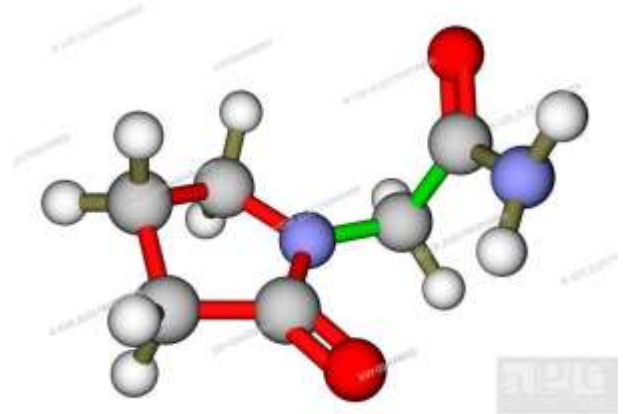
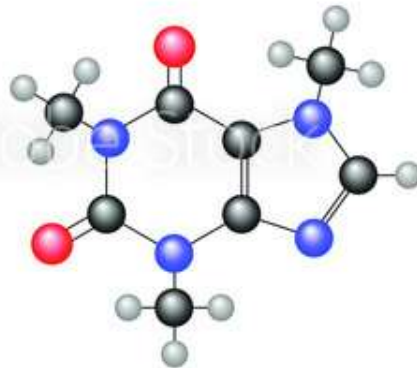
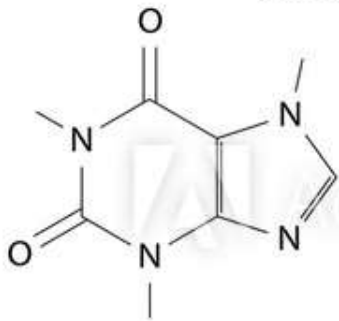


ΔΟΜΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

- Η σχετική διευθέτηση στον τρισδιάστατο χώρο των ατόμων από τα οποία αποτελείται το μόριο.
- Γνωρίζουμε τη δομή ενός μορίου όταν γνωρίζουμε τις σχετικές ατομικές θέσεις, δηλ., τη θέση κάθε ατόμου του, σε σχέση με όλα τα άλλα άτομα.

Caffeine



ΔΟΜΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

For structure elucidation a range of different methods are used. One has to distinguish between methods that elucidate solely the connectivity between atoms (constitution) and such that provide precise three dimensional information such as atom coordinates, bond lengths and angles and torsional angles. The latter methods include (mainly):

- for the gaseous state: **gas electron diffraction** and **microwave spectroscopy**
- for the liquid state: **NMR spectroscopy** (note, obtaining precise structural information from liquids and solutions is still rather difficult compared to gases and crystalline solids)
- for the solid state: **X-ray, electron and neutron diffraction**

To identify connectivity and the presence of functional groups a variety of methods of molecular spectroscopy and solid state spectroscopy can be used.

Cambridge Structural Database (CSD)

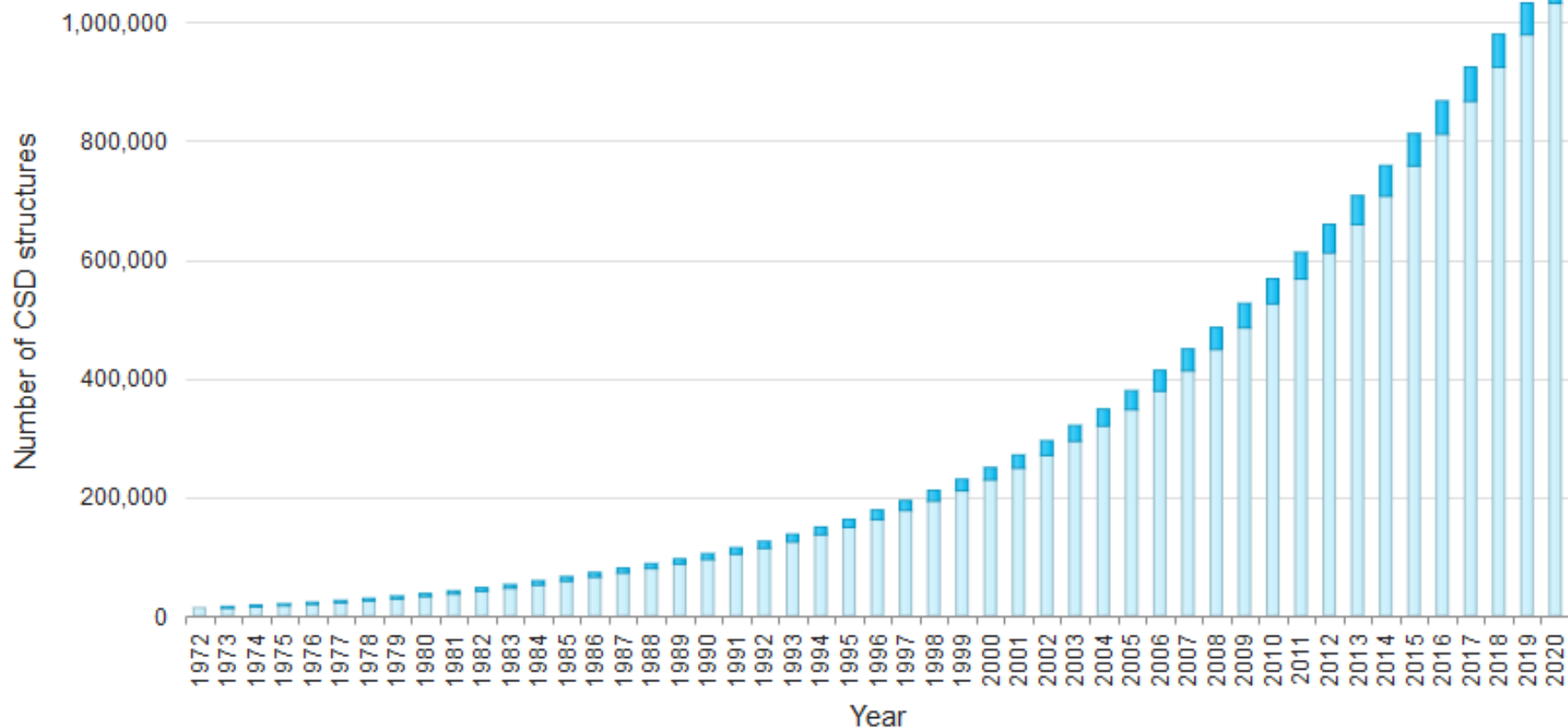
<https://www.ccdc.cam.ac.uk/>

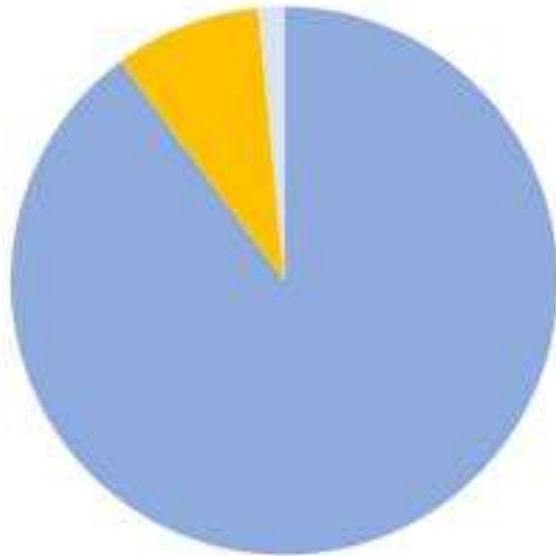
Big data leads the way for structural chemistry
The Cambridge Structural Database reaches 1,000,000 structures. [Find out more here.](#)

Daily CSD Total

1 0 5 6 0 3 2

CSD Growth





■ **Single crystal X-ray diffraction (SC-XRD)**

■ **Nuclear magnetic resonance (NMR)**

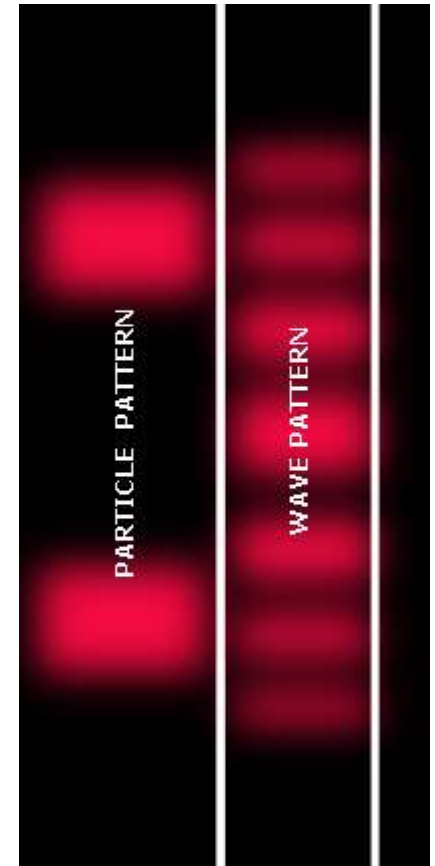
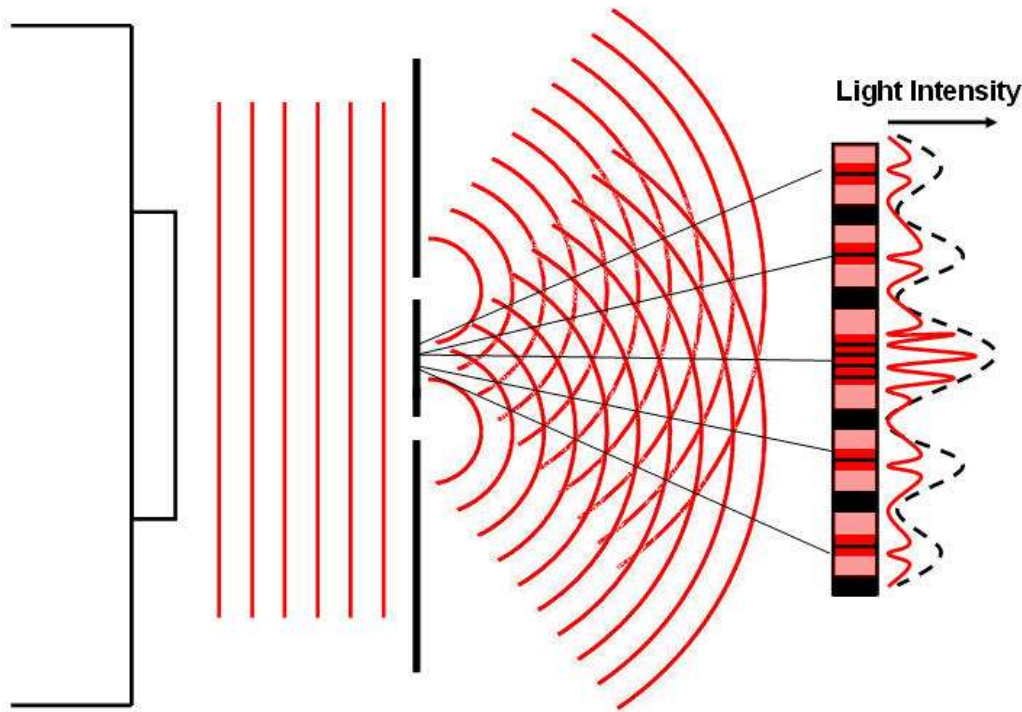
■ **Cryo-electron microscopy (Cryo-EM)**

According to the statistics of PDB (<https://www.rcsb.org/>), more than 120,000 protein structures resolved by SC-XRD, accounting for nearly 90% of the total. And there are about 12,000 protein structures obtained by NMR.

ΓΙΑΤΙ ΔΕΝ ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΔΟΥΜΕ ΤΑ
ΑΤΟΜΑ;

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Η κυματική φύση του φωτός: το πρόβλημα, η λύση



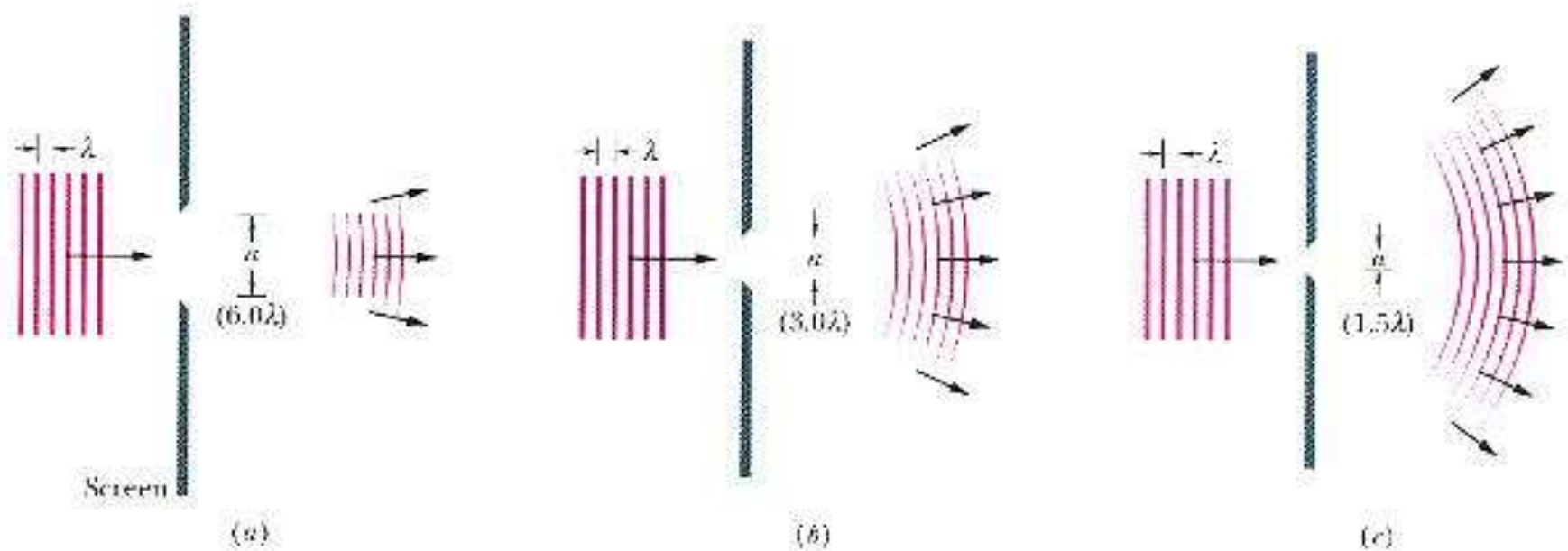
ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

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.



ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

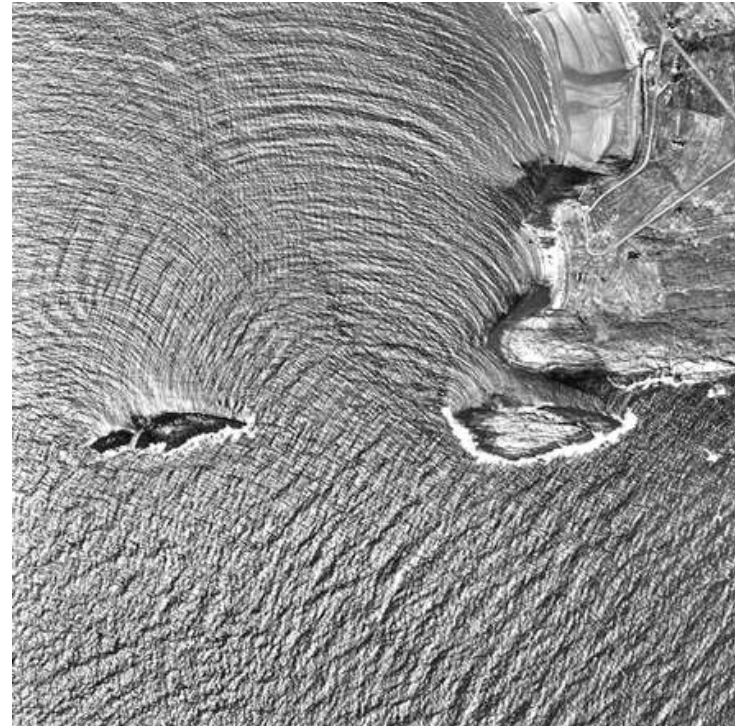
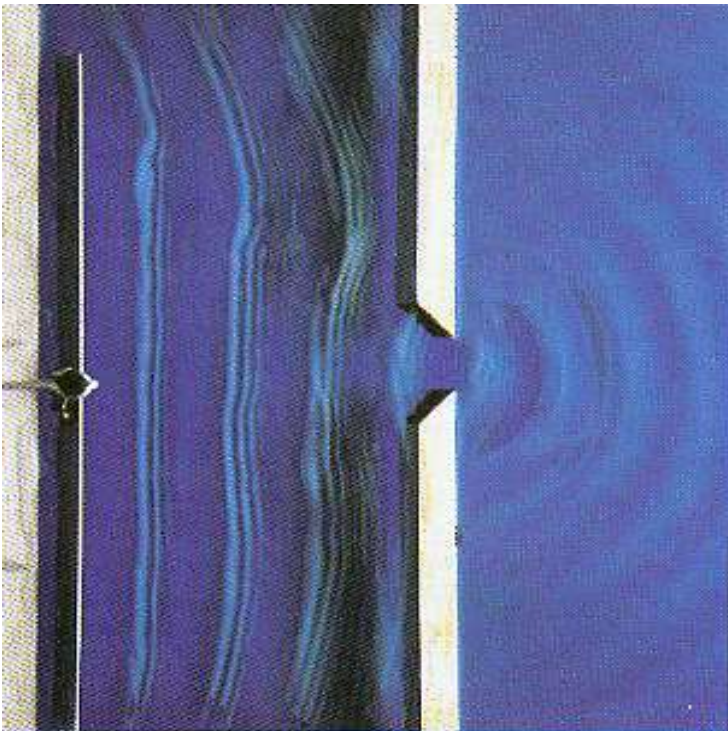


Όταν το φως διέρχεται από μία σχισμή της οποίας το μέγεθος προσεγγίζει ή είναι ακόμη μικρότερο από το μήκος κύματος του φωτός, παρατηρείται το φαινόμενο της **ΠΕΡΙ-ΘΛΑΣΗΣ** (δηλ. το φως «απλώνεται» περί της σχισμής)

