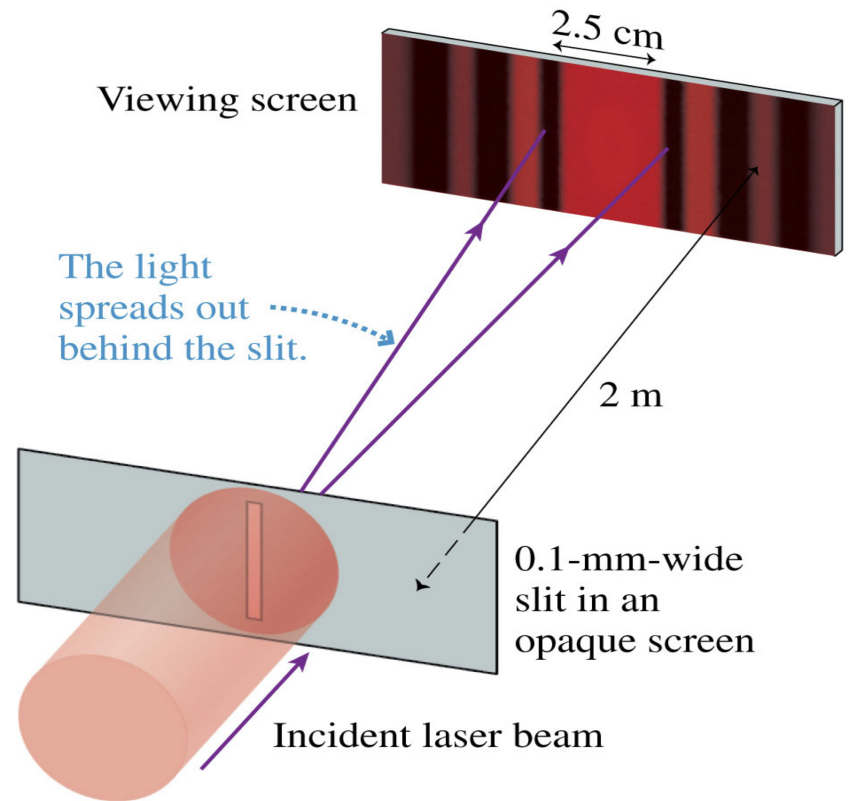


# Εικόνα περίθλασης από σχισμή

Σας θυμίζω:

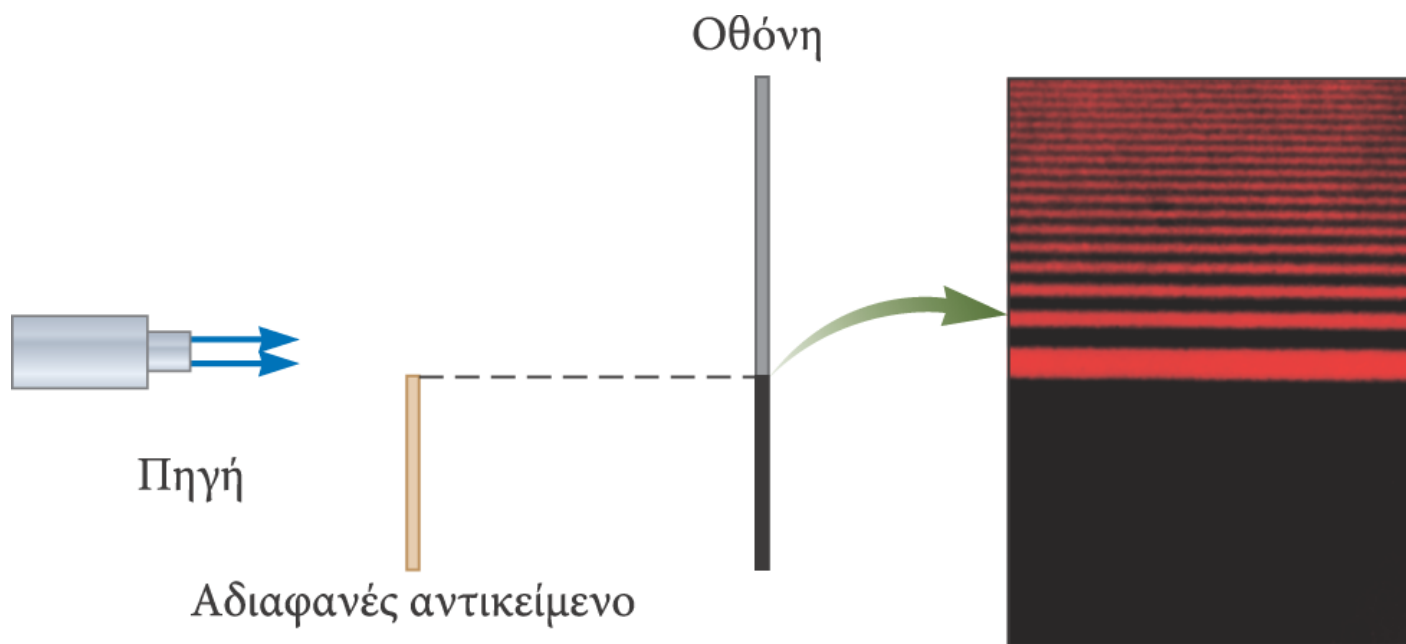
Όταν φως διέρχεται μέσα από σχισμή και έχει μήκος κύματος συγκρίσιμο ή μεγαλύτερο από το πλάτος της σχισμής, τότε διαδίδεται προς όλες τις ομόρροπες προς την αρχική, κατευθύνσεις μόλις περάσει μέσα από αυτήν (φαινόμενο περίθλασης).



## Εικόνα περίθλασης – Άκρο αντικειμένου

Εικόνα περίθλασης σχηματίζεται και σε άλλες περιπτώσεις, π.χ. δέσμη φωτός που εκπέμπεται από μία μεμονωμένη σχισμή, το οποίο περνά δίπλα από το άκρο ενός αδιαφανούς αντικειμένου.

