

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 20 (Α/Β)

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΜΕ laser

### (Κυματική φύση του φωτός)

#### ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Στην άσκηση αυτή, θα μελετηθούν τα φαινόμενα της συμβολής και της περίθλασης του φωτός που προέρχεται από πηγή Laser, όπου θα αποκαλυφθεί η *κυματική* φύση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τεχνικές με χρήση Laser, που εφαρμόζονται τόσο σε διαγνωστικές μεθόδους όσο και στη μετρολογία, στηρίζονται στα κυματικά αυτά φαινόμενα. Εδώ, ο σπουδαστής θα καλείται να προσδιορίσει:

1. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας διοδικού Laser χρησιμοποιώντας γνωστά οπτικά φράγματα συμβολής.
2. Τα γεωμετρικά στοιχεία οπτικών φραγμάτων περίθλασης χρησιμοποιώντας διοδικό Laser με γνωστό μήκος κύματος.
3. Τη διάμετρο πολύ λεπτών σφαιρικών κόκκων σκόνης λυκοποδίου.

#### ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλεκτρομαγνητικό κύμα, συμφωνία φάσης, Laser, συμβολή, περίθλαση, αρχή Huygens, οπτικά φράγματα.

#### ΘΕΩΡΙΑ

Κάθε είδος κύματος, μηχανικό (υδάτινο, ηχητικό ή σε στερεό σώμα) και ηλεκτρομαγνητικό, υπακούει στο φαινόμενο της συμβολής και της περίθλασης. Οι ιδιότητες που έχουν τα κύματα να συμβάλλουν ή να περιθλώνται, εμφανίζονται αυθόρμητα στη φύση είτε μπορούν να αποτελέσουν την αρχή κατασκευής τεχνικών ή τεχνολογικών εφαρμογών. Συγκεκριμένα, η δημιουργία ενός φωτεινού δαχτυλιδιού γύρω από το φεγγάρι όταν στην ατμόσφαιρα υπάρχει υγρασία, η σωστή τοποθέτηση ενός συστήματος ηχείων στο χώρο για ηχητική άνεση, η ανάγνωση ή εγγραφή δέσμης laser σε ένα DVD, η τριδιάστατη απεικόνιση ενός αντικειμένου με ολογραφία και η μέτρηση μήκους πολύ μικροσκοπικών μεγεθών (της τάξης των nm) είναι μερικές από τις εφαρμογές των φαινομένων αυτών.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η περιγραφή των φαινομένων αυτών και -χωρίς αυστηρή μαθηματική ανάλυση-, οι σχέσεις που θα είναι χρήσιμες για την επεξεργασία των μετρήσεων που θα παρθούν. Η αλληλουχία που πρέπει να ακολουθήσουμε στην μελέτη του απαραίτητου θεωρητικού υποβάθρου είναι:

1. Η συμβολή του φωτός από δύο σύμφωνες, σημειακές πηγές μονοχρωματικής ακτινοβολίας
2. Η περίθλαση του φωτός από μια σχισμή
3. Η συμβολή και η περίθλαση από δύο ή περισσότερες σχισμές
4. Οπτικά φράγματα

## ΟΡΟΛΟΓΙΑ

**Μονοχρωματικό φως:** ηλεκτρομαγνητικά κύματα που έχουν την ίδια τιμή μήκους κύματος  $\lambda$ . Στο ορατό φάσμα Η/Μ ακτινοβολίας κάθε παρατηρούμενο χρώμα αντιστοιχεί σε ένα πολύ συγκεκριμένο μήκος κύματος. Ο ορισμός αυτός δεν περιορίζεται στο ορατό μόνο φάσμα αλλά σε ολόκληρο το φάσμα της Η/Μ ακτινοβολίας.

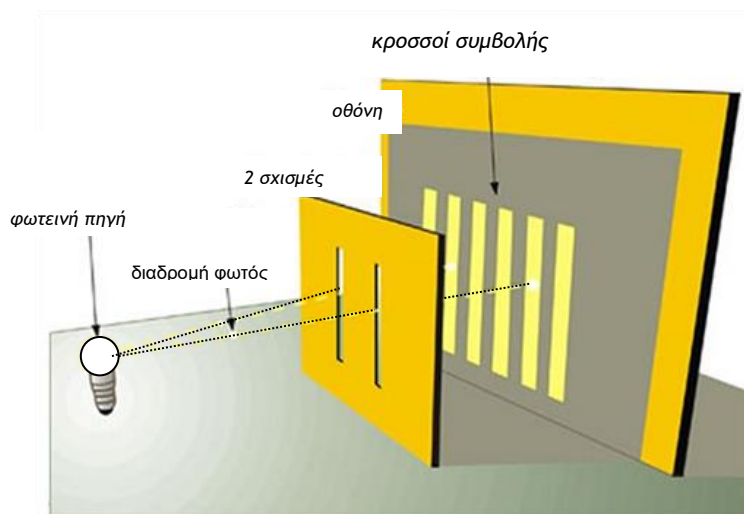
**Σύμφωνη πηγή:** Τα κύματα που παράγονται από μια πηγή έχουν σταθερή διαφορά φάσης. Τέτοια πηγή είναι το Laser: παράγει αδιάλειπτος Η/Μ κύματα που κάθε χρονική στιγμή έχουν σταθερή διαφορά φάσης. Αντίθετα ένας λαμπτήρας πυράκτωσης παράγει Η/Μ ακτινοβολία με τυχαίες κάθε χρονική στιγμή διαφορές φάσης μεταξύ των κυμάτων και αυτή η πηγή ονομάζεται **ασύμφωνη**.

**Σημιακή πηγή:** Η πηγή κυμάτων που οι διαστάσεις της είναι αμελητέες σε σχέση με τις διαστάσεις ενός εμποδίου που μπορεί να τεθεί στη διεύθυνση διάδοσης των κύματων αυτών.

## ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΑΠΟ ΔΥΟ ΣΥΜΦΩΝΕΣ ΣΗΜΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Θα περιγράψουμε το ιστορικό πείραμα του Thomas Young (1801) που έδειξε την συμβολή κυμάτων από δύο φωτεινές πηγές: Αρχικά, μια μικρή φωτεινή πηγή παράγει σφαιρικά κύματα που προσπίπτουν επάνω σε διάφραγμα που είναι ανοιγμένες δύο πανομοιότυπες λεπτές σχισμές  $S_1, S_2$  με απόσταση  $d$  μεταξύ τους. Οι σχισμές βρίσκονται σε ίση απόσταση από την αρχική πηγή  $S_0$ . Οι δύο αυτές σχισμές θα παίξουν το ρόλο δύο σύμφωνων φωτεινών πηγών (εκπέμπουν κύματα με σταθερή διαφορά φάσης).

