

ΑΣΚΗΣΗ 25

25.1 Σκοπός

Η παρούσα Άσκηση στοχεύει στην κατανόηση των βασικών εννοιών της κυματικής οπτικής, διαμέσου της κυματικής θεωρίας του φωτός. Για τον σκοπό αυτό, μελετούμε τη συμβολή και περίθλαση μονοχρωματικού laser μέσω μεταβλητού αριθμού σχισμών, αλλά και οπτικού φράγματος. Στη δεύτερη περίπτωση, απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός του εύρους και της πυκνότητας κάθε σχισμής.

25.2 Θεωρία

Στο εν λόγω πείραμα, θα ασχοληθούμε μόνο με φαινόμενα συμβολής-περίθλασης Fraunhofer, δηλαδή φαινόμενα στα οποία η απόσταση της οθόνης παρατήρησης (εν προκειμένω τοίχος) είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τις διαστάσεις των πηγών και των αποστάσεών τους.

Για να εκτελέσουμε το πείραμα θα χρειαστούμε μια πηγή –laser- και μια οθόνη παρατήρησης –τοίχος. Κατευθύνοντας το laser μέσω οπών διαφορετικού εύρους και πυκνότητας, παρατηρούμε κάθε φορά διαφορετικά φαινόμενα, τα οποία αποδίδονται στην κυματική φύση του φωτός.

25.2.1 Συμβολή του φωτός από δύο σύμφωνες σημειακές πηγές –

25.2.2 Περίθλαση από μια σχισμή

Όταν η απόσταση της πηγής από την οθόνη παρατήρησης είναι σχετικά μικρή, τότε η φωτεινότητα της οπής είναι μεταβαλλόμενη κι όχι σταθερή. Αντίθετα, όταν η προαναφερθείσα απόσταση είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να γίνεται λόγος για φαινόμενο περίθλασης Fraunhofer, η μεταβολή της φωτεινότητας της οπής αντικαθίσταται από τον σχηματισμό φωτεινών και σκοτεινών κροσσών. Μάλιστα, όσο αυξάνεται η απόσταση, τόσο οι κροσσοί αποκλίνουν σχηματικά από το περίγραμμα της οπής. Η παραπάνω παρατήρηση καλείται «περίθλαση του φωτός» και συνοψίζεται από την αρχή του Huygens. Σύμφωνα με αυτή, το φαινόμενο οφείλεται στη διέλευση επίπεδου μετώπου ενός μονοχρωματικού σύμφωνου φωτεινού κύματος από μια λεπτή οπή. Το γεγονός αυτό μετατρέπει κάθε σημείο της σχισμής (από το ένα άκρο της ως το άλλο) σε πολλαπλές σύμφωνες δευτερογενείς πηγές σφαιρικών κυμάτων, μονοχρωματικών και συμφασικών.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, όπως προαναφέρθηκε, γίνεται λόγος για φαινόμενα περίθλασης Fraunhofer, επομένως το εύρος D της οπής είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το μήκος κύματος λ της μονοχρωματικής δέσμης φωτός. Συνεπώς, ισχύουν τα παρακάτω:

- ✓ Η κατανομή της έντασης I ορίζεται ως εξής:

$$I(\theta) = I_n * \left(\frac{\sin(b)}{b}\right)^2, \text{ όπου } b = \frac{\pi}{\lambda} * D * \sin(\theta) \approx \frac{D}{\lambda * r} * x, \text{ προφανώς για } r \gg \lambda$$

- ✓ Η απόσταση x_n των σκοτεινών κροσσών από το κέντρο συμμετρίας O της οθόνης παρατήρησης (εν προκειμένω, το κέντρο του μιλιμετρέ χαρτιού) ορίζεται ως εξής:

$$x_n = \frac{r}{D} * n * \lambda, \text{ όμοια για } r \gg x$$
- ✓ Το γραμμικό εύρος W_π του κεντρικού φωτεινού κροσσού ορίζεται ως εξής:

$$W_\pi = \frac{2r\lambda}{D}, \text{ ενώ τέλος}$$
- ✓ Το πλήθος $n_{σκ}$ των σκοτεινών κροσσών που μπορούν να παρατηρηθούν εκατέρωθεν του κεντρικού φωτεινού κροσσού ορίζεται ως εξής:

$$n_{σκ} \leq \frac{D}{\lambda}$$

25.2.3 Συμβολή – περίθλαση από δύο ή περισσότερες σχισμές

Αν αντί για μια σχισμή, αξιοποιήσουμε πολλαπλές, παράλληλες σχισμές μικρού εύρους (πανομοιότυπες), τις οποίες διασταυρώνουμε με μια μονοχρωματική ακτίνα laser, παρατηρούμε πως το φαινόμενο περίθλασης εξακολουθεί να υφίσταται, ωστόσο με παραλλαγές. Συγκεκριμένα, μπορούμε να πούμε πως κάθε οπή λαμβάνει τον ρόλο σύμφωνης σημειακής πηγής σφαιρικών κυμάτων. Συνεπώς, μαζί με το φαινόμενο περίθλασης παρατηρείται και το φαινόμενο συμβολής. Αυτό σημαίνει πως, ταυτόχρονα, διαδίδονται δύο κύματα στην ίδια περιοχή μέσου κι έτσι το αποτέλεσμα που λαμβάνουμε στην οθόνη παρατήρησης δεν είναι άλλο, παρά μια εναλλαγή κύριων και δευτερευόντων φωτεινών και σκοτεινών κροσσών, με τους δευτερεύοντες να εμπεριέχονται στους κύριους. Στις φωτεινές θέσεις, τα 2 συμβαλλόμενα κύματα έχουν διαφορά φάσης $2k\pi$, όπου $k = 0, 1, 2, \dots$, ενώ στις σκοτεινές θέσεις τα συμβαλλόμενα κύματα έχουν διαφορά φάσης $(2k - 1)\pi$, όπου $k = 1, 2, 3, \dots$. Σύμφωνα με όλα αυτά, ισχύουν τα παρακάτω:

- ✓ Η απόσταση Δy μεταξύ δύο διαδοχικών κροσσών ίδιου είδους ορίζεται ως εξής:

$$\Delta y = \frac{r}{d} * \lambda$$
- ✓ Η απόσταση y_m δευτερεύοντος φωτεινού κροσσού από το κέντρο O του κύριου φωτεινού κροσσού ορίζεται ως εξής:

$$y_m = \frac{r}{d} * m * \lambda, \text{ όπου } m * \lambda = d * \sin \theta, \text{ ενώ}$$
- ✓ Η απόσταση y_m δευτερεύοντος σκοτεινού κροσσού από το κέντρο συμβολής ορίζεται ως εξής:

$$y_m = \frac{r}{d} * \left(m + \frac{1}{2}\right) * \lambda$$
- ✓ Τέλος, για το εύρος των κύριων φωτεινών κροσσών συμβολής W_σ εξακολουθεί να ισχύει παρόμοιος τύπος με την περίπτωση της μονής σχισμής:

$$W_\sigma = \frac{W_\pi}{N} = \frac{2r\lambda}{Nd}, \text{ ενώ ισχύει πως μεταξύ 2 διαδοχικών κύριων φωτεινών κροσσών, εντοπίζονται } N-2 \text{ δευτερεύοντες φωτεινοί κροσσοί.}$$

25.2.4 Οπτικά φράγματα

Ο όρος οπτικό φράγμα αναφέρεται σε ένα πεπερασμένο σύνολο N οπών, όπου $N \rightarrow +\infty$ και η σχέση εύρους οπών-μήκους κύματος είναι τέτοια, ώστε $D \ll \lambda$. Για το οπτικό φράγμα, οι θέσεις των φωτεινών κροσσών εξακολουθούν να είναι οι ίδιες όπως στο παράρτημα 25.2.3, δηλαδή

$$y_m = \frac{r}{d} * m * \lambda, \text{ όπου } m * \lambda = d * \sin \theta.$$

Αν η δέσμη φωτός από το laser δεν είναι μονοχρωματική αλλά πολυχρωματική, τότε στην οθόνη παρατήρησης βλέπουμε, αντί για έναν ενιαίο κροσσό, πολλαπλούς έγχρωμους, οι οποίοι ανταποκρίνονται στα διαφορετικά μήκη κύματος λ της ακτινοβολίας. Η διακριτική ικανότητα του φράγματος είναι ανάλογη της πυκνότητας των σχισμών και ορίζεται από τη σχέση:

$$N_o = \frac{1}{d}, \text{ όπου } m * \lambda * N_o = \sin \theta.$$

25.3 Μέθοδος

Για τη διεξαγωγή του πειράματος, θα χρειαστούμε ένα laser, πλάκες με 1 έως 4 οπές κι ένα οπτικό φράγμα διέλευσης. Επίσης, ως οθόνη παρατήρησης θα αξιοποιηθεί ο τοίχος, στον οποίο τοποθετούμε ένα μιλιμετρέ χαρτί (προς βαθμονόμηση της οθόνης παρατήρησης).