Η εικόνα περίθλασης είναι κατακόρυφη, με το κεντρικό μέγιστο στο κάτω μέρος.

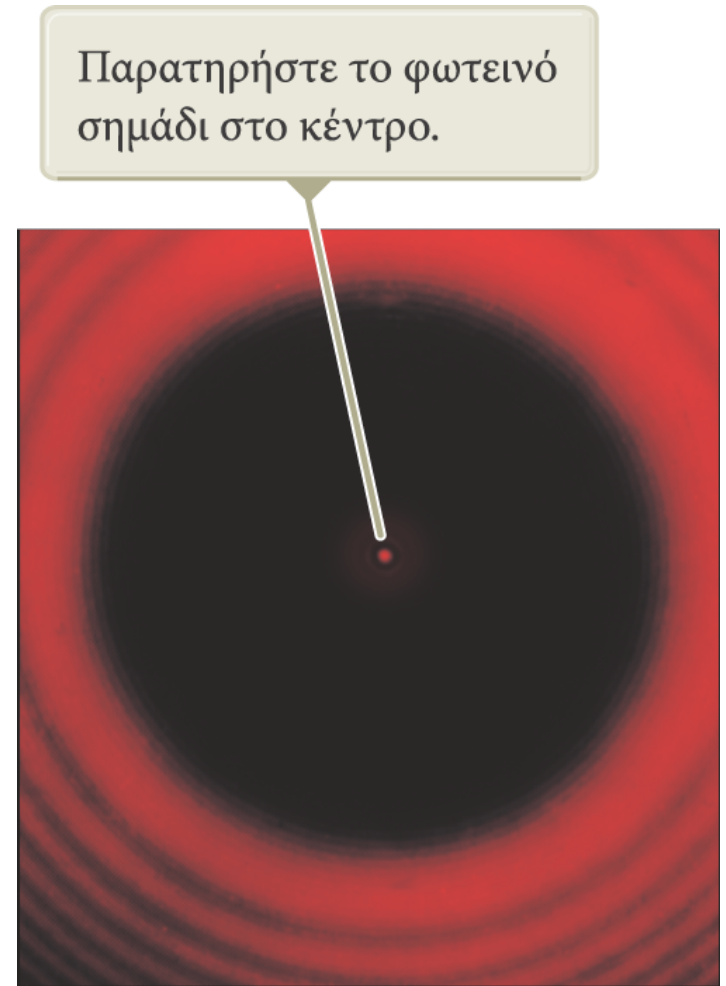


## Εικόνα περίθλασης – σφαιρικό εμπόδιο

Εικόνα περίθλασης που δημιουργείται από τον φωτισμό ενός κέρματος που βρίσκεται στο μέσο της απόστασης μεταξύ της οθόνης και της πηγής.

Στην οθόνη εμφανίζεται κυκλική σκιά και την άκρη της σκιάς σχηματίζονται κυκλικοί κροσσοί (φωτεινοί και σκοτεινοί), οι οποίοι εκτείνονται προς τα έξω.

Στο κέντρο υπάρχει μια φωτεινή κουκκίδα (Arago spot). Η ύπαρξη της κουκκίδας επιβεβαιώνει την κυματική θεωρία.



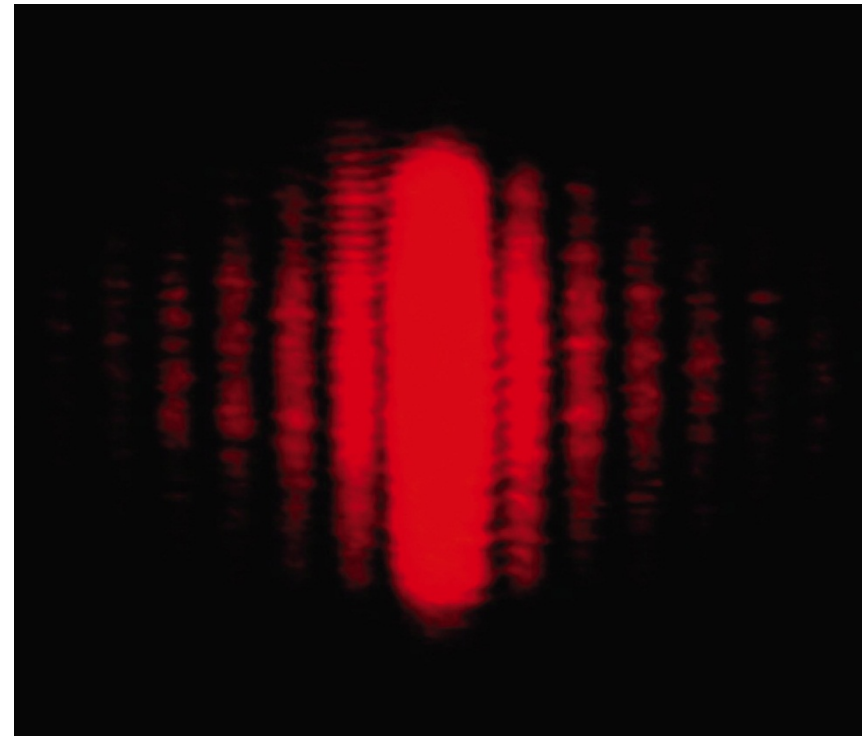
## Εικόνα περίθλασης από σχισμή

Η εικόνα περίθλασης είναι παρόμοια την εικόνα συμβολής φωτός που διέρχεται μέσα από δύο σχισμές.

Αποτελείται από μια πλατιά, κεντρική, φωτεινή ζώνη (κεντρικό μέγιστο).

Εκατέρωθεν της κεντρικής ζώνης υπάρχει μια σειρά από άλλες στενότερες και λιγότερο φωτεινές ζώνες (πλευρικά ή δευτερεύοντα μέγιστα) και μια σειρά από σκοτεινές ζώνες (ελάχιστα).

