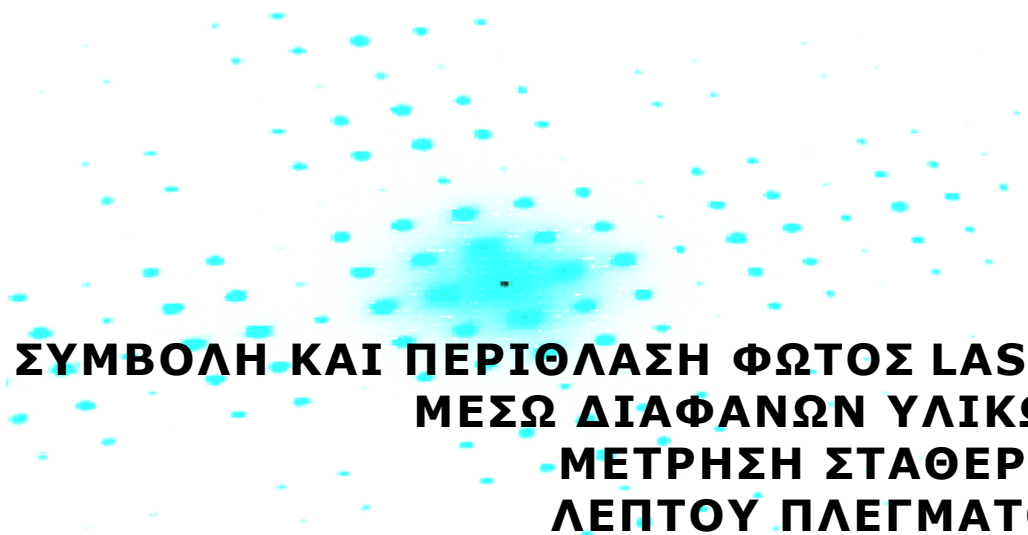


LASER 3



**ΣΥΜΒΟΛΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΦΩΤΟΣ LASER
ΜΕΣΩ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΕΡΑΣ
ΛΕΠΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ
ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΜΙΚΡΩΝ ΚΟΚΚΩΝ**

A. ΘΕΩΡΙΑ

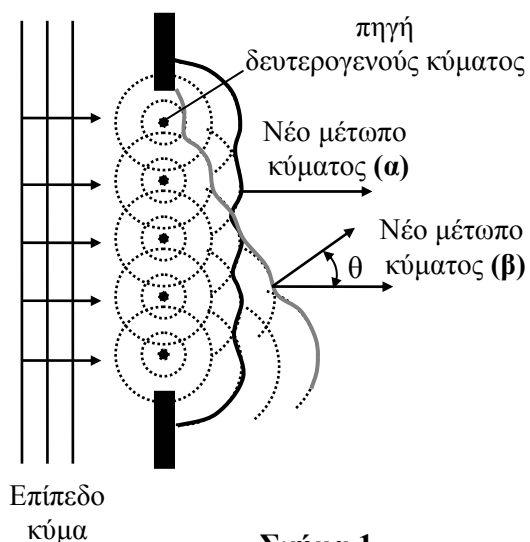
1. Περίθλαση

1.1 Εισαγωγή

Μια βασική ιδιότητα των κυμάτων είναι ότι παρουσιάζουν φαινόμενα περίθλασης. Για παράδειγμα τα ακουστικά κύματα μπορούν να καμπυλώσουν (να αποκλίνουν) γύρω από γωνίες κ.λπ. Κατά παρόμοιο τρόπο και μια δέσμη φωτός, όταν συναντά εμπόδιο, μπορεί να αποκλίνει από την πορεία της, να καμπυλώσει γύρω από αυτό και ένα τμήμα της να βρεθεί στην περιοχή της γεωμετρικής σκιάς του. Στην περίπτωση που περνάει μέσα από ένα πολύ μικρό άνοιγμα με αιχμηρές πλευρές, ένα τμήμα της θα βρεθεί έξω από το όριο της γεωμετρικής σκιάς του ανοίγματος. Σε μια πιο προσεκτική παρατήρηση, μπορούμε να δούμε ότι στην περιοχή αυτή σχηματίζονται σκοτεινές και φωτεινές ζώνες (απεικόνιση περίθλασης), φαινόμενο το οποίο δεν μπορεί να εξηγηθεί από τη γεωμετρική οπτική. Επομένως η περίθλαση είναι ένα καθαρά κυματικό φαινόμενο και παρατηρείται όταν κατά τη διάδοση ενός κύματος, ένα τμήμα του μεταβάλλει το πλάτος ή τη φάση του.

Είναι βασικό να κατανοήσουμε ότι δεν υπάρχει θεμελιακή διαφορά μεταξύ των φαινομένων της συμβολής και της περίθλασης των κυμάτων. Θεωρούμε όμως ως συμβολή το φαινόμενο που παρατηρείται όταν έχουμε υπέρθεση λίγων κυμάτων και ως περίθλαση την περίπτωση υπέρθεσης μεγάλου αριθμού κυμάτων που ξεκινούν από ένα εμπόδιο (συμβολή πολλαπλών κυμάτων).

Τα φαινόμενα περίθλασης έχουν ταξινομηθεί σε δυο κατηγορίες. Στην **περίθλαση Fraunhofer**, η προσπίπτουσα δέσμη φωτός είναι ένα επίπεδο κύμα (παράλληλη δέσμη φωτός) και η παρατήρηση της απεικόνισης της περίθλασης (ανίχνευση έντασης του φωτός) πραγματοποιείται πολύ μακριά από το σημείο του εμποδίου, έτσι που τα κύματα που φτάνουν εκεί φαίνονται ως επίπεδα κύματα. Στην περίθλαση **Fresnel**, η προσπίπτουσα δέσμη και τα παραγόμενα κύματα δεν είναι επίπεδα κύματα, αλλά παρουσιάζουν μια σημαντική καμπύλωση στο μέτωπο κύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πηγή φωτός και το επίπεδο παρατήρησης βρίσκονται πολύ κοντά στο εμπόδιο. Από τις δυο κατηγορίες, η πλέον σημαντική είναι η περίθλαση Fraunhofer.



