

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΑΠΛΗ ΣΧΙΣΜΗ

ΠΑΤΡΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2025

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

- 1** Σκοπός
- 2** Θεωρία
 - 2.1** Περίθλαση από μία σχισμή
 - 2.2** Προσδιορισμός του μήκος κύματος του laser
 - 2.3** Το LASER
- 3** Πειραματική διάταξη
- 4** Πειραματική διαδικασία - Προσδιορισμός του μήκος κύματος του LASER
- 5** Σύντομη ατομική εργασία
- 6** Βιβλιογραφία

1 Σκοπός

Στην άσκηση αυτή μελετάται η περίθλαση δέσμης φωτός ενός laser He-Ne από απλή σχισμή και προσδιορίζεται το μήκος κύματος του laser από την απεικόνιση της συμβολής.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

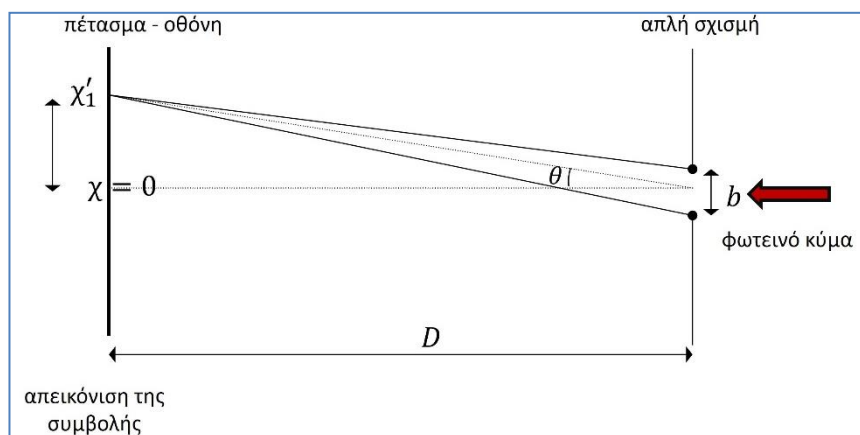
Περίθλαση, ενισχυτική συμβολή, αναιρετική συμβολή, απλή σχισμή, μήκος κύματος ακτινοβολίας, φωτοκύτταρο- φωτοδιόδος, laser, ενίσχυση-ενισχυτής

2 Θεωρία

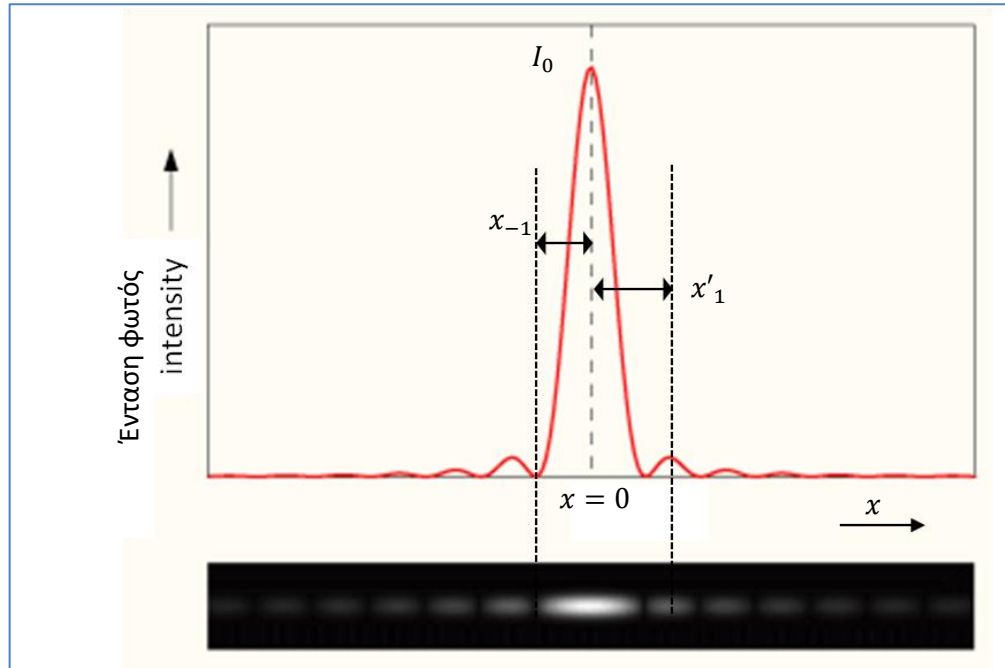
Το φαινόμενο της **περίθλασης** οφείλεται στη συμβολή των κυμάτων ενός πολύ μεγάλου αριθμού (ή συνεχούς κατανομής) σύμφωνων πηγών. Η διάδοση του φωτός γύρω από εμπόδια ή γενικά η εκτροπή του από την ευθύγραμμη διάδοση οφείλεται στην περίθλαση. Η περίθλαση παρατηρείται όταν αντικείμενο, διαστάσεων συγκρίσιμων με το μήκος κύματος, βρεθεί στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

