

Περίθλαση

Ονοματεπώνυμο: Κλάϊντι Τσάμη

Contents

1	Εισαγωγή	3
2	Θεωρητική Εισαγωγή	3
2.1	Περίθλαση	3
2.2	Περίθλαση από λεπτή σχισμή	3
2.3	Περίθλαση από ορθογώνια ανοίγματα	4
2.4	Περίθλαση από απλά κυκλικά ανοίγματα	4
2.5	Περίθλαση από πολλαπλά κυκλικά ανοίγματα	4
2.6	Φράγμα περίθλασης	5
2.7	Διδιάστατα φράγματα περίθλασης	5
3	Πειραματική διαδικασία	6
3.1	A. Περιθλασίμετρο	6
3.1.1	Απλές σχισμές	7
3.1.2	Ορθογώνια ανοίγματα	8
3.1.3	Απλά κυκλικά ανοίγματα	9
3.1.4	Πολλαπλά κυκλικά ανοίγματα	10
3.1.5	Φράγματα περίθλασης	12
3.1.6	Διδιάστατα φράγματα περίθλασης	13
3.2	B. Φασματοσκόπιο	14
3.2.1	Μέτρηση μηκών κύματος λυχνίας Hg	15
3.2.2	Υπολογισμός σταθεράς φράγματος και γραμμών ανα mm αγνώστου φράγματος Π1	16
3.2.3	Εύρεση του εύρους μηκών κύματος του λευκού φωτός.	17
4	Συμπεράσματα	17

1 Εισαγωγή

Στη συγκεκριμένη εργασία ασχοληθήκαμε με το φαινόμενο της περίθλασης στην οπτική. Συγκεκριμένα, εκτελέσαμε μια σειρά πειραμάτων μέσω μιας διάταξης περιθλασίμετρου, όπου πραγματοποιήσαμε παρατηρήσεις και μετρήσεις από διάφορους τύπους ανοιγμάτων. Εξετάσαμε την περίθλαση από απλές σχισμές, ορθογώνια ανοίγματα, απλά κυκλικά ανοίγματα, πολλαπλά κυκλικά ανοίγματα, φράγματα περίθλασης και διδιάστατα φράγματα περίθλασης. Σε κάθε περίπτωση, αντλήσαμε πειραματικά δεδομένα από την εικόνα περίθλασης και, μέσω κατάλληλης ανάλυσης, υπολογίσαμε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των σχισμών, των ανοιγμάτων και των φραγμάτων.

Επιπλέον, πραγματοποιήσαμε πείραμα με φασματόμετρο για να μελετήσουμε το φαινόμενο του φάσματος μέσω περίθλασης. Και σε αυτή την περίπτωση, συλλέξαμε πειραματικά δεδομένα και, με χρήση θεωρητικών σχέσεων, εξαγάγαμε σημαντικά χαρακτηριστικά των φραγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, όπως η σταθερά του φράγματος και ο αριθμός γραμμών ανά χιλιοστό.

Η όλη διαδικασία μάς βοήθησε ουσιαστικά να κατανοήσουμε σε βάθος τη φύση της περίθλασης, τη συμπεριφορά του φωτός σε διαφορετικά είδη ανοιγμάτων και φραγμάτων, καθώς και τη σύνδεση μεταξύ θεωρίας και πειραματικής εφαρμογής. Μέσα από τις μετρήσεις και τις αναλύσεις μας, αποκτήσαμε πολύτιμη εμπειρία στον χειρισμό οπτικών πειραματικών διατάξεων και στη μελέτη κυμάτων φωτός μέσω φαινομένων περίθλασης και συμβολής.

2 Θεωρητική Εισαγωγή

2.1 Περίθλαση

Περίθλαση είναι το φαινόμενο της εκτροπής του φωτός από την πορεία διάδοσής του όπως αυτή καθορίζεται από τους νόμους της γεωμετρικής οπτικής όταν συναντήσει ένα μικρό εμπόδιο.

2.2 Περίθλαση από λεπτή σχισμή

Στην περίπτωση αυτή ως περιθλών αντικείμενο θεωρούμε μια απείρου μήκους σχισμή πλάτους

$$a = 2\zeta_0$$

Το πρότυπο της περίθλασης εκτείνεται σε 1 διάσταση (άξονας x) και οι θέσεις των ελάχιστων του προτύπου (αποστάσεις σκοτεινών χροσσών) Δx δίνονται μαθηματικά από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta x = \frac{m\lambda f}{a} \quad (1)$$

Όπου:

m : Τάξη χροσσού ($\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$)

λ : Το μήκος κύματος της πηγής.

f : Η εστιακή απόσταση του μετασχηματιστή φακού.

a : Το πλάτος του σχίσματος.

