

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Συγγραφή – Επιμέλεια: Παναγιώτης Φ. Μοίρας

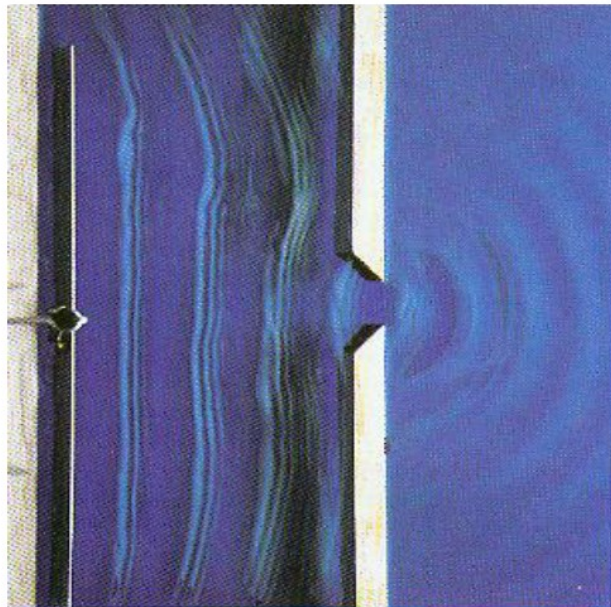


Περίθλαση είναι το φαινόμενο της εκτροπής του φωτός από την ευθύγραμμη διάδοση όταν συναντήσει ένα εμπόδιο, όπως είναι το άκρο μιας σχισμής. Αυτό γίνεται αντιληπτό καθώς παρατηρείται ότι το φως θα περάσει στο χώρο της γεωμετρικής σκιάς πίσω από το εμπόδιο σχηματίζοντας στην περιοχή αυτή μια εικόνα κροσσών συμβολής. Η περίθλαση είναι φαινόμενο καθαρά κυματικό και δεν μπορεί να εξηγηθεί με τη Γεωμετρική Οπτική.

Τα φαινόμενα της συμβολής και της περίθλασης είναι αποτέλεσμα της επαλληλίας των κυμάτων και το όριο που καθορίζει την ονομασία ενός φαινομένου, αν αυτό θα χαρακτηριστεί σαν συμβολή ή σαν περίθλαση, δεν είναι ποιοτικό αλλά ποσοτικό. Δηλαδή η επαλληλία δυο μόνο κυμάτων είναι η συμβολή, ενώ η επαλληλία πάρα πολλών κυμάτων είναι η περίθλαση.

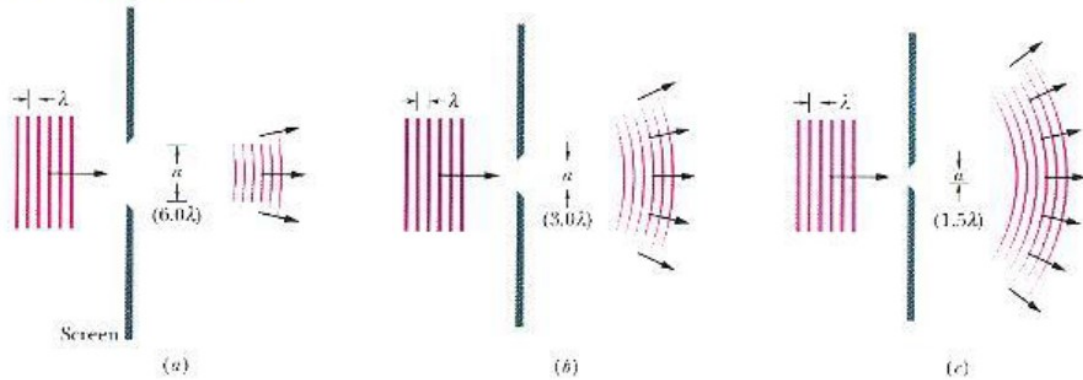
Περίθλαση (diffraction) = Καμπύλωση κυμάτων πίσω από αδιαφανή αντικείμενα και διάδοσή τους μέσα στην περιοχή της σκιάς

Το φαινόμενο της περίθλασης είναι ένα κυματικό φαινόμενο και μόνον



Διαμορφώματα περίθλασης δεν παρατηρούνται συχνά στην καθημερινή μας ζωή διότι:

οι περισσότερες κοινές πηγές φωτός δεν είναι ούτε μονοχρωματικές ούτε σημειακές.

