

## 5-6. Συμβολή & Περίθλαση του Φωτός I & II

Σελίδα

<b>1. Σκοπός των ασκήσεων</b> .....	1
<b>2. Στοιχεία θεωρίας</b> .....	1
2.1 Συμβολή & Περίθλαση: Εισαγωγικά .....	1
2.1.1 Συμβολή .....	
2.1.2 Περίθλαση .....	
2.2 Παραδείγματα περίθλασης & συμβολής .....	3
2.2.1 Απλή ορθογώνια σχισμή .....	3
2.2.2 Η Αρχή του Babinet .....	5
2.2.3 Περίθλαση-Συμβολή από διπλή σχισμή .....	5
2.2.4 Πολλαπλή σχισμή - Φράγμα περίθλασης .....	7
2.2.5 Κυκλικό άνοιγμα .....	8
2.2.6 Περίθλαση από τετραγωνικό πλέγμα .....	9
<b>3. Πειραματική διάταξη</b> .....	10
<b>4. Πειραματική διαδικασία &amp; ανάλυση μετρήσεων</b> .....	11
4.1 Προσδιορισμός πλάτους απλής σχισμής με μεταβολή της απόστασης σχισμής – οθόνης .....	11
4.2 Προσδιορισμός πλάτους απλής σχισμής με μεταβολή της τάξης $m$ των κροσσών .....	12
4.3 Προσδιορισμός πλάτους εμποδίου ορθογώνιας διατομής με μεταβολή της τάξης $m$ των κροσσών .....	12
4.4 Προσδιορισμός μήκους κύματος πηγής laser με μεταβολή του πλάτους απλής σχισμής .....	12
4.5 Προσδιορισμός της απόστασης δύο σχισμών με μεταβολή της απόστασης διπλής-σχιμής – οθόνης .....	13
4.6 Προσδιορισμός σταθεράς φράγματος περίθλασης .....	13
4.7 Προσδιορισμός μήκους κύματος πηγής laser μέσω φράγματος περίθλασης γνωστής σταθεράς $d$ .....	14
4.8 Προσδιορισμός σταθεράς τετραγωνικού πλέγματος .....	14
4.9 Μελέτη κατανομής έντασης για περίθλαση από απλή σχισμή .....	14
4.10 Μελέτη κατανομής έντασης για περίθλαση από διπλή σχισμή .....	15
4.11 Μελέτη κατανομής έντασης για περίθλαση από κυκλικό άνοιγμα .....	16
<b>5. Βιβλιογραφία</b> .....	16

# Συμβολή & Περίθλαση του Φωτός I & II

## 1. Σκοπός των ασκήσεων.

Στις δύο εργαστηριακές ασκήσεις Συμβολής & Περίθλασης του Φωτός I&II θα εξοικειωθείτε με τα δύο αυτά φαινόμενα κυματικής φύσης χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην ορατή περιοχή του φάσματός τους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας μονοχρωματική ακτινοβολία laser, θα παρατηρήσετε της συμβολή και την περίθλαση που αυτή υφίσταται λόγω της πρόσπτωσής της σε διάφορα αντικείμενα/εμπόδια (απλή και διπλή ορθογώνια σχισμή, ορθογώνιο εμπόδιο, ανοίγματα κυκλικής διατομής, φράγμα περίθλασης, τετραγωνικό πλέγμα). Πρακτικά σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις μέσω αυτών των φαινομένων θα προσδιορίσετε οπτικά τις χαρακτηριστικές διαστάσεις των αντικειμένων οι οποίες, λόγω του μικρού μεγέθους τους, είναι δύσκολο να μετρηθούν απευθείας.

## 2. Στοιχεία θεωρίας.

### 2.1 Συμβολή & Περίθλαση: Εισαγωγικά.

Η συμβολή και η περίθλαση του φωτός είναι φαινόμενα που οφείλονται στην **κυματική** φύση του φωτός (Κυματική Οπτική) και ερμηνεύονται με βάση την κυματική θεωρία του φωτός, δηλαδή την περιγραφή του ως διαδιδόμενης κυματικής διαταραχής μέσω της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας του Maxwell. Το ερμηνευτικό πλαίσιο της Γεωμετρικής Οπτικής, που στηρίζεται στην παραδοχή της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός υπό την μορφή φωτεινών ακτίνων, και χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για την ερμηνεία-περιγραφή των φαινομένων της ανάκλασης και της διάθλασης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα φαινόμενα της συμβολής και της περίθλασης.

Τα φαινόμενα της συμβολής και της περίθλασης είναι αλληλένδετα και σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να διακριθούν τα όρια εφαρμογής του καθενός. Το κύριο κοινό ποιοτικό χαρακτηριστικό τους είναι η χωρική ανακατανομή της έντασης του φωτός και η εμφάνιση μεγίστων και ελαχίστων έντασης της ακτινοβολίας σε καθορισμένες θέσεις. Για την περιγραφή τους εφαρμόζεται η αρχή της γραμμικής επαλληλίας (υπέρθεσης) ενός αριθμού επιμέρους κυμάτων  $\vec{E}_i$  καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο πλάτος και φάση. Η διανυσματική άθροιση τους σε συγκεκριμένη θέση του χώρου μια δεδομένη χρονική στιγμή παράγει το συνιστάμενο κύμα  $\vec{E}(\vec{r}, t)$  (για την περιγραφή του HM κύματος χρησιμοποιήσαμε μόνο την ηλεκτρική συνιστώσα) του οποίου η ένταση  $I(\infty < |\vec{E}(\vec{r}, t)|^2 >_T)$  εμφανίζει μέγιστα και ελάχιστα σε διαφορετικές θέσεις (διαφορετικές τιμές του  $\vec{r}$ ). Αυτή η περιγραφή δικαιολογεί και την ερμηνευτική άποψη ότι το θεμελιώδες φαινόμενο είναι αυτό της συμβολής ενώ η περίθλαση είναι μια ειδική περίπτωση του φαινομένου της συμβολής.

Στις δύο εργαστηριακές ασκήσεις Συμβολής & Περίθλασης I&II θα μελετηθούν διεξοδικά τα φαινόμενα της συμβολής και της περίθλασης κατά την πρόσπτωση μονοχρωματικής ακτινοβολίας laser σε διάφορα αντικείμενα (απλή και διπλή ορθογώνια σχισμή, ορθογώνιο εμπόδιο, ανοίγματα κυκλικής διατομής, φράγμα περίθλασης, τετραγωνικό πλέγμα). Κάποια ακόμη φαινόμενα συμβολής θα μελετηθούν στη μικροκυματική περιοχή του Ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ασκήσεις Οπτικής Μικροκυμάτων I&II) και επίσης χρησιμοποιώντας υπέρηχους (Ακουστική Υπερήχων).

#### 2.1.1 Συμβολή.

Το φαινόμενο της συμβολής παρατηρείται όταν δύο ή περισσότερα HM-κύματα διαδιδόμενα στο ίδιο μέσο συναντηθούν σε ένα σημείο του χώρου ( $\vec{r}$ ) μια δεδομένη χρονική στιγμή ( $t$ ). Η διανυσματική υπέρθεσή τους στο σημείο αυτό είναι δυνατόν, υπό κατάλληλες προϋποθέσεις, να οδηγήσει σε μεταβολές της έντασης του φωτός μεταξύ μιας μέγιστης και μιας ελάχιστης τιμής, η

οποία ενδεχομένως να είναι και μηδενική. Η συμβολή διακρίνεται σε ενισχυτική (όταν τοπικά καταγράφεται μέγιστη φωτεινή ισχύς), αποσβεστική (όταν καταγράφεται ελάχιστη ή και μηδενική φωτεινή ισχύς) και ενδιάμεση (όταν η καταγραφόμενη λόγω συμβολής ισχύς είναι μικρότερη της μέγιστης και μεγαλύτερη της ελαχίστης). Η εμφάνιση των αυξομειώσεων της έντασης του φωτός (**κροσσοί συμβολής**) είναι αποτέλεσμα της χωρικής ανακατανομής της συνολικής έντασης των συμβαλλόντων δεσμών και **δεν** οφείλεται σε φαινόμενα ενίσχυσης ή απόσβεσης της ακτινοβολίας.

Η εμφάνιση φαινομένων συμβολής εξαρτάται από συγκεκριμένα βασικά χαρακτηριστικά των συμβαλλόντων δεσμών φωτός: πρέπει να είναι της ίδιας συχνότητας, να μην έχουν κάθετα μεταξύ τους επίπεδα ταλάντωσης και να είναι χρονικά ή/και χωρικά σύμφωνες. Είναι εξαιρετικά δύσκολο οι συνθήκες αυτές να ικανοποιούνται όταν οι δέσμες προέρχονται από διαφορετικές πηγές φωτός. Αντιθέτως, ικανοποιούνται άμεσα όταν οι συμβάλλουσες δέσμες προέρχονται από διαχωρισμό της ίδιας αρχικής δέσμης από κατάλληλη οπτική διάταξη.

Το φαινόμενο της συμβολής συχνά εμφανίζεται μαζί με την περίθλαση, όπως στην περίπτωση της διπλής σχισμής που θα μελετήσουμε πειραματικά. Εν τούτοις, πρόκειται για αυτοτελές φαινόμενο που παρατηρείται ανεξάρτητα από την εμφάνιση φαινομένων περίθλασης όταν οι συνθήκες είναι κατάλληλες. Η συμβολή συνήθως παράγεται από επανασύνθεση δύο ή περισσοτέρων δεσμών που προέκυψαν από τον διαχωρισμό μιας αρχικής δέσμης φωτός με την παρεμβολή κατάλληλης οπτικής διάταξης. Φαινόμενα συμβολής από σύνθεση δύο δεσμών παράγουμε σε διατάξεις όπως το συμβολόμετρο Young, το συμβολόμετρο Michelson (θα το μελετήσετε στην μικροκυματική περιοχή) κ.λ.π. Συμβολή πολλαπλών δεσμών συναντάται στο συμβολόμετρο Fabry-Perot (θα το μελετήσουμε επίσης στην μικροκυματική περιοχή), στο οπτικό φράγμα περίθλασης (θα το χρησιμοποιήσουμε στην παρούσα άσκηση) κ.λ.π.

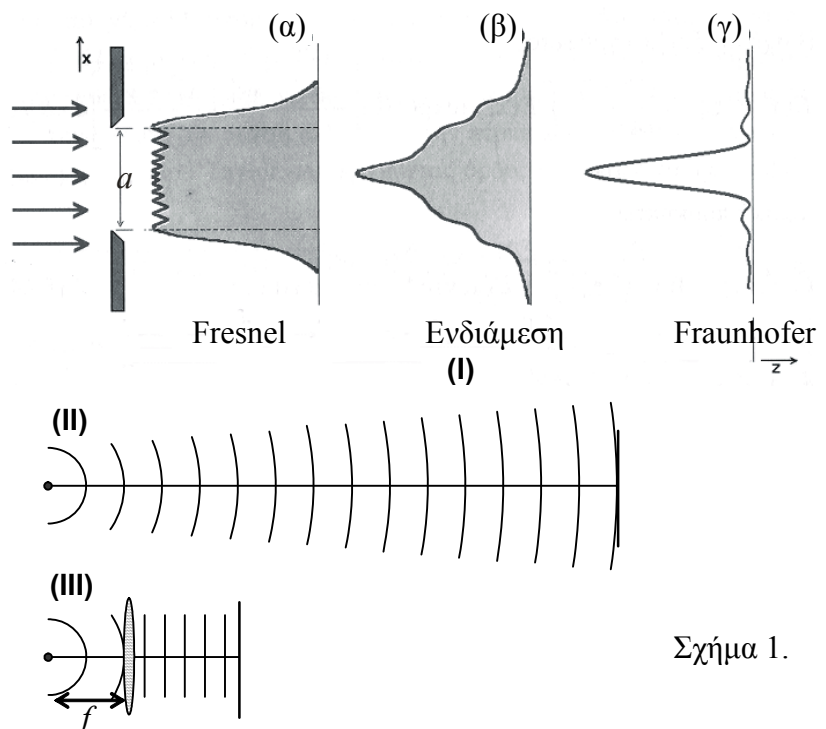
### 2.1.2 Περίθλαση.