2.1 Περίθλαση από μία σχισμή

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 παρακάτω, όταν φωτεινό κύμα, με μήκος κύματος λ , προσπέσει σε σχισμή πλάτους b η οποία είναι κατά τάξης μεγέθους συγκρίσιμη με το λ , τότε στο πέτασμα απέναντι από τη σχισμή θα παρατηρήσουμε την εικόνα που βλέπουμε στο κάτω μέρος του Σχήματος 2, δηλαδή εναλλασσόμενους φωτεινούς και σκοτεινούς κροσσούς κατά το μήκος x του πετάσματος (κάθετο στη σελίδα). Αυτό το κυματικό φαινόμενο που είναι γνωστό ως «περίθλαση», έρχεται σε πλήρη αντίθεση με τη καθημερινή μας εμπειρία όπου όταν το φως διέρχεται από μια σχισμή, σχηματίζει απλά μια φωτεινή κηλίδα, σε ευθεία ακριβώς απέναντι από τη σχισμή. Αυτό γίνεται επειδή στην καθημερινότητά μας, οι σχισμές είναι της τάξης των μερικών mm ή cm ενώ το μήκος κύματος του ορατού φωτός είναι κοντά στα 600 nm δηλαδή μη συγκρίσιμου μεγέθους με τη σχισμή και έτσι τα κυματικά φαινόμενα δεν είναι σε ισχύ.



Σχήμα 1: Κάτοψη φωτεινής ακτίνας που προσπέπτει σε σχισμή πλάτους b και περίθλαση σε τυχαία γωνία θ .



Σχήμα 2: Ποιοτικό διάγραμμα της έντασης συναρτήσει της μετατόπισης κατά την περίθλαση από απλή σχισμή.

Όταν λοιπόν το πλάτος της σχισμής έχει συγκρίσιμη τάξη μεγέθους με το λ , τότε λαμβάνει χώρα το κυματικό φαινόμενο της «περίθλασης» κατά την οποία, σύμφωνα με τη **αρχή του Huygens**, διαφορετικά σημεία της σχισμής δρουν ως δευτερογενείς πηγές φωτός. Τα εκπεμπόμενα κύματα από τις δευτερογενείς πηγές συμβάλλουν και σχηματίζουν τους κροσσούς. Αποδεικνύεται ότι το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου του ηλεκτρομαγνητικού κύματος επάνω στο πέτασμα ισούται με:

$$E = E_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\theta\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin\theta} \quad (1)$$

όπου E_0 είναι το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου του προσπίπτοντος κύματος επάνω στη σχισμή και θ είναι η γωνία πρόσπτωσης (η οποία παίρνει μικρές τιμές όταν η απόσταση D είναι μεγάλη σε σχέση με τις τιμές του x). Η ένταση I του φωτός (αλλά και οποιουδήποτε κύματος) ορίζεται ως η προσπίπτουσα ισχύς ανά μονάδα επιφανείας και είναι η ποσότητα που αντιλαμβάνεται ως φωτεινότητα το μάτι (ενώ το μήκος κύματος το αντιλαμβάνεται ως το χρώμα). Η ένταση εξαρτάται τετραγωνικά από το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου και επομένως μπορούμε να γράψουμε μια παρόμοια σχέση με την (1) για την ένταση:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\theta\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin\theta} \right)^2 \quad (2)$$

όπου I_0 είναι η ένταση του προσπίπτοντος κύματος επάνω στη σχισμή (πριν να υποστεί περίθλαση).