2.3 Περίθλαση από ορθογώνια ανοίγματα

Στην περίπτωση αυτή ως περιθλών αντικείμενο θεωρούμε ένα ορθογώνιο ύψους b και μήκους a . Το πρότυπο της περίθλασης εκτείνεται σε 2 διάσταση (άξονας x και y) και οι θέσεις των ελάχιστων του προτύπου (αποστάσεις σκοτεινών χροσσών) στους δυο άξονες Δx και Δy δίνονται μαθηματικά από της παρακάτω σχέσεις:

$$\Delta x = \frac{m\lambda f}{a} \quad (2)$$

$$\Delta y = \frac{m\lambda f}{b} \quad (3)$$

2.4 Περίθλαση από απλά κυκλικά ανοίγματα

Στην περίπτωση αυτή ως περιθλών αντικείμενο θεωρούμε ένα κυκλικό άνοιγμα διαμέτρου

$$D = 2R$$

Το πρότυπο περίθλασης αποτελείται από:

1. Έναν κεντρικό φωτεινό δίσκο, που λέγεται *δίσκος του Airy* (Airy disk).
2. Γύρω από αυτόν, εμφανίζονται ομόκεντροι σκοτεινοί και φωτεινοί δακτύλιοι, με φθίνουσα ένταση όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο.

Η ακτίνα του δίσκου του Airy δίνεται μαθηματικά από την παρακάτω σχέση:

$$\rho_{\text{Airy}} = \frac{1.22\lambda f}{2R} \quad (4)$$

Όπου:

$2R$: Η διάμετρος D του κυκλικού ανοίγματος.

2.5 Περίθλαση από πολλαπλά κυκλικά ανοίγματα

Στην περίπτωση αυτή, το φως περιθλάται από περισσότερα από ένα κυκλικά ανοίγματα διαμέτρου $D = 2R$ το καθένα, τα οποία βρίσκονται σε απόσταση d μεταξύ τους.

Το πρότυπο περίθλασης θα αποτελείται πάλι από:

- Έναν κεντρικό φωτεινό δίσκο, που λέγεται *δίσκος του Airy* (Airy disk).
- Ομόκεντρους σκοτεινούς και φωτεινούς δακτύλιους γύρω από αυτόν, με φθίνουσα ένταση όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο.

Με τη διαφορά ότι τώρα παρατηρούμε και κατακόρυφους χροσσούς συμβολής:

- Κατακόρυφοι χροσσοί συμβολής, οι οποίοι προκύπτουν λόγω της συμβολής των κυμάτων που προέρχονται από τα διαφορετικά ανοίγματα.

Μαθηματικά, η διάμετρος των ανοιγμάτων δίνεται ομοίως από τη σχέση (4), εάν λύσουμε ως προς το $2R$, ενώ η μεταξύ τους απόσταση d δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$d = \frac{\lambda f}{\Delta x} \quad (5)$$

Όπου:

Δx : Η απόσταση διαδοχικών (κύριων) φωτεινών χροσσών συμβολής.

2.6 Φράγμα περίθλασης

Φράγμα περίθλασης είναι περιοδική διάταξη περιθλώντων ανοιγμάτων που προκαλεί περιοδική μεταβολή του πλάτους (φράγμα πλάτους) ή/και της φάσης της διερχόμενης ή της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Επιπλέον σταθερά φράγματος d είναι η περίοδος επανάληψης του φράγματος.

Μαθηματικά δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$d = \frac{m\lambda f}{\Delta x} \quad (6)$$

2.7 Διδιάστατα φράγματα περίθλασης

Στην περίπτωση αυτή έχουμε περιοδικά σε 2 διαστάσεις περιθλόντα αντικείμενα που προκαλούν μεταβολές στο πλάτος ή/και στη φάση ενός προσπίπτοντος Μ.Κ.

Εξίσωση φράγματος: Η εξίσωση αυτή περιγράφει πού εμφανίζονται τα μέγιστα (φωτεινές κηλίδες) στο φαινόμενο της περίθλασης από φράγμα (ή σχισμές).

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (7)$$

Επειδή το πρότυπο εκτείνεται σε δύο διαστάσεις, οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών φωτεινών χροσών συμβολής κατά μήκος των δύο αξόνων οι οποίες εξαρτώνται και από τις αποστάσεις d μεταξύ των σχισμών σε κάθε άξονα, παρουσιάζονται παρακάτω:

$$\Delta x = \frac{\lambda f}{d_x} \quad (8)$$

$$\Delta y = \frac{\lambda f}{d_y} \quad (9)$$

Το πρότυπο συμβολής των κηλίδων διαμορφώνεται από το πρότυπο περίθλασης κυκλικού ανοίγματος ($D=2R$)

$$\rho_{\text{Airy}} = \frac{1.22\lambda f}{2R} \quad (10)$$

3 Πειραματική διαδικασία

3.1 Α. Περιθλασίμετρο

Στο πρώτο μέρος της εργαστηριακής άσκησης αυτής, θα εξετάσουμε περίθλαση από:

1. Απλές σχισμές
2. Ορθογώνια ανοίγματα
3. Απλά κυκλικά ανοίγματα
4. Πολλαπλά κυκλικά ανοίγματα
5. Φράγματα περίθλασης
6. Διδιάστατα φράγματα περίθλασης

Σε κάθε περίπτωση, στόχος μας είναι η συλλογή πειραματικών δεδομένων από την εικόνα περίθλασης που θα προκύπτει και, στη συνέχεια, μέσω μαθηματικής ανάλυσης και εφαρμογής θεωρητικών τύπων, να υπολογίζονται χαρακτηριστικά των σχισμών, των ανοιγμάτων και των φραγμάτων.