Το φαινόμενο της περίθλασης είναι η απόκλιση μιας φωτεινής δέσμης από την ευθύγραμμη διάδοση όταν συναντήσει ένα άνοιγμα ή εμπόδιο. Η αλλαγή της πορείας της δέσμης (που **δεν** σχετίζεται με το φαινόμενο της διάθλασης και **δεν** ερμηνεύεται στα πλαίσια της Γεωμετρικής Οπτικής) συνοδεύεται από χωρική ανακατανομή της έντασης της δέσμης με την εμφάνιση μεγίστων και ελαχίστων έντασης σε διάφορες διευθύνσεις του χώρου ως προς την αρχική διεύθυνση της δέσμης και τη θέση του εμποδίου. Αυτές οι εναλλασσόμενες φωτεινές και σκοτεινές περιοχές είναι γνωστές με τον όρο **κροσσοί περίθλασης**.

Διακρίνουμε δύο κατηγορίες φαινομένων περίθλασης:

**(α) Περίθλαση Fresnel:** η φωτεινή πηγή και το σημείο παρατήρησης βρίσκονται πολύ κοντά στο αντικείμενο που προκαλεί την περίθλαση. Τόσο τα προσπίπτοντα όσο και τα περιθλώμενα κύματα είναι σφαιρικά (σχήμα 1(α)). Η πλήρης θεωρητική περιγραφή αυτού του είδους περίθλασης είναι περίπλοκη.

**(β) Περίθλαση Fraunhofer:** η φωτεινή πηγή και το σημείο παρατήρησης βρίσκονται πολύ μακριά από το αντικείμενο που προκαλεί την περίθλαση. Τόσο τα προσπίπτοντα όσο και τα περιθλώμενα κύματα μπορούν να



Σχήμα 1.

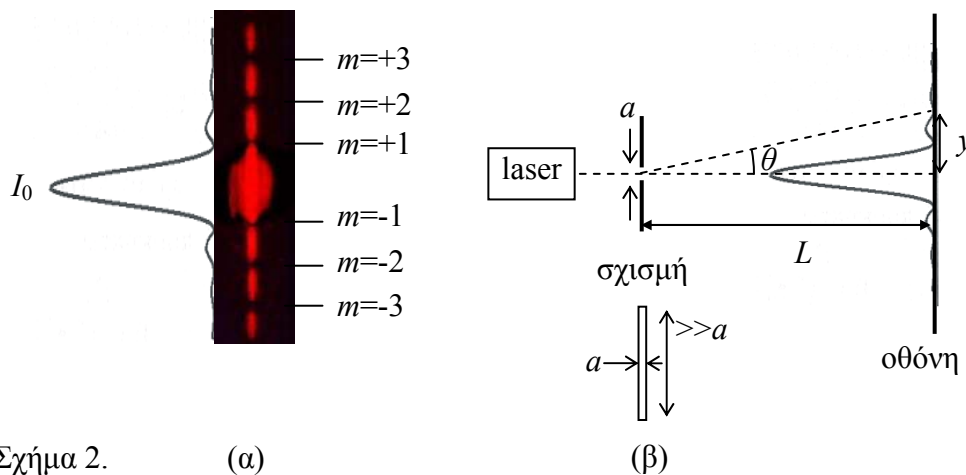
θεωρηθούν επίπεδα (σχήματα 1(Iγ) & 1(II)) και η θεωρητική περιγραφή απλοποιείται σημαντικά. Εάν ο διαθέσιμος χώρος είναι περιορισμένος οι συνθήκες για παρατήρηση περίθλασης Fraunhofer υλοποιούνται με την χρήση κατάλληλα τοποθετημένων συγκεντρωτικών φακών (σχήμα. 1(III)).

Στις εργαστηριακές ασκήσεις Συμβολής & Περίθλασης I & II θα ασχοληθούμε μόνο με περίθλαση Fraunhofer χωρίς την χρήση βοηθητικών συγκεντρωτικών φακών. Αυτό επιτυγχάνεται αφ' ενός με την χρήση πηγής laser που παράγει έντονη, μονοχρωματική, κατευθυντική και παράλληλη φωτεινή δέσμη και αφετέρου αντικειμένων (ανοιγμάτων, εμποδίων) πολύ μικρών διαστάσεων σε σχέση με τις υπόλοιπες διαστάσεις της διάταξης. Για την εμφάνιση περίθλασης Fraunhofer είναι επιπλέον απαραίτητο να ισχύει ότι  $a \geq \lambda$ , όπου  $\lambda$  το μήκος κύματος της μονοχρωματικής δέσμης και  $a$  η μικρότερη διάσταση του παρεμβαλλόμενου αντικειμένου. Θα δικαιολογήσουμε την συνθήκη αυτή παρακάτω.

## 2.2 Παραδείγματα περίθλασης & συμβολής.

### 2.2.1 Απλή ορθογώνια σχισμή.

Θεωρήστε παράλληλη μονοχρωματική δέσμη laser μήκους κύματος  $\lambda$  που προσπίπτει κάθετα σε ορθογώνια λεπτή σχισμή πλάτους  $a$  ( $> \lambda$ ) και μήκους πολύ μεγαλύτερου από  $a$ . Τότε, σε οθόνη που απέχει απόσταση  $L$  από τη σχισμή καταγράφεται σχηματισμός περίθλασης που αποτελείται από εναλλασσόμενες φωτεινές και σκοτεινές περιοχές (σχήμα 2).



Σχήμα 2.

(α)

(β)

Η ένταση της ακτινοβολίας στις διάφορες θέσεις του σχηματισμού περίθλασης δίνεται από την έκφραση:

$$I(\theta) = I_0 \left( \frac{\sin \pi \xi}{\pi \xi} \right)^2, \quad \xi = \frac{a}{\lambda} \sin \theta \quad (1)$$

Στην εξίσωση (1) η γωνία  $\theta$  προσδιορίζει τη θέση παρατήρησης του σχηματισμού περίθλασης ως προς το κέντρο της σχισμής (σχήμα 2). Για κάθε σημείο παρατήρησης πάνω στην οθόνη εκφράζεται μέσω της σχέσης,

$$\sin \theta = \frac{y}{\sqrt{y^2 + L^2}} \quad (2\alpha)$$

όπου  $y$  η απόσταση πάνω στην οθόνη του σημείου παρατήρησης από το κέντρο του σχηματισμού περίθλασης, που βρίσκεται ακριβώς απέναντι από το κέντρο της σχισμής. Για μικρές γωνίες όμως ( $\theta < \sim 5^\circ$ ) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την προσέγγιση  $\sin \theta \sim \tan \theta \sim \theta$  ( $\theta$  εκφρασμένη σε rad) οπότε

$$\sin \theta \approx \frac{y}{L} \quad (2\beta)$$

Στο κέντρο του σχηματισμού περίθλασης καταγράφεται η μέγιστη ένταση που είναι ίση με  $I_0$ . Στο σημείο αυτό ( $\xi=0$ ,  $\theta=0$ ) η παράσταση  $[\sin(\pi \xi)/(\pi \xi)]^2$  (που ονομάζεται **παράγοντας περίθλασης**)

έχει μέγιστο ίσο με το 1. Ποιοτικά, ο σχηματισμός περίθλασης αποτελείται από ένα έντονο κύριο μέγιστο και πολλά ασθενή δευτερεύοντα μέγιστα μεταξύ των οποίων εμφανίζονται σημεία μηδενικής έντασης (ελάχιστα έντασης). Οι θέσεις αυτών των **ελαχίστων περίθλασης** προσδιορίζονται από την σχέση,

$$a \sin \theta_m = m\lambda, \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (3)$$

Παρατηρείστε ότι ο ακέραιος δείκτης  $m$  (αποκαλείται και **τάξη** του ελαχίστου), που αριθμεί τα ελάχιστα **δεν** λαμβάνει την τιμή 0, που αντιστοιχεί στη θέση του κύριου μεγίστου και όχι σε θέση ελαχίστου. Οι ίδιας απόλυτης τιμής θετικές και αρνητικές τιμές του δείκτη (π.χ. +1 και -1) αντιστοιχούν σε θέσεις ελαχίστων συμμετρικές ως προς το κύριο μέγιστο (σχήμα 2(α)). Αντιστοίχως, οι θέσεις των **δευτερευόντων μεγίστων περίθλασης** προσδιορίζονται από την σχέση,

$$\zeta = \pm 1.430, \pm 2.459, \pm 3.471, \pm 4.479, \dots \quad (4)$$

Μια χρήσιμη *προσεγγιστική* σχέση για τις θέσεις των δευτερευόντων μεγίστων είναι η επόμενη,

$$a \sin \theta'_m \approx (|m| + 1/2)\lambda, \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (5)$$

Η σχέση αυτή γίνεται ακριβέστερη όσο αυξάνει η τάξη  $m$  του δευτερευόντος μεγίστου, όπως προκύπτει από την άμεση σύγκριση των (4) και (5).

Χρησιμοποιώντας την (5) στην (1) είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε την ένταση των δευτερευόντων μεγίστων ως προς την ένταση του κύριου μεγίστου. Προκύπτει η έκφραση,

$$I_m = I_0 \left( \frac{\sin(|m| + 1/2)\pi}{(|m| + 1/2)\pi} \right)^2, \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6)$$

Οι τιμές που προκύπτουν για τα διάφορα δευτερεύοντα μέγιστα φαίνονται στον πίνακα 1.

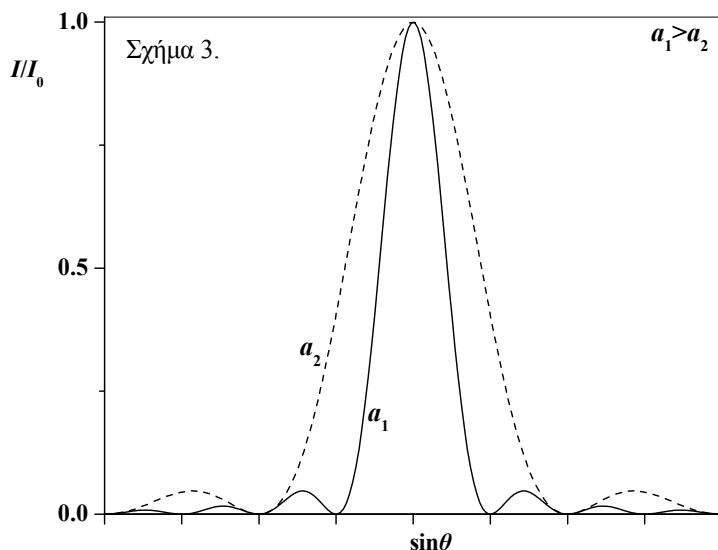
Πίνακας 1.	
$ m $	$I_m/I_0$
1	0.045
2	0.016
3	0.008
4	0.005

Όπως γίνεται φανερό από τα παραπάνω αριθμητικά αποτελέσματα, τα δευτερεύοντα μέγιστα είναι εξαιρετικά ασθενή και πρακτικά όλη η ένταση του σχηματισμού περίθλασης είναι συγκεντρωμένη στην περιοχή γύρω από το κύριο μέγιστο και μεταξύ των ελαχίστων 1<sup>ης</sup> τάξης.