2.2 Προσδιορισμός του πλάτους της σχισμής

Για μικρές γωνίες θ όπου $\cos\theta \approx 1$, ισχύει επίσης ότι $\sin\theta \approx \tan\theta$. Την τελευταία ποσότητα μπορούμε εύκολα να την υπολογίσουμε στο Σχήμα 1 με την βοήθεια της απλής τριγωνομετρίας. Έτσι προσεγγιστικά βρίσκουμε

$$\sin\theta \approx \tan\theta = x/D$$

Αυτή η προσέγγιση είναι τόσο σωστή όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των x και D και αυτό πρακτικά γίνεται επειδή στο πείραμα κρατάμε το D κοντά στο 1 m ενώ το x είναι μερικά χιλιοστά. Οπότε η (2) γίνεται

$$I \approx I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda D} x\right)}{\frac{\pi b}{\lambda D} x} \right)^2 = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2 \quad (3)$$

όπου $u = \pi b x / \lambda D$. Η γραφική παράσταση της εξίσωσης (3) παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Παρατηρήστε ότι το u είναι ευθέως ανάλογο του x αφού τα b , λ και D είναι σταθερές. Έτσι όταν μεταβάλλεται το x τότε μεταβάλλεται ευθέως ανάλογα και το u . Επομένως κοιτώντας την απλούστερη έκφραση της Εξ. (3) στα δεξιά, μπορούμε να ερμηνεύσουμε ποιοτικά την μορφή της γραφικής παράστασης στο Σχήμα 2. Για παράδειγμα, λόγω του όρου $1/u$, η γραφική παράσταση φθίνει όσο απομακρυνόμαστε από το $x = 0$ ($u = 0$). Επίσης λόγω του τετραγώνου, η γραφική παράσταση παίρνει μόνο θετικές τιμές. Τέλος λόγω του όρου $\sin u$, υπάρχει και μια ταλαντωτική συμπεριφορά με τοπικά μέγιστα όπου $\sin u = \pm 1$ και τοπικά ελάχιστα όπου $\sin u = 0$ εκτός από την ειδική περίπτωση $u = 0$ όπου από τον κανόνα του L' Hospital παίρνουμε $\sin 0 / 0 \rightarrow 1$. Η συνθήκη μηδενισμού $\sin u = 0$ ισχύει εκεί όπου $u = n\pi$ με $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ (το $n = 0$ εξαιρείται όπως προαναφέρθηκε). Έτσι τα μηδενικά της έντασης, που στη ουσία είναι οι σκοτεινοί κροσσοί, εμφανίζονται στα σημεία εκείνα όπου

$$u = n\pi \Rightarrow \frac{\pi b x}{\lambda D} = n\pi \quad (4)$$

δηλαδή εκεί όπου

$$x_n = n \frac{\lambda D}{b} \quad (5)$$

με $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$. Π.χ. στο Σχήμα 2 φαίνεται το μηδενικό $n = -1$ στα αριστερά της κεντρικής κορυφής σε απόσταση x_{-1} από αυτή. Λέμε ότι σε αυτή την περίπτωση έχουμε «καταστροφική συμβολή». Απεναντίας τα μέγιστα, δηλαδή οι φωτεινοί κροσσοί εμφανίζονται στα σημεία με συντεταγμένη

$$x'_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{b} \quad (6)$$

π.χ. στο Σχήμα 2 φαίνεται το μέγιστο $n = 1$ στα δεξιά της κεντρικής κορυφής σε απόσταση x'_1 από αυτή. Λέμε ότι σε αυτή την περίπτωση έχουμε «ενισχυτική συμβολή».

2.3 Το LASER

Η λέξη **laser** είναι ακρωνύμιο του «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» (ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας).

Η ακτινοβολία **laser** χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό βαθμό:

- ✓ Μονοχρωματικότητας, δηλαδή φως με συγκεκριμένο μήκος κύματος-χρώματος
- ✓ Συμφωνίας
- ✓ Κατευθυντικότητας
- ✓ Λαμπρότητας

Το πρώτο **laser** κατασκευάστηκε το 1960, από τότε όμως τα **laser** βρήκαν εφαρμογή στις θετικές επιστήμες, στην βιομηχανία, στην ιατρική, και στην ηλεκτρονική. Στην παρούσα άσκηση το μήκος κύματος ακτινοβολίας του Laser είναι $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