Το πείραμα του Young έδειξε ότι δύο σύμφωνες σημειακές φωτεινές πηγές  $S_1, S_2$  που απέχουν απόσταση  $d$  μεταξύ τους, παράγουν σφαιρικά κύματα που συμβάλλουν σε κάθε σημείο του χώρου. Η εικόνα συμβολής επάνω σε οθόνη που βρίσκεται σε μακρινή απόσταση  $r$  (δηλαδή  $r \gg d$ ) αποτελείται από εναλλασσόμενες φωτεινές και σκοτεινές περιοχές φωτός που ονομάζονται **κροσσοί συμβολής**. Όπου εντοπίζεται **φωτεινός κροσσός** συμβαίνει **ενισχυτική συμβολή** κυμάτων, ενώ οι **σκοτεινοί κροσσοί** αντιστοιχούν στην **αποσβετική** (ή καταστρεπτική ή αναιρετική) **συμβολή**. Η εικόνα αυτή είναι συμμετρική ως προς το κέντρο της, όπου υπάρχει φωτεινός κροσσός. Η μορφή των κροσσών στην οθόνη μπορεί να είναι ταινιωτή (Εικ.1).

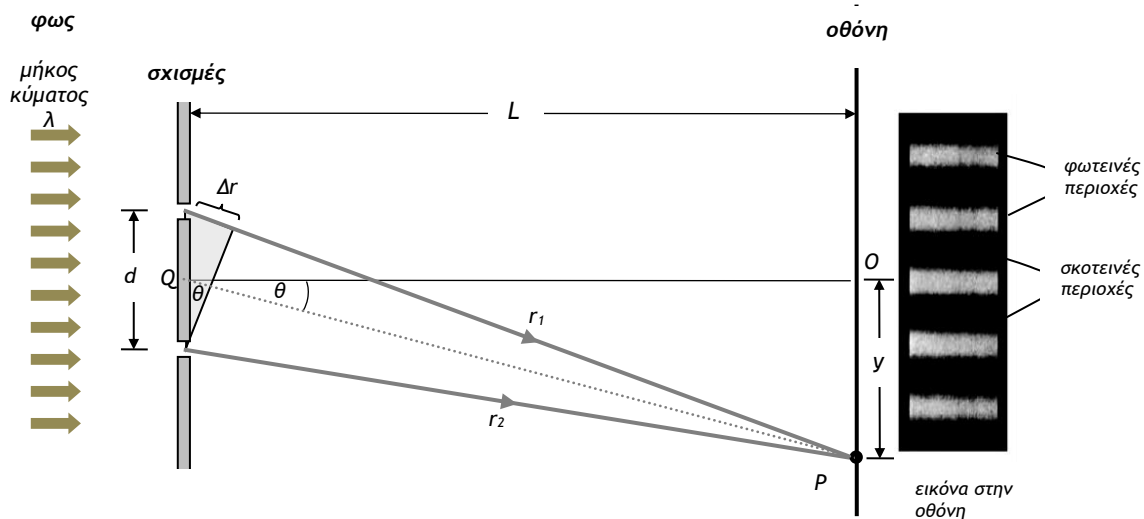


Εικ. 1. Το πείραμα των δύο σχισμών του Thomas Young (1801)

Το πείραμα αυτό αποτελεί σαφή ένδειξη ότι το φως συμπεριφέρεται ως **κύμα**.

Στην παραπάνω εικόνα δεχθήκαμε ότι το φως συμπεριφέρεται ως κύμα, έχει δηλαδή όλα τα κυματικά χαρακτηριστικά και υπακούει στους νόμους που διέπουν τα κύματα όπως ανάκλαση, διάθλαση, περίθλαση και η πόλωση. Στην εποχή του πειράματος του Young ωστόσο, η επικρατούσα απόψη ήταν ότι το φως έχει σωματιδιακή φύση ενώ η κυματική συμπεριφορά του δεν μπορούσε ούτε να αποδειχθεί πειραματικά ούτε και να θεμελιωθεί θεωρητικά.

Με το ακόλουθο σχήμα θα περιγράψουμε τι συμβαίνει κατά μήκος της οθόνης που βρίσκεται σε απόσταση  $L$  από τις σχισμές, όπου εναλλάσσονται οι φωτεινοί με τους σκοτεινούς κροσσούς: έστω σημείο  $P$  επάνω στην οθόνη σε απόσταση  $y$  ως προς το κέντρο  $O$  της οθόνης. Τα κύματα που προέρχονται από τις δύο σχισμές  $S_1$  και  $S_2$  διανύουν τις αποστάσεις  $r_1$  και  $r_2$  αντίστοιχα και **συμβάλλουν** στο σημείο  $P$ .



Εικ.2. Πείραμα των δύο σχισμών του Young. Η πηγή παράγει φως και οι δύο σχισμές  $S_1$ ,  $S_2$  παράγουν κύματα που συμβάλλουν στην οθόνη. Δεξιά, απεικονίζεται η εικόνα συμβολής επάνω στην οθόνη.

Για να έχουμε **ενισχυτική συμβολή** των κυμάτων στο σημείο  $P$  θα πρέπει η διαφορά δρόμου  $\Delta r$  ανάμεσα στις  $r_1$  και  $r_2$  να είναι **ακέραιο πολλαπλάσιο** του μήκους κύματος  $\lambda$  του φωτός, δηλαδή:

$$\Delta r = r_2 - r_1 = m \cdot \lambda \Leftrightarrow \boxed{d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda} \quad \text{όπου } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (1)$$

Ο ακέραιος αριθμός  $m$  ονομάζεται **αριθμός τάξης του κροσσού**. Ο κεντρικός φωτεινός κροσσός σε γωνία  $\theta=0$  που αντιστοιχεί σε  $m = 0$ , ονομάζεται κεντρικός κροσσός ή κροσσός μηδενικής τάξης. Οι επόμενοι φωτεινοί κροσσοί εκατέρωθεν του κεντρικού αντιστοιχούν σε  $m=\pm 1$  και ονομάζονται κροσσοί **πρώτης τάξης κ.ο.κ.**