Διερευνώντας την (1) διαπιστώνουμε ότι για δεδομένη τιμή του λόγου  $a/\lambda$  και λόγω του ότι  $|\sin \theta_m| \leq 1$ , ο μέγιστος αριθμός κροσσών περίθλασης είναι καθορισμένος από την συνθήκη,

$$|m| \leq \frac{a}{\lambda}. \quad (7)$$

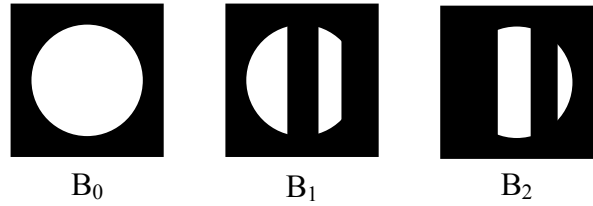
Από την ίδια διερεύνηση προκύπτει ότι όταν  $\lambda > a$  είναι αδύνατος ο σχηματισμός περίθλασης με εναλλασσόμενες φωτεινές και σκοτεινές περιοχές και η κατανομή της έντασης του φωτός μετά την σχισμή έχει ένα μόνο μέγιστο για  $\theta=0$  ενώ μειώνεται ομαλά καθώς το  $|\theta|$  αυξάνεται προς την τιμή  $\pi/2$ . Η ίδια συλλογιστική μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για δεδομένα  $\lambda$  και  $L$  το κεντρικό μέγιστο γίνεται οξύτερο καθώς το πλάτος τη σχισμής  $a$  αυξάνεται ενώ τα ελάχιστα περίθλασης πλησιάζουν προς το κεντρικό μέγιστο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Αντίστοιχη διερεύνηση μπορεί να γίνει και για το



μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (για σταθερό πλάτος σχισμής).

### 2.2.2 Η Αρχή του Babinet.

Θεωρούμε ένα κυκλικό άνοιγμα σε μια αδιαφανή οθόνη ως μια οπτική διάταξη περίθλασης ( $B_0$ , σχήμα 4). Με βάση αυτήν την διάταξη κατασκευάζουμε δύο νέες οπτικές διατάξεις περίθλασης  $B_1$  και  $B_2$  που θα τις ονομάζουμε **συμπληρωματικές** εάν οι διαφανείς περιοχές της πρώτης είναι αδιαφανείς στην δεύτερη και αντιστρόφως.



Σχήμα 4.

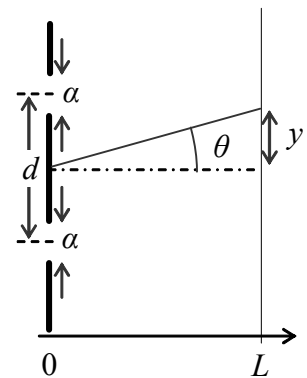
Τα πεδία που παράγονται λόγω περίθλασης σε τυχόν σημείο παρατήρησης  $P$  από τις τρεις διατάξεις του σχήματος 4 μπορεί με εντελώς γενικό τρόπο να αποδειχθεί ότι ικανοποιούν την σχέση,  $E_0(P) = E_1(P) + E_2(P)$ , που αποτελεί την μαθηματική έκφραση της αρχής του Babinet. Στην ειδική περίπτωση που το  $E_0(P) = 0$  για κάθε θέση  $P$  (π.χ. ένα πλήρως αδιαφανές πέτασμα) προκύπτει ότι  $E_1(P) = -E_2(P)$  και συνεπώς  $I_1(P) = I_2(P)$ , αφού  $|E_1|^2 = |-E_2|^2$  και  $I \propto |E|^2$ . Με άλλα λόγια, στην περίπτωση αυτή οι συμπληρωματικές διατάξεις παράγουν τον ίδιο σχηματισμό περίθλασης Fraunhofer. Ένα παράδειγμα συμπληρωματικών οπτικών διατάξεων περίθλασης για τις οποίες η προηγούμενη ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί, είναι μια ορθογώνια σχισμή πλάτους  $a$  πάνω σε αδιαφανές πέτασμα και ένα ορθογώνιο εμπόδιο ίδιου πλάτους πάνω σε διαφανές πέτασμα. Αυτό το τελευταίο μπορεί να υλοποιηθεί με ένα κατακόρυφο συμπαγές σύρμα (ή και μια τρίχα από τα μαλλιά σας). Όταν αυτό το εμπόδιο παρεμβληθεί κάθετα στην πορεία μιας δέσμης laser θα παράγει σχηματισμό περίθλασης όμοιο με αυτόν ορθογώνιας σχισμής πλάτους ίσου με το πλάτος του σύρματος. Η ταυτότητα των σχηματισμών περίθλασης είναι πλήρης εκτός από μια μικρή περιοχή περί το κεντρικό μέγιστο η οποία στην περίπτωση του εμποδίου είναι εντονότερη. Αυτό το αποτέλεσμα μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε για να προσδιορίσουμε με μετρήσεις περίθλασης την άγνωστη διάμετρο του σύρματος, εφαρμόζοντας στις πειραματικές μας μετρήσεις την ανάλυση που ισχύει για περίθλαση από απλή σχισμή.

### 2.2.3 Περίθλαση-Συμβολή από διπλή σχισμή.

Θεωρούμε παράλληλη μονοχρωματική δέσμη laser που προσπίπτει κάθετα σε **διπλή σχισμή πλάτους  $a$  και απόστασης  $d$** , δηλαδή σε μια οπτική διάταξη περίθλασης που αποτελείται από δύο πανομοιότυπες λεπτές σχισμές πλάτους  $a$  και μήκους πολύ μεγαλύτερου από  $a$  η καθεμία, που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και των οποίων τα κέντρα απέχουν απόσταση  $d$  (σχήμα 5). Η γωνιακή κατανομή της έντασης ακτινοβολίας πίσω από την διπλή σχισμή δίνεται από την έκφραση,

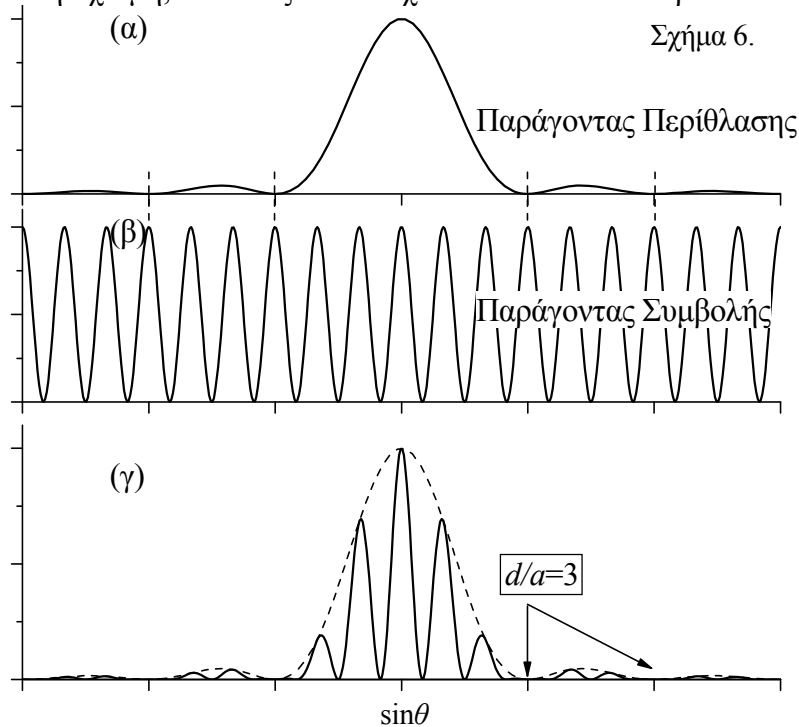
$$I(\theta) = 4I_0 \left( \frac{\sin \pi \xi}{\pi \xi} \right)^2 (\cos \pi \beta)^2, \quad \xi = \frac{a}{\lambda} \sin \theta, \quad \beta = \frac{d}{\lambda} \sin \theta \quad (8)$$

Η γωνία  $\theta$  ορίζεται ακριβώς όπως και στην περίπτωση της απλής σχισμής. Η μέγιστη ένταση ορίζεται ως  $4I_0$  και αντιστοιχεί στη θέση  $\theta=0$  που ισοδυναμεί με  $\xi=0$  και  $\beta=0$ . Ο παράγοντας  $[\sin(\pi \xi)/(\pi \xi)]^2$  είναι ο ήδη γνωστός μας **παράγοντας περίθλασης** ενώ ο παράγοντας  $(\cos \pi \beta)^2$  ονομάζεται **παράγοντας συμβολής**. Το γινόμενο των δύο αυτών παραγόντων καθορίζει την διαμόρφωση του σχηματισμού περίθλασης από την διπλή σχισμή. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 6(γ) ο σχηματισμός αποτελείται από κροσσούς συμβολής λόγω της παρουσίας των δύο σχισμών (συνεχής γραμμή) διαμορφωμένους από μια περιβάλλουσα (διακεκομμένη γραμμή) που αντιστοιχεί στην περίθλαση από απλή σχισμή. Συνεπώς η τελική κατανομή έντασης είναι το αποτέλεσμα συμβολής διαμορφωμένης από την περίθλαση. Ποιοτικά, ο σχηματισμός περίθλασης αποτελείται από εναλλασσόμενους φωτεινούς και σκοτεινούς κροσσούς συμμετρικά κατανεμη-



Σχήμα 5.

μένους γύρω από τον έντονο κεντρικό κροσσό. Εφ' όσον ο παράγοντας περίθλασης είναι ακριβώς ο ίδιος με αυτόν για απλή σχισμή, οι θέσεις των ελαχίστων και των δευτερευόντων μεγίστων



Σχήμα 6.

περίθλασης θα προσδιορίζονται από τις σχέσεις που έχουμε ήδη αναλύσει προηγουμένως. Επομένως, θα αναλύσουμε μόνο τις θέσεις των μεγίστων και ελαχίστων συμβολής που καθορίζονται από τον παράγοντα συμβολής. Συγκεκριμένα, τα **μέγιστα** συμβολής προσδιορίζονται από την σχέση

$$d \sin \theta_k = k \lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (9)$$

ενώ τα σημεία στα οποία μηδενίζεται ο παράγοντας συμβολής αντιστοιχούν στα **ελάχιστα** συμβολής που δίνονται από την συνθήκη,

$$d \sin \theta_k = (k + 1/2) \lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (10)$$

Μια γραφική αναπαράσταση του παράγοντα συμβολής εικονίζεται στο σχήμα 6(β) για την ειδική περίπτωση όπου  $d/a=3$ . Ο παράγοντας συμβολής περιγράφει περιοδική διάταξη ισοϋψών κροσσών συμβολής με μέγιστα και ελάχιστα σε θέσεις που ορίζονται από τις (9) και (10). Αντιθέτως, ο παράγοντας περίθλασης, που απεικονίζεται για τις ίδιες τιμές των παραμέτρων στο σχήμα 6(α), έχει το γνωστό από την περίπτωση της απλής σχισμής σχήμα. Το γινόμενο τους που περιγράφει τον σχηματισμό περίθλασης από την διπλή σχισμή εικονίζεται στο σχήμα 6(γ). Από το σχήμα αυτό είναι φανερό ότι θέσεις για τις οποίες ο παράγοντας συμβολής έχει μέγιστο αλλά ο παράγοντας περίθλασης ελάχιστο αντιστοιχούν σε θέσεις ελαχίστου για την γωνιακή κατανομή της περίθλασης από διπλή σχισμή. Έτσι η συνθήκη για την ταύτιση ενός μεγίστου συμβολής με ένα ελάχιστο περίθλασης είναι η ακόλουθη,

$$\frac{d}{a} = \frac{k}{m}, \quad k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (11)$$

Στην περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι ακέραιος,  $k/m=n$ , στις θέσεις των ελαχίστων περίθλασης τάξης  $m$  ΔΕΝ θα εμφανίζεται το μέγιστο συμβολής τάξης  $k = m \cdot n$ . Η διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων διευκολύνεται πολύ όταν ο λόγος  $(k/m)$  είναι ακέραιος και η τιμή του σχετικά μικρή, π.χ. 3, όπως στο σχήμα 6.