Αρχικά, θα μελετήσουμε το εύρος (W_π) του κεντρικού κροσσού, καθώς και την απόσταση από αυτόν δευτερευόντων σκοτεινών (x_n) και φωτεινών κροσσών (y_m). Έπειτα, αξιοποιώντας σχισμή αγνώστου εύρους D και μετρώντας είτε την απόσταση x_n είτε το εύρος W_π , θα υπολογίσουμε το εύρος D . Τέλος, θα υπολογίσουμε και τον λόγο $\rho = \frac{d}{D}$ και την πυκνότητα των σχισμών του οπτικού φράγματος, N_o .

25.4 Πειραματική Διαδικασία – Εξαρτήματα

Το laser που θα χρησιμοποιήσουμε είναι τύπου He-Ne κι εκπέμπει λεπτή μονοχρωματική δέσμη φωτός, με $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ και ισχύ 0.5 mW και είναι τοποθετημένο πάνω σε λεπτό μεταλλικό φορέα 1 m . Μπροστά από το laser εντοπίζεται μαγνητική βάση, ακλόνητη, πάνω στην οποία στερεώνονται οι ασυνέχειες (slides). Σε αρκετά μεγάλη απόσταση από το laser βρίσκεται η οθόνη παρατήρησης. Όσον αφορά στις ασυνέχειες, διαθέτουμε:

- ✓ Ένα slide με τέσσερις απλές σχισμές γνωστού αλλά διαφορετικού εύρους D ,
- ✓ Ένα slide με μια σχισμή αγνώστου εύρους D ,
- ✓ Ένα slide με τέσσερα συστήματα δύο σχισμών, εκ των οποίων τα τρία έχουν γνωστό εύρος D και απόσταση σχισμών d ,
- ✓ Ένα slide με συστήματα πολλαπλών σχισμών (2-5) και τέλος
- ✓ Ένα οπτικό φράγμα άγνωστης πυκνότητας οπών

Η επίτευξη των μετρήσεων που ζητούνται στο παράρτημα **25.3** επιτεύχθηκαν με τον προσανατολισμό της δέσμης φωτός του laser κάθετα ως προς κάθε ασυνέχεια, καθώς και τις κατάλληλες μετρήσεις στην οθόνη παρατήρησης. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξασφαλίζεται χάρη στη χρήση μιλιμετρέ χαρτιού και χάρακα.

25.5 Εκτέλεση

25.5.1 Προετοιμασία της πειραματικής διάταξης

Συναρμολογούμε τη ζητούμενη διάταξη, βάσει των οδηγιών του παραρτήματος **25.3**. Στερεώνουμε τον μεταλλικό φορέα πάνω στο τραπέζι, τοποθετούμε στη σωστή θέση τόσο το laser όσο και τη μαγνητική βάση, σε μικρή απόσταση. Το laser βρίσκεται σε απόσταση 171.7 cm ($> 1 \text{ m}$) από την οθόνη παρατήρησης. Στη συνέχεια, πάνω στη μαγνητική βάση προσαρμόζουμε κάθε φορά την κατάλληλη ασυνέχεια έτσι, ώστε η δέσμη φωτός του laser να προσπίπτει κάθετα σε αυτή. Προσαρμόζουμε κατάλληλα την ένταση της εικόνας περιθλασης, μετακινώντας την ασυνέχεια, ώστε το κέντρο της δέσμης φωτός να ταυτίζεται με το κέντρο της οθόνης παρατήρησης.

