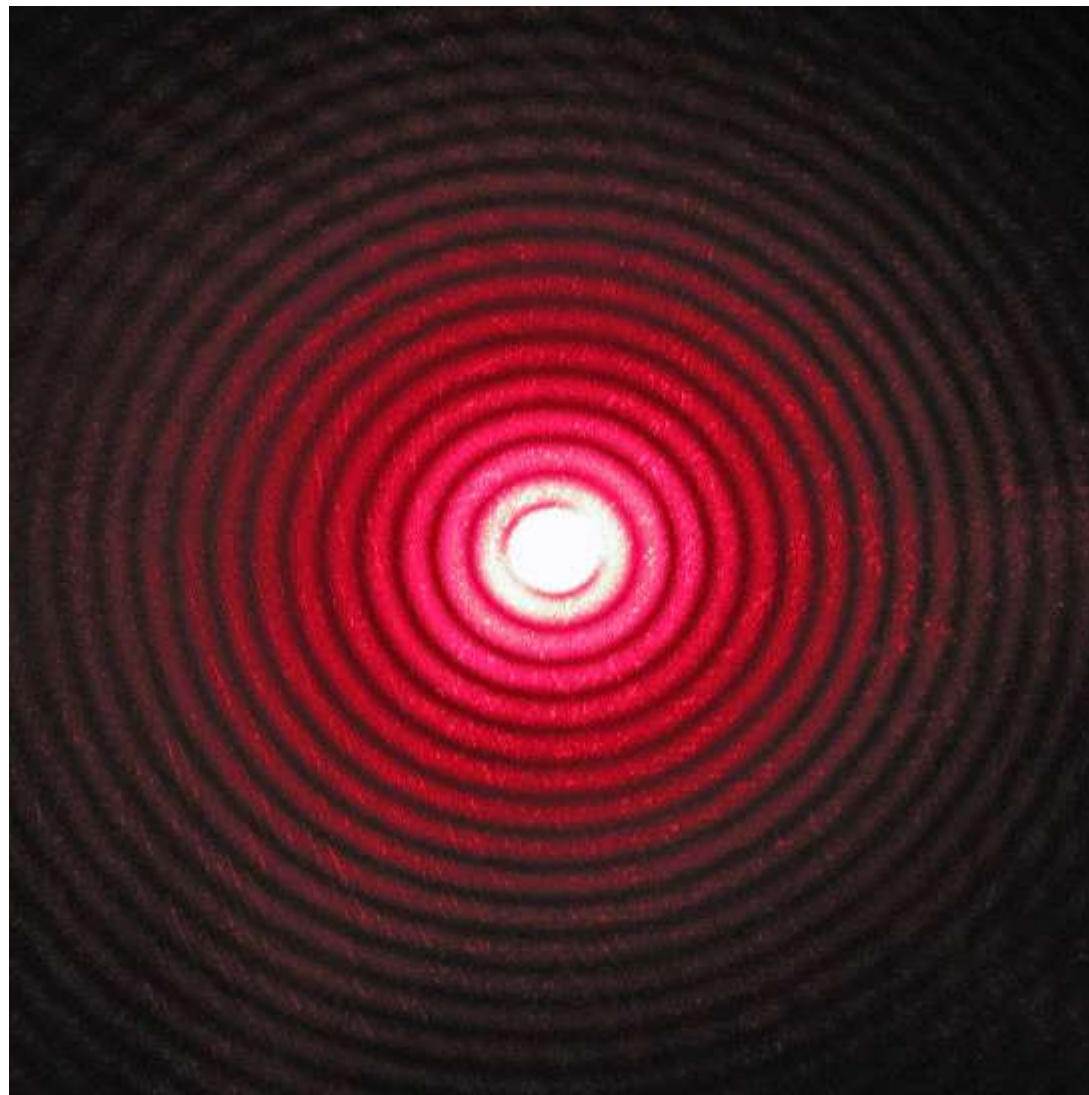


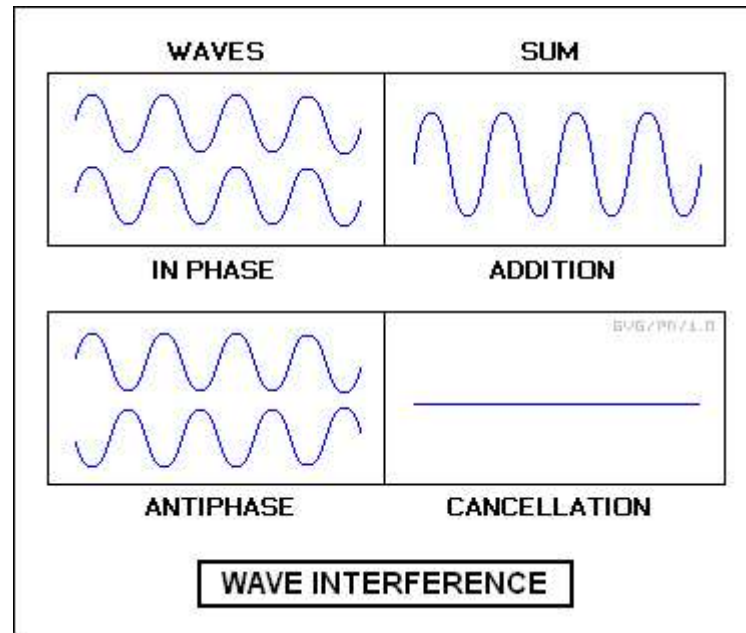
Κυματική Φύση του φωτός και εφαρμογές



Επαλληλία κυμάτων