3 Πειραματική διάταξη

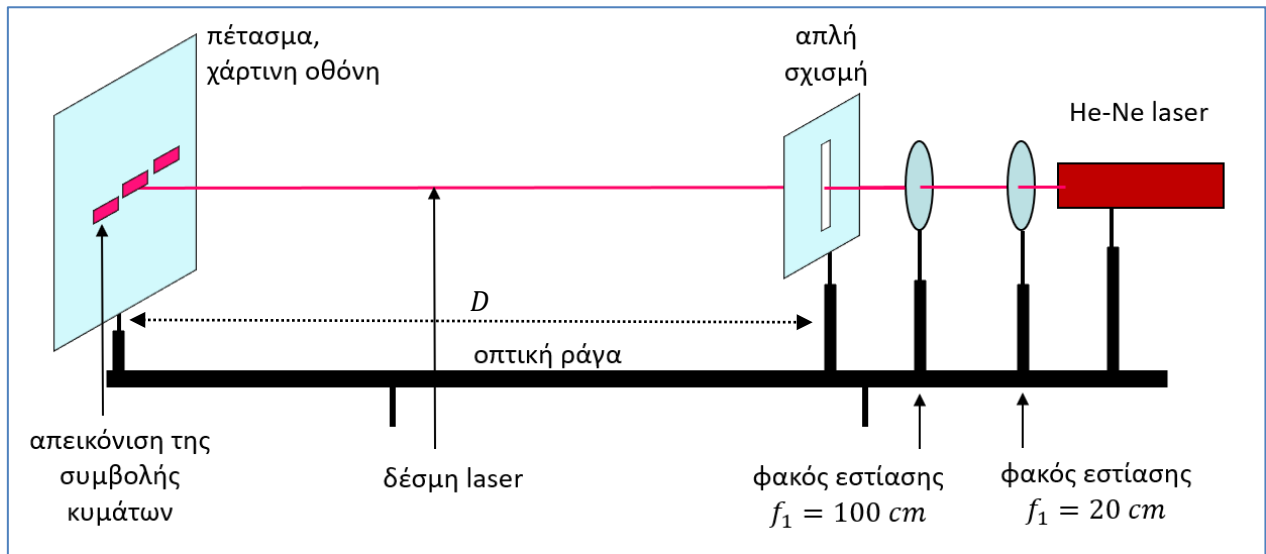
Τα πειραματικά όργανα που θα χρησιμοποιηθούν είναι:

- ✓ Μια οπτική ράγα πάνω στην οποία μπορούν και μετακινούνται οριζοντίως όλα τα οπτικά όργανα (Σχήμα 3). Η ράγα φέρει χιλιοστομετρική κλίμακα με τη βοήθεια της οποίας διαβάζουμε συντεταγμένες.
- ✓ Ένα laser He-Ne, $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.
- ✓ Δυο οπτικοί φακοί με εστιακές αποστάσεις $f_1 = 20 \text{ mm}$ και $f_2 = 100 \text{ mm}$
- ✓ Ένα επίπεδο πέτασμα με μια χάρτινη οθόνη επάνω στην οποία παρατηρείται η συμβολή κυμάτων.
- ✓ Τρεις απλές σχισμές (πλάτη των σχισμών $0,1 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ και $0,4 \text{ mm}$)

Όλα τα οπτικά όργανα είναι στερεωμένα επάνω σε ειδικές βάσεις που μπορούν και κινούνται ελεύθερα επάνω στη ράγα. Το κάτω μέρος της κάθε βάσης φέρνει στο κέντρο της μια λεπτή λευκή γραμμή η οποία δείχνει ότι τα οπτικά όργανα είναι κατακόρυφα προς την βάση και βοηθά στην μέτρηση των συντεταγμένων.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη της άσκησης.

Προσοχή: Απαγορεύεται να κατευθύνετε την δέσμη του laser στα μάτια σας είτε στα μάτια κάποιου συνάδελφου. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται ώστε να μη συμβεί αυτό και από ισχυρή ανάκλαση της δέσμης από κάποια ιδιαίτερα στιλπνή επιφάνεια ή καθρέπτη.



Σχήμα 3: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης για τη μελέτη της περίθλασης από απλή σχισμή.

