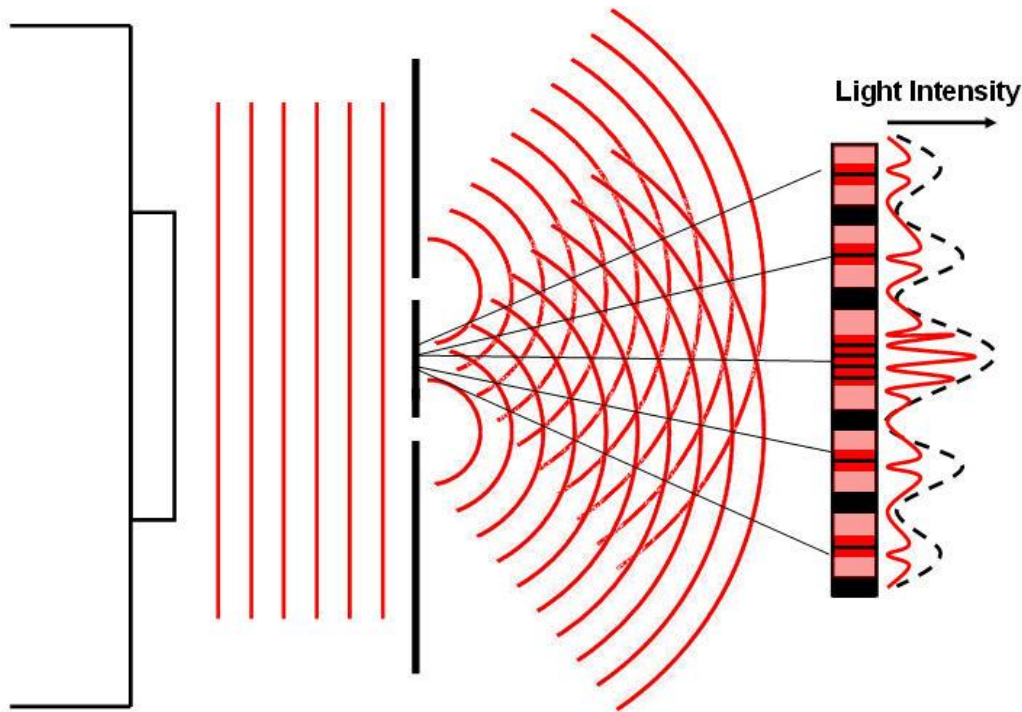


ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Η κυματική φύση του φωτός: το πρόβλημα, η λύση



ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Σύμφωνα με την καθημερινή μας εμπειρία, το φως φαίνεται σαν να ταξιδεύει ευθύγραμμα μέχρι να συναντήσει κάποιο αντικείμενο. Οι σκιές που ρίχνουν τα αντικείμενα, το φως από ένα φακό ή από τους προβολείς αυτοκινήτου, οι ακτίδες του ηλιακού φωτός που ξεπροβάλλει ανάμεσα από τα σύννεφα και οι ακτίνες λέιζερ που χρησιμοποιούνται σε θεάματα, όλα συνηγορούν σε αυτήν την παρατήρηση

Η γεωμετρική οπτική που στηρίζεται στην ευθύγραμμη διάδοση του φωτός βρίσκει πολλές εφαρμογές, όπως: οι φακοί, η δομή και η λειτουργία του ματιού και η χρησιμοποίηση των οπτικών γυαλιών για τη διόρθωση των προβλημάτων όρασης καθώς και οι μεγεθυντικοί φακοί και τα μικροσκόπια που χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιολογία.



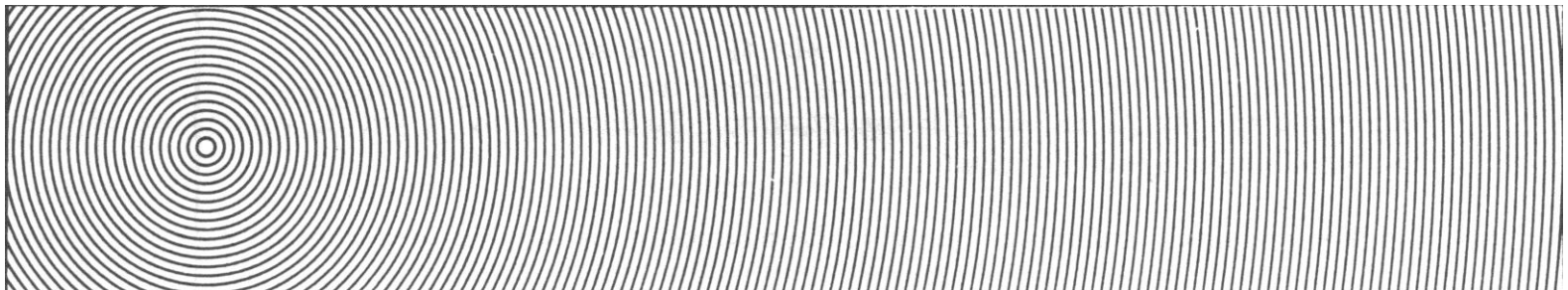
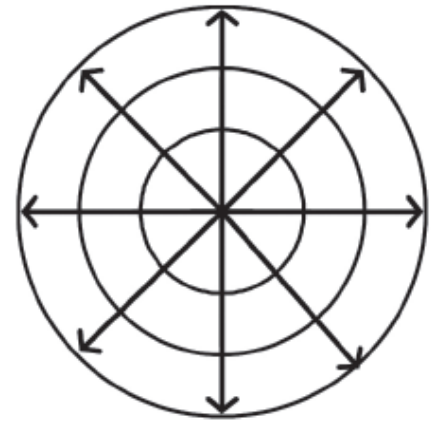
ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Όταν προσπίπτει φως σε μια διεπιφάνεια που σχηματίζεται μεταξύ δύο οπτικά διαφορετικών μέσων, ένα μέρος του υφίσταται ανάκλαση ενώ το υπόλοιπο διέρχεται από το πρώτο στο δεύτερο μέσο.

Εξαιτίας της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός σε ένα ομογενές μέσο, χρησιμοποιούμε ευθείες γραμμές για να παραστήσουμε το ίχνος της διαδρομής του.

□ Για *επίπεδα κύματα φωτός*, τα επίπεδα μέτωπα κύματος είναι εγκάρσια στη διεύθυνση διάδοσης που σημειώνεται με μια τέτοια ευθεία και οι ακτίνες φωτός είναι όλες παράλληλες σε αυτήν.

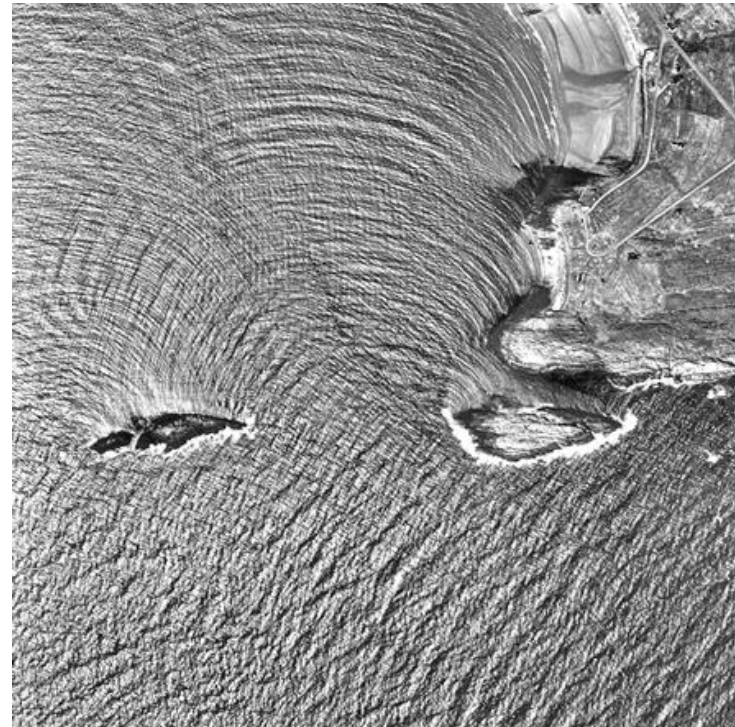
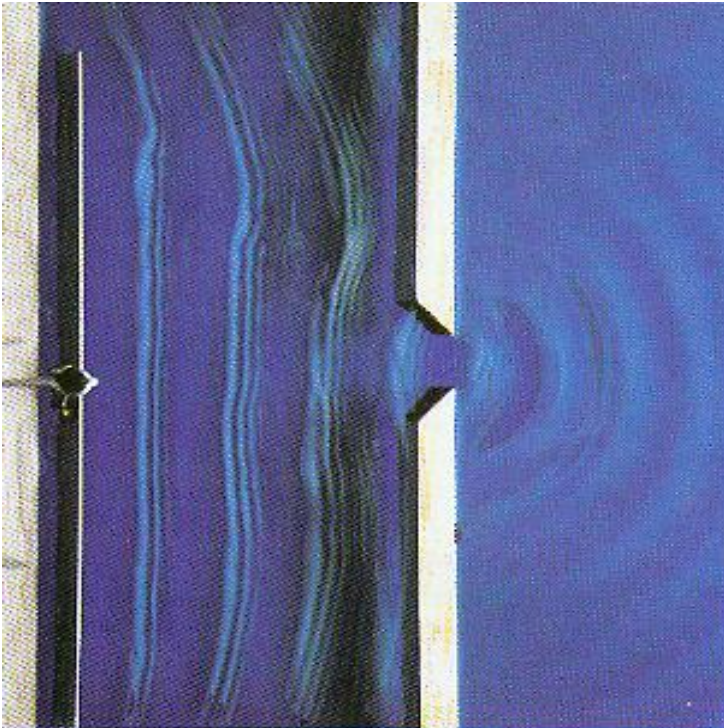
□ Στην περίπτωση σφαιρικών κυμάτων φωτός, όπως αυτά που εκπέμπονται από σημειακές πηγές, τα μέτωπα του εκπεμπόμενου κύματος είναι σφαιρικές επιφάνειες και οι ακτίνες του φωτός, που είναι και πάλι κάθετες στα σφαιρικά κυματικά μέτωπα, είναι αποκλίνουσες.



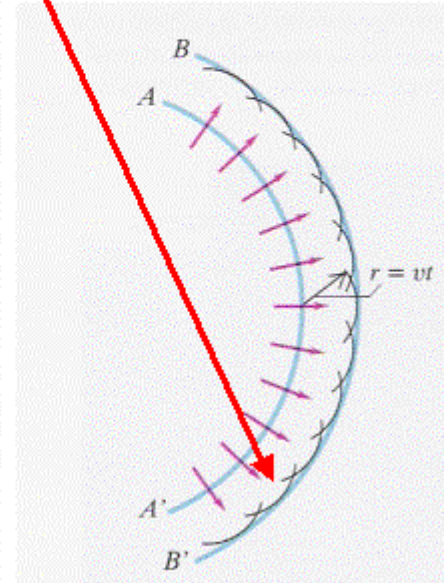
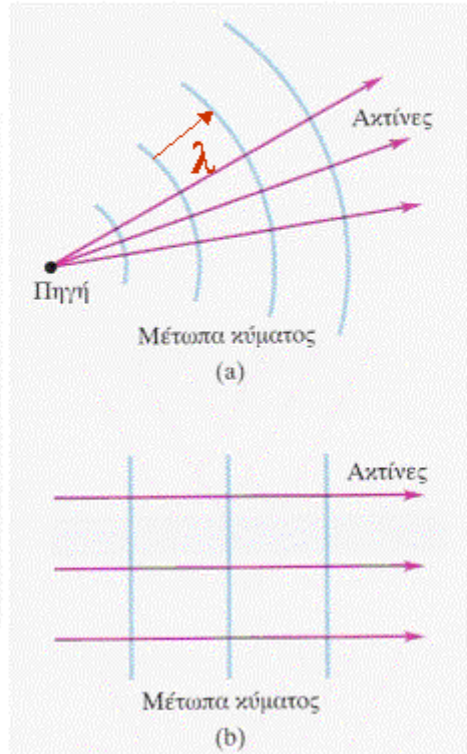
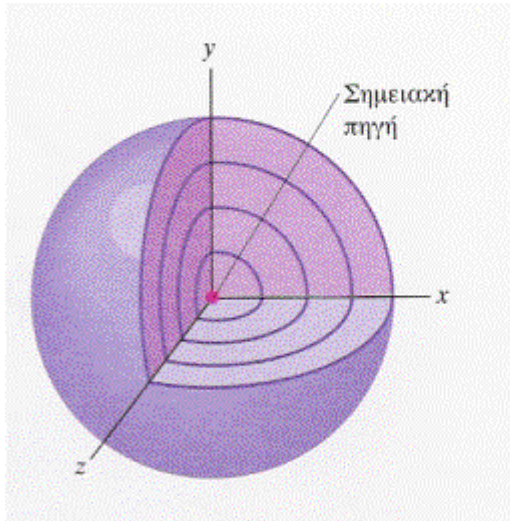
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Η καμπύλωση κυμάτων πίσω από αδιαφανή αντικείμενα και η διάδοσή τους μέσα στην περιοχή της σκιάς

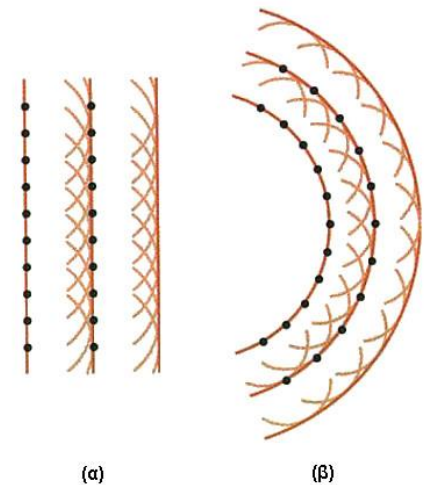
Το φαινόμενο της περίθλασης είναι ένα κυματικό φαινόμενο και μόνον



Αρχή Huygens



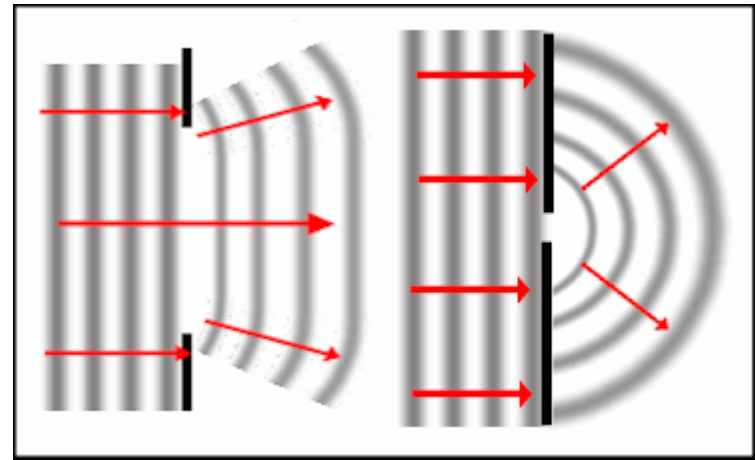
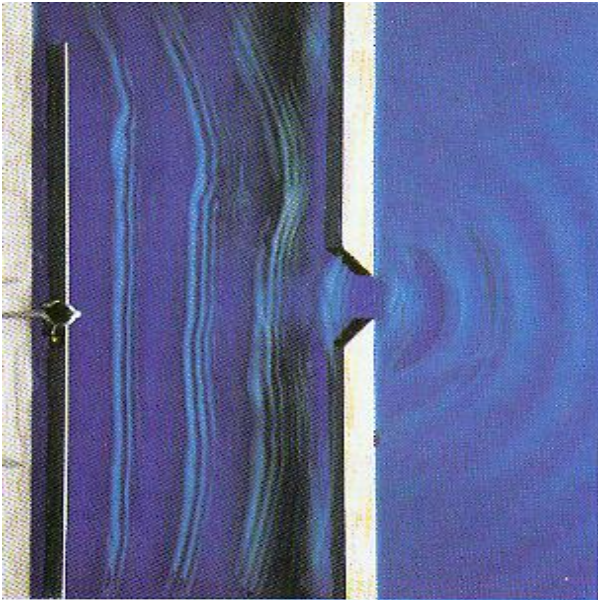
Κάθε σημείο ενός μετώπου κύματος συμπεριφέρεται σαν πηγή ενός δευτερεύοντος σφαιρικού κύματος που προχωράει με ταχύτητα και συχνότητα ίσες με εκείνες του πρωτεύοντος κύματος. Μετά την πάροδο λίγου χρόνου το μέτωπο του πρωτεύοντος κύματος είναι η περιβάλλουσα των δευτερευόντων «κυματιδίων».



(α)

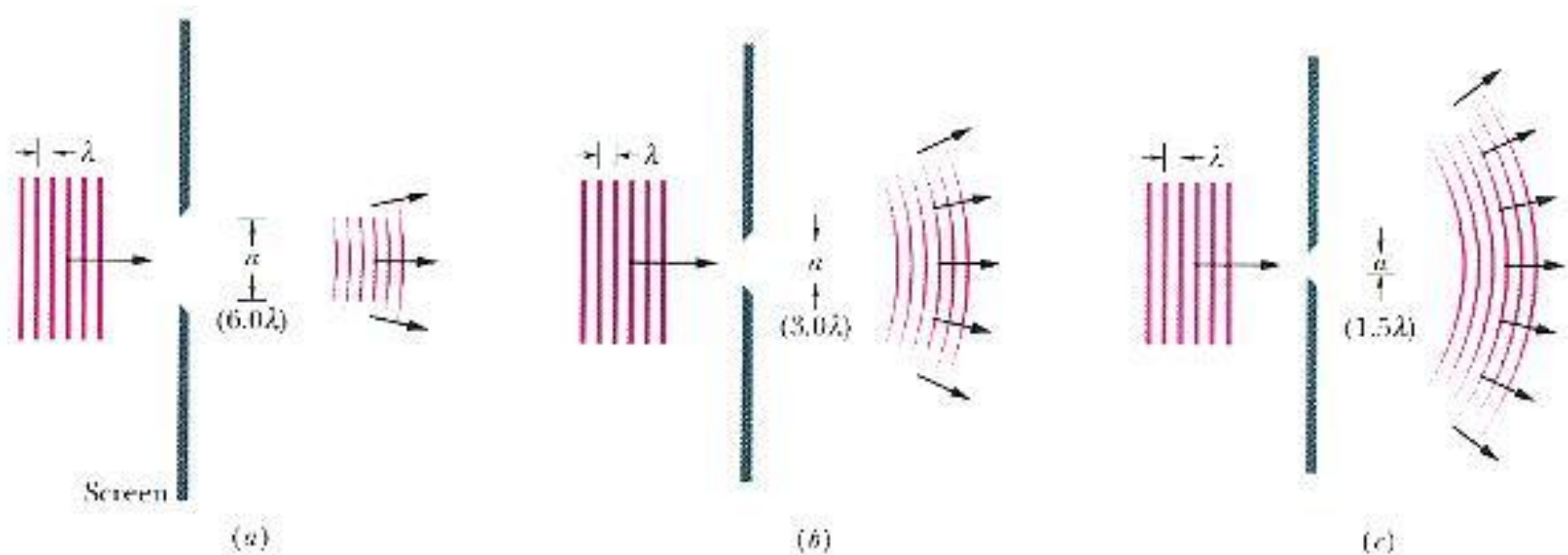
(β)

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ: Απόκλιση από την ευθύγραμμη πορεία του φωτός λόγω επαλληλίας κυμάτων



Σύμφωνα με την αρχή του Huygens κάθε σημείο της οπής λειτουργεί σαν δευτερεύουσα πηγή κυμάτων στο χώρο.

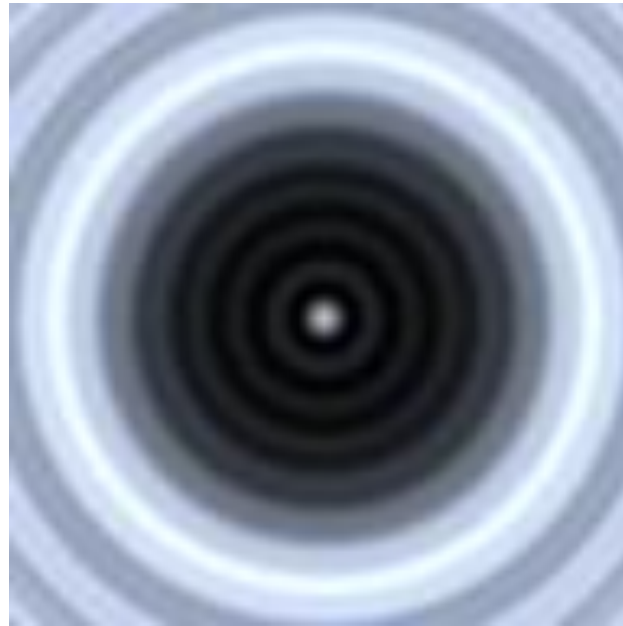
Τα φαινόμενα περίθλασης συμβαίνουν κυρίως όταν οι διαστάσεις της οπής είναι ίσες ή μικρότερες του μήκους κύματος λ



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.