Διαφορά φάσης $\Delta\phi=0^\circ$

$\Delta\phi=180^\circ$



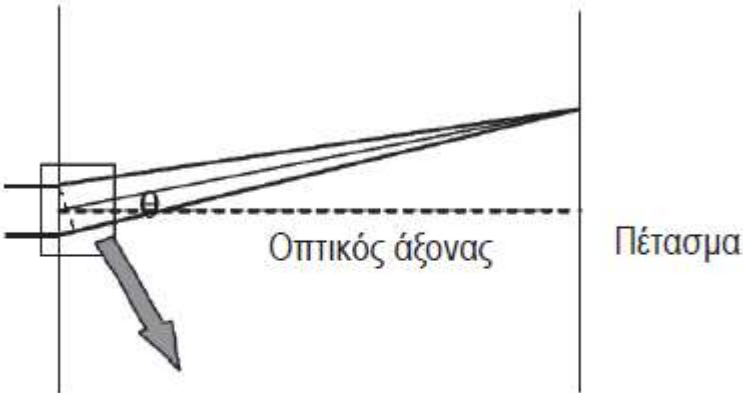
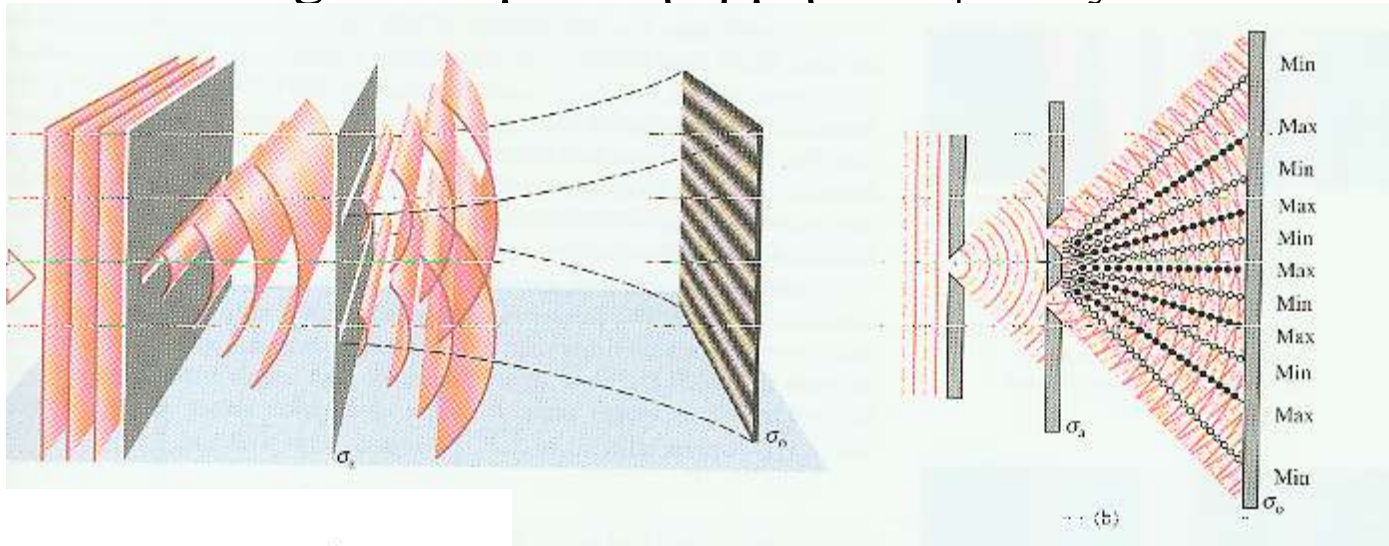
Ενίσχυση