4 Πειραματική διαδικασία

4.1 Μέρος 1: Προσδιορισμός του μήκος κύματος του LASER

1. Τοποθετούμε την οπτική ράγα επάνω στο τραπέζι ώστε να εμφανιστεί η χιλιοστομετρική κλίμακα προς τον παρατηρητή.
2. Τοποθετούμε το επίπεδο πέτασμα στην μια άκρη της οπτικής ράγας. Σημειώνουμε την συντεταγμένη του πετάσματος π.χ. $x_o = 1 \text{ cm}$.
3. Επάνω στην οπτική ράγα, στην άλλη άκρη της, τοποθετούμε ένα LASER He-Ne.
4. Τοποθετούμε τον πρώτο οπτικό φακό με εστιακή απόσταση $f_1 = 20 \text{ mm}$ πλησίον του laser (σχεδόν εφ' επαφής) και τον δεύτερο με εστιακή απόσταση $f_2 = 100 \text{ mm}$ κοντά στον πρώτο.
5. Τοποθετούμε την βάση της σχισμής μεταξύ της οθόνης και του δεύτερου φακού.
6. Θέτουμε το LASER He-Ne σε λειτουργία. Βεβαιωνόμαστε ότι το φως του περνάει μέσα από τους οπτικούς φακούς. Κρατάμε την θέση του πρώτου οπτικού φακού σταθερή και απομακρύνουμε αργά τον δεύτερο φακό έως ότου σχηματιστεί ένα ευκρινές είδωλο της δέσμης στο κέντρο της χάρτινης οθόνης. Δηλαδή προσαρμόζουμε την θέση του δεύτερου φακού ώστε να έχουμε μια καλή εστίαση της δέσμης του LASER.
7. Τοποθετούμε το πλακίδιο με τις σχισμές επάνω στην ράγα, ανάμεσα από τον δεύτερο φακό και το πέτασμα και κοντά στον φακό (σε μερικά χιλιοστά από αυτόν). Επιλέγουμε την πρώτη σχισμή από το σετ των τριών και την μετακινούμε αναλόγως ώστε αυτή να βρίσκεται στο κέντρο και κάθετα στην δέσμη του φωτός. Καταγράφουμε την συντεταγμένη x_o της σχισμής. Κατά την διάρκεια του πειράματος δεν θα μεταβληθεί η απόσταση $x_o - x_o$. Υπολογίζουμε την απόσταση D από την απλή σχισμή μέχρι και το πέτασμα (Σχήμα.1).
8. Στην οθόνη θα πρέπει να παρατηρήσουμε ένα κεντρικό έντονο φωτεινό κροσσό ο οποίος αντιστοιχεί στο $n = 0$ στο Σχήμα 2 (κεντρικό μέγιστο) και μια σειρά από εναλλασσόμενους

φωτεινούς και σκοτεινούς κροσσούς εκατέρωθεν του κεντρικού, διατεταγμένους σε μια ευθεία (όπως αυτοί στο κάτω μέρος του Σχήματος 2).

9. Τοποθετούμε ένα χιλιοστομετρικό χαρτί στην οθόνη.
10. Σημειώνουμε με ένα στυλό τους πρώτους τρεις σκοτεινούς κροσσούς δεξιά από τον κεντρικό κροσσό (δηλαδή τους $n = 1, 2, 3$) και αντίστοιχα τους πρώτους τρεις σκοτεινούς κροσσούς αριστερά από τον κεντρικό κροσσό (δηλαδή τους $n = -1, -2, -3$).

Πίνακας 1: Προσδιορισμός του μήκος κύματος του LASER

$b \text{ (mm)}$	Σκοτεινοί κροσσοί, n	$x_n \text{ (mm)}$ 1 ^ο μέτρηση δεξιά από τον κεντρικό κροσσό	$x_n \text{ (mm)}$ 2 ^ο μέτρηση αριστερά από τον κεντρικό κροσσό	$D \text{ (m)}$
	1			
	2			
	3			

x_n = απόσταση μεταξύ του κέντρου ($x = 0$) και των σκοτεινών κροσσών (τρία ελάχιστα)

D = απόσταση από την απλή σχισμή μέχρι την απεικόνιση της συμβολής.)

5 Σύντομη ατομική εργασία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ/ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΜΑ (φύλλο μετρήσεων)

Κάθε φοιτητής/φοιτήτρια παραδίδει μια έκθεση. Η τελική μορφή της έκθεσής θα πρέπει να ακολουθεί πιστά τις οδηγίες συγγραφής που δίνονται στα «Έγγραφα» στις [ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓ 2023](#).

Κάθε έκθεση ελέγχεται για λογοκλοπή με το πρόγραμμα [Turnitin](#). Σε περίπτωση [λογοκλοπής](#) άνω του 30%, η έκθεση θα αξιολογηθεί με 0/10.