Fresnel 1818

Διαγωνισμός Γαλλικής Ακαδημίας Επιστημών
Επιτροπή κριτών: Laplace, Biot, Poisson, Arago, Gay-Lussac



Κηλίδα Arago

Φωτεινό σημείο Poisson

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

ΚΑΙ ΕΙΠΕΝ Ο ΘΕΟΣ

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

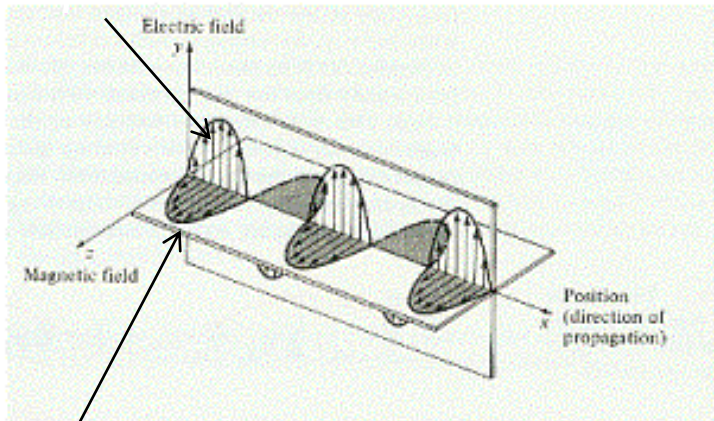
$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$



ΚΑΙ ΕΓΕΝΕΤΟ ΦΩΣ...

Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα



Phet: Radio_Waves_and_Electromagnetic_Fields

$$c = 3 * 10^{10} \text{ cm/s}$$

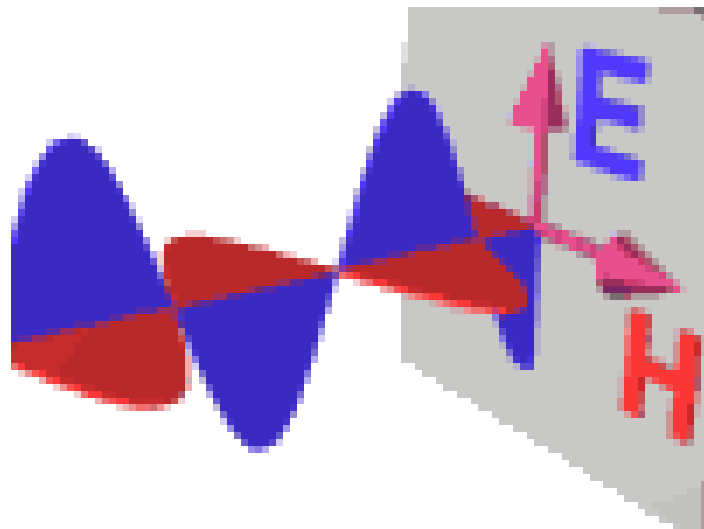
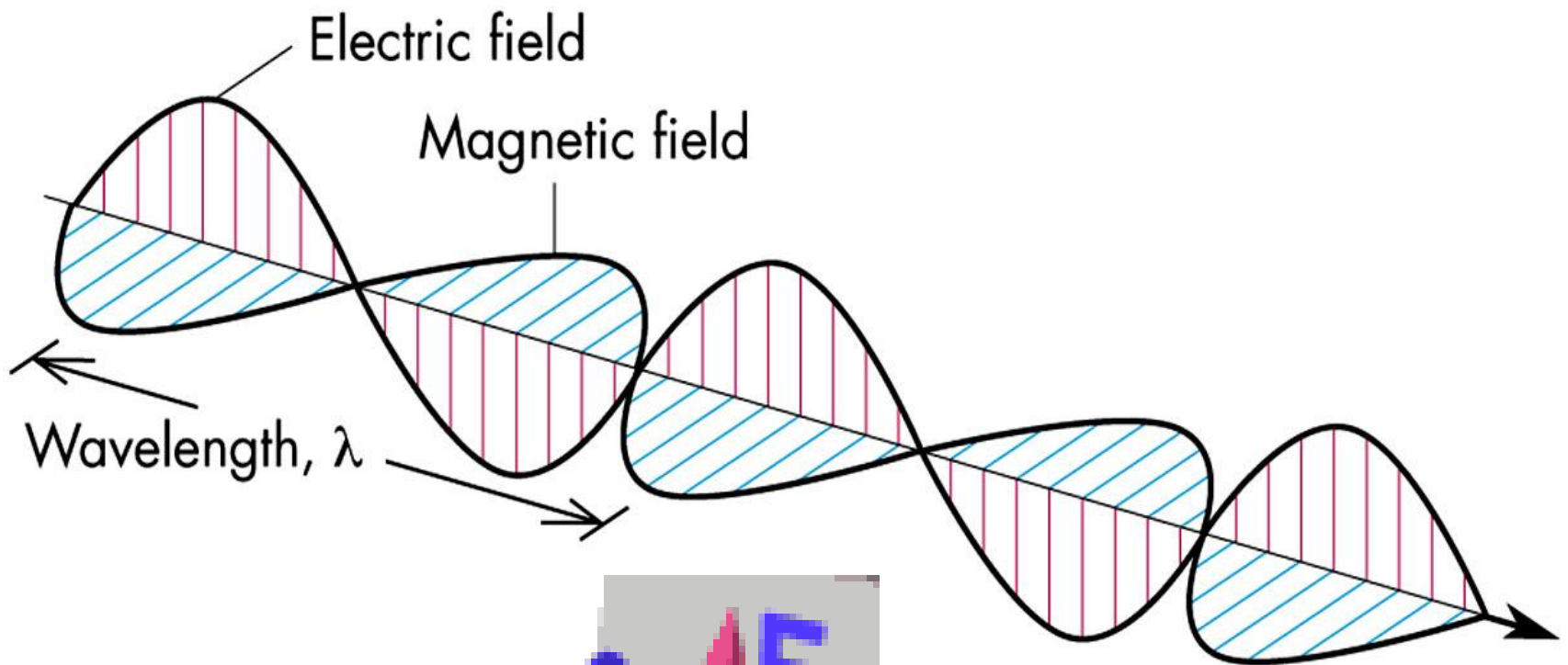
Κάθετα ταλαντούμενα
κύματα πεδίου σε φάση

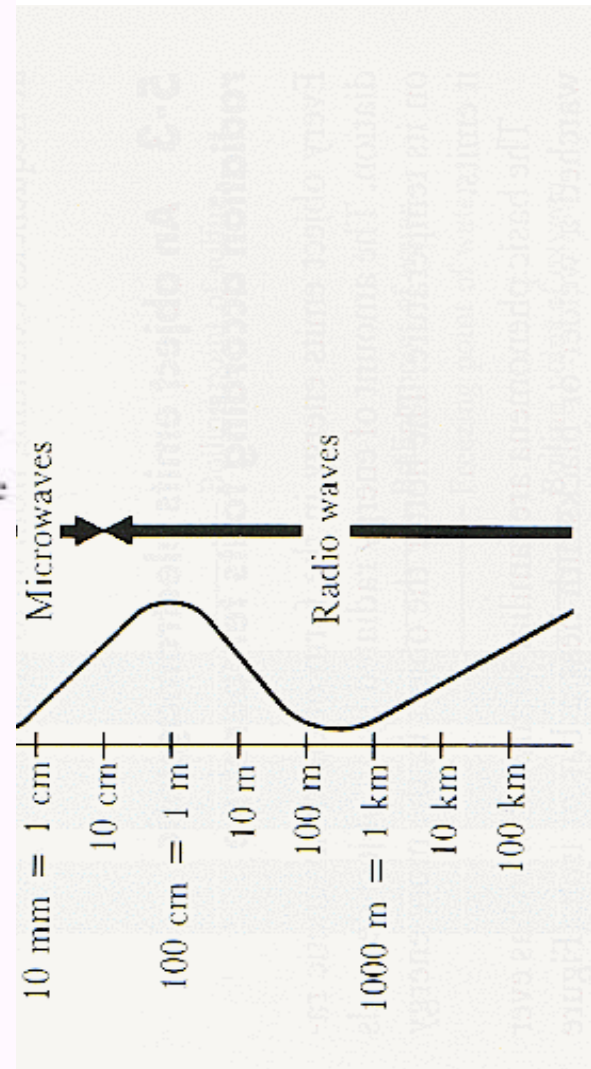
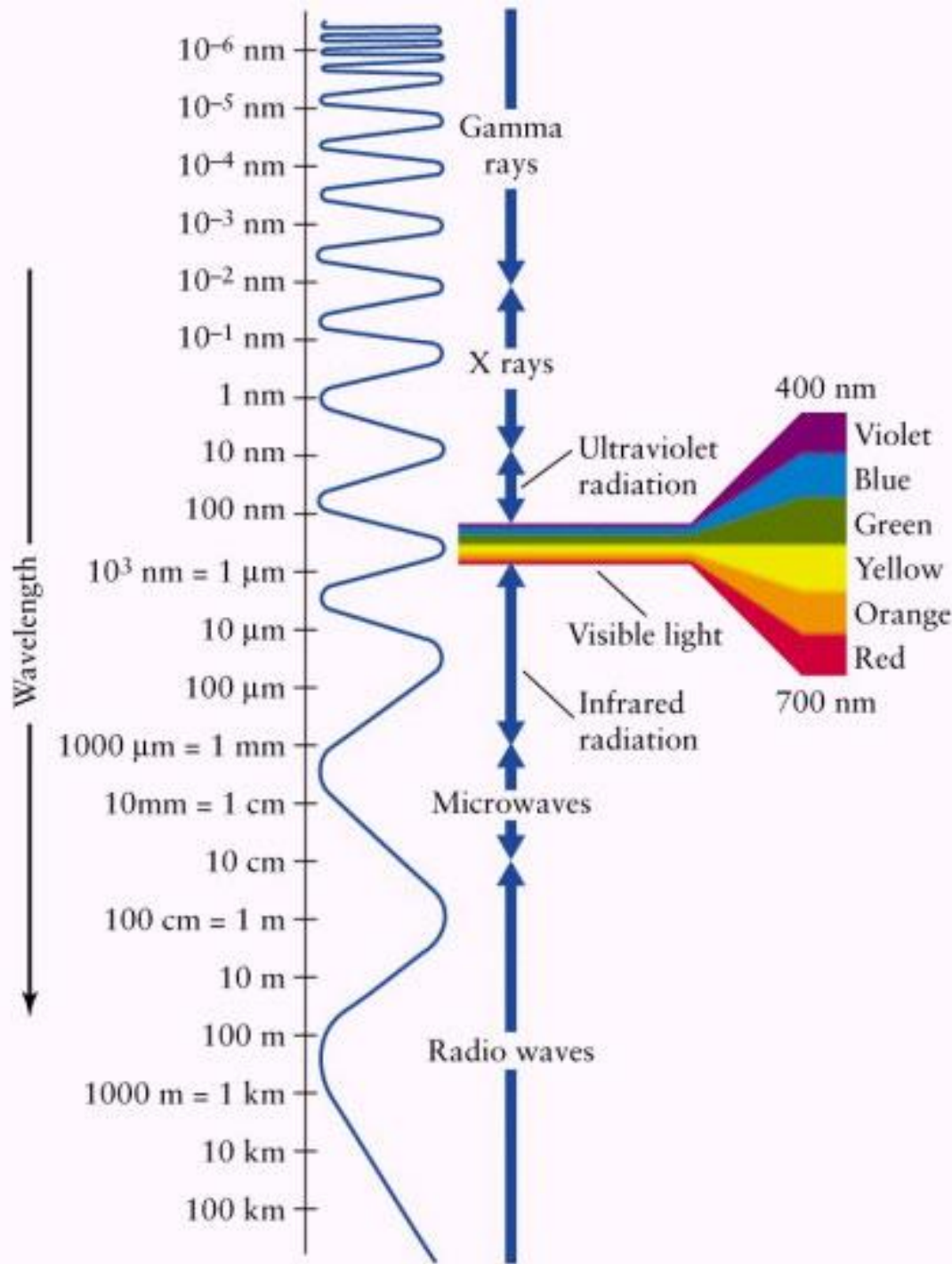
$$c = f \lambda$$

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα
είναι εγκάρσια.

Η ένταση I είναι ανάλογη του E^2

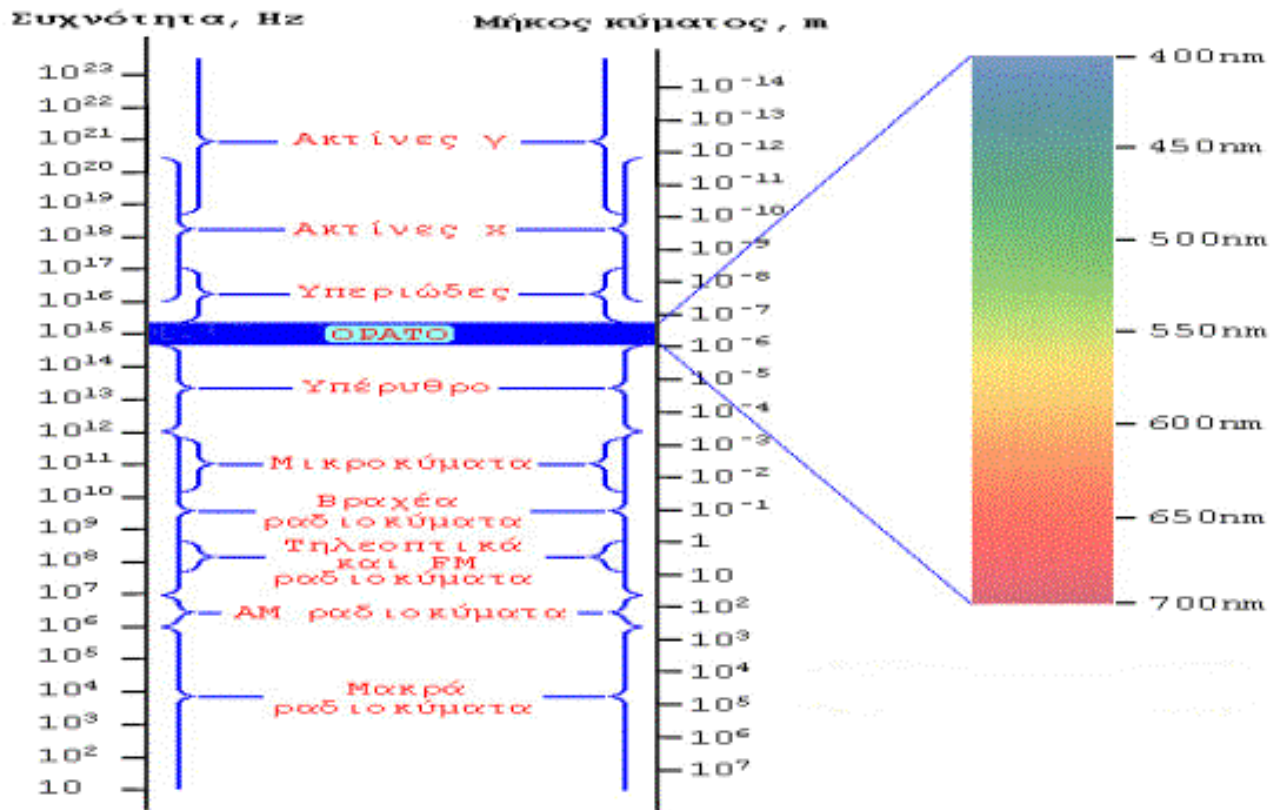






Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

$$1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$$



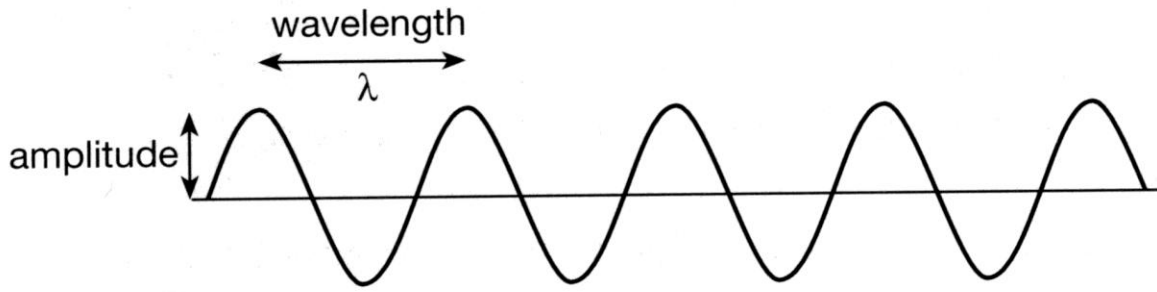
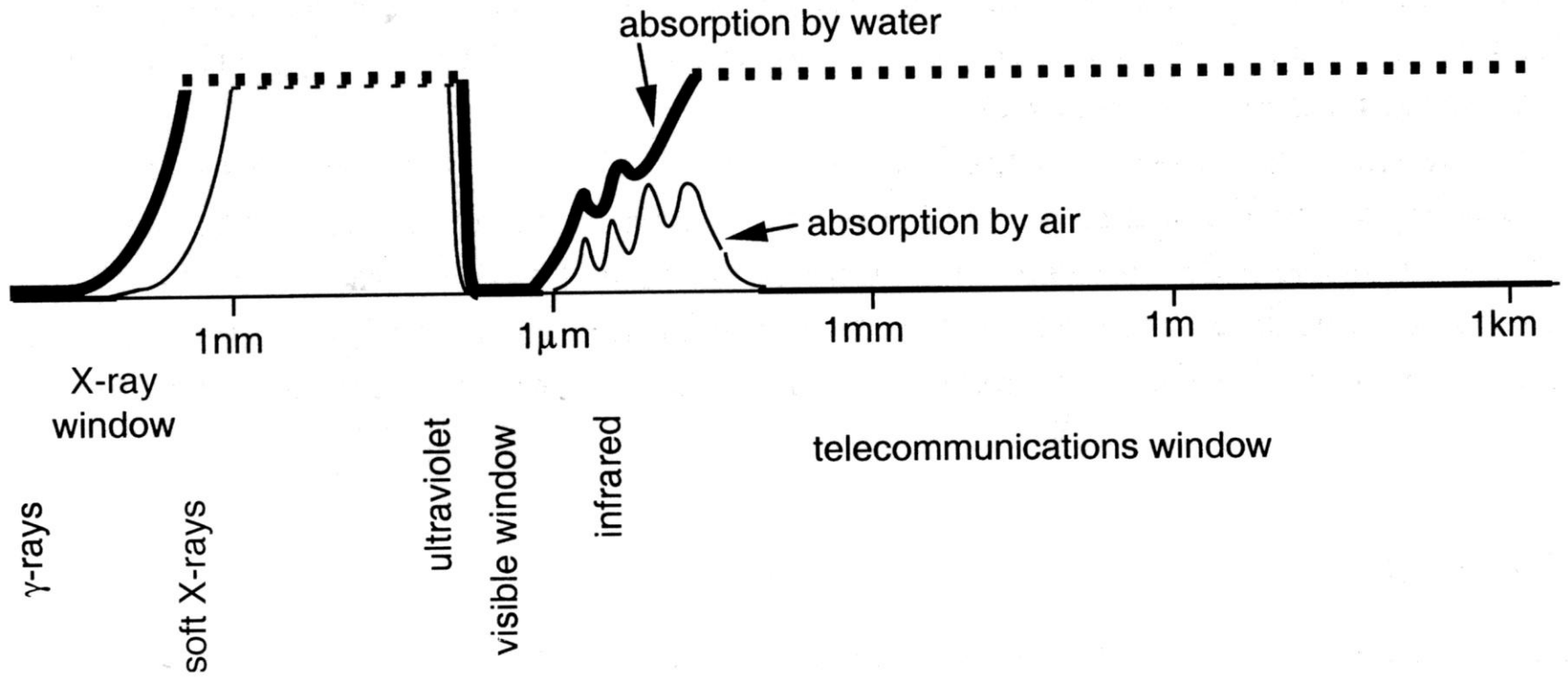


Fig. 1.1 A sinusoidal wave, showing wavelength and amplitude.