Ο μέγιστος αριθμός κροσσών συμβολής προσδιορίζεται από την συνθήκη

$$|k| \leq \frac{d}{\lambda} \quad (12)$$

Σε αντίθεση με την περίπτωση της περίθλασης από απλή σχισμή οι κροσσοί συμβολής από διπλή σχισμή μπορεί να έχουν εντάσεις συγκρίσιμες με αυτήν του κεντρικού μεγίστου (σχήμα 6(γ)). Επιπλέον, ο αριθμός τους μεταξύ του κεντρικού μεγίστου και του 1<sup>ου</sup> ελαχίστου περίθλασης αυξάνει όσο ο λόγος  $d/a$  αυξάνει ενώ τα αντίστοιχα μέγιστα γίνονται οξύτερα.

### 2.2.4 Πολλαπλή σχισμή - Φράγμα περιθλασης.

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε θεωρητικά και πειραματικά με τον σχηματισμό περίθλασης από απλή ( $M=1$ ) και διπλή σχισμή ( $M=2$ ). Εάν θεωρήσουμε ότι μονοχρωματική δέσμη laser ακτινοβολεί **κάθετα** γραμμική διάταξη πολλαπλής σχισμής που αποτελείται από  $M$  το πλήθος όμοιες παράλληλες ορθογώνιες σχισμές πλάτους  $a$  ισαπέχουσες μεταξύ τους κατά σταθερή απόσταση  $d$ , τότε η γωνιακή κατανομή της έντασης της κατά Fraunhofer περιθλώμενης ακτινοβολίας δίνεται από την σχέση,

$$I(\theta) = I_0 \left[ \frac{\sin \pi \xi}{\pi \xi} \right]^2 \left[ \frac{\sin(\pi M \beta)}{\sin \pi \beta} \right]^2 \quad (13)$$

όπου

$$\xi = \frac{a}{\lambda} \sin \theta \quad (14)$$

και

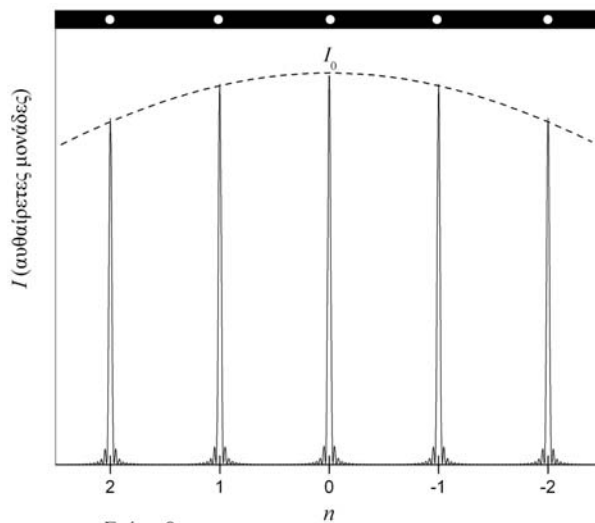
$$\beta = \frac{d}{\lambda} \sin \theta \quad (15)$$

Οι ποσότητες  $\xi$  και  $\beta$  σας είναι ήδη γνωστές από την μελέτη σχηματισμού περίθλασης από διπλή σχισμή. Κατ' αναλογία προς την ορολογία που χρησιμοποιήσαμε και στην περίπτωση της διπλής σχισμής, ο όρος  $[\sin(\pi \xi)/(\pi \xi)]^2$  στην (13) ονομάζεται παράγων περίθλασης ενώ ο όρος  $[\sin(\pi M \beta)/(\sin \pi \beta)]^2$  ονομάζεται παράγων συμβολής. Όταν ο αριθμός των σχισμών είναι πολύ μεγάλος ( $M \rightarrow \infty$ ) η διάταξη ονομάζεται **φράγμα περίθλασης** και η παράμετρος  $d$  ονομάζεται σταθερά φράγματος.

Ο σχηματισμός περίθλασης από πολλαπλή σχισμή καθορίζεται από τις γεωμετρικές παραμέτρους  $a$ ,  $d$ ,  $M$  και το μήκος κύματος  $\lambda$  της πηγής laser. Τα ελάχιστα και μέγιστα περίθλασης καθορίζονται από τις ίδιες ακριβώς συνθήκες όπως και για περίθλαση από απλή σχισμή δεδομένου ότι ο παράγων περίθλασης δεν εξαρτάται από το  $M$  αλλά μόνο από τις παραμέτρους  $a$  και  $\lambda$ . Αντιθέτως, οι συνθήκες για τα μέγιστα και τα ελάχιστα συμβολής εξαρτώνται από τον αριθμό των  $M$  σχισμών. Για το φράγμα περίθλασης ( $M \rightarrow \infty$ ) μπορούμε με πολύ καλή προσέγγιση να θεωρήσουμε ότι τα δευτερεύοντα μέγιστα εκλείπουν (σχήμα 8) και ότι έχουμε μόνο κύρια μέγιστα συμβολής των οποίων οι θέσεις προσδιορίζονται από την συνθήκη,

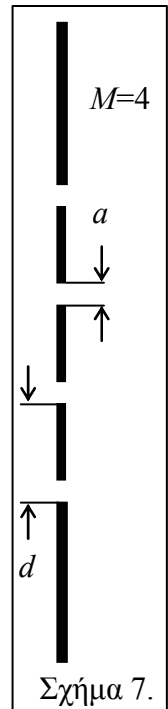
$$d \sin \theta_n = n \lambda, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (16)$$

Στην περίπτωση του φράγματος η ένταση των μεγίστων ουσιαστικά ταυτίζεται με αυτή του κεντρικού μεγίστου (σχήμα 8).



Σχήμα 8.

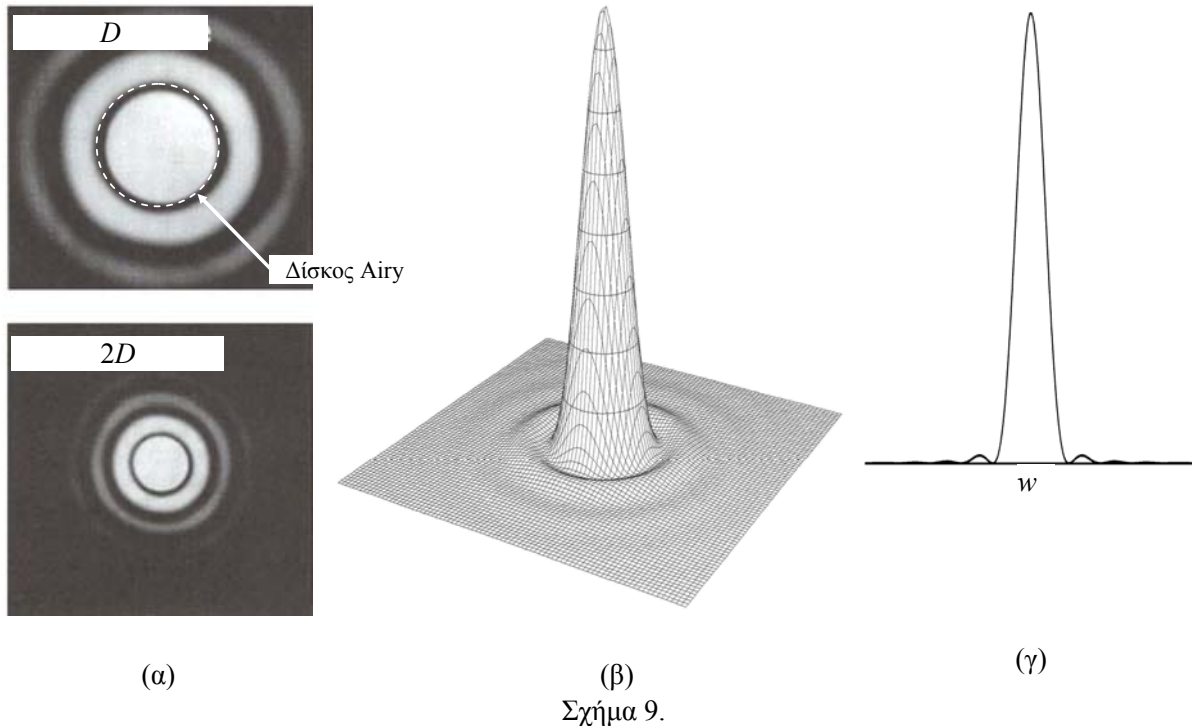
Είναι σημαντικό να προσέξουμε ότι κατά την εκτέλεση πειραματικών μετρήσεων όταν καταγράφουμε τις θέσεις μεγίστων υψηλής σχετικά τάξης ενδέχεται η προσέγγιση  $\sin \theta \sim \tan \theta \sim \theta$  να μην ισχύ-



ει. Στην περίπτωση αυτή, η πειραματική ανάλυση των μετρήσεων (στην οποία θα αναφερθούμε διεξοδικότερα παρακάτω) πρέπει να βασισθεί στην ακριβή έκφραση (2α) αντί της (2β).

### 2.2.5 Κυκλικό άνοιγμα.

Μια απλή αλλά σημαντική διάταξη για σχηματισμό περίθλασης αποτελείται από ένα κυκλικό άνοιγμα διαμέτρου  $D$  πάνω σε αδιαφανή οθόνη. Όταν φωτιστεί με δέσμη laser προκύπτει σχηματισμός περίθλασης κυλινδρικά συμμετρικός ως προς τον άξονα που διέρχεται από το κέντρο του ανοίγματος και είναι κάθετος στην οθόνη παρατήρησης. Στο σχήμα 9 απεικονίζονται φωτογραφίες του σχηματισμού περίθλασης (για δύο διαμέτρους), τρισδιάστατη αναπαράσταση και δισδιάστατη προβολή της. Η θεωρητική κατανομή της έντασης ακτινοβολίας για περίθλαση από κυκλικό



Σχήμα 9.