25.5.2 Περίθλαση από μια σχισμή

Όπως αναφέρθηκε στο παράρτημα 25.5.1, η απόσταση πηγής-οθόνης παρατήρησης ισούται με 171.7 cm, όπως μετρήθηκε με απλή μεζούρα. Λαμβάνοντας υπόψη το σφάλμα του οργάνου, 0.5 cm, ορίζουμε την απόσταση r:

$$r = 171.7 \pm 0.5 \text{ cm}$$

Έπειτα, χωρίς να τοποθετήσουμε κάποιο slide στη μαγνητική βάση, σημειώνουμε το κέντρο συμμετρίας της οθόνης παρατήρησης, εκπέμποντας τη μονοχρωματική δέσμη φωτός του laser στο μιλιμετρέ χαρτί. Στη συνέχεια, για την εκάστοτε ασυνέχεια (η οποία προφανώς έχει ρυθμιστεί κατάλληλα) μετράμε τα μεγέθη x_n και W_π (για $n=3$), έτσι ώστε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας μετρήσεων:

A/A	D (mm)	x_n (mm) – μέτρηση	x_n (mm) – υπολογισμός	δx_n	W_π (mm) – μέτρηση	W_π (mm) – υπολογισμός	δW_π
1	0.02	153.5	162.98	0.095	100.3	108.65	0.0633
2	0.04	78.9	81.5	0.04746	50.1	54.33	0.032
3	0.08	33.6	40.74	0.02373	22.1	27.16	0.016
4	0.16	17.7	20.37	0.012	10.3	13.58	0.008
5 (άγνωστο slide)	-	73	-		44.8	-	

Για να υπολογίσουμε θεωρητικά τα μεγέθη x_n και W_π , χρησιμοποιούμε τους ακόλουθους τύπους:

$$\checkmark \quad x_n = \frac{r}{D} * n * \lambda \quad (1) \text{ και}$$

$$\checkmark \quad W_\pi = \frac{2r\lambda}{D} \quad (2)$$

Για να υπολογίσουμε τα σφάλματα δx_n και δW_π αξιοποιούμε τους παρακάτω τύπους, θεωρώντας $\delta r = \pm 1 \text{ mm}$ και $W_\pi = \pm 1 \text{ mm}$:

$$\checkmark \quad \delta x_n = \sqrt{\left(\frac{\partial x_n}{\partial n} * \delta n\right)^2 + \left(\frac{\partial x_n}{\partial D} * \delta D\right)^2 + \left(\frac{\partial x_n}{\partial r} * \delta r\right)^2} = \left| \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r}{D} * n * \lambda \right) * \delta r \right| = \left| \frac{n * \lambda * \delta r}{D} \right| \quad (3)$$

(προφανώς ισχύουν $\delta n = 0$ και $\delta D = 0$)

$$\checkmark \quad \delta W_\pi = \sqrt{\left(\frac{\partial W_\pi}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial W_\pi}{\partial D} * \delta D\right)^2} = \left| \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{2r}{D} * \lambda \right) * \delta r \right| = \left| \frac{2\lambda * \delta r}{D} \right| \quad (4)$$

Για τη σχισμή εύρους $D = 0.08 \text{ mm}$ μετράμε εκατέρωθεν του κεντρικού κροσσού 43 σκοτεινοί κροσσοί, άρα $n_{σκ} = 43 * 2 = 86$. Επαναφέρουμε τον τύπο $n_{σκ} \leq \frac{D}{\lambda}$. Παρατηρούμε πως $\frac{D}{\lambda} = \frac{0.08}{0.6328 * 10^{-3}} = 0.126 * 10^3 = 126$, άρα ισχύει πως $n_{σκ} = 86 \leq \frac{D}{\lambda} = 126$. Η διαφορά μεταξύ του μέγιστου αριθμού σκοτεινών κροσσών και του πλήθους κροσσών που μετρήθηκαν οφείλεται στο γεγονός πως, όσο αυξάνεται η απόσταση από τον κεντρικό κροσσό, η φωτεινότητα των δευτερευόντων κροσσών ελαττώνεται (επομένως δυσχεραίνεται ο ακριβής προσδιορισμός τους).

Για την ασυνέχεια άγνωστου εύρους, αρχικά υπολογίζουμε το D μέσω της σχέσης (1) κι έπειτα την επαληθεύουμε μέσω της σχέσης (2):

$$\checkmark D = \frac{r}{x_n} * n * \lambda = \frac{1717}{73} * 3 * 0.0006328 = 0.045$$

$$\checkmark D = \frac{2r\lambda}{W_\pi} = \frac{2*1717*0.0006328}{44.8} = 0.048$$

Η απόκλιση της τιμής D που υπολογίστηκε παραπάνω, σε σχέση με αυτή που μετρήθηκε, οφείλεται στο σφάλμα του παρατηρητή και των οργάνων. Το σφάλμα δD ορίζεται ως εξής:

$$\checkmark \delta D = \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial W_\pi} * \delta W_\pi\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial \lambda} * \delta \lambda\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial W_\pi} * \delta W_\pi\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{2\lambda}{W_\pi} * \delta r\right)^2 + \left(-\frac{2\lambda * r}{W_\pi^2} * \delta W_\pi\right)^2} = 0.00117 * 10^{-3} mm < 0.01 mm$$