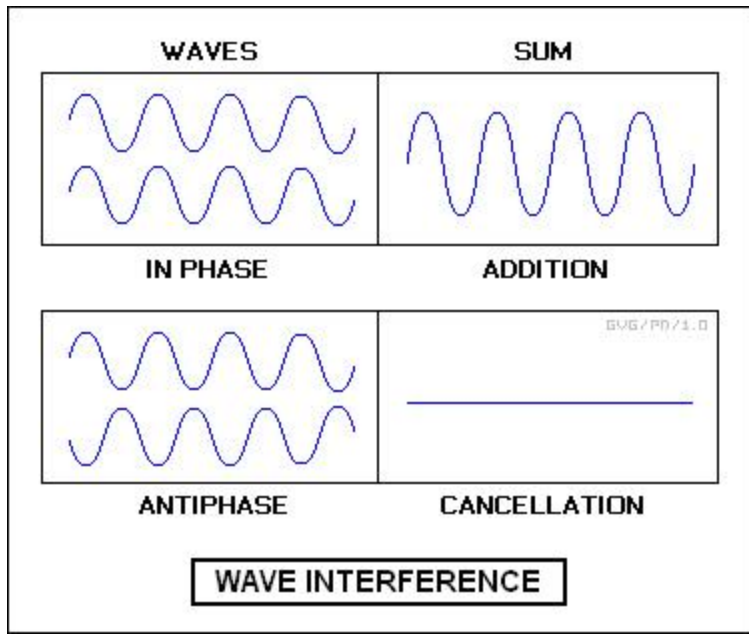
Τύποι Η/Μ κυμάτων

- **Ραδιοκύματα:** $\lambda > 1\text{m}$, εκπέμπονται/ανιχνεύονται από κεραίες ραδιοφώνου.
- **Μικροκύματα:** $0,01\text{m} < \lambda < 1\text{m}$, (κινητά, ραντάρ, θερμική ακτινοβολία φούρνων μικροκυμάτων). Οριο λ για ηλεκτρονική παραγωγή Η/Μ κυμάτων = 1mm .
- **Υπέρυθρο:** $10^{-7}\text{ m} < \lambda < 10^{-3}\text{ m}$. Απορροφάται από την ύλη και μετατρέπεται σε θερμότητα (κινητική – δυναμική ενέργεια μορίων) – θερμική ακτινοβολία
- **Ορατό:** $4 \cdot 10^{-7}\text{ m} < \lambda < 7 \cdot 10^{-7}\text{ m}$ ($700\text{ nm} =$ Ερυθρό, $400\text{ nm} =$ Ιώδες). Ανιχνεύεται από το μάτι σαν χρώμα (ανάλογα με το λ).
- **Υπεριώδες:** $10\text{ nm} < \lambda < 400\text{ nm}$
- **Ακτίνες Χ:** $\lambda < 10\text{ nm}$, Παράγεται από άτομα που βομβαρδίζονται από ηλεκτρόνια
- **Ακτίνες γ:** Παράγονται από πυρήνες ή σε πυρηνικές αντιδράσεις

Επαλληλία κυμάτων

Διαφορά φάσης $\Delta\phi=0^\circ$

$\Delta\phi=180^\circ$



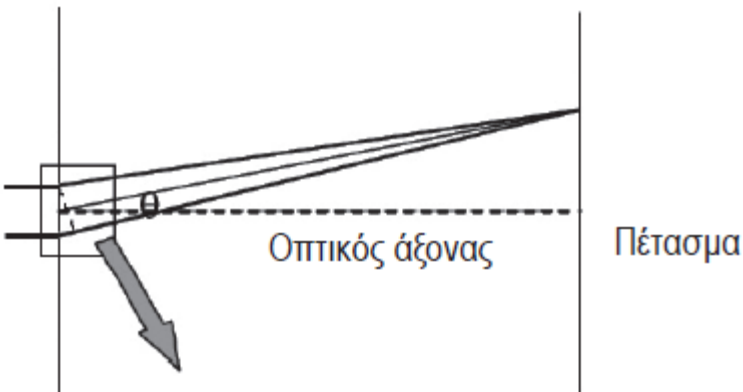
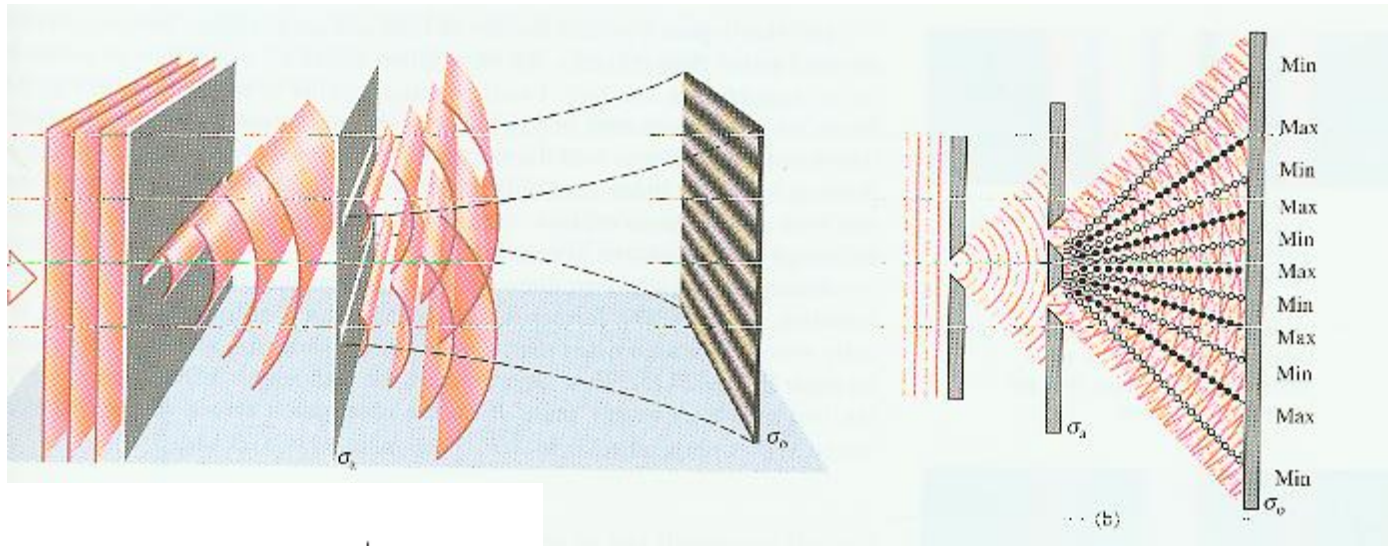
Ενίσχυση

Απόσβεση



ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές

1801, Thomas Young → Κυματική ερμηνεία φωτός



$$d \sin \theta = m\lambda \quad (\text{ενισχυτική συμβολή})$$

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (\text{αναιρετική συμβολή})$$

ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές

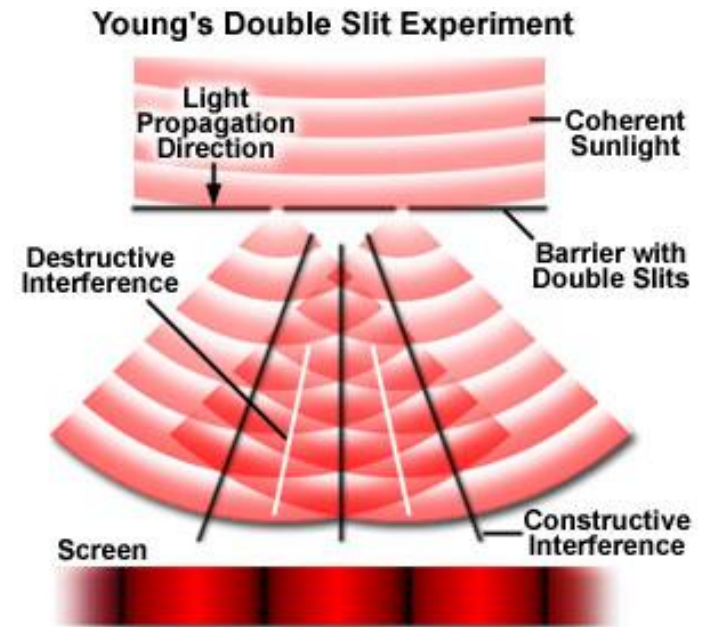
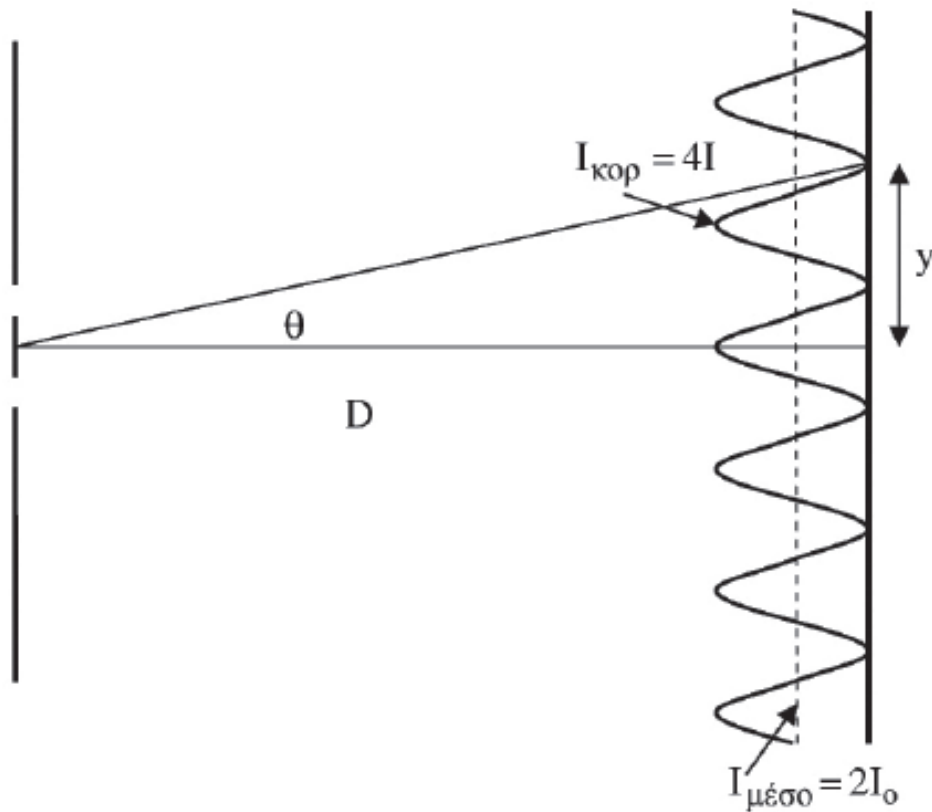


Figure 5 Intensity Distribution of Fringes

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (\text{ενισχυτική συμβολή})$$

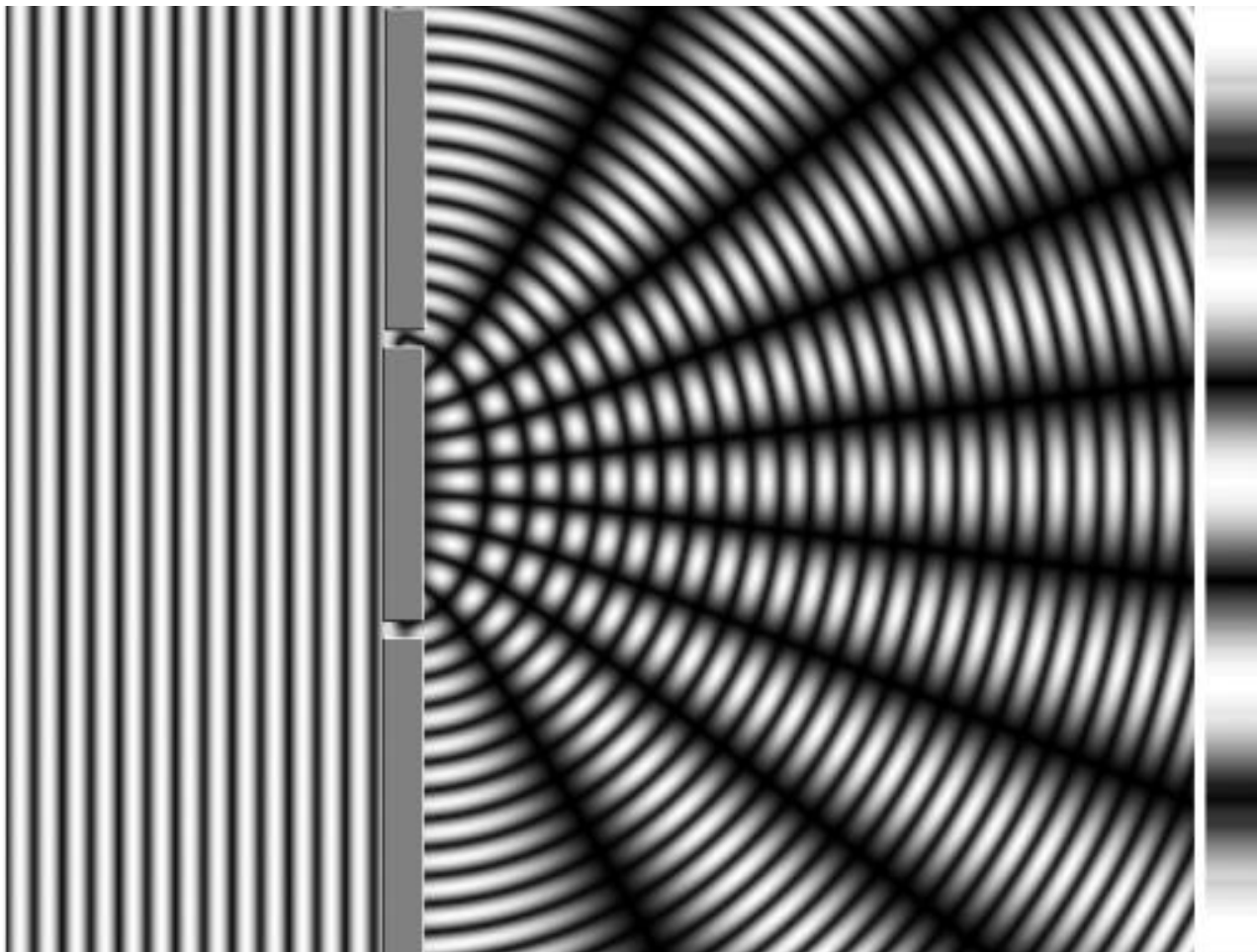
$$I_{\text{ενισχυτ}} = 4I_0$$

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$(\text{αναιρετική συμβολή})$$

$$I_{\text{αναιρ}} = 0$$

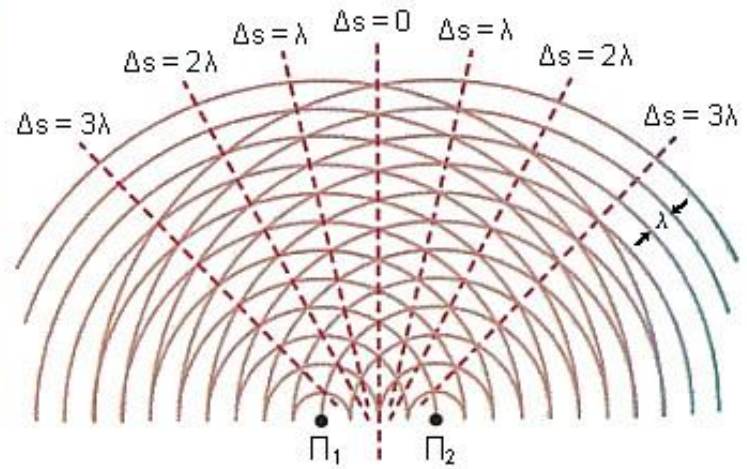
ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές



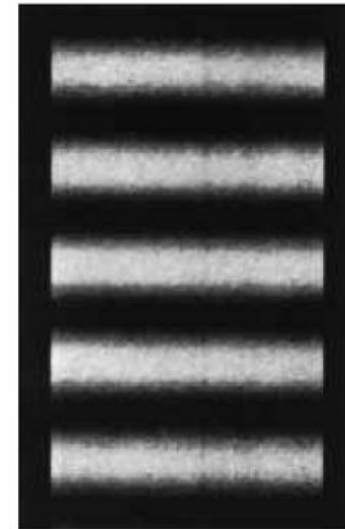
Συμβολή κυμάτων από Σύμφωνες Πηγές



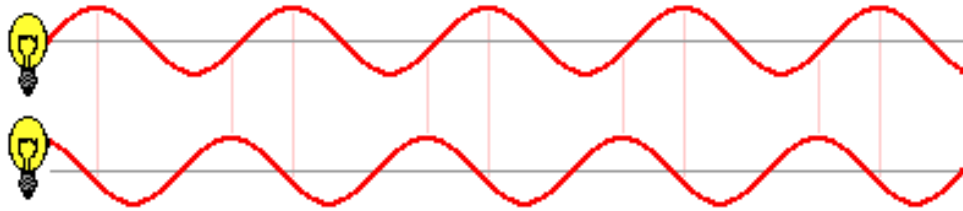
(α)



(β)



ΣΥΜΒΟΛΗ από σύμφωνες πηγές



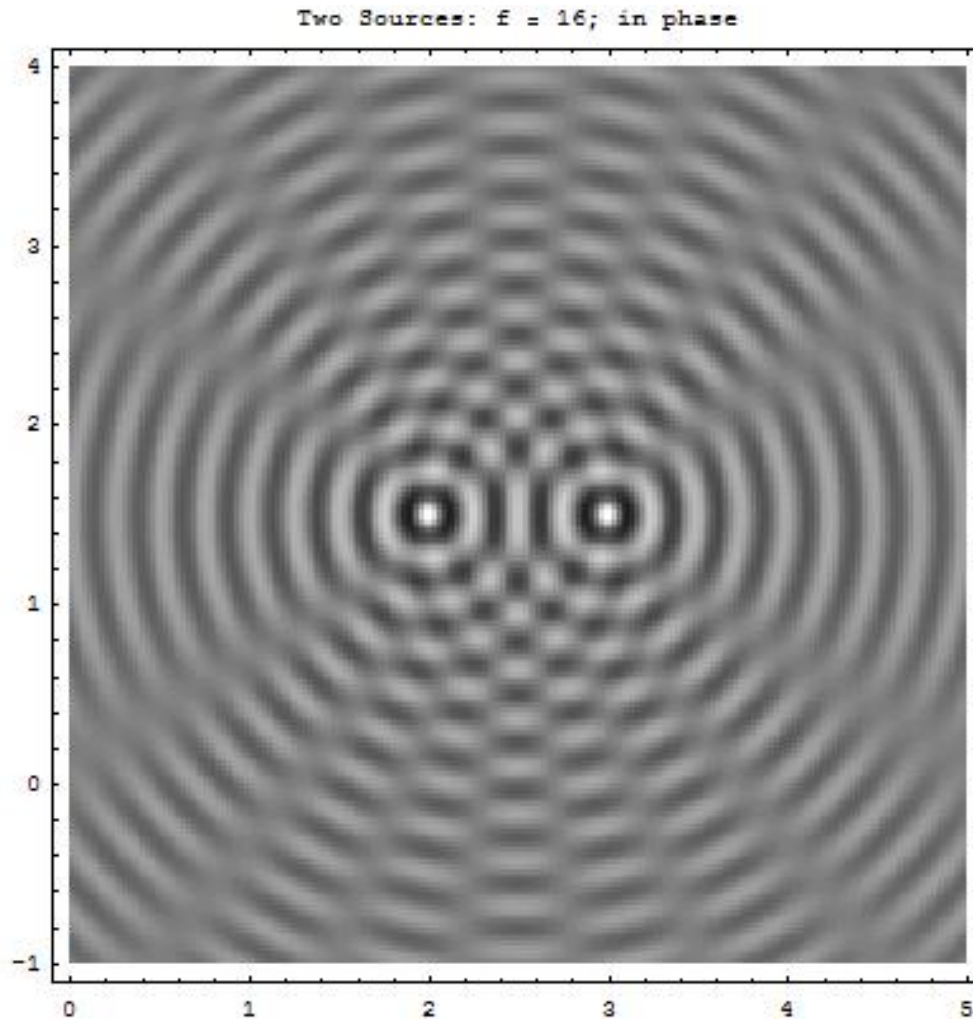
These two waves are coherent - they have a phase difference which is constant over time.

Για να παρατηρήσουμε διαμόρφωμα συμβολής από δύο πηγές, θα πρέπει τα κύματα που εκπέμπονται από αυτές να είναι *σύμφωνα* (*coherent*), δηλ. να έχουν ίδια συχνότητα και καθορισμένη χρονοανεξάρτητη σχέση φάσεων. Αν από τις δύο πηγές εκπέμπονταν δύο ασύμφωνα κύματα, δεν θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε διαμόρφωμα συμβολής αφού τότε η ένταση στο πέτασμα θα κατανεμόταν ομοιόμορφα παντού σε αυτό και η τιμή της θα ήταν απλά το άθροισμα των εντάσεων κάθε ακτίνας σύμφωνα με τη:

$$I = I_1 + I_2 \text{ (ασύμφωνο φως)}$$

Το φως της λάμπας πυρακτώσεως είναι ασύμφωνο τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Αντίθετα, το λέιζερ παράγει σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό σύμφωνο (χωρικά και χρονικά) φως.

Συμβολή κυμάτων από Σύμφωνες Πηγές

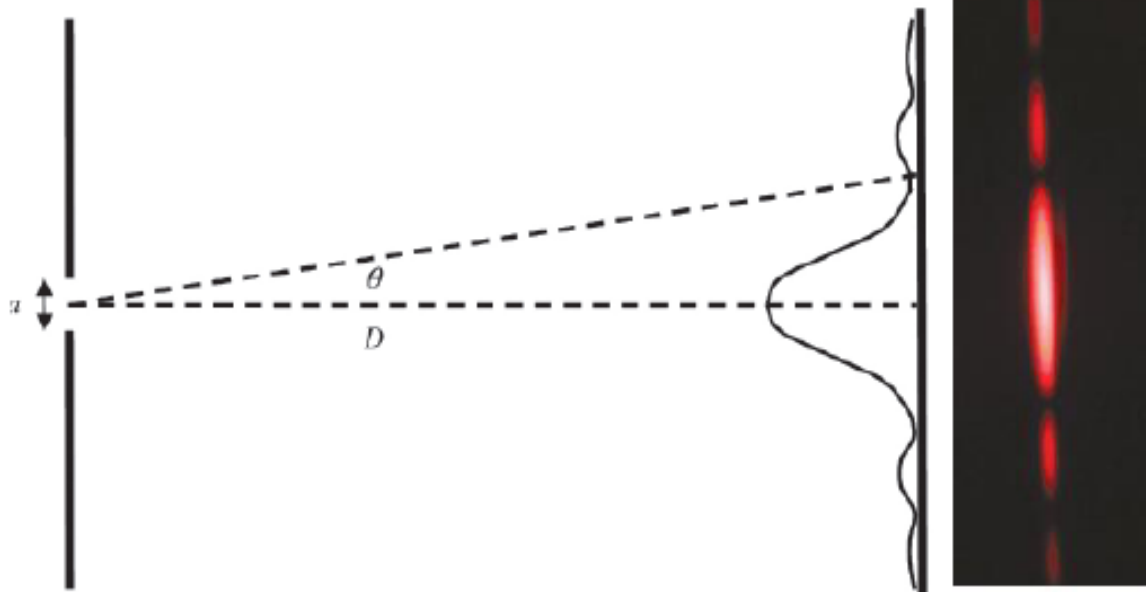


ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

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

(**περίθλαση Fraunhofer**: εξετάζεται το περιθλώμενο φως σε μακρινή απόσταση από τη σχισμή, σε αυτό που ονομάζουμε μακρινό πεδίο).