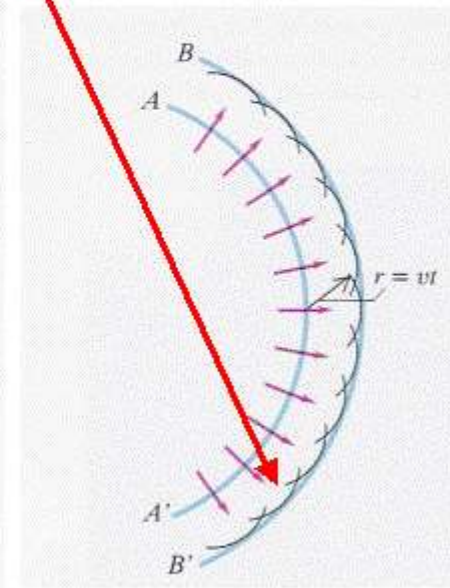
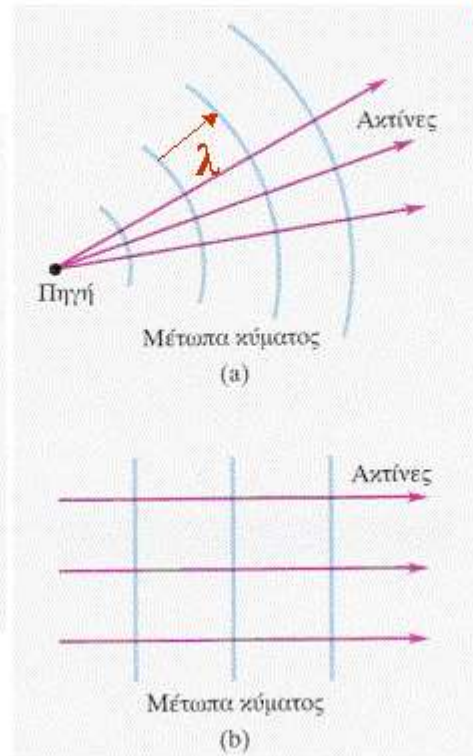
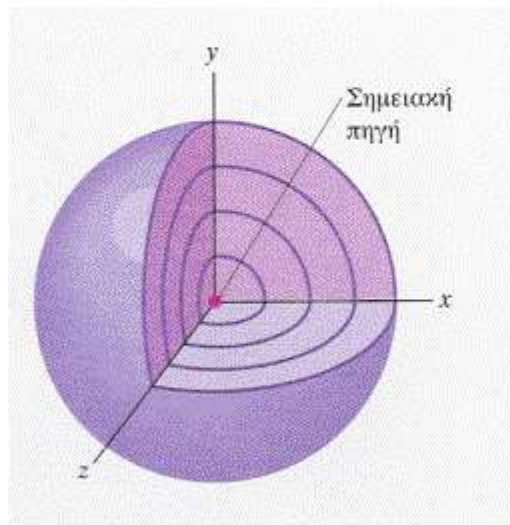
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

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

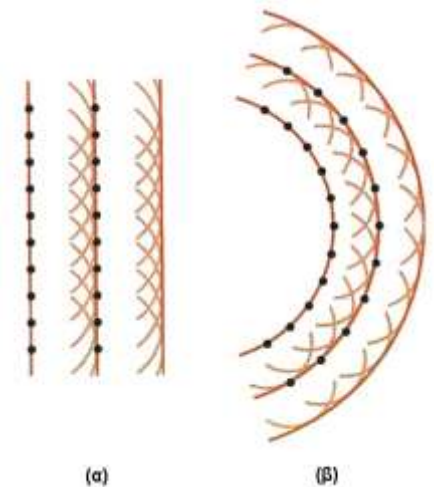
Το φαινόμενο της περίθλασης είναι ένα κυματικό φαινόμενο και μόνον



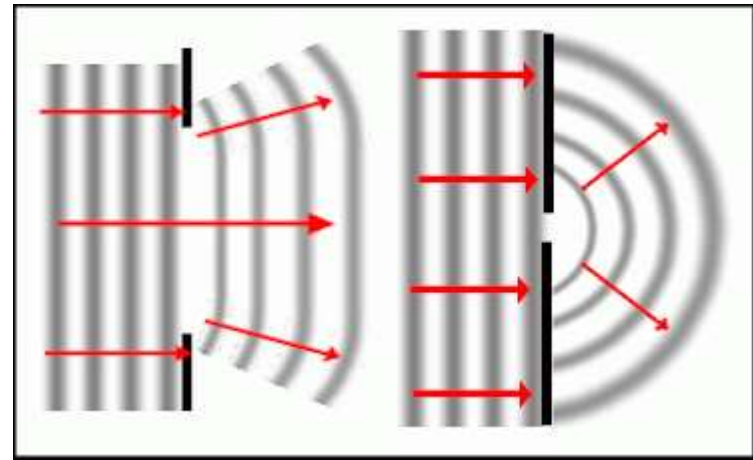
Αρχή Huygens



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».



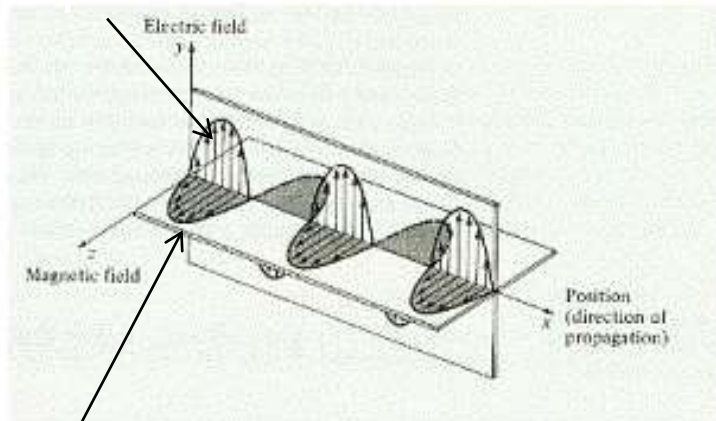
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ: Απόκλιση από την ευθύγραμμη πορεία του φωτός λόγω επαλληλίας κυμάτων



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

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

Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα



Phet: Radio_Waves_and_Electromagnetic_Fields

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

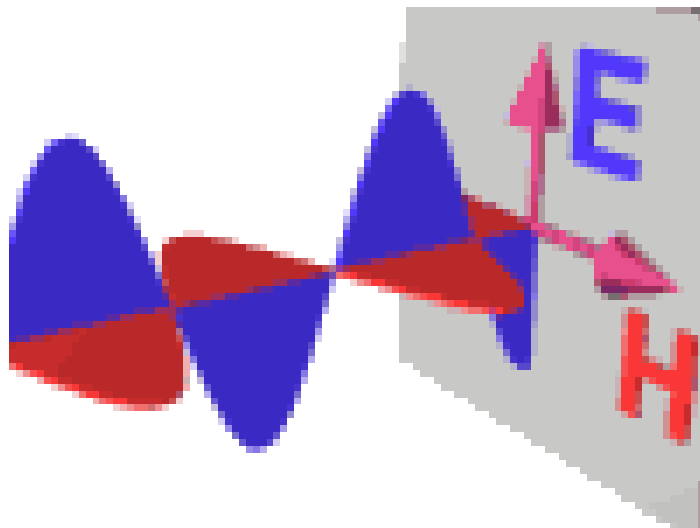
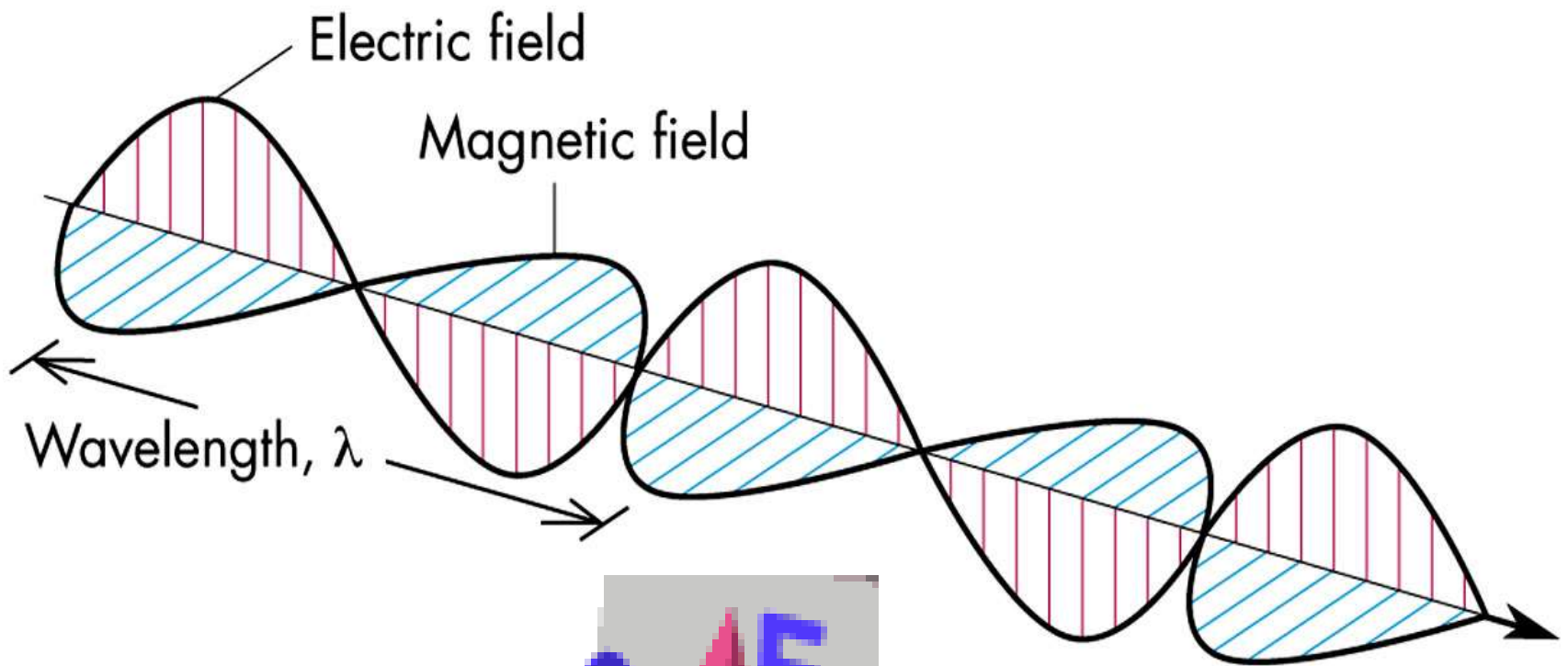
Κάθετα ταλαντούμενα
κύματα πεδίου σε φάση

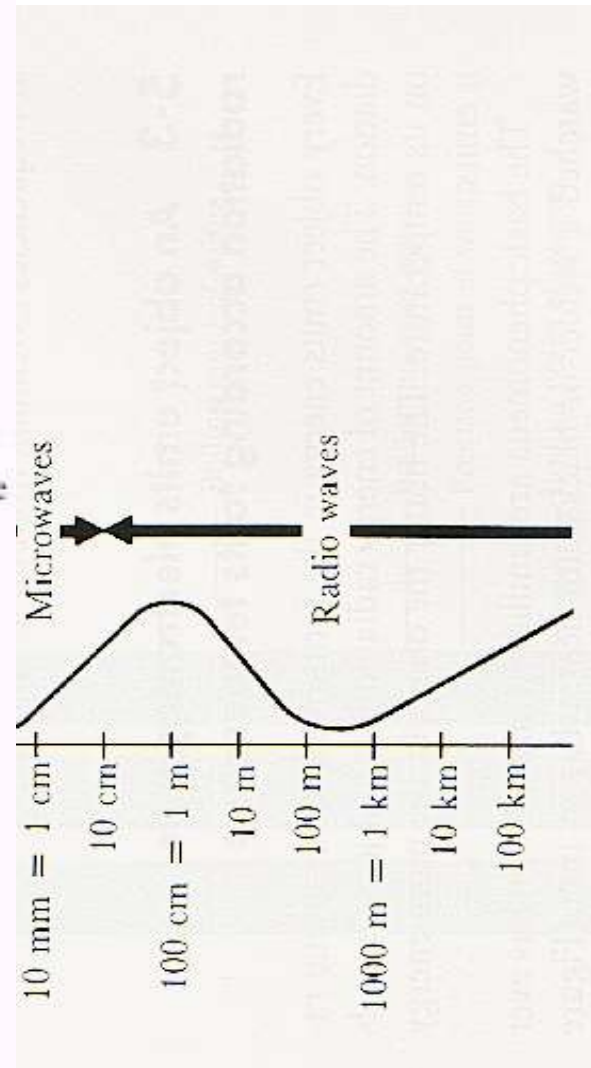
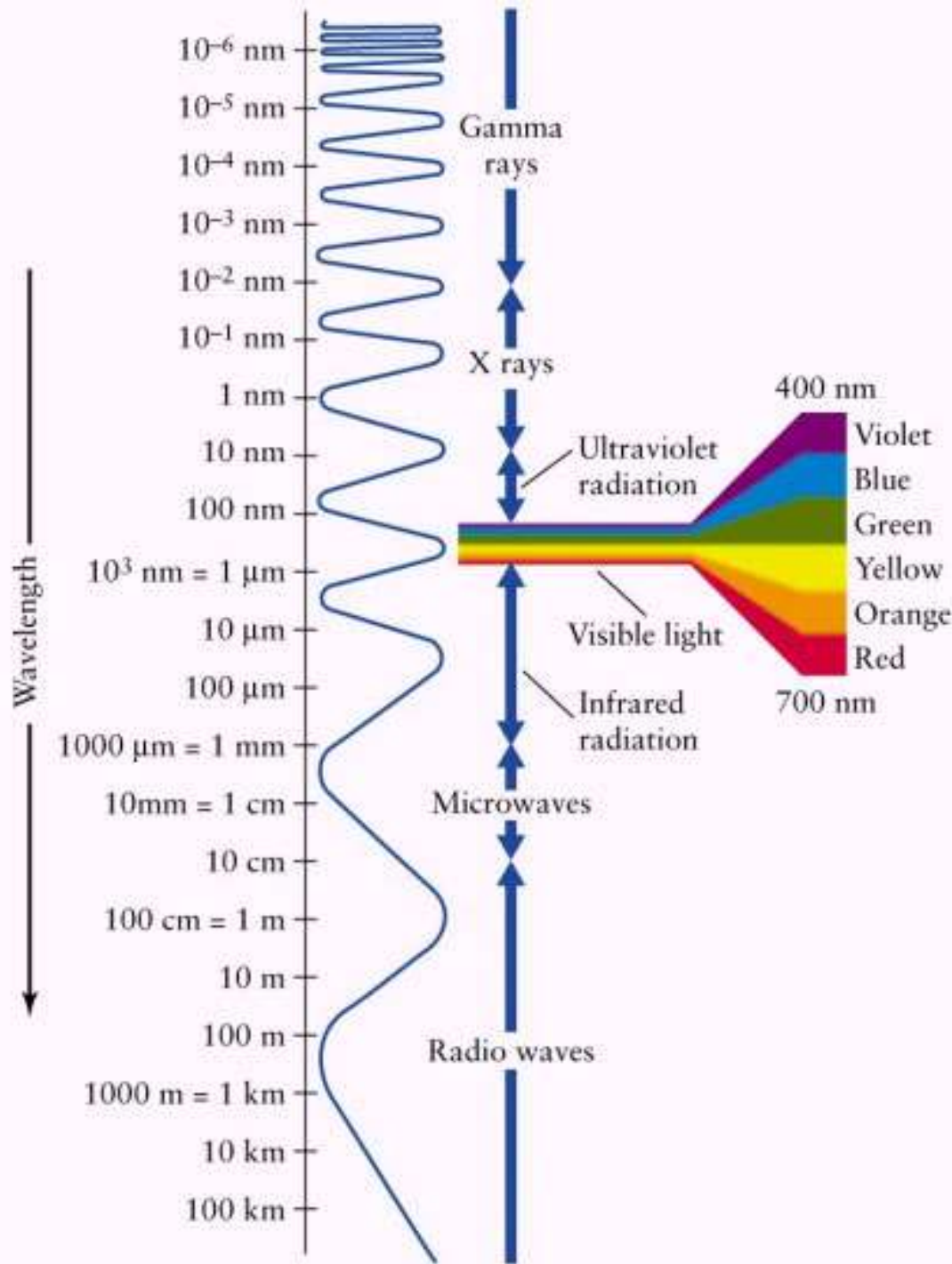
$$c = f \lambda$$

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα
είναι εγκάρσια.