άνοιγμα δίνεται από την έκφραση,

$$I(\theta) = I_0 \left[ \frac{2J_1(\pi w)}{\pi w} \right]^2 \quad (17)$$

όπου,  $I_0$  η μέγιστη ένταση του σχηματισμού που καταγράφεται για  $\theta=0$ ,  $J_1(x)$  η συνάρτηση Bessel πρώτου είδους τάξης 1 και

$$w = \frac{D}{\lambda} \sin \theta . \quad (18)$$

Για μικρές τιμές του ορίσματος η  $J_1(\pi w)$  είναι ποιοτικά παρόμοια με την  $\sin(\pi w)/(\pi w)$  οπότε παρόμοιες είναι και οι συνθήκες που δίνουν τις θέσεις μεγίστων και ελαχίστων. Οι θέσεις αυτές όμως δεν αντιστοιχούν σε ακέραιες τιμές του δείκτη  $m$  μια και προσδιορίζονται από τα δευτερεύοντα μέγιστα και τις ρίζες της συνάρτησης Bessel αντίστοιχα (που έχουν υπολογισθεί αριθμητικά και είναι καταγεγραμμένες σε σχετικούς πίνακες). Για τα ελάχιστα π.χ. έχουμε,

$$m = \pm 1.22, \pm 2.233, \pm 4.241 \pm 5.243, \dots \quad (19)$$

Μπορούμε παρ' όλα αυτά, τουλάχιστον για τα ελάχιστα, να χρησιμοποιήσουμε μία εύχρηστη προσεγγιστική σχέση με ακέραιο δείκτη που γράφεται,

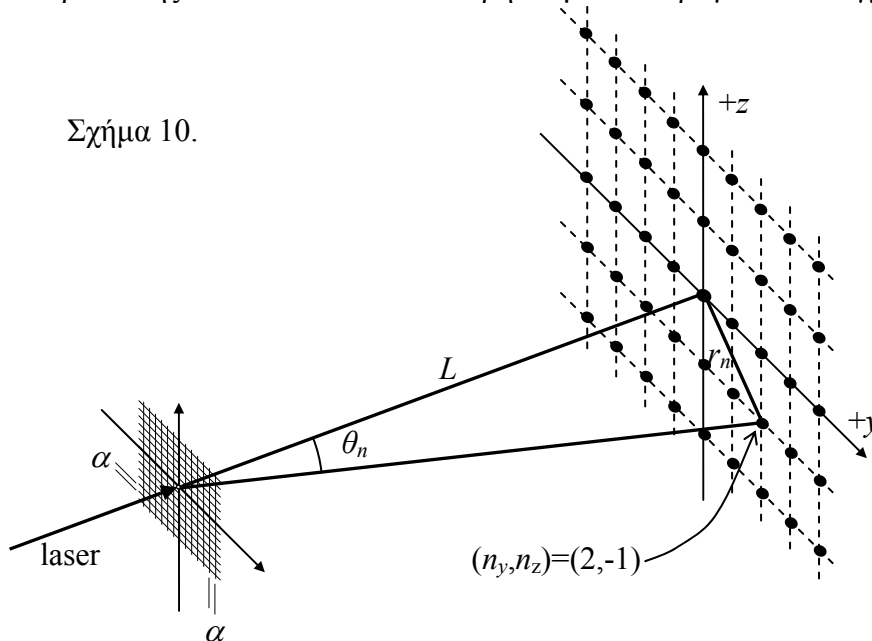
$$D \sin \theta_m \approx (|m| + 0.22) \lambda , \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (20)$$

Να σημειωθεί ότι η ένταση του σχηματισμού περίθλασης που περικλείεται από το πρώτο ελάχιστο (ο λεγόμενος δίσκος του Airy – σχήμα 9(α)) αντιστοιχεί στο 84% της συνολικής έντασης του σχηματισμού ενώ το υπόλοιπο 14% κατανέμεται μεταξύ των φωτεινών δακτυλίων. Τέλος, τα δευτε-

ρεύοντα μέγιστα είναι ιδιαίτερα αμυδρά. Μάλιστα είναι πολύ αμυδρότερα απ' ό τι στην περίπτωση της απλής σχισμής, γεγονός που καθιστά την καταγραφή τους τεχνικώς δυσχερέστερη.

### 2.2.6 Περίθλαση από τετραγωνικό πλέγμα.

Ένα δισδιάστατο τετραγωνικό πλέγμα είναι μια διάταξη ανοιγμάτων τετραγωνικής διατομής με πλευρά (ή σταθερά του πλέγματος ή πλεγματική σταθερά) έστω  $\alpha$  που εκτείνεται σε ένα επίπεδο και εμφανίζει την ίδια περιοδικότητα και στις δύο διευθύνσεις του επιπέδου (ας τις ονομάσουμε  $y$  και  $z$ , όπως στο σχήμα 10). Όταν φωτιστεί κάθετα από δέσμη laser θα προκαλέσει τη δημιουργία ένα δισδιάστατου σχηματισμού περίθλασης τον οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε σε απομακρυσμένη οθόνη. Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από έντονα σημειακά μέγιστα διατεταγμένα υπό μορφή τετραγωνικού πλέγματος γύρω από το εντονότερο κεντρικό μέγιστο που βρίσκεται στην νοητή προέκταση της διαδρομής της προσπίπτουσας δέσμης. Η ερμηνεία της δομής του δισδιάστατου σχηματισμού περίθλασης διευκολύνεται εάν θεωρήσουμε το τετραγωνικό πλέγμα ως μια



επανάληψη γραμμικών φραγμάτων περίθλασης με την ίδια περιοδικότητα τόσο κατά την διεύθυνση  $y$  όσο και κατά την διεύθυνση  $z$ . Επομένως αναμένουμε να παρατηρήσουμε μόνο έντονα κύρια μέγιστα περίθλασης δεδομένου ότι τα όποια δευτερεύοντα μέγιστα είναι πολύ αμυδρά και συνεπώς μη ανιχνεύσιμα. Αποδεικνύεται ότι τα φωτεινά μέγιστα ικανοποιούν τη συνθήκη

$$\alpha \sin \theta_n = n\lambda \quad (21)$$

όπου

$$\sin \theta_n = \frac{r_n}{\sqrt{r_n^2 + L^2}} \quad (22)$$

με  $L$  την απόσταση πλέγματος-οθόνης. Η απόσταση  $r_n = \sqrt{y_{n_y}^2 + z_{n_z}^2}$  ορίζεται στο σχήμα 10. Όσο για το δείκτη  $n$  αυτός γράφεται,

$$n = \sqrt{n_y^2 + n_z^2} \quad (23)$$

και  $n_y$  και  $n_z$  ακέραιοι δείκτες που δηλώνουν τη θέση της εκάστοτε φωτεινής κηλίδας στη διεύθυνση  $y$  και  $z$  αντίστοιχα (παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 10). Χρησιμοποιώντας λοιπόν τις παραπάνω σχέσεις, που ισχύουν για κάθε σημείο του δισδιάστατου σχηματισμού περίθλασης, μπορούμε να συνδέσουμε την σταθερά  $\alpha$  με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού μέσω της σχέσης,

$$\alpha = \lambda \sqrt{(n_y^2 + n_z^2) \left[ 1 + \left( \frac{L}{r_n} \right)^2 \right]} \quad (24)$$

και χρησιμοποιώντας μετρήσεις από διάφορα φωτεινά σημεία της οθόνης είναι δυνατόν να την προσδιορίσουμε.

### 3. Πειραματική διάταξη.

Τα πειράματα των ασκήσεων Συμβολή & Περίθλαση Φωτός I&II πραγματοποιούνται με δύο διατάξεις. Στη άσκηση I χρησιμοποιούνται η οπτική ράγα, οι μεταλλικές μαγνητικές βάσεις και η οθόνη που χρησιμοποιήθηκαν ήδη στις ασκήσεις των Λεπτών Φακών και της Ανάκλασης & Διάθλασης του Φωτός. Συνεπώς γνωρίζετε ήδη τα όργανα αυτά και δεν θα παρουσιαστούν εδώ λεπτομερώς. Οι (απλές και διπλές) σχισμές και άλλα περιθλαστικά αντικείμενα είναι τοποθετημένες σε ειδικά slides τα οποία στηρίζονται στις μεταλλικές βάσεις. Θα χρησιμοποιήσετε πηγή laser He/Ne ( $\lambda=632.8 \text{ nm}$ ).

Η άσκηση II είναι αφιερωμένη στην καταγραφή των κατανομών έντασης των σχηματισμών περίθλασης που προκύπτουν από διάφορους τύπους ανοιγμάτων. Θα πραγματοποιηθεί με την χρήση διάταξης λήψης μετρήσεων μέσω Η/Υ. Η διάταξη όπως και η πειραματική διαδικασία έχουν αρκετές ομοιότητες με τις αντίστοιχες στις ασκήσεις Πόλωσης του Φωτός I&II. Συνεπώς θα αναφερθούμε κυρίως στις ιδιαιτερότητες της παρούσας άσκησης παραπέμποντας συχνά στην εμπειρία σας από τις ασκήσεις Πόλωσης του Φωτός I&II προκειμένου για πειραματικές πρακτικές με τις οποίες είστε ήδη εξοικειωμένοι. Η πλήρης πειραματική διάταξη φαίνεται στο σχήμα 11. Αποτελείται από το laser ημιαγωγού ( $\lambda \approx 650 \text{ nm}$ ) στην μια άκρη της οπτικής ράβδου, το σετ σχισμών ή ανοιγμάτων (σε μορφή δίσκου) προσαρμοσμένο σε κατάλληλη βάση τοποθετημένη στην οπτική ράβδο σε απόσταση λίγων εκατοστών από το laser και, στην άλλη άκρη της ράβδου, τον γραμμικό μεταφορέα επί του οποίου έχουν κατάλληλα προσαρμοσθεί ο αισθητήρας περιστροφικής κίνησης (θα χρησιμοποιηθεί για την οριζόντια μετακίνηση του φωτοανιχνευτή) και ο γνωστός σας από προηγούμενη χρήση φωτοανιχνευτής, μπροστά από τον οποίο υπάρχει ο περιστρεφόμενος δίσκος με τα φωτομετρικά ανοίγματα. Το laser και η διάταξη του γραμμικού μεταφορέα θα είναι ήδη τοποθετημένα στην οπτική ράβδο. Επίσης, έτοιμες θα είναι και όλες οι συνδέσεις μεταξύ των οργάνων μέτρησης και του Η/Υ.

Υπάρχουν δύο δίσκοι που περιέχουν όλα τα σετ (απλών σχισμών διπλών σχισμών, κυκλικών ανοιγμάτων κλπ). Ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε άσκησης θα χρειαστεί να τοποθετήσετε το δίσκο με το κατάλληλο σετ. Ο δίσκος φέρει εγκοπές και είναι προσαρμοσμένος σε δακτύλιο ο οποίος εφαρμόζεται στην υποδοχή της βάσης. Θα πρέπει να περιστρέψετε τον δακτύλιο μέχρις ότου οι εγκοπές στο κέντρο του δακτυλίου έρθουν σε κατακόρυφη διεύθυνση. Σ' αυτήν τη θέση μπορείτε να σφίξετε την βίδα της βάσης ώστε να ασφαλίσετε τον δακτύλιο και να αποτρέψετε τυχόν περιστροφή του κατά την εκτέλεση του πειράματος. Περιστρέφοντας τον δίσκο επιλέγεται η σχισμή ή άλλο περιθλαστικό αντικείμενο που θέλετε να χρησιμοποιήσετε. Από το εκάστοτε σετ θα επιλέξετε το περιθλαστικό αντικείμενο που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και θα σημειώσετε την ονομαστική διάστασή του. Είναι απαραίτητο να ευθυγραμμίσουμε τη διάταξη ώστε η δέσμη του laser να ακτινοβολεί την επιλεγείσα πχ σχισμή. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση των κοχλιών



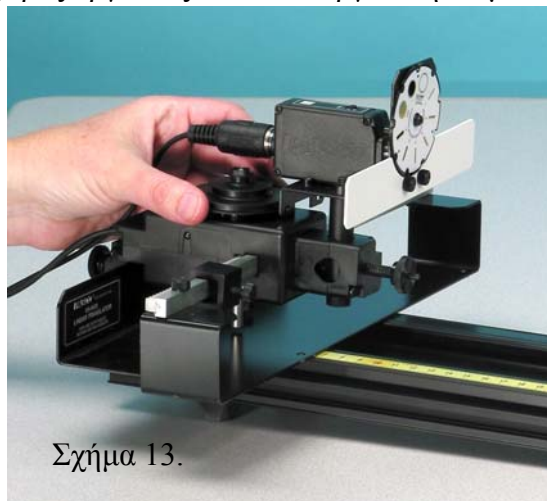
Σχήμα 11.



