

Διάθλαση μέσω οπτικού πρίσματος - Υπολογισμός δείκτη διάθλασης

1. Σκοπός

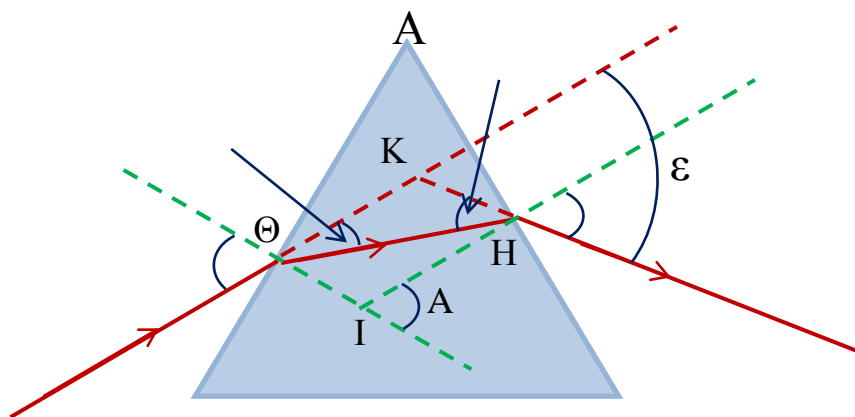
Ο δείκτης διάθλασης n ενός διαφανούς οπτικού μέσου είναι ένα ιδιαίτερο σημαντικό φυσικό μέγεθος στην οπτική. Ο δείκτης διάθλασης όχι μόνο μεταβάλλεται από υλικό σε υλικό αλλά έχει και σημαντική εξάρτηση από την συχνότητα του φωτός που χρησιμοποιείται.

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 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 Θ της πρώτης έδρας του πρίσματος υπό γωνία θ και αναδύεται στο σημείο H της άλλης έδρας υπό γωνία ϵ . Η συγκεκριμένη πορεία της φωτεινής αυτής δέσμης θεωρείται ότι βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο μιας κύριας τομής του πρίσματος.

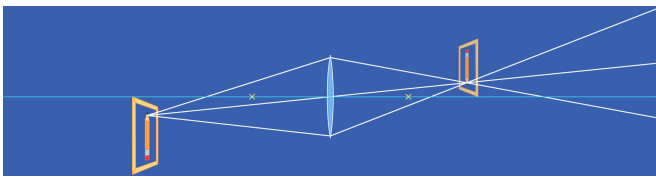


Σχήμα 1. Διάθλαση φωτεινής ακτίνας μέσω οπτικού πρίσματος.

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

$$\text{---} \quad \text{---}$$

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



των τριγώνων ΙΟΗ και ΘΚΗ.

Η θεωρία αλλά και το πείραμα συμφωνούν ότι η γωνία εκτροπής ϵ εξαρτάται από:

1. Τον δείκτη διάθλασης n του υλικού του πρίσματος
2. Την θλαστική γωνία A και ακόμη
3. Μεταβάλλεται με την γωνία πρόσπτωσης α ενώ λαμβάνει την ελάχιστη τιμή όταν $\alpha = A/2$ και $\epsilon = A - 2\alpha$ (θέση ελαχίστης εκτροπής).