Εάν η διαφορά δρόμου  $\Delta r$  των δύο κυμάτων ισούται με περιττό πολλαπλάσιο του  $\lambda/2$ , τότε τα δύο κύματα θα έχουν διαφορά φάσης ίση με  $180^\circ$  και θα συμβάλλουν **καταστρεπτικά**.

$$\Delta r = r_2 - r_1 = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow \boxed{d \cdot \sin \theta = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}} \quad \text{όπου } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2)$$

Για να εντοπίσουμε τις θέσεις επάνω στην οθόνη όπου αναμένονται φωτεινά μέγιστα (κροσσοί ενισχυτικής συμβολής) θα θεωρήσουμε ότι η απόσταση  $r$  είναι πολύ μεγαλύτερη από την απόσταση  $d$  μεταξύ των σχισμών, δηλαδή  $r \gg d$ . Η γωνία  $\theta$  τότε είναι πολύ μικρή ώστε  $\sin \theta \approx \tan \theta$ . Τότε από το τρίγωνο  $OPQ$  του σχήματος, βλέπουμε ότι:

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L} \quad (3)$$

Συνδιάζοντας τις σχέσεις (1), (2) με την (3), θα προκύψουν οι προσεγγιστικές σχέσεις που δίνουν τις θέσεις των μεγίστων (ενισχυτική συμβολή) και ελαχίστων του φωτός (καταστρεπτική συμβολή) επάνω στην οθόνη:

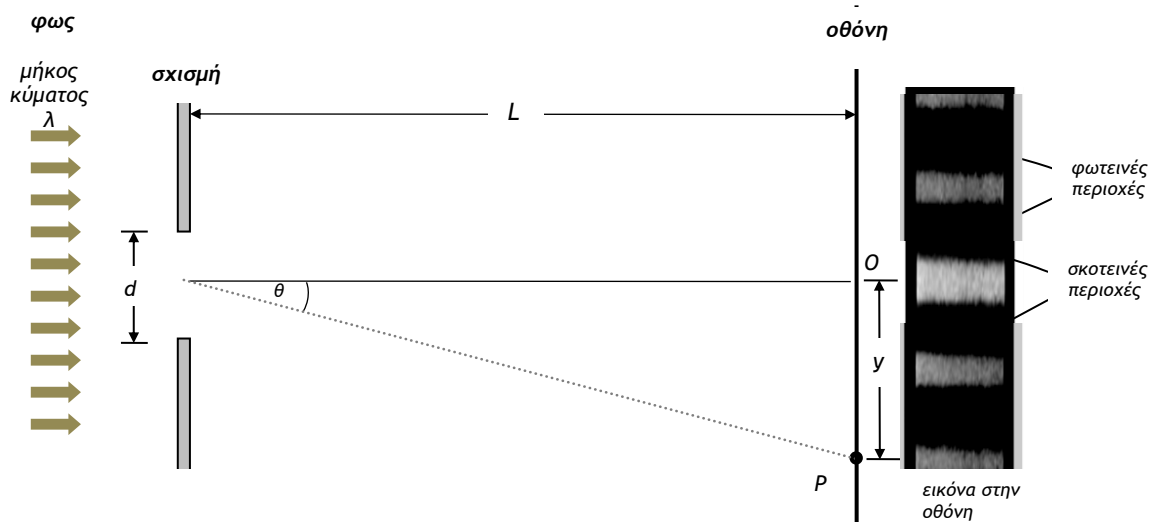
$$d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda \Leftrightarrow d \cdot \frac{y}{L} = m \cdot \lambda \Leftrightarrow \boxed{y = m \cdot \frac{\lambda \cdot L}{d}} \quad \text{φωτεινοί κροσσοί (4)}$$

$$d \cdot \sin \theta = (2m+1) \cdot \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow d \cdot \frac{y}{L} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \Leftrightarrow \boxed{y = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda \cdot L}{d}} \quad \text{σκοτεινοί κροσσοί (5)}$$

Από τις σχέσεις (4) και (5), παρατηρούμε ότι η απόσταση  $y$  είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης  $d$  μεταξύ των σχισμών.

### ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

Ας θεωρήσουμε μια μονοχρωματική και σύμφωνη δέσμη φωτός με μήκος κύματος  $\lambda$ , η οποία διαδίδεται ευθύγραμμα στο χώρο. Η δέσμη παρεμποδίζεται από λεπτή σχισμή εύρους  $d$ . Τότε, σε οθόνη που βρίσκεται σε απόσταση  $L$  από το κέντρο της σχισμής, θα παρατηρήσουμε εικόνα όπου **φωτεινοί** κροσσοί συμβολής εναλλάσσονται με **σκοτεινούς κροσσοί** (Εικ.3) και έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την εικόνα που παράγεται από δύο σημειακές πηγές.



Εικ. 3. Περίθλαση φωτός από μία λεπτή σχισμή πάχους  $d$

Η εικόνα αυτή μπορεί να εξηγηθεί με βάση την αρχή του Huygens: κάθε σημείο της σχισμής μπορεί να θεωρηθεί ως **σημειακή δευτερογενής πηγή κυμάτων**, ίδιας συχνότητας με την αρχική δέσμη. Τα κύματα που παράγονται από κάθε σημείο είναι σφαιρικά και διαδίδονται στο χώρο. Τα κύματα αυτά συμβάλλουν σε κάθε σημείο του χώρου κάθε χρονική στιγμή: έτσι στην οθόνη θα παρατηρήσουμε την εικόνα συμβολής των κυμάτων προερχόμενων από κάθε στοιχειώδη πηγή που αντιστοιχίθηκε σε κάθε **νοητό** σημείο κατά μήκος της σχισμής.