Η πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί παρουσιάζεται ενδεικτικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1):



Εικόνα 1: Πειραματική διάταξη περιθλασίμετρου

Η πειραματική διάταξη αυτή (Εικόνα 1) αποτελείται από τα εξής βασικά στοιχεία:

1. **Laser He-Ne** ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$): Είναι η πηγή μονοχρωματικής και συνεκτικής ακτινοβολίας.
2. **Χωρικό φίλτρο**: Χρησιμοποιείται για να «καθαρίσει» η δέσμη από ανεπιθύμητες αποκλίσεις και να γίνει ομοιογενής.
3. **Παραλληλιστής φακός**: Μετατρέπει τη δέσμη σε παράλληλη.
4. **Βάση τοποθέτησης**: Χρησιμεύει για την ακριβή τοποθέτηση των ανοιγμάτων.
5. **Μετασχηματιστής φακός** ($f = 185 \text{ mm}$): Εκτελεί μετασχηματισμό Fourier της προσπίπτουσας δέσμης, προβάλλοντας το φάσμα της.

6. **Ουδέτερο φίλτρο (επίπεδο Fourier):** Μπορεί να τροποποιήσει τη φάση ή/και το πλάτος στο επίπεδο Fourier.
7. **Απεικονιστής φακός:** Προβάλλει την εικόνα του αντικειμένου ή του φάσματος σε συγκεκριμένο επίπεδο.
8. **CCD κάμερα και φακός της:** Καταγράφει την τελική εικόνα ή το φάσμα στο επίπεδο της κάμερας, για περαιτέρω ανάλυση.
9. **Ανοίγματα:** Είναι τα αντικείμενα των οποίων μελετάται η περίθλαση (σχισμές, ανοίγματα, φράγματα) τα οποία τοποθετούμε στη βάση τοποθέτησης.

Η κάμερα είναι συνδεδεμένη με έναν υπολογιστή, στον οποίο εκτελείται ειδικό λογισμικό για την καταγραφή των μετρήσεων που πραγματοποιούνται πάνω στην καταγεγραμμένη εικόνα περίθλασης. Σε πειραματικό επίπεδο, η διαδικασία περιλαμβάνει την ενεργοποίηση ολόκληρης της διάταξης και την τοποθέτηση των ανοιγμάτων, ένα προς ένα, πάνω στη βάση τοποθέτησης. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται μετρήσεις πάνω στην εικόνα περίθλασης με τη βοήθεια του εξειδικευμένου λογισμικού και καταγράφονται τα αντίστοιχα δεδομένα.

3.1.1 Απλές σχισμές

Σχισμή	Τάξη κροσσού, m	Απόσταση σκοτεινών κροσσών εκατέρωθεν του κεντρικού, $2\Delta x$ [mm]
$\Sigma 2$	1	0,47
$\Sigma 2$	2	1,04
$\Sigma 3$	1	0,9
$\Sigma 4$	1	1,84
$\Sigma 4$	2	2,97
$\Sigma 5$	1	5,94

Πίνακας 1: Πειραματικά δεδομένα περίθλασης απλών σχισμών.

Εφόσον γνωρίζουμε ότι η διάταξη διαθέτει μετασχηματιστή φακό με εστιακή απόσταση $f = 185 \text{ mm}$ και η πηγή Laser He-Ne εκπέμπει ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda = 632,8 \text{ nm} = 632,8 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$, μπορούμε, μέσω της σχέσης (1) και των πειραματικών δεδομένων του Πίνακα 1, να υπολογίσουμε το πλάτος της σχισμής που χρησιμοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, το πάχος αυτό δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$(1) \Rightarrow a = \frac{m\lambda f}{\Delta x}$$

Οι τιμές υπολογίστηκαν μέσω του excel και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2):

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της σχισμής a , τόσο μικρότερη είναι τελικά η απόσταση μεταξύ των σκοτεινών κροσσών. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν το φως περνά μέσα από μια σχισμή, κάθε σημείο της σχισμής λειτουργεί σαν

λ (mm)	f (mm)
$632,8 \cdot 10^{-6}$	185
Σχισμή	Πάχος α (mm)
Σ2	0,498
Σ2	0,450
Σ3	0,260
Σ4	0,127
Σ4	0,158
Σ5	0,039

Πίνακας 2: Υπολογισμοί πάχους απλών σχισμών.

μια δευτερογενής πηγή κυμάτων, σύμφωνα με την αρχή του Huygens. Αυτά τα δευτερογενή κύματα συμβάλλουν μεταξύ τους – δηλαδή, ενισχύονται ή ακυρώνονται ανάλογα με τη διαφορά φάσης τους. Όταν η σχισμή είναι στενή, τα σημεία της είναι κοντά μεταξύ τους και υπάρχει λιγότερη ποικιλία στις διαφορές φάσης, οπότε οι συνθήκες για καταστροφική συμβολή (σκοτεινοί κροσσοί) εμφανίζονται σε πιο απομακρυσμένες γωνίες. Όταν η σχισμή είναι πλατύτερη, τα σημεία της είναι πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους, και άρα μπορεί να υπάρξει καταστροφική συμβολή πιο εύκολα ακόμα και για μικρές γωνίες. Έτσι, οι σκοτεινοί κροσσοί “πυκνώνουν”, δηλαδή πλησιάζουν μεταξύ τους.

3.1.2 Ορθογώνια ανοίγματα

Τα ανοίγματα τα οποία είναι ορθογώνια είναι τα O1 και O2. Ομοίως κάθε ένα από αυτά τοποθετείται διαδοχικά στη βάση τοποθέτησης, και μέσω του λογισμικού καταγράφεται η απόσταση μεταξύ των σκοτεινών κροσσών και στις 2 διαστάσεις εκατέρωθεν του κεντρικού της εικόνας περίθλασης, για την τάξη που αναφέρεται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 3), ο οποίος περιλαμβάνει τα αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα.