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

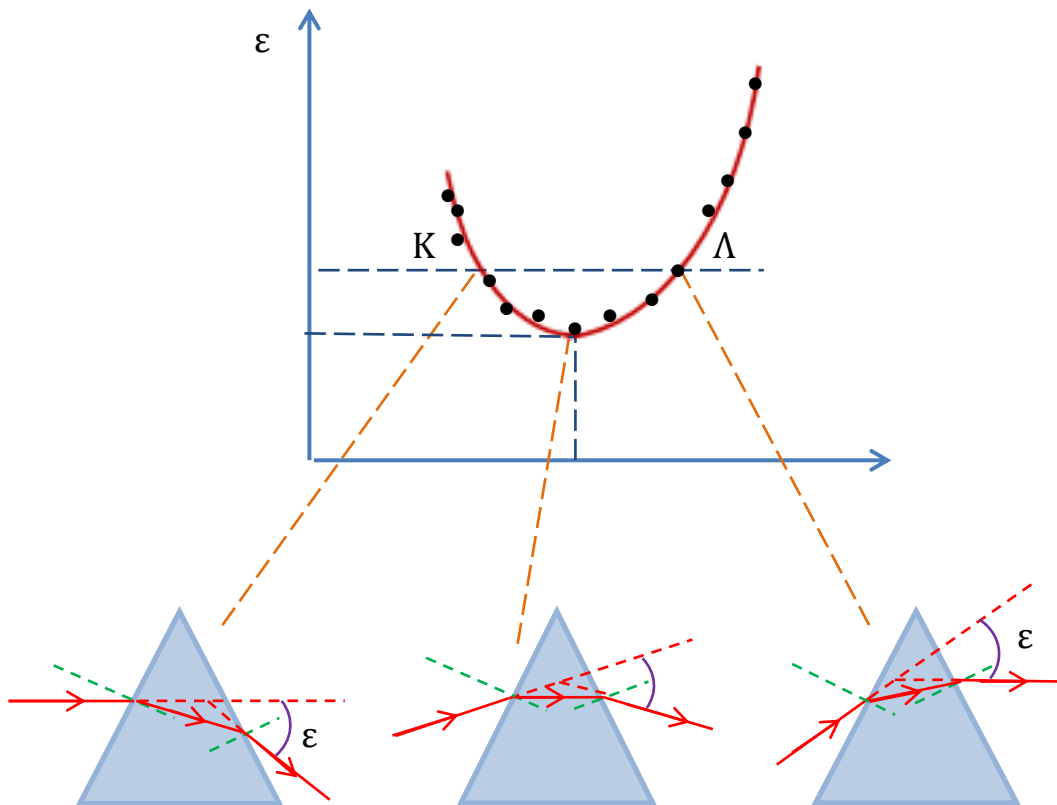
—

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

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

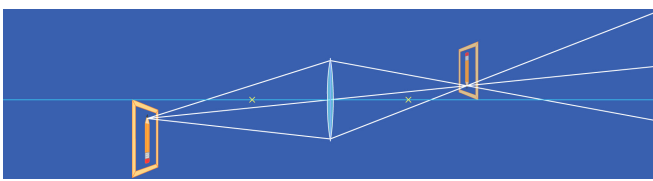
Η τελευταία αυτή σχέση επιτρέπει την μέτρηση του δείκτη διάθλασης του υλικού ενός πρίσματος θλαστικής γωνίας A αρκεί βέβαια να μετρηθεί πειραματικά η γωνία ελάχιστης εκτροπής ϵ_{\min} .

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται διαγραμματικά η καμπύλη μεταβολής της γωνίας εκτροπής ϵ σε σχέση με την γωνία πρόσπτωσης α .



Σχήμα 2. Μεταβολή της γωνίας εκτροπής σε σχέση με την γωνία πρόσπτωσης α .

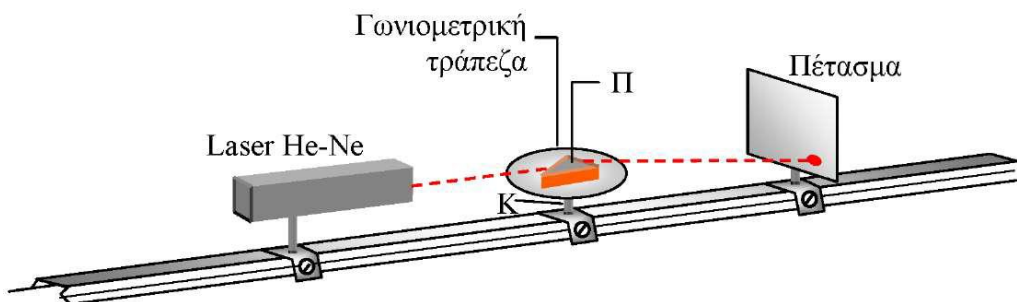
Παρατηρείται, από το προηγούμενο διάγραμμα, ότι υπάρχουν ζευγάρια διαφορετικών τιμών για την γωνία πρόσπτωσης α τα οποία όμως αντιστοιχούν στην ίδια ακριβώς εκτροπή της μονοχρωματικής ακτίνας (ευθεία ΚΛ παράλληλη οριζόντιου άξονα α).



