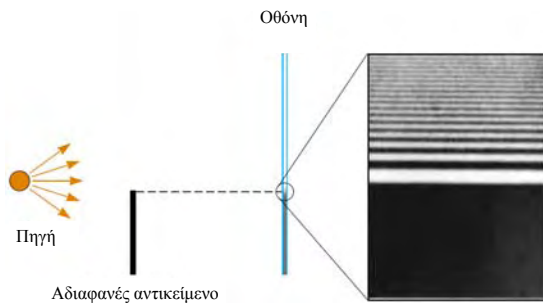


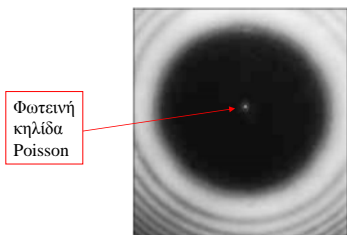


Εικόνες (διαμορφώματα) περίθλασης



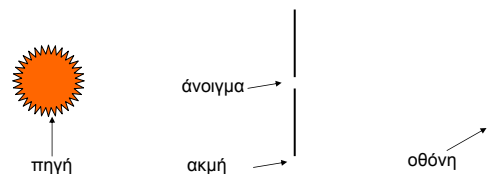
<http://www.ph.unimelb.edu.au/~ssk/fresnel/edge.html>

Διαμόρφωμα περίθλασης

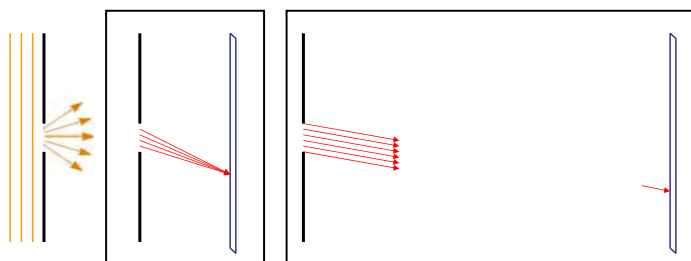


Περίθλαση

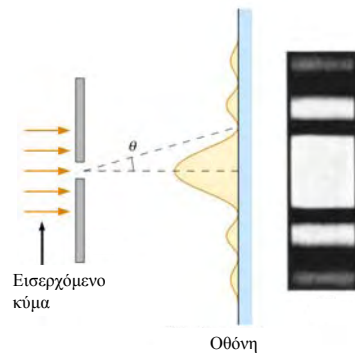
- περιγράφει «την εκτροπή ενός κύματος από την ευθύγραμμη διάδοση, όταν συναντήσει ένα εμπόδιο»
- περιγράφει φαινόμενα που εκδηλώνονται όταν το φως προσπίπτει σε ένα εμπόδιο με ένα άνοιγμα ή μία ακμή
- ΔΕΝ υπάρχει ουσιαστική διαφορά με το φαινόμενο της συμβολής
- ουσιαστικά αναφέρεται σε φαινόμενα επαλληλίας συνεχών (ή απλά *μεγάλου* αριθμού) κατανομών «δευτερογενών σφαιρικών κυμάτων»- κυματιών Huygens
- Αν η πηγή, το εμπόδιο και το πέτασμα (οθόνη) είναι αρκετά απομακρυσμένα μεταξύ τους ώστε οι ευθείες από την πηγή προς το εμπόδιο, και από το εμπόδιο προς το πέτασμα να μπορούν να θεωρηθούν παράλληλες, η περίθλαση περιγράφεται ως περίθλαση *Fraunhofer*. Αν όχι, περιγράφεται ως περίθλαση *Fresnel*!



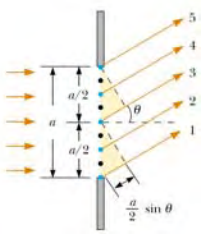
Περίθλαση μακρινού πεδίου (Fraunhofer) και περίθλαση κοντινού πεδίου (Fresnel)