Το κεντρικό φωτεινό μέγιστο έχει διπλάσιο πλάτος από τα δευτερεύοντα μέγιστα.



## Καθορισμός θέσης ελαχίστων στην οθόνη.

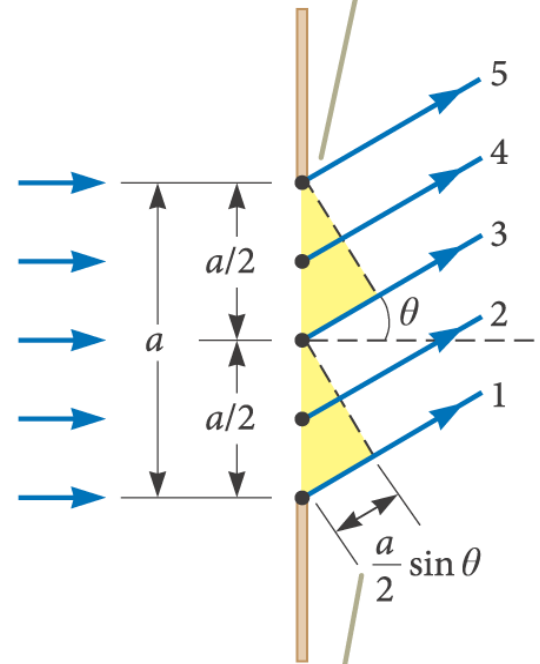
Ας υποθέσουμε ότι το μέτωπο κύματος που φτάνει στο άνοιγμα της σχισμής μπορεί να περιγραφεί ως μία σειρά από σημειακές πηγές που εκπέμπουν σφαιρικά κύματα (**αρχή του Huygens**).

Επομένως, ακτίνες από ένα τμήμα της σχισμής μπορεί να συμβάλλουν με ακτίνες από κάποιο άλλο τμήμα της.

Για μία σχισμή πλάτους  $a$ , παρατηρείται καταστρεπτική συμβολή όταν ισχύει

$$\sin \theta_{\text{σκοτ.}} = m(\lambda / a) \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

Κάθε τμήμα της σχισμής συμπεριφέρεται ως σημειακή πηγή κυμάτων φωτός.



## Εικόνα περίθλασης από κυκλικό άνοιγμα.

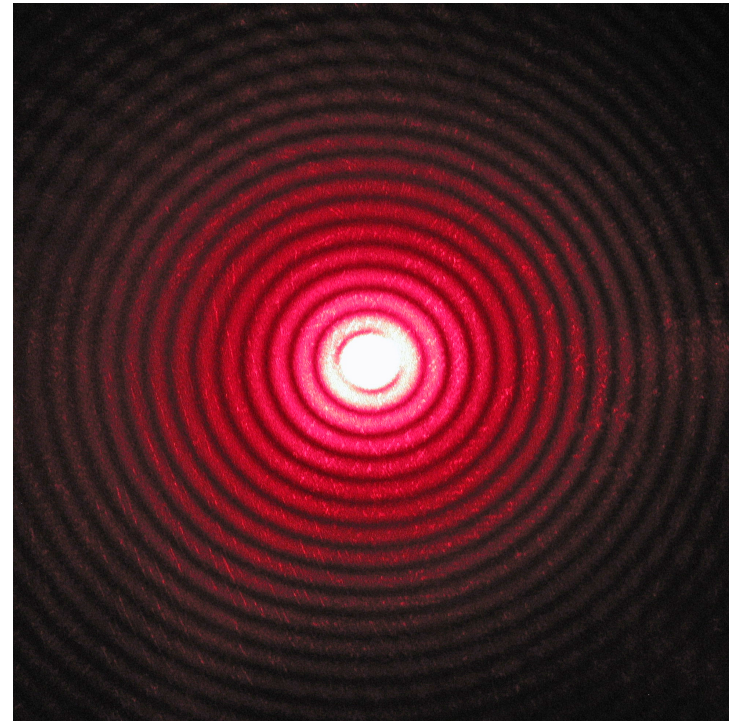
Όταν φως περνάει από κυκλικό άνοιγμα, η εικόνα περίθλασης αποτελείται από ένα κεντρικό φωτεινό δίσκο (που ονομάζεται δίσκος του Airy) που περικυκλώνεται από κυκλικούς σκοτεινούς και φωτεινούς δακτύλιους περίθλασης.

Ο πρώτος σκοτεινός δακτύλιος εμφανίζεται σε γωνία  $\theta$  που δίνεται από τη σχέση:

$$\sin(\theta) = 1.22 \lambda / d,$$

Όπου  $d$  είναι η διάμετρος της οπής και  $\theta$  είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του κεντρικού άξονα και της ευθείας που ενώνει την οπή με οποιοδήποτε σημείο του πρώτου σκοτεινού δακτυλίου.

Η παραπάνω σχέση είναι παρόμοια με την περίπτωση της εικόνας περίθλασης από σχισμή, για  $d = a$ , εκτός από τον παράγοντα 1.22. Η αύξηση στη γωνία για το ίδιο  $\lambda$  και το ίδιο  $d$  οφείλεται στο γεγονός ότι ένα κυκλικό άνοιγμα έχει εύρος  $d$  μόνο κατά μήκος της διαμέτρου του. Το υπόλοιπο του ανοίγματος είναι στενότερο. Καθώς το άνοιγμα είναι στενότερο η περίθλαση γίνεται πιο εμφανής. Ο παράγοντας 1.22 ποσοτικοποιεί το μεταβαλλόμενο οριζόντιο εύρος του κυκλικού ανοίγματος.



<https://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction>

Παρόμοια είναι και η εικόνα του ειδώλου ενός φακού με κυκλικό άνοιγμα (όπως φαίνεται στη φωτογραφία – φακός εστιακής απόστασης 2 m, σημειακή πηγή στο άπειρο), όπως επίσης και ενός κατόπτρου με κυκλικό άνοιγμα.