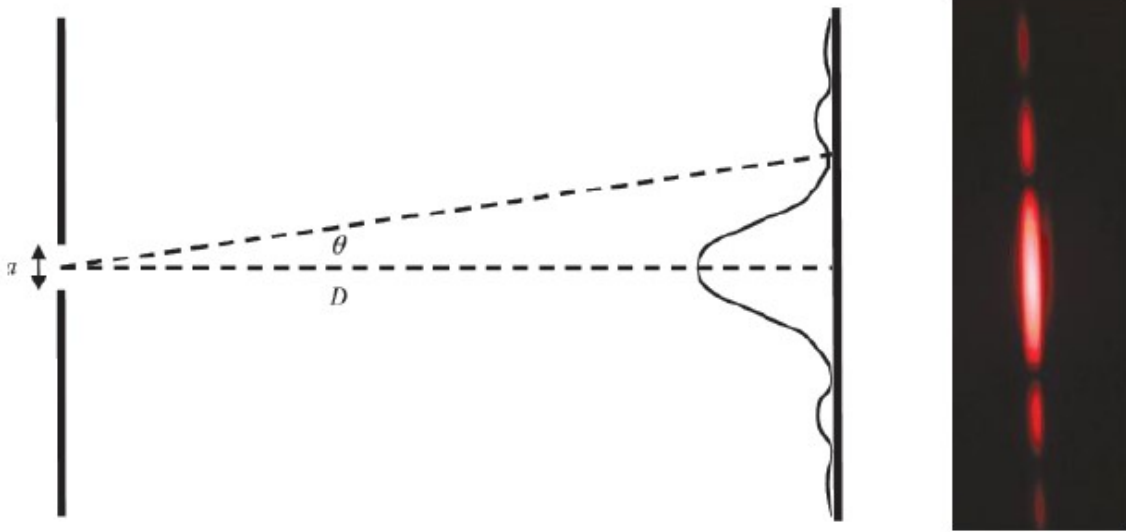


Το φαινόμενο Περίθλασης παρατηρείται έντονα όταν:
κύματα διέρχονται από μία σχισμή ή γωνία της οποίας το μέγεθος προσεγγίζει ή είναι ακόμη μικρότερο από το μήκος κύματος του φωτός.

A. Περίθλαση Fraunhofer ή μακρινού πεδίου από ορθογώνια σχισμή

Η μαθηματική δυσκολία του φαινομένου έχει οριοθετήσει δυο τύπους περίθλασης. Ο πρώτος ονομάζεται **περίθλαση Fraunhofer ή περίθλαση μακρινού πεδίου** και αναφέρεται στην περίπτωση που η πηγή, το εμπόδιο και το πέτασμα στο οποίο σχηματίζονται τα φαινόμενα περιθλάσεως είναι απομακρυσμένα μεταξύ τους, έτσι ώστε τα κύματα να θεωρούνται επίπεδα, δηλαδή οι αντίστοιχες ακτίνες να είναι παράλληλες.

Σχισμή εύρους a φωτίζεται από επίπεδο μονοχρωματικό φως και εξετάζεται το διαμόρφωμα του φωτός σε πέτασμα τοποθετημένο σε απόσταση D από τη σχισμή, με $D \gg a$



ΕΝΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΣΧΙΣΜΗΣ

Στη σχέση της έντασης $I(\theta)$ της συμβολής N πηγών :

$$I = I_0 \left[\frac{\sin(N\pi d \sin \theta / \lambda)}{\sin(\pi d \sin \theta / \lambda)} \right]^2 \quad (1)$$

θέτουμε $\beta = \frac{N\pi d}{\lambda} \sin \theta \Rightarrow \frac{\beta}{N} = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$ οπότε γίνεται:



$$I = I_o \left[\frac{\sin \beta}{\sin\left(\frac{\beta}{N}\right)} \right]^2$$

Επειδή η σχισμή αποτελείται από πάρα πολύ μεγάλο αριθμό πηγών $N \rightarrow \infty$, οι οποίες είναι πολύ κοντά η μια στην άλλη $d \rightarrow 0$ θα είναι και $Nd \rightarrow a$, όπου a το εύρος της σχισμής.

Αλλά για $N \rightarrow \infty$ ισχύει το όριο $\sin\left(\frac{\beta}{N}\right) \rightarrow \frac{\beta}{N}$ οπότε η (1) γίνεται:

$$I(\theta) = I_o \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \quad (2)$$

όπου $\beta = \frac{Nd\pi}{\lambda} \sin \theta \Rightarrow \beta = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$

- **Μέγιστα έντασης** έχουμε όταν $\beta=0$ δηλαδή $\theta=0$ επειδή σύμφωνα με τον κανόνα De l'hospital έχουμε για την απροσδιοριστία

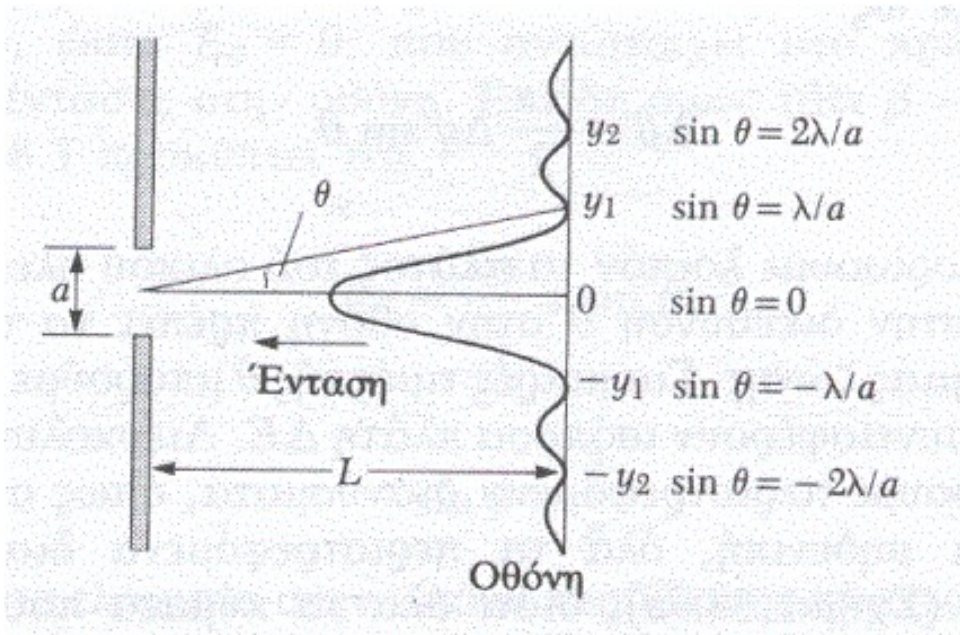
$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{\sin \beta}{\beta} = 1$$