Άνοιγμα	Τάξη κροσσού, m	Οριζόντια απόσταση σκοτεινών κροσσών $2\Delta x$ [mm]	Κατακόρυφη απόσταση σκοτεινών κροσσών $2\Delta y$ [mm]
O1	1	4,03	1,08
O1	2	8	2,16
O2	1	2,7	2,96
O2	2	5,95	5,84

Πίνακας 3: Πειραματικά δεδομένα περίθλασης ορθογωνίων ανοιγμάτων.

Μέσω των σχέσεων (2) και (3) και των πειραματικών δεδομένων του πίνακα 3 μπορούμε να υπολογίσουμε το ύψος και το μήκος του ανοίγματος. Συγκείμενα το μήκος θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$(2) \Rightarrow a = \frac{m\lambda f}{\Delta x}$$

Ενώ το ύψος σύμφωνα με την σχέση (3) θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$(2) \Rightarrow b = \frac{m\lambda f}{\Delta y}$$

Οι τιμές ομοίως υπολογίστηκαν μέσω του excel και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4):

λ (mm)		f (mm)	
632,8·10 ⁻⁶		185	
Άνοιγμα	Μήκος a (mm)	Υψος b (mm)	
O1	0,058	0,217	
O1	0,059	0,217	
O2	0,087	0,079	
O2	0,079	0,080	

Πίνακας 4: Υπολογισμοί του μήκους και του ύψους των ορθογωνίων ανοιγμάτων.

Εάν πάρουμε της μέσες τιμές των υπολογισμών του πίνακα 4 προκύπτει ότι:

Άνοιγμα O1: Μήκος 0,058 mm και ύψος 0,217 mm

Άνοιγμα O2: Μήκος 0,083 mm και ύψος 0,08 mm

Παρατηρούμε ότι όσο μικρότερο είναι το μήκος του ορθογώνιου ανοίγματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ των σκοτεινών χροσσών. Αντίθετα, καθώς αυξάνεται το μήκος του ανοίγματος, η απόσταση αυτή μειώνεται. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και ως προς το ύψος του ανοίγματος: μικρότερο ύψος οδηγεί σε μεγαλύτερη κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των χροσσών στον άξονα y, ενώ μεγαλύτερο ύψος οδηγεί σε πυκνότερους χροσσούς. Αυτό συμβαίνει για τον ίδιο φυσικό λόγο που εξηγήθηκε προηγουμένως στην περίπτωση των απλών σχισμών: καθώς αυξάνεται η διάσταση του ανοίγματος κατά μια διεύθυνση, η γωνιακή θέση των ελαχίστων μετατοπίζεται προς μικρότερες τιμές, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόστασης μεταξύ των σκοτεινών χροσσών στην αντίστοιχη κατεύθυνση. Ενώ όταν μειώνετε συμβαίνει το αντίθετο.

3.1.3 Απλά κυκλικά ανοίγματα

Τα ανοίγματα που είναι απλά κυκλικά είναι τα K_1 και K'_1 . Ομοίως, καθένα από αυτά τοποθετείται διαδοχικά στη βάση τοποθέτησης, και μέσω του λογισμικού καταγράφεται η διάμετρος του σκοτεινού δακτυλίου D_{Airy} για την τάξη που αναφέρεται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 5), ο οποίος περιλαμβάνει και τα αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα.

Άνοιγμα	Αριθμός σκοτεινού δακτυλίου	Διάμετρος σκοτεινού δακτυλίου D_{Airy} [mm]
K1	1	1,23
K1'	1	9,58

Πίνακας 5: Πειραματικά δεδομένα περίθλασης απλών κυκλικών ανοιγμάτων.

Μέσω της σχέσης (4) και των πειραματικών δεδομένων του πίνακα 5 μπορούμε να υπολογίσουμε την διάμετρο του ανοίγματος που χρησιμοποιήθηκε πειραματικά, δηλαδή την διάμετρο των ανοιγμάτων K1 και K1'. Συγκεκριμένα η διάμετρος θα δίνεται από την παρακάτω σχέση η οποία προκύπτει από την σχέση (4):

$$(4) \Rightarrow D = 2R = \frac{1.22\lambda f}{\rho_{\text{Airy}}}$$

Οι τιμές ομοίως υπολογίστηκαν μέσω του excel και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6):

λ (mm)	f (mm)
$632,8 \cdot 10^{-6}$	185
Άνοιγμα	Διάμετρος ανοίγματος D (mm)
K1	0,232
K1'	0,030

Πίνακας 6: Υπολογισμοί της διαμέτρου των απλών κυκλικών ανοιγμάτων.