Το είδωλο ΔΕΝ είναι σημειακό (ακόμα και αν ο φακός ΔΕΝ έχει σφάλματα λόγω σφαιρικής και χρωματικής εκτροπής).

Το γεγονός ότι το είδωλο είναι ουσιαστικά ένας δίσκος οφείλεται μόνο στο φαινόμενο της περίθλασης και, για συγκεκριμένο μήκος κύματος, εξαρτάται ΜΟΝΟ από την διάμετρο του φακού.



[https://en.wikipedia.org/wiki/Airy\\_disk](https://en.wikipedia.org/wiki/Airy_disk)

## Διακριτική ικανότητα

Η ικανότητα των οπτικών συστημάτων να διακρίνουν αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο περιορίζεται λόγω της κυματικής φύσης του φωτός (του φαινομένου της περίθλασης).

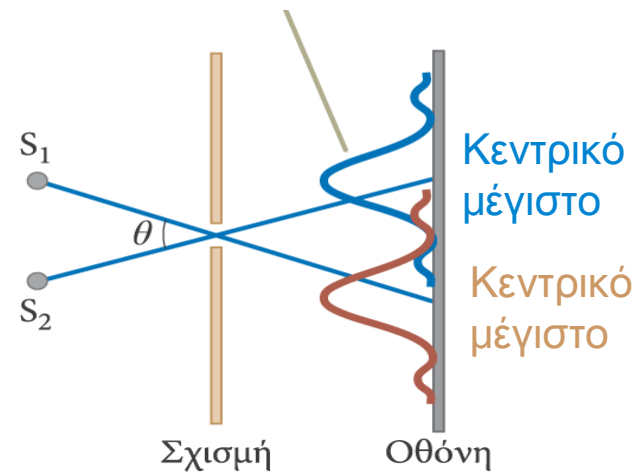
**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Δύο πηγές και μία σχισμή.**

Έστω δύο φωτεινές πηγές. Αυτό που θα βλέπουμε στην οθόνη είναι το άθροισμα της εικόνας περίθλασης που θα δημιουργεί η πηγή 1 και της εικόνας περίθλασης που θα δημιουργεί η πηγή 2.

*Γωνιακή απόσταση* μεταξύ των δύο πηγών ονομάζουμε τη γωνία  $\theta$  μεταξύ των ευθειών που ενώνουν τη σχισμή με τις πηγές. Είναι ίση με τη γωνία που έχει κορυφή τη σχισμή και υποτείνεται από τη γραμμική απόσταση μεταξύ των κεντρικών μεγίστων.

Αν αυτή η γωνία είναι αρκετά μεγάλη ώστε τα κεντρικά μέγιστα των εικόνων περίθλασης να μην επικαλύπτονται, τότε θα μπορούμε να ξεχωρίσουμε τη μία εικόνα περίθλασης από την άλλη και λέμε ότι

τα είδωλα διακρίνονται.

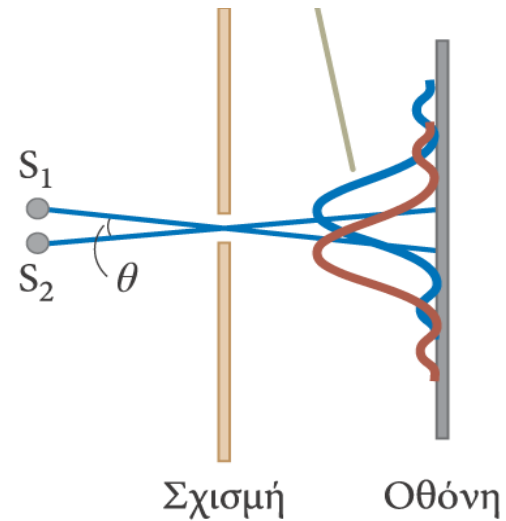




## Τα είδωλα δεν διακρίνονται

Η *γωνιακή απόσταση* των δύο πηγών, είναι τόσο μικρή ώστε οι εικόνες περίθλασης (οι κεντρικοί φωτεινοί κροσσοί) επικαλύπτονται.

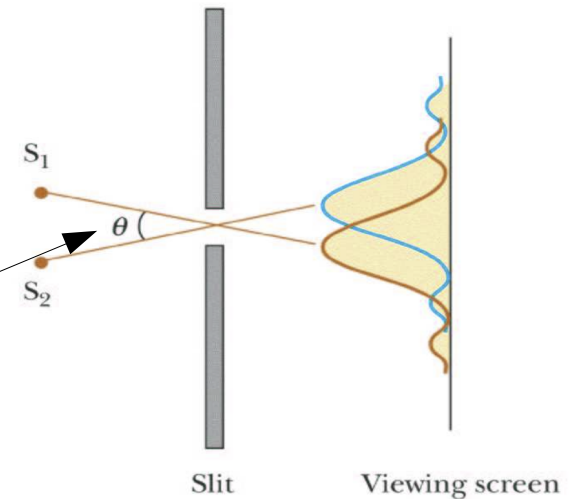
**Τα είδωλα δεν διακρίνονται.**



## Διακριτική ικανότητα – Κριτήριο του Rayleigh

Οριακή συνθήκη διακριτότητας: Όταν το κεντρικό μέγιστο του ενός ειδώλου συμπίπτει με το πρώτο ελάχιστο του άλλου ειδώλου, λέμε ότι τα είδωλα διακρίνονται.

Είναι γνωστή ως **κριτήριο του Rayleigh**.



Οριακή γωνία διακριτότητας  $\theta_{min}$  είναι η ελάχιστη γωνιακή απόσταση που πρέπει να έχουν οι πηγές στη σχισμή έτσι ώστε να μπορούμε να διακρίνουμε τα είδωλα οριακά.