Απόσβεση



ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές

1801, Thomas Young → Κυματική ερμηνεία φωτός

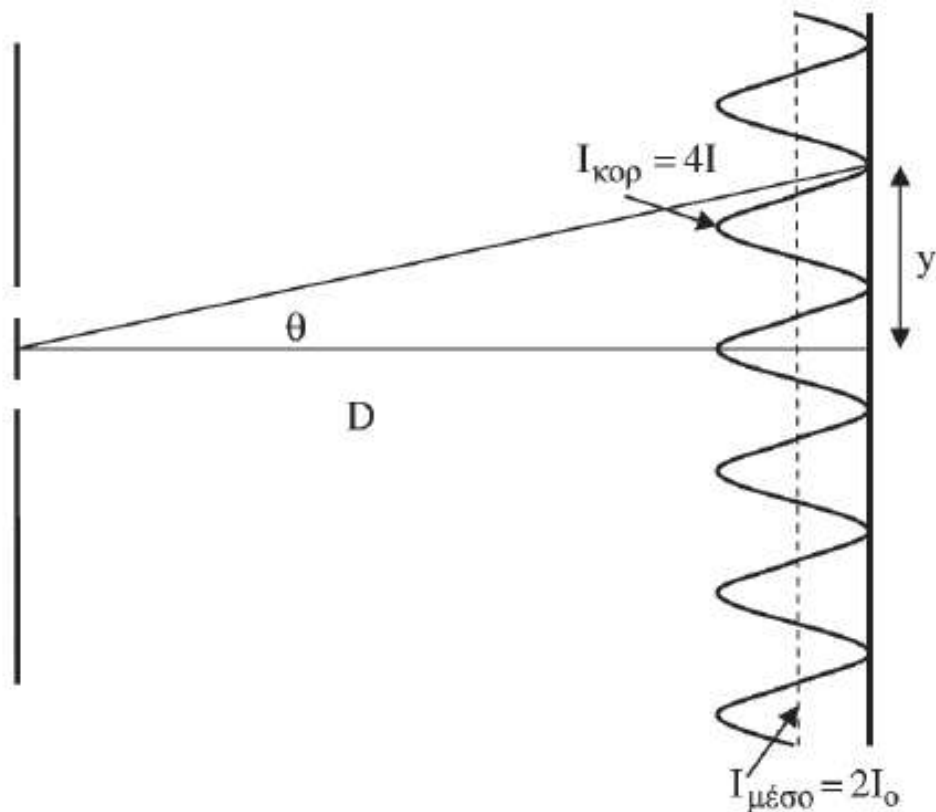


$$d \sin \theta = m\lambda \quad (\text{ενισχυτική συμβολή})$$

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

Σε αυτήν την περίπτωση, ο οπτικός δρόμος ταυτίζεται με τον φυσικό δρόμο. Οι άλλες προϋποθέσεις που πρέπει να συντρέχουν για να παρατηρήσουμε φαινόμενα συμβολής δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I

ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές



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

$$I_{\text{ενισχυτ}} = 4I_0$$

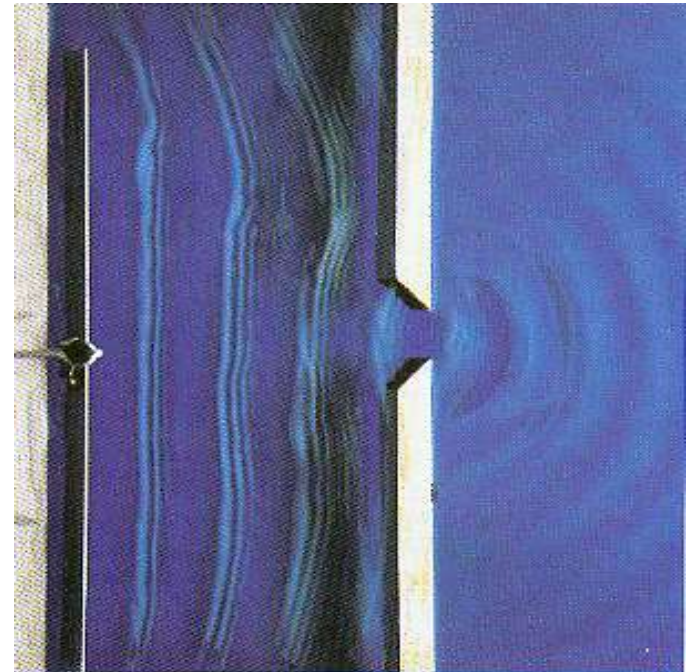
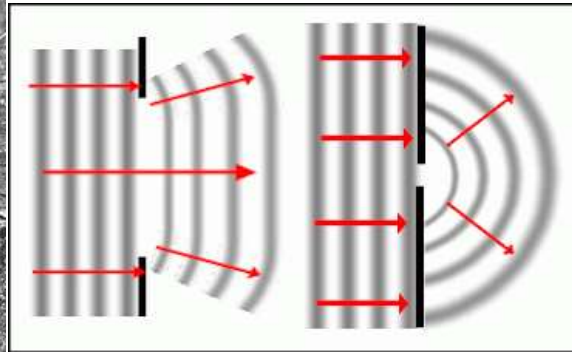
$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (\text{αναιρετική συμβολή})$$

$$I_{\text{αναιρ}} = 0$$

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Περίθλαση (diffraction) = **Απόκλιση κυμάτων από την ευθύγραμμη πορεία διάδοσης όταν συναντούν «μικρά» εμπόδια ή περνούν από «μικρά» ανοίγματα**

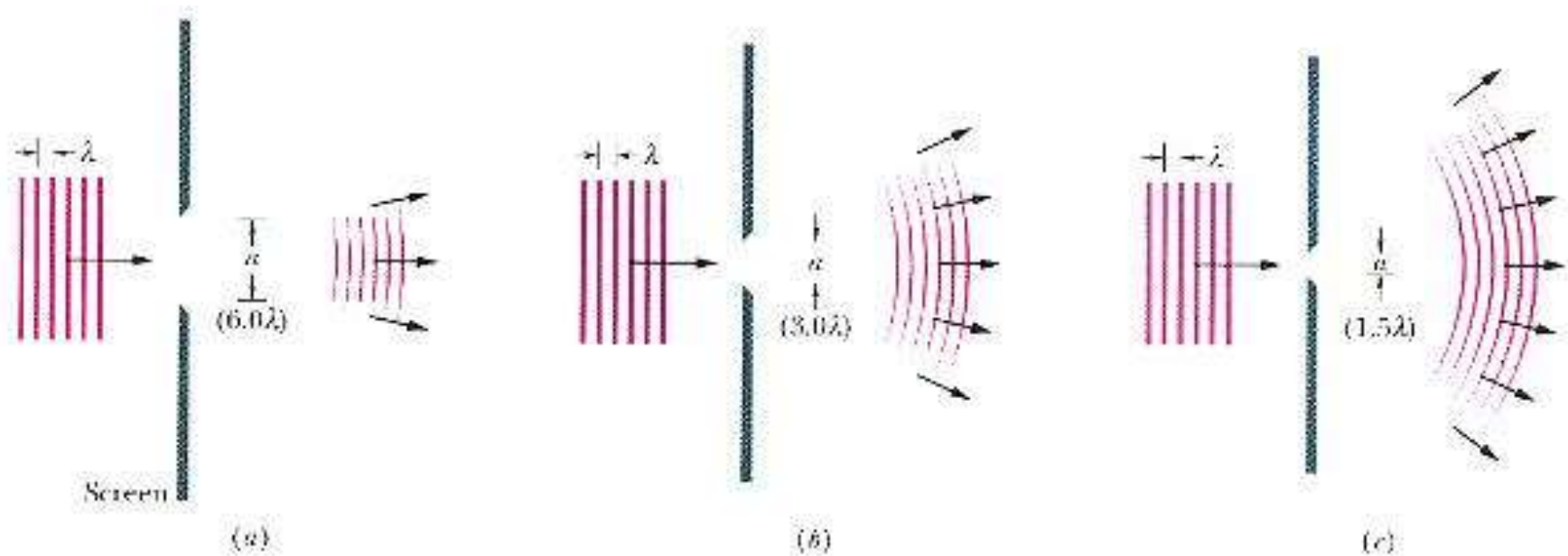
Το φαινόμενο της περίθλασης είναι ένα κυματικό φαινόμενο και μόνον.