Εικόνες περίθλασης Fraunhofer από στενή σχισμή



Εικόνες περίθλασης από στενή σχισμή



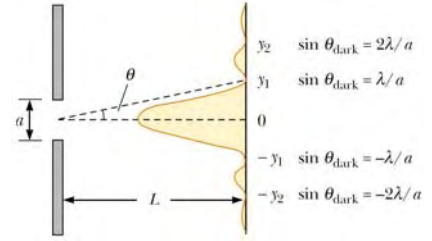
Κύματα από το άνω μισό (μήκους $a/2$) συμβάλλουν αναρρετικά με τα κύματα από το κάτω μισό (μήκους $a/2$) όταν:

$$\frac{a}{2} \sin \theta = \pm \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \sin \theta = \pm \frac{\lambda}{a}$$

Χωρίζοντας την σχισμή σε $2N$ τμήματα βρίσκουμε την γενική συνθήκη αναρρετικής συμβολής:

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

Εικόνες περίθλασης από στενή σχισμή



Ελάχιστα περίθλασης:

$$\sin \theta_{dark} = \frac{m\lambda}{a}$$

Αν $m\lambda \ll a$:

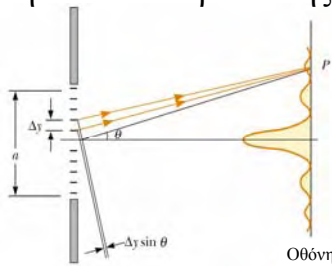
$$\theta_{dark} = \frac{m\lambda}{a}$$

$$(m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

$$y_{dark} = L \frac{m\lambda}{a}$$

!!! $m \neq 0$!!!

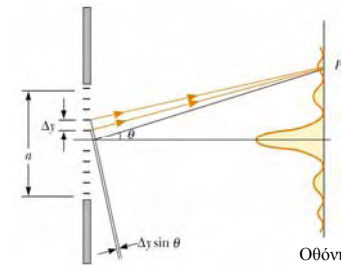
Ένταση στην εικόνα περίθλασης μίας σχισμής



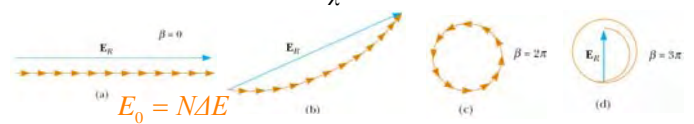
$$\frac{\text{διαφορά φάσης}}{\text{διαφορά διαδρομής}} = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \frac{\Delta\beta}{\Delta y \sin \theta} = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \Delta\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta y \sin \theta$$

$$\Rightarrow \dots ??? \dots \Rightarrow \beta = N \Delta\beta = N \frac{2\pi}{\lambda} \Delta y \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$$

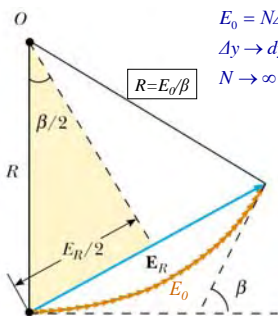
Ένταση στην εικόνα περίθλασης μίας σχισμής



$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$$



Ένταση στην εικόνα περίθλασης μίας σχισμής



$$E_0 = N\Delta E = R\beta$$

$$\Delta y \rightarrow dy$$

$$N \rightarrow \infty$$

$$R = E_0 \beta$$

$$E_R = 2R \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = E_0 \frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\frac{\beta}{2}} \Rightarrow$$

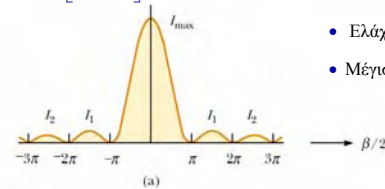
$$I = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\frac{\beta}{2}} \right]^2$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$$

Ελάχιστα περίθλασης: $\sin \theta_{dark} = \frac{m\lambda}{a}$

Ένταση στην εικόνα περίθλασης μίας σχισμής

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



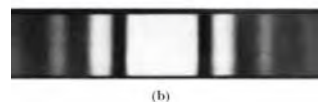
- Ελάχιστα περίθλασης: $\sin \theta_{dark} = \frac{m\lambda}{a}$
- Μέγιστα περίθλασης? $\beta = \pm(2m+1)\pi$

$$I_m \approx \frac{I_0}{(m+1/2)^2 \pi^2}$$

- Για μικρές γωνίες εύρος κεντρικού μεγίστου

$$\Delta\theta = 2 \frac{\lambda}{a}$$

- Τι συμβαίνει στο όριο $a \gg \lambda$ και τι όταν $a < \lambda$



Προσοχή!