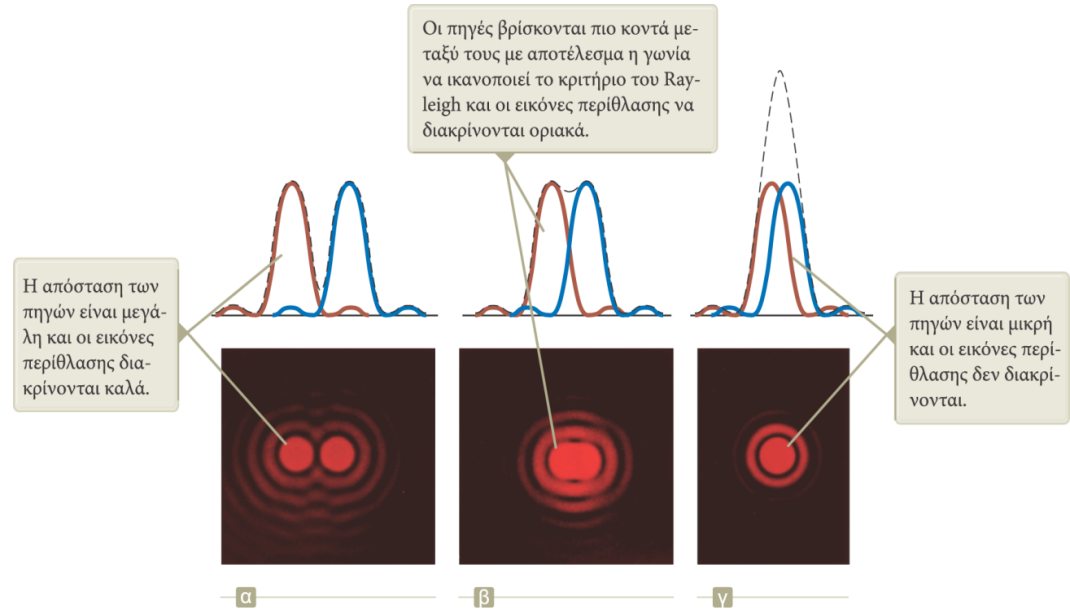
Αυτή η γωνία είναι ίση με τη γωνία στην οποία σχηματίζεται ο πρώτος σκοτεινός κροσσός.

**ΓΙΑ ΣΧΙΣΜΗ:** Για  $\theta$  μικρό,  $\sin(\theta) \approx \theta$ , άρα η οριακή γωνία διακριτότητας (σε rad) για μία μεμονωμένη σχισμή πλάτους  $\alpha$  είναι:  $\theta_{min} \approx \lambda/\alpha$ .

Για να μπορούμε να διακρίνουμε τις πηγές, η γωνιακή απόστασή τους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $\lambda/\alpha$ .

# Κυκλικές οπές (φακοί/κάτοπτρα) – Είδωλα που διακρίνονται καθαρά

Κατανομή της έντασης φωτός στα είδωλα δύο μακρινών σημειακών πηγών (πχ αστέρια) με μικρή γωνιακή απόσταση.



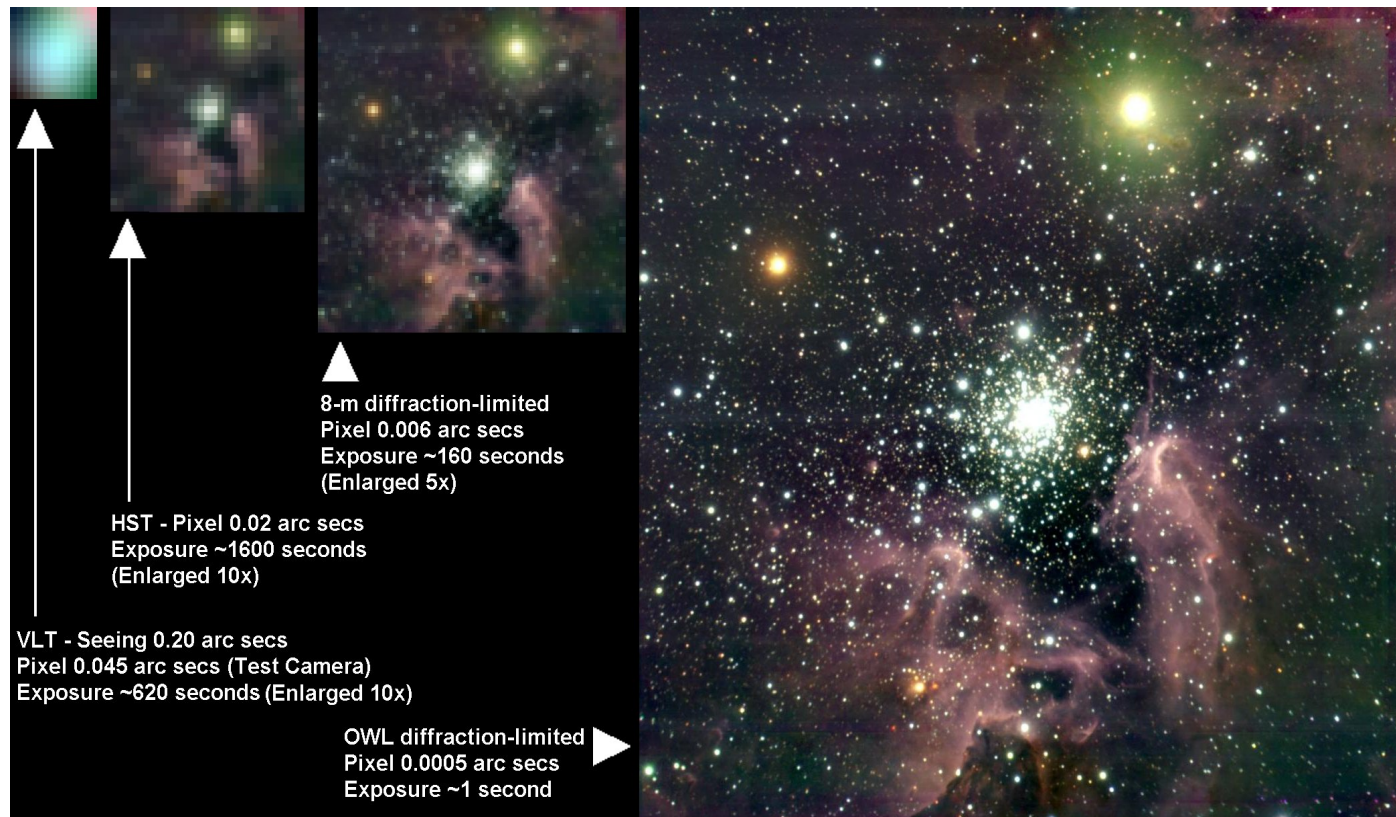
Το γεγονός ότι τα είδωλα των φακών (και των κατόπτρων) υπόκεινται στο φαινόμενο της περίθλασης είναι πολύ σημαντικό σε ότι αφορά την ικανότητά μας να διακρίνουμε δύο μακρινά σημειακά αντικείμενα.