Η ένταση I είναι ανάλογη του E^2







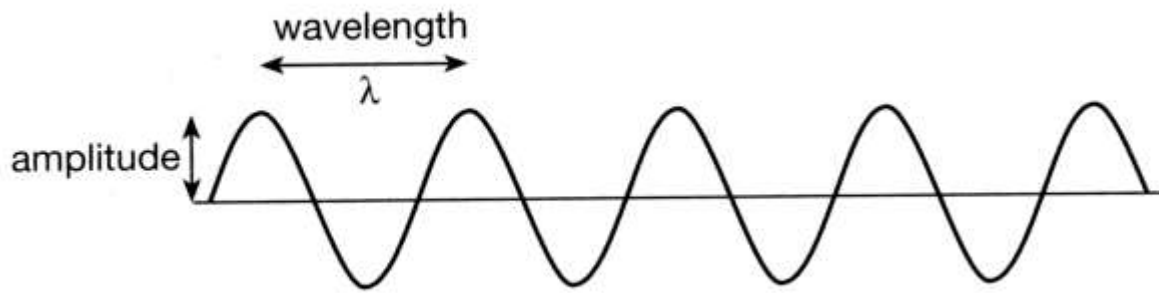
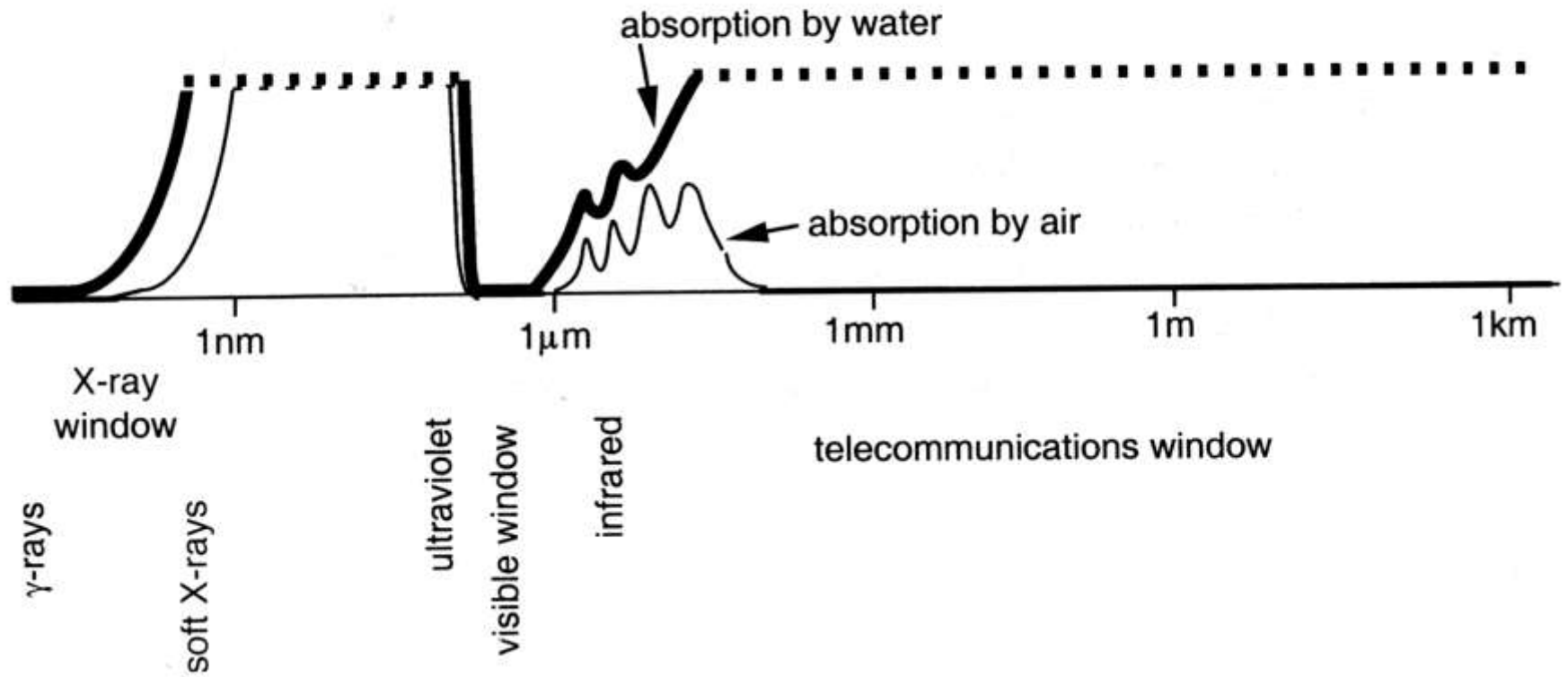


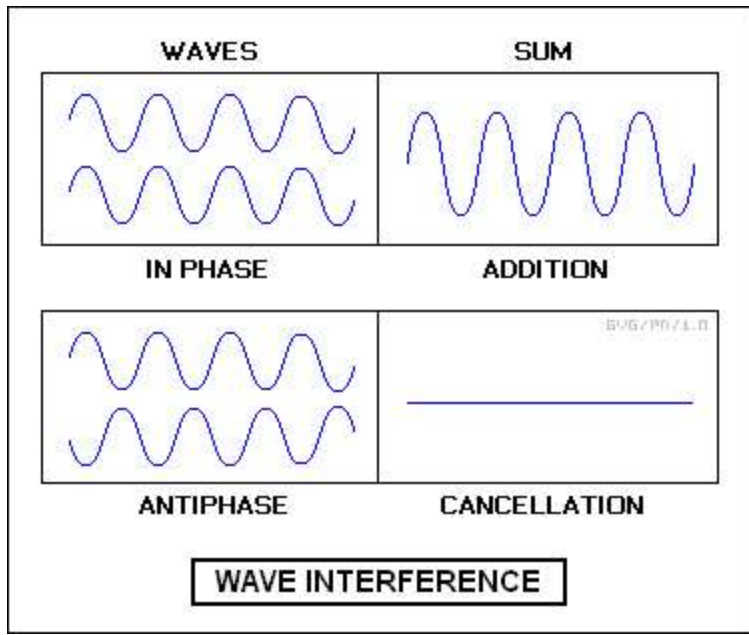
Fig. 1.1 A sinusoidal wave, showing wavelength and amplitude.



Επαλληλία κυμάτων

Διαφορά φάσης $\Delta\phi=0^\circ$

$\Delta\phi=180^\circ$



Ενίσχυση

Απόσβεση

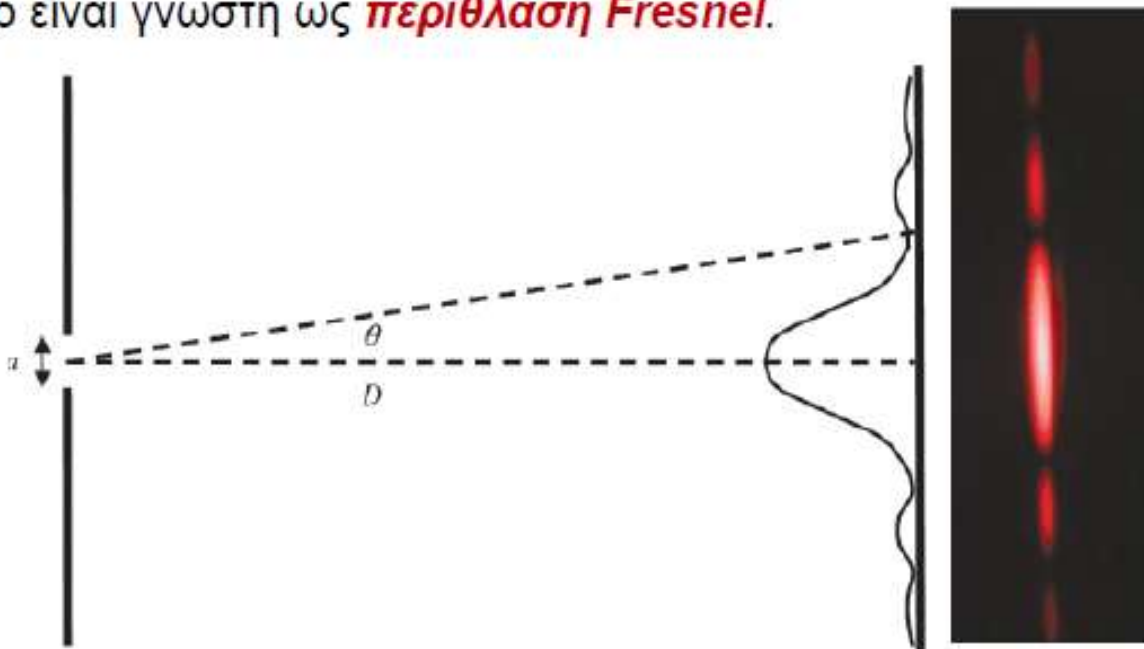


ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

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).

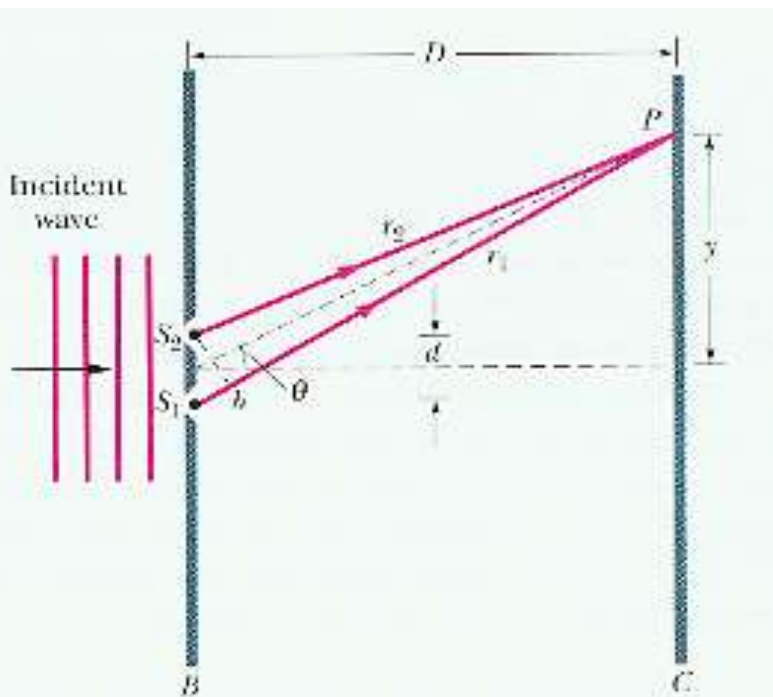
Αν το πέτασμα ήταν κοντά στη σχισμή, το διαμόρφωμα της περίθλασης πάνω του θα ήταν πιο πολύπλοκο και μαθηματικά πιο δύσκολο να αναλυθεί. Η μελέτη της περίθλασης στο εγγύς πεδίο είναι γνωστή ως **περίθλαση Fresnel**.



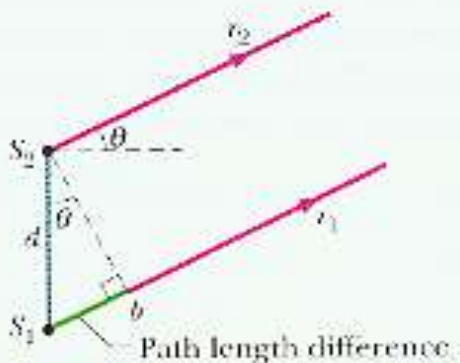
Συμβολή



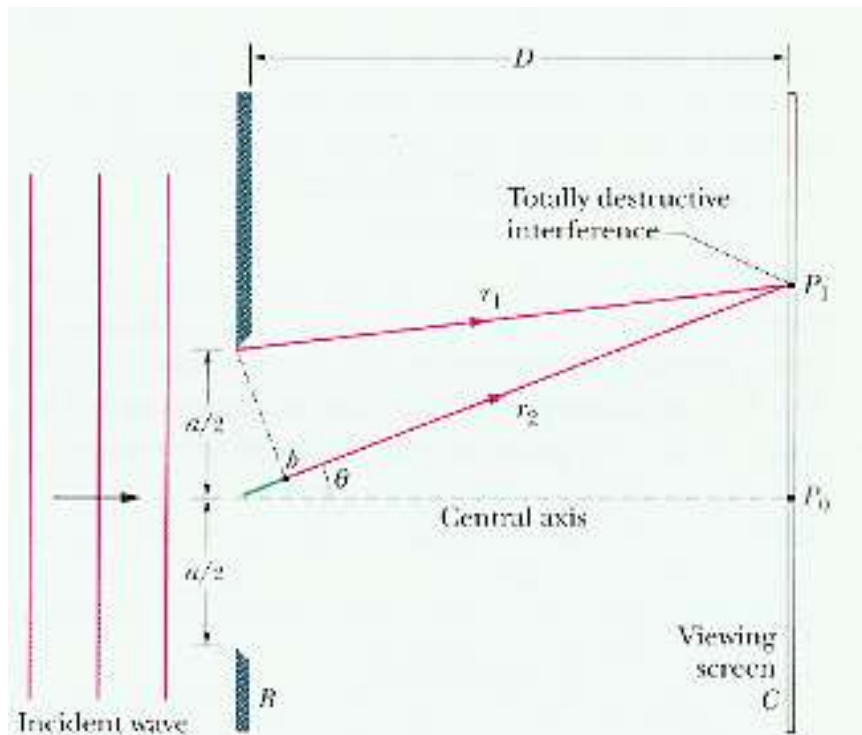
Περίθλαση



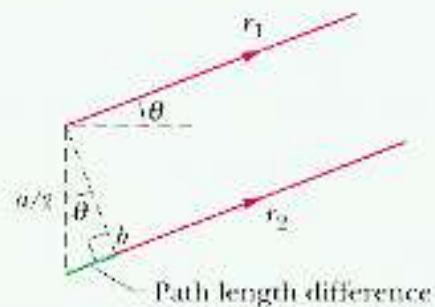
(a)



(b)



(a)



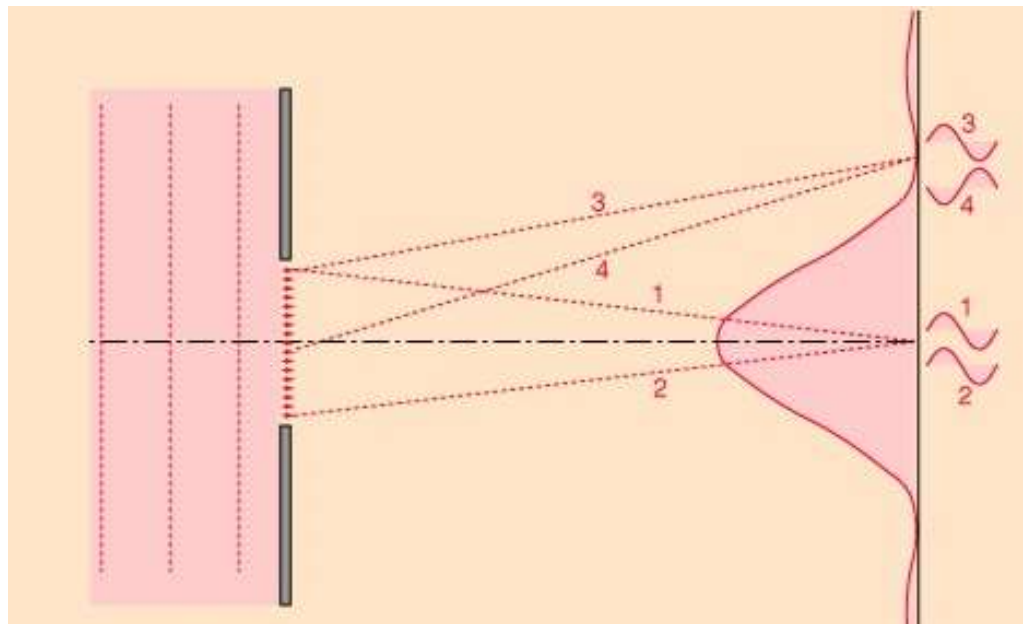
(b)

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.

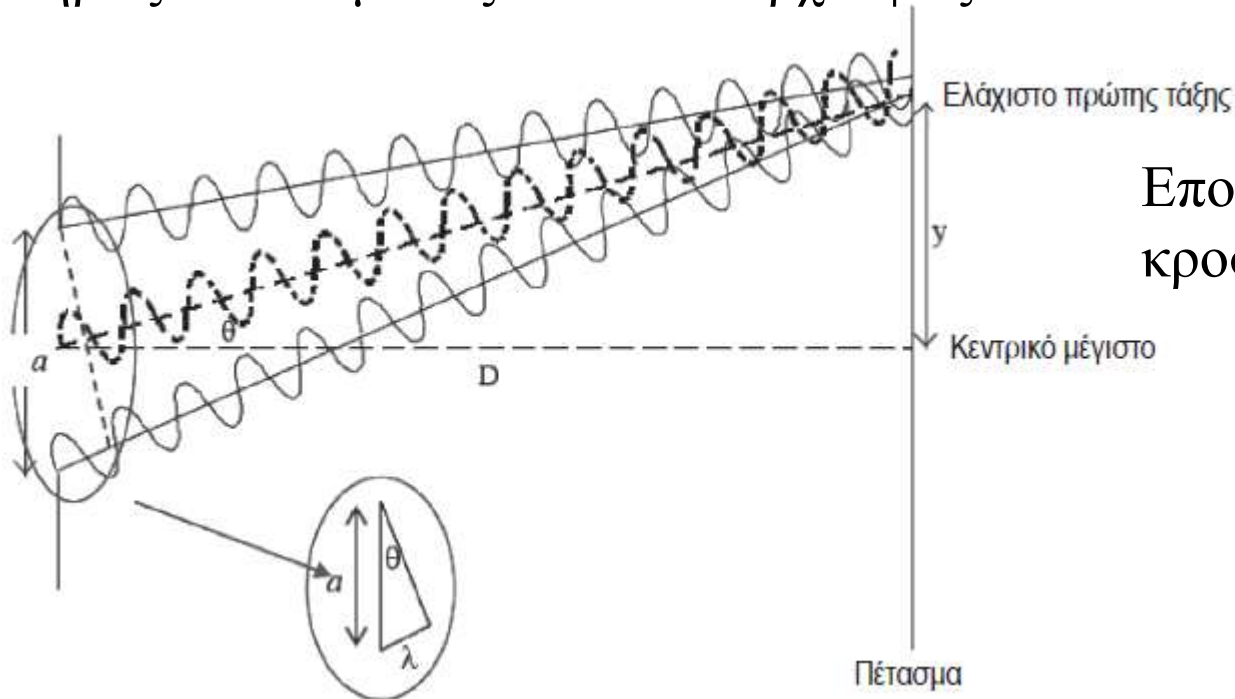
Οι ακτίνες που διαδίδονται παράλληλα στον οπτικό άξονα παραμένουν σε φάση και παράγουν ένα φωτεινό κεντρικό μέγιστο.