• Ελάχιστα περίθλασης: $\sin \theta_{dark} = \frac{m\lambda}{a}$

Η συνθήκη ελαχίστων ΙΔΙΑ με αυτή για τα μέγιστα συμβολής δύο σχισμών!

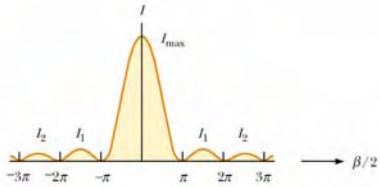
• **ΑΣΚΗΣΗ:** Να αποδείξετε ότι τα μέγιστα περίθλασης ικανοποιούν την σχέση

$\beta = 2 \tan(\beta/2)$ και να αποδώσετε γραφικά την λύση της.

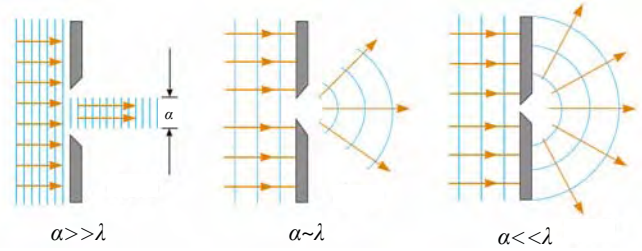
• Για μικρές γωνίες εύρος κεντρικού μεγίστου

$$\Delta\theta = 2 \frac{\lambda}{a}$$

• Πως διαμορφώνεται η εικόνα περίθλασης στα όρια $a \gg \lambda$ και $a \ll \lambda$

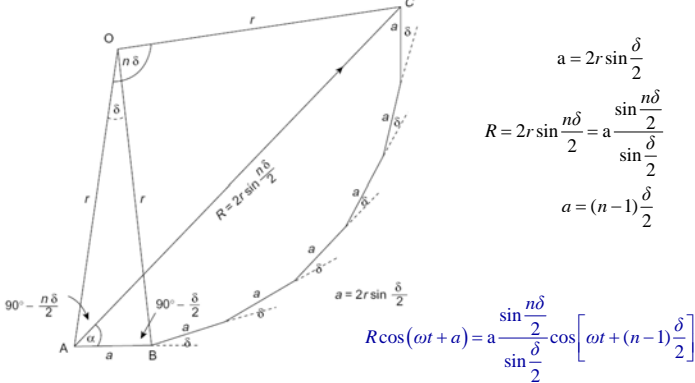


Ευθύγραμμη διάδοση - Φαινόμενα Περίθλασης

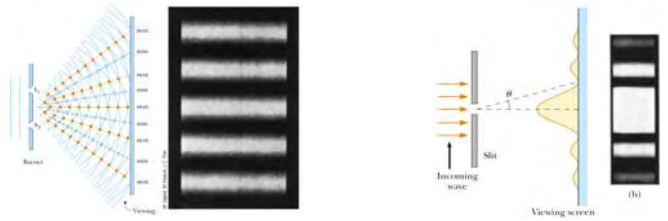


Επαλληλία όμοιων α.α.τ. και ίσων διαδοχικών διαφορών φάσεων (ή **Συμβολή γραμμικής διάταξης N όμοιων πηγών**)

$$R \cos(\omega t + a) = a \cos \omega t + a \cos(\omega t + \delta) + a \cos(\omega t + 2\delta) + \dots + a \cos(\omega t + [n-1]\delta)$$



Συμβολή-Περίθλαση



$I = I_0 \cos^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right)$, $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$
 $\delta = d \sin \theta = m\lambda$: ενισχυτική συμβολή
 $\delta = d \sin \theta = (2m+1) \frac{\lambda}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$: καταστροφική συμβολή
 $E_p \propto a \frac{\sin \frac{n\varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}} \rightarrow a \cos \frac{\varphi}{2}$