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Διαμορφώματα περίθλασης φωτός δεν παρατηρούνται συχνά στην καθημερινή μας ζωή διότι:

οι περισσότερες κοινές πηγές φωτός δεν είναι ούτε μονοχρωματικές ούτε σημειακές



Το φαινόμενο Περίθλασης παρατηρείται έντονα όταν:

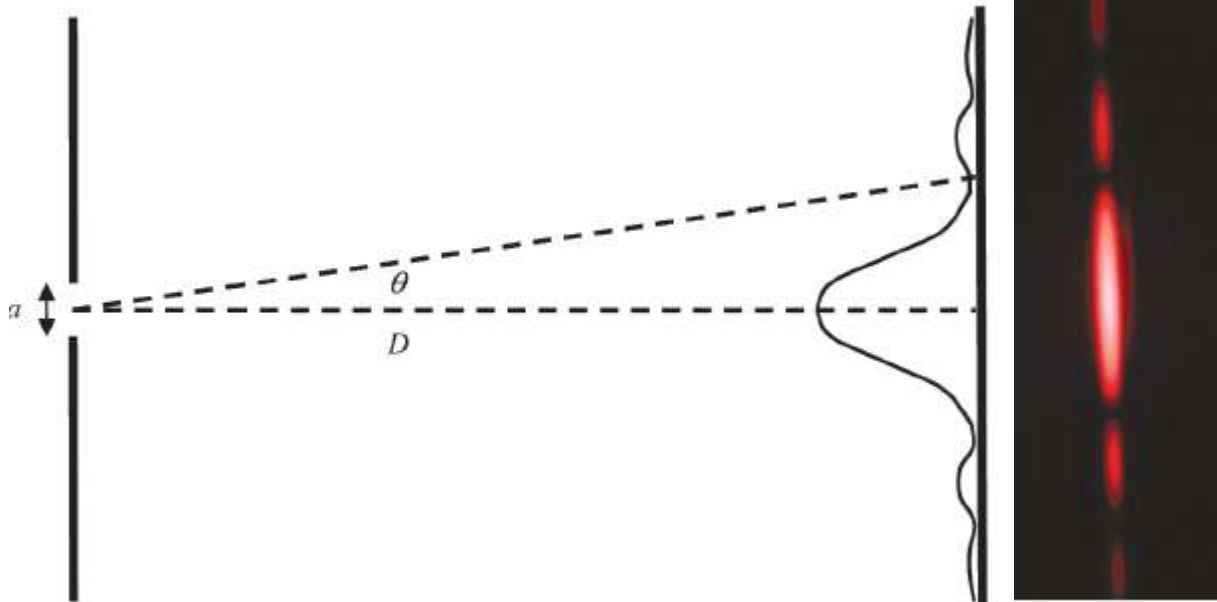
κύματα διέρχονται από μία σχισμή ή γωνία της οποίας το μέγεθος προσεγγίζει ή είναι ακόμη μικρότερο από το μήκος κύματος του φωτός