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:

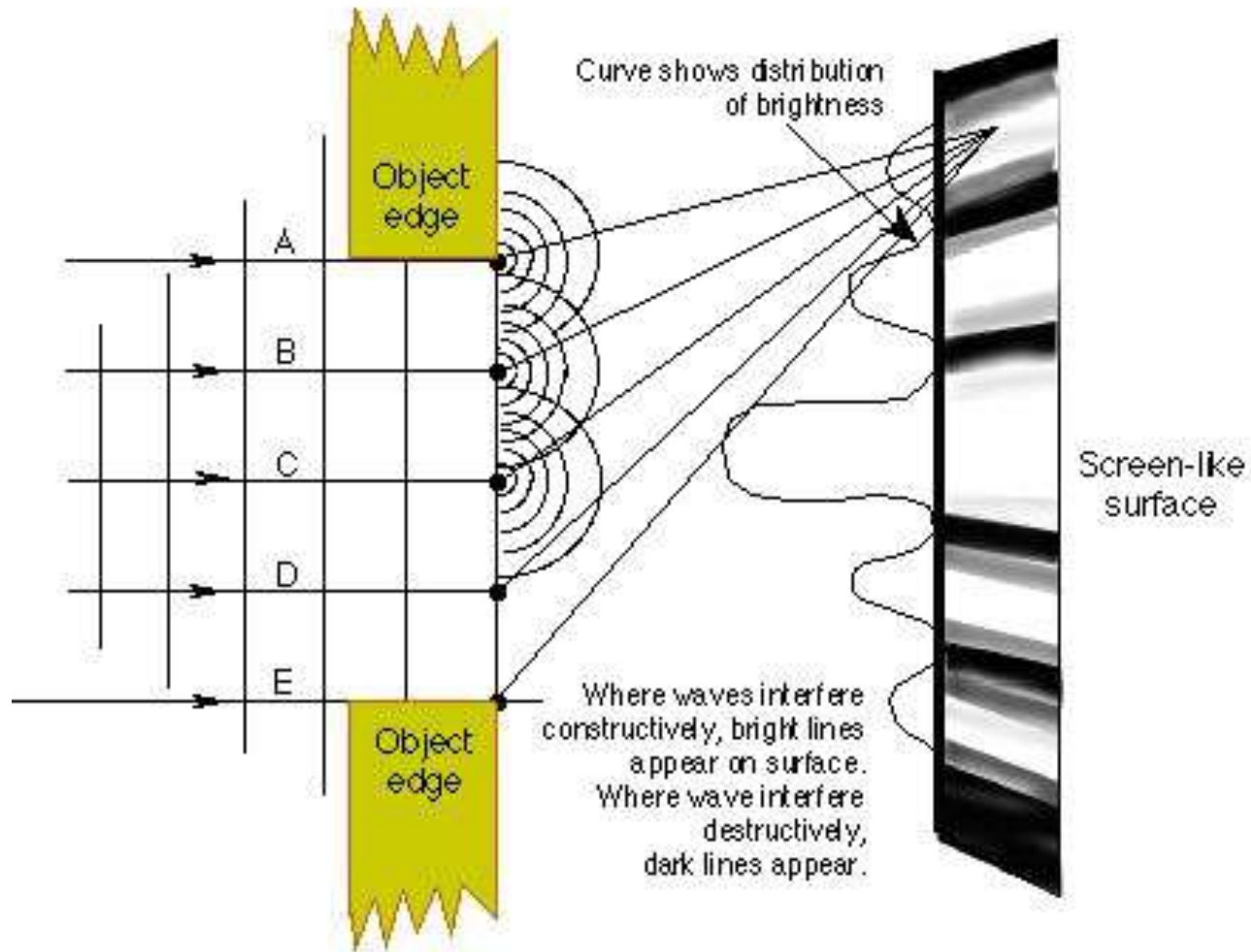
$$\frac{a}{2} \sin \theta = \pm m \frac{\lambda}{2}$$

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

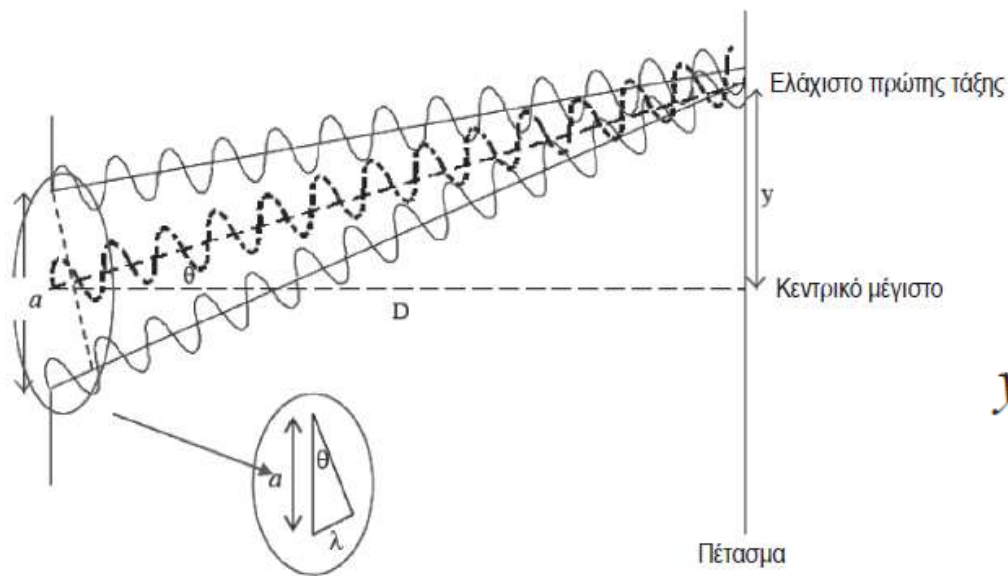
$$\text{ή} \\ \sin \theta = \pm m \frac{\lambda}{a}$$

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

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

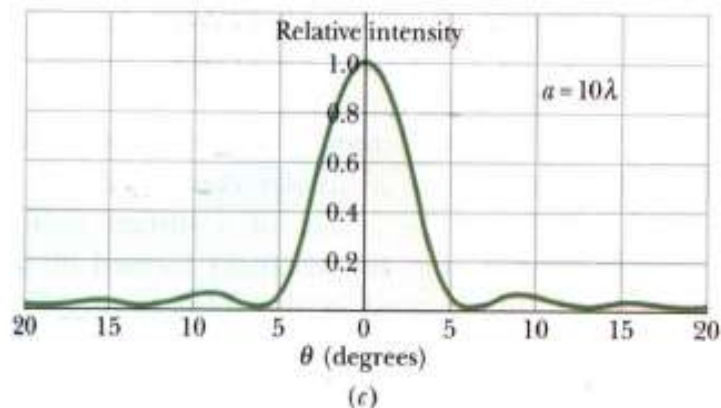
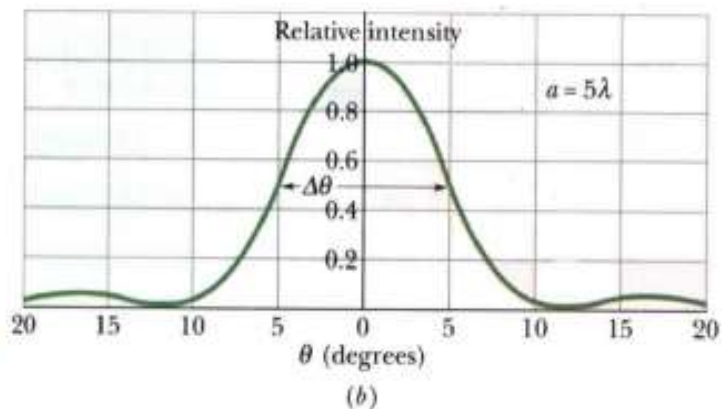
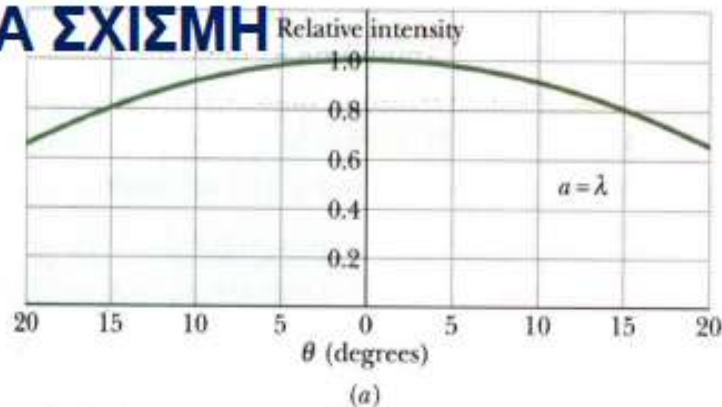
Για μικρές γωνίες ($\sin \theta \sim \theta$) το γωνιακό άνοιγμα του διαμορφώματος περίθλασης είναι αντιστρόφως ανάλογο του λόγου του εύρους της σχισμής a προς το μήκος κύματος λ .

$$\theta = \lambda/a$$

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.

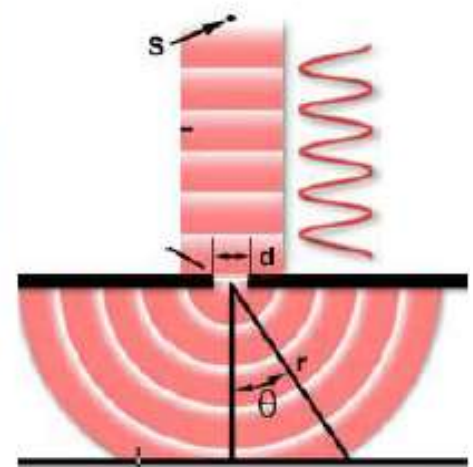
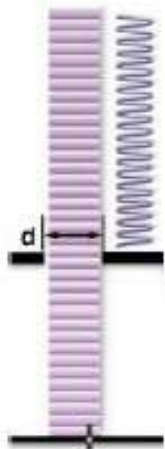
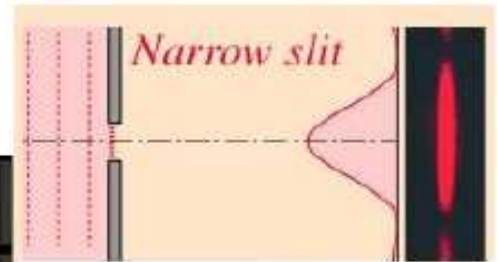
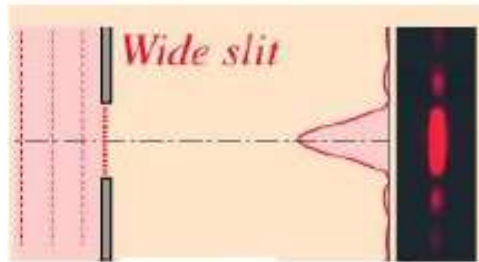
Αν το a είναι μικρότερο του λ , το κεντρικό μέγιστο έχει γωνιακό άνοιγμα 180° και η γωνία περίθλασης δεν είναι δυνατό ούτε καν να παρατηρηθεί.



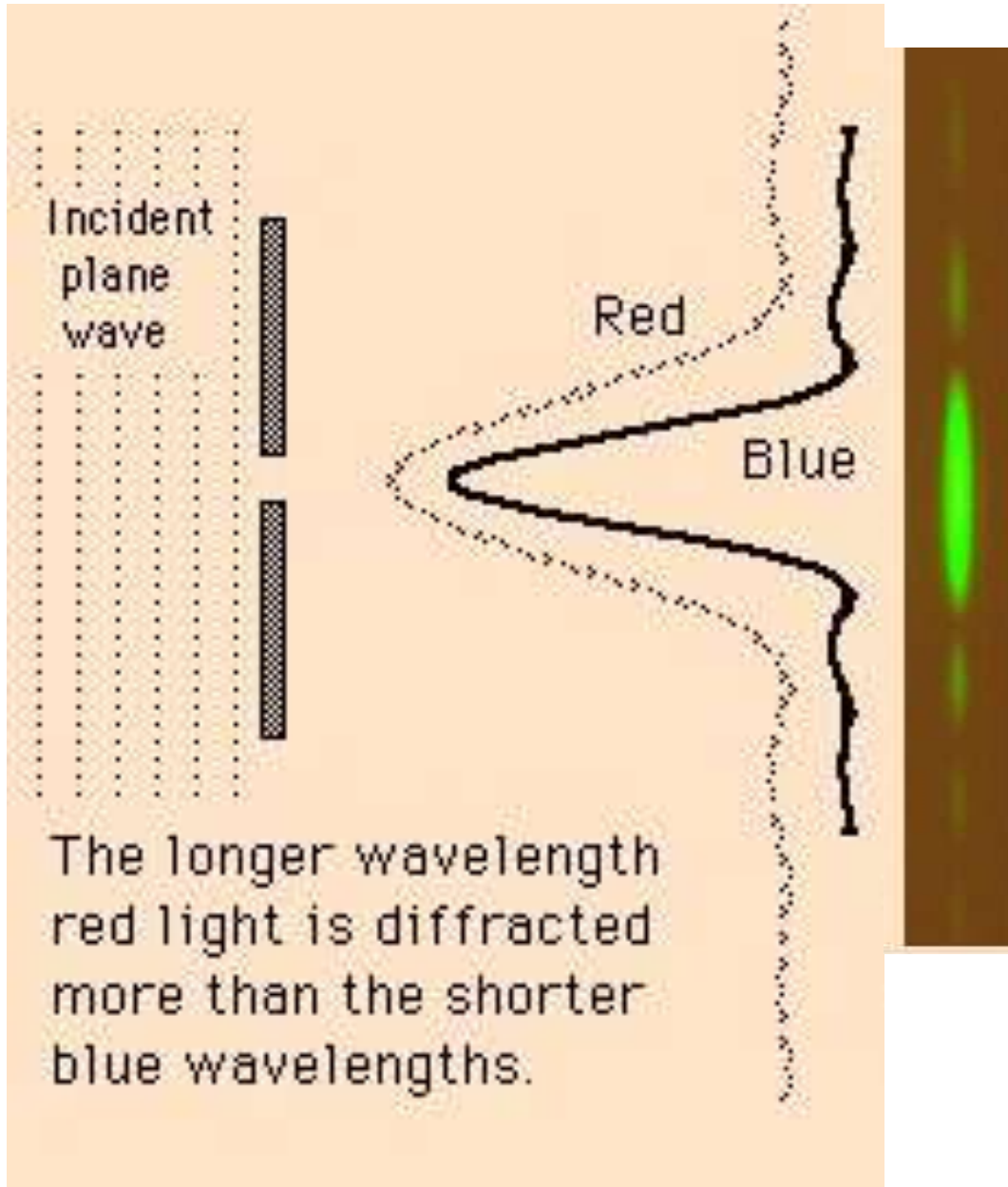
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

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

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

Παλμός

Μήκος κύματος

Πλάτος

Δείξε την γραφική παράσταση

Διάγραμμα

Μετροταινία

Χρονόμετρο

Πρόσθεσε ανιχνευτή

Επαναφορά όλων

Περιστροφή

Κορυφή Ώση

One Light

Two Lights

Απόσταση

Χωρίς φράγμα

Μία σχισμή

Δύο σχισμές

Πλάτος σχισμής

Θέση φράγματος

Διαχωρισμός σχισμής

Πρόσθεσε καθρέφτη

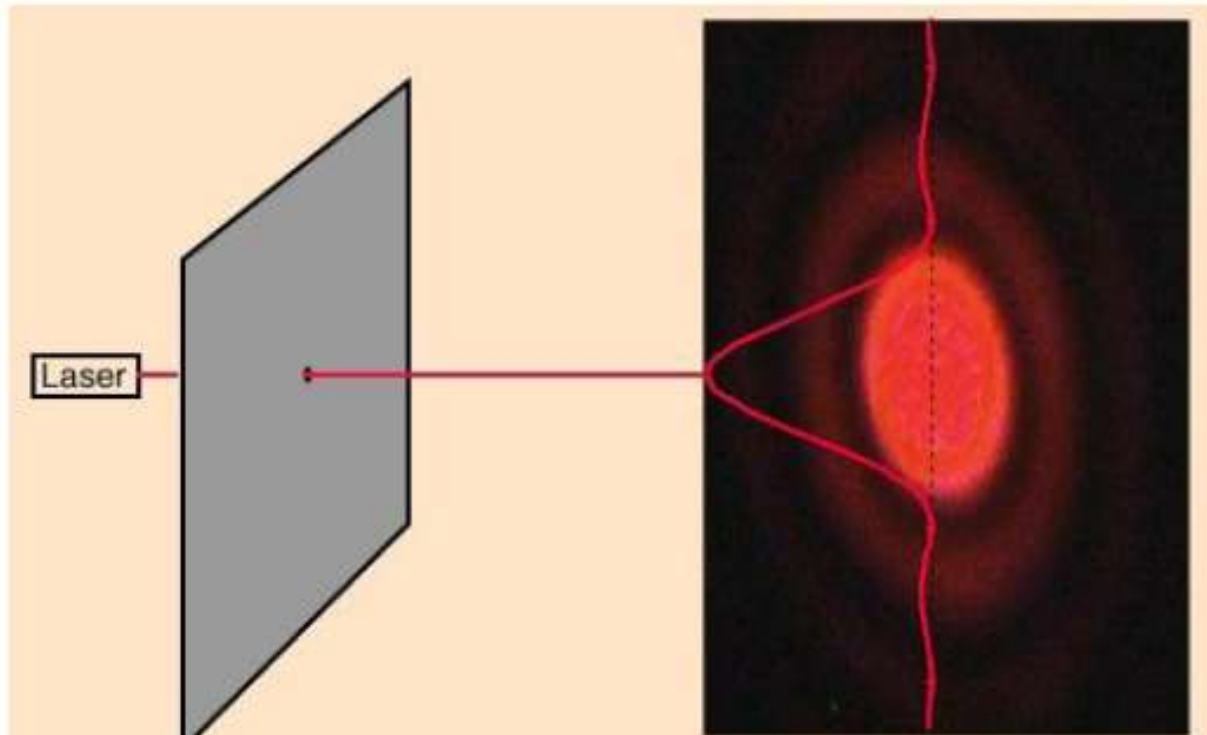
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ

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

1	1.220	1.635
2	2.233	2.679
3	3.238	3.69

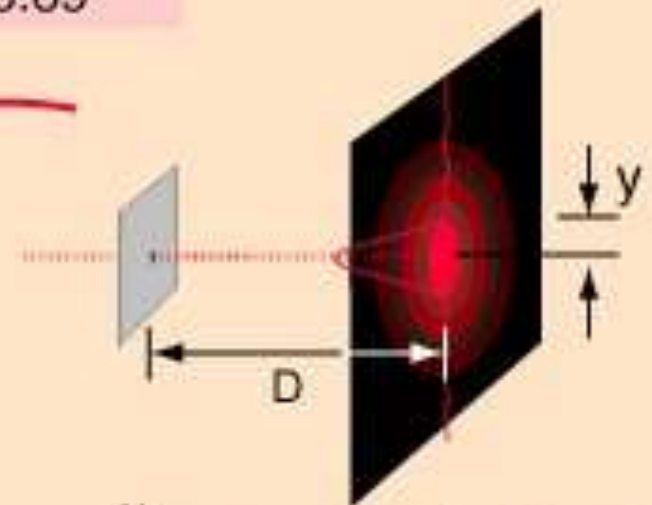
$$y \approx D \frac{m\lambda}{d} \text{ for maxima and minima}$$

Relative
Intensity
0.0175

Relative
Intensity
0.0042

Relative
Intensity
0.00078

→ y



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

for small angles θ

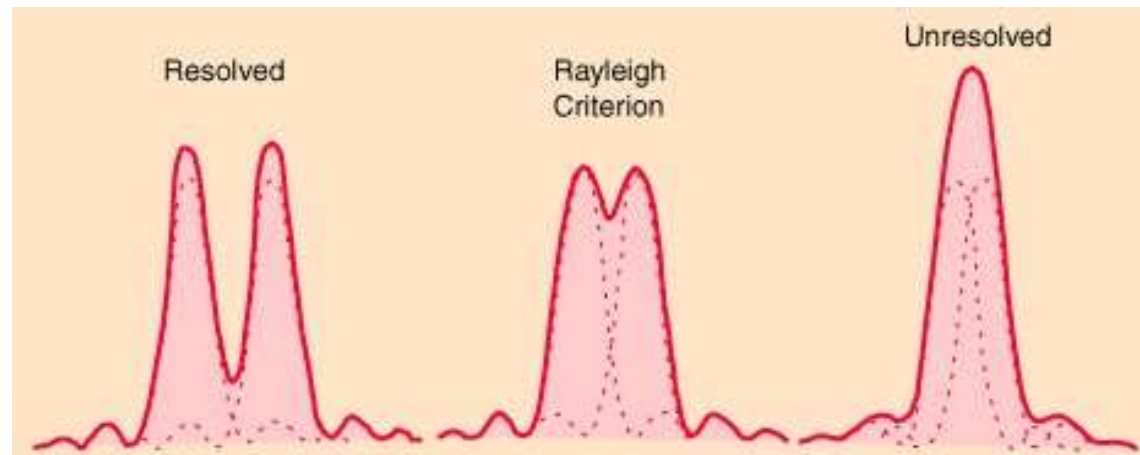
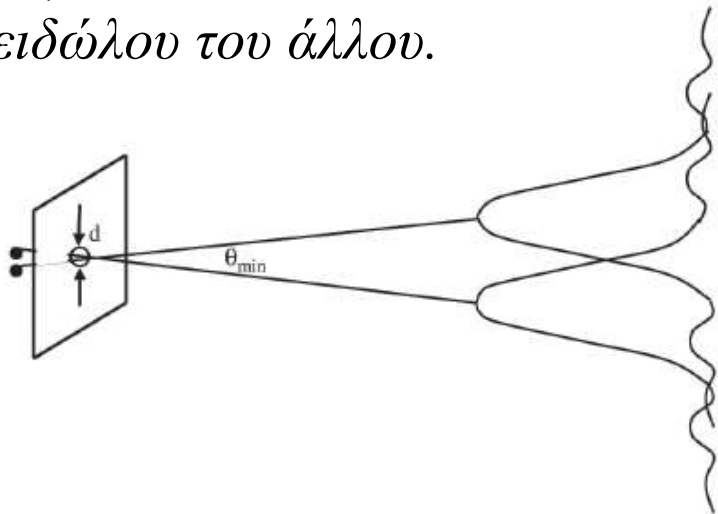
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑ (RESOLUTION)

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.