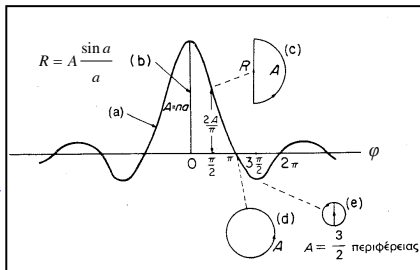
$I = I_0 \left[\frac{\sin \left(\frac{\beta}{2} \right)}{\frac{\beta}{2}} \right]^2$, $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$
 Ελάχιστα περίθλασης: $\sin \theta_{dark} = \frac{m\lambda}{a}$
 $E_p \propto a \frac{\sin \frac{n\varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}} \rightarrow na \frac{\sin \left(\frac{\beta}{2} \right)}{\frac{\beta}{2}}$

Επαλληλία «μεγάλου» αριθμού όμοιων α.α.τ. ίσων διαδοχικών διαφορών φάσεων (**ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ !!!**)

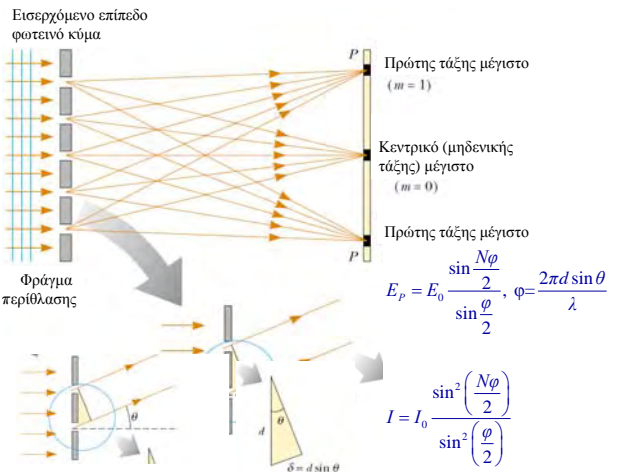
$$R = a \frac{\sin \frac{n\delta}{2}}{\sin \frac{\delta}{2}}$$

Για μεγάλο n, το delta είναι μικρό και το πολύγωνο γίνεται τόξο κύκλου μήκους na = A και χορδής R.

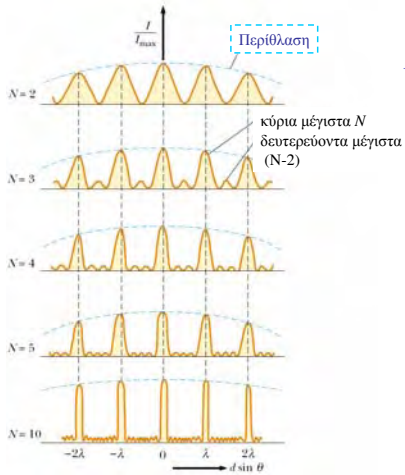
$a = (n-1) \frac{\delta}{2} \approx n \frac{\delta}{2}$
 $\sin \frac{\delta}{2} \approx \frac{\delta}{2} = \frac{a}{n}$
 $R = a \frac{\sin \frac{n\delta}{2}}{\sin \frac{\delta}{2}} \approx a \frac{\sin a}{\frac{a}{n}} = A \frac{\sin a}{a}$



Ένταση από συμβολή γραμμικής διάταξης N όμοιων πηγών

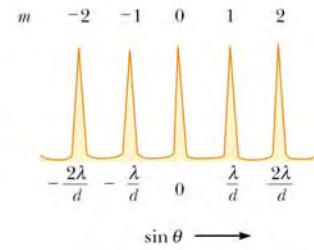


Ένταση από συμβολή γραμμικής διάταξης N όμοιων πηγών



$$I = I_s \frac{\sin^2\left(\frac{N\varphi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}, \quad \varphi = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda}$$

Φράγμα περίθλασης

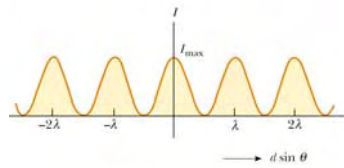
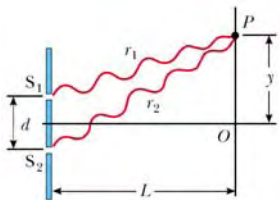
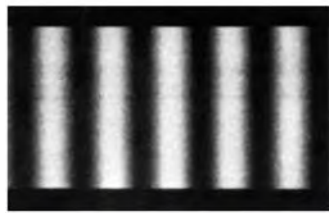