Σχήμα 1

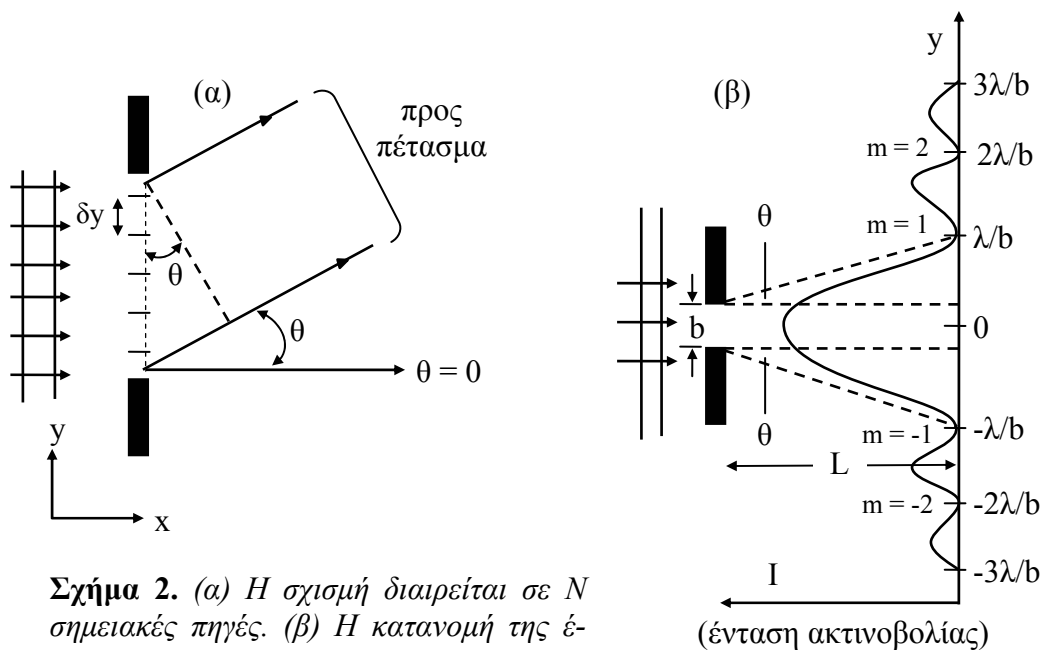
1.2 Περίθλαση μέσω σχισμής

Όπως προαναφέραμε, το φαινόμενο της περίθλασης μπορεί να γίνει κατανοητό σε σχέση με τη συμβολή πολλαπλών κυμάτων, που ξεκινούν από ένα εμπόδιο. Αν θεωρήσουμε ένα επίπεδο κύμα φωτός που προσπίπτει σε μια σχισμή εύρους b , τότε σύμφωνα με την **αρχή των Huygens – Fresnel**, κάθε σημείο ενός μετώπου κύματος που δεν εμποδίζεται άμεσα, αποτελεί ανά πάσα στιγμή

πηγή δευτερογενών σφαιρικών κυμάτων, ίδιας συχνότητας με αυτήν του πρωτογενούς κύματος. Το πλάτος του οπτικού πεδίου σε οποιοδήποτε επόμενο σημείο διαμορφώνεται από την υπέρθεση όλων αυτών των δευτερογενών κυμάτων, αφού ληφθεί υπ' όψιν το πλάτος και η σχετική διαφορά φάσης τους.

Στο Σχήμα (1) παρουσιάζεται ακριβώς η παραπάνω αρχή. Θεωρούμε επίπεδο κύμα που προσπίπτει στη σχισμή και ότι όλα τα σημεία της σχισμής βρίσκονται επάνω στην ίδια ισοφασική επιφάνεια του φωτεινού κύματος που διέρχεται από αυτή. Υπό την έννοια αυτή, κάθε σημείο καθίσταται πηγή σύμφωνων δευτερογενών σφαιρικών κυμάτων. Τα σφαιρικά αυτά κύματα συμβάλλουν για να αποτελέσουν νέο μέτωπο κύματος (το νέο μέτωπο κύματος είναι η περιβάλλουσα των μετώπων κύματος αυτών των δευτερογενών πηγών). Τα σφαιρικά αυτά κύματα μπορούν να συμβάλλουν ενισχυτικά, όχι μόνο προς κάθετη με το επίπεδο της σχισμής διεύθυνση (Σχήμα 1α), αλλά και προς άλλες διευθύνσεις (Σχήμα 1β).

Χωρίζουμε το εύρος b της σχισμής σε ένα μεγάλο αριθμό N ίσων τμημάτων, εύρους



Σχήμα 2. (α) Η σχισμή διαιρείται σε N σημειακές πηγές. (β) Η κατανομή της έντασης του φωτός (απεικόνιση περίθλασης) σε πέτασμα που απέχει από τη σχισμή $L \gg b$.

$\Delta y = b/N$ και δημιουργούμε N σύμφωνες σημειακές πηγές (Σχήμα 2α). Επειδή το προσπίπτων επίπεδο κύμα φωτίζει τη σχισμή ομοιόμορφα, το πλάτος ταλάντωσης δA_0 κάθε σημειακής πηγής θα είναι ανάλογο του $b/N = \Delta y$. Κάθε μια από αυτές τις πηγές θα αποτελέσει εστία σφαιρικών κυμάτων. Σε διεύθυνση κάθετη προς το επίπεδο της σχισμής ($\theta = 0$) θα έχουν την ίδια φάση και επομένως θα δημιουργήσουν ένα μέτωπο κύματος που θα διαδοθεί κατά μήκος του άξονα x . Όμως μπορεί να βρεθούν στην ίδια φάση και σε κάποια διεύθυνση που ορίζεται από γωνία θ (Σχήμα 2α) και να δημιουργήσουν μέτωπο κύματος κατά μήκος αυτής της διεύθυνσης.