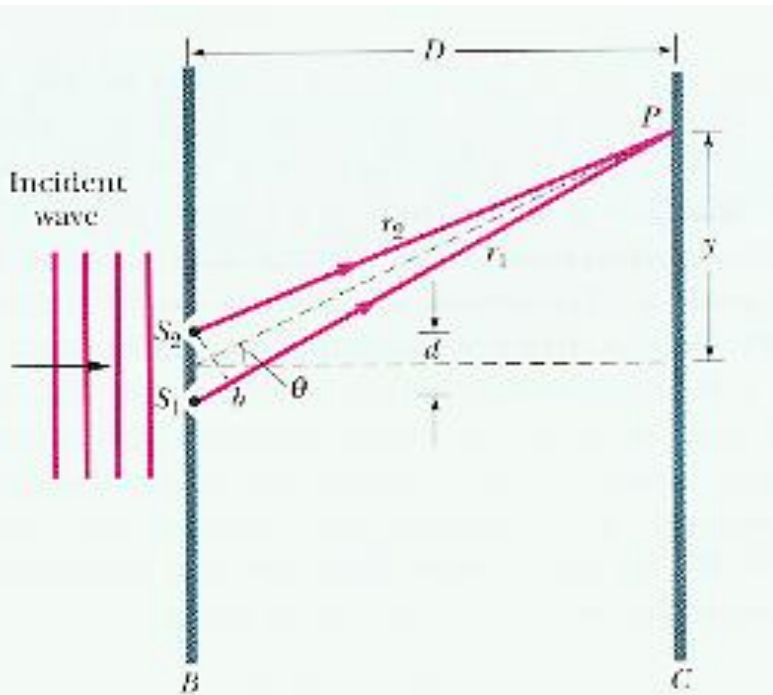
Αν το πέτασμα ήταν κοντά στη σχισμή, το διαμόρφωμα της περίθλασης πάνω του θα ήταν πιο πολύπλοκο και μαθηματικά πιο δύσκολο να αναλυθεί. Η μελέτη της περίθλασης στο εγγύς πεδίο είναι γνωστή ως **περίθλαση Fresnel**.



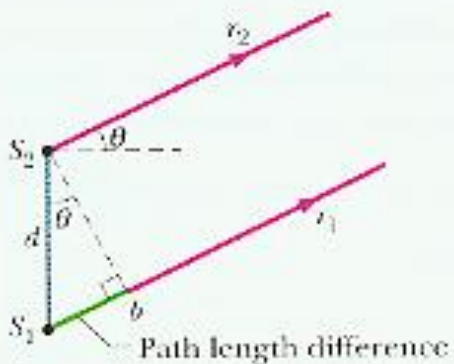
Συμβολή



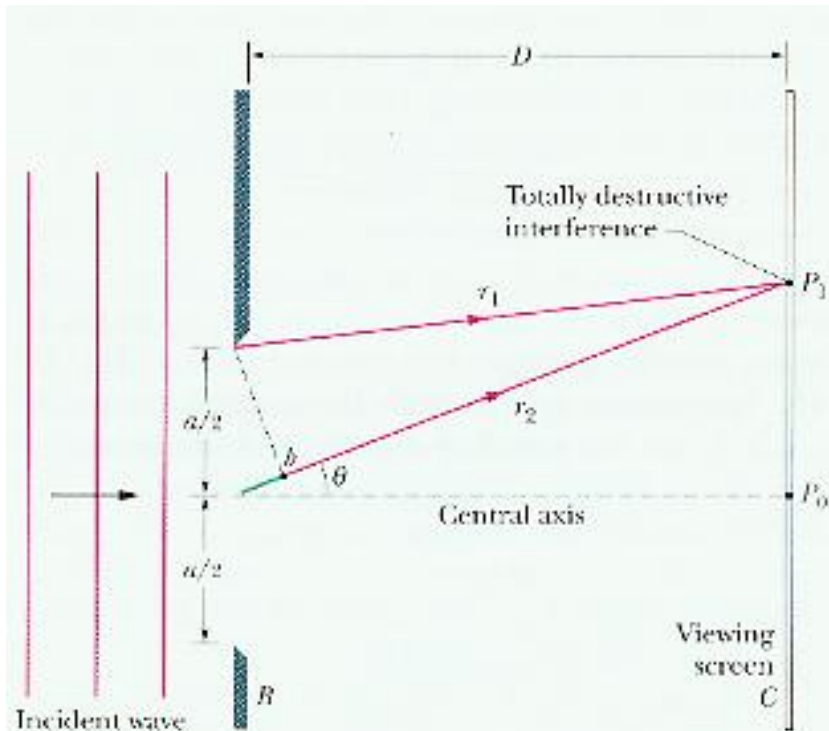
Περίθλαση



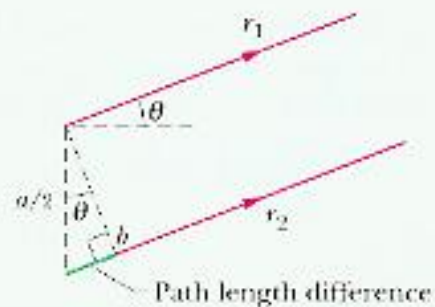
(a)



(b)



(a)



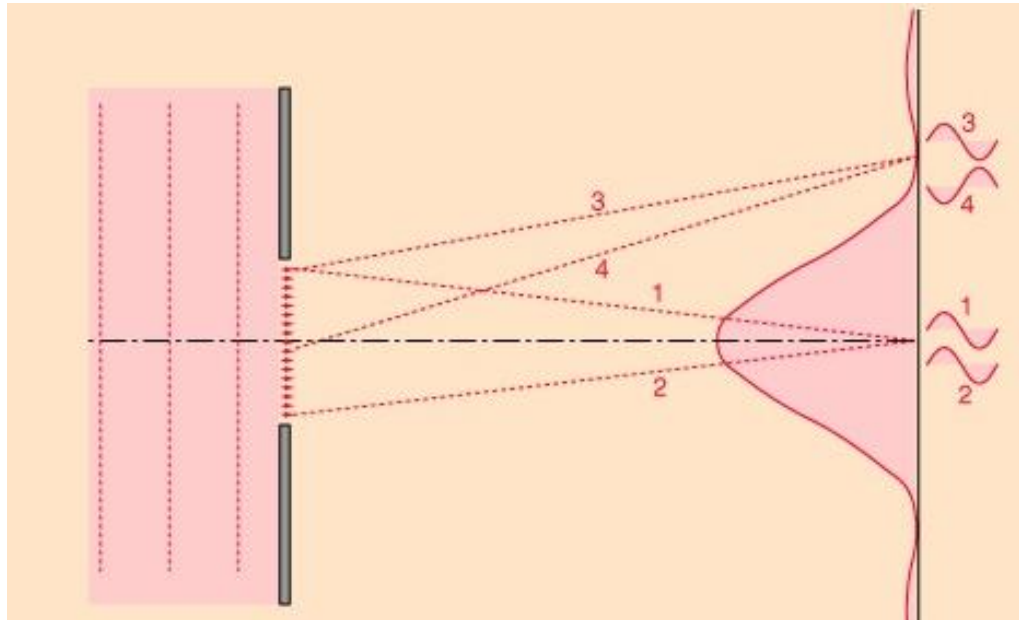
(b)

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

Μπορούμε να προσδιορίσουμε τις θέσεις των μεγίστων και των ελαχίστων (τα όρια των κροσσών), στο διαμόρφωμα περίθλασης, εξετάζοντας τα κυματίδια που εκπέμπονται δευτερογενώς στη σχισμή και χρησιμοποιώντας τις σχέσεις μεταξύ των φάσεών τους, όταν φτάνουν στο πέτασμα.

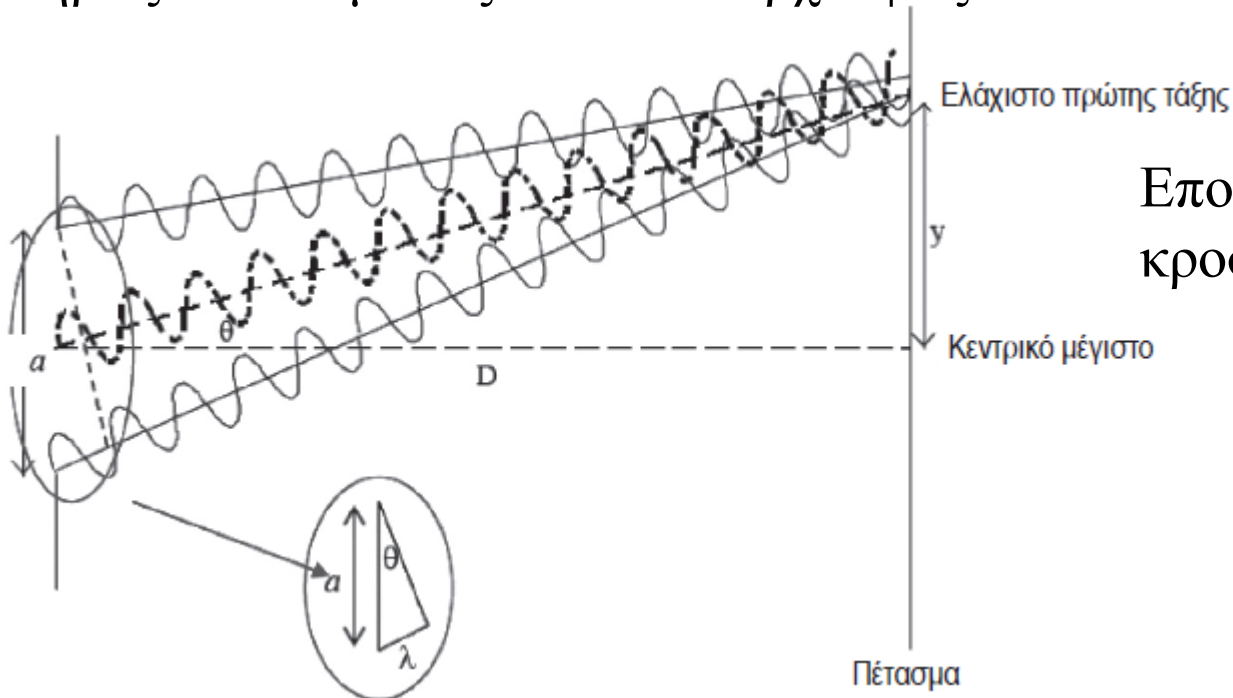
Οι ακτίνες που διαδίδονται παράλληλα στον οπτικό άξονα παραμένουν σε φάση και παράγουν ένα φωτεινό κεντρικό μέγιστο.

Για να βρούμε τη θέση του πρώτου ελάχιστου εκατέρωθεν, θεωρούμε τις ακτίνες που διαδίδονται υπό γωνία θ από τον οπτικό άξονα. Το πρώτο ελάχιστο θα εμφανίζεται σε γωνία θ για την οποία η διαφορά δρόμου μεταξύ των ακτίνων, που διαδίδονται σε αυτή τη διεύθυνση αλλά εκπέμπονται από τις δύο άκρες της σχισμής, είναι ίση με ένα μήκος κύματος λ .



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

Η απόσταση μέχρι το πέτασμα, που διανύει ακτίνα προερχόμενη από το κέντρο της σχισμής, θα πρέπει να είναι κατά $\lambda/2$ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη απόσταση, που διανύει ακτίνα προερχόμενη από το κάτω άκρο της σχισμής, έτσι ώστε αυτές οι δύο ακτίνες να συμβάλουν αναιρετικά. Το ίδιο θα ισχύει και για ένα άλλο, γειτονικό, ζευγάρι ακτίνων που προέρχονται από γειτονικά σημεία της σχισμής, μετατοπισμένα λίγο προς τα πάνω. Όλα αυτά τα ζεύγη ακτίνων (με διαφορά δρόμου ως το πέτασμα ίση με $\lambda/2$), θα αναιρούνται πλήρως και επομένως δεν θα υπάρχει φως σε αυτό το σημείο του πετάσματος.



Επομένως έχουμε σκοτεινό κροσσό όταν:

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

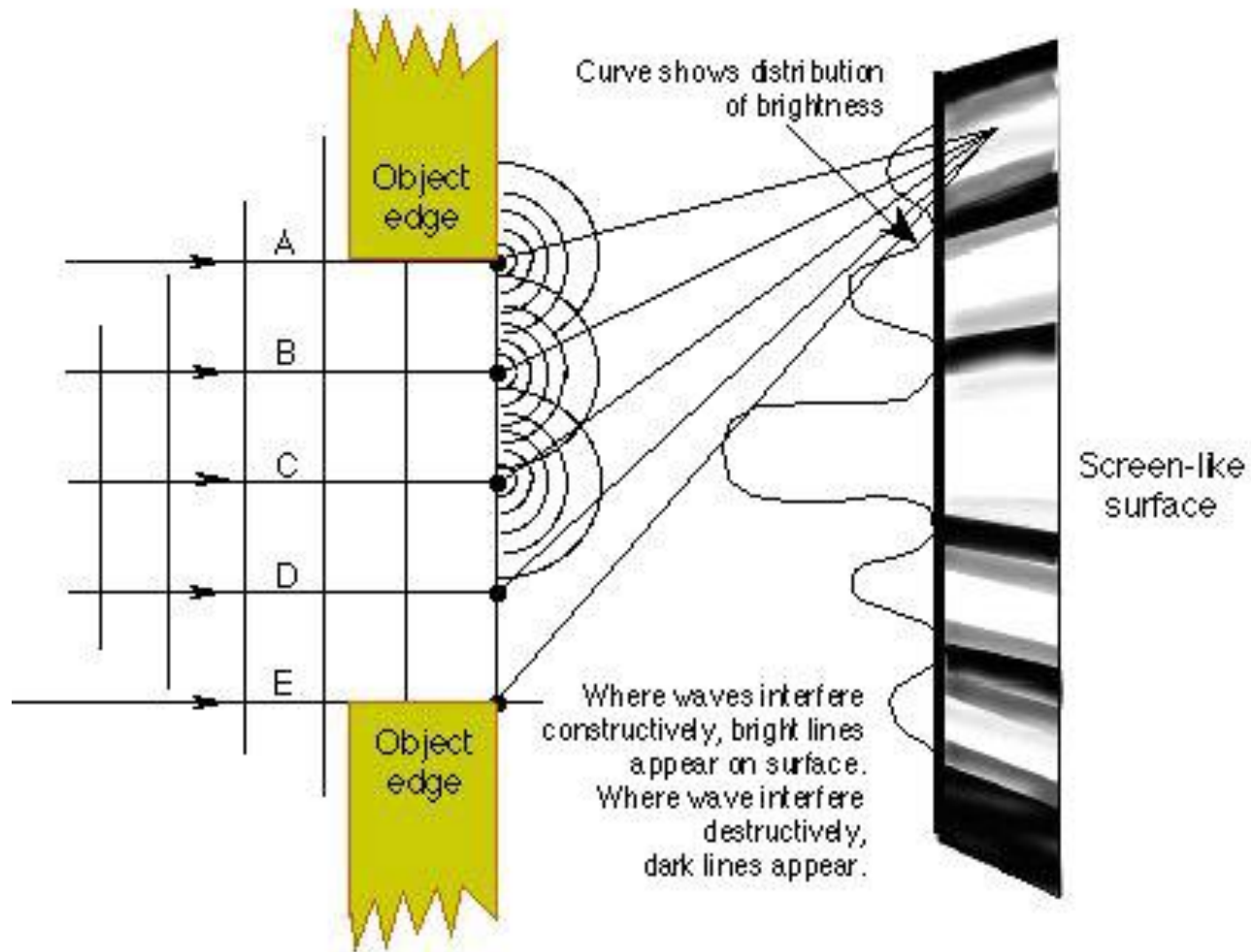
$$(m = \pm 1, \pm 2, \dots)$$

ή

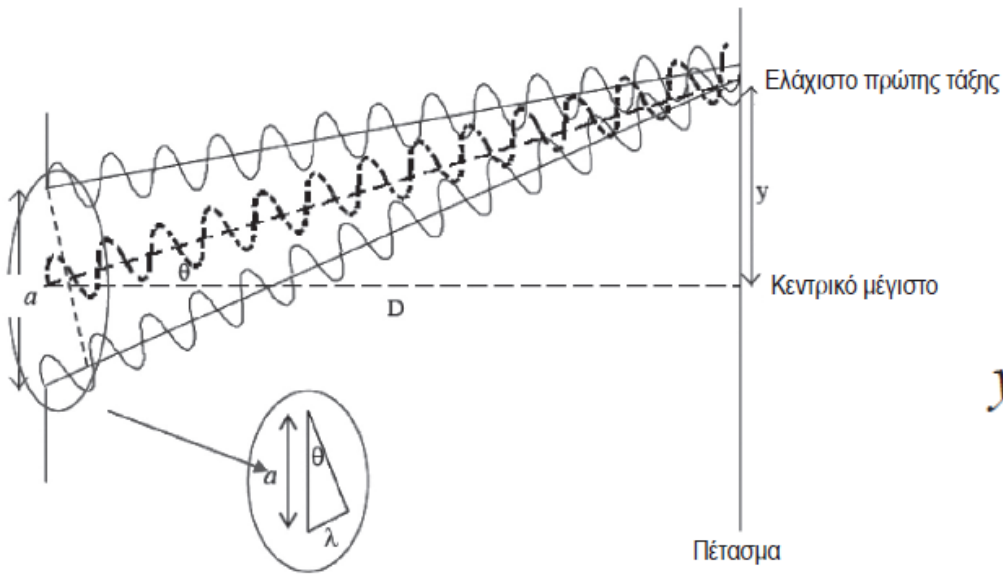
$$\sin \theta = \pm m \frac{\lambda}{a}$$

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

Diffraction Pattern



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ



Αν η απόσταση του πρώτου ελαχίστου από το ίχνος του οπτικού άξονα στο πέτασμα είναι y , τότε:

$$y = D \tan \theta \approx D \sin \theta = D\lambda/a$$

Ειδικά για το 1^ο ελάχιστο περίθλασης (δηλ. για $m = 1$)

$$\sin \theta = \lambda/a$$

και με την προσέγγιση μικρής γωνίας $\sin \theta \approx \theta$ (σε rad)
(ισχύει πάντα για περίθλαση Fraunhofer)

$$\theta = \lambda/a$$

θ : η γωνία μεταξύ της ευθύγραμμης διάδοσης της προσπίπτουσας δέσμης και (για $m = 1$) της εμφάνισης της 1ης σκοτεινής περιοχής (ελαχίστου) στο πρότυπο της περίθλασης

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

$$a \sin \theta = m\lambda \quad (\text{ελάχιστα περίθλασης})$$

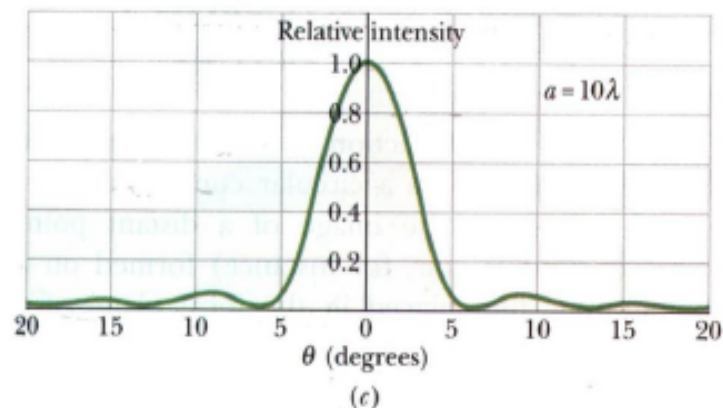
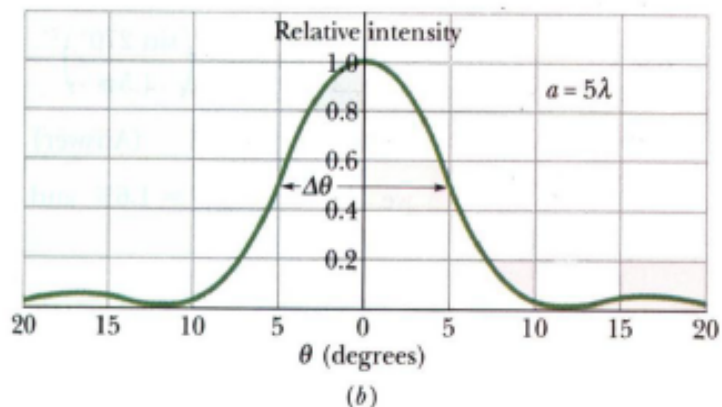
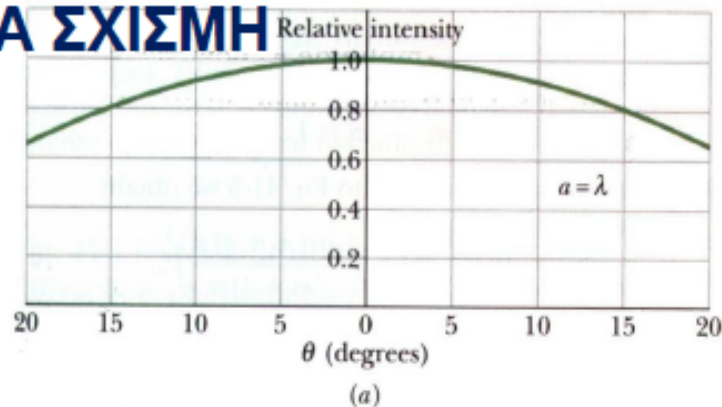
Για μικρές γωνίες ($\sin \theta \sim \theta$) το γωνιακό άνοιγμα του διαμορφώματος περίθλασης είναι αντιστρόφως ανάλογο του λόγου του εύρους της σχισμής a προς το μήκος κύματος λ .

$$\theta = \lambda/a$$

Αυτό είναι και το εύρος του κεντρικού μεγίστου.