$$d \sin \theta = m \lambda$$

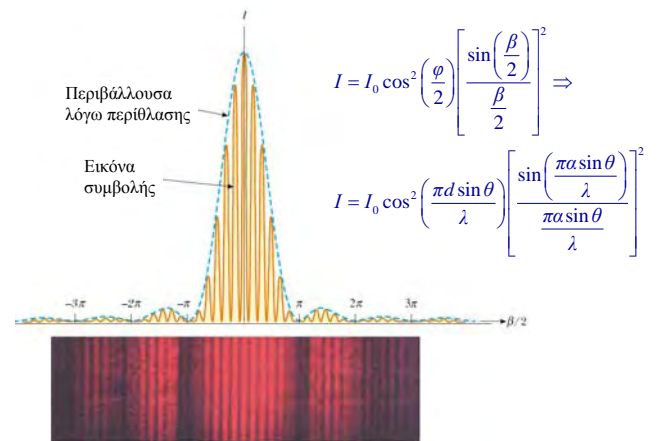
Το μέγιστο m -οστής τάξης εμφανίζεται όταν η διαφορά φάσης από διαδοχικές σχισμές είναι $\varphi = 2\pi m$

Ένταση στην εικόνα συμβολής δύο φωτεινών πηγών

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

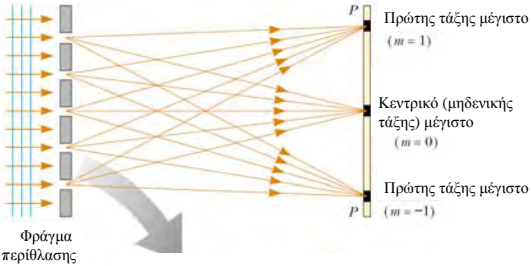


Εικόνα περίθλασης από δύο σχισμές



Φράγμα περίθλασης

Εισερχόμενο επίπεδο φωτεινό κύμα



$$I = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\frac{\beta}{2}} \right]^2 \frac{\sin^2\left(\frac{N\varphi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}$$

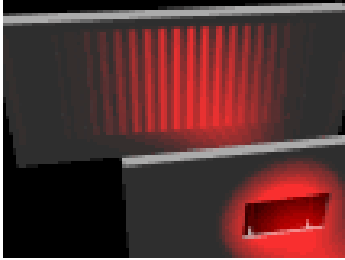
$$\beta = \frac{2\pi a \sin \theta}{\lambda}, \quad \varphi = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda}$$

Φράγμα περίθλασης

$$I = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\frac{\beta}{2}} \right]^2 \frac{\sin^2\left(\frac{N\varphi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}, \quad \beta = \frac{2\pi a \sin \theta}{\lambda}, \quad \varphi = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda}$$

Τα κύρια μέγιστα συμβολής εμφανίζονται όταν: $d \sin \theta = m \lambda$, έχουν ένα παράγοντα N^2 στην ένταση τους και παρατηρούνται ως φασματικές γραμμές τάξης m . Οι εντάσεις των φασματικών γραμμών μειώνονται όταν αυξάνει το m καθώς τροποποιούνται από την περιβάλλουσα περίθλασης. Μεταξύ δύο φασματικών γραμμών υπάρχουν $N - 1$ ελάχιστα ($\Leftrightarrow N - 2$ δευτερεύοντα μέγιστα).

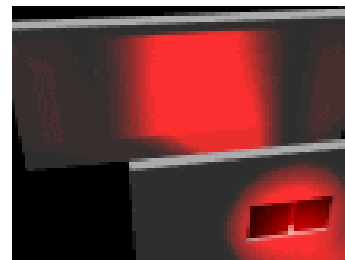
Εικόνες περίθλασης



Περίθλαση μακρινού πεδίου (Fraunhofer) από δύο σχισμές

Η απόσταση μεταξύ των σχισμών μεταβάλλεται $d=500-1500 \text{ nm}$ ενώ το πλάτος των σχισμών $a=1000 \text{ nm}$ παραμένει αμετάβλητο. Ο αριθμός των φωτεινών κροσσών αυξάνει με το d , ενώ το εύρος της εικόνας περίθλασης δεν μεταβάλλεται. Το μήκος του κύματος είναι ίσο με $\lambda=600 \text{ nm}$

Εικόνες περίθλασης



Περίθλαση μακρινού πεδίου (Fraunhofer) από μία σχισμή

Το πλάτος της σχισμής μεταβάλλεται στο εύρος $a=500-1500 \text{ nm}$, και το μήκος του κύματος είναι ίσο με $\lambda=600 \text{ nm}$.