Συνεπώς:

$$\checkmark D = 0.048 \pm 0.01,$$

$$\checkmark x_n = 73 \pm 0.4746 \text{ και}$$

$$\checkmark W_\pi = 44.8 \pm 0.1406$$

25.5.3 Συμβολή-περίθλαση από δύο ή περισσότερες σχισμές

A/A	d (mm)	y_m (mm) - μέτρηση	y_m (mm) - υπολογισμός	δy_m (mm)	D(mm)	W_π (mm) - μέτρηση	W_π (mm) - υπολογισμός	δW_π (mm)
1	0.25	14	13.04	0.0076	0.04	47	54.33	0.02712
2	0.5	7	6.52	0.0076	0.04	48	54.33	0.02712
3	0.5	6.7	6.52	0.0038	0.08	24	27.17	0.02373

Για να υπολογίσουμε θεωρητικά τα μεγέθη y_m και W_π , χρησιμοποιούμε τους ακόλουθους τύπους:

$$\checkmark y_m = \frac{r}{d} * m * \lambda \text{ (1) και}$$

$$\checkmark W_\pi = \frac{2r\lambda}{D} \text{ (2)}$$

Για να υπολογίσουμε τα σφάλματα δy_m και δW_π αξιοποιούμε τους παρακάτω τύπους, θεωρώντας $\delta r = \pm 1 \text{ mm}$, $\delta y_m = \pm 1 \text{ mm}$ και $W_\pi = \pm 1 \text{ mm}$:

$$\checkmark \delta y_m = \sqrt{\left(\frac{\partial y_m}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial y_m}{\partial d} * \delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial y_m}{\partial m} * \delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial y_m}{\partial \lambda} * \delta \lambda\right)^2} = \left|\frac{\partial y_m}{\partial r} * \delta r\right| =$$

$$\left|\frac{m * \lambda}{d} * \delta r\right| \text{ (3)}$$

$$\checkmark \delta W_\pi = \sqrt{\left(\frac{\partial W_\pi}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial W_\pi}{\partial D} * \delta D\right)^2 + \left(\frac{\partial W_\pi}{\partial \lambda} * \delta \lambda\right)^2} = \left|\frac{\partial W_\pi}{\partial r} * \delta r\right| = \left|\frac{m * \lambda}{D} * \delta r\right| \text{ (4)}$$

Στη συνέχεια, τοποθετούμε στη μαγνητική βάση ένα slide άγνωστων διαστάσεων, για το οποίο κάνουμε τις μετρήσεις $W_\pi = 21 \text{ mm}$ και $y_m = 4 \text{ mm}$. Από τη σχέση (1) υπολογίζουμε το d, ενώ από τη σχέση (2) το D:

$$\checkmark d = \frac{r * m * \lambda}{y_m} = \frac{1717 * 3 * 0.0006328}{4} = 0.815 \text{ mm}$$

$$\checkmark D = \frac{2r * \lambda}{W_\pi} = \frac{2 * 1717 * 0.0006328}{21} = 0.1035 \text{ mm}$$

Για το σφάλμα μέτρησης των παραπάνω μεγεθών, έχουμε τα εξής σφάλματα:

$$\begin{aligned}
\checkmark \quad \delta d &= \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial y_m} * \delta y_m\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial m} * \delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial \lambda} * \delta \lambda\right)^2} = \\
&\quad \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial y_m} * \delta y_m\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{m * \lambda}{y_m} * \delta r\right)^2 + \left(-\frac{m * \lambda * r}{y_m^2} * \delta y_m\right)^2} = 0.0415 \text{ mm} \\
\checkmark \quad \delta D &= \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial W_\pi} * \delta W_\pi\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial \lambda} * \delta \lambda\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial W_\pi} * \delta W_\pi\right)^2} = \\
&\quad \sqrt{\left(\frac{2\lambda}{W_\pi} * \delta r\right)^2 + \left(-\frac{2\lambda * r}{W_\pi^2} * \delta W_\pi\right)^2} = 0.0243 * 10^{-3} \text{ mm} < 0.01 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Συνεπώς:

$$\begin{aligned}
\checkmark \quad d &= 0.815 \pm 0.0415 \text{ mm} \\
\checkmark \quad D &= 0.1035 \pm 0.01 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Με βάση όλα τα παραπάνω, μπορούμε να υπολογίσουμε το σφάλμα $\rho = d/D$:

$$\begin{aligned}
\checkmark \quad \rho &= \frac{d}{D} = \frac{0.815}{0.1035} = 7.874 \text{ mm} \\
\checkmark \quad \delta \rho &= \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial d} * \delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial D} * \delta D\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{D} * \delta d\right)^2 + \left(-\frac{d}{D^2} * \delta D\right)^2} = 16.08 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Συνεπώς: $\rho = 7.874 \pm 16.08 \text{ mm}$

Τοποθετώντας στη μαγνητική βάση το slide με τα συστήματα πολλαπλών σχισμών ίδιου εύρους D και διατρέχοντας καθένα από τα συστήματα αυτά, παρατηρούμε ορισμένες μεταβολές. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε μια μεγάλη συμβολή (κύρια) ταυτόχρονα με μικρότερες (δευτερεύουσες). Όσον αφορά στους φωτεινούς κροσσούς περίθλασης, ο αριθμός τους παραμένει ίδιος για καθένα από τα παραπάνω συστήματα, σε αντίθεση με τους φωτεινούς κροσσούς συμβολής (που παρεμβάλλονται στους φωτεινούς κροσσούς περίθλασης), το πλήθος των οποίων είναι ανάλογο του αριθμού των σχισμών. Επιπλέον, για μεγαλύτερο αριθμό σχισμών παρατηρούμε ελάττωση τόσο του γραμμικού εύρους των κύριων κροσσών, όσο και του πλήθους των δευτερογενών, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η ένταση και η οξύτητα των πρώτων.

25.5.4 Οπτικό φράγμα

Σε αυτό το σημείο του πειράματος, αντί για ασυνέχεια, τοποθετούμε στη μαγνητική βάση της πειραματικής διάταξης το οπτικό φράγμα. Μετράμε την απόσταση του φωτεινού κροσσού από το κέντρο της οθόνης $y_m = 553 \pm 1 \text{ mm}$ (προφανώς για $m = 1$). Θα αξιοποιήσουμε τον τύπο της πυκνότητας σχισμών No που διατυπώθηκε στο παράρτημα 25.2.4:

$$m * \lambda * No = \sin \theta \leftrightarrow No = \frac{\sin \theta}{m * \lambda}$$

Ωστόσο, θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε τον όρο $\sin \theta$ σύμφωνα, και πάλι, με τον τύπο που διατυπώθηκε στο παράρτημα 25.2.4:

$$\begin{aligned}
\sin \theta &= \frac{y_m}{\sqrt{r^2 + y_m^2}} = \frac{553}{\sqrt{1717^2 + 553^2}} = 0.002 \\
\Rightarrow No &= \frac{0.002}{1 * 0.0006328} = 3.16 \frac{1}{\text{mm}}
\end{aligned}$$

Για τα σφάλματα των παραπάνω μεγεθών, εκτελούμε τους εξής υπολογισμούς:

$$\begin{aligned}
\checkmark \quad \delta \sin \theta &= \sqrt{\left(\frac{\partial \sin \theta}{\partial r} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{\partial \sin \theta}{\partial y_m} * \delta y_m\right)^2} = \\
&\sqrt{\left(-\frac{y_m * r}{\sqrt{r^2 + y_m^2}} * \delta r\right)^2 + \left(\frac{r^2}{\sqrt{r^2 + y_m^2}} * \delta y_m\right)^2} = 0.011 * 10^{-3} mm \\
\checkmark \quad \delta No &= \sqrt{\left(\frac{\partial No}{\partial(\sin \theta)} * \delta \sin \theta\right)^2 + \left(\frac{\partial No}{\partial m} * \delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial No}{\partial \lambda} * \delta \lambda\right)^2} = \left|\frac{\partial No}{\partial(\sin \theta)} * \delta \sin \theta\right| = \\
&\left|\frac{\cos \theta}{m * \lambda} * \delta \sin \theta\right| = \left|\frac{0.999998}{1 * 0.0006328} * 0.011 * 10^{-3}\right| = 0.0174 mm
\end{aligned}$$

Συνεπώς; No = 3.16 ± 0.0174 mm.