Το συνολικό πλάτος του κύματος που θα παρατηρηθεί σε κάποιο σημείο ενός πετάσματος που απέχει απόσταση $L \gg b$ από τη σχισμή, θα διαμορφωθεί από το άθροισμα όλων των δA_0 , που όμως μεταβάλλεται ανάλογα με τη διαφορά φάσης $\Delta \phi$ που παρουσιάζει η κάθε μια στοιχειώδης πηγή με τη γειτονική της και προσδιορίζεται κάθε φορά

από τη γωνία θ (Σχήμα 2α). Είναι φανερό επομένως ότι το πλάτος του κύματος που φτάνει σε ένα σημείο P του πετάσματος, εξαρτάται από τη γωνία διάδοσής του θ .

Αποδεικνύεται ότι:

$$A_{\theta} = A_0 \frac{\eta\mu\beta}{\beta} \quad (1)$$

όπου A_0 είναι το πλάτος που παρουσιάζει το μέτωπο κύματος στη σχισμή και

$$\beta = \frac{\pi b \eta \mu \theta}{\lambda} \quad (\text{η μισή διαφορά φάσης μεταξύ των πηγών}) \quad (2)$$

Ως γνωστόν η ένταση του φωτός είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους του και επομένως:

$$I_{\theta} = I_0 \left[\frac{\eta\mu\beta}{\beta} \right]^2 \quad (3)$$

Η γραφική απεικόνιση της σχέσης (3) μας δίνει την κατανομή της έντασης του φωτός, όπως παρατηρείται στο επίπεδο του πετάσματος (Σχήμα 2β). Παρατηρούμε ότι παρουσιάζει μέγιστα και ελάχιστα, που αντιστοιχούν σε ενισχυτική και αποσβεστική συμβολή των κυμάτων που ξεκινούν από τη σχισμή. Επίσης παρατηρούμε ότι η κεντρική φωτεινή ζώνη παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος από αυτό της σχισμής, πράγμα που σημαίνει ότι η δέσμη είναι αποκλίνουσα.

Τα **ελάχιστα** (σημεία μηδενισμού της έντασης) παρατηρούνται στις θέσεις για τις οποίες:

$$\eta\mu\beta = 0 \quad (\theta \neq 0) \quad \text{δηλαδή όταν } \beta = \pm\pi, \pm 2\pi, \pm 3\pi, \dots$$

ή

$$\beta = m\pi \quad \text{όπου } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (4)$$

Από τις σχέσεις (2) και (4) καταλήγουμε τελικά στη σχέση:

$$b\eta\mu\theta = m\lambda \quad \text{ή} \quad \eta\mu\theta = m\lambda/b \quad (\text{ελάχιστα - σκοτεινοί κροσσοί}) \quad (5)$$

Στην περίπτωση όπου $\theta = 0$, δηλαδή το κύμα διαδίδεται κατά μήκος του άξονα x, η διαφορά φάσης μεταξύ των κυμάτων που συμβάλλουν θα είναι μηδέν ($\beta = 0$). Όμως:

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{\eta\mu\beta}{\beta} = 1 \quad \text{και επομένως (από τη σχέση 3)} \quad I_{\theta} = I_0.$$

Άρα **Το κεντρικό μέγιστο βρίσκεται στη διεύθυνση $\theta = 0$**

Επίσης από τη σχέση (5) παρατηρούμε τα εξής:

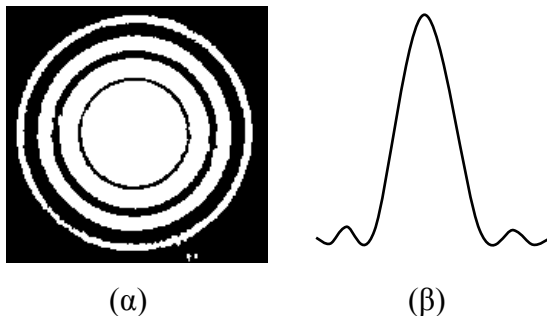
- Για $m = \pm 1$ έχουμε τη γωνία θ του 1^{ου} μηδενισμού της έντασης (εκατέρωθεν του κεντρικού μεγίστου) και η σχέση (5) γίνεται:

$$\eta\mu\theta = \lambda/b \quad (6)$$

- Η απόσταση μεταξύ ελαχίστων είναι λ/b , εκτός των πρώτων ελαχίστων που είναι $2\lambda/b$
- Όσο μεγαλώνει το εύρος b της σχισμής, τόσο μικραίνει η γωνία του 1^{ου} μηδενισμού, πράγμα που σημαίνει ότι θα μικραίνει το εύρος του κεντρικού φωτεινού κροσσού
- Η γωνία του 1^{ου} μηδενισμού είναι ανάλογη του μήκους κύματος λ

1.3 Περίθλαση μέσω οπής

Η απεικόνιση της περίθλασης που δημιουργείται όταν το φως διέρχεται από ένα κυκλικό διάφραγμα, παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον γιατί έχει άμεση σχέση με τη διακριτική ικανότητα των τηλεσκοπίων και άλλων οπτικών οργάνων, δηλαδή με την ικανότητά τους να απεικονίσουν καθαρά το είδωλο ενός αντικειμένου που βρίσκεται υπό παρατήρηση.