Άρα $I_{\max} = I_o$

- **Ελάχιστα έντασης** έχουμε όταν $I = \min = 0$ δηλαδή όταν :

$$\sin \beta = 0 \Rightarrow \beta = n\pi \quad (n=1,2,3,\dots) \Rightarrow \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta = n\pi \Rightarrow \sin \theta = \frac{n\lambda}{a}, \quad (n \neq 0)$$

Προσοχή!!! Στα ελάχιστα περίθλασης δεν λαμβάνεται το $n=0$ γιατί εκεί εμφανίζεται το κεντρικό μέγιστο της εικόνας περίθλασης.



θέσεις δευτερευόντων μεγίστων περίθλασης

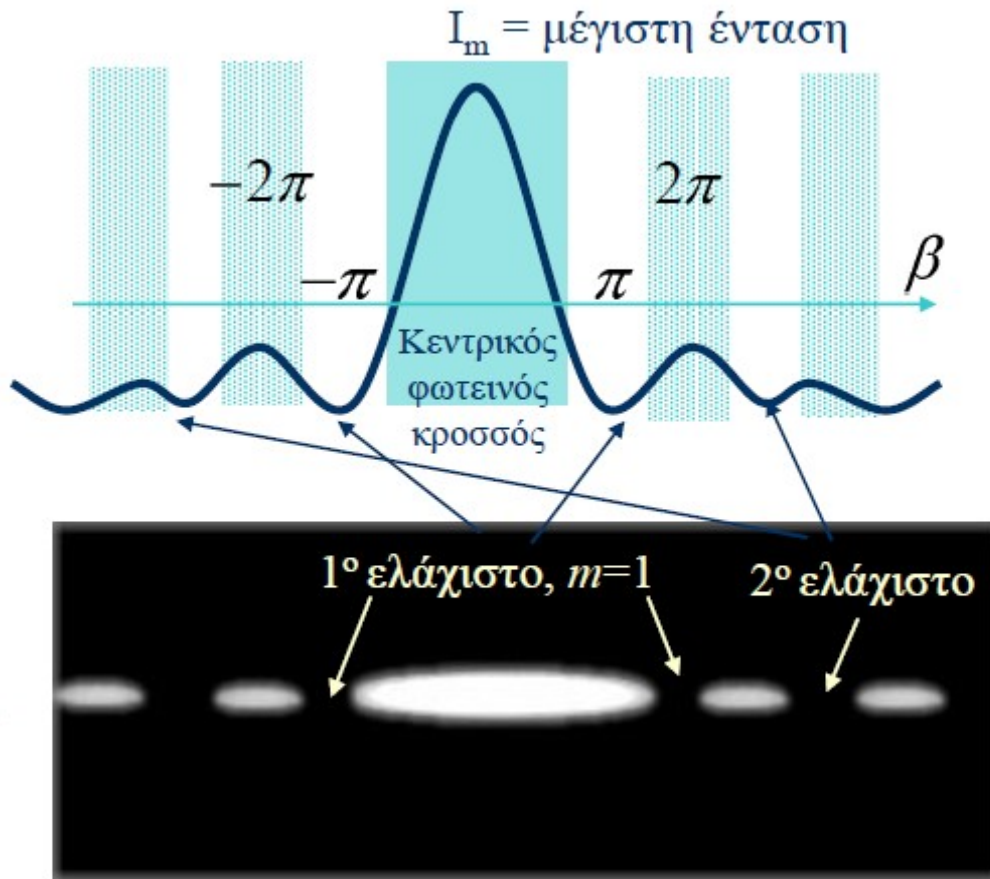
$$\frac{d}{d\beta} \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right) = \frac{\beta \cos \beta - \sin \beta}{\beta^2} = 0 \Rightarrow \beta = \tan \beta$$