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

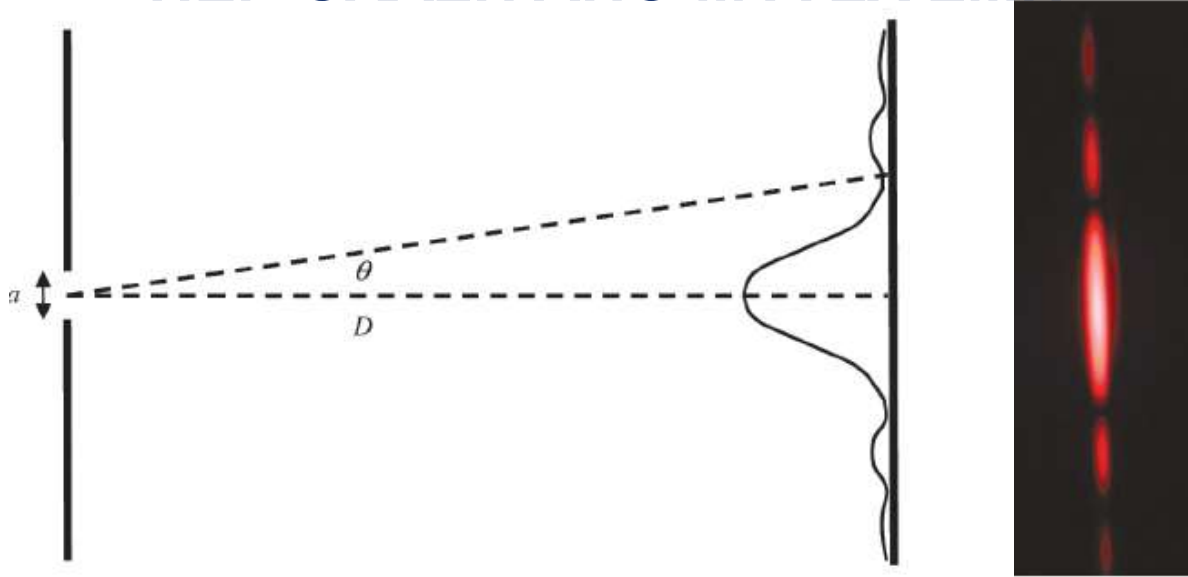
Σχισμή εύρους a φωτίζεται από επίπεδο μονοχρωματικό φως και εξετάζεται το διαμόρφωμα του φωτός σε πέτασμα τοποθετημένο σε απόσταση D από τη σχισμή, με $D \gg a$