Άρα, υπολογίστηκε ότι το κυκλικό άνοιγμα K_1 έχει διάμετρο $D_1 = 0,232$ mm, ενώ το άνοιγμα K_1' έχει διάμετρο $D_1' = 0,03$ mm. Παρατηρούμε ότι όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του ανοίγματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του δακτυλίου του Airy στο πρότυπο. Αυτό συμβαίνει επειδή, όσο μικραίνει το άνοιγμα, τόσο περισσότερο “απλώνεται” το φως λόγω της κυματικής του φύσης. Το φαινόμενο της περίθλασης γίνεται εντονότερο και τα κύματα διαδίδονται υπό μεγαλύτερες γωνίες, σχηματίζοντας έναν μεγαλύτερο δίσκο Airy στην οθόνη. Αντίθετα, ένα μεγαλύτερο άνοιγμα περιορίζει τη γωνιακή διασπορά του φωτός, συγκεντρώνοντας την ενέργεια σε έναν μικρότερο και πιο έντονο κεντρικό δίσκο.

3.1.4 Πολλαπλά κυκλικά ανοίγματα

Τα ανοίγματα που είναι πολλαπλά κυκλικά είναι τα K_2 , K_2' , K_3 και K_4 . Ομοίως, καθένα από αυτά τοποθετείται διαδοχικά στη βάση τοποθέτησης, και μέσω του λογισμικού καταγράφονται η διάμετρος του σκοτεινού δακτυλίου D_{Airy} και η απόσταση των διαδοχικών (κύριων) φωτεινών χροσσών συμβολής, για την τάξη που αναφέρεται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 7), ο οποίος περιλαμβάνει και τα αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα.

Άνοιγμα	Αριθμός σκοτεινού δακτυλίου	Διάμετρος σκοτεινού δακτυλίου DAiry [mm]	Απόσταση διαδοχικών (κύριων) φωτεινών κροσσών συμβολής Δx [mm]
K2	1	5,65	0,49
K2'	1	5,47	0,25
K3	1	5,4	0,59
K4	1	5,42	0,64

Πίνακας 7: Πειραματικά δεδομένα περίθλασης πολλαπλών κυκλικών ανοιγμάτων.

Ομοίως μέσω της σχέσης (4) και των πειραματικών δεδομένων του πίνακα 7 μπορούμε να υπολογίσουμε την διάμετρο των ανοιγμάτων για κάθε . Όπως είδαμε και προηγουμένως η διάμετρος θα δίνεται από την παρακάτω σχέση η οποία προκύπτει από την σχέση (4):

$$(4) \Rightarrow D = 2R = \frac{1.22\lambda f}{\rho_{\text{Airy}}}$$

Οι τιμές ομοίως υπολογίστηκαν μέσω του excel και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8):

λ (mm)		f (mm)
632,8·10 ⁻⁶		185
Άνοιγμα	Διάμετρος ανοιγμάτων D (mm)	
K2	0,051	
K2'	0,052	
K3	0,053	
K4	0,053	

Πίνακας 8: Υπολογισμοί της διαμέτρου των πολλαπλών κυκλικών ανοιγμάτων.

Καταρχάς παρατηρούμε ότι όλα τα ανοίγματα έχουν περίπου την ίδια διάμετρο. Για αυτό ευθύνονται κυρίως οι μετρήσεις της διαμέτρου του δίσκου του Airy, οι οποίες παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους. Η σχετική ομοιομορφία στις διαμέτρους των δίσκων του Airy είναι αναμενόμενη, καθώς σχετίζεται άμεσα με τη διάμετρο των αντίστοιχων κυκλικών ανοιγμάτων. Μέσω της σχέσης (5), μπορούμε να υπολογίσουμε και τις αποστάσεις d μεταξύ των κυκλικών ανοιγμάτων. Οι αντίστοιχες τιμές υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του Excel και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 9 που ακολουθεί.

λ (mm)	f (mm)
632,8	185
Άνοιγμα	Αποστάσεις ανοιγμάτων d
K2	0,24
K2'	0,47
K3	0,20
K4	0,18

Πίνακας 9: Υπολογισμοί της διαμέτρου των πολλαπλών κυκλικών ανοιγμάτων.

Παρατηρούμε από τις παραπάνω τιμές ότι όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ των κυκλικών ανοιγμάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ των χροσσών συμβολής. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν τα ανοίγματα είναι πιο κοντά μεταξύ τους, τα φωτεινά κύματα που εκπέμπονται από αυτά έχουν μικρότερη διαφορά πορείας για κάθε σημείο στην οθόνη παρατήρησης. Έτσι, η συμβολή (η ενίσχυση ή ακύρωση των κυμάτων) εμφανίζεται πιο “αραιά” δηλαδή απαιτείται μεγαλύτερη απόσταση στην οθόνη για να υπάρξει επαρκής διαφορά φάσης ώστε να δημιουργηθεί ο επόμενος χροσσός. Με άλλα λόγια, το φως από κοντινά ανοίγματα έχει παρόμοια κατεύθυνση, και γι’ αυτό η συμβολή εξελίσσεται πιο αργά ως προς τη θέση στην οθόνη, οδηγώντας σε μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των χροσσών. Αντίθετα, όταν τα ανοίγματα είναι πιο μακριά, το φως φτάνει με πιο διαφορετικές κατευθύνσεις, οπότε οι συνθήκες συμβολής επιτυγχάνονται συχνότερα, δημιουργώντας πυκνότερους χροσσούς.

3.1.5 Φράγματα περίθλασης

Τα ανοίγματα τα οποία περιέχουν φράγματα περίθλασης είναι τα Π1 και Π2. Ομοίως κάθε ένα από αυτά τοποθετείται διαδοχικά στη βάση τοποθέτησης, και μέσω του λογισμικού καταγράφεται η απόσταση των διαδοχικών φωτεινών χροσσών του προτύπου. Τα πειραματικά δεδομένα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 10).