Σχήμα 3

Έτσι στην περίπτωση που το επίπεδο κύμα διέρχεται από μια οπή, η απεικόνιση της περίθλασης θα είναι ένας φωτεινός δακτύλιος που θα περιβάλλεται, εναλλάξ, από σκοτεινούς και φωτεινούς δακτυλίους φθίνουσας έντασης (**δακτύλιοι του Airy**) (Σχήμα 3α). Η ακτίνα του κεντρικού δακτυλίου που καλείται **δίσκος του Airy**, αντιστοιχεί στην ακτίνα του πρώτου σκοτεινού δακτυλίου. Σ' αυτή την περιοχή είναι κατανομημένο περίπου το 94 % της έντασης της ακτινοβολίας (βλέπε κατανομή έντασης στο Σχήμα 3β).

Η γωνιακή θέση θ του πρώτου σκοτεινού δακτυλίου (γωνία 1^{ου} μηδενισμού της έντασης), δίνεται από τη σχέση:

Η γωνιακή θέση θ του πρώτου σκοτεινού δακτυλίου (γωνία 1^{ου} μηδενισμού της έντασης), δίνεται από τη σχέση:

$$\eta\mu\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (7)$$

όπου D είναι η διάμετρος της οπής.

1.4 Συμβολή από περίθλαση συμφώνου φωτός σε δυο σχισμές

Στην παράγραφο 1.2 αναλύσαμε την απεικόνιση της περίθλασης κατά την πρόσπτωσηση επίπεδου κύματος σε μια σχισμή. Τι συμβαίνει όμως όταν το κύμα προσπίπτει σε δυο σχισμές που βρίσκονται η μια κοντά στην άλλη;

Θεωρούμε δύο σχισμές εύρους b που απέχουν μεταξύ τους απόσταση d , όπου $d > b$. Η ολική ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε σημείο P που βρίσκεται επάνω σε πέτασμα που απέχει απόσταση $L \gg d$, θα προκύπτει από τη σύνθεση των κυμάτων που προέρχονται από τις δύο σχισμές, η δε ένταση I_θ της ακτινοβολίας θα δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\theta} = 4I_0 \sin^2 \gamma \left[\frac{\eta \mu \beta}{\beta} \right]^2 \quad (8)$$

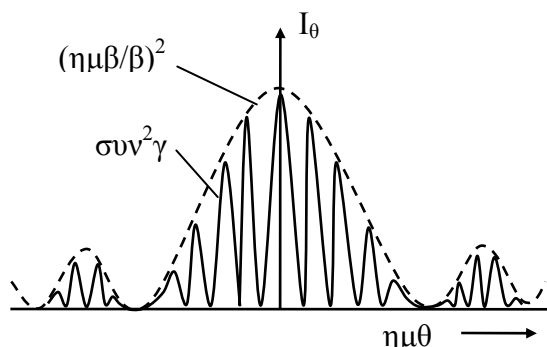
όπου:

$$\gamma = \frac{\pi d \eta \mu \theta}{\lambda} \quad \text{και } \beta \text{ από τη σχέση (2)} \quad (9)$$

Παρατηρούμε ότι η κατανομή της έντασης είναι συνάρτηση δυο παραγόντων: από το $\sin^2 \gamma$ που είναι το αποτέλεσμα της συμβολής από τις δυο σχισμές και από τον όρο $(\eta \mu \beta / \beta)^2$ που είναι το αποτέλεσμα της περίθλασης σε κάθε σχισμή. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα (4) ο όρος της περίθλασης διαμορφώνει (λειτουργεί ως περιβάλλουσα) την απεικόνιση της συμβολής. Επομένως τα ελάχιστα θα συμπέσουν στα σημεία όπου και οι δυο όροι είναι μηδέν, δηλαδή:

$$\text{για } (\eta \mu \beta / \beta)^2 = 0 \text{ και } \sin^2 \gamma = 0 \text{ (σύμπτωση ελαχίστων)} \quad (10)$$

Οι ενδιάμεσοι μηδενισμοί οφείλονται καθαρά στη συμβολή των κυμάτων που προέρχονται από τις δυο σχισμές.



Σχήμα 4. Ο όρος της περίθλασης $(\eta \mu \beta / \beta)^2$ διαμορφώνει την απεικόνιση της συμβολής.

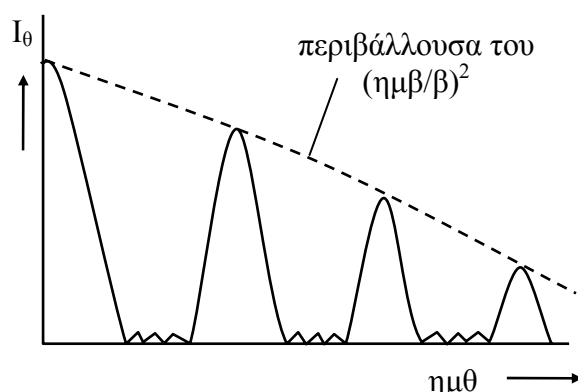
Ο αριθμός των κροσσών συμβολής που θα βρεθούν μέσα στον κεντρικό μέγιστο της περίθλασης, είναι ανεξάρτητος του μήκους κύματος και διαμορφώνεται μόνο από το λόγο d/b . Παρατηρούμε ότι όσο μικραίνει το εύρος b των σχισμών, τόσο αυξάνει το πλάτος του κεντρικού μέγιστου.

1.5 Συμβολή από περίθλαση συμφώνου φωτός σε πολλές σχισμές – φράγματα περίθλασης

Αν θεωρήσουμε την περίπτωση που έχουμε N σχισμές, εύρους b που απέχουν μεταξύ τους απόσταση d , τότε κατά τρόπο αντίστοιχο με τα προηγούμενα, η κατανομή της έντασης θα είναι:

$$I_{\theta} = I_0 \left[\frac{\eta \mu \beta}{\beta} \right]^2 \frac{\eta \mu^2 N \gamma}{\eta \mu^2 \gamma} \quad (11)$$

όπου γ και β όπως και στα προηγούμενα. Η απεικόνιση της τελευταίας σχέσης φαίνεται στο Σχήμα (5).