Αν το a είναι της τάξης μεγέθους του εκατοστού ή μεγαλύτερο, η γωνία θ είναι τόσο μικρή που μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όλο το φως είναι συγκεντρωμένο στη γωνιακή εστία.

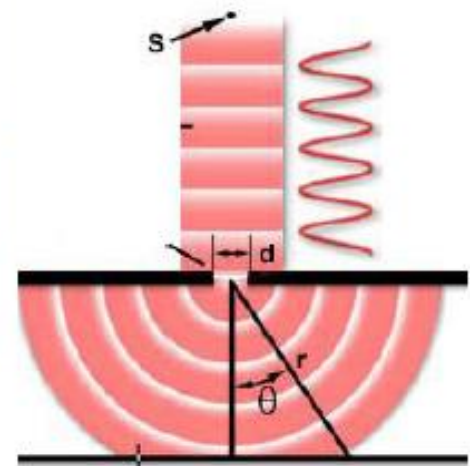
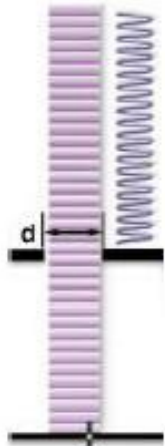
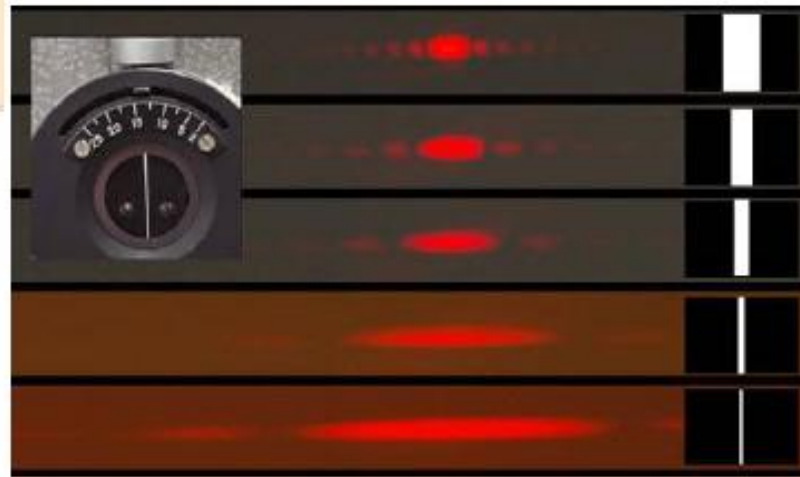
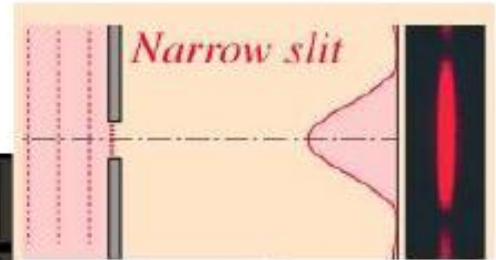
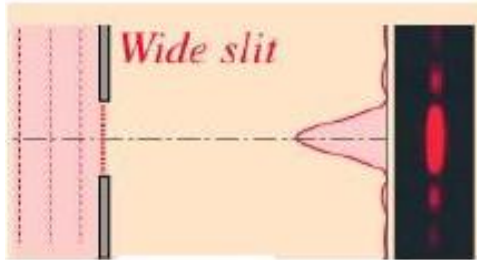
Αν το a είναι μικρότερο του λ , το κεντρικό μέγιστο έχει γωνιακό άνοιγμα 180° και η γωνία περίθλασης δεν είναι δυνατό ούτε καν να παρατηρηθεί.



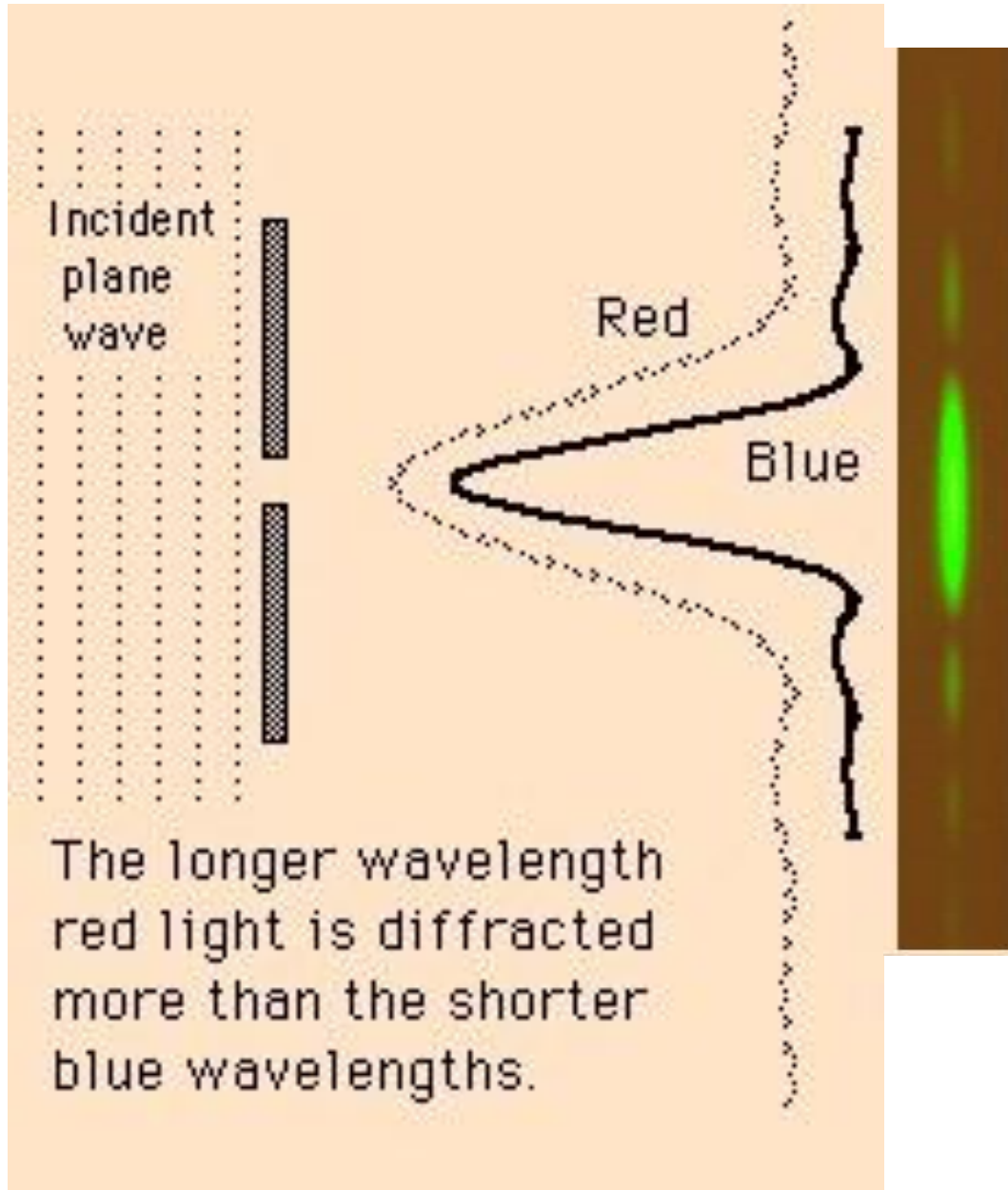
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

$$\text{Εύρος του κεντρικού μεγίστου: } \theta = \lambda/a$$

Όσο μικρότερο είναι το εύρος της σχισμής τόσο ευρύτερο θα είναι το παρατηρούμενο σχέδιο των κροσσών σε ένα απομακρυσμένο πέτασμα. Αντίστροφα, σχισμές που το εύρος τους είναι πολύ μεγάλο, συγκριτικά με το μήκος κύματος του προσπίπτοντος φωτός, δίνουν μόνο ένα αμυδρό σχέδιο κροσσών κοντά στη γεωμετρική σκιά των άκρων της σχισμής, χωρίς να παρατηρείται κανένα άλλο φαινόμενο περίθλασης.



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ



Phet : Wave interference

<https://phet.colorado.edu/el/simulation/legacy/wave-interference>

Νερό Ήχος Φως

Μήκος κύματος
Πλάτος

Δείξε την γραφική παράσταση

Διάγραμμα

Θέση
ένταση

Μετροταινία
Χρονόμετρο
Πρόσθεσε ανιχνευτή
Επαναφορά όλων

Περιστροφή
Κορυφή Όψη

One Light
 Two Lights

Απόσταση
0 nm 2100 4200

Χωρίς φράγμα
 Μία σχισμή
 Δύο σχισμές

Πλάτος σχισμής
0 nm 1050 2100

Θέση φράγματος
0 nm 2590 5250

Διαχωρισμός σχισμής
0 nm 1750 3500

Πρόσθεσε καθρέφτη

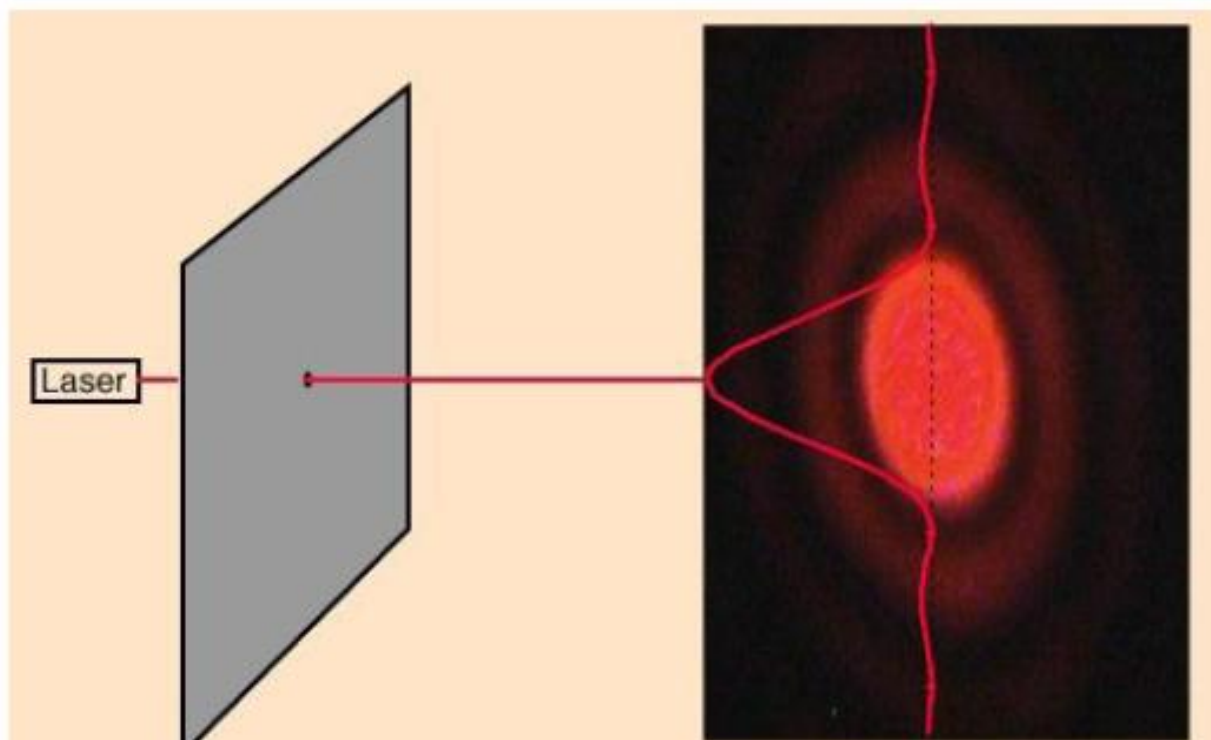
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ

Το διαμόρφωμα περίθλασης μακρινού πεδίου (Fraunhofer) από ένα κυκλικό άνοιγμα συνίσταται σε ένα κεντρικό μέγιστο στο σχήμα κυκλικού δίσκου, γνωστό ως **δίσκος Airy**, που περιβάλλεται από ομόκεντρους κυκλικούς κροσσούς. Το γωνιακό άνοιγμα του δίσκου Airy (γωνία που παρατηρείται το ελάχιστο πρώτης τάξης) δίνεται από:

$$d \sin \theta = 1,22 \lambda$$

όπου d η διάμετρος του κυκλικού ανοίγματος.

Η ένταση του μεγίστου πρώτης τάξης είναι πολύ πιο μικρή (< 5%) από αυτή του δίσκου Airy.



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ

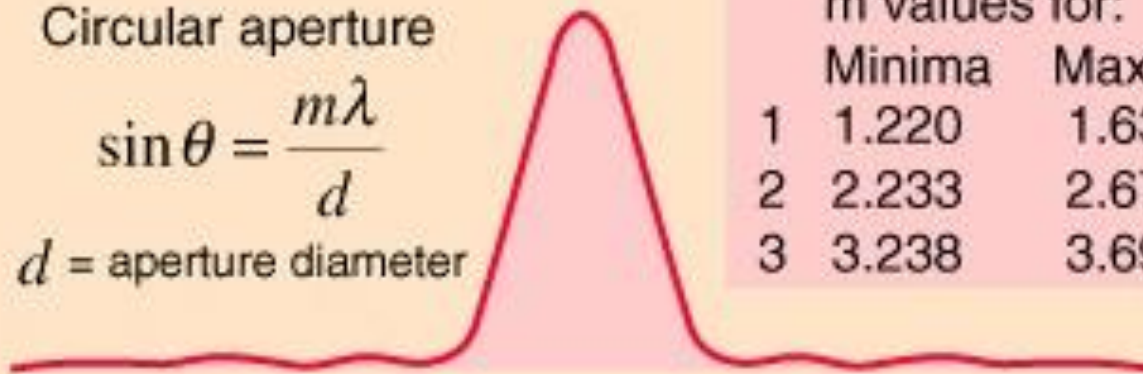
Circular aperture

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d}$$

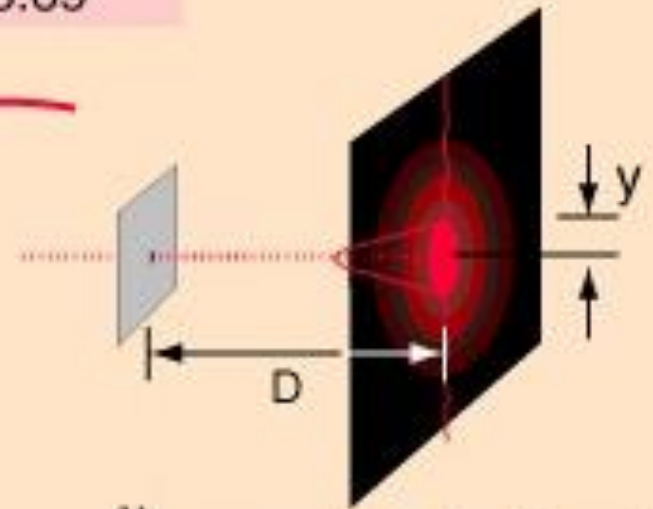
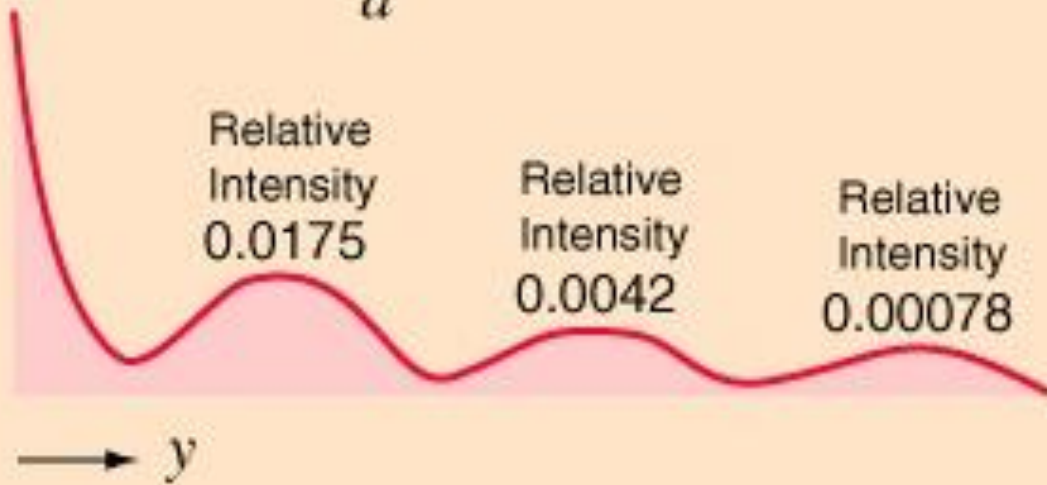
d = aperture diameter

m values for:

	Minima	Maxima
1	1.220	1.635
2	2.233	2.679
3	3.238	3.69



$$y \approx D \frac{m\lambda}{d} \text{ for maxima and minima}$$



$$\frac{y}{D} = \tan \theta \approx \sin \theta \approx \theta$$

for small angles θ

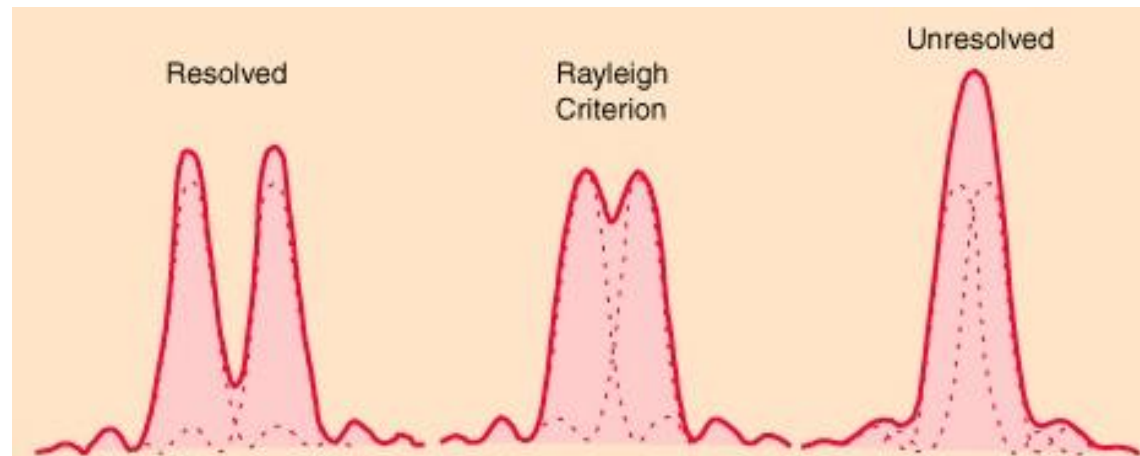
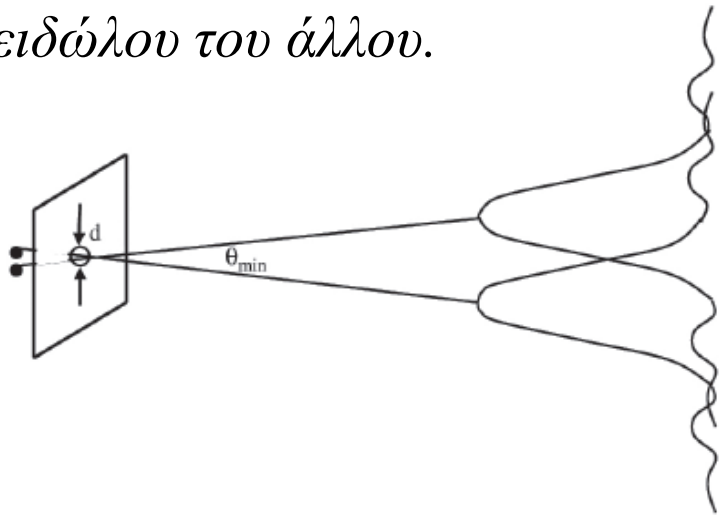
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑ

Ας εξετάσουμε τώρα την περίπτωση δύο αντικειμένων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Ο σχηματισμός ειδώλου κάθε αντικειμένου από ένα οπτικό σύστημα υπόκειται σε διαμόρφωση περίθλασης.

Όταν τα δύο αντικείμενα είναι τόσο κοντά μεταξύ τους, ώστε οι δίσκοι Airy των σχηματιζόμενων ειδώλων τους να επικαλύπτονται, είναι πολύ δύσκολο να διακρίνουμε αν πρόκειται για δύο αντικείμενα ή μόνο ένα. Η αποδεκτή συνθήκη για τη διάκριση δύο τέτοιων αντικειμένων εκφράζεται από το **κριτήριο Rayleigh**: Δύο αντικείμενα θα είναι μόλις διακριτά όταν το κεντρικό μέγιστο του ειδώλου του ενός επικαλύπτει το πρώτο ελάχιστο περίθλασης του ειδώλου του άλλου.