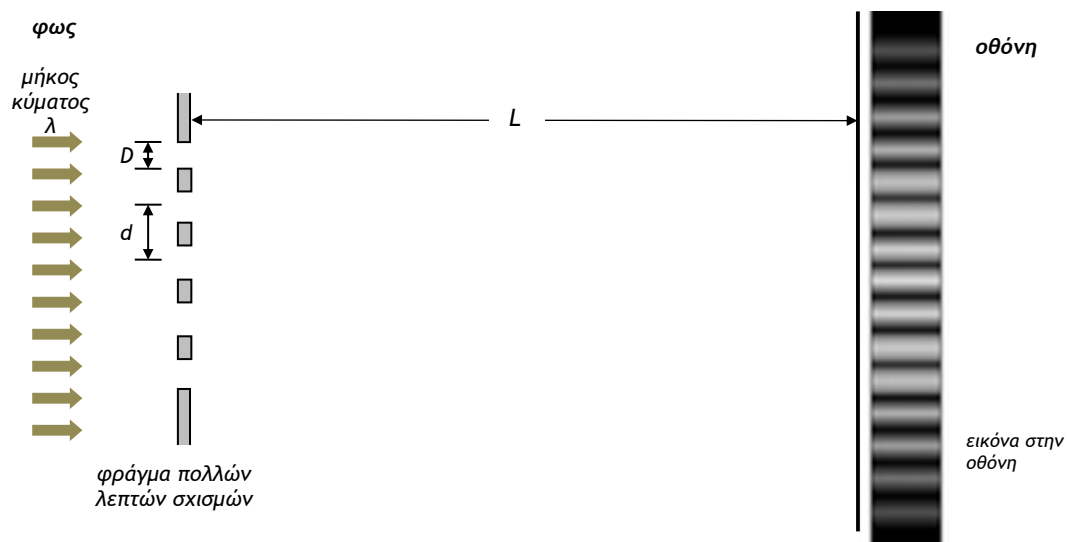
Το φαινόμενο αυτό, όπου ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda$  **εκτρέπεται** από την ευθύγραμμη διάδοσή του καθώς συναντά εμπόδιο διαστάσεων **συγκρίσιμων με το μήκος κύματος**, δηλαδή της **ίδιας τάξης μεγέθους** με το μήκος κύματος, ονομάζεται **περίθλαση**. Τα εμπόδια αυτά μπορούν να είναι ανοίγματα όπως σχισμές, οπές, ή πολύ μικρά εμπόδια όπως σφαιρικά σώματα, ακίδες. Η περίθλαση είναι ένα κυματικό φαινόμενο που παρατηρείται στα κύματα

οποιασδήποτε φύσης (μηχανικό, ηλεκτρομαγνητικό). Τα φαινόμενα της περίθλασης κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την απόσταση του εμποδίου από την οθόνη παρατήρησης: περίθλαση Fraunhofer (μακρινή απόσταση) και περίθλαση Fresnel (κοντινή απόσταση). Θα μας απασχολήσει πειραματικά η **περίθλαση Fraunhofer**.

Στο γεωμετρικό κέντρο της οθόνης θα παρατηρήσουμε φωτεινό κροσσό συμβολής δηλαδή έχουμε ενισχυτική συμβολή.

### ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΣΧΙΣΜΕΣ

Αν τώρα θεωρήσουμε πολλές παράλληλες σχισμές εύρους  $D$  που βρίσκονται σε απόσταση  $d$  μεταξύ τους και φωτεινή δέσμη μονοχρωματικής ακτινοβολίας προσπέσει επάνω σε αυτές, τότε σε οθόνη που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση  $L$  από αυτές, θα σχηματιστεί εικόνα περίθλασης: **φωτεινοί** και **σκοτεινοί** κροσσοί συμβολής. Όταν αριθμός των σχισμών  $N$  είναι μεγάλος, η εικόνα των κροσσών αλλάζει ποιοτικά και οι κροσσοί συμβολής γίνονται λεπτότεροι. Αποδεικνύεται ότι, οι εντόνοι φωτεινοί κροσσοί βρίσκονται σε αποστάσεις όπου ισχύει η σχέση  $d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda$  ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ).



Εικ. 3. Περίθλαση φωτός από πολλές σχισμές πάχους  $D$  με απόσταση  $d$  μεταξύ τους.

Όταν το πλήθος των σχισμών γίνει πολύ μεγάλο και το πλάτος  $D$  πολύ μικρό τότε η συστοιχία των σχισμών αυτών ονομάζεται **οπτικό φράγμα** με σπουδαίες εφαρμογές στην οπτική φασματοσκοπία, στην ανάλυση δηλαδή φωτεινής πολυχρωματικής ακτινοβολίας στα επιμέρους μήκη κύματος (χρώματα) που περιέχει η δέσμη αυτή. Η πυκνότητα των σχισμών σε αυτή την περίπτωση ορίζεται ως εξής:

$$N_o = 1/d \quad (\text{αριθμός σχισμών/μονάδα μήκους})$$

Για παράδειγμα, εάν η απόσταση  $d = 2 \mu\text{m}$  τότε ο αριθμός των σχισμών που υπάρχουν σε  $1 \text{ mm}$  είναι:

$$N_o = \frac{1 \text{ σχισμή}}{2 \mu\text{m}} = \frac{1}{2 \times 10^{-3}} \frac{\text{σχισμές}}{\text{mm}} = 500 \frac{\text{σχισμές}}{\text{mm}}$$

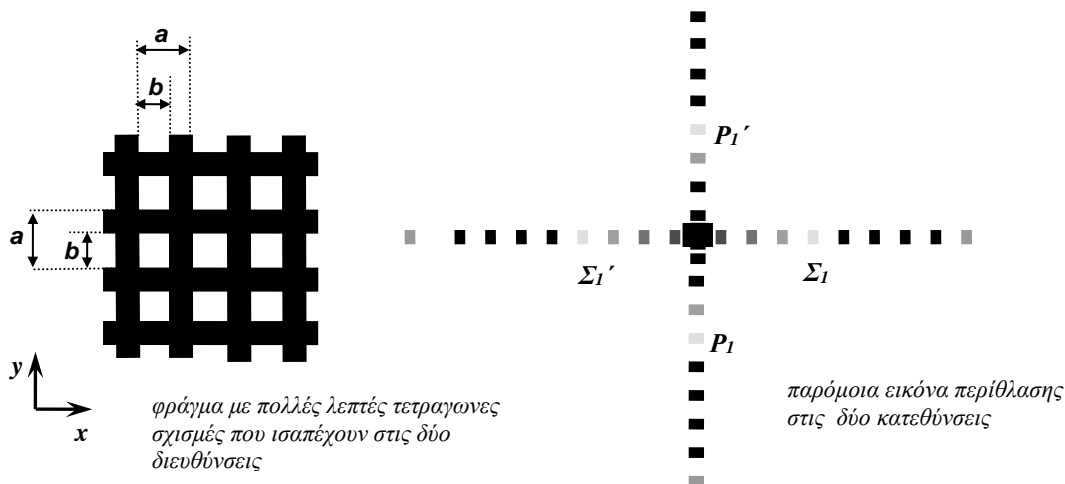
Αντίστροφα, αν η πυκνότητα σχισμών στο φράγμα είναι  $200 \text{ σχ./mm}$ , τότε η σταθερά φράγματος δηλαδή η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σχισμών είναι:  $d = 1/200 \text{ mm} = 5 \mu\text{m}$ .

## ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΦΡΑΓΜΑ

Με βάση τη θεωρία της συμβολής και της περίθλασης, μπορούμε να δούμε και να κατανοήσουμε τα αποτελέσματα της συμβολής ακτινών *laser* από περίθλαση σε διάφορους τύπους πλεγμάτων. Παρατηρούμε τα παρακάτω:

### 1<sup>η</sup> περίπτωση: πλέγμα τετρώγων ανοιγμάτων

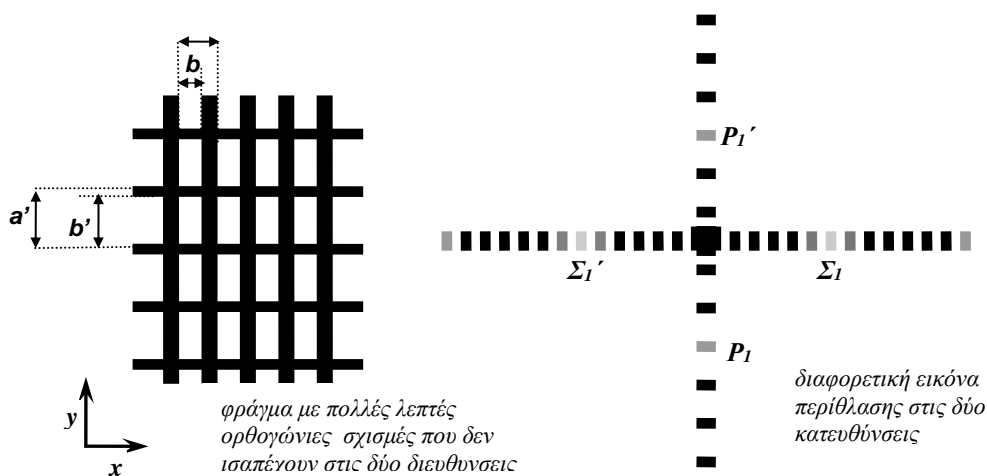
Όταν το πλέγμα είναι κατασκευασμένο από σύρμα σταθερού πάχους  $a$  και τα στοιχειώδη τμήματά του είναι ίσα τετράγωνα, τότε έχουμε ακριβώς τα ίδια φαινόμενα συμβολής προς δύο κάθετες διευθύνσεις  $x$  και  $y$ . Οι περιοχές  $\Sigma_1'$ ,  $\Sigma_1$ ,  $P_1'$  και  $P_1$  απέχουν ίση απόσταση από το κεντρικό κροσσού συμβολής και αποτελούν τους πρώτους μηδενισμούς της έντασης του φωτός, λόγω της περίθλασης στα διάκενα του πλέγματος. Οι επί μέρους διαδοχικοί κροσσοί συμβολής απέχουν ίση απόσταση μεταξύ τους και είναι το αποτέλεσμα της συμβολής από το πλέγμα (Εικ.4).



Εικ.4

### 2<sup>η</sup> περίπτωση: πλέγμα ορθογωνίων ανοιγμάτων

Όταν τα σύρματα του πλέγματος που βρίσκονται στη διεύθυνση  $X$  είναι πιο χοντρά από εκείνα που βρίσκονται προς τη διεύθυνση  $Y$  και τα στοιχειώδη τμήματά του είναι ίσα ορθογώνια παραλληλόγραμμα, τότε έχουμε πάλι συμβολή προς δύο κάθετες διευθύνσεις, (Εικ.5), στις οποίες:



Εικ.5

α. Οι σκοτεινές περιοχές  $\Sigma 1'$  και  $\Sigma 1$  απέχουν περισσότερο από το κεντρικό κροσό συμβολής από ότι οι αντίστοιχες περιοχές  $P1'$  και  $P1$ . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το εύρος των ανοιγμάτων του πλέγματος είναι πιο μικρό στη  $X$  διεύθυνση από ότι στην  $Y$ .

β. Η απόσταση των επιμέρους κροσών συμβολής στη διεύθυνση  $X$  είναι πιο μικρή από την αντίστοιχη απόσταση στη διεύθυνση  $Y$ , δεδομένου ότι τα σύρματα που είναι παράλληλα με τη διεύθυνση  $Y$  έχουν μεγαλύτερο πάχος.

### 3<sup>η</sup> περίπτωση: φράγμα κυκλικών οπών ή σφαιρικών εμποδίων

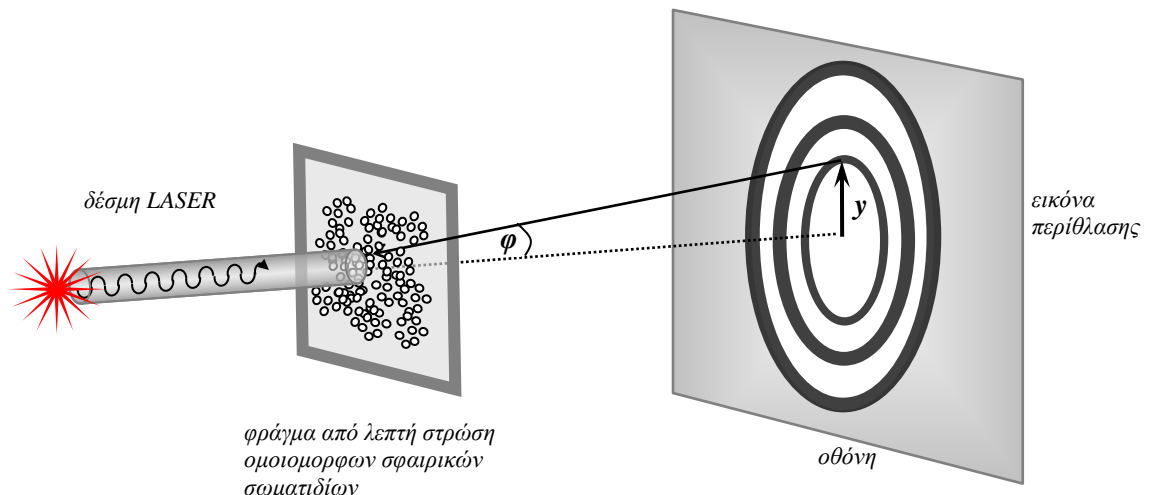
Εάν τώρα το πλέγμα αποτελείται από κυκλικές οπές ή σφαιρικά εμπόδια, το αποτέλεσμα της συμβολής από περίθλαση σε αυτές θα έδινε ομόκεντρους φωτεινούς και σκοτεινούς δακτυλίους, των οποίων η ακτίνα θα είναι αντίστροφα ανάλογη με τη διάμετρο των οπών, (Εικ.6).