Σχήμα 5

Τα μέγιστα παρατηρούνται στα σημεία όπου $\eta\mu\gamma = 0$, δηλαδή $\pi d\eta\mu\theta/\lambda = m\pi$ και επομένως :

$$d \eta\mu\theta_m = m\lambda \quad \text{όπου} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (12)$$

Ο όρος $(\eta\mu\beta/\beta)^2$ διαμορφώνει την περιβάλλουσα, που ελαττώνει βαθμιαία, αλλά πολύ αργά, την ένταση των μεγίστων (φωτεινών κροσσών). Όσο δε αυξάνει ο αριθμός N των σχισμών, τόσο οι κορυφές των μεγίστων γίνονται πιο αιχμηρές, με αποτέλεσμα μια διάταξη πολλών σχισμών (φράγμα περίθλασης) να μετατρέπεται σε κανονικό φράγμα συμβολής.

Σημείωση: Στην άσκηση **Laser, 2 παράγρ. 2.2** γίνεται λεπτομερής αναφορά στα οπτικά φράγματα.

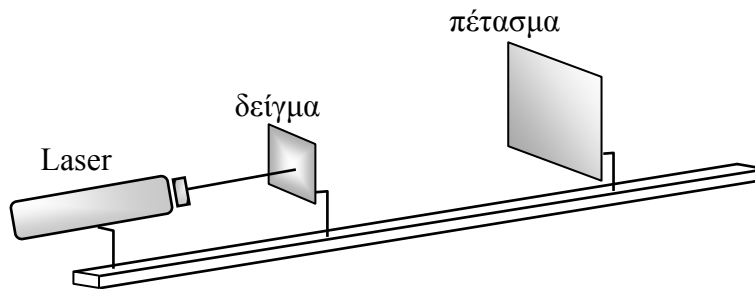
B. ΠΕΙΡΑΜΑ

1. Σκοπός

Το γεγονός ότι οι εφαρμογές των ακτίνων Laser, που έχουν σχέση με διαγνωστικές μεθόδους στην ιατρική στηρίζονται σε φαινόμενα συμβολής και περίθλασης, αποτελεί το ερέθισμα και συγχρόνως το σκοπό για την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής. Εδώ, ο σπουδαστής καλείται να υπολογίσει το μέγεθος σχισμών πολύ μικρών διαστάσεων, διάμετρο κόκκων λυκοποδίου (ένα είδος γύρης με σφαιρικό σχήμα) καθώς επίσης να υπολογίσει τα θεμελιώδη τμήματα λεπτού πλέγματος.

Επίσης, μετά τη θεωρία που προηγήθηκε, ο σπουδαστής είναι σε θέση να κατανοήσει τα αποτελέσματα της συμβολής και της περίθλασης, όταν το φως Laser πέσει σε στρώμα πολύ λεπτών κόκκων ή σε διαφανές φράγμα του οποίου οι αποστάσεις μεταξύ των σχισμών καθώς και το εύρος αυτών είναι πολύ μεγαλύτερο από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας (περίπτωση με πρακτικές εφαρμογές).

2. Πειραματική διαδικασία



Σχήμα 6

Η πειραματική διάταξη (Σχήμα 6) που θα χρησιμοποιηθεί στην άσκηση αυτή αποτελείται από:

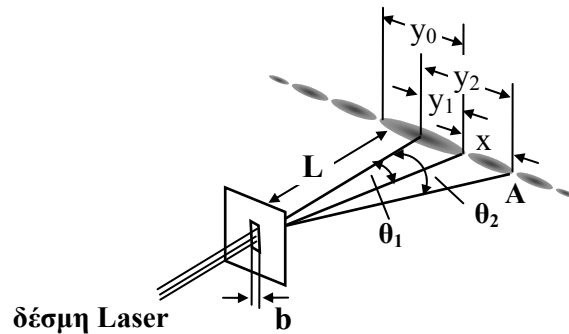
1. Μια συσκευή Laser (π.χ. He-Ne 1 mW)
2. Δύο οπτικά φράγματα διαφορετικών σταθερών
3. Ένα διάφραγμα με λεπτή σχισμή.
4. Μια γυάλινη πλάκα με σκόνη λυκοποδίου
5. Πέτασμα για την απεικόνιση των κροσσών
6. Οπτική τράπεζα για τη στήριξη όλων των παραπάνω εξαρτημάτων
7. Βάση τοποθέτησης των δειγμάτων

Κατά την πειραματική διαδικασία θα παρατηρήσουμε φαινόμενα περίθλασης μέσω σχισμής, μέσω οπής και μέσω οπτικών φραγμάτων και θα προσδιορίσουμε πειραματικά διάφορες σταθερές.

A. Περίθλαση μέσω λεπτής σχισμής

Αν στη βάση τοποθέτησης των δειγμάτων τοποθετήσουμε το πλακίδιο που φέρει λεπτή σχισμή, στο πέτασμα θα παρατηρήσουμε τους κροσσούς περίθλασης, όπως εμφανίζονται στο Σχήμα (7).

Εάν $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ (το μήκος κύματος του Laser He-Ne), L η απόσταση της σχισμής από το πέτασμα και θ η γωνία, στη διεύθυνση της οποίας σχηματίζονται τα ελάχιστα,



Σχήμα 7

τότε από τη σχέση (5) μπορούμε να υπολογίσουμε το εύρος b της σχισμής, δηλαδή: $b \eta\mu\theta = m\lambda \Rightarrow b = m\lambda/\eta\mu\theta$. Όμως για μικρές γωνίες θ , ισχύει προσεγγιστικά $\eta\mu\theta = \epsilon\phi\theta = \theta$ (rad). Από τη γεωμετρία του Σχήματος (7) έχουμε για τη γωνία του 1^{ου} μηδενισμού ($m = 1$):

$\epsilon\phi\theta_1 = \eta\mu\theta_1 = y_1/L$ και επομένως (για $m = 1$):

$$b = \frac{\lambda L}{y_1} \quad (13)$$

Σημειώστε ότι επειδή είναι δύσκολο να μετρήσουμε την απόσταση y_1 , μετράμε την y_0 και επομένως $y_1 = y_0/2$.