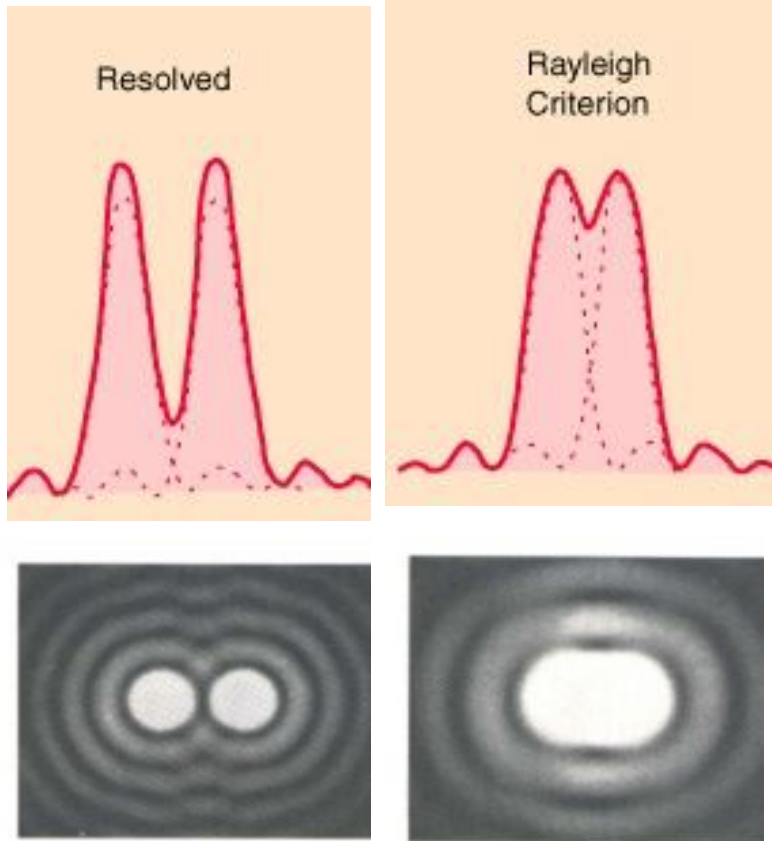
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Περιορισμός της διακριτότητας

Από την $d \sin \theta = 1,22 \lambda$ (για **κυκλικό άνοιγμα**) το κριτήριο Rayleigh μπορεί να γραφεί ως:

$$\theta_{\min} = \frac{1,22\lambda}{d}$$

όπου, η θ_{\min} εκφράζει την *ελάχιστη γωνιακή διαχώριση* (σε ακτίνια) (ελάχιστη γωνιακή απόσταση θ_m που σχηματίζουν δύο πηγές με κορυφή τη σχισμή έτσι ώστε μόλις να ξεχωρίζουν τα δύο είδωλά τους) των δύο αντικειμένων και d είναι η διάμετρος του κυκλικού ανοίγματος.



Στην περίπτωση που οι ακτίνες διέρχονται από **σχισμή εύρους a** , το πρώτο ελάχιστο μιας εικόνας περίθλασης αντιστοιχεί στη γωνία η οποία ικανοποιεί τη σχέση:

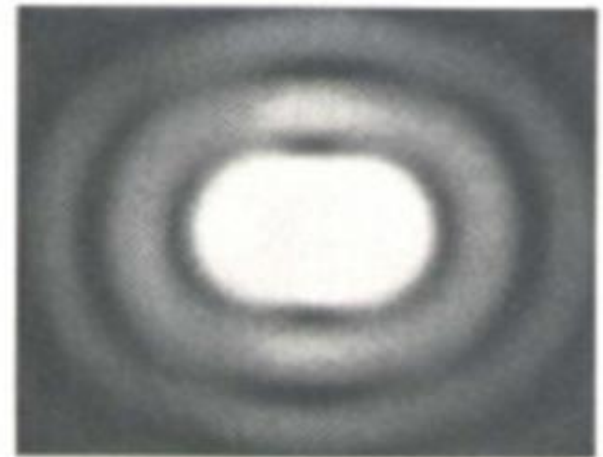
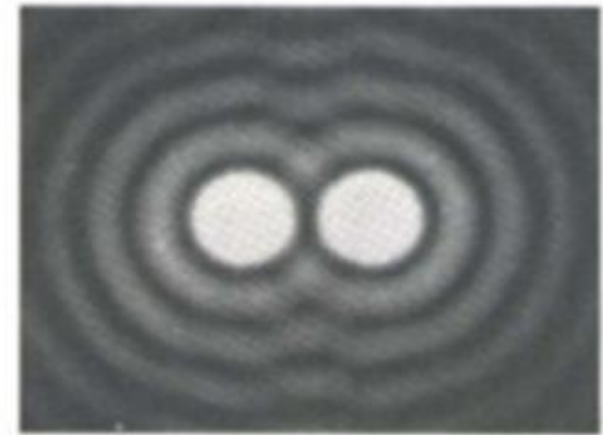
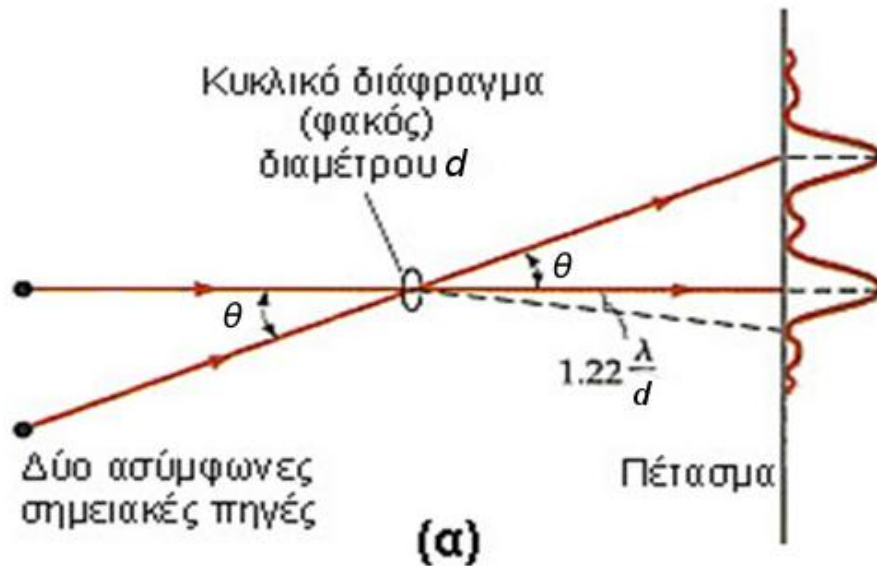
$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$$

και επομένως: θ μικρό, $\sin \theta_m \approx \theta_m$ (rad) $\theta_m = \frac{\lambda}{a}$ Αυτό είναι το όριο διάκρισης (γωνιακή διακριτότητα) δύο

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Περιορισμός της διακριτότητας

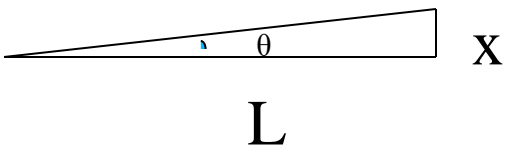
Κριτήριο Rayleigh - Κυκλικό άνοιγμα διαμέτρου d



(γ)

ΑΣΚΗΣΗ

Η διάμετρος της κόρης του ματιού μεταβάλλεται μεταξύ 4 και 1,5 mm. Μπορεί το μάτι σας να διακρίνει σαν ξεχωριστές δυο τελείες στον πίνακα που απέχουν μεταξύ τους 3 mm, η όχι και γιατί; Ο πίνακας απέχει 10 m από εσάς. Υπενθυμίζεται οτι το φως έχει μήκη κύματος μεταξύ 400 nm και 800 nm.



ΛΥΣΗ

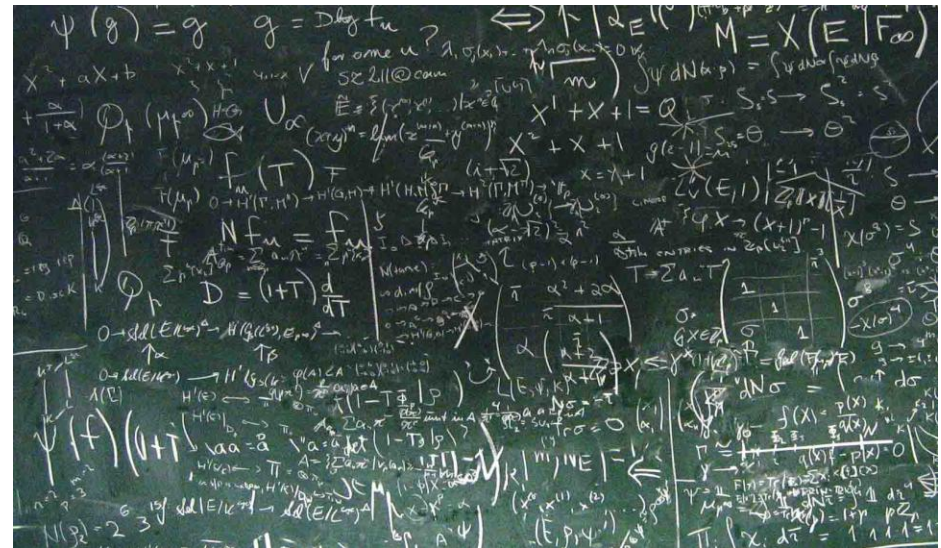
$$\sin\theta = 1,22 \cdot \lambda / D$$

Το όριο διακρ. ικανότητας θα είναι μικρότερο για min λ (400 nm) και max D (4 mm).

Για μικρές γωνίες $\sin\theta \sim \theta \sim x/L$

$$\text{άρα } x = \theta \cdot L = 1,22 \cdot \lambda L / D = 1,22 \cdot 400 \text{ nm} \cdot 10 \text{ m} / 4 \text{ mm} = 1,22 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$$

Άρα μπορούμε να διακρίνουμε τις τελείες σαν ξεχωριστές

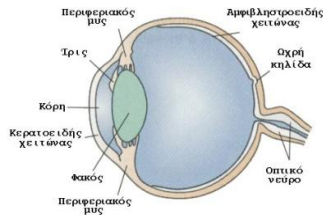


ΑΣΚΗΣΗ

Ποια είναι η ελάχιστη απόσταση που μπορούν να έχουν 2 τελείες πάνω σε ένα χαρτί που διαβάζετε ώστε να τις διακρίνετε;

Ελάχιστη απόσταση ώστε να είναι διακριτά δύο αντικείμενα

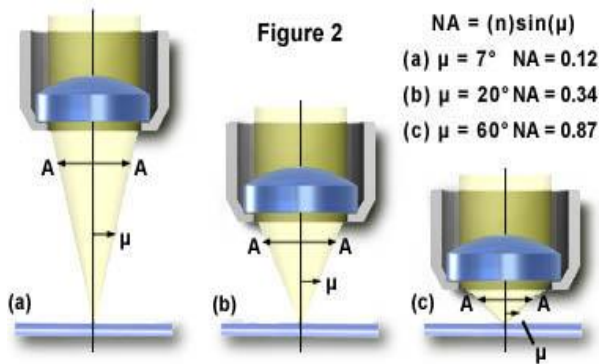
$$D(0) = 1,22 (\lambda L/d)$$



ΟΤΩΝ

Ανθρώπινο μάτι: $D(0) = 0,056 \text{ mm}$

(περιορισμός από απόσταση φωτοϋποδοχέων αμφιβληστροειδή) $\sim 0,1 \text{ mm}$



Οπτικά μικροσκόπια (ιδανικές συνθήκες)

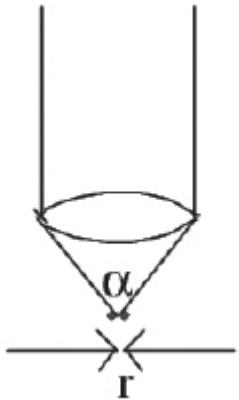
$$D(0) \sim 0,2 \mu\text{m}$$

Η συμφυής περίθλαση του φωτός από τους φακούς θέτει ένα όριο στην ωφέλιμη μεγέθυνση που αυτοί επιτυγχάνουν

ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΟΠΤΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ

Το **όριο διακριτότητας οπτικού μικροσκοπίου** εκφράζεται από την ελάχιστη απόσταση στην οποία μπορούν να βρεθούν δύο αντικείμενα μεταξύ τους ώστε να είναι διακριτά όταν παρατηρούνται με αυτό υπό τις βέλτιστες συνθήκες. Όσο μικρότερο είναι το όριο διακριτότητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα (διακριτική ισχύς) του οργάνου.

$$r_{\min} = \frac{0,61\lambda}{n \sin \alpha} = \frac{0,61\lambda}{NA}$$



όπου α : η γωνία αποδοχής του φωτός στον αντικειμενικό φακό (για την αύξηση της α χρησιμοποιείται αντικειμενικός φακός με πολύ μικρή εστιακή απόσταση),

λ/n : το μήκος κύματος του φωτός στο μέσο δείκτη διάθλασης n

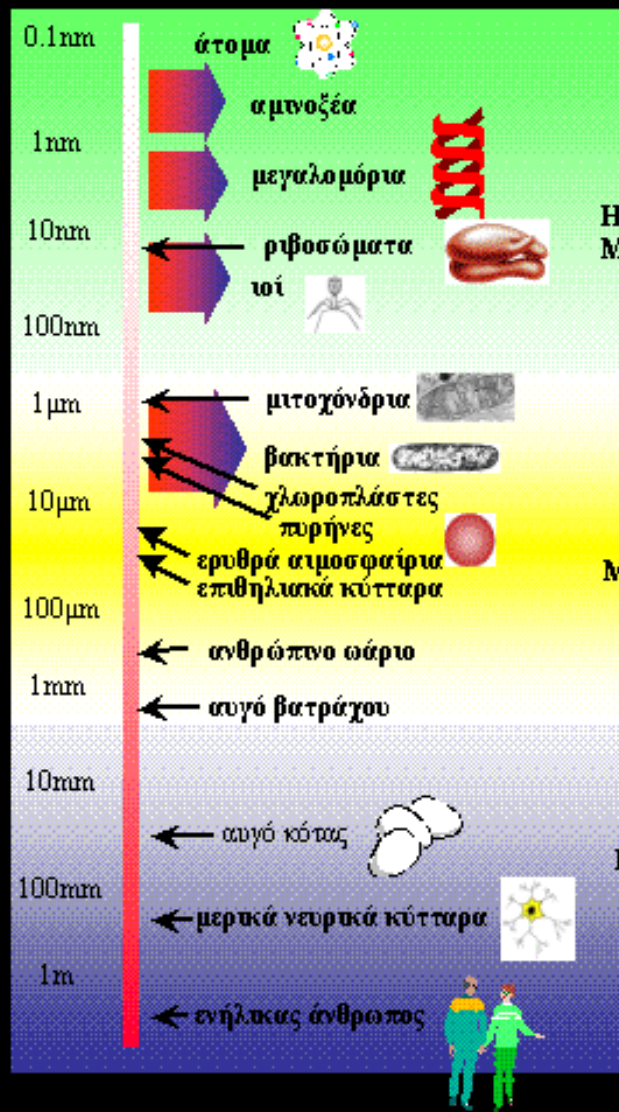
που παρεμβάλλεται μεταξύ του δείγματος και του φακού, το 0,61 προκύπτει από $1,22/2$ και το γινόμενο ($n \sin \alpha$) είναι γνωστό ως το **Αριθμητικό Άνοιγμα (Numerical Aperture, NA) του φακού**.

ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΟΠΤΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ

$$r_{\min} = \frac{0,61\lambda}{n \sin \alpha} = \frac{0,61\lambda}{NA}$$

Για συνήθη μικροσκόπια $n = 1$ ενώ για μικροσκόπια που επιτυγχάνουν μεγαλύτερες μεγεθύνσεις χρησιμοποιείται συχνά **ελαιοκαταδυτικός αντικειμενικός φακός** για να αυξηθεί η διακριτική ικανότητά του. Σε αυτή την περίπτωση, μια σταγόνα κατάλληλου λαδιού (με $n = 1,5$, συνήθως χρησιμοποιείται κεδρέλαιο) τοποθετείται πάνω από την καλυπτρίδα του δείγματος και ο αντικειμενικός φακός καταδύεται σε αυτό με αποτέλεσμα την αύξηση της διακριτικής ικανότητας (δηλαδή τη μείωση του r_{\min}) κατά περίπου 50%. Όσο μεγαλύτερο είναι το αριθμητικό άνοιγμα ενός φακού τόσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική του ικανότητα. Φακοί με αριθμητικό άνοιγμα 1,4 χρησιμοποιούνται συχνά σε οπτικά μικροσκόπια υψηλής ανάλυσης οπότε (σύμφωνα με την εξίσωση για το r_{\min} **η μέγιστη εφικτή διακριτική ικανότητα ενός οπτικού μικροσκοπίου είναι περίπου $\lambda/4$**). Αφού $\sin \alpha \leq 1$, ο μόνος τρόπος για να βελτιώσουμε πέρα από αυτό το όριο τη διακριτική ικανότητα ενός μικροσκοπίου είναι να χρησιμοποιήσουμε ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος για την παρατήρηση του δείγματος. Αυτό εφαρμόζεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Τα νέα είδη οπτικών μικροσκοπίων



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



ΓΥΜΝΟ ΜΑΤΙ

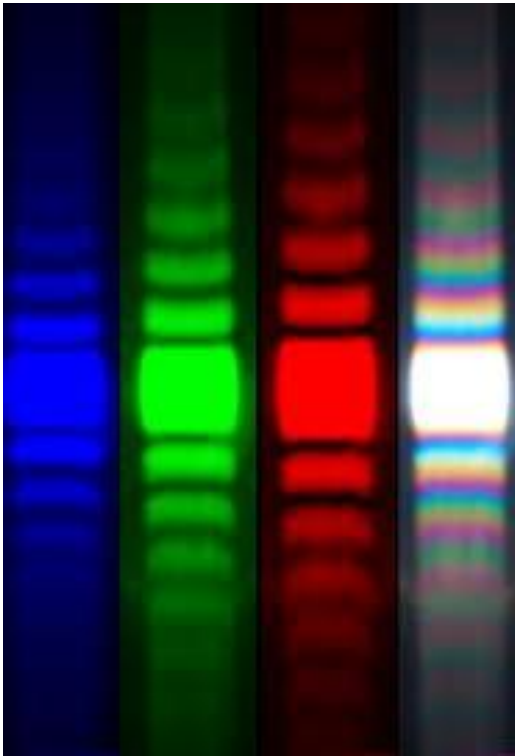


Τα σχετικά μεγέθη των
διαφόρων βιολογικών
δομών

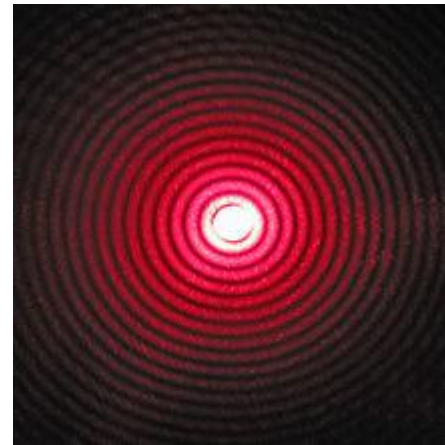
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – Η ΛΥΣΗ

Το διαμόρφωμα περίθλασης περιέχει πληροφορίες για το σχήμα του ανοίγματος.

σχισμή



κυκλική οπή

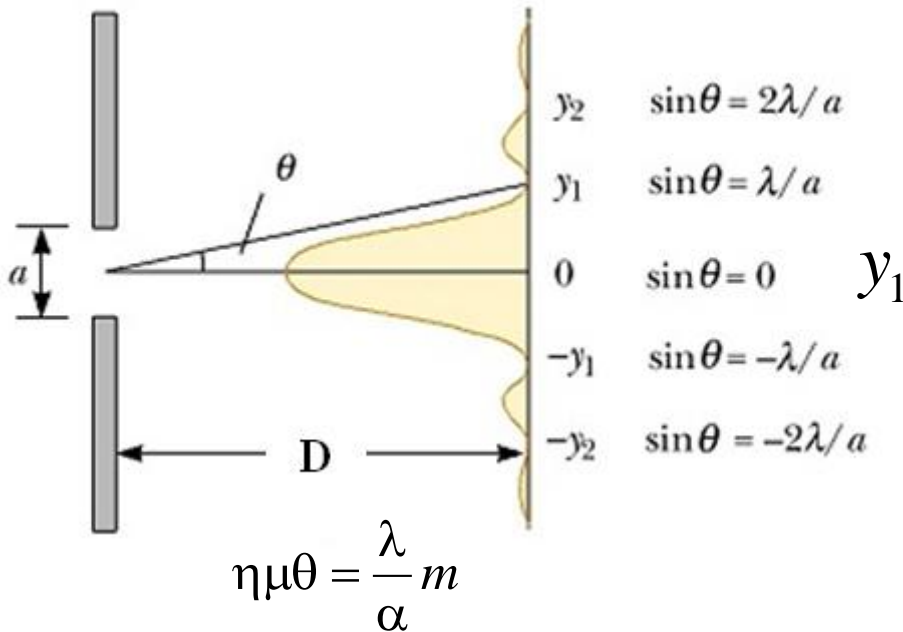


ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – Η ΛΥΣΗ

Το διαμόρφωμα περίθλασης περιέχει πληροφορίες για τις διαστάσεις του ανοίγματος.

