστούν κατάλληλα οι παραπάνω σχέσεις, εύκολα φαίνεται ότι ο δείκτης διάθλασης  $n$  του πρίσματος ικανοποιεί τη σχέση:

$$n = \frac{\eta\mu\left(\frac{\epsilon_{\min} + A}{2}\right)}{\eta\mu\left(\frac{A}{2}\right)}$$

Η τελευταία αυτή σχέση επιτρέπει την μέτρηση του δείκτη διάθλασης του υλικού ενός πρίσματος θλαστικής γωνίας  $A$  αρκεί βέβαια να μετρηθεί πειραματικά η γωνία ελάχιστης εκτροπής  $\epsilon_{\min}$ .

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται διαγραμματικά η καμπύλη μεταβολής της γωνίας εκτροπής  $\epsilon$  σε σχέση με την γωνία πρόσπτωσης  $\alpha_1$ .



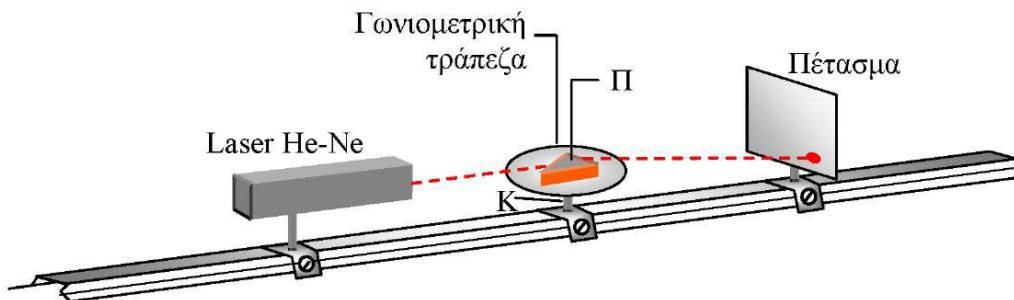
Σχήμα 2. Μεταβολή της γωνίας εκτροπής σε σχέση με την γωνία πρόσπτωσης  $\alpha_1$ .

Παρατηρείται, από το προηγούμενο διάγραμμα, ότι υπάρχουν ζευγάρια διαφορετικών τιμών για την γωνία πρόσπτωσης  $\alpha_1$  τα οποία όμως αντιστοιχούν στην ίδια ακριβώς εκτροπή της μονοχρωματικής ακτίνας (ευθεία ΚΛ παράλληλη οριζώντιου άξονα  $\alpha_1$ ).

### 3 Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από μια οπτική τράπεζα *επάνω* στην οποία βρίσκονται η πηγή μονοχρωματικού φωτός (συσκευή δέσμης Laser), ο γωνιομετρικός κύκλος  $\Gamma$  στο κέντρο του οποίου βρίσκεται το πρίσμα  $\Pi$  γνωστής θλαστικής γωνίας καθώς και η κατακόρυφη οθόνη  $\Theta$  (αδιαφανές επίπεδο πέτασμα).

Στην άσκηση αυτή χρησιμοποιούμε μονοχρωματικό φως διότι διαφορετικά θα είχαμε στο πρίσμα εκτός από την εκτροπή και ανάλυση του φωτός. Ως πηγή μονοχρωματικού φωτός χρησιμοποιούμε Laser He - Ne ή Ar που εκπέμπουν χαρακτηριστικό κόκκινο ή πράσινο φως αντίστοιχα μήκος κύματος περίπου 650 ή 520 nm. Η συσκευή Laser τροφοδοτείται από ειδική μονάδα τροφοδοσίας με κατάλληλο ομοαξονικό καλώδιο.



Σχήμα 3. Η πειραματική διάταξη.

Για την ασφάλεια των ασκουμένων προσοχή στα εξής :

1. Μην επεμβαίνετε καθόλου στη διάταξη του Laser. Για κάθε πιθανή ανωμαλία που διαπιστώνετε απευθυνθείτε άμεσα στο προσωπικό του εργαστηρίου.
2. Απαγορεύεται αυστηρά η έκθεση του οφθαλμού στην οπτική διαδρομή της δέσμης Laser είτε απ' ευθείας είτε μέσω ανακλάσεων.

Για να μεταβάλλουμε επιλεκτικά την γωνία προσπτώσεως  $\alpha_1$  ξεσφίγγουμε λιγάκι τον κοχλία  $K$  που στηρίζει οριζόντια τον γωνιομετρικό κύκλο με το πρίσμα χωρίς να πειραχθεί καθόλου η συσκευή Laser.

Η θέση της ακτίνας που προσπίπτει στο πρίσμα όπως άλλωστε και η τελικά αναδυόμενη διαβάζονται εύκολα επάνω στον γωνιομετρικό κύκλο στην περιφέρεια του οποίου υπάρχει η κατάλληλη χάραξη με ακρίβεια μοίρας.

Το εργαστήριο διαθέτει εκτός των δυο συσκευών Laser που προαναφέρθηκαν και ποικιλία πρισμάτων με διαφορετικές θλαστικές γωνίες. Η επιλογή της συσκευής του Laser, όπως και πρίσματος για την εκτέλεση της άσκησης είναι ευθύνη του υπεύθυνου καθηγητή ο οποίος και ενημερώνει την ασκούμενη ομάδα των σπουδαστών για τις τιμές του μήκους κύματος  $\lambda$  καθώς και της θλαστικής γωνίας  $A$  του πρίσματος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

### 4 Εργασίες

1. Τοποθετούμε οριζόντια το πρίσμα συγκεκριμένης θλαστικής γωνίας  $A$  (σύμφωνα με την υπόδειξη του υπεύθυνου καθηγητή) επάνω στον γωνιομετρικό κύκλο, έτσι ώστε η κορυφή του να βρίσκεται περίπου στο κέντρο του κύκλου.