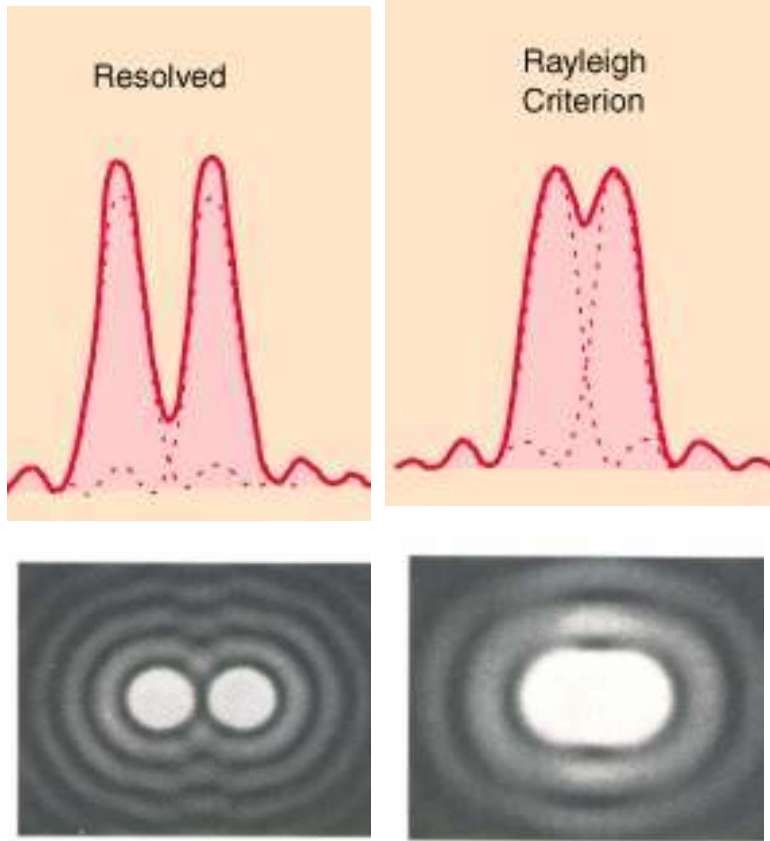
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

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:

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

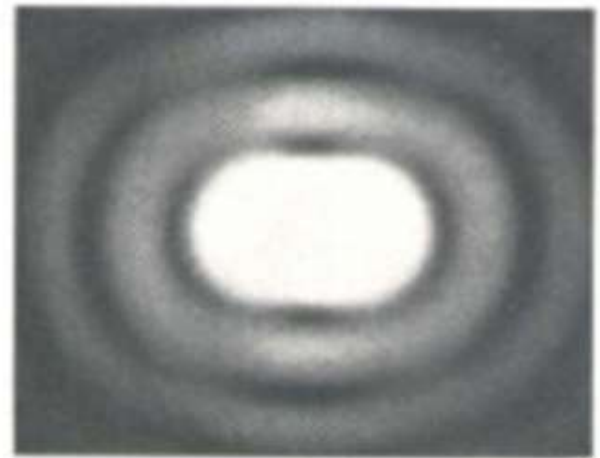
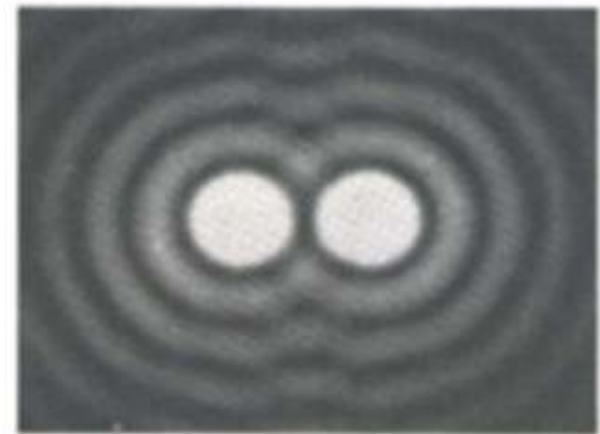
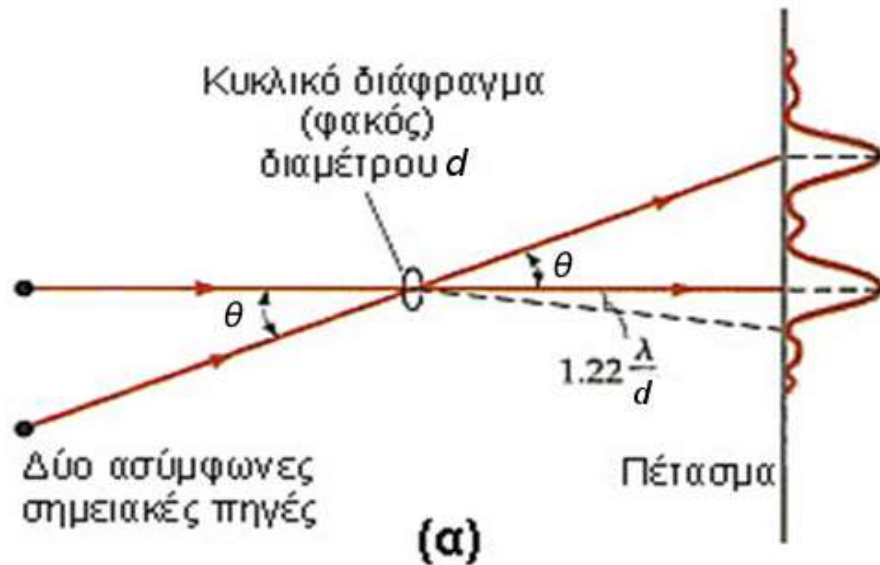
και επομένως: θ μικρό, $\sin \theta_m \approx \theta_m$ (rad) $\theta_m = \frac{\lambda}{a}$

Αυτό είναι το όριο διάκρισης (γωνιακή διακριτότητα) δύο ειδώλων από μια σχισμή εύρους a

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Περιορισμός της διακριτότητας

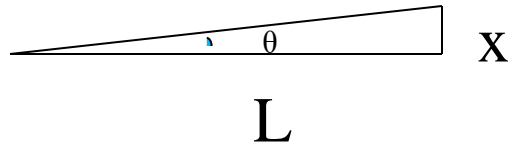
Κριτήριο Rayleigh - Κυκλικό άνοιγμα διαμέτρου d



(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 ότι το φως έχει μήκη κύματος μεταξύ 400 nm και 800 nm.



ΛΥΣΗ

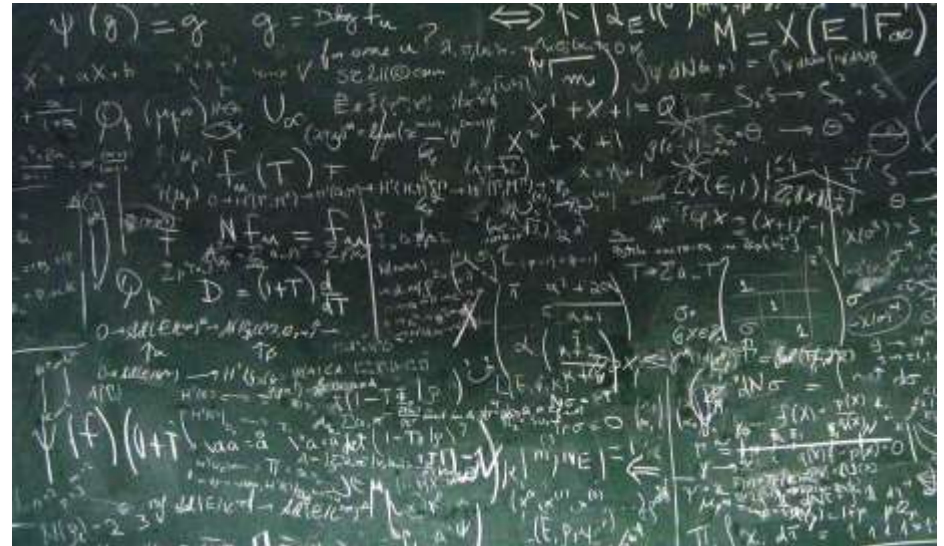
$$\sin\theta = 1,22 \cdot \lambda / D$$

Το όριο διακρ. ικανότητας θα είναι μικρότερο για $\min \lambda$ (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

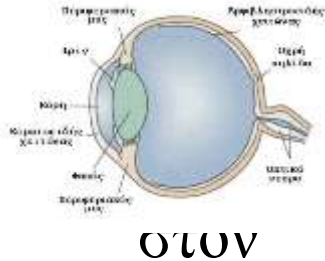


ΑΣΚΗΣΗ

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

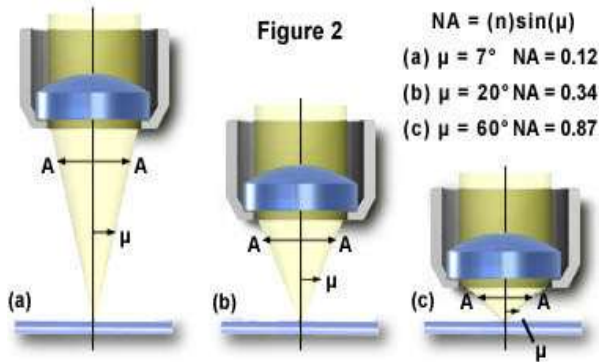
Ελάχιστη απόσταση ώστε να είναι διακριτά δύο αντικείμενα

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



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

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

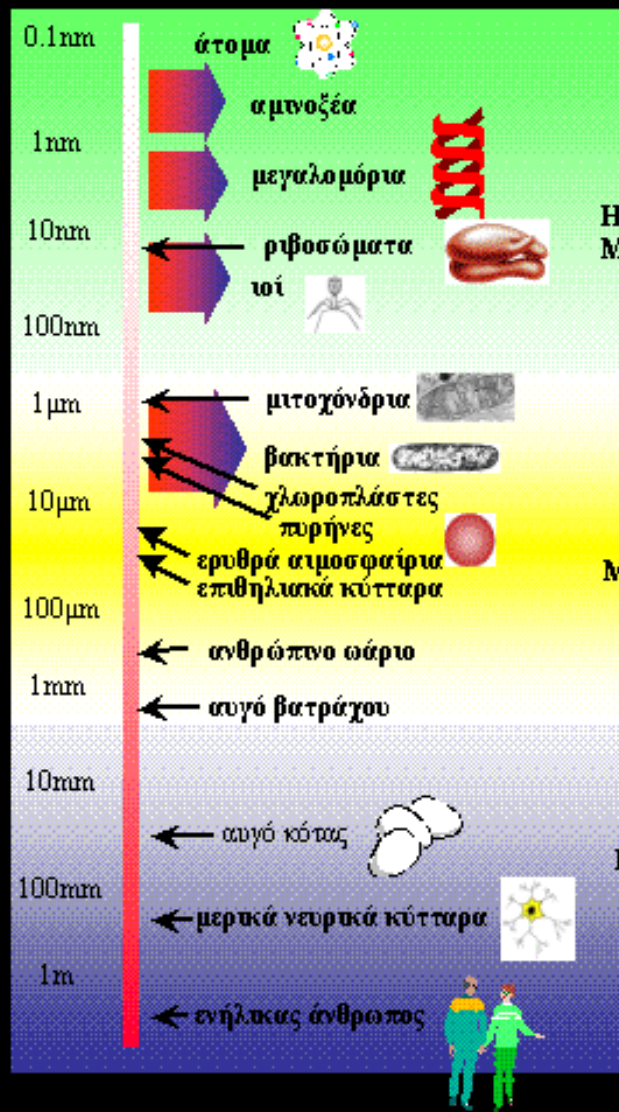


Οπτικά μικροσκόπια (ιδανικές συνθήκες)

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

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

Τα νέα είδη οπτικών μικροσκοπίων



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



ΟΠΤΙΚΟ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



ΓΥΜΝΟ ΜΑΤΙ

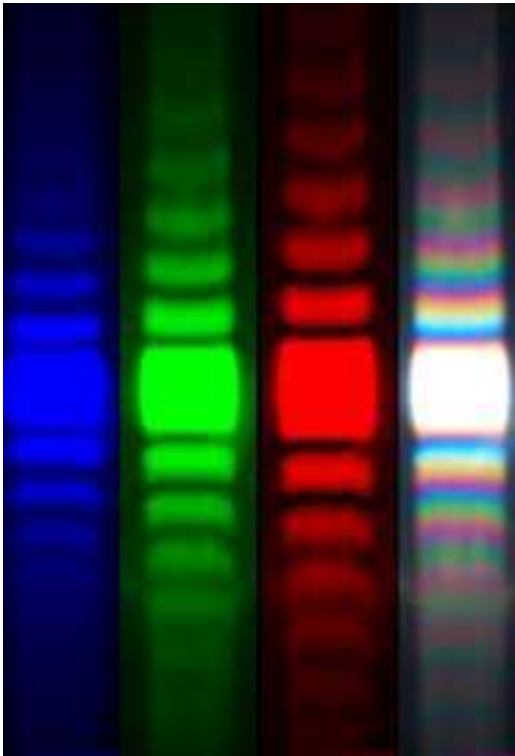


Τα σχετικά μεγέθη των
διαφόρων βιολογικών
δομών

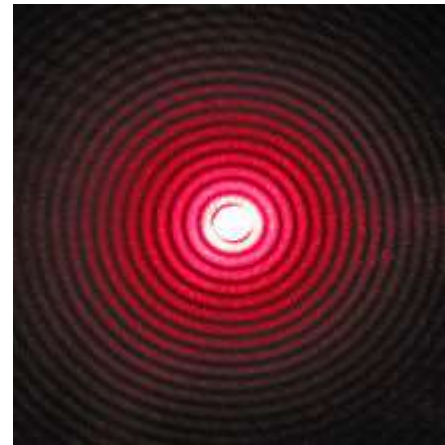
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – Η ΛΥΣΗ

Το διαμόρφωμα περίθλασης περιέχει πληροφορίες για το σχήμα του ανοίγματος.

σχισμή



κυκλική οπή

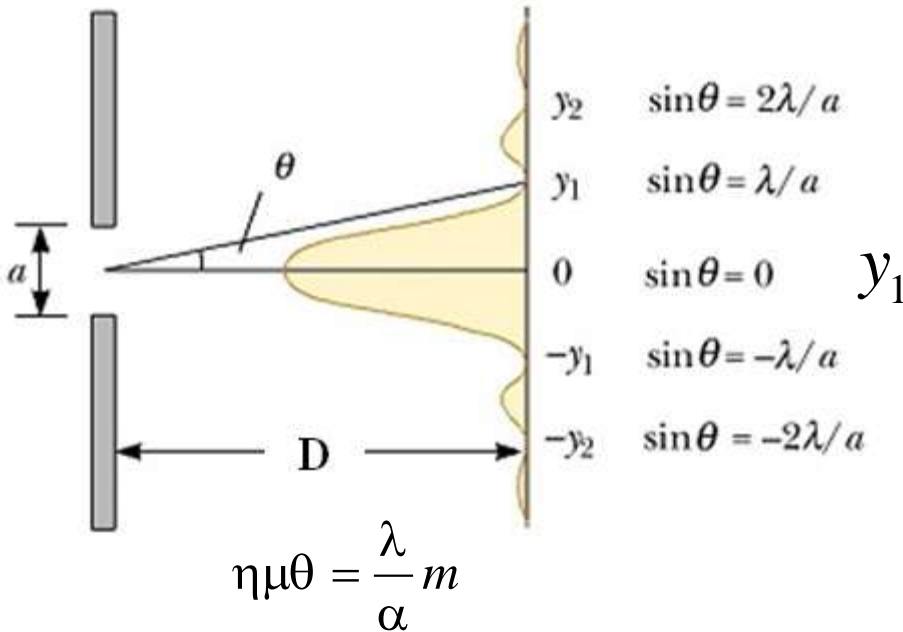


ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ – Η ΛΥΣΗ

Το διαμόρφωμα περίθλασης περιέχει πληροφορίες για τις διαστάσεις του ανοίγματος.

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

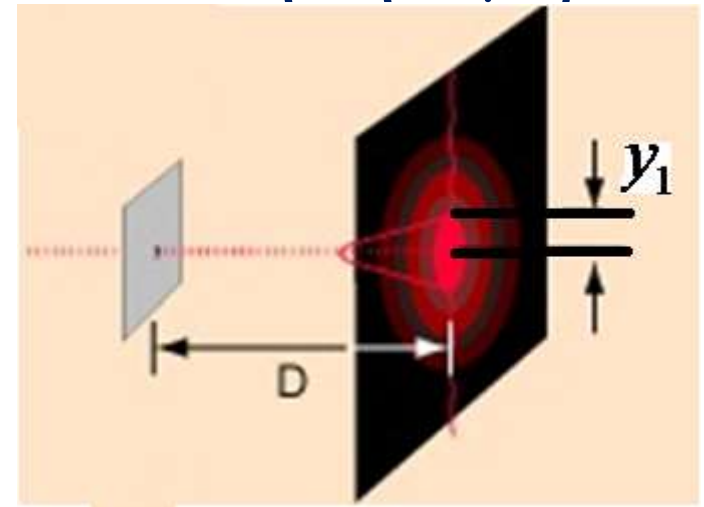
Σχισμή εύρους α



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

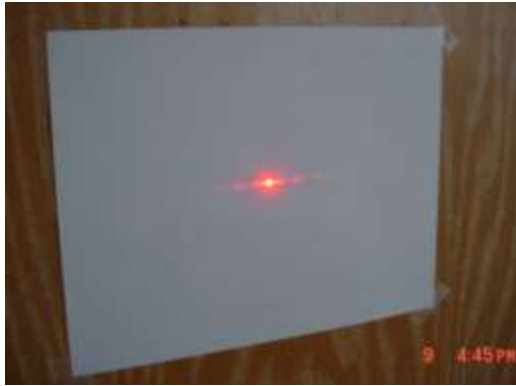


$$\eta\mu\theta = \frac{1,22\lambda}{d} m$$

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 $D = 1.5 \text{ m}$.