Κατά τον ίδιο τρόπο θα υπολογίσουμε το εύρος b της σχισμής, από τη γωνία θ_2 του 2^{ου} μηδενισμού ($m = 2$). Θα έχουμε επομένως:

$$b = \frac{2\lambda L}{y_2} \quad (14)$$

όπου $y_2 = y_1 + x$

B. Περίθλαση μέσω οπής

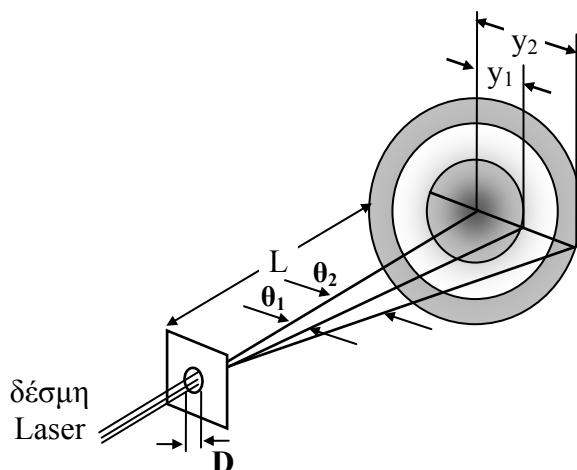
Στη βάση των δειγμάτων θα τοποθετήσουμε ένα γυάλινο πλακίδιο που φέρει σκόνη από κόκκους λυκοποδίου οι οποίοι παρουσιάζουν ιδανικό σφαιρικό σχήμα. Σ' αυτή την περίπτωση το φως δεν περνά από κυκλική οπή, αλλά εμποδίζεται από αντικείμενο σφαιρικής γεωμετρίας και παρουσιάζει απεικόνιση περίθλασης ακριβώς ίδια με αυτή που θα παρατηρούσαμε σε κυκλικό διάφραγμα.

Στο Σχήμα 8 φαίνεται η αντίστοιχη πειραματική διάταξη, όπου δέσμη Laser προσπίπτει κάθετα στο επίπεδο του πλακιδίου που φέρει τους κόκκους. Όπως αναμένεται, η εικόνα της περίθλασης που παρατηρούμε επάνω σε πέτασμα, αποτελείται από έναν κεντρικό κυκλικό φωτεινό δακτύλιο που περιβάλλεται από ένα πλήθος ομόκεντρων σκοτεινών και φωτεινών δακτυλίων.

Αν D η διάμετρος του κόκκου, τότε η γωνία στην οποία σχηματίζονται τα ελάχιστα δίνεται από τη σχέση:

$$\eta\mu\theta_m = \kappa \frac{\lambda}{D} \quad (15)$$

Για τη γωνία του 1^{ου} μηδενισμού η σταθερά $\kappa_1 = 1.22$ και επομένως η (15) γίνεται:



Σχήμα 8

$$\eta\mu\theta_1 = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (16)$$

Αν η απόσταση μεταξύ δείγματος και πετάσματος είναι L , από τη γεωμετρία του Σχήματος (8) και την τελευταία σχέση, υπολογίζουμε τη διάμετρο των κόκκων ως:

$$D = 1.22 \frac{\lambda}{y_1} \sqrt{y_1^2 + L^2} \quad \text{όπου } \lambda = 632.8 \text{ nm} \quad (17)$$

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τη σταθερά κ_2 , η οποία αντιστοιχεί στη γωνία του 2^{ου} μηδενισμού, ως εξής:

Θα θεωρήσουμε ως γνωστή τη διάμετρο D που υπολογίσαμε προηγουμένως και από τη σχέση

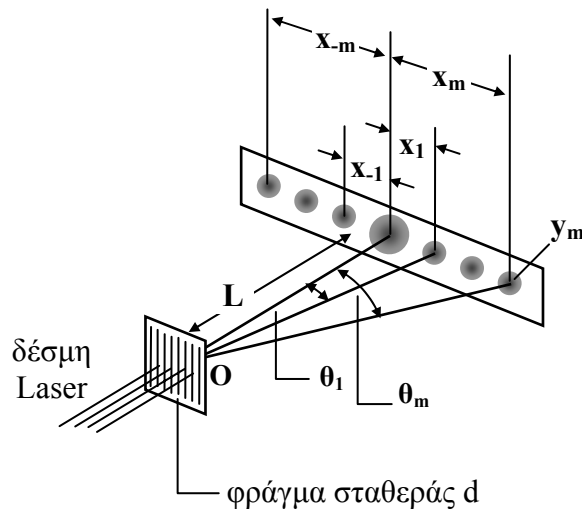
$$\kappa_2 = \frac{D y_2}{\lambda \sqrt{y_2^2 + L^2}} \quad (18)$$

θα υπολογίσουμε το κ_2 .

Γ. Συμβολή φωτός Laser μέσω οπτικού φράγματος

Ένα οπτικό φράγμα είναι ένα διαφανές πλακίδιο που φέρει ένα μεγάλο αριθμό παράλληλων χαραγών ανά μονάδα μήκους, διατεταγμένων σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους ή μια μεταλλική επιφάνεια μεγάλης ανακλαστικότητας, που φέρει αυλακώσεις

(καλείστε να μελετήσετε την παράγραφο 2.2 της άσκησης Laser 2, όπου παρουσιάζεται λεπτομερώς η σχετική ανάλυση των οπτικών φραγμάτων). Εδώ θα χρησι-



Σχήμα 9

μοποιήσουμε φράγματα διάδοσης διαφορετικής πυκνότητας το καθένα και θα υπολογίσουμε τη σταθερά d . Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.