Φράγμα	Απόσταση διαδοχικών φωτεινών χροσσών Δx [mm]
Π1	1,56
Π2	3,85

Πίνακας 10: Πειραματικά δεδομένα φραγμάτων περίθλασης.

Με βάση τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα, είναι δυνατός ο υπολογισμός της σταθεράς του φράγματος d για κάθε ένα από τα φράγματα που χρησιμοποιήθηκαν. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια της σχέσης (6) και του Excel, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 11 που ακολουθεί.

m=1	
λ (mm)	f (mm)
$632,8 \cdot 10^{-6}$	185
Φράγμα	Σταθερά φράγματος d (mm)
Π1	0,075
Π2	0,030

Πίνακας 11: Υπολογισμοί της σταθεράς d των φραγμάτων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα παρατηρούμε ότι όσο πιο πυκνά τα ανοίγματα του φράγματος τόσο μεγαλύτερη και η απόσταση των διαδοχικών κροσσών και το αντίστροφο.

3.1.6 Διδιάστατα φράγματα περίθλασης

Τα ανοίγματα τα οποία περιέχουν διδιάστατα φράγματα περίθλασης είναι τα Δ1 και Δ2. Ομοίως κάθε ένα από αυτά τοποθετείται διαδοχικά στη βάση τοποθέτησης, και μέσω του λογισμικού καταγράφονται διάφορες μετρήσεις. Τα πειραματικά δεδομένα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 12).

Φράγμα	Αριθμός σκοτεινού δακτυλίου	Διάμετρος σκοτεινού δακτυλίου D_Airy [mm]
Δ1	1	11,06
Δ2	-	-
	Οριζόντια απόσταση διαδοχικών φωτεινών κροσσών Δx [mm]	Κατακόρυφη απόσταση διαδοχικών φωτεινών κροσσών Δy [mm]
Δ1	0,6	0,62
Δ2	2,44	2,43

Πίνακας 12: Πειραματικά δεδομένα διδιάστατων φραγμάτων περίθλασης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα, μόνο το φράγμα Δ1 παρουσίασε δακτύλιο Airy. Ως αποτέλεσμα, μόνο σε αυτό ήταν δυνατή η μέτρηση της διαμέτρου των κυκλικών ανοιγμάτων που περιέχει, χρησιμοποιώντας τη σχέση (10). Επιπλέον, μέσω των αποστάσεων μεταξύ των διαδοχικών φωτεινών κροσσών και με τη βοήθεια των σχέσεων (8) και (9), ήταν δυνατό να υπολογιστούν οι αποστάσεις μεταξύ των ανοιγμάτων κατά μήκος των δύο αξόνων, για κάθε φράγμα. Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 13).

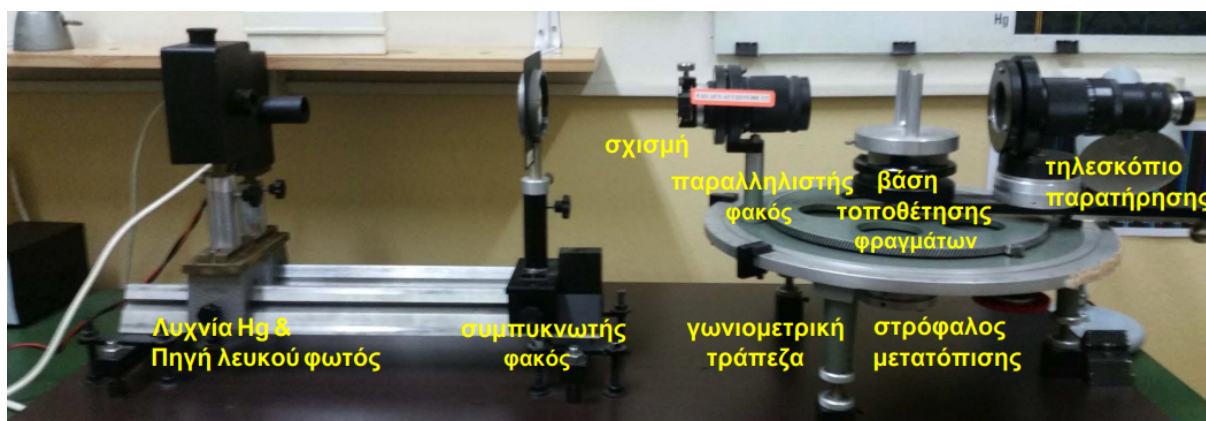
	λ (mm)	f (mm)	
	632,8	185	
Φράγματα	Διάμετρος κυκλικών ανοιγμάτων (mm)	dx (mm)	dy (mm)
$\Delta 1$	0,026	0,195	0,189
$\Delta 2$	-	0,048	0,048

Πίνακας 13: Μετρήσεις διαμέτρου και αποστάσεων ανοιγμάτων για τα διδιάστατα φράγματα περίθλασης.

Από τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα παρατηρούμε καταρχάς ότι οι αποστάσεις μεταξύ των ανοιγμάτων είναι σχεδόν ίδιες και στους δύο άξονες. Αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχει συμμετρία ως προς τη διάταξη των σχισμών, γεγονός που ενισχύει την υπόθεση ότι το φράγμα έχει ομοιόμορφη και κανονική γεωμετρία. Μια τέτοια συμμετρική κατανομή οδηγεί σε ομοιόμορφο πρότυπο συμβολής, κάτι που φαίνεται και από τη συμμετρία των φωτεινών χροσσών στην πειραματική παρατήρηση.