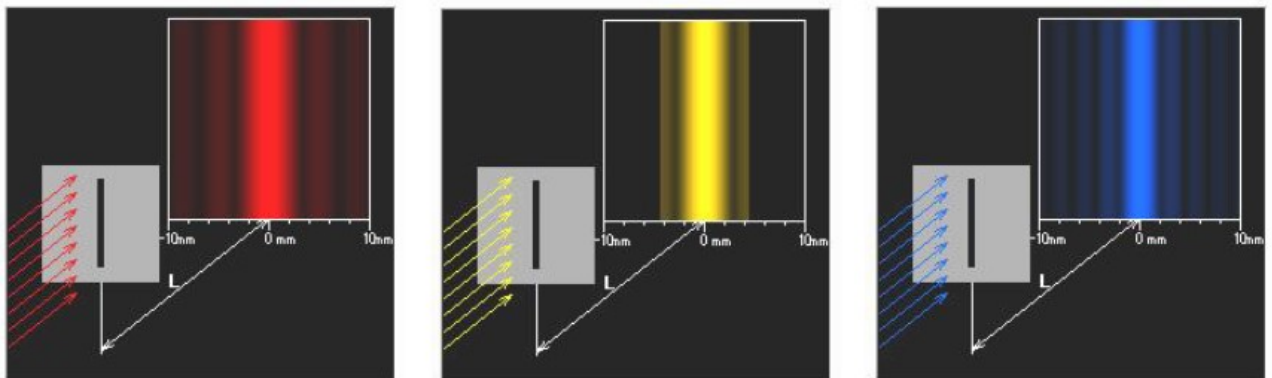
$$\beta = 1.43\pi, 2.46\pi, 3.47\pi, \dots$$

Σε αντίθεση λοιπόν με τα ελάχιστα, που ισαπέχουν μεταξύ τους (εμφανιζόμενα σε θέσεις όπου $\beta = \pm m\pi$), τα μέγιστα δεν παρουσιάζουν περιοδικότητα στην εμφάνισή τους.

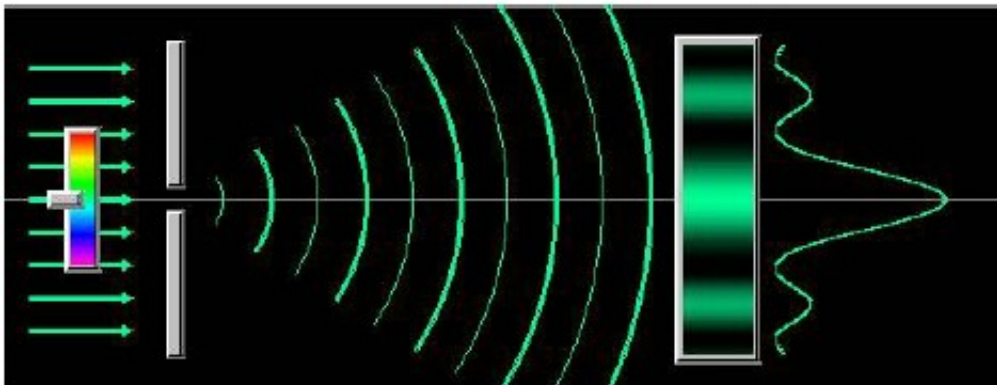
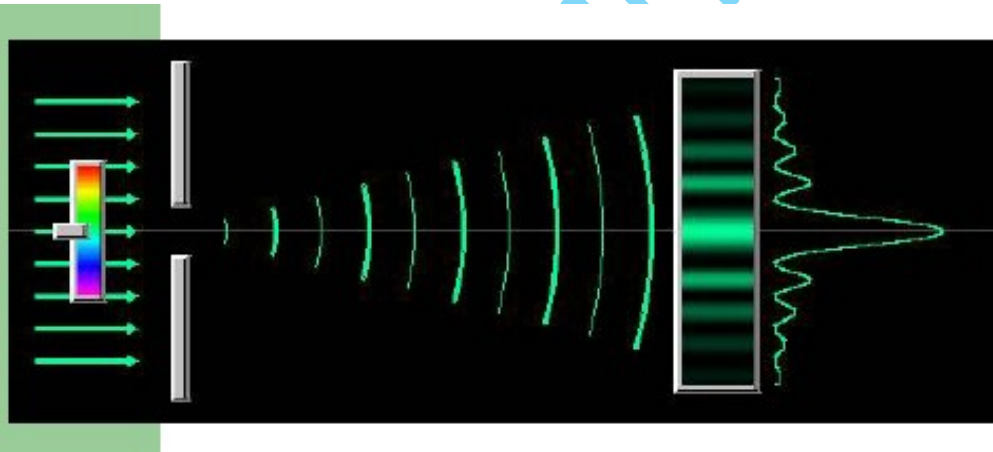
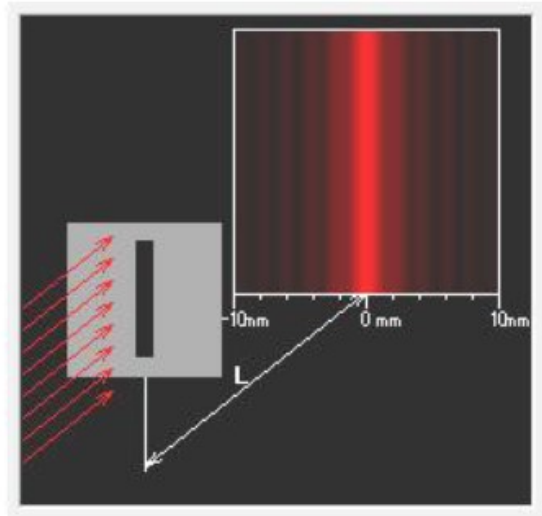
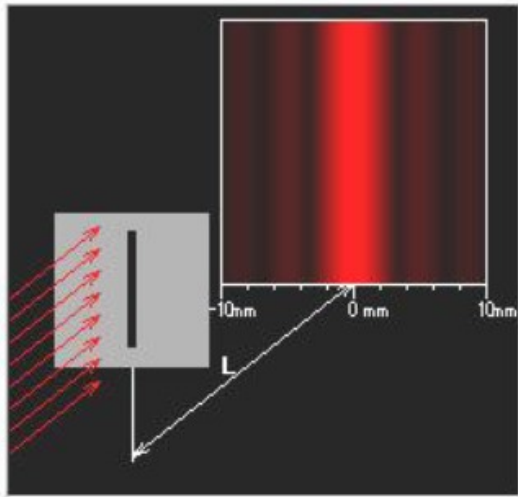
Όσο η τάξη περίθλασης m αυξάνει, οι θέσεις των δευτερευόντων μεγίστων πλησιάζουν στο μέσο μεταξύ των διαδοχικών σημείων μηδενισμού τάξης m και $m+1$ αντίστοιχα.