Συγκεκριμένα, ο πρώτος σκοτεινός δακτύλιος θα δημιουργηθεί σε γωνία  $\varphi$ , (βλέπε ΣΧΗΜΑ 20.3), τέτοια ώστε,

$$\sin(\varphi) = 0.61 \frac{\lambda}{R} \quad (6)$$

όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος του φωτός και  $R$  η ακτίνα των οπών.

Τα ίδια ακριβώς φαινόμενα έχουμε και στις περιπτώσεις που η συμβολή οφείλεται στη περίθλαση των φωτεινών ακτινών *laser* σε πολύ μικρή σφαίρα ή σε λεπτό στρώμα μικρών σφαιρών.



Εικ.6

Σαν τελευταία παρατήρηση, αναφέρουμε ότι τα φαινόμενα της περίθλασης συμβάλλουν καθοριστικά στο περιορισμό της διακριτικής ικανότητας των οπτικών οργάνων, (π.χ. του οφθαλμού, του μικροσκοπίου, του φασματογράφου κ.λ.π.).

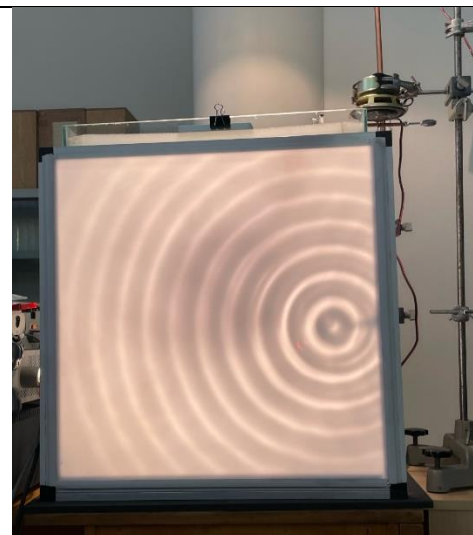
### Βιβλιογραφία

1. Φυσική για Επιστήμονες και Μηχανικούς, R. Knight, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2008
2. Φυσική (Μέρος Β), R.D. Halliday, R. Resnick, Εκδόσεις Γ.Α. Πνευματικού, 1976
3. Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Β, H. D. Young, Εκδόσεις Παπαζήση, 1994
4. Φυσική για Επιστήμονες και Μηχανικούς, Τόμος ΙΙΙ, R.A.Serway, Κορφιάτης, 1990

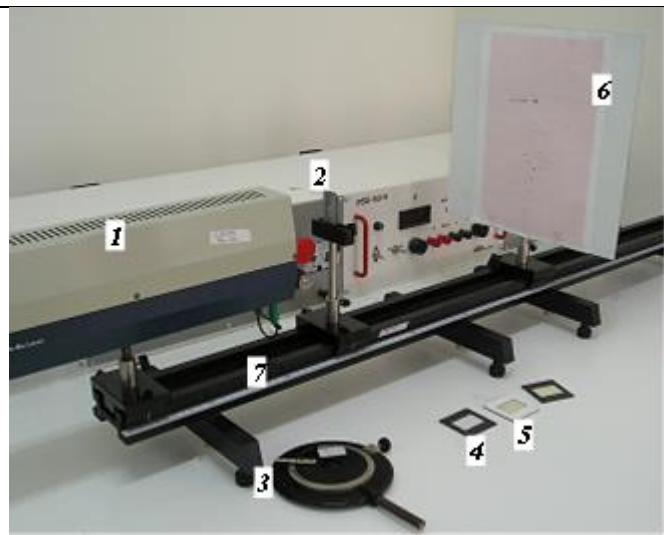
### ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Στο Α' μέρος της άσκησης, θα γίνει χρήση διάταξης παραγωγής κυμάτων στην επιφάνεια του νερού που περιέχεται σε τετράγωνη λεκάνη και προβολής των φαινομένων συμβολής τους σε κατάλληλη επιφάνεια (Εικ.7α). Για την επίτευξη των κυμάτων θα χρησιμοποιηθούν:

1. Μια γυάλινη διαφανής λεκάνη 50cm x 50cm. Η λεκάνη γεμίζει με νερό μέχρι ύψος περίπου 2-3 cm. Κάτω από την λεκάνη βρίσκεται ένα καθρέφτης που σχηματίζει γωνία 45ο και ανακλά τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο νερό, σχηματίζοντας την σκιά τους σε λευκή επιφάνεια στο εμπρός τμήμα της διάταξης.
2. Ένα ηχείο στερεωμένο σε κατακόρυφη μεταλλική ράβδο. Στην μεμβράνη του ηχείου έχει γίνει προσαρμογή μεταλλικού άξονα, επάνω στον οποίο μία ή δύο ακίδες μπορούν να στηριχθούν και να ταλαντώνονται επάνω στην επιφάνεια του νερού, ως πηγές κύματος, σε επιλεγμένες συχνότητες.
3. Μια γεννήτρια συχνοτήτων συνδέεται μέσω ενός ενισχυτή με το ηχείο
4. Ένας μετρητής συχνότητας με ευανάγνωστες ψηφιακές ενδείξεις
5. Μια λάμπα τύπου σποτ, φωτίζει την ελεύθερη επιφάνεια του νερού



Εικ.7α: Συσκευή παραγωγής και επίδειξης υδάτινων κυμάτων



Εικ.7β: Συσκευή laser και διάφορα οπτικά φράγματα

Για τη πραγματοποίηση του Β' μέρους της πειραματικής άσκησης απαιτούνται (Εικ.7β):

1. Ένα laser αγνώστου μήκους κύματος.
2. Ένα οπτικό γραμμικό φράγμα περίθλασης που αποτελείται από 100 σχισμές/mm ή άλλο.
3. Μια οπτική σχισμή με ρυθμιζόμενο εύρος  $b$ .
4. Ένα slide με πλέγμα από μετάξι.
5. Ένα slide με σκόνη κόκκων λυκοποδίου.
6. Οθόνη για την απεικόνιση των κροσσών συμβολής (εναλλακτικά θα χρησιμοποιηθεί ο τοίχος).
7. Οπτική τράπεζα για τη στήριξη του laser, του οπτικού φράγματος, της γυάλινης πλάκας με τους κόκκους λυκοποδίου και της οθόνης.