Προσέγγιση μικρής γωνίας: $\frac{y}{D} = \epsilon\phi\theta \approx \eta\mu\theta \approx \theta$

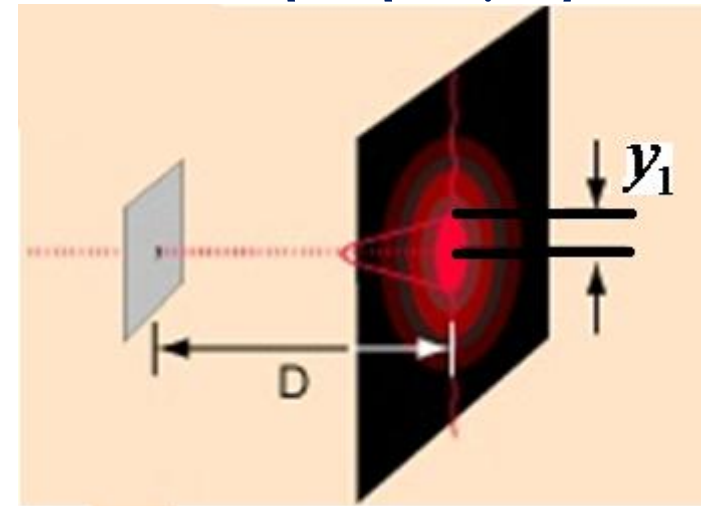
Σχισμή εύρους α



Με προσέγγιση μικρής γωνίας και $m=1$:

$$y_1 \approx D \frac{\lambda}{\alpha} \Leftrightarrow \alpha \approx D \frac{\lambda}{y_1}$$

Κυκλική οπή διαμέτρου d

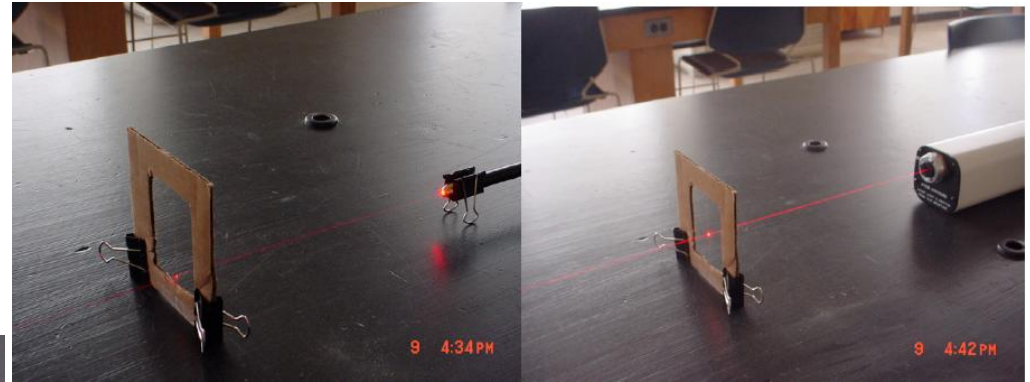
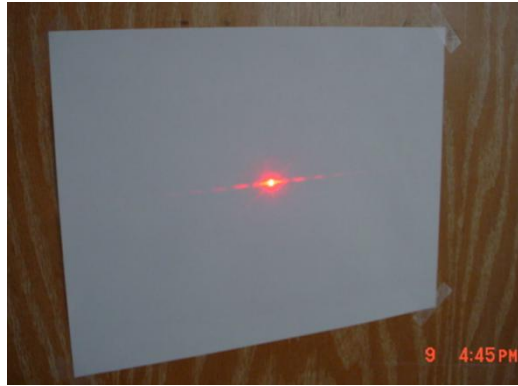


$$\eta\mu\theta = \frac{1,22\lambda}{d} m$$

Με προσέγγιση μικρής γωνίας και $m=1$:

$$y_1 \approx D \frac{1,22\lambda}{d} \Leftrightarrow d \approx D \frac{1,22\lambda}{y_1}$$

Measuring the Diameter of a Human Hair by Laser Diffraction



Example Calculations

Example for the 1st order (m=1) band for a HeNe laser $\lambda = 633 \text{ nm}$, and screen distance of $D = 1.5 \text{ m}$.

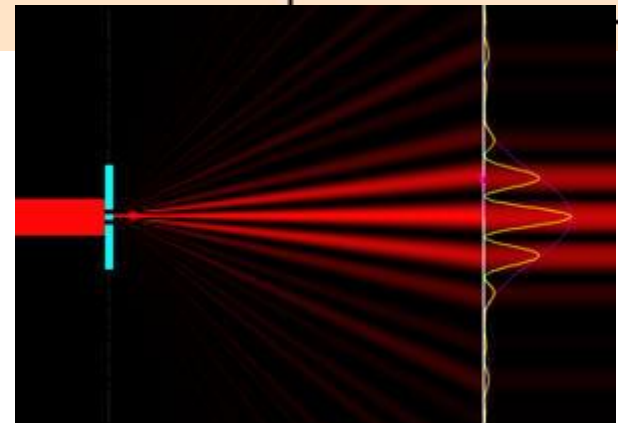
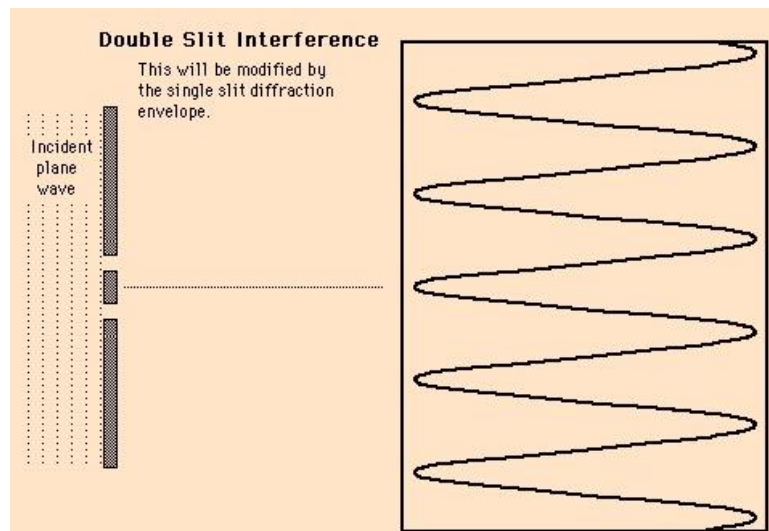
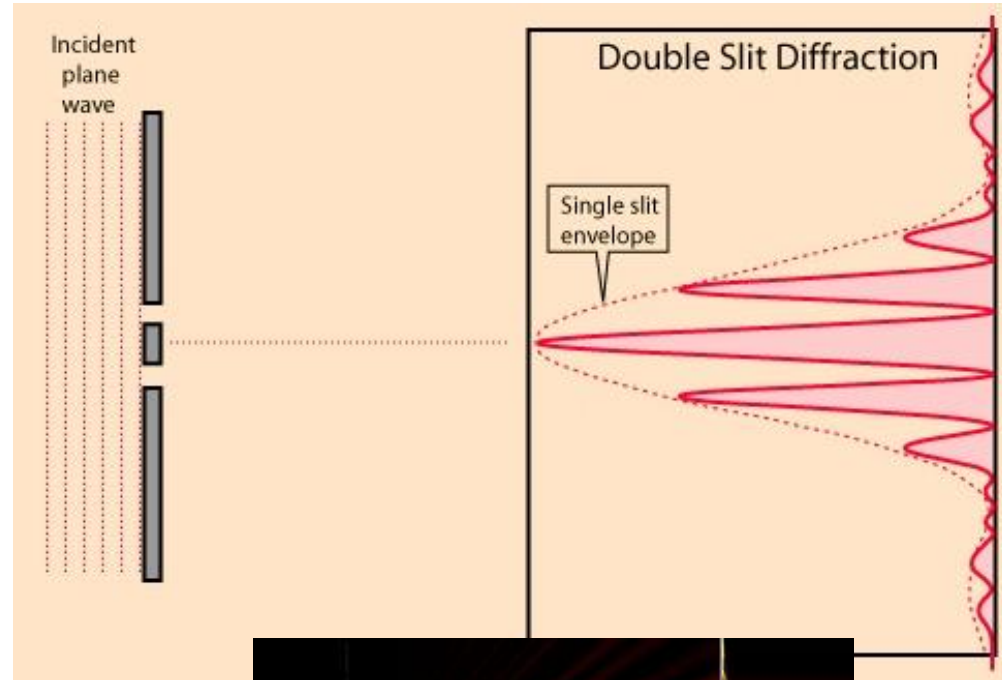
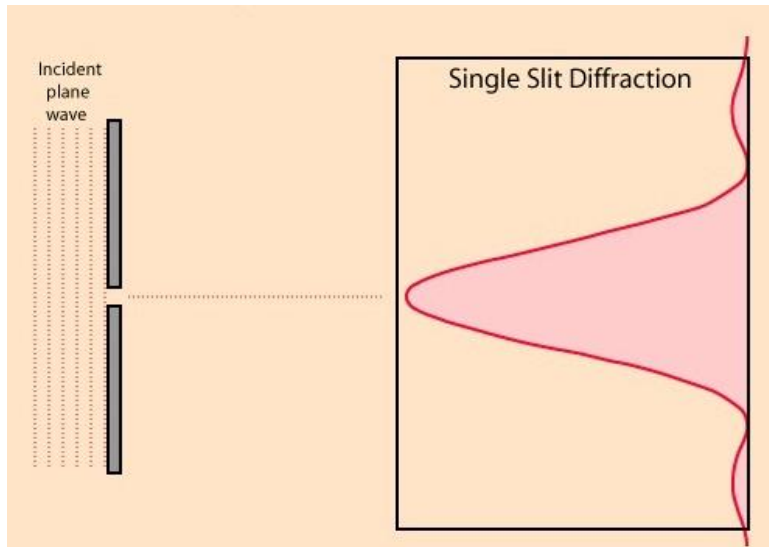
$$d_1 = (633 \times 10^{-9} \text{ m})(1) (1.5) / (0.02 \text{ m}) = 4.75 \times 10^{-5} \text{ m or } 47 \mu\text{m}$$

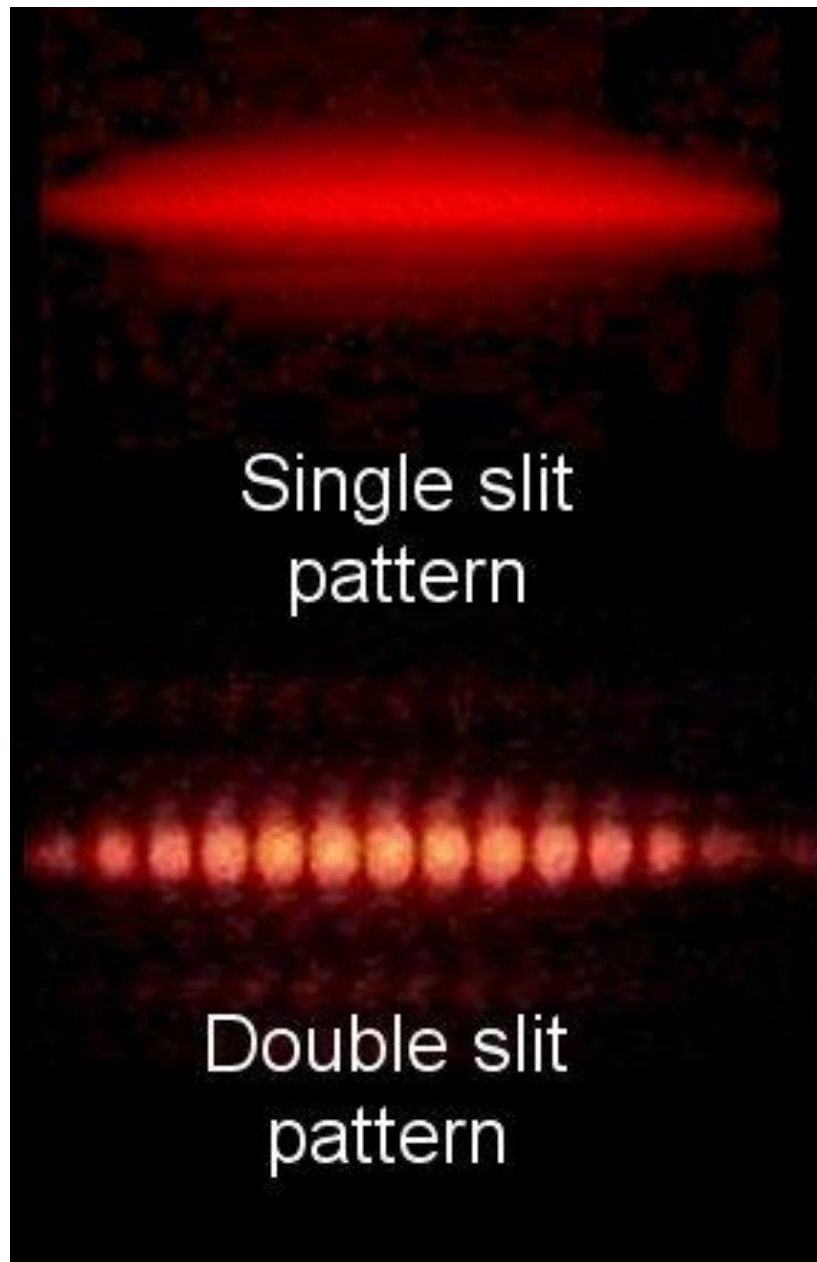
Example for the 4th order (m=4) band for a HeNe laser $\lambda = 633 \text{ nm}$, and screen distance of $D = 1.5 \text{ m}$.

$$d_4 = (633 \times 10^{-9} \text{ m})(4) (1.5) / (0.0575 \text{ m}) = 6.61 \times 10^{-5} \text{ m or } 66 \mu\text{m}$$

ΕΝΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΔΥΟ ΣΧΙΣΜΩΝ

Συνδυασμός περίθλασης (από κάθε σχισμή εύρους a) και συμβολής (πηγές σε απόσταση d)





ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΛΕΠΤΕΣ ΣΧΙΣΜΕΣ

Αν το πλήθος των σχισμών, οι οποίες έχουν το ίδιο εύρος και διαχωρίζονται από την ίδια απόσταση, αυξηθεί πάνω από δύο, η εικόνα με τις φωτεινές και σκοτεινές περιοχές που θα αποτυπωθεί πάνω στο πέτασμα θα είναι πιο πολύπλοκη. Η κατανομή έντασης, λόγω περίθλασης σε κάθε σχισμή, εξακολουθεί να είναι ίδια με αυτή της περίθλασης από μια σχισμή. Αυτό που αλλάζει στην περίπτωση των πολλαπλών σχισμών είναι ότι μέσα στις περιοχές των μεγίστων περίθλασης αναπτύσσεται λόγω συμβολής μια λεπτομερέστερη κατανομή εντάσεων, από αυτήν που είδαμε στην περίπτωση των δυο σχισμών.

Οι γωνιακές θέσεις των φωτεινών κροσσών συμβολής, ανεξάρτητα από το πλήθος των σχισμών, είναι οι ίδιες με αυτές που προσδιορίζονται από την προηγηθείσα εξίσωση για την περίπτωση των δύο σχισμών, δηλαδή:

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

όπου d η κοινή τιμή της απόστασης που διαχωρίζει κάθε ζεύγος γειτονικών σχισμών και m είναι ο ακέραιος που καθορίζει την τάξη της συμβολής.

Η εξίσωση αυτή εξάγεται όμοια με την περίπτωση των δύο σχισμών, αφού αν η διαφορά δρόμου για το φως από δύο γειτονικές σχισμές είναι $m\lambda$, τότε και για κάθε ζευγάρι σχισμών, γειτονικών ή μη, η διαφορά δρόμου του φωτός θα είναι κάποιο ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματός του.

ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΛΕΠΤΕΣ ΣΧΙΣΜΕΣ

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

Δηλ. Τα μέγιστα στο διαμόρφωμα εμφανίζονται στις ίδιες θέσεις όπως στην περίπτωση δύο σχισμών που απέχουν **απόσταση d** .

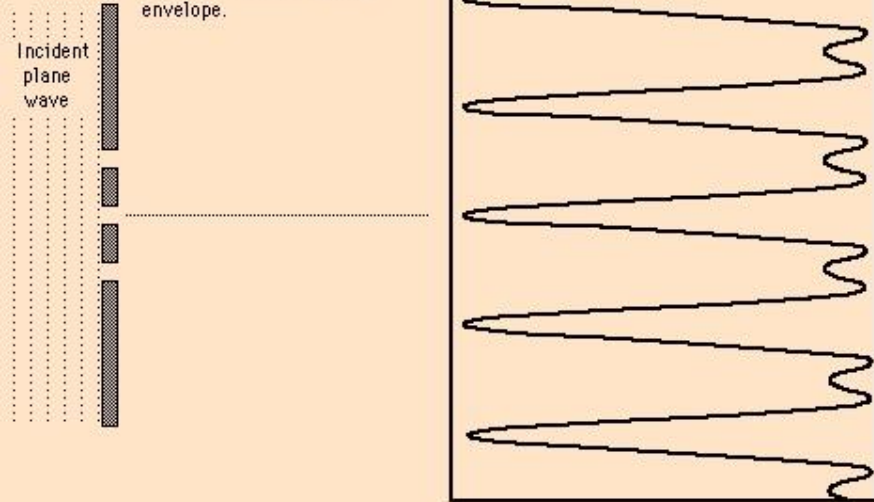
Όπως αποδεικνύεται, όμως,

- τα μέγιστα έχουν πολύ μικρότερο εύρος (όσο περισσότερες είναι οι σχισμές N τόσο οξύτερα παρουσιάζονται τα μέγιστα περίθλασης. Το ύψος κάθε μεγίστου είναι N^2 ενώ το εύρος του $1/N$) ενώ
- μεταξύ κάθε ζεύγους μεγίστων δεν εμφανίζεται μόνο ένα ελάχιστο έντασης αλλά $N-1$

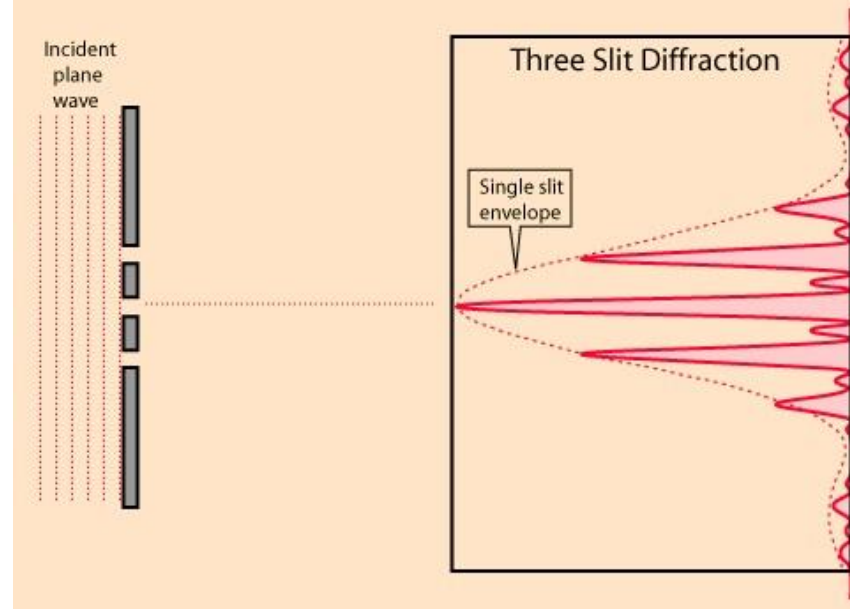
Three Slit Interference

Three Slit Interference

This will be modified by the single slit diffraction envelope.