(**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**

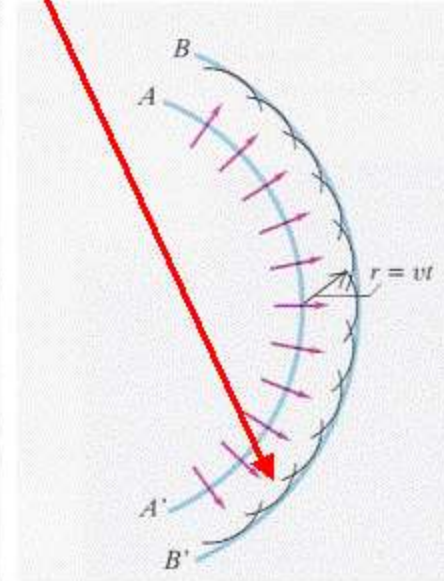
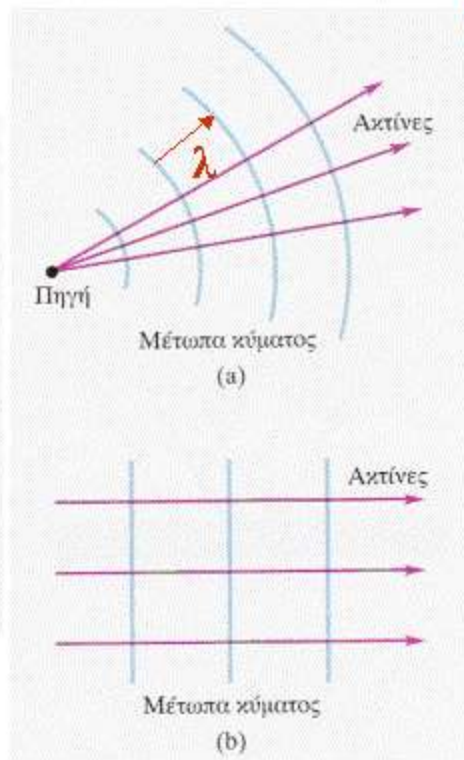
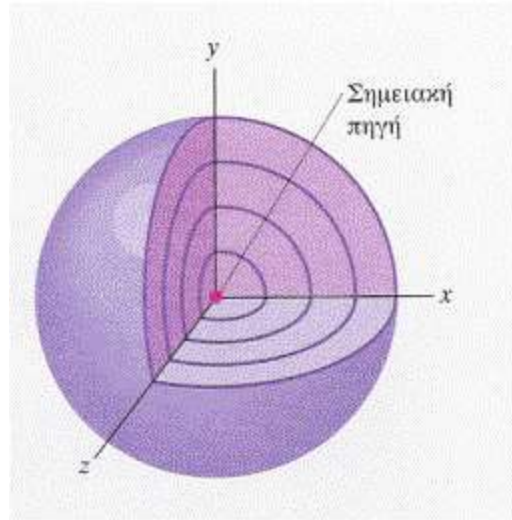


ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ



- Το διαμόρφωμα της περίθλασης Fraunhofer από μια σχισμή αποτελείται από ένα κεντρικό φωτεινό μέγιστο που περιβάλλεται από μια σειρά δευτερευόντων μεγίστων μικρότερης έντασης (κροσσοί).
- Το κεντρικό μέγιστο είναι ευρύτερο από τα δευτερεύοντα μέγιστα, το πλάτος του εξαρτάται αντιστρόφως ανάλογα με το εύρος της σχισμής.
- Όσο στενότερη είναι η σχισμή τόσο περισσότερο εκτείνεται το περιθλώμενο φως και εμφανίζεται

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".

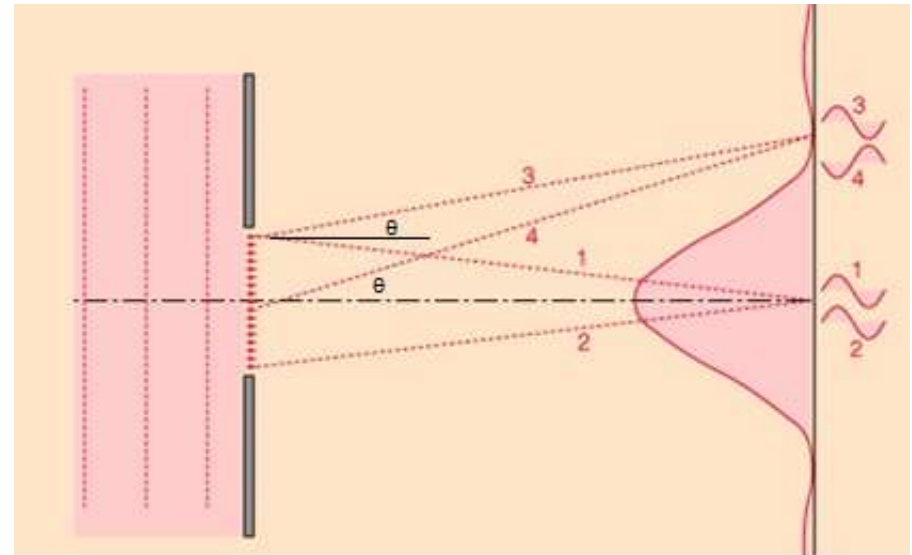
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

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.

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