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

### 1<sup>ο</sup> ΠΕΙΡΑΜΑ: Μέτρηση του Μήκους Κύματος Ακτινοβολίας Laser

Θεωρούμε σύμφωνη οπτική ακτινοβολία με μήκος κύματος  $\lambda$  και οπτικό φράγμα που η απόσταση από σχισμή σε σχισμή είναι ίση με  $d$  (ονομάζεται **σταθερά φράγματος**). Μετά το φράγμα, η ακτινοβολία διαχωρίζεται σε επιμέρους οπτικές δέσμες η κάθε μια από τις οποίες εκτρέπεται κατά συγκεκριμένη γωνία  $\theta_k$  σε σχέση με τη διεύθυνση της αρχικής δέσμης. Από τη θεωρία είναι γνωστή η γωνία εκτροπής  $\theta_k$  στην οποία αντιστοιχεί ο  $k$ -τάξης φωτεινός κροσσός συμβολής εξαρτάται τόσο από τη σταθερά  $d$  του φράγματος όσο και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, η εξάρτηση αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$d \cdot \sin \theta_k = k \cdot \lambda \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

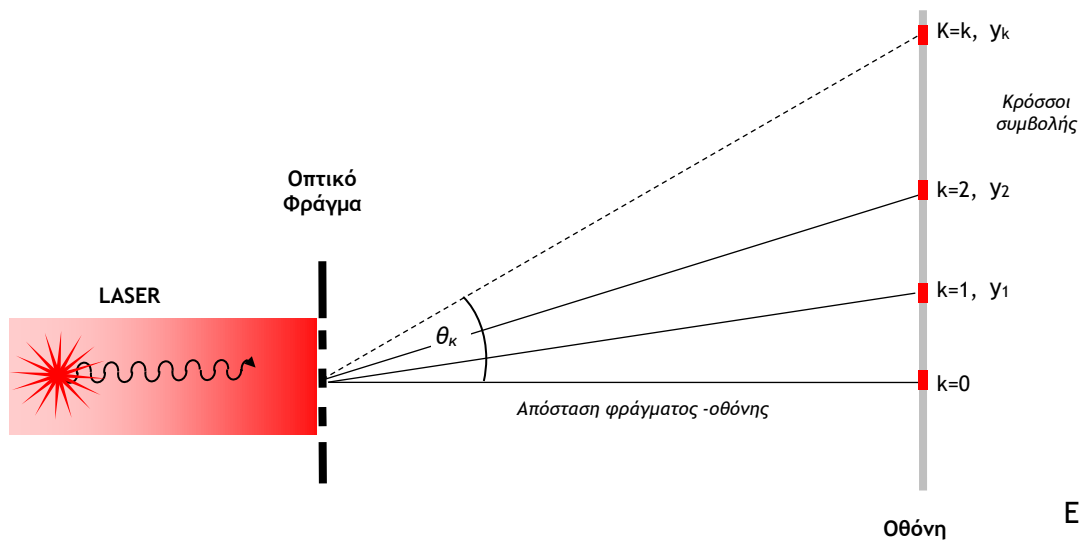
όπου

$$\sin(\theta_k) = \frac{y_k}{\sqrt{L^2 + y_k^2}} \quad (8)$$

Στη περίπτωση που είναι γνωστή η σταθερά  $d$  του φράγματος, από τις ΣΧΕΣΕΙΣ (20.2) και (20.3) μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος  $\lambda$  της ακτινοβολίας:

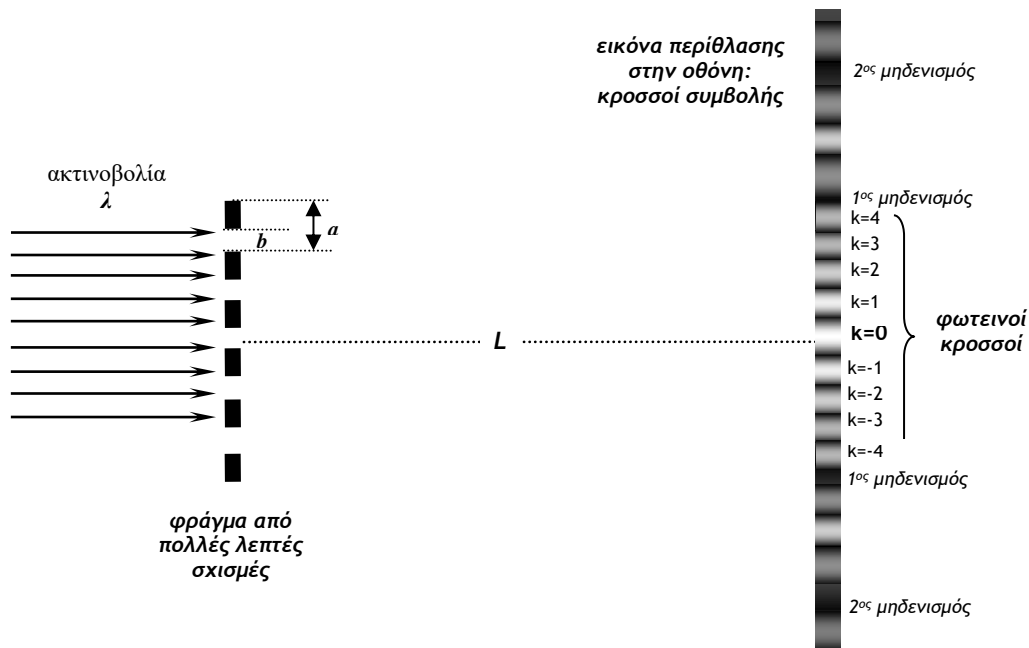
$$\lambda = \frac{d}{k} \cdot \frac{y_k}{\sqrt{L^2 + y_k^2}} \quad (9)$$

Υπενθυμίζουμε εδώ ότι το μήκος  $L$  αντιπροσωπεύει την απόσταση της οθόνης από το οπτικό φράγμα και τα διαστήματα  $y_k$  τις αποστάσεις των φωτεινών κροσσών από το κεντρικό σημείο  $O$  της συμβολής, (βλέπε *Εικ.8*).