- ✓ Το όνομα του αρχείου περιέχει μόνο το αντίστοιχο τμήμα και τον αριθμό μητρώου του φοιτητή, για παράδειγμα τμήμα Α1 και ΑΜ = 1020875 -> Α1-1020875.pdf.
- ✓ Η εργασία θα παραδίνεται αυστηρά μέχρι δυο εβδομάδες μετά την εκτέλεση της άσκησης ηλεκτρονικά μέσω του eclass «Εργασίες» στο πλαίσιο της σχετικής άσκησης.
- ✓ Κατά προτίμηση, οι εργασίες πρέπει να ανεβαίνουν σε μορφή PDF. Τα σχόλια του βαθμολογητή μπορούν να φανούν μόνο σε υπολογιστή με εφαρμογή που ανοίγει τέτοιου είδους αρχεία, όπως το Adobe Reader και όχι σε φυλλομετρητές του διαδικτύου ή σε κινητά. Εκεί τα σχόλια δεν εμφανίζονται ορθά.

Ζητούνται τα ακόλουθα στο κεφάλαιο «αποτελέσματα»:

- (1) Σχεδιάστε ποιοτικά τη γραφική παράσταση $f(u) = \sin^2 u / u^2$ και εξηγήστε τα βασικά χαρακτηριστικά της.
- (2) Θέστε $u = \pi b x / \lambda D$. Εξηγήστε τι είναι το κάθε ένα σύμβολο. Πως θα αλλάξει ποιοτικά η απεικόνιση της συμβολής εάν

α. το φως της ακτινοβολίας (laser) αλλάζε από κόκκινο σε πράσινο;

β. η απόσταση D (σχισμή – οθόνη) μειώνεται στο μισό;

γ. το πλάτος της σχισμής b μειώνεται στο μισό;

- (3) Μετρούμε επάνω την χιλιοστομετρικό χαρτί την απόσταση x_n αυτών των σκοτεινών κροσσών που σημειώσαμε από το κεντρικό μέγιστο.

Θεωρητικά τα x_n για αρνητικά n είναι ίσα με τα αντίστοιχα x_n για θετικά n όμως στην πράξη πάντα υπάρχουν μικροδιαφορές λόγω π.χ. μη κατάλληλης ευθυγράμμισης του laser με την σχισμή και έτσι παίρνουμε τον μέσο όρο των δυο τιμών (απόλυτες τιμές). Π.χ. εάν σε μια μέτρηση πάρουμε $x_{-1} = -1.1 \text{ cm}$ και $x_1 = 1.3 \text{ cm}$, τότε η σωστή απόσταση είναι η μέση τιμή $\bar{x}_1$ των απόλυτων τιμών τους:

$$\bar{x}_1 = \frac{x_1 + |x_{-1}|}{2} = 1.2 \text{ cm}$$

- (4) Να προσδιοριστεί το μήκος κύματος του LASER, η μέση τιμή του λ και το σφάλμα του δ_λ (τυπική απόκλιση). Να συγκριθεί αυτή η τιμή με την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής του LASER.
- (5) Αναφέρατε τα απόλυτα σφάλματα και τυχόν συστηματικά σφάλματα (σε αριθμούς και μονάδες) που εμφανίζονται στις μετρήσεις σας.
- (6) Πάρτε ως x τα τρία $\bar{x}_n$ ($n = 1, 2$ και 3) των μετρήσεών σας, και υπολογίστε με την βοήθεια της τριγωνομετρίας την ακριβή τιμή του $\sin \theta$ για κάθε n χωρίς προσέγγιση. Η τιμή αυτή να συγκριθεί με την προσεγγιστική τιμή x_n / D (με υπολογισμό του σχετικού % σφάλματος). Καταγράψτε (ή εκτυπώσετε) τα τελικά αποτελέσματα στην μορφή του παρακάτω πίνακα. Κρατήστε αρκετά ψηφία για να φαίνεται η διαφορά, δεν χρειάζεται να εφαρμόσουμε τον κανόνα των ψηφίων εδώ. Μόνο στο τελικό αποτέλεσμα (σχετικό σφάλμα) που καλό είναι να γραφτεί σε επιστημονική γραφή με εκθέτες. Ποια μέτρηση θα προτιμούσατε; Εξηγήστε την επιλογή σας.

$\bar{x}_n$	$D(m)$	$\sin \theta$ χωρίς προσέγγιση	$\frac{x_n}{D}$ προσεγγιστική τιμή	σχετικό % σφάλμα
1				
2				
3				

6 Βιβλιογραφία

- [1] R. A. Serway, «Physics for Scientists and Engineers», Volume 1, Saunders College Publishing, 1990.
- [2] H. D. Young, «Πανεπιστημιακή Φυσική» Τόμος Α, Κεφ. 38, εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 1994 .
- [3] YouTube [Φυσική II, Κεφ. 33, Φακοί και Οπτικά Στοιχεία, Μέρος Α](#)
- [4] [ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ 2022](#)