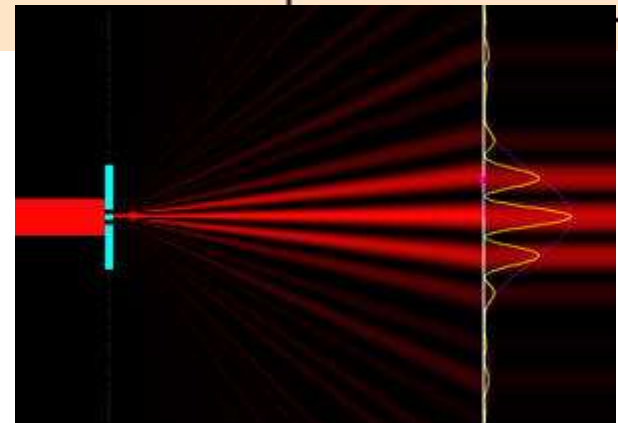
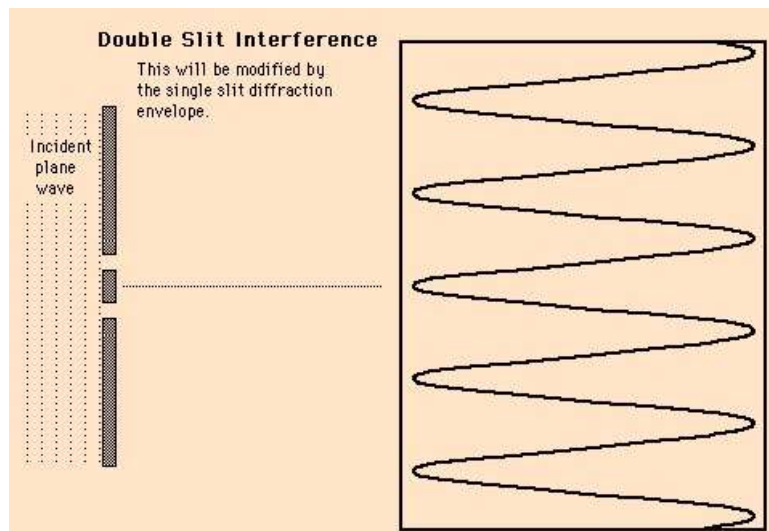
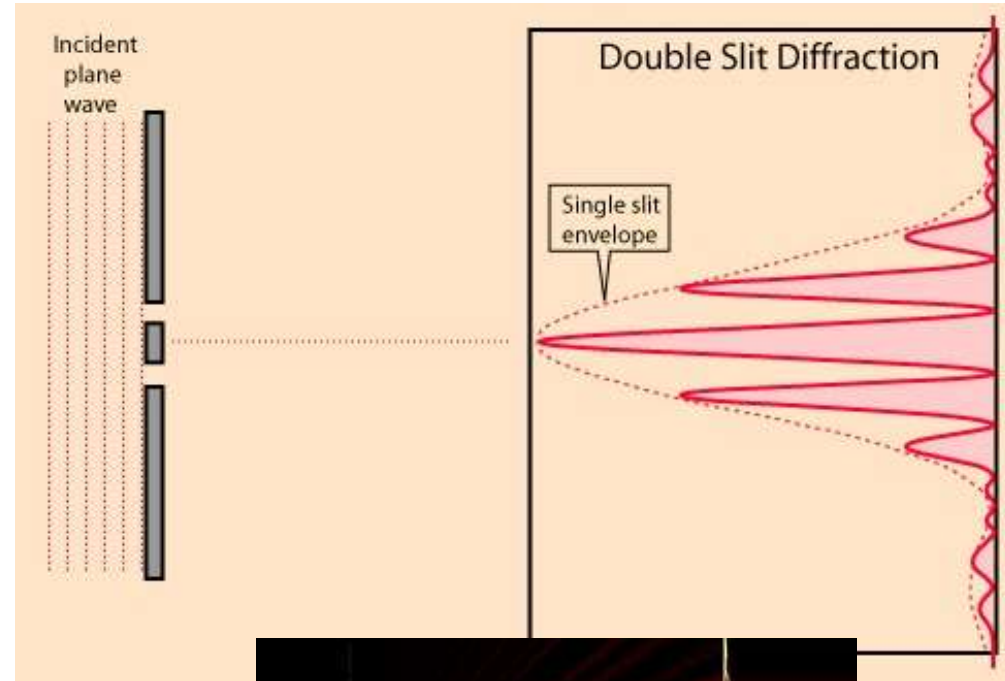
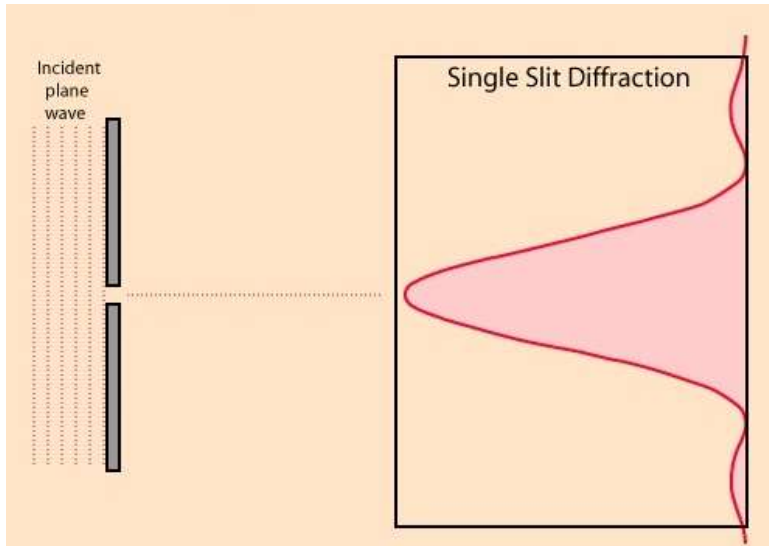
$$d_1 = (633 \times 10^{-9} \text{ m})(1) (1.5) / (0.02 \text{ m}) = 4.75 \times 10^{-5} \text{ m or } 47 \mu\text{m}$$

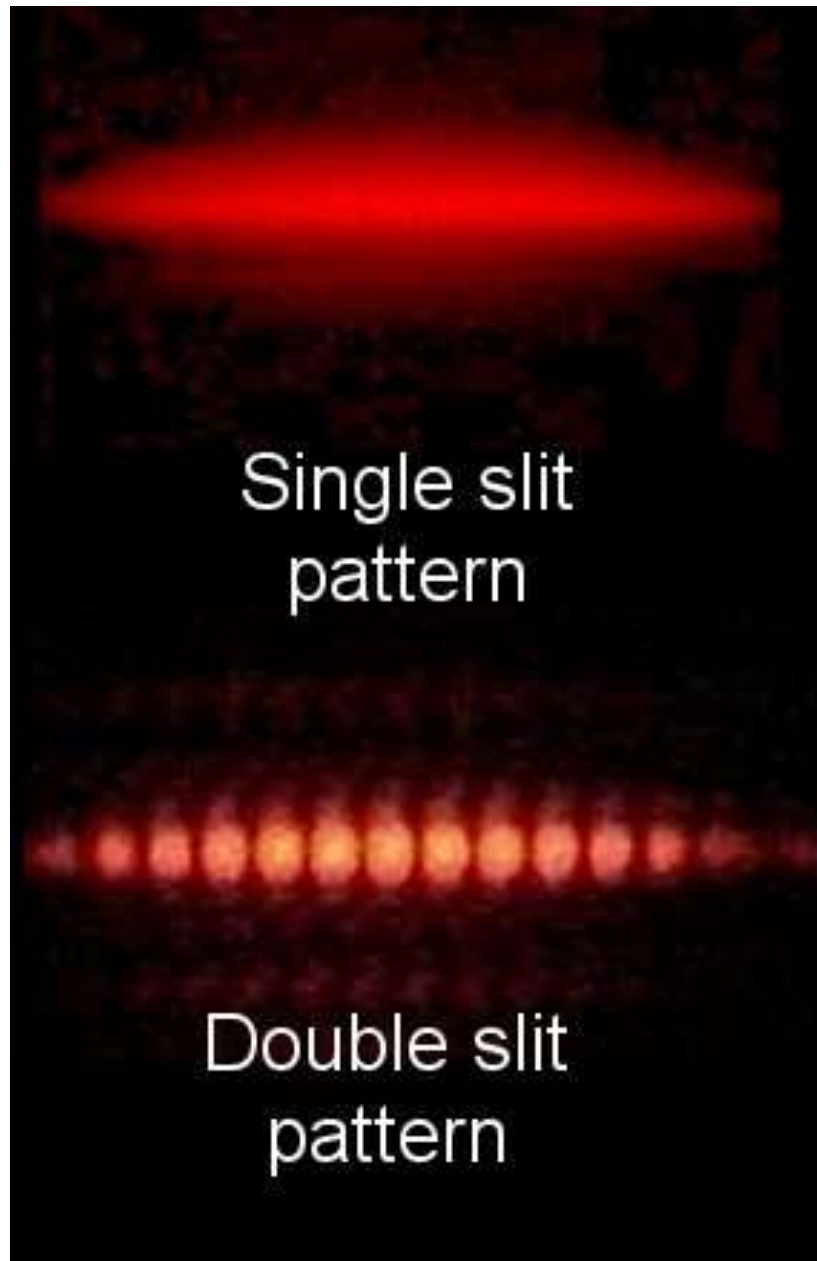
Example for the 4th order (m=4) band for a HeNe laser $\lambda = 633 \text{ nm}$, and screen distance of $D = 1.5 \text{ m}$.

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

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** .

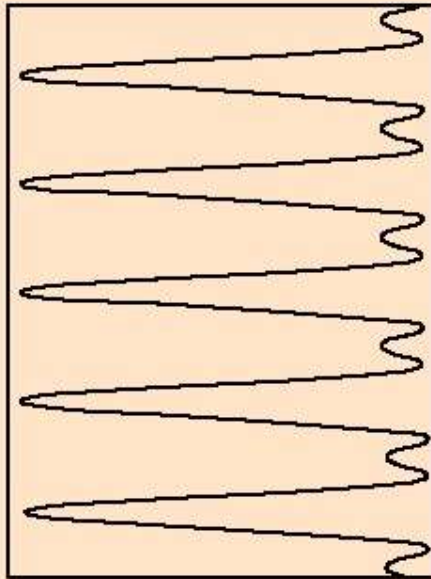
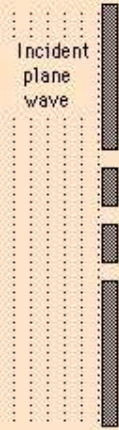
Όπως αποδεικνύεται, όμως,

- 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 $N-2$

Three Slit Interference

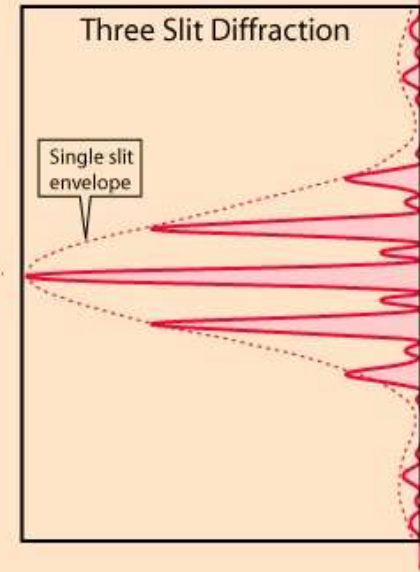
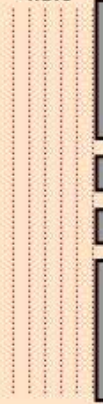
Three Slit Interference

This will be modified by the single slit diffraction envelope.



Three Slit Diffraction

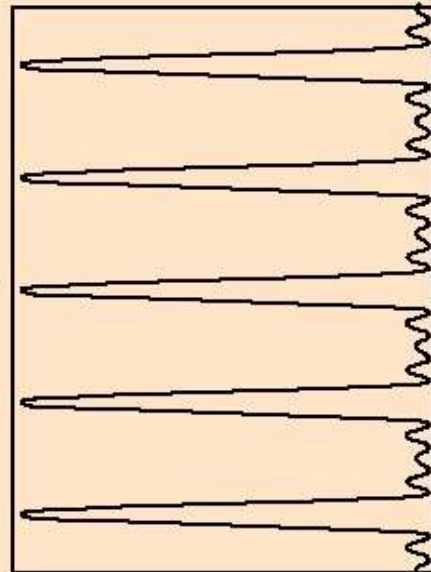
Incident plane wave



Five Slit Interference

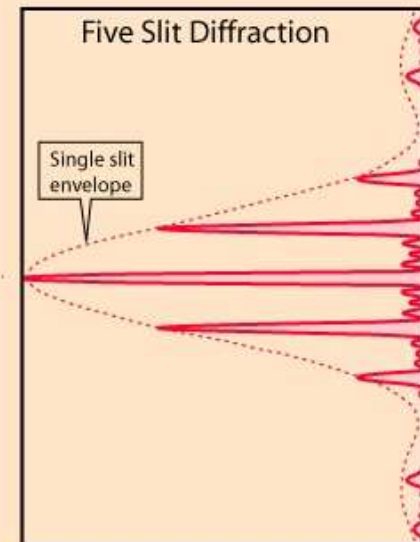
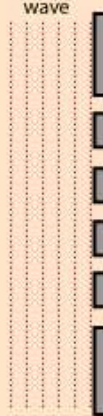
Five Slit Interference

This will be modified by the single slit diffraction envelope.

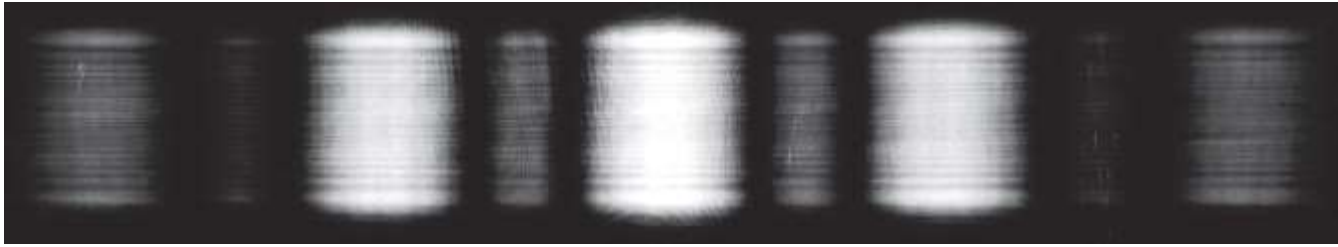


Five Slit Diffraction

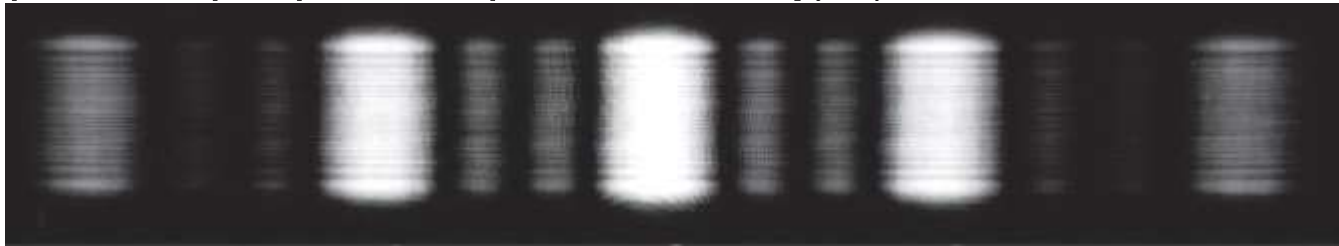
Incident plane wave



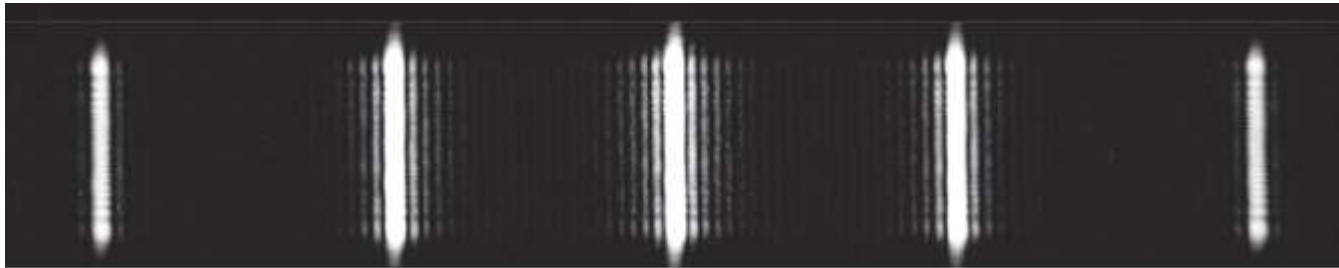
ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΛΕΠΤΕΣ ΣΧΙΣΜΕΣ