Το κριτήριο του Rayleigh ισχύει και εδώ, οπότε:

Η οριακή γωνία διακριτότητας (σε rad) για μία κυκλική οπή (φακό, κάτοπτρο) διαμέτρου  $D$  είναι:

$$\theta_{min} = 1.22 \lambda/D$$

## Διακριτική ικανότητα – Παράδειγμα

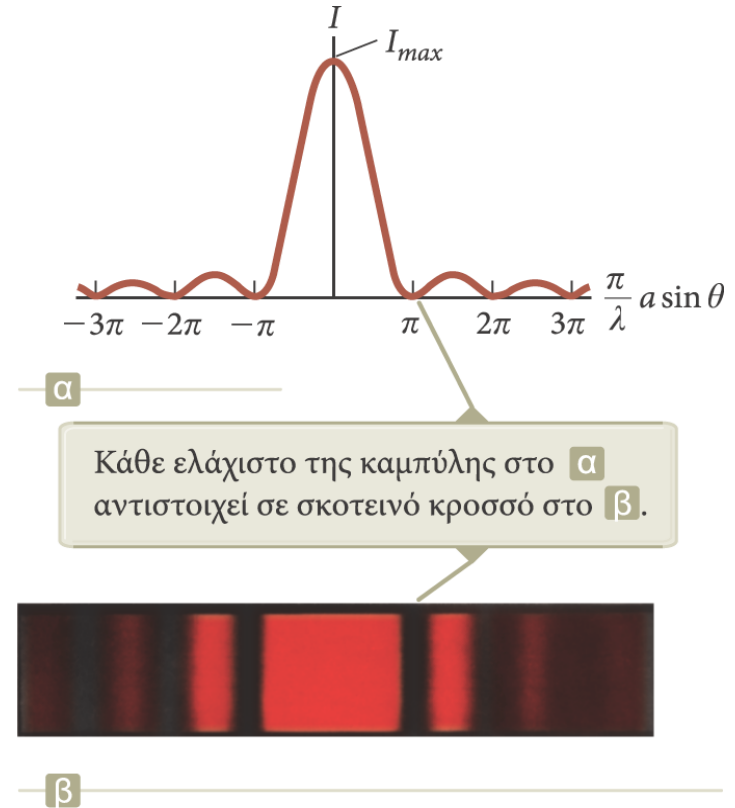


# Ένταση εικόνας περίθλασης.

Ισχύει:

$$I(\theta) = I_{max} \left[ \frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{\pi a \sin \theta / \lambda} \right]^2$$

Όπου:  $I_{max}$  είναι η ένταση ακτινοβολίας για  $\theta=0$  (το κεντρικό μέγιστο) και  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος.



Το μεγαλύτερο μέρος της έντασης του φωτός είναι συγκεντρωμένο στο κεντρικό μέγιστο και μειώνεται πολύ γρήγορα με την απόσταση από το κέντρο.

Η ένταση του φωτεινού κροσσού πρώτης τάξης είναι μικρότερη από το 5% της έντασης του κεντρικού κροσσού, ενώ η ένταση τους φωτεινού κροσσού 2ης τάξης είναι  $\sim 1.5\%$  της έντασης του κεντρικού κροσσού.

# Ένταση της εικόνας περίθλασης+συμβολής ενός ζεύγους σχισμών

Όταν δεν υπάρχει μόνο μία σχισμή, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη: α) την εικόνα περίθλασης που δημιουργεί κάθε σχισμή, και β) την εικόνα συμβολής την οποία δημιουργούν τα κύματα που εξέρχονται από τις σχισμές. Ισχύει:

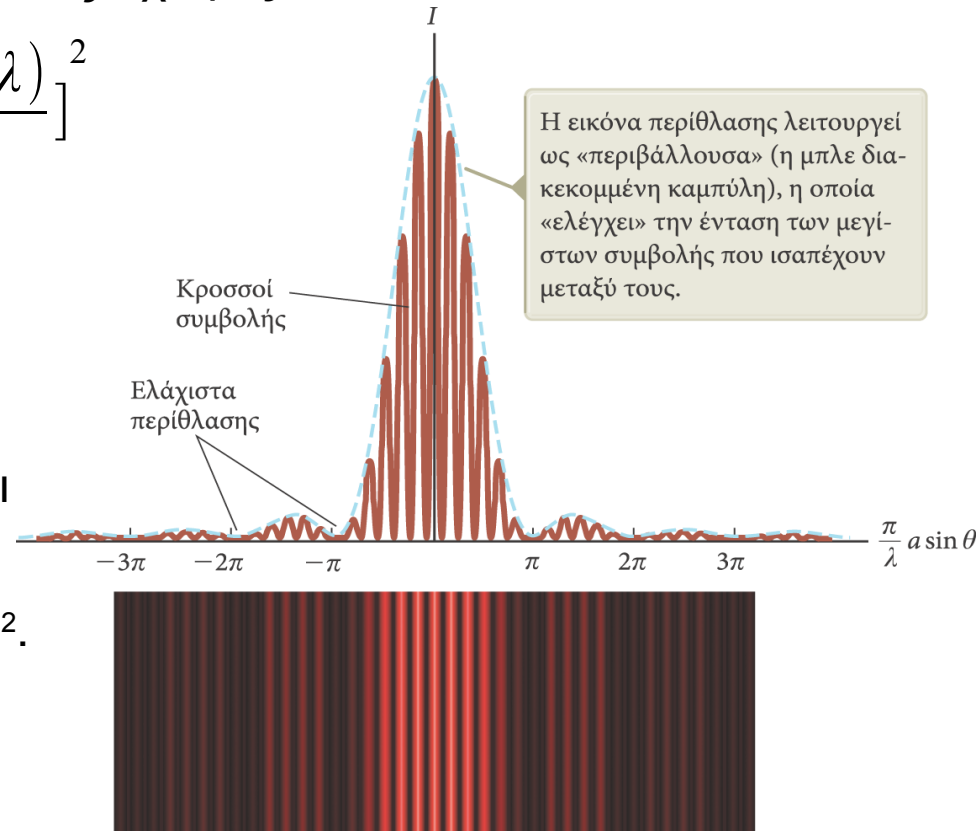
$$I(\theta) = I_{max} \cos^2\left(\frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}\right) \left[ \frac{\sin(\pi a \sin\theta / \lambda)}{\pi a \sin\theta / \lambda} \right]^2$$

Σ' αυτή τη σχέση,  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ των σχισμών και  $a$  είναι το πλάτος της κάθε σχισμής. Το  $\cos^2$  είναι ο παράγοντας συμβολής και το  $\frac{\sin^2 x}{x^2}$  είναι ο παράγοντας περίθλασης.

Η καφέ καμπύλη αντιστοιχεί στον όρο  $\cos^2$ . Αυτός ο όρος θα έδινε από μόνος του κορυφές οι οποίες θα είχαν όλες το ίδιο ύψος.

Τα διαφορετικά ύψη στους φωτεινούς κροσσούς οφείλονται στον όρο της περίθλασης (ο παράγοντας εντός της αγκύλης στην εξίσωση).

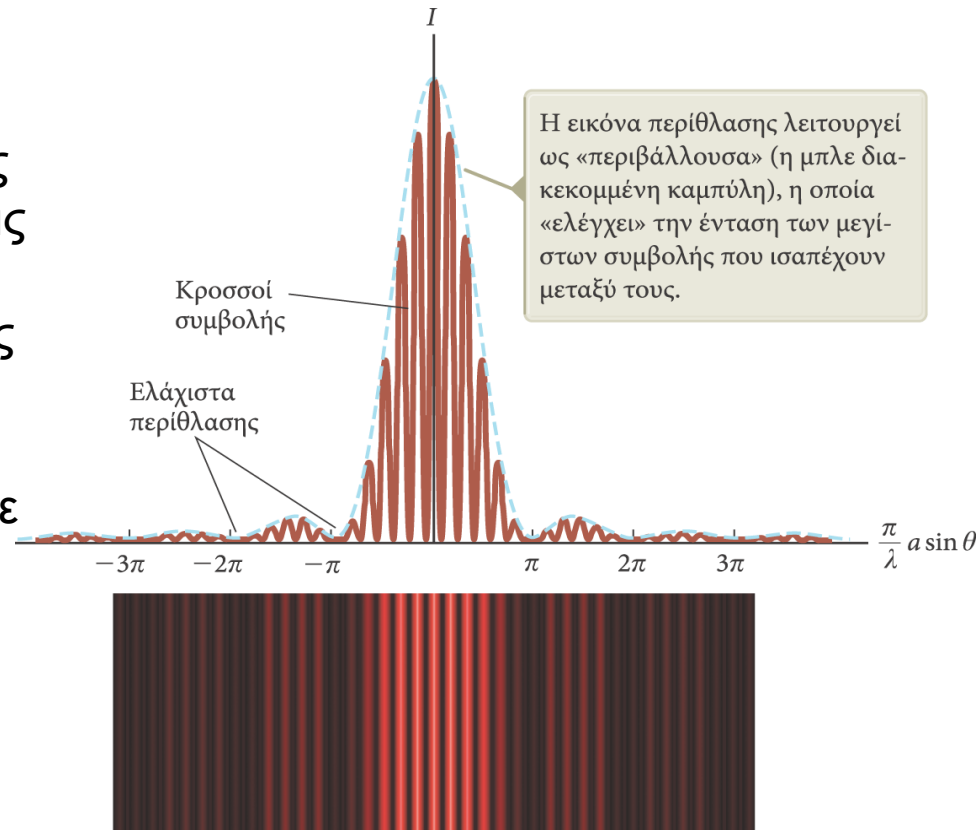
Η διακεκομμένη μπλε καμπύλη αντιστοιχεί στην εικόνα περίθλασης της μίας σχισμής.



$$I(\theta) = I_{max} \cos^2\left(\frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}\right) \left[ \frac{\sin(\pi a \sin\theta / \lambda)}{\pi a \sin\theta / \lambda} \right]^2$$

Όταν  $a \sim 0$ , τότε ο παράγοντας περίθλασης τείνει στο 1 και η παραπάνω εξίσωση καταλήγει στην περίπτωση συμβολής από ένα ζεύγος απείρως στενών σχισμών που απέχουν κατά  $d$ . Όταν  $d \sim 0$ , τότε οι δύο σχισμές συγχωνεύονται σε μία και η παραπάνω εξίσωση καταλήγει στην εξίσωση που περιγράφει την ένταση φωτός σε εικόνα περίθλασης.