- Σταθερό εύρος σχισμής a & μεταβαλλόμενο μήκος κύματος λ :



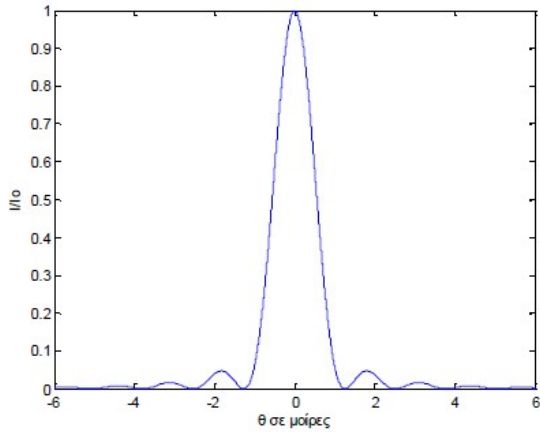
- Σταθερό μήκος κύματος λ & μεταβαλλόμενο εύρος σχισμής a :



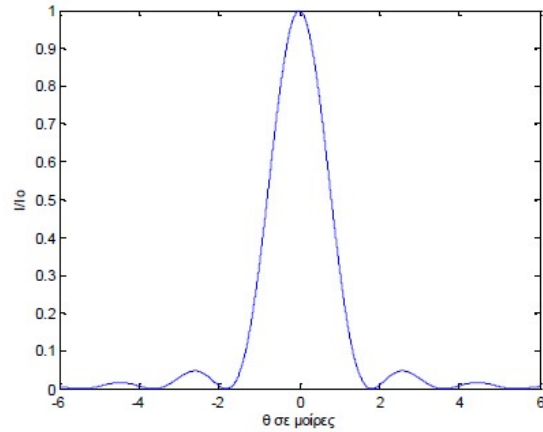
Εύρος κεντρικού μεγίστου:

Για τα ελάχιστα πρώτης τάξης ισχύει : $a \sin \theta = \pm \lambda$ και για μικρές γωνίες είναι $a\theta \cong \pm \lambda$, οπότε τα όρια του κεντρικού λοβού προσδιορίζονται από τις γωνίες $\theta_1 \cong \lambda/a$ και $\theta_2 \cong -\lambda/a$ έτσι ώστε το εύρος του κεντρικού λοβού είναι:

$$\Delta\theta \cong 2\lambda / a$$



$\lambda=441.6 \text{ nm}$ (He-Cd laser)



$\lambda=632.8 \text{ nm}$ (He-Ne laser)

Περίθλαση κυμάτων θάλασσας:

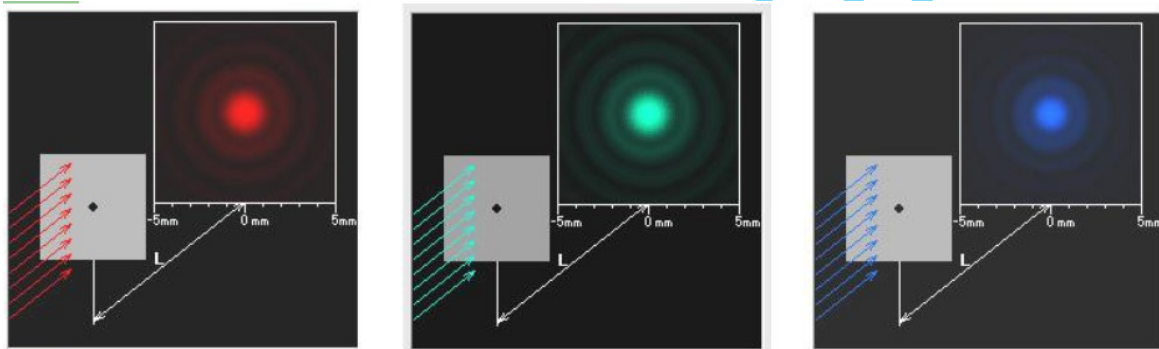


B. Περίθλαση Fraunhofer από κυκλική οπή

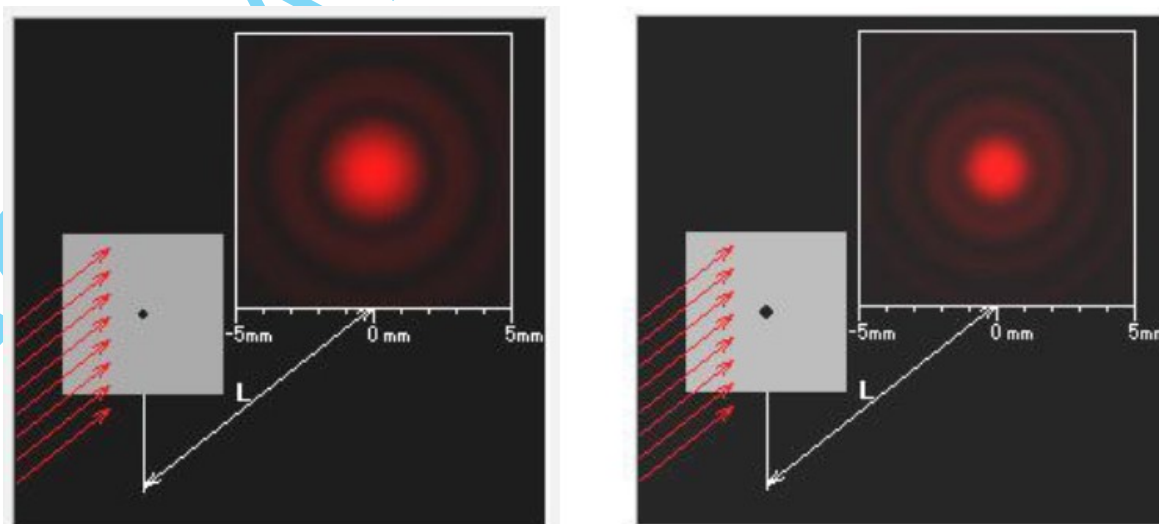
Στην περίπτωση που το εμπόδιο είναι οπή (αντί για σχισμή) στο πέτασμα θα εμφανίζεται μια φωτεινή κεντρική κηλίδα, που περιβάλλεται από δακτυλίους εναλλάξ φωτεινούς και σκοτεινούς (αντί να είναι λωρίδες). Αν η διάμετρος της οπής είναι D και το μήκος κύματος λ αποδεικνύεται ότι το γωνιακό μέγεθος θ του πρώτου σκοτεινού δακτυλίου δίνεται από τη σχέση:

$$\sin \theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

- Σταθερή διάμετρος D & μεταβαλλόμενο μήκος κύματος λ :