Εικόνες περίθλασης

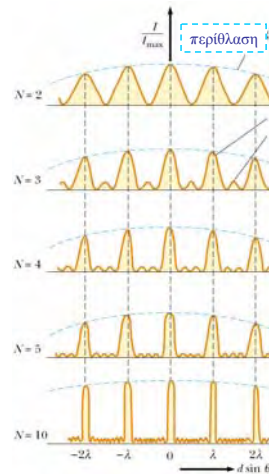


Περίθλαση μακρινού πεδίου (Fraunhofer) από δύο σχισμές

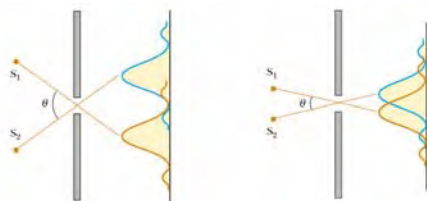
Το πλάτος a των σχισμών μεταβάλλεται ενώ η απόσταση μεταξύ των σχισμών d παραμένει αμετάβλητη. Καθώς μικραίνει το πλάτος των σχισμών, το εύρος της εικόνας περίθλασης μεγαλώνει ενώ η ένταση στους κροσσούς συμβολής μειώνεται. Οι θέσεις των κροσσών δεν μεταβάλλονται.

Άσκηση: Να δείχθει ότι στην διαμόρφωση περιθλαστικού φράγματος N σχισμών εμφανίζονται $N-1$ ελάχιστα (σημεία μηδενισμού της έντασης) μεταξύ δύο διαδοχικών κυρίων μεγίστων. Βρείτε τα! Δίνεται:

$$I = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\frac{\beta}{2}} \right]^2 \frac{\sin^2\left(\frac{N\varphi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}, \quad \beta = \frac{2\pi a \sin \theta}{\lambda}, \quad \varphi = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda}$$



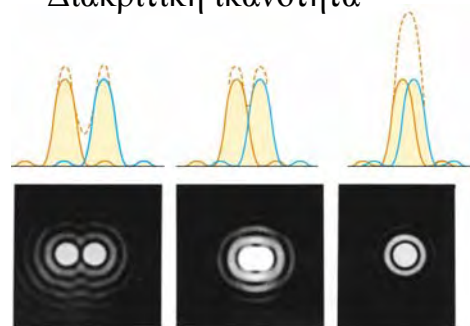
Κυκλικά ανοίγματα και διακριτική ικανότητα



Κριτήριο του Rayleigh – Όριο διάκρισης δύο ειδόλων

Τα διαμορφώματα είναι μόλις διακριτά αν το κέντρο του ενός διαμορφώματος συμπίπτει με το πρώτο ελάχιστο του δεύτερου διαμορφώματος.

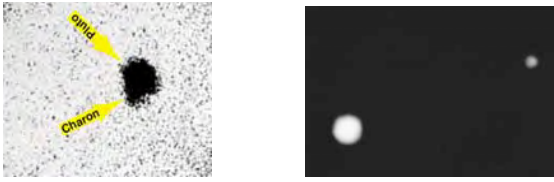
Διακριτική ικανότητα



Οριακή γωνία διάκρισης ορθογώνιας σχισμής: $\theta_m = \frac{\lambda}{a}$

Οριακή γωνία διάκρισης κυκλικής οπής: $\theta_m = 1.22 \frac{\lambda}{D}$

Διακριτική ικανότητα

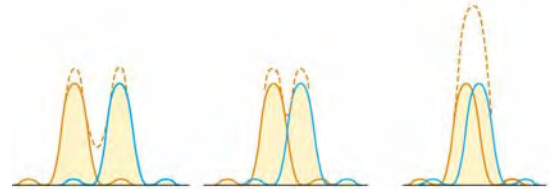
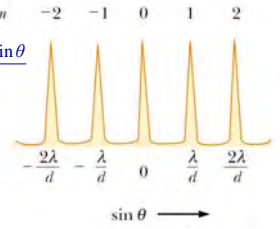