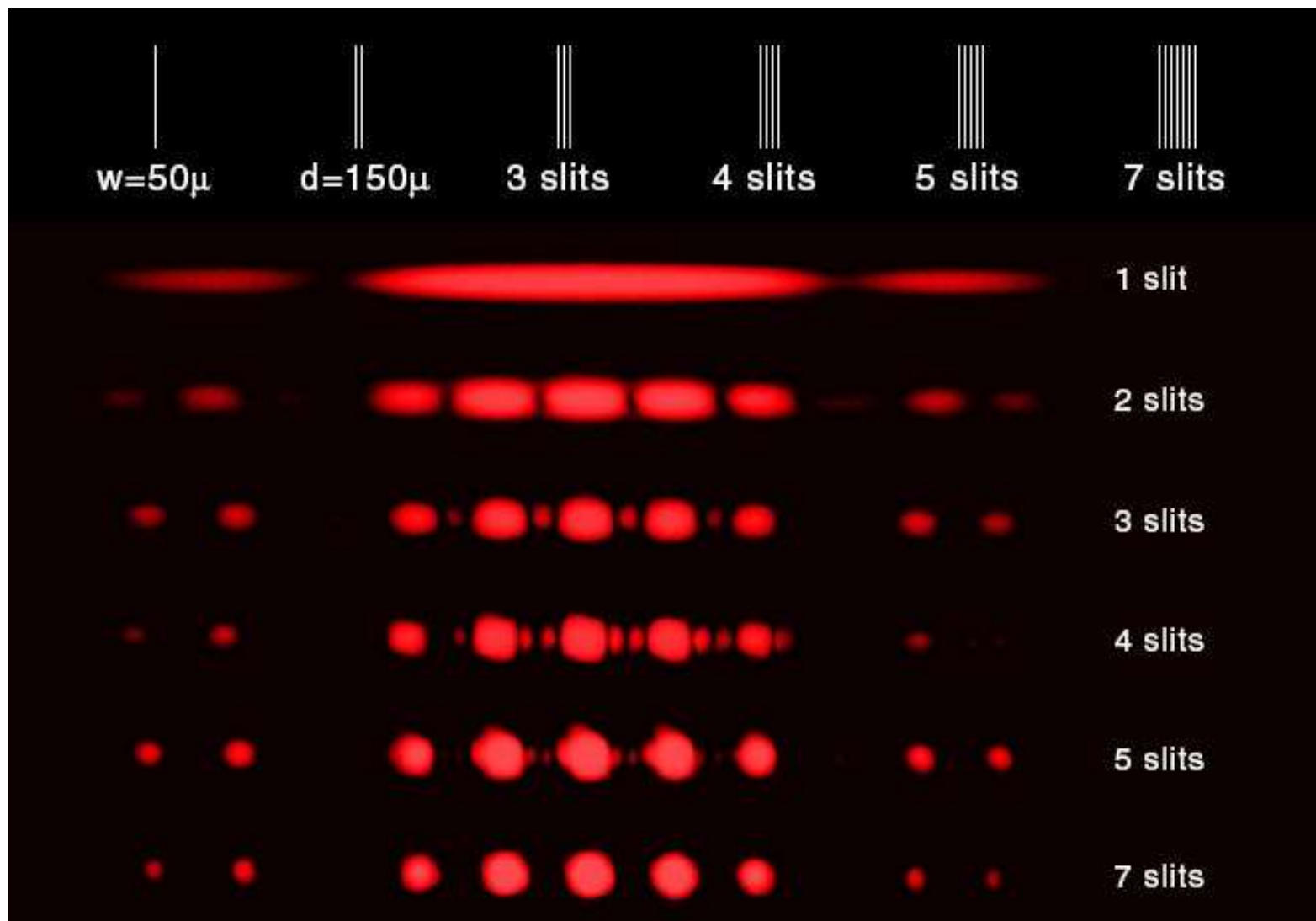
Περίθλαση από **3 σχισμές** όπου φαίνεται ένα δευτερεύον μέγιστο έντασης, ανάμεσα στα κύρια μέγιστα που παρατηρούνται και στην περίπτωση περίθλασης από δύο σχισμές.



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

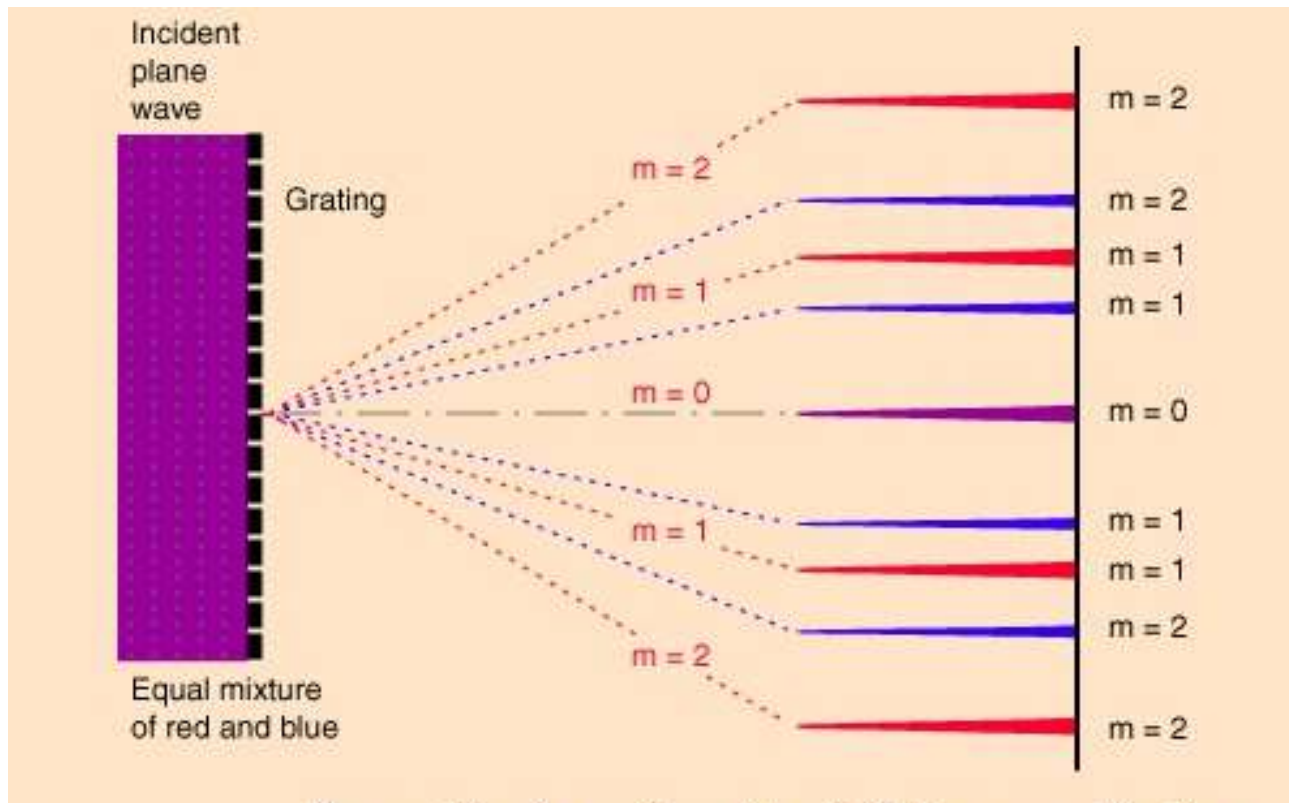
Συσκευές που έχουν μεγάλο πλήθος, πολύ στενών, σχισμών που διαχωρίζονται από αποστάσεις συγκρίσιμες με το μήκος κύματος του ορατού φωτός. Τα καλύτερα φράγματα για ορατό φως έχουν πάνω από 10.000 σχισμές ανά εκατοστό (ή αποστάσεις μεταξύ των σχισμών μικρότερες από 1 μm).

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.

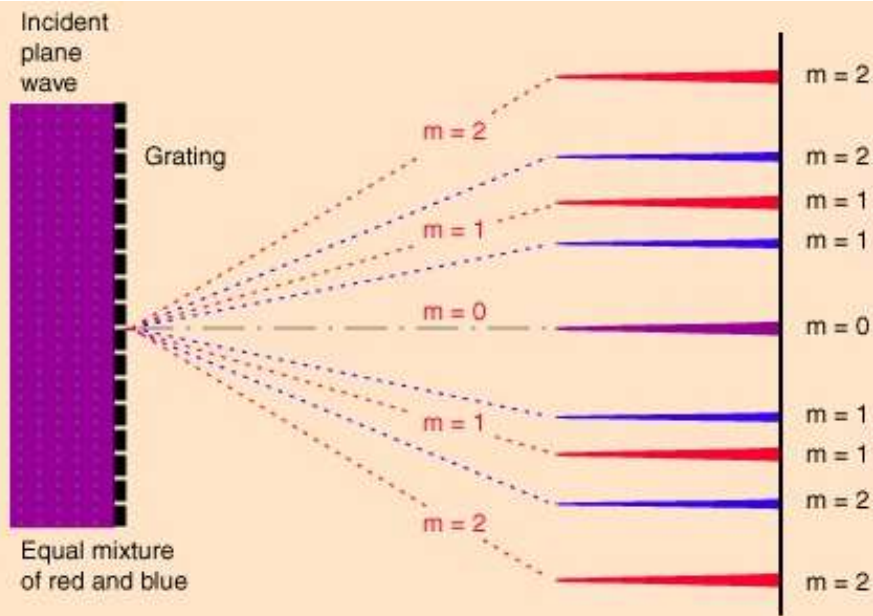


ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

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.

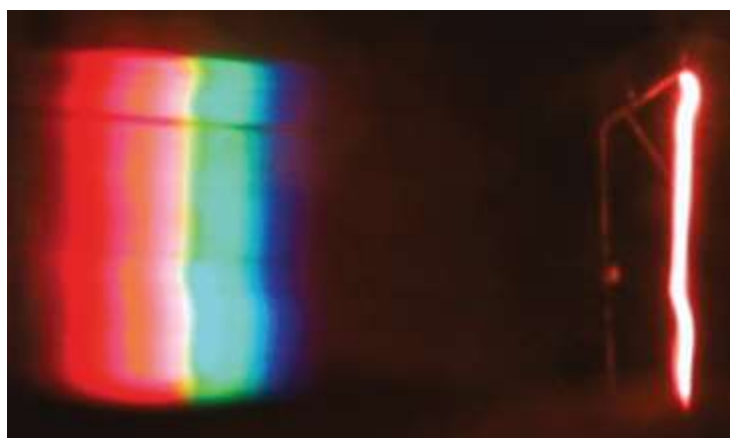
Σύμφωνα με την εξίσωση $d \sin\theta = m\lambda$, το φως με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος θα περιθλάται στις μεγαλύτερες γωνίες.

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)..



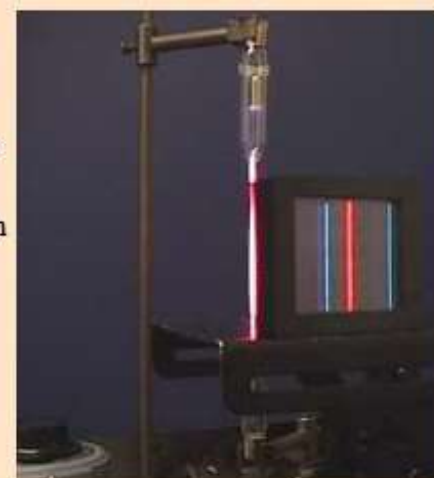
ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

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

Spectra of sources of yellow light

The photo below shows the spectrum of two LED.

- The **lower** one is a yellow LED with peak λ around 587 nm.
- The **upper** is a combined red/green LED that has an individual red and green LED connected with reverse polarity. When driven by an alternating voltage, the red and green LED will flash alternately. If this occurs more rapidly than the photoreceptors in your eye can respond, you will see the average of the two light sources, i.e. yellow.

Although their images in the central slit both appear yellow, their spectra can be seen to be quite different.



ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

The spectrum of a candle flame.

In this case the yellow colour is producing by glowing particles of carbon that produce classic black body radiation. (The candle flickered noticeably during the one second exposure required for this photo. hence the overlap of colours in the spectrum). he spectrum of a candle flame. In this case the yellow colour is producing by glowing particles of carbon that produce classic black body radiation. (The candle flickered noticeably during the one second exposure required for this photo. hence the overlap of colours in the spectrum).



ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

Spectra of sources of white light

the spectrum of a high efficiency fluorescent bulb



the spectrum of a white LED bulb



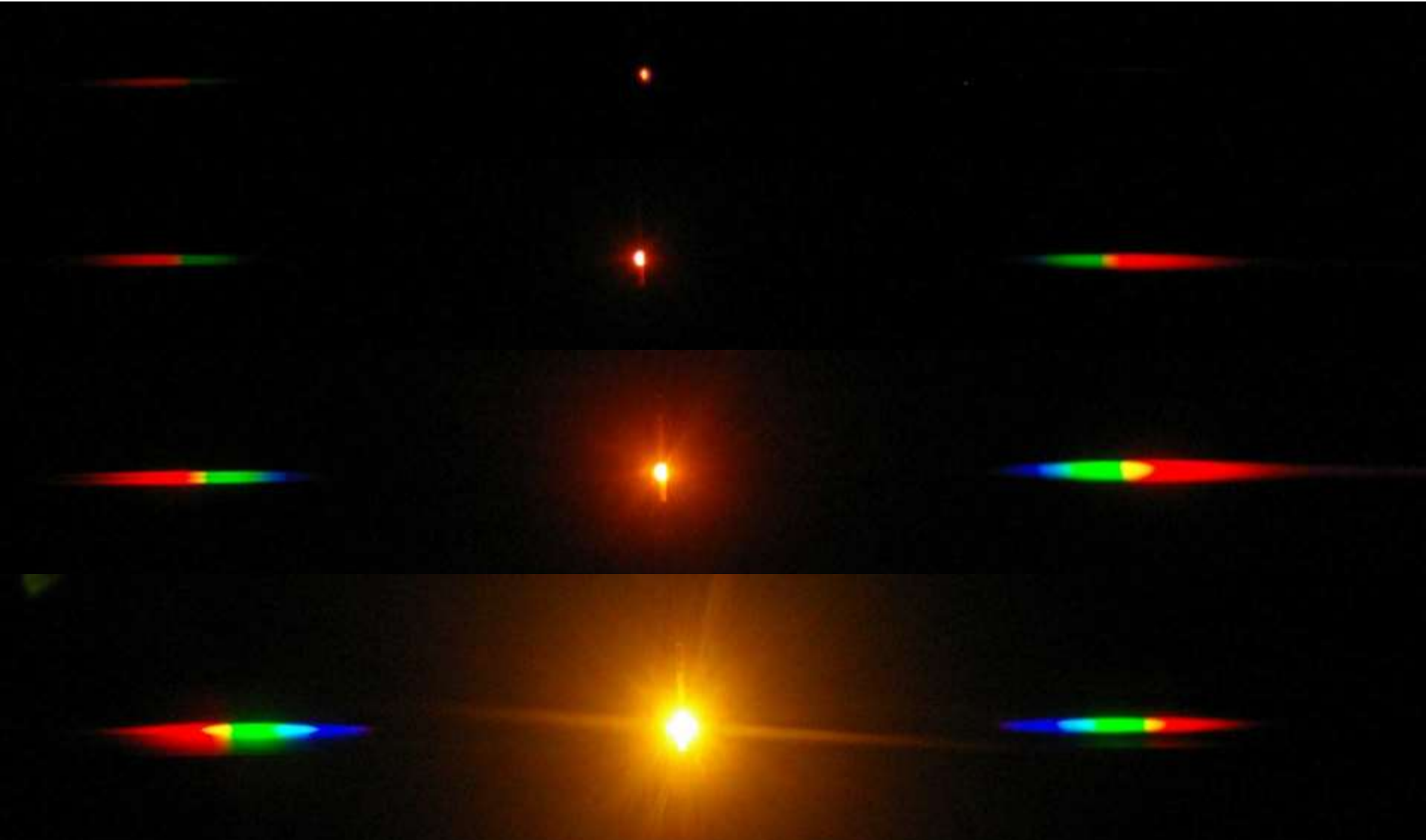
the spectrum a conventional incandescent bulb, showing the continuous spectrum of black body radiation



ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

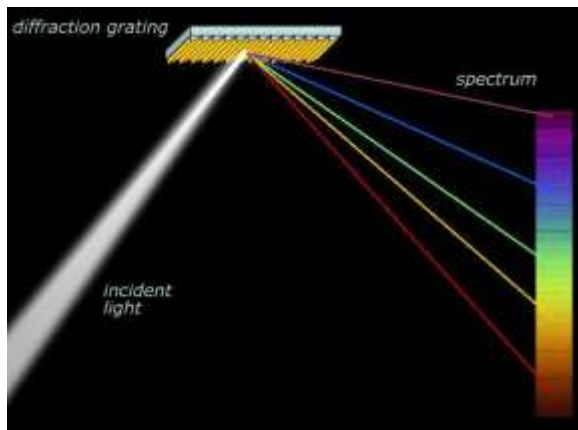
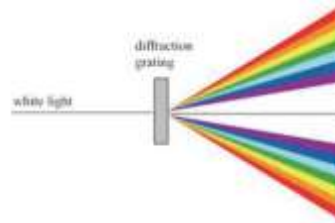
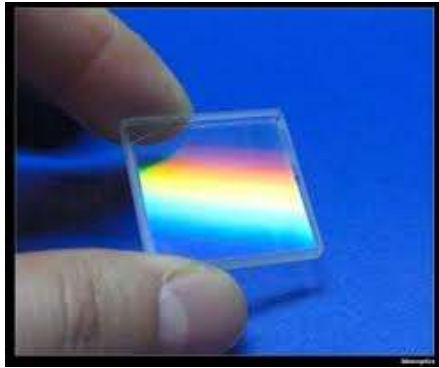
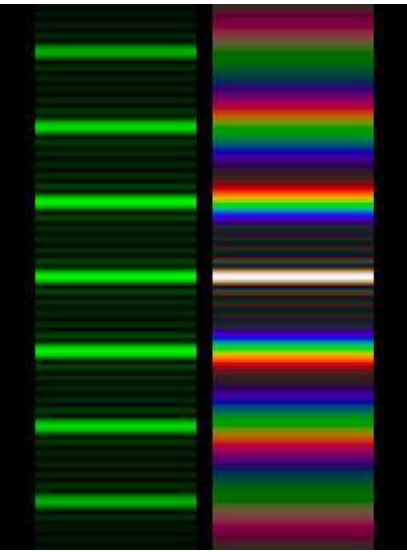
Spectral changes with increasing temperature

The sequence of 4 photos below show the spectral changes produced by increasing the temperature of a torch bulb by increasing its voltage.



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.