3.2 Β. Φασματοσκόπιο

Στο Β και τελευταίο μέρος της πειραματικής εργασίας, θα επιχειρήσουμε να μελετήσουμε πειραματικά την περίθλαση πολυχρωματικού φωτός με τη χρήση φασματοσκοπίου. Η πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Πειραματική διάταξη του φασματοσκοπίου.

Η πειραματική διάταξη για τη μελέτη της περίθλασης πολυχρωματικού φωτός αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- **Λυχνία Hg και πηγή λευκού φωτός:** Χρησιμεύει ως πηγή ακτινοβολίας για το πείραμα.
- **Συμπυκνωτής φακός:** Συγκεντρώνει τη δέσμη φωτός και τη μεταφέρει προς τη σχισμή.
- **Σχισμή:** Ρυθμιζόμενο άνοιγμα που καθορίζει την αρχική δέσμη και δημιουργεί φαινόμενα περίθλασης.

- **Παραλληλιστής φακός:** Μετατρέπει τη δέσμη σε παράλληλη μετά τη σχισμή.
- **Βάση τοποθέτησης φραγμάτων:** Σημείο όπου τοποθετούνται τα πειραματικά φράγματα ή τα στοιχεία προς μελέτη.
- **Γωνιομετρική τράπεζα:** Περιστρεφόμενη βάση που επιτρέπει την ακριβή μέτρηση γωνιών διάθλασης ή περίθλασης.
- **Στρόφαλος μετατόπισης:** Μηχανισμός που επιτρέπει την οριζόντια ή γωνιακή μετακίνηση των στοιχείων.
- **Τηλεσκόπιο παρατήρησης:** Χρησιμοποιείται για την παρατήρηση των φαινομένων περίθλασης ή συμβολής που προβάλλονται από το φως.

Αρχικά, θα χρησιμοποιηθεί ένα γνωστό φράγμα περίθλασης, το Π2, το οποίο διαθέτει 600 γραμμές ανά χιλιοστό. Αυτό σημαίνει ότι:

$$d = \frac{1 \text{ mm}}{600} = 1.67 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

3.2.1 Μέτρηση μηκών κύματος λυχνίας Hg

Έχοντας ενεργοποιήσει τη διάταξη και χρησιμοποιώντας ως πηγή ακτινοβολίας τη λυχνία Hg, παρατηρούμε μέσω του τηλεσκοπίου παρατήρησης τις φασματικές γραμμές. Πειραματικά, απαιτείται να μετρηθεί η γωνία της περίθλασης για τις φασματικές γραμμές πρώτης τάξης των χρωμάτων: μπλε, πράσινο και διπλή πορτοκαλί. Τα πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 14).

Φασματική γραμμή	Τάξη κροσσού, m	Μετρούμενη γωνία περίθλασης ($\theta/2$) σε μοίρες
Μπλε	1	7,62
Πράσινη	1	9,65
Διπλή πορτοκαλί	1	10,13

Πίνακας 14: Πειραματικά δεδομένα γωνιάς περίθλασης φασματικών γραμμών πρώτης τάξης.

Εφόσον είναι γνωστές οι αποστάσεις μεταξύ των σχισμών του φράγματος, καθώς και οι γωνίες των περιθλώμενων ακτίνων, μπορούμε, με χρήση της εξίσωσης του φράγματος (σχέση 7), να υπολογίσουμε τα μήκη κύματος των ακτίνων που αντιστοιχούν στις φασματικές γραμμές που παρατηρήθηκαν. Οι σχετικοί υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν στο Excel και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 15).

Φασματική γραμμή	Τάξη κροσσού, m	Μήκη κύματος λ λυχνίας Hg (nm)
Μπλε	1	430
Πράσινη	1	550
Διπλή πορτοκαλί	1	580

Πίνακας 15: Υπολογισμοί μηκών κύματος λυχνίας Hg.

3.2.2 Υπολογισμός σταθεράς φράγματος και γραμμών ανά mm αγνώστου φράγματος Π1

α) Με την χρήση του περιθλασίμετρου

Τοποθετούμε το φράγμα Π1 στην πειραματική διάταξη του περιθλασίμετρου και, με τη βοήθεια του ειδικού λογισμικού, πραγματοποιούμε μέτρηση της απόστασης μεταξύ διαδοχικών φωτεινών χροσσών. Η απόσταση αυτή μετρήθηκε ίση με:

$$\Delta x = 2,45 \text{ mm}$$

Το d (η απόσταση μεταξύ των σχισμών του φράγματος) θα υπολογιστεί με βάση τη σχέση (5), δηλαδή:

$$d = \frac{\lambda f}{\Delta x} = \frac{632,8 \times 10^{-6} \cdot 185}{2,45} = 0,048 \text{ mm}$$

Δηλαδή περίπου 21 γραμμές ανά mm.

β) Με την χρήση του φασματοσκοπίου

Για τον προσδιορισμό της σταθεράς του φράγματος με τη βοήθεια του φασματοσκοπίου, είναι απαραίτητο να μετρηθούν πειραματικά οι γωνίες των περιθλώμενων ακτίνων για διάφορες φασματικές γραμμές διαφορετικών χρωμάτων. Οι πειραματικές τιμές που καταγράφηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 16).