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 Γ στο κέντρο του οποίου βρίσκεται το πρίσμα Π γνωστής θλαστικής γωνίας καθώς και η κατακόρυφη οθόνη O (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 α_1 ξεσφίγγουμε λιγάκι τον κοχλία K που στηρίζει οριζόντια τον γωνιομετρικό κύκλο με το πρίσμα χωρίς να πειραχθεί καθόλου η συσκευή Laser.

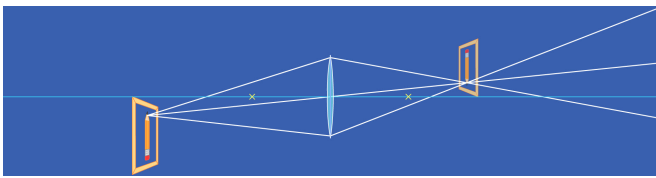
Η θέση της ακτίνας που προσπίπτει στο πρίσμα όπως άλλωστε και η τελικά αναδυόμενη διαβάζονται εύκολα επάνω στον γωνιομετρικό κύκλο στην περιφέρεια του οποίου υπάρχει η κατάλληλη χάραξη με ακρίβεια μοίρας.

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 πρισματος 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 λ καθώς και της θλαστικής γωνίας A του πρισματος 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 και μετράμε κάθε φορά επακριβώς την αντίστοιχη γωνία αναδύσεως. Υπολογίζουμε έτσι κάθε φορά την γωνία εκτροπής ϵ για την οποία ισχύει η σχέση:

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

Πίνακας Μετρήσεων - Υπολογισμών

α/α			
1			
2			
3			
4			
5			
...			
15			

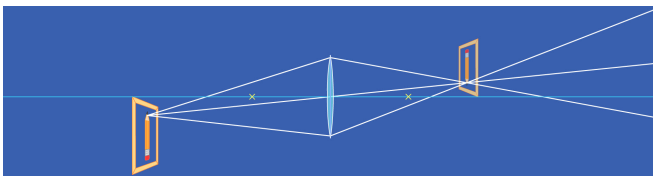
3. Να γίνει η γραφική παράσταση, να χαραχθεί η αντίστοιχη ομαλή πειραματική καμπύλη και να προσδιοριστεί γραφικά η ελάχιστη τιμή της γωνίας εκτροπής.
4. Μεταβάλλουμε με συνεχή, ομαλό τρόπο την γωνία α_1 και φέρνουμε το πρίσμα στην θέση της ελάχιστης εκτροπής. Σημειώνεται πως η θέση αυτή προσδιορίζεται από την σχολαστική παρατήρηση του φωτεινού ίχνους της δέσμης Laser στο κατακόρυφο πέτασμα. Συγκεκριμένα καθώς αυξάνεται η γωνία προσπτώσεως α_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 υπολογίζεται από τις αντίστοιχες τιμές των γωνιών και.

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

Πίνακας Μετρήσεων - Υπολογισμών

α/α					
1					
2					
3					
...					
8					



6. Να συγκριθούν η τιμή της ελάχιστης γωνίας εκτροπής 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 που χαρακτηρίζει το διαφανές υλικό του πρίσματος.
8. Πόσο είναι το σφάλμα στον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης εάν θεωρηθεί ότι η θλαστική γωνία A είναι δεδομένη (χωρίς σφάλμα) ενώ αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$\frac{\sin A}{\sin B} = \frac{n_2}{n_1}$$

Με το αντίστοιχο σφάλμα της μέσης τιμής του πίνακα της ερώτησης 5.

Να γραφεί η έκφραση του τελικού αποτελέσματος υπό την μορφή: .

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.