Και τα δύο φαινόμενα είναι αποτέλεσμα της υπέρθεσης κυμάτων με διαφορετικές φάσεις σε δεδομένο σημείο. Αν τα κύματα που υπερτίθενται προέρχονται από δύο σχισμές (με μικρό πλάτος) αποκαλούμε τη διαδικασία συμβολή. Αν προέρχονται από ένα μόνο μέτωπο κύματος, την προκαλούμε περίθλαση.



Η συνθήκη για τα μέγιστα συμβολής είναι:

$$d \sin(\theta_{\sigma, \varphi \omega \tau}) = m_{\sigma} \lambda$$

Η συνθήκη για τα ελάχιστα περίθλασης είναι:

$$a \sin(\theta_{\pi, \sigma \kappa \omicron \tau}) = m_{\pi} \lambda$$

Για  $m_{\sigma} = m_{\pi} = 1$ , από τις παραπάνω σχέσεις έχουμε:

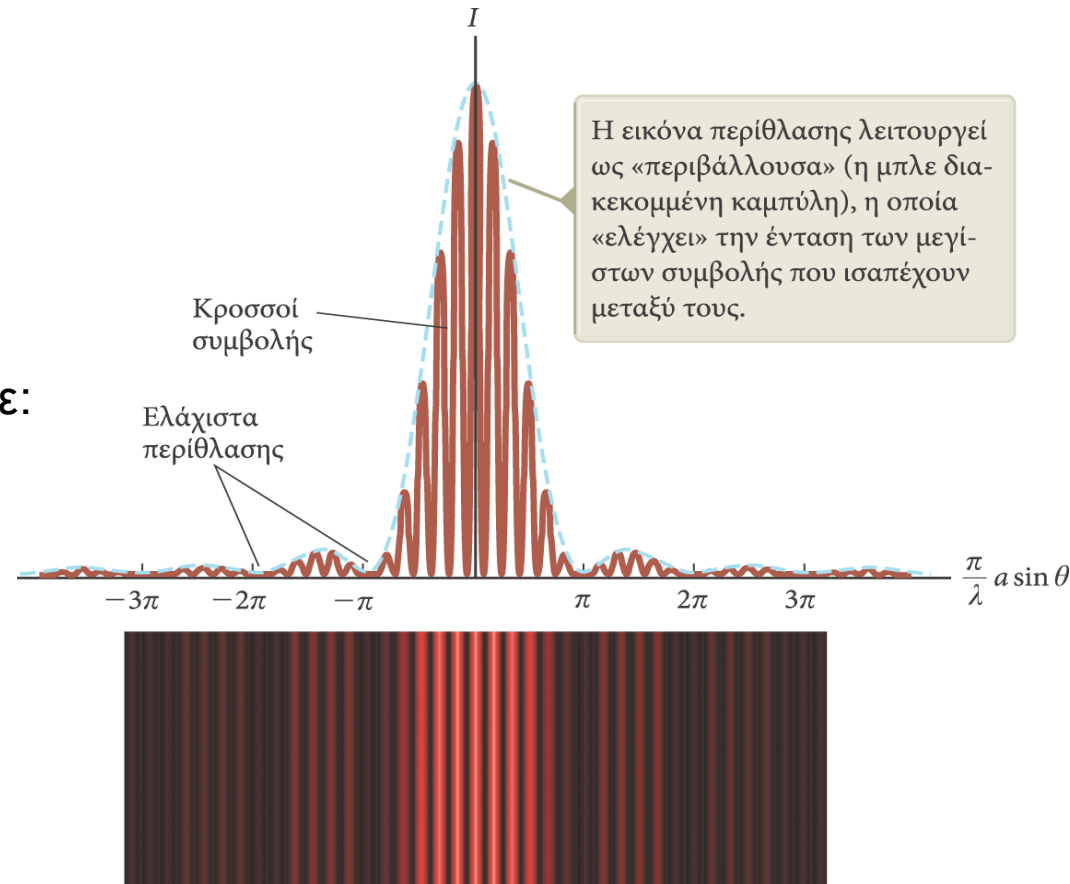
$$\frac{\sin(\theta_{\sigma, \varphi 1})}{\sin(\theta_{\pi, \sigma 1})} = \frac{a}{d} \ll 1$$

Άρα στον πρώτο φωτεινό κροσσό περίθλασης υπάρχουν αρκετά μέγιστα συμβολής.

Ποιος φωτεινός κροσσός συμβολής συμπίπτει με τον πρώτο σκοτεινό κροσσό περίθλασης;

Για  $m_{\pi} = 1$  και  $\sin(\theta_{\sigma, \varphi \omega \tau}) = \sin(\theta_{\pi, \sigma \kappa \omicron \tau})$  από τις παραπάνω σχέσεις παίρνουμε:

$$d \frac{\lambda}{a} = m_{\sigma, \varphi \omega \tau} \lambda \rightarrow m_{\sigma, \varphi \omega \tau} = \frac{d}{a}$$





# Φράγμα περίθλασης

Το φράγμα περίθλασης αποτελείται από πολλές ισαπέχουσες παράλληλες σχισμές.

- Ένα τυπικό φράγμα περίθλασης περιέχει αρκετές χιλιάδες εγκοπές ανά εκατοστόμετρο.

Για να κατασκευάσουμε ένα **φράγμα μετάδοσης** χαράσσουμε παράλληλες εγκοπές σε μια γυάλινη πλάκα. Τα διαστήματα μεταξύ των εγκοπών είναι διαφανή, οπότε συμπεριφέρονται ως ξεχωριστές σχισμές.

Για να κατασκευάσουμε ένα **φράγμα ανάκλασης** χαράσσουμε παράλληλες εγκοπές στην επιφάνεια ενός ανακλαστικού υλικού. Τα διαστήματα μεταξύ των εγκοπών συμπεριφέρονται ως παράλληλες πηγές ανακλώμενου φωτός, όπως οι σχισμές που υπάρχουν σε ένα φράγμα μετάδοσης.