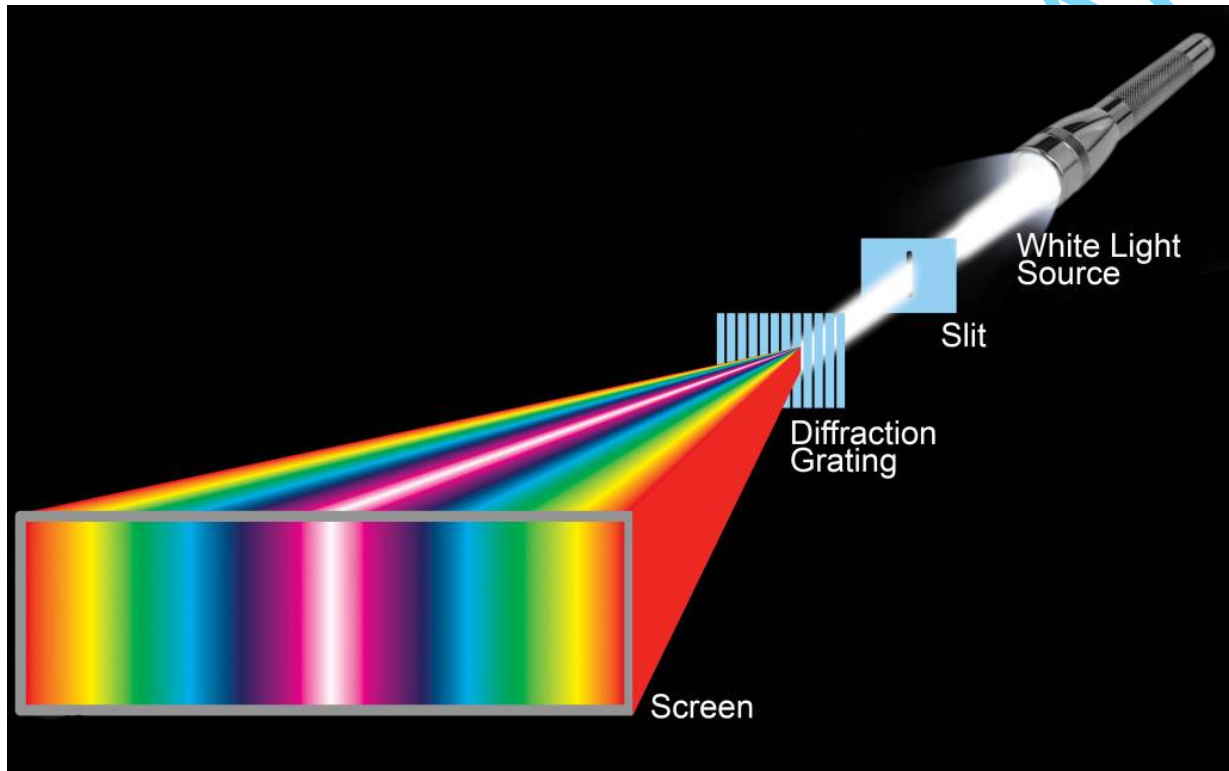


- Σταθερό μήκος κύματος λ & μεταβαλλόμενη διάμετρος D :



Γ. Φράγματα περίθλασης (Συμβολή με περίθλαση από N πανομοιότυπες πηγές)

Ένας μεγάλος αριθμός N πανομοιότυπων σχισμών πλάτους a αποτελεί ένα φράγμα περίθλασης μετάδοσης όπου η κοινή απόσταση d μεταξύ διαδοχικών σχισμών ονομάζεται **σταθερά φράγματος**.



Το διαμόρφωμα του φωτός που παρατηρείται στην πραγματικότητα είναι αποτέλεσμα της συνέλιξης (συνδυασμός δύο συναρτήσεων που μοιάζει με γινόμενο) των αποτελεσμάτων της συμβολής και της περίθλασης και εξαρτάται από το εύρος των σχισμών και την απόσταση μεταξύ τους.

Αποδεικνύεται ότι η κατανομή της έντασης περιθλώμενης ακτινοβολίας από N σχισμές εύρους a και απόστασης d μεταξύ τους είναι:

Κατανομή έντασης:
$$I = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{N\pi d \sin\theta}{\lambda}\right)}{\sin\left(\frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}\right)} \right]^2 \cdot \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}\right)}{\frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}} \right]^2$$

N : αριθμός σχισμών
 λ : μήκος κύματος
 d : απόσταση διαδοχικών σχισμών
 a : εύρος σχισμής

↑ όρος ευθολύς N πηγών
 ↑ όρος περιθλώσεως κάθε σχισμής

• Πρωτεύοντα (κύρια) μέγιστα: παρατηρούνται όταν μηδενίζεται ο παρονομαστής του όρου ευθολύς, δηλ. όταν:

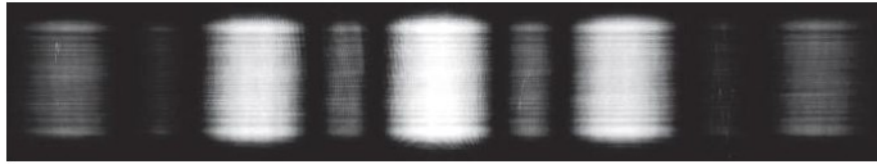
$$\sin\left(\frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}\right) = 0 \rightarrow \frac{\pi d \sin\theta}{\lambda} = n\pi \rightarrow \boxed{d \sin\theta = n\lambda} \quad n=0,1,2,\dots$$

- **N-2 δευτερεύοντα μέγιστα**: εμφανίζονται μεταξύ δυο πρωτεύοντων μεγίστων σε συμμετρικές μεταξύ τους αποστάσεις. Άρα στην περίπτωση 3 πηγών εμφανίζεται 1 δευτερεύον μέγιστο στο μέσο μεταξύ κάθε 2 πρωτεύοντων μεγίστων κ.ο.κ.

• Ελάχιστα περιθλώσεως: έχουμε όταν μηδενίζεται ο αριθμητής του όρου περιθλώσεως, δηλ. όταν:

$$\sin\left(\frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}\right) = 0 \rightarrow \frac{\pi a \sin\theta}{\lambda} = n'\pi \rightarrow \boxed{a \sin\theta = n'\lambda} \quad n'=1,2,\dots$$

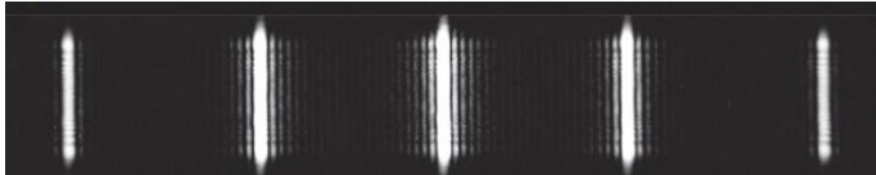
ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΛΕΠΤΕΣ ΣΧΙΣΜΕΣ