Σχήμα 12.

οριζόντιας και κατακόρυφης μετατόπισης της δέσμης που βρίσκονται στην οπίσθια όψη της βάσης του laser. Η διάταξη θα είναι ήδη ευθυγραμμισμένη. Εάν κατά την έναρξη του πειράματος διαπιστώσετε ατελή ευθυγράμμιση της διάταξης ενημερώστε τον διδάσκοντα και προχωρήστε στην ευθυγράμμιση υπό την εποπτεία του. Όταν η διάταξη είναι ευθυγραμμισμένη ο σχηματισμός περίθλασης θα εμφανίζεται ευκρινώς στον δίσκο με τα φωτομετρικά ανοίγματα μπροστά από τον φωτοανιχνευτή. Πριν ξεκινήσετε την καταγραφή πειραματικών μετρήσεων ενεργοποιήστε το laser, την συσκευή διασύνδεσης με τον υπολογιστή και τον υπολογιστή. Ανοίξτε το αρχείο «Περίθλαση\_II» που βρίσκεται στην επιφάνεια εργασίας του Η/Υ. Εάν όλες οι συνδέσεις λειτουργούν σωστά θα γίνει αναγνώριση των συσκευών. Θα εμφανισθεί ο χώρος εργασίας και θα ενεργοποιήσουμε το γράφημα «Ένταση – Απόσταση» στο οποίο και θα απεικονισθούν οι μετρήσεις που θα λάβετε. Η ένταση του φωτός καταγράφεται σε αυθαίρετες μονάδες (% του μεγίστου της κλίμακας) και η απόσταση σε cm. Το λογισμικό λαμβάνει αυτομάτως ως σημείο αναφοράς των αποστάσεων (απόσταση ίση με το μηδέν) τη θέση από την οποία αρχίζει η οριζόντια σάρωση του σχηματισμού περίθλασης. Θα επανέλθουμε στο σημείο αυτό παρακάτω.

Ακολουθώς ελέγχεται και μετράται η απόσταση  $L$  του σετ σχισμών από τον φωτοανιχνευτή. Γενικά είναι καλό να επιλέγετε σχετικά μεγάλες αποστάσεις, της τάξης του 0.5 m ή μεγαλύτερες. Επίσης πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα το φωτομετρικό άνοιγμα και η ενίσχυση του φωτοανιχνευτή. Χρησιμοποιήστε το μικρότερο δυνατό άνοιγμα καθώς και τη μεγαλύτερη δυνατή ενίσχυση (κλίμακα 100×, αρκεί ο ανιχνευτής να μην είναι κορεσμένος). Τέλος, κατά τη λήψη των μετρήσεων (μετά από πάτημα του START στην οθόνη του Η/Υ) ο φωτοανιχνευτής μετακινείται χειροκίνητα περιστρέφοντας τον τροχό του αισθητήρα περιστροφικής κίνησης, όπως φαίνεται στο σχήμα 13. Περισσότερες λεπτομέρειες θα δίδονται ξεχωριστά σε κάθε πείραμα.



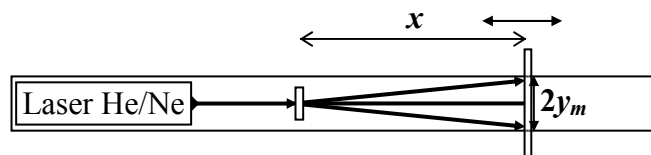
Σχήμα 13.

#### 4. Πειραματική διαδικασία & ανάλυση μετρήσεων.

Από τα πειράματα που ακολουθούν οι παράγραφοι 4.1-4.8 αναφέρονται στις εργαστηριακές ασκήσεις της Συμβολής & Περίθλασης του Φωτός I ενώ οι 4.9-4.11 στις εργαστηριακές ασκήσεις της Συμβολής & Περίθλασης του Φωτός II.

##### 4.1 Προσδιορισμός πλάτους απλής σχισμής με μεταβολή της απόστασης σχισμής – οθόνης.

Η πειραματική διάταξη είναι αυτή που φαίνεται στο διπλανό σχήμα 14. Το slide OS-9165A που περιέχει 4 απλές σχισμές με πλάτη  $a_1=0.02$  mm,  $a_2=0.04$  mm,  $a_3=0.08$  mm,  $a_4=0.16$  mm τοποθετείται πάνω στην μεταλλική βάση. Επιλέξτε μία εκ των σχισμών (π.χ. την  $a_2$ ) και ακτινοβολήστε την ομοιόμορφα και συμμετρικά από την δέσμη του laser He-Ne. Είναι σημαντικό η δέσμη να προσπίπτει κατά το δυνατόν κάθετα στην σχισμή και ο σχηματισμός περίθλασης πάνω στην οθόνη παρατήρησης πρέπει να είναι οριζόντιος, ευκρινής και συμμετρικός ως προς τη θέση της δέσμης πάνω στην οθόνη πριν την εισαγωγή της σχισμής, θέση που ταυτίζεται με αυτή του κεντρικού μεγίστου περίθλασης μετά την εισαγωγή της σχισμής στην πορεία της δέσμης.



Σχήμα 14. σχισμή οθόνη

Μετακινήστε την οθόνη παρατήρησης σε διαφορετικές αποστάσεις  $x_i$  ( $i=1, \dots, 10$ ,  $30 \text{ cm} < x_i < 200 \text{ cm}$ ) από την απλή σχισμή και καταγράψτε τις αποστάσεις  $2y_i$  (για μεγαλύτερη ακρίβεια και ελαχι-

στοποίηση σφαλμάτων) μεταξύ **ελαχίστων** περίθλασης **δεδομένης-προεπιλεγμένης τάξης  $m$**  (π.χ.  $m=\pm 2$  ή  $m=\pm 3$ ) συμμετρικά εμφανιζόμενων ως προς το κεντρικό μέγιστο. Η ανάλυση των δεδομένων μπορεί να γίνει είτε με την ακριβή σχέση (2α) είτε με την προσεγγιστική σχέση (2β) εάν δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ τους ως προς τη τιμή της γωνία  $\theta_m$ . Χωρίς προσεγγίσεις η συνθήκη (3) γράφεται

$$x_i = \left[ \sqrt{\left(\frac{a}{m\lambda}\right)^2 - 1} \right] y_i \quad (25)$$

ενώ προσεγγιστικά έχουμε

$$x_i = \left(\frac{a}{m\lambda}\right) y_i. \quad (26)$$

Κατασκευάστε γραφική παράσταση  $x_i = \mathbf{F}(y_i)$  (mm-χαρτί) και προσδιορίστε την κλίση της. Από την κλίση και με τη βοήθεια είτε της (25) είτε της (26) προσδιορίστε το πλάτος της σχισμής και το σφάλμα του. Βρείτε και την απόκλιση από την αναμενόμενη τιμή. Συζητήστε το αποτέλεσμα.

#### 4.2 Προσδιορισμός πλάτους απλής σχισμής με μεταβολή της τάξης $m$ των κροσσών.

Με την ίδια διάταξη όπως στο προηγούμενο πείραμα επιλέξτε μια σχισμή (π.χ. την  $a_3$ ), φωτίστε την κάθετα και συμμετρικά με την δέσμη laser και παρατηρήστε τον σχηματισμό περίθλασης σε χάρτινη ταινία κολλημένη στον τοίχο του εργαστηρίου (που θα χρησιμεύσει ως οθόνη). Μετρήστε την **σταθερή απόσταση σχισμής – οθόνης παρατήρησης,  $L$** , και εν συνεχεία μετρήστε τις αποστάσεις  $2y_m$  μεταξύ των ελάχιστων περίθλασης τάξης  $\pm m$  για όσο το δυνατόν περισσότερες τάξεις περίθλασης ( $|m_{\max}| \approx 10$ ). Από τις άμεσες μετρήσεις είναι δυνατόν να υπολογισθούν οι τιμές  $\sin\theta_m$  είτε από την (2α) είτε από τη (2β), εάν η τελευταία ισχύει για όλες τις γωνίες  $\theta_m$ . Οι τιμές αυτές θα χρησιμοποιηθούν για την χάραξη της καμπύλης  $\sin\theta_m = \mathbf{F}(m)$  (mm-χαρτί). Η καμπύλη αναμένεται να είναι ευθεία με κλίση ίση προς  $\lambda/a$ . Από την πειραματική τιμή για την κλίση της ευθείας προσδιορίστε το  $a$  και το σφάλμα του καθώς και την απόκλιση από την αναμενόμενη τιμή. Συγκρίνετε τη μέθοδο αυτή με τη μέθοδο που χρησιμοποιήσατε στο προηγούμενο πείραμα.

#### 4.3 Προσδιορισμός πλάτους εμποδίου ορθογώνιας διατομής με μεταβολή της τάξης $m$ των κροσσών.

Η πειραματική διάταξη και η αντίστοιχη διαδικασία είναι όμοια με αυτή που ακολουθήσατε στο πείραμα 4.2. Η μόνη διαφορά είναι ότι τώρα τη θέση της απλής σχισμής θα καταλάβει εμπόδιο ορθογώνιας διατομής, π.χ. μια τρίχα από τα μαλλιά σας, που θα στερεωθεί με κολλητική ταινία πάνω σε μεταλλική βάση έτσι ώστε να είναι κατακόρυφη και τεντωμένη. Από τις πειραματικές μετρήσεις θα προσδιορίσετε με εντελώς ανάλογο τρόπο όπως στο πείραμα 4.2 το πάχος της τρίχας, εφαρμόζοντας την αρχή του Babinet.

#### 4.4 Προσδιορισμός μήκους κύματος πηγής laser με μεταβολή του πλάτους απλής σχισμής.

Η διάταξη είναι εντελώς όμοια με αυτή των προηγούμενων πειραμάτων. Η απόσταση σχισμής-οθόνης (τοίχος) είναι **σταθερή και ίση με  $L$** . Μετρήστε την απόσταση αυτή. Τη θέση της ακτινοβολούμενης σχισμής θα καταλαμβάνει διαδοχικά κάθε μια σχισμή από το slide OS-9165A (συνολικά 4 σχισμές) και θα ακολουθήσουν οι τρεις σχισμές του slide LH-46991 (με πλάτη  $a_5=0.12$  mm,  $a_6=0.24$  mm,  $a_7=0.48$  mm). Για κάθε διαφορετική σχισμή καταγράψτε τις αποστάσεις  $2y_i$  μεταξύ των ελάχιστων περίθλασης τάξης  $m$  για μια **συγκεκριμένη τιμή του  $|m|$** , π.χ.  $m=\pm 2$  ή  $m=\pm 3$ . Κατά την εργασία στο σπίτι χαράξτε την γραφική παράσταση  $y_i = \mathbf{F}(a_i^{-1})$  (mm-χαρτί). Η προσεγγιστική σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη είναι η  $y \approx mL\lambda/a$ , συνεπώς αναμένουμε η γραφική παρά-

σταση να προκύψει ευθεία από την κλίση της οποίας θα προσδιορίσετε το μήκος κύματος της πηγής laser.