## 2<sup>ο</sup> ΠΕΙΡΑΜΑ: Μέτρηση των Γεωμετρικών στοιχείων οπτικού Φράγματος

Στην Εικ.9 δίνουμε παραστατικά το φαινόμενο της περίθλασης της ακτινοβολίας *laser* σε οπτικό φράγμα στο οποίο τόσο η σταθερά  $a$  που είναι η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σχισμών όσο και το εύρος  $b$  των σχισμών είναι μερικές φορές μεγαλύτερα της τιμής  $\lambda$  του μήκους κύματος. Οι σκοτεινές περιοχές (*κροσσοί αποσβετικής συμβολής*) επάνω στην οθόνη αντιστοιχούν σε ελάχιστα φωτισμού εξαιτίας του φαινομένου της περίθλασης σε κάθε μια από τις σχισμές του φράγματος. Αντίθετα, οι περιοχές έντονου φωτισμού (*κροσσοί ενισχυτικής συμβολής*) οφείλονται στη συμβολή των οπτικών κυμάτων τα οποία προέρχονται από διαφορετικές σχισμές του φράγματος.



Εικ.9

### Υπολογισμός του εύρους $b$ των σχισμών του φράγματος

Τα σημεία ελάχιστου φωτισμού της οθόνης τα οποία προέρχονται από το φαινόμενο της περίθλασης σε κάθε σχισμή, αντιστοιχούν σε γωνίες εκτροπής  $\varphi_m$  οι οποίες ικανοποιούν τη Σχ.5. Για  $m=1$  παίρνουμε τη γωνία  $\varphi=\varphi_1$  η οποία αντιστοιχεί στο 1ης-τάξης ελάχιστο του φωτισμού στην οθόνη εξαιτίας της περίθλασης, (Εικ.9). Για τον 1ης-τάξης μηδενισμό ισχύει η Σχ.4. Συγκεκριμένα:

$$b = \frac{\lambda}{\sin(\varphi)} \quad m=1 \quad (10)$$

όπου:

$$\sin(\varphi) = \frac{x}{\sqrt{L^2 + x^2}} \quad (11)$$

$L$  είναι η απόσταση της οθόνης από οπτικό φράγμα και  $x$  είναι η απόσταση του πρώτου μηδενισμού φωτός στην οθόνη από το κέντρο  $O$  της εικόνας της περίθλασης. Από τις Σχ.10 και 11 έχουμε:

$$\boxed{b = \lambda \cdot \frac{\sqrt{L^2 + x^2}}{x}} \quad (12)$$

$$\text{Στη περίπτωση που } x \ll L, \text{ η Σχ.12 γίνεται: } b = \lambda \frac{L}{x} \quad m=1 \quad (13)$$

### Υπολογισμός της απόστασης $a$ μεταξύ δυο διαδοχικών σχισμών οπτικού φράγματος

Στη περίπτωση αυτή, αποδεικνύεται ότι η ενισχυτική συμβολή δίνει τα επί μέρους φωτεινά μέγιστα (Εικ.9) όταν:

$$a = k \frac{\lambda}{\sin(\theta_k)} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

όπου,

$$\sin(\theta_k) = \frac{y_k}{\sqrt{L^2 + y_k^2}} \quad (15)$$

όπου  $y_k$  είναι η απόσταση του  $k$ -τάξης επί μέρους φωτεινού μέγιστου από το κεντρικό σημείο της συμβολής. Σας υπενθυμίζουμε ότι στην Εικ.9:

- οι σκοτεινές περιοχές προκύπτουν από τη περίθλαση της δέσμης Laser στις σχισμές του πλέγματος, ενώ
- οι φωτεινές περιοχές προκύπτουν από τη συμβολή των κυμάτων που προέρχονται από διαφορετικές σχισμές του πλέγματος.

Τελικά, από τις Σχ. 14 και 15 έχουμε:

$$a = k \cdot \lambda \cdot \frac{\sqrt{L^2 + y_k^2}}{y_k} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (16)$$

Στις περιπτώσεις όπου η απόσταση  $L$  είναι πολύ μεγαλύτερη του  $y_k$  ( $L \gg y_k$ ), η ΣΧΕΣΗ (20.9) γίνεται:

$$a = k\lambda \frac{L}{y_k} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (17)$$

### 3° ΠΕΙΡΑΜΑ: Περίθλαση δέσμης laser σε στρώμα λεπτών κόκκων

Εάν τώρα στη πορεία της δέσμης Laser παρεμβάλουμε γυάλινη πλάκα με λεπτή στρώση από κόκκους με πολύ μικρή διάμετρο, (π.χ. σπόρους λυκοποδίου), τότε στην οθόνη θα εμφανισθούν σκοτεινά και φωτεινά δακτυλίδια συμβολής, όμοια με τα δακτυλίδια της Εικ.6. Η ακτίνα  $R$  των πανομοιότυπων σφαιρικών κόκκων (π.χ. λυκοποδίου στο πείραμα μας) . Συγκεκριμένα,δίνεται από τη σχέση:

$$R = 0.61 \frac{\lambda}{\sin(\varphi)} \quad (18)$$

όπου  $\varphi$  είναι η γωνία με την οποία φαίνεται από το διάφραγμα η ακτίνα  $y$  του πρώτου σκοτεινού δακτυλιδιού της εικόνας της περίθλασης και,

$$\sin(\varphi) = \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}} \quad (19)$$

και  $L$  είναι η απόσταση της οθόνης από το διάφραγμα. Οπότε, η Σχ.19 γίνεται:

$$R = 0.61 \cdot \lambda \cdot \frac{\sqrt{L^2 + y^2}}{y} \quad (20)$$

$$\text{ή } R = 0.61\lambda \frac{L}{y} \quad \text{όταν } L \gg y \quad (21)$$