Η εικόνα της συμβολής που παίρνουμε επάνω σε πέτασμα αποτελείται από μια σειρά φωτεινών κηλίδων εκ των οποίων η κεντρική που είναι και πιο έντονη αντιστοιχεί στον κροσσό με $m = 0$ (κροσσός μηδενικής τάξης). Ο αμέσως μετά προς τα δεξιά αντιστοιχεί στον κροσσό με $m = +1$ (κροσσός 1^{ης} τάξης) ενώ ο αμέσως μετά τον κεντρικό, προς τα αριστερά αντιστοιχεί στον κροσσό με $m = -1$ (κροσσός -1 τάξης) κ.ο.κ.

Κατά την απεικόνιση των κροσσών θεωρούμε την απόσταση του κροσσού m – τάξης από τον κεντρικό ως τη μέση τιμή των αποστάσεων των κροσσών y_m και y_{-m} απ' αυτόν, δηλαδή: $y_1 = (x_1 + x_{-1})/2, \dots, y_m = (x_m + x_{-m})/2$

Ο φωτεινός κροσσός m – τάξης σχηματίζεται στη διεύθυνση που προσδιορίζεται από τον τύπο του φράγματος (Άσκηση Laser 2, παρ. 2.2) ως:

$$d \eta \mu \theta_m = m \lambda \quad \text{όπου } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (19)$$

ή

$$\eta \mu \theta_m = m \lambda / d \quad (20)$$

Όμως για μικρές γωνίες θ ($L \gg d$), ισχύει προσεγγιστικά: $\eta \mu \theta = \epsilon \phi \theta = \theta$ (rad). Από τη γεωμετρία του Σχήματος (9) προκύπτει ότι:

$$\eta \mu \theta_m = \epsilon \phi \theta_m = y_m / L \quad (21)$$

και επομένως από τις σχέσεις (20) και (21):

$$d = \frac{m}{y_m} \lambda L \quad (22)$$

Τέλος από την πυκνότητα του φράγματος, θα υπολογίσουμε τη θεωρητική τιμή d και θα βρούμε τη σχετική % απόκλιση της πειραματικής τιμής από αυτή, βάσει της σχέσης:

$$\frac{\delta d}{d} = \frac{|d_{\text{πειραμ.}} - d_{\text{θεωρητ.}}|}{d_{\text{πειραμ.}}} \times 100 \quad (23)$$

Αν αντικαταστήσουμε το φράγμα σταθεράς d με άλλο μεγαλύτερης σταθεράς d' ($d' > d$), το φράγμα με τη μεγαλύτερη σταθερά d' θα έχει λιγότερες γραμμές ανά mm από το προηγούμενο. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι οι φωτεινοί κροσσοί πυκνώνουν και εμφανίζονται στον ίδιο χώρο του πετάσματος, πολλοί περισσότεροι.

3. Εργασίες

A. Μέτρηση του εύρους της σχισμής ενός διαφράγματος

- A 1. Τοποθετείστε στη θέση του δείγματος διάφραγμα που φέρει κατάλληλη σχισμή.
- A 2. Τοποθετείστε στο πέτασμα χιλιοστομετρικό χαρτί και φωτίστε κάθετα τη σχισμή με φως Laser έτσι ώστε να σχηματιστούν στο πέτασμα οι κροσσοί συμβολής του Σχήματος 7. Σημειώστε επάνω στο χιλιοστομετρικό χαρτί τα όρια του κεντρικού φωτεινού κροσσού (δηλαδή προσδιορίστε το y_0), καθώς και το όριο του πρώτου φωτεινού κροσσού που βρίσκεται δεξιά του κεντρικού (είναι το σημείο A στο Σχήμα 7).
- A 3. Μετρείστε την απόσταση L της σχισμής από το πέτασμα, αφού σβήσετε το Laser.

$$L = \dots\dots\dots \text{ mm}$$

- A 4. Αφαιρέστε το χιλιοστομετρικό χαρτί και μετρείστε επάνω σ' αυτό το μήκος του κεντρικού φωτεινού κροσσού (y_0), καθώς και το μήκος x και υπολογίστε τα μεγέθη y_1 και y_2 . Με βάση τις σχέσεις (13) και (14) και θεωρώντας $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, υπολογίστε το εύρος της σχισμής b για y_1 και y_2 (Πίνακας 1).
- A 5. Σε περίπτωση που ο πρώτος φωτεινός κροσσός, δεξιά του κεντρικού, δεν διακρίνεται, υπολογίστε θεωρητικά την απόσταση y_2 (συμβουλευτείτε το Σχήμα 2β).
- A 6. Γράψτε τις παρατηρήσεις σας.