#### 4.5 Προσδιορισμός της απόστασης δύο σχισμών με μεταβολή της απόστασης διπλής-σχισμής – οθόνης.

Με πειραματική διάταξη εντελώς ανάλογη αυτής του πειράματος 4.1 και με αντίστοιχη πειραματική διαδικασία θα προσδιοριστεί η απόσταση  $d$  μεταξύ των σχισμών σε διάταξη διπλής σχισμής, χρησιμοποιώντας κατάλληλες μετρήσεις από τον σχηματισμό συμβολής-περίθλασης που παράγεται μετά την παρεμβολή της διπλής σχισμής στην πορεία της δέσμης laser. Η διπλή σχισμή μπορεί να επιλεγεί είτε από το slide OS-9165B είτε από το OS-9165C. Προσέξτε ότι στο OS-9165C υπάρχει μόνο μία διπλή σχισμή ενώ οι υπόλοιπες είναι πολλαπλές σχισμές. Η κατάλληλη επιλογή διπλής σχισμής μπορεί να γίνει σε συνεννόηση με τον επιβλέποντα. Ως κριτήρια επιλογής μπορούν να χρησιμοποιηθούν: (α) το πλάτος της σχισμής ( $0.04 \text{ mm} \leq a \leq 0.08 \text{ mm}$ ) και (β) ο λόγος  $d/a \approx 3$  ή  $d/a \approx 4$ . Ακολουθώντας, επιλέξτε μια **σταθερή τάξη ελαχίστων συμβολής  $k$**  (π.χ.  $\pm 10$  η άλλη κατάλληλη) που θα χρησιμοποιήσετε στις μετρήσεις σας. Η επιλογή πρέπει να γίνει με προσοχή: (α) βεβαιωθείτε ότι κατανοείτε πλήρως με ποιο τρόπο γίνεται η απαρίθμηση των ελαχίστων συμβολής και (β) δεδομένου ότι οι αποστάσεις μεταξύ των ελαχίστων συμβολής είναι μικρές, πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες για τα ελάχιστα περίθλασης, επιλέξτε την τάξη έτσι ώστε οι μετρήσεις να είναι εφικτές σε όλες τις αποστάσεις σχισμής-οθόνης. Εν συνεχεία, θα μετακινήσετε την οθόνη παρατήρησης σε διάφορες αποστάσεις  $x_i$  ( $i=1, \dots, 10$ ,  $40 \text{ cm} < x_i < 200 \text{ cm}$ ) από τη θέση της διπλής σχισμής καταγράφοντας τόσο την τιμή της απόστασης  $x_i$  όσο και την απόσταση  $2y_i$  μεταξύ των δύο **ελαχίστων συμβολής** τάξης  $\pm k$ .

Κατά την εργασία στο σπίτι, από τις μετρήσεις θα σχεδιάσετε την γραφική παράσταση  $x_i = F(y_i)$  (mm-χαρτί) η οποία αναμένεται να είναι ευθεία. Από την πειραματική τιμή της κλίσης είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η απόσταση των σχισμών  $d$  χρησιμοποιώντας είτε και την ακριβή σχέση

$$x_i = \left[ \sqrt{\left[ \frac{d}{(|k| + 1/2)\lambda} \right]^2} - 1 \right] y_i \quad (27)$$

είτε την προσεγγιστική σχέση,

$$x_i = \left[ \frac{d}{(|k| + 1/2)\lambda} \right] y_i \quad (28)$$

την οποία μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αφού δικαιολογήσετε την επιλογή σας (και οι δύο σχέσεις προκύπτουν από την (10) εισάγοντας είτε την (2α) είτε την (2β)). Προσδιορίστε την απόσταση  $d$  και το σφάλμα της. Βρείτε και την απόκλιση από την αναμενόμενη τιμή. Συζητήστε το αποτέλεσμα.

#### 4.6 Προσδιορισμός σταθεράς φράγματος περίθλασης.

Η διάταξη είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιήσατε για την μελέτη σχηματισμού περίθλασης από απλή και διπλή σχισμή. Στην μεταλλική βάση εμπρός από το laser He/Ne τοποθετήστε το φράγμα περίθλασης (LH-47151) με ονομαστική τιμή σταθεράς φράγματος  $d = 10^{-3} \text{ cm}$  (ή, ισοδύναμα, τον αριθμό χαραγών ανά μονάδα μήκους  $N \approx 1/d = 1000$  χαραγές/cm). Η απόσταση φράγματος – οθόνης  $L$  θα διατηρηθεί **σταθερή** (μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ως οθόνη ταινία επικολλημένη στον τοίχο). Μετρήστε την απόσταση  $L$ . Φροντίστε ότι η δέσμη laser είναι κατά το δυνατόν *κάθετη* στην οθόνη. Καταγράψτε τις αποστάσεις  $2y_n$  των μεγίστων περίθλασης τάξης  $n$  από το κεντρικό μέγιστο για όσο το δυνατόν περισσότερα μέγιστα (**τουλάχιστον 10**). Χρησιμοποιήστε και την ακριβή (2α) και την προσεγγιστική (2β) σχέση για το  $\sin(\theta_n)$  (έστω  $\sin(\theta_n)_\alpha$  και  $\sin(\theta_n)_\beta$  αντίστοιχα).

Κατά την εργασία στο σπίτι και στο **ίδιο mm-χαρτί** χαράζετε τις γραφικές παραστάσεις  $\sin(\theta_n)_\alpha = F(n)$  και  $\sin(\theta_n)_\beta = F(n)$ . Συγκρίνετε και συζητήστε τις ομοιότητες και διαφορές των δύο καμπυλών. Από την καταλληλότερη προσδιορίστε, μέσω της κλίσης της, την πειραματική τιμή της σταθεράς τους φράγματος  $d$  και το  $N \equiv 1/d$  και τα σφάλματά τους. Βρείτε και την απόκλιση από την αναμενόμενες τιμές. Συζητήστε τα αποτελέσματα.

#### 4.7 Προσδιορισμός μήκους κύματος πηγής laser μέσω φράγματος περίθλασης γνωστής σταθεράς $d$ .

Στο πείραμα αυτό επαναλαμβάνετε την διαδικασία του πειράματος 4.6 χρησιμοποιώντας όμως ως πηγή το laser ημιαγωγού που χρησιμοποιήσατε στο πείραμα μελέτης της γωνίας Brewster στην άσκηση της Ανάκλασης & Διάθλασης του Φωτός ( $\lambda \approx 647 \text{ nm}$ ). Θεωρείστε γνωστή την σταθερά του φράγματος  $d$  και προσδιορίστε την τιμή του  $\lambda$  επεξεργαζόμενοι τις πειραματικές σας μετρήσεις ακριβώς όπως και στο Πείραμα 4.6 (μόνο με την ακριβή σχέση (2α)).

#### 4.8 Προσδιορισμός σταθεράς τετραγωνικού πλέγματος.

Η πειραματική διάταξη είναι όμοια με αυτή που χρησιμοποιήσατε στα πειράματα της 4.1-4.7. Ως πηγή θα χρησιμοποιηθεί το laser He/Ne. Χρησιμοποιήστε το slide με το τετραγωνικό πλέγμα (OS-9127G) ονομαστικής σταθεράς πλέγματος  $a=0.048 \text{ mm}$ . Η **σταθερή** απόσταση πλέγματος – οθόνης (τοίχος),  $L$ , πρέπει να είναι η μέγιστη δυνατή. Μετρήστε την απόσταση αυτή. Ο σχηματισμός περίθλασης θα καταγραφεί σε λευκό φύλλο χαρτιού επικολλημένο σταθερά στον τοίχο του εργαστηρίου το οποίο στη συνέχεια θα υπογραφεί από τον επιβλέποντα και θα επισυναφθεί στην έκθεσή σας.

Κατά την εργασία στο σπίτι θα πρέπει να είστε προσεκτικοί στην επιλογή των αξόνων  $O_y$  και  $O_z$  πάνω στο φύλλο καταγραφής του σχηματισμού περίθλασης. Από τα καταγεγραμμένα μέγιστα θα επιλέξετε τουλάχιστον 10 διασκορπισμένα σε όλη την έκταση του σχηματισμού. Για τα σημεία αυτά θα προσδιορίσετε τις αποστάσεις  $r_n$  των μεγίστων από το κέντρο του σχηματισμού περίθλασης καθώς και τις τιμές των  $n_y$  και  $n_z$  με τις οποίες ταξινόμούνται τα μέγιστα περίθλασης. Από αυτές τις πειραματικές τιμές προσδιορίστε την πλεγματική σταθερά  $a$  και το σφάλμα της με υπολογιστικό τρόπο χρησιμοποιώντας τη σχέση (24). Βρείτε την απόκλιση της πειραματικής τιμής από την ονομαστική και συζητήστε τα αποτελέσματα.

#### 4.9 Μελέτη κατανομής έντασης για περίθλαση από απλή σχισμή.

Χρησιμοποιήστε τη διάταξη λήψης μετρήσεων μέσω H/Y. Περιστρέψτε τον δίσκο των απλών σχισμών και επιλέξτε την σχισμή που θα χρησιμοποιήσετε, σημειώνοντας την τιμή του πλάτους της  $a$  που δίνει ο κατασκευαστής. Μετρήστε την απόσταση  $L$  σχισμής-φωτοανιχνευτή. Μετακινείτε τον φωτοανιχνευτή στην μια άκρη του σχηματισμού περίθλασης περιστρέφοντας τον τροχό του αισθητήρα περιστροφικής κίνησης (σχήμα 13). Πατήστε το «διακόπτη» Start (στο πάνω μέρος της οθόνης) για να αρχίσει η καταγραφή των μετρήσεων. Στρέψτε με βραδύ, σταθερό ρυθμό τον τροχό του αισθητήρα περιστροφικής κίνησης και σαρώστε τον σχηματισμό περίθλασης από το ένα άκρο του προς το κέντρο και, συνεχίζοντας, τερματίστε την σάρωση στο αντίθετο άκρο του. Κατά την καταγραφή των μετρήσεων είναι σημαντικό ο φωτοανιχνευτής να κινείται μόνον κατά την οριζόντια διεύθυνση. Τυχόν εγκάρσιες προς την οριζόντια διεύθυνση κινήσεις θα προκαλέσουν προβληματικές μετρήσεις. Απαιτείται συνεπώς ιδιαίτερη προσοχή στις κινήσεις σας κατά την σάρωση του σχηματισμού περίθλασης. Πατώντας τον «διακόπτη» Stop τερματίζεται η λήψη και καταγραφή των μετρήσεων. Θα πρέπει να διακρίνονται ευκρινώς τουλάχιστον δύο δευτερεύοντα μέγιστα περίθλασης και τα αντίστοιχα ελάχιστα. Το λογισμικό παρέχει την δυνατότητα μεταβολής της οριζόντιας και κατακόρυφης κλίμακας του γραφήματος. Χρησιμοποιείτε την για να βελτιστοποιήσετε την εμφάνιση του γραφήματος σας. Εάν η καταγραφείσα κατανομή έντασης δεν είναι ικανο-