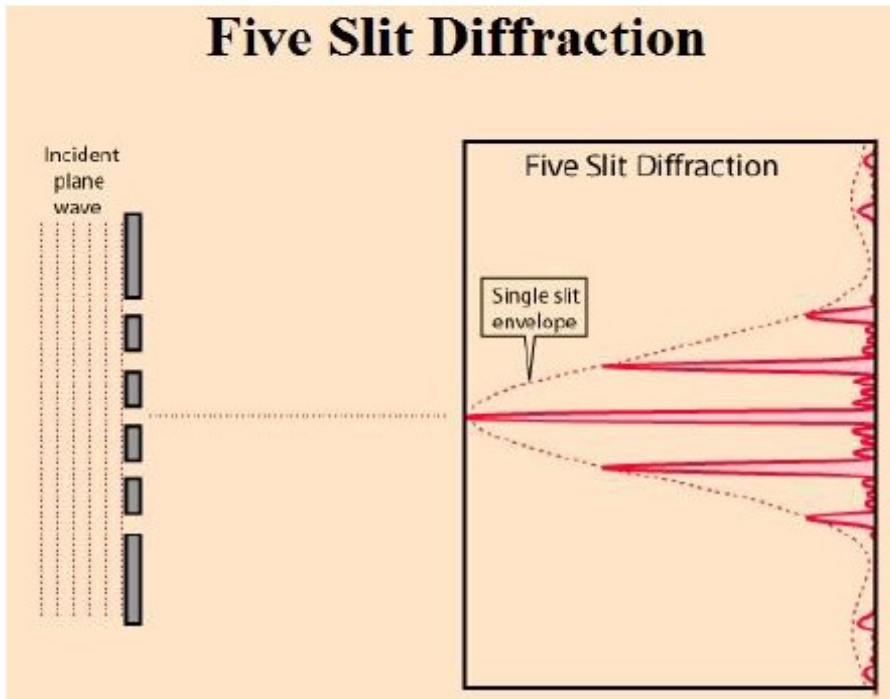
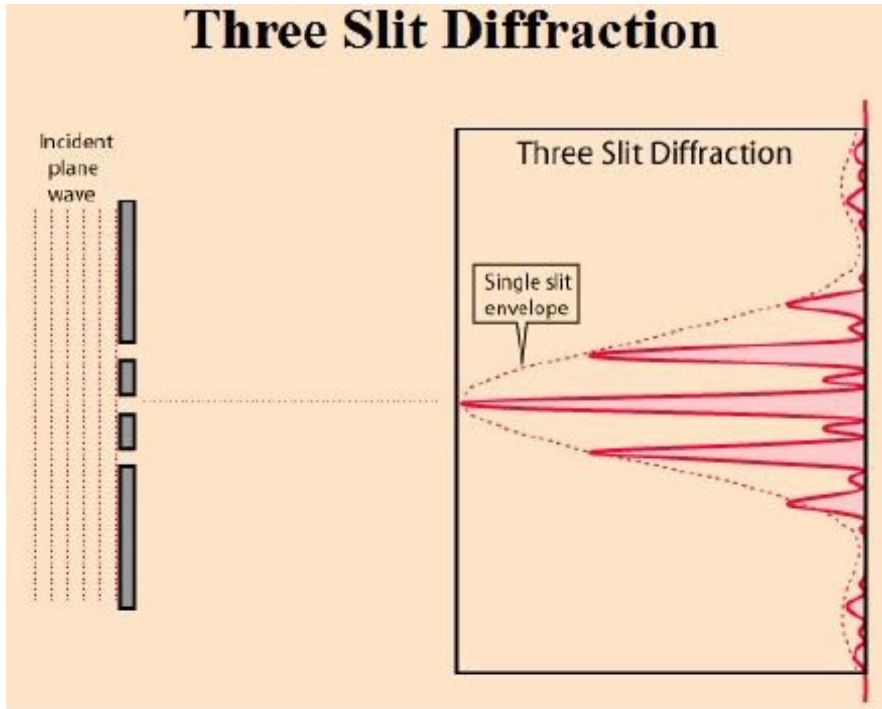
Περίθλαση από **3 σχισμές** όπου φαίνεται ένα δευτερεύον μέγιστο έντασης, ανάμεσα στα κύρια μέγιστα που παρατηρούνται και στην περίπτωση περίθλασης από δύο σχισμές.



Περίθλαση από **4 σχισμές** όπου φαίνονται δύο δευτερεύοντα μέγιστα ανάμεσα στα κύρια μέγιστα.



Περίθλαση από **23 σχισμές** όπου φαίνεται χαρακτηριστικά το στένεμα και η αύξηση της έντασης των κύριων μεγίστων.



Η πρακτική χρησιμότητα των φραγμάτων περίθλασης βρίσκεται στην ικανότητά τους να αναλύουν πολυχρωματικό φως ως **αναλυτές φάσματος**.

Τα φράγματα μπορούν επομένως να λειτουργήσουν όπως τα πρίσματα, οδηγώντας στον διαχωρισμό του φωτός στα χρώματα που το αποτελούν και στην παραγωγή του *φάσματος του*.

Σύμφωνα με την εξίσωση $d \sin \theta = m\lambda$, το φως με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος θα περιθλάται στις μεγαλύτερες γωνίες.

Αντίθετα, στον διαχωρισμό λευκού φωτός από πρίσμα, διαθλάται περισσότερο το φως μικρότερου μήκους κύματος λόγω της εξάρτησης του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος (διασπορά υλικού)..