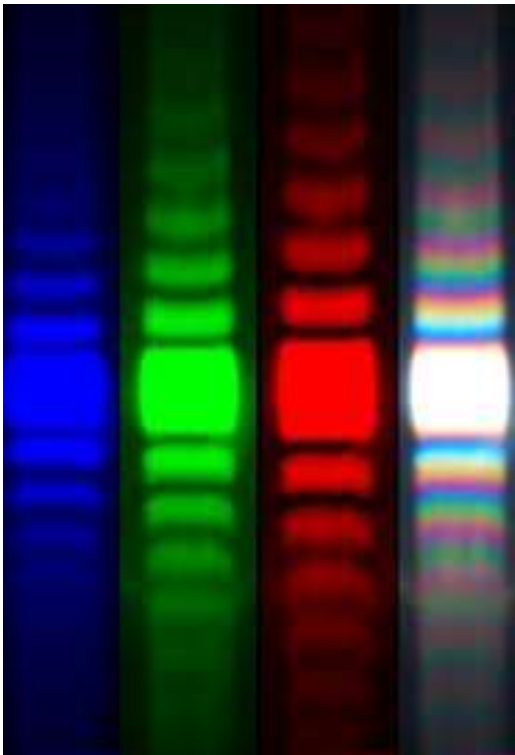


The tracks of a [compact disc](#) act as a diffraction grating, producing a separation of the colors of white light. The nominal track separation on a CD is 1.6 micrometers, corresponding to about 625 tracks per millimeter. This is in the range of ordinary laboratory diffraction gratings. For red light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

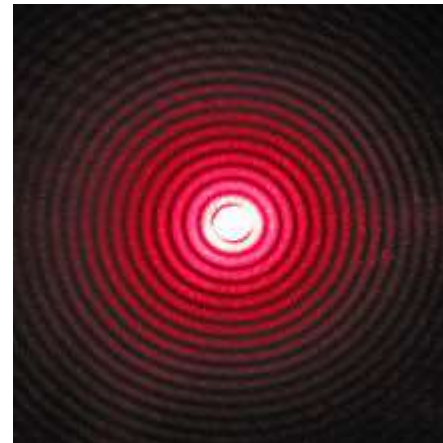
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΑΠΟ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Το διαμόρφωμα περίθλασης περιέχει πληροφορίες για το σχήμα του ανοίγματος.

σχισμή

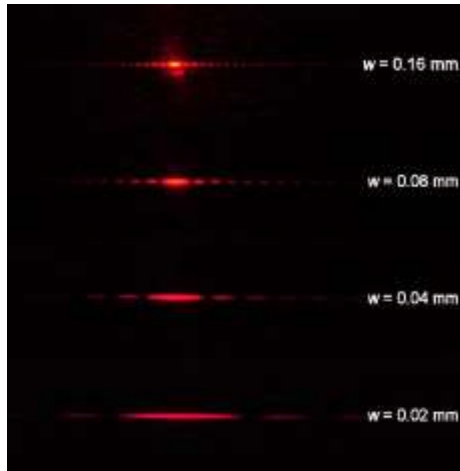


κυκλική οπή

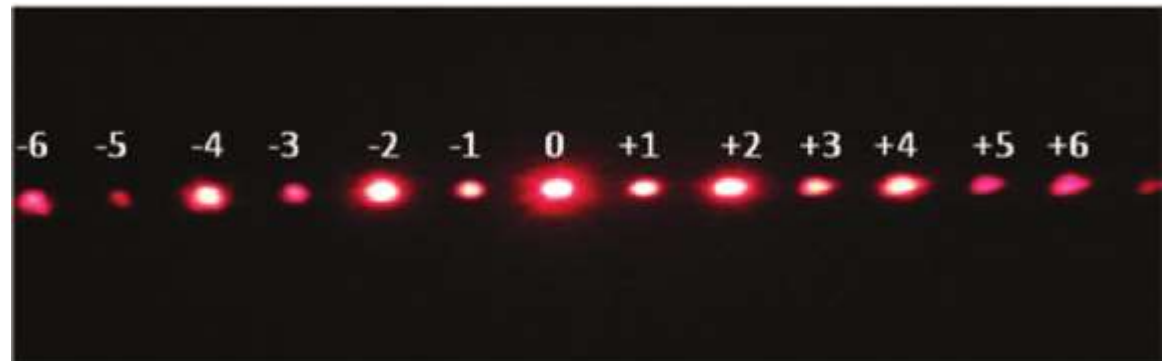
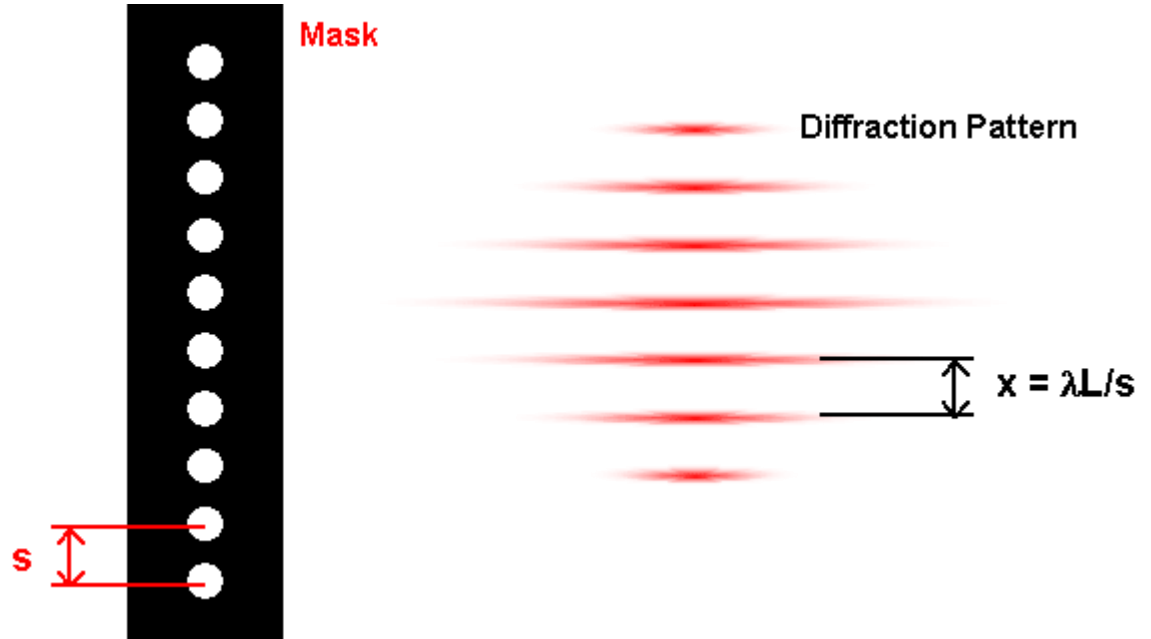


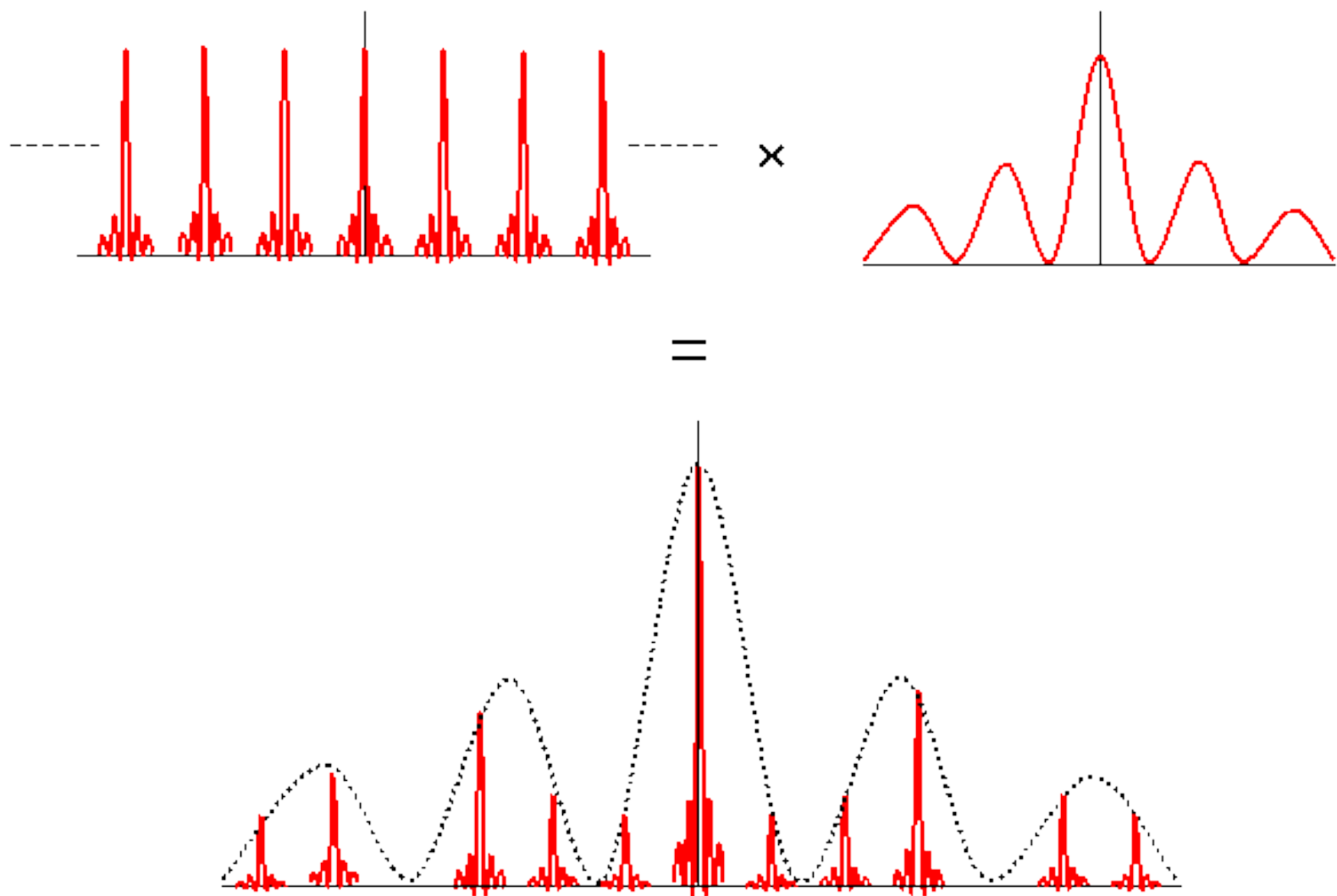
ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ (Diffraction patterns) 1-D

1 σχισμή εύρους w



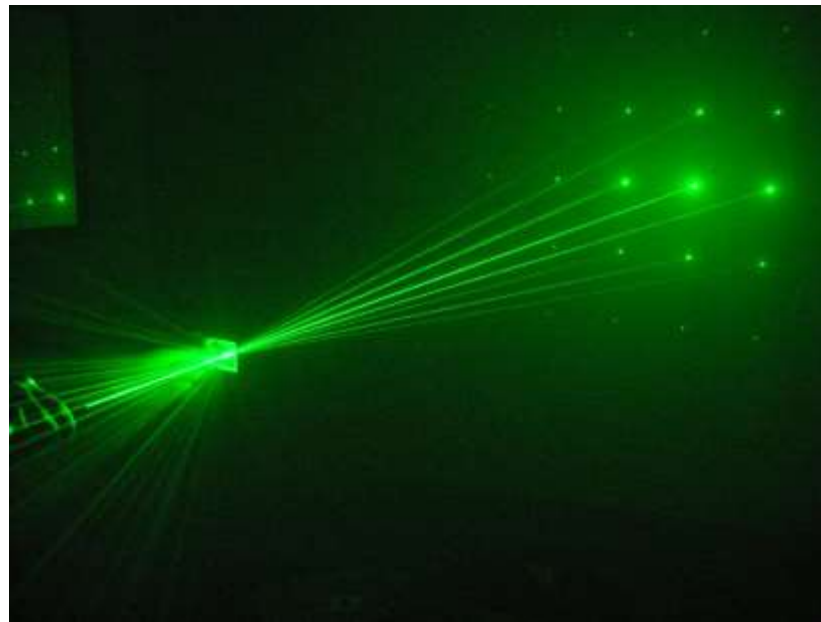
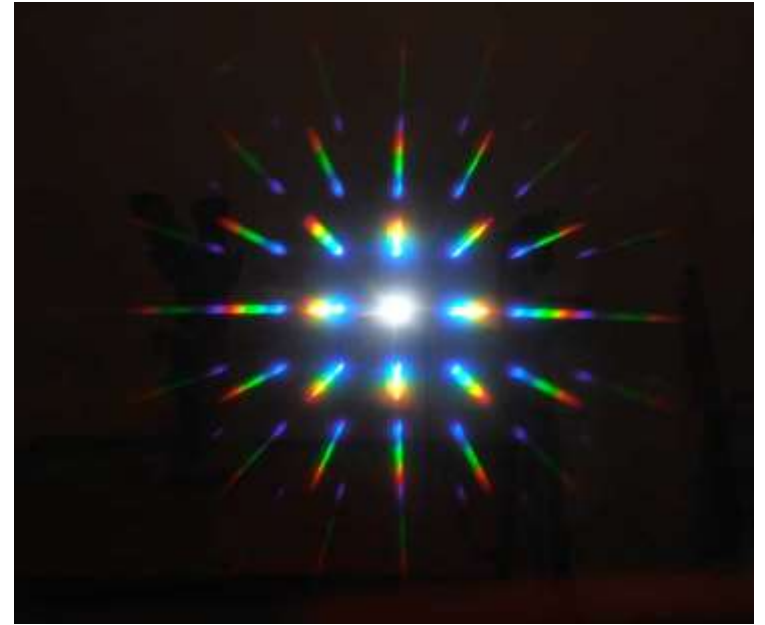
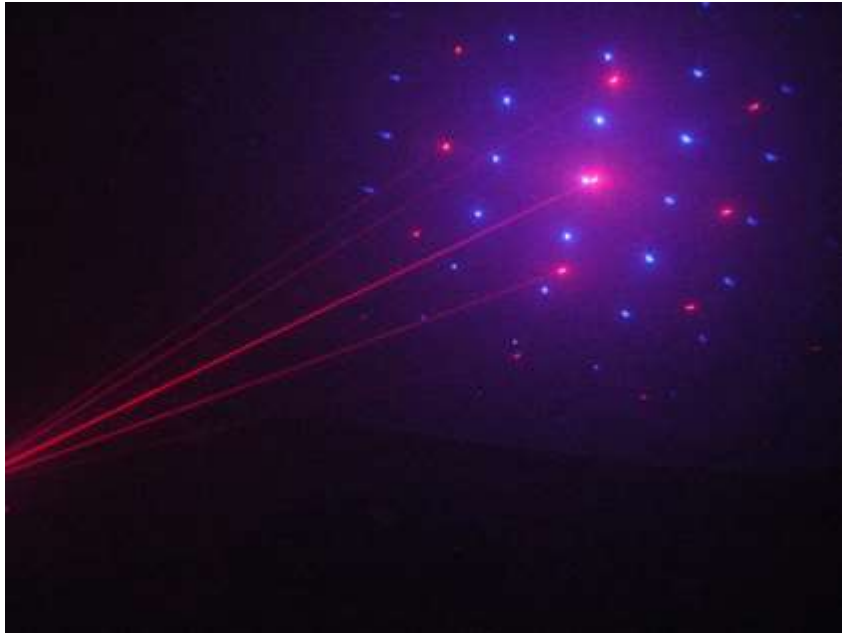
Μονοδιάστατο πλέγμα





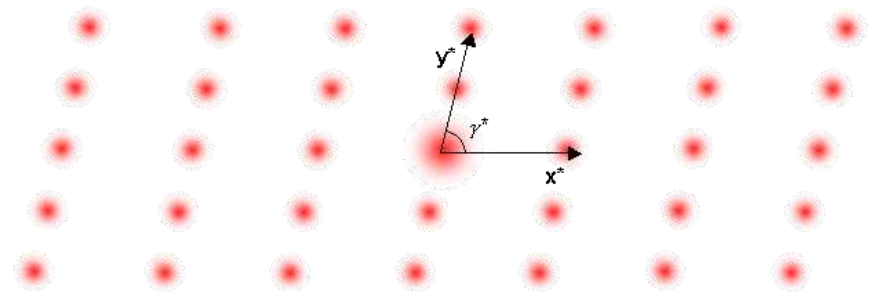
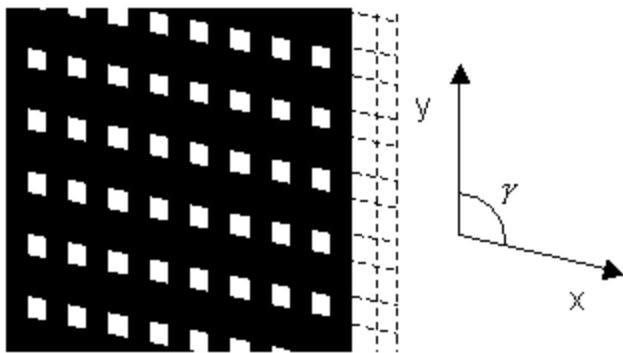
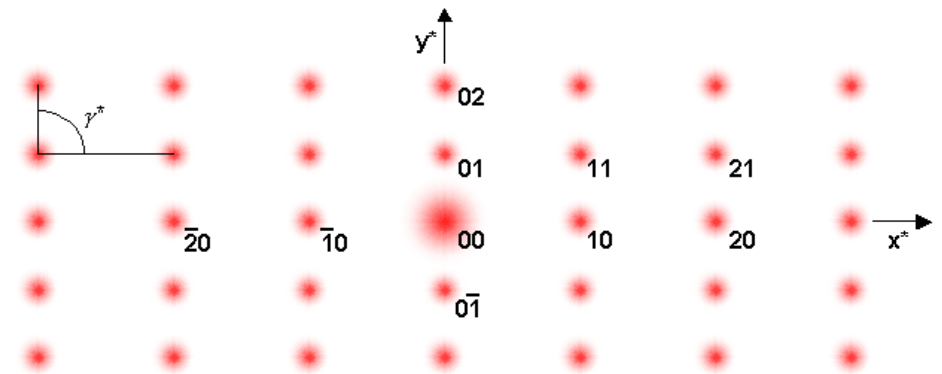
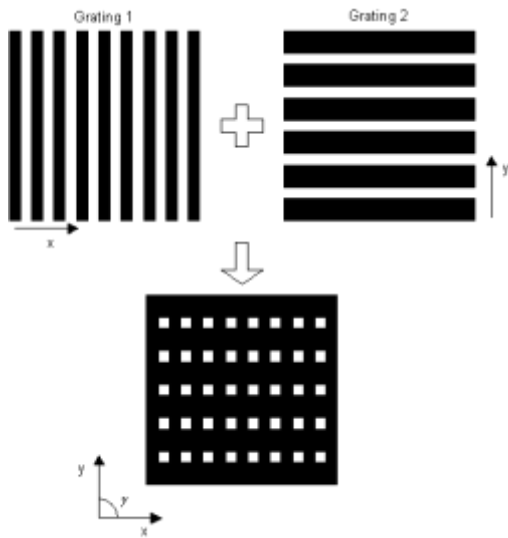
Diffraction pattern from a one dimensional grating with finite width slits. The pattern is comprised of a 'comb' function (from the array of slits), onto which a narrow sinc function is convoluted (from the finite width of the grating). The whole pattern is enveloped by a wide sinc function, shown as the dotted line, which arises as a result of the finite slit width.

ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ (Diffraction patterns) 2-D



ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ (Diffraction patterns) 2-D

Διδιάστατο πλέγμα



ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ (Diffraction patterns) 3-D