Πίνακας 1

λ (nm)	
L (mm)	
y_0 (mm)	
y_1 (= $y_0/2$) (mm)	
x (mm)	
y_2 (= $y_1 + x$) (mm)	
$b_1 \left(= \frac{\lambda L}{y_1} \right)$ (mm)	
$b_2 \left(= \frac{2\lambda L}{y_2} \right)$ (mm)	

B. Μέτρηση της διαμέτρου των κόκκων λυκοποδίου

- B 1. Αντικαταστήστε τη σχισμή με το γυάλινο πλακίδιο που φέρει λεπτή στρώση από κόκκους λυκοποδίου. Τοποθετείστε στο πέτασμα νέο χιλιοστομετρικό χαρτί και φωτίστε το πλακίδιο κάθετα, έτσι ώστε να εμφανιστούν στο πέτασμα οι φωτεινοί και σκοτεινοί δακτύλιοι συμβολής του Σχήματος 8.
- B 2. Σημειώστε επάνω στο χιλιοστομετρικό χαρτί τα όρια του κεντρικού φωτεινού κύκλου (άκρα της οριζόντιας διαμέτρου), καθώς και τα όρια του δεύτερου φωτεινού κύκλου (αν διακρίνονται) .
- B 3. Θέστε το Laser εκτός λειτουργίας και μετρήστε την απόσταση L του πετάσματος από το πλακίδιο, καταχωρώντας την τιμή στον Πίνακα 2.

$$L = \dots\dots\dots \text{ mm}$$
- B 4. Μετρήστε στο χιλιοστομετρικό χαρτί την ακτίνα y_1 του κεντρικού κυκλικού φωτεινού κροσσού, καθώς και την y_2 και καταχωρείστε τις τιμές στον Πίνακα 2.
- B 5. Με βάση τη σχέση (17) υπολογίστε τη διάμετρο D των κόκκων λυκοποδίου, στη γωνία του $1^{\text{ου}}$ μηδενισμού. Την τιμή του D καταχωρείστε την στον Πίνακα 2.
- B 6. Επαναλάβετε τις παραπάνω εργασίες για 5 διαφορετικές αποστάσεις L του πετάσματος από το γυάλινο πλακίδιο (μετρήστε μόνο την y_1).
- B 7. Βρείτε τη μέση τιμή D .
- B 8. Υπολογίστε από τη σχέση (18) τη σταθερά κ_2 που αντιστοιχεί στη γωνία του $2^{\text{ου}}$ μηδενισμού, θεωρώντας γνωστή τη μέση τιμή D (προαιρετικά).
- B 9. Γράψτε τις παρατηρήσεις σας.

Πίνακας 2

L_i (mm)	y_{1i} (mm)	y_2 (mm)	D (mm)	κ_2
Μέση τιμή \bar{D}				

Σημείωση: Να φαίνονται οι εργασίες σας

Γ. Μέτρηση της σταθεράς d οπτικού φράγματος

- Γ 1. Τοποθετείστε στη θέση του δείγματος ένα από τα οπτικά φράγματα που διατίθενται στο εργαστήριο και ρυθμίστε ώστε η δέσμη του Laser να προσπίπτει κάθετα. Χρησιμοποιείτε πρώτα το φράγμα με τη μικρότερη σταθερά.
- Γ 2. Τοποθετείστε χιλιοστομετρικό χαρτί στο πέτασμα και απεικονίστε τους κροσσούς περίθλασης (φροντίστε να εμφανιστούν τουλάχιστον πέντε φωτεινές κηλίδες στο πέτασμα).
- Γ 3. Σημειώστε επάνω στο χιλιοστομετρικό χαρτί τη θέση του κεντρικού φωτεινού κροσσού (είναι ο ποιο έντονος), τις θέσεις των πρώτων μέγιστων δεξιά και αριστερά του κεντρικού, τις θέσεις των δεύτερων μέγιστων δεξιά και αριστερά του κεντρικού κ.ο.κ (Σχήμα 9) και θέστε το Laser εκτός λειτουργίας.
- Γ 4. Μετρήστε την απόσταση L του οπτικού φράγματος από το πέτασμα.
 a. $L = \dots\dots\dots$ mm
- Γ 5. Αφαιρέστε από το πέτασμα το χιλιοστομετρικό χαρτί που έχετε σημειώσει τη θέση των κροσσών συμβολής και μετρήστε πάνω σ' αυτό, τις αποστάσεις x_m , x_{-m} των κροσσών συμβολής από τον κεντρικό φωτεινό κροσσό. Η απόσταση y_m θα είναι κάθε φορά η μέση τιμή των x_m , x_{-m} , δηλαδή $y_m = (x_m + x_{-m})/2$.
- Γ 6. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταχωρείστε τα στον Πίνακα 3.
- Γ 7. Για κάθε τιμή του y_m που βρήκατε παραπάνω, και με βάση τη σχέση (22), υπολογίστε τη σταθερά d του πλέγματος. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών καταχωρείστε τα στον Πίνακα 3, καθώς επίσης και τη μέση τιμή d .
- Γ 8. Από την πυκνότητα του φράγματος που δίνει ο κατασκευαστής (δηλαδή τον αριθμό των γραμμών/mm), υπολογίστε θεωρητικά τη σταθερά d και βρείτε τη σχετική % απόκλιση της πειραματικής τιμής που βρήκατε παραπάνω, από αυτή τη θεωρητική τιμή (σχέση 23).
- Γ 9. Αντικαταστήστε το οπτικό φράγμα μ' ένα άλλο, διαφορετικής σταθεράς και επαναλάβετε τις παραπάνω εργασίες για το δεύτερο φράγμα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το δεύτερο φράγμα να καταχωρηθούν στον Πίνακα 4. (Στο φράγμα με τη μεγαλύτερη σταθερά θα εμφανιστούν περισσότεροι κροσσοί συμβολής, έτσι στην περίπτωση αυτή να σημειώσετε 7-9 κροσσούς).
- Γ 10. Τοποθετείστε στο πέτασμα νέο χιλιοστομετρικό χαρτί και διασταυρώστε τα δύο οπτικά φράγματα. Σημειώστε στο χιλιοστομετρικό χαρτί τις θέσεις των κροσσών συμβολής και γράψτε τις παρατηρήσεις σας. Στρίψτε τα φράγματα, τι παρατηρείτε;

Πίνακας 3

m	x_m (mm)	x_{-m} (mm)	y_m (mm)	d (mm)
Μέση τιμή d				

Πίνακας 4

m	x_m (mm)	x_{-m} (mm)	y_m (mm)	d (mm)
Μέση τιμή d				