Σε όλες τις εργασίες που ακολουθούν η στενή δέσμη του Laser διατηρεί σταθερή και ακλόνητη την διεύθυνσή της.

2. Μεταβάλλουμε αυξάνοντας την γωνία προσπτώσεως  $\alpha_1$  και μετράμε κάθε φορά επακριβώς την αντίστοιχη γωνία αναδύσεως  $\alpha_2$ . Υπολογίζουμε έτσι κάθε φορά την γωνία εκτροπής  $\varepsilon$  για την οποία ισχύει η σχέση:  $\varepsilon = \alpha_1 + \alpha_2 - A$ .

Συμπληρώνεται έτσι ο πίνακας μετρήσεων με 15 τουλάχιστον ανεξάρτητες διαφορετικές μετρήσεις.

### Πίνακας Μετρήσεων - Υπολογισμών

$\alpha/\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\varepsilon = \alpha_1 + \alpha_2 - A$
1			
2			
3			
4			
5			
...			
15			

3. Να γίνει η γραφική παράσταση  $\varepsilon = f(\alpha_1)$ , να χαραχθεί η αντίστοιχη ομαλή πειραματική καμπύλη και να προσδιοριστεί γραφικά η ελάχιστη τιμή της γωνίας εκτροπής  $\varepsilon_{\min}$ .
4. Μεταβάλλουμε με συνεχή, ομαλό τρόπο την γωνία  $\alpha_1$  και φέρνουμε το πρίσμα στην θέση της ελάχιστης εκτροπής. Σημειώνεται πως η θέση αυτή προσδιορίζεται από την σχολαστική παρατήρηση του φωτεινού ίχνους της δέσμης Laser στο κατακόρυφο πέτασμα. Συγκεκριμένα καθώς αυξάνεται η γωνία προσπτώσεως  $\alpha_1$  περιστρέφοντας το πρίσμα παρατηρείται μια ομόρροπη κίνηση του ίχνους της δέσμης με μια τάση επιβράδυνσης. Μάλιστα, σε κάποια συγκεκριμένη θέση το ίχνος αυτό σχεδόν ακινητοποιείται ενώ η περαιτέρω αύξηση της γωνίας προσπτώσεως δημιουργεί κίνηση του ίχνους σε αντίθετη όμως φορά από ότι προηγούμενα.

Η θέση του πρίσματος που αντιστοιχεί στο σχεδόν «ακινητοποιημένο» ίχνος στο κατακόρυφο πέτασμα είναι η ζητούμενη θέση της ελάχιστης εκτροπής. Τώρα το  $\varepsilon_{\min}$  υπολογίζεται από τις αντίστοιχες τιμές των γωνιών  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$ .

5. Επαναλαμβάνουμε διαδοχικά την προηγούμενη εργασία οκτώ συνολικά ανεξάρτητες φορές με σκοπό τον υπολογισμό της μέσης τιμής για την γωνία ελάχιστης εκτροπής  $\varepsilon_{\min}$ . Συμπληρώνουμε τον πίνακα μετρήσεων που ακολουθεί και υπολογίζουμε το σφάλμα  $\delta\varepsilon_{\min}$  της μέσης τιμής (σε ακτίνια).

### Πίνακας Μετρήσεων - Υπολογισμών

$\alpha/\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\varepsilon_{\min}$	$\bar{\varepsilon}_{\min}$	$\Delta\varepsilon_i$	$(\Delta\varepsilon_i)^2$
1						
2						
3						
...						
8						

6. Να συγκριθούν η τιμή της ελάχιστης γωνίας εκτροπής  $\varepsilon_{\min}$  που βρέθηκε γραφικά (εργασία 3) με αυτή της μέσης τιμής του ακριβώς προηγούμενου πίνακα. Που μπορεί να οφείλεται η όποια, μικρή διαφορά παρουσιάζεται;

Ποια από τις τιμές που βρέθηκαν θεωρείτε ότι είναι η περισσότερο αξιόπιστη; Δηλαδή ποια μετρητική διαδικασία διαθέτει τα λιγότερα σφάλματα;

7. Να υπολογιστεί από την αντίστοιχη σχέση η τιμή του άγνωστου δείκτη διάθλασης  $n$  που χαρακτηρίζει το διαφανές υλικό του πρίσματος.
8. Πόσο είναι το σφάλμα  $\delta n$  στον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης εάν θεωρηθεί ότι η θλαστική γωνία  $A$  είναι δεδομένη (χωρίς σφάλμα) ενώ αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$\delta n = \frac{n}{2} \left[ \frac{\delta \varepsilon_{\min}}{\varepsilon \varphi \left( \frac{\varepsilon_{\min} + A}{2} \right)} \right]$$

Με  $\delta \varepsilon_{\min}$  το αντίστοιχο σφάλμα της μέσης τιμής του πίνακα της ερώτησης 5.

Να γραφεί η έκφραση του τελικού αποτελέσματος υπό την μορφή:  $n = \bar{n} \pm \delta n$ .

9. Ποια είναι η ορική γωνία του υλικού για το συγκεκριμένο πρίσμα; Για ποια τιμή της θλαστικής γωνίας  $A$  το πρίσμα αυτό θα απέκλειε την τελική έξοδο της οποιασδήποτε προσπίπτουσας δέσμης από την δεύτερη έδρα του;

**ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ:** Το φαινόμενο της οπτικής διάθλασης, Πρίσματα, Δείκτης διάθλασης διαφανούς υλικού.