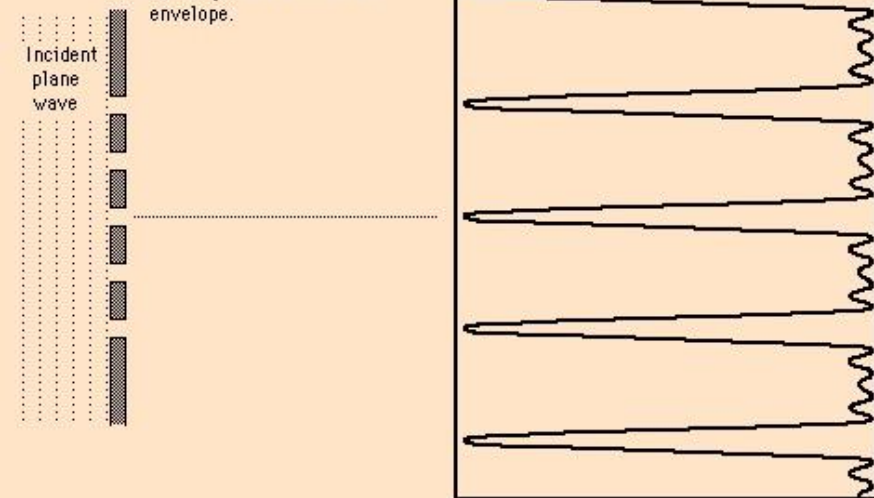
Three Slit Diffraction



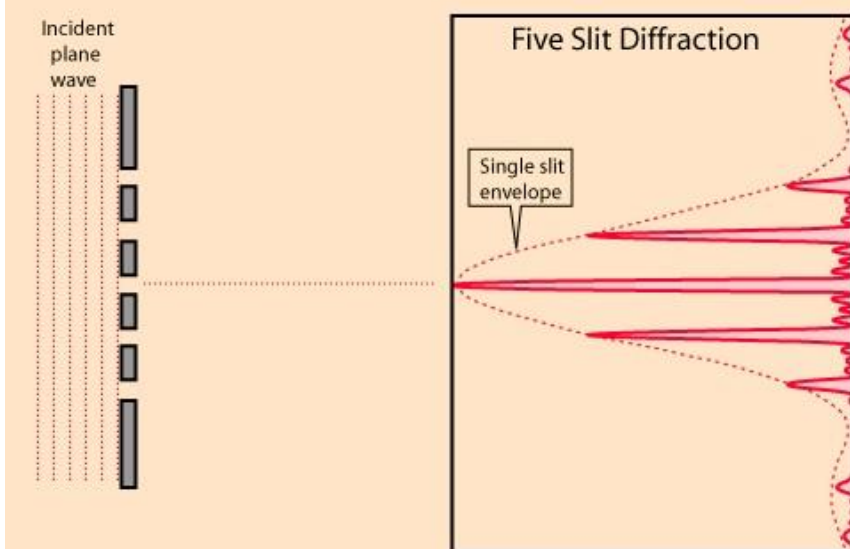
Five Slit Interference

Five Slit Interference

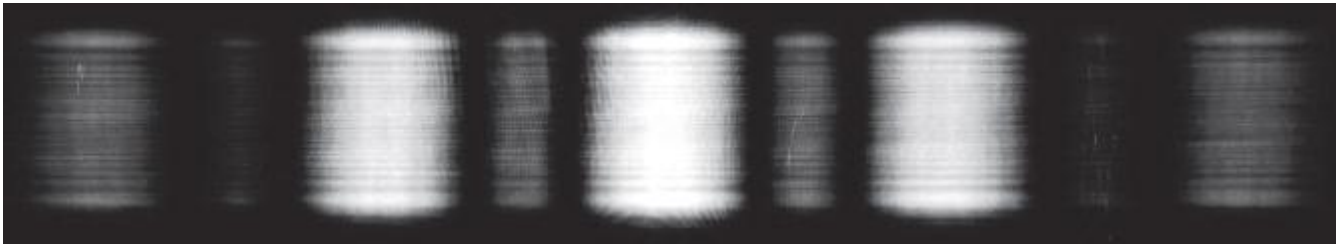
This will be modified by the single slit diffraction envelope.



Five Slit Diffraction



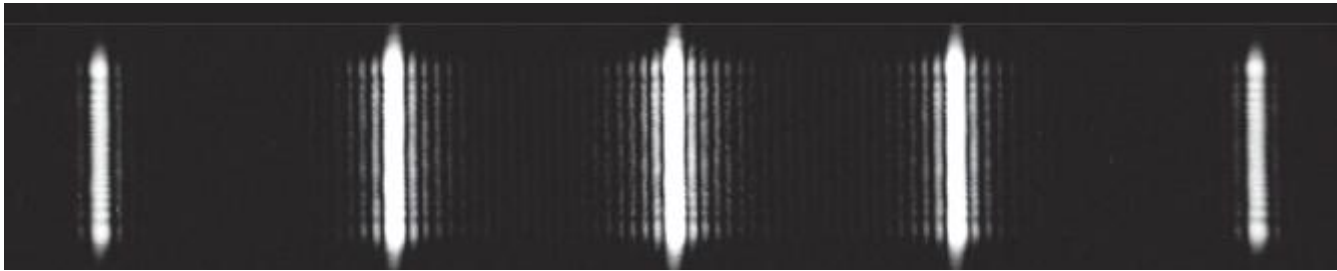
ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΛΕΠΤΕΣ ΣΧΙΣΜΕΣ



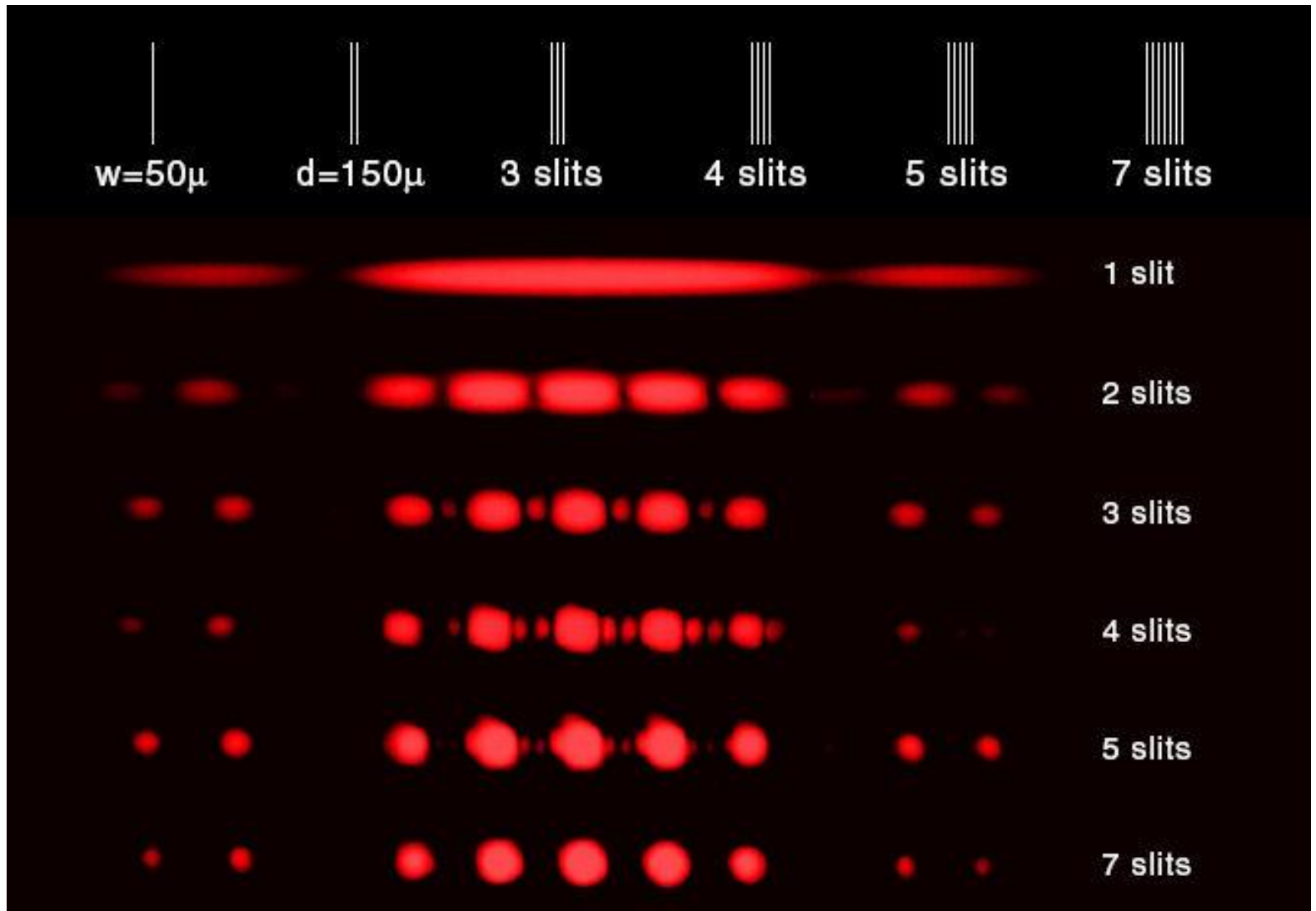
Περίθλαση από **3 σχισμές** όπου φαίνεται ένα δευτερεύον μέγιστο έντασης, ανάμεσα στα κύρια μέγιστα που παρατηρούνται και στην περίπτωση περίθλασης από δύο σχισμές.



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.



ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

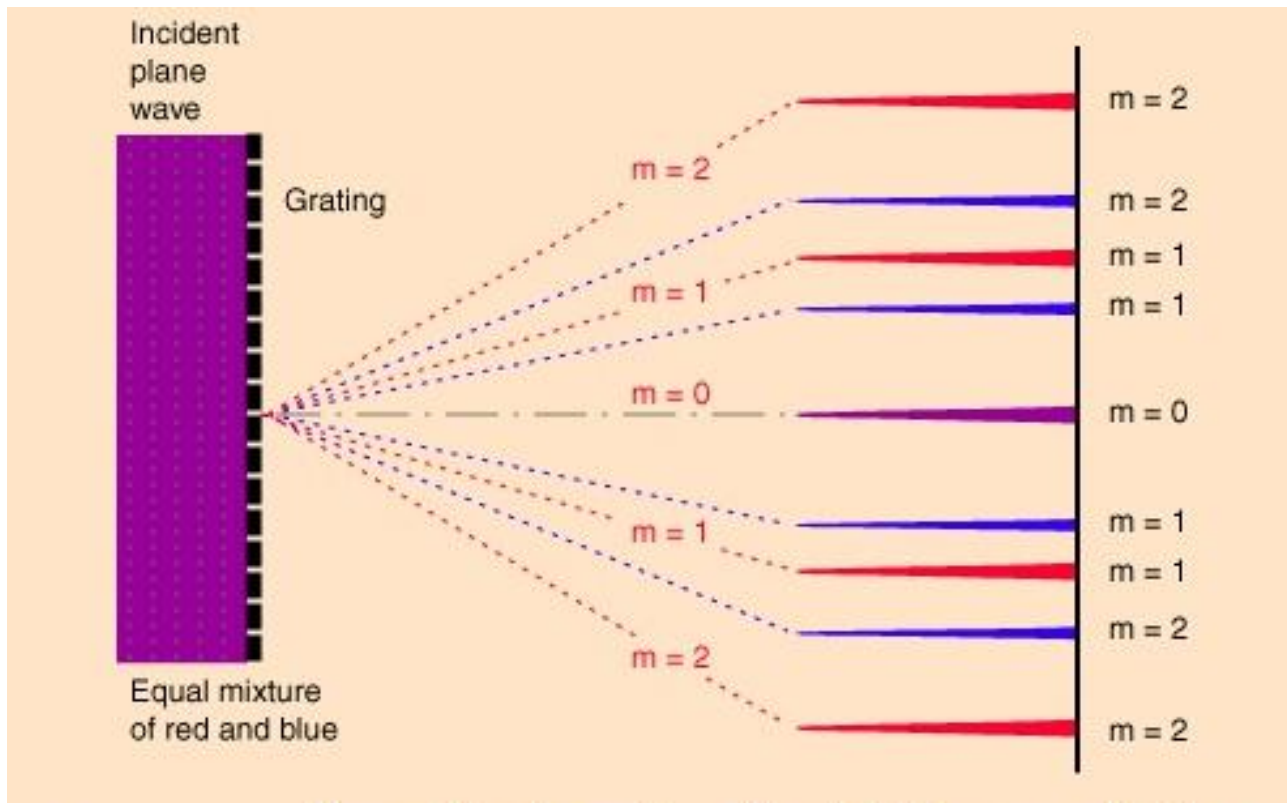
Συσκευές που έχουν μεγάλο πλήθος, πολύ στενών, σχισμών που διαχωρίζονται από αποστάσεις συγκρίσιμες με το μήκος κύματος του ορατού φωτός. Τα καλύτερα φράγματα για ορατό φως έχουν πάνω από 10.000 σχισμές ανά εκατοστό (ή αποστάσεις μεταξύ των σχισμών μικρότερες από 1 μm).

Τα φράγματα περίθλασης δίνουν πολύ οξείες κορυφές συμβολής και έτσι όταν πέσει σε αυτά μονοχρωματικό φως, όπως φως από λέιζερ, η εικόνα περίθλασης θα είναι μια σειρά από μικρές κηλίδες, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί στην τάξη συμβολής που περιγράφεται στην εξίσωση $d \sin\theta = m\lambda$.



ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

Η πρακτική χρησιμότητα των φραγμάτων περίθλασης βρίσκεται στην ικανότητά τους να αναλύουν πολυχρωματικό φως ως *αναλυτές φάσματος*. Σύμφωνα με την εξίσωση $d \sin\theta = m\lambda$, για δεδομένη απόσταση d μεταξύ των σχισμών ή για το αντίστροφο μέγεθος ($1/d$) που είναι γνωστό ως *σταθερά φράγματος* και εκφράζει τον αριθμό των σχισμών ανά μονάδα μήκους, διαφορετικά μήκη κύματος φωτός περιθλώνται σε διαφορετικές γωνίες.

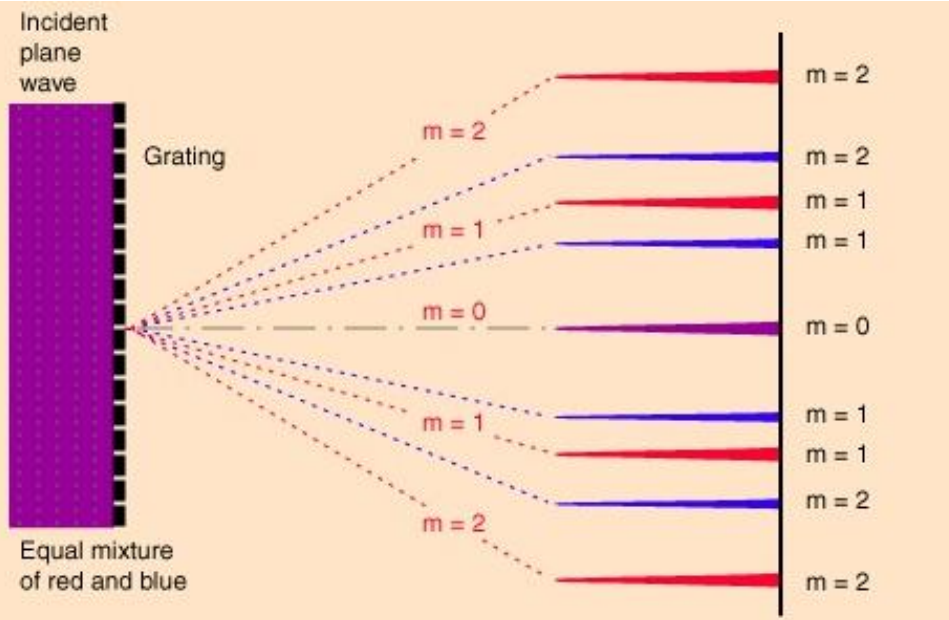


ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

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

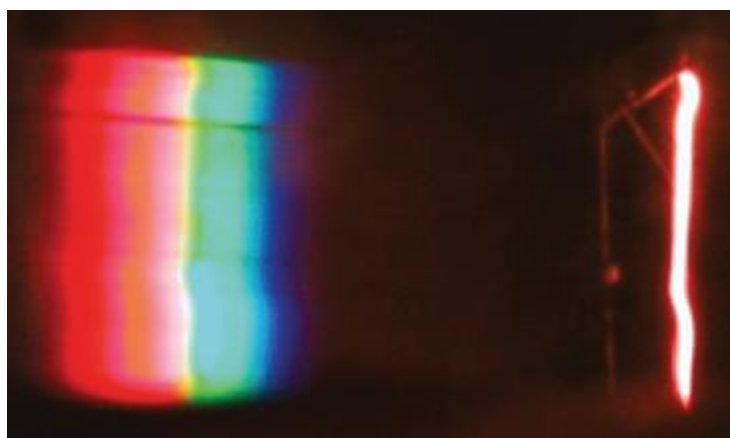
Σύμφωνα με την εξίσωση $d \sin\theta = m\lambda$, το φως με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος θα περιθλάται στις μεγαλύτερες γωνίες.

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)..



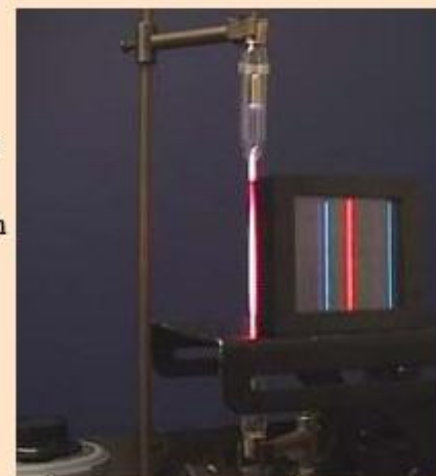
ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

Το φράγμα παράγει ένα ολόκληρο φάσμα στην περιοχή κάθε τάξης μεγίστου συμβολής, εκτός από το κεντρικό μέγιστο (μηδενική τάξη), όπου συμβαίνει υπέρθεση όλων των χρωμάτων. Στη φασματοσκοπία, το φως από μια πηγή, αφού ευθυγραμμίζεται, κατευθύνεται σε ένα φράγμα ώστε από την ανίχνευση του περιθλώμενου φωτός να αναλυθεί το φάσμα του.



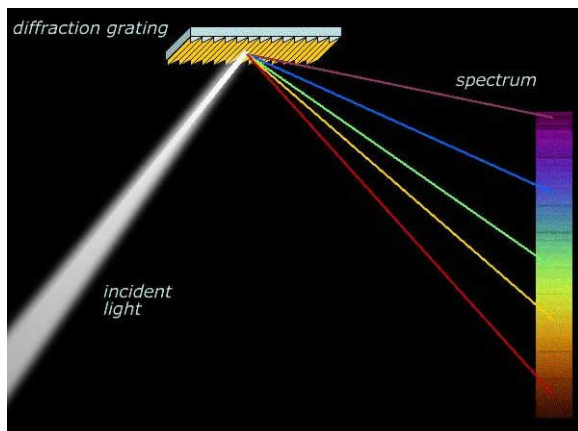
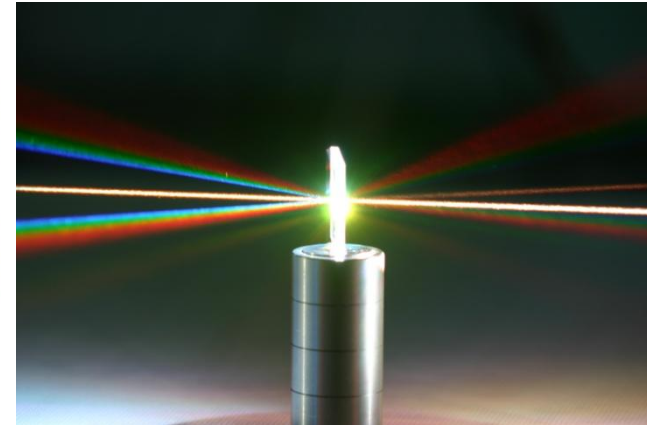
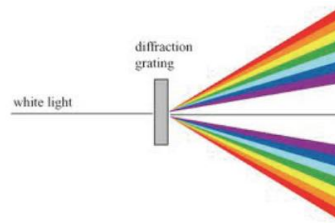
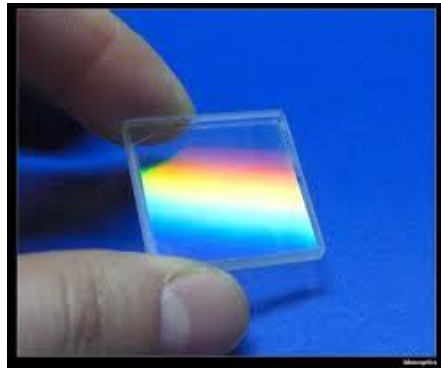
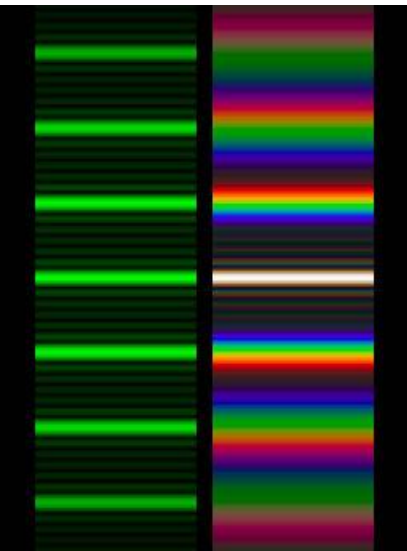
Διαμόρφωμα περίθλασης που σχηματίζεται όταν ένα φράγμα τοποθετηθεί μπροστά σε μια σχισμή που εκπέμπει λευκό φως. Στο σχήμα φαίνεται, αριστερά του κεντρικού μεγίστου φαίνεται το μέγιστο πρώτης τάξης όπου παρατηρείται ένα συνεχές φάσμα χρωμάτων.

The diffraction grating is an immensely useful tool for the separation of the spectral lines associated with atomic transitions. It acts as a "super prism", separating the different colors of light much more than the dispersion effect in a prism. The illustration shows the [hydrogen spectrum](#). The hydrogen gas in a thin glass tube is excited by an electrical discharge and the spectrum can be viewed through the grating.



ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τέτοιων οπτικών φραγμάτων: *φράγματα διέλευσης*, όπως αυτά που έχουμε εξετάσει ως τώρα και *φράγματα ανάκλασης*, κατασκευασμένα με πολλές λεπτές χαραγές πάνω σε κατοπτρική επιφάνεια.



The tracks of a compact disc act as a diffraction grating, producing a separation of the colors of white light. The nominal track separation on a CD is 1.6 micrometers, corresponding to about 625 tracks per millimeter. This is in the range of ordinary laboratory diffraction gratings. For red light of wavelength 600 nm, this would give a first order diffraction maximum at about 22° .