ποιητική, επαναλάβετε το πείραμα ακολουθώντας την ίδια διαδικασία. Όταν καταγράψετε μια ικανοποιητική κατανομή έντασης διαγράψτε τις υπόλοιπες καταγραφές. Χρησιμοποιήστε τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων με την διαδικασία που μάθατε στην άσκηση της Πόλωσης του Φωτός I & II για να σχεδιάσετε θεωρητική καμπύλη της μορφής

$$a * (\sin(b * (x - c)) / (b * (x - c)))^2 + d \quad (29)$$

όπου  $a = I_0$  η μέγιστη τιμή της έντασης (κύριο μέγιστο),  $d$  το πιθανό υπόβαθρο που περιέχουν οι μετρήσεις σας,  $c$  η τιμή του  $x$  όπου εμφανίζεται το κύριο μέγιστο (θέση αναφοράς των αποστάσεων - απόσταση ίση με το μηδέν) και

$$b \approx \pi a / (\lambda L) \quad (30)$$

(επιβεβαιώστε μέσω της (1) χρησιμοποιώντας την προσέγγιση (2β)). Επιλέξτε γωνίες εκφρασμένες σε **rad**. Το πρόγραμμα προσαρμογής θα συναντήσει δυσκολίες με τη σχέση (29) εάν δεν δώσετε καλές **αρχικές τιμές** στις παραμέτρους  $a$ ,  $b$ ,  $c$  και  $d$ . Οι τρεις παράμετροι  $a$ ,  $c$  και  $d$  είναι εύκολο να εκτιμηθούν μέσω απλής εμποπτείας της πειραματικής καμπύλης. Για την παράμετρο που ενδιαφέρει και είναι η  **$b$**  εισάγετε αρχική εκτίμηση ίση με  $\sim 1$ . Εκκινήστε την προσαρμογή. Καταγράψτε τις τελικές παραμέτρους που θα προκύψουν από αυτή καθώς και τα σφάλματά τους. Σώστε το γράφημα ως αρχείο \*.bmp στην επιφάνεια εργασίας με κατάλληλο όνομα (οι τιμές των παραμέτρων και τα σφάλματά τους να φαίνονται ευκρινώς). Αποθηκεύστε επίσης τις μετρήσεις σας σε αριθμητική μορφή ως αρχείο κειμένου \*.txt. Στο τέλος της άσκησης θα τα αποθηκεύσετε σε οπτικό δίσκο και θα τα χρησιμοποιήσετε για την προετοιμασία της εργαστηριακής έκθεσης με τον τρόπο που περιγράφεται παρακάτω. Ενσωματώστε το γράφημα στην εργασία που θα παραδώσετε.

Κατά την εργασία στο σπίτι, χρησιμοποιήστε τη τιμή της παραμέτρου  **$b$** , το μήκος κύματος  $\lambda$  του laser ημιαγωγού και την απόσταση  $L$  που μετρήσατε για να εκτιμήσετε το πλάτος της σχισμής  **$a$**  και το σφάλμα του μέσω της σχέσης (30). Συγκρίνετε το αποτέλεσμα με την τιμή του κατασκευαστή. Επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία θεωρώντας γνωστό το πλάτος της σχισμής (τιμή κατασκευαστή) και προσδιορίζοντας το μήκος κύματος του laser. Συγκρίνετε το αποτέλεσμά σας με την ονομαστική τιμή του  $\lambda \approx 650$  nm.

### **Εναλλακτικά:**

Εάν συναντήσετε ανυπέρβλητες δυσκολίες στο χειρισμό του προγράμματος προσαρμογής, εργαστείτε ως εξής: Με τις αριθμητικές τιμές των μετρήσεων σας που περιέχονται στο αρχείο \*.txt σχεδιάστε σε mm-χαρτί την **πειραματική** καμπύλη  $I(\theta)/I_0 = F(\sin\theta)$ , όπου  $\theta$  η γωνιακή θέση ως προς το κέντρο της σχισμής (δείτε το σχήμα 2(β) και την εξίσωση (1)). Χρησιμοποιείτε την κατάλληλη για τις πειραματικές σας συνθήκες σχέση για τον υπολογισμό του  $\sin\theta$  (σχέση (2α) ή (2β)). Για την χάραξη της καμπύλης αυτής χρησιμοποιείτε από το αρχείο \*.txt όσες πειραματικές μετρήσεις θεωρείτε απαραίτητες. Δεν είναι απαραίτητο να τις χρησιμοποιήσετε όλες! Το γράφημα σε μορφή \*.bmp είναι δυνατόν να σας καθοδηγήσει στην επιλογή των απαραίτητων για την χάραξη της καμπύλης μετρήσεων. Για την σωστή σχεδίαση της καμπύλης σας **θεωρείστε ως θέση αναφοράς των αποστάσεων (απόσταση ίση με το μηδέν) την πειραματική θέση του κεντρικού μεγίστου**. Από τις πειραματικές τιμές της θέσης για όλα τα υπόλοιπα σημεία της καμπύλης αφαιρέστε την τιμή της θέσης του μεγίστου. Μετά την μετατροπή αυτή θα υπολογίσετε τις τιμές του  $\sin\theta$  που θα χρησιμοποιήσετε στον οριζόντιο άξονα της γραφικής σας παράστασης.

Στο ίδιο mm-χαρτί χαράξτε τη **θεωρητική** καμπύλη  $I(\theta)/I_0 = F(\sin\theta)$  (εξίσωση (1)). Συγκρίνετε τις δύο καμπύλες και σχολιάστε τις ομοιότητες και τις διαφορές τους. Από τις θέσεις των ελαχίστων περίθλασης στην πειραματική καμπύλη, θεωρώντας γνωστό το μήκος κύματος του laser, υπολογίστε το πλάτος της σχισμής. Θα έχετε έτσι τουλάχιστον δύο τιμές (μια για κάθε καταγεγραμμένο ελάχιστο) για το πλάτος της σχισμής. Προσδιορίστε την μέση τιμή τους και συγκρίνετε με την τιμή του κατασκευαστή για το πλάτος της σχισμής. Επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία θεωρώντας γνωστό το πλάτος της σχισμής (τιμή κατασκευαστή) και προσδιορίζοντας το μήκος κύματος του laser. Συγκρίνετε το αποτέλεσμά σας με την ονομαστική τιμή του  $\lambda \approx 650$  nm.

#### 4.10 Μελέτη κατανομής έντασης για περίθλαση από διπλή σχισμή.

Η πειραματική διάταξη και η πειραματική διαδικασία είναι πανομοιότυπη με αυτή που περιγράφηκε για το προηγούμενο πείραμα 4.9. Η μόνη διαφορά είναι ότι στη θέση του σετ απλών σχισμών θα χρησιμοποιήσετε το σετ διπλών σχισμών. Η απόσταση διπλής σχισμής – φωτοανιχνευτή  $L$  (που πρέπει να μετρηθεί) θα πρέπει να είναι περίπου 1 m. Επιλέξτε το φωτομετρικό άνοιγμα #1 και την ενίσχυση του φωτοανιχνευτή στην κλίμακα 100×. Προτείνεται η χρήση της διπλής σχισμής με  $a=0.08$  mm και  $d=0.25$  mm ( $d/a\approx 3$ ). Μια εναλλακτική πρόταση είναι να χρησιμοποιήσετε την διπλή σχισμή με  $a=0.04$  mm και  $d=0.25$  mm ( $d/a\approx 6$ ). Αντικειμενικός στόχος είναι να καταγραφούν όλα τα μέγιστα συμβολής στον κύριο λοβό περίθλασης και τουλάχιστον από ένας δευτερεύων λοβός περίθλασης εκατέρωθεν του κεντρικού. Η λεπτομερής καταγραφή των μεγίστων συμβολής στους δευτερεύοντες λοβούς περίθλασης είναι σχετικώς δύσκολη και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στην εκτέλεση του πειράματος.

Αποθηκεύστε στην επιφάνεια εργασίας τα αποτελέσματά σας τόσο σε μορφή \*.bmp όσο και σε μορφή \*.txt. Κατά την εργασία στο σπίτι σχεδιάστε σε κοινό mm-χαρτί τη θεωρητική και πειραματική καμπύλη  $I(\theta)/I_0 = F(\sin\theta)$  (η διαδικασία υπολογισμού των τιμών  $\sin\theta$  περιγράφεται στην **εναλλακτική** πρόταση του προηγούμενου πειράματος 4.9). Από τις πειραματικές τιμές για τις θέσεις των μεγίστων – ελαχίστων συμβολής προσδιορίστε την μέση πειραματική τιμή για την απόσταση μεταξύ των σχισμών  $\bar{d}_\pi$  και συγκρίνετε με την τιμή του κατασκευαστή. Επίσης, από τις θέσεις των ελαχίστων περίθλασης εκτιμήστε την μέση πειραματική τιμή του πλάτους των σχισμών  $\bar{a}_\pi$  και συγκρίνετε με την τιμή του κατασκευαστή.

#### 4.11 Μελέτη κατανομής έντασης για περίθλαση από κυκλικό άνοιγμα.

Η πειραματική διάταξη και η πειραματική διαδικασία είναι πανομοιότυπη με αυτή που περιγράφηκε για τα προηγούμενα πειράματα. Η μόνη διαφορά είναι ότι στη θέση της διπλής σχισμής θα χρησιμοποιήσετε κατάλληλο κυκλικό άνοιγμα που βρίσκεται στο σετ απλών σχισμών. Προτείνεται η χρήση του κυκλικού ανοίγματος με διάμετρο  $D=0.4$  mm τοποθετημένου σε απόσταση  $L$  τουλάχιστον 80 cm από τον φωτοανιχνευτή. Μετρήστε την απόσταση  $L$ . Προτείνεται η επιλογή του φωτομετρικού ανοίγματος #1 και της κλίμακας 100× για την ενίσχυση του φωτοανιχνευτή. Αντικειμενικός στόχος είναι η καταγραφή της κατανομής έντασης στον δίσκο του Airy και η καταγραφή τουλάχιστον ενός δευτερεύοντος μεγίστου.

Αποθηκεύστε στην επιφάνεια εργασίας τα αποτελέσματά σας τόσο σε μορφή \*.bmp όσο και σε μορφή \*.txt. Σχεδιάστε σε χιλιοστομετρικό χαρτί την πειραματική καμπύλη  $I(\theta)/I_0 = F(\sin\theta)$  χρησιμοποιώντας κατάλληλα πειραματικά δεδομένα από το αρχείο \*.txt. Από τη θέση του ελαχίστου περίθλασης (ή των ελαχίστων περίθλασης, εάν επιτύχετε την καταγραφή περισσοτέρων του ενός) προσδιορίστε την πειραματική τιμή για την διάμετρο του κυκλικού ανοίγματος και συγκρίνετε με την τιμή του κατασκευαστή. Δεδομένου ότι το δευτερεύον μέγιστο στην περίπτωση αυτή είναι πολύ ασθενές ίσως είναι σκόπιμο η περιοχή του ελαχίστου περίθλασης και του δευτερεύοντος μεγίστου να σχεδιασθεί σε διαφορετική γραφική παράσταση ώστε να είναι εφικτός ο κατά το δυνατόν ακριβέστερος προσδιορισμός της θέσης του ελαχίστου.

### 5. Βιβλιογραφία.

- [1] D. Halliday & R. Resnick, *Φυσική, Τόμος Β* (1976).
- [2] Γ. Ασημέλλης, *Μαθήματα Οπτικής, Σύγχρονη Γνώση* (2008).
- [3] E. Hecht, *Optics*, Addison-Wesley, MA, Second Edition (1987).
- [4] Α. Χριστοδουλλίδης, *Εργαστηριακά Πειράματα Φυσικής 3*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (2005). (αντίτυπα υπάρχουν στο αναγνωστήριο).