Φασματική γραμμή	Τάξη κροσσού, m	Μετρούμενη γωνία περίθλασης σε μοίρες ($\theta/2$)
Μπλε	2	0,83
Πράσινη	2	0,98
Διπλή πορτοκαλί	2	0,68

Πίνακας 16: Πειραματικά δεδομένα γωνιών περιθλώμενης ακτίνας.

Σύμφωνα με την σχέση (7) και τα πειραματικά δεδομένα του πίνακα 16 προκύπτουν οι παρακάτω τιμές σταθερές φράγματος d για το φράγμα Π1.

Φασματική γραμμή	Τάξη κροσσού, m	d (mm)
Μπλε	2	0,043
Πράσινη	2	0,042
Διπλή πορτοκαλί	2	0,053

Πίνακας 17: Υπολογισμοί σταθεράς φράγματος μέσω πειραματικών δεδομένων φασματοσκοπίου.

Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των πειραματικών τιμών, προσδιορίζεται η σταθερά του φράγματος Π1 ως:

$$d = 0,046 \text{ mm}$$

Όπως παρατηρούμε, οι τιμές της σταθεράς του φράγματος στα μέρη (α) και (β) είναι πολύ κοντινές μεταξύ τους, γεγονός που υποδηλώνει καλή συμφωνία μεταξύ των διαφορετικών πειραματικών διατάξεων.

3.2.3 Εύρεση του εύρους μηκών κύματος του λευκού φωτός.

Τέλος, θα επιχειρηθεί ο υπολογισμός του φασματικού εύρους των μηκών κύματος του λευκού φωτός, μέσω πειραματικών μετρήσεων, χρησιμοποιώντας το φράγμα Π2, το οποίο έχει σταθερά $d = 1,67 \times 10^{-3}$ mm. Η διαδικασία βασίζεται στη μέτρηση των γωνιών περίθλασης των φασματικών γραμμών, με αφετηρία το ιώδες και καταληκτικό σημείο το ερυθρό άκρο του φάσματος. Οι πειραματικές τιμές που προέκυψαν καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 18).

Φασματική γραμμή	Τάξη κροσσού, m	Μετρούμενη γωνία περίθλασης ($\theta/2$)
Αρχή ιώδους	1	7,1
Τέλος ερυθρού	1	12,2

Πίνακας 18: Πειραματικά δεδομένα γωνιών περίθλασης ακτίνας φασματικών γραμμών ιώδους και ερυθρού.

Ομοίως, σύμφωνα με τη σχέση (7), μπορούμε, αξιοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα και τις πειραματικές μετρήσεις του Πίνακα 18, να υπολογίσουμε τις τιμές των μηκών κύματος. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 19).

Φασματική γραμμή	Τάξη κροσσού, m	Ευρος μηκών κυματος λευκού φωτος (nm)
Αρχή ιώδους	1	409
Τέλος ερυθρού	1	690

Πίνακας 18: Υπολογισμοί εύρους μηκών κύματος λευκού φωτός.

Παρατηρούμε ότι το φασματικό εύρος υπολογίστηκε από 409 έως 690 nm, τιμές που συμφωνούν με το θεωρητικά αναμενόμενο εύρος του λευκού φωτός, το οποίο εκτείνεται από 400 έως 700 nm. Η συμφωνία αυτή υποδεικνύει την ακρίβεια των μετρήσεων και τη σωστή λειτουργία της πειραματικής διάταξης του φασματοσκοπίου.

4 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, μέσω της πειραματικής μελέτης του φαινομένου της περίθλασης και των διαφορετικών τύπων ανοιγμάτων, καταφέραμε να προσδιορίσουμε βασικά χαρακτηριστικά των σχισμών και των φραγμάτων, όπως αποστάσεις, διαμέτρους και φασματικά εύρη. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν με βάση τα πειραματικά δεδομένα συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με τις θεωρητικές τιμές, γεγονός που επιβεβαιώνει τόσο την ορθότητα της πειραματικής μεθοδολογίας όσο και την αξιοπιστία της πειραματικής διάταξης. Η συνέπεια μεταξύ θεωρίας και πειράματος αποδεικνύει ότι η διάταξη του περιθλασίμετρου λειτούργησε σωστά

και απέδωσε αποτελέσματα με υψηλή ακρίβεια, ενισχύοντας την κατανόηση της κυματικής φύσης του φωτός και των φαινομένων συμβολής και περίθλασης.

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει στη διάταξη του φασματοσκοπίου, η οποία απέδωσε ιδιαίτερα ακριβή αποτελέσματα όσον αφορά τον προσδιορισμό του φασματικού εύρους του λευκού φωτός. Οι τιμές που προέκυψαν από τις μετρήσεις ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις αναμενόμενες θεωρητικές τιμές (400–700 nm), επιβεβαιώνοντας την καλή ευθυγράμμιση και λειτουργικότητα της οπτικής διάταξης. Η συνέπεια μεταξύ θεωρίας και πειράματος ενισχύει τη γενική αξιοπιστία των συμπερασμάτων και συμβάλλει στην εμβάθυνση της κατανόησης της κυματικής φύσης του φωτός και των φαινομένων συμβολής και περίθλασης.