$$R = \frac{\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

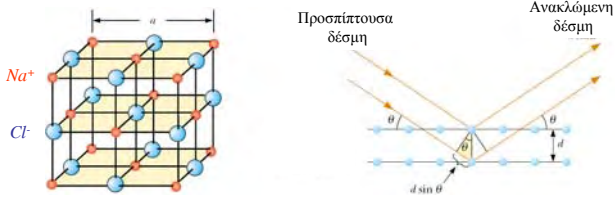
Διακριτικότητα φασματομέτρου φράγματος

$$I = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\frac{\beta}{2}} \right]^2 \frac{\sin^2\left(\frac{N\phi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\phi}{2}\right)}, \quad \beta = \frac{2\pi a \sin\theta}{\lambda}, \quad \phi = \frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda}$$

Διακριτική ικανότητα φράγματος του μεγίστου της m τάξης δίνεται από: $R = Nm$

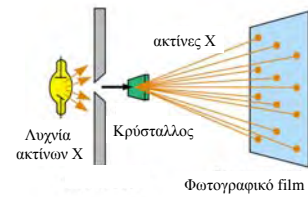


Περίθλαση ακτίνων X

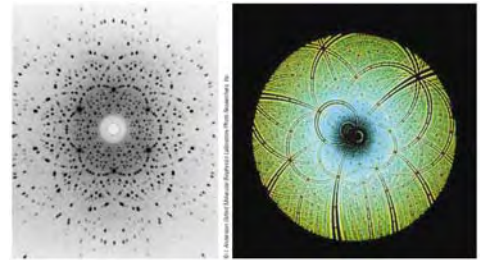


$$2d \sin\theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots : \text{νόμος του Bragg}$$

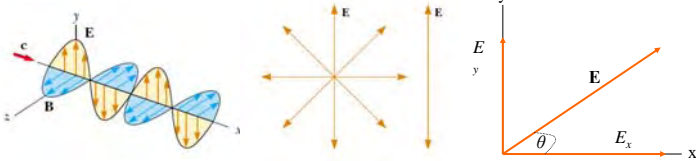
Περίθλαση ακτίνων X



Εικόνες περίθλασης Laue



Πόλωση του φωτός

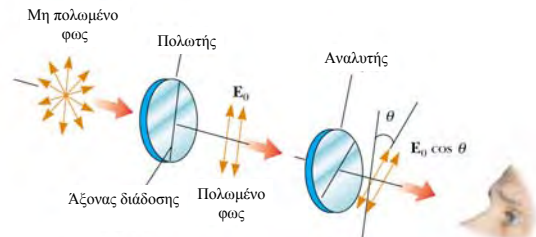


Διεύθυνση πόλωσης Η/Μ κύματος: διεύθυνση στην οποία ταλαντώνεται το **E**
Γραμμικά πολωμένο κύμα: Το **E** ταλαντώνεται στο ίδιο σημείο πάντοτε κατά την ίδια διεύθυνση (θ - σταθερό).

Κυκλικά πολωμένο: Κυκλική περιστροφή του E_x, E_y ίσα μέτρα και διαφορά φάσης 90°
Ελλειπτικά πολωμένο: Κυκλική περιστροφή του E_x, E_y διαφορετικά μέτρα και διαφορά φάσης 90°

Αν τα E_x, E_y έχουν κατά μέσο όρο ίσα μέτρα αλλά τυχαία φάση, το κύμα δεν είναι πολωμένο

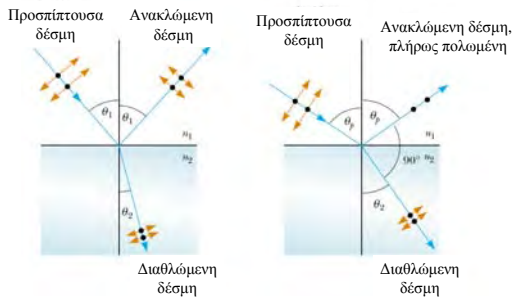
Πόλωση μέσω επιλεκτικής διάδοσης



$$I = I_0 \cos^2 \theta : \text{νόμος Malus}$$



Πόλωση εξ ανακλάσεως



$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\sin \theta_p}{\sin \theta_2} = \frac{\sin \theta_p}{\sin(90^\circ - \theta_p)} = \tan \theta_p : \text{ νόμος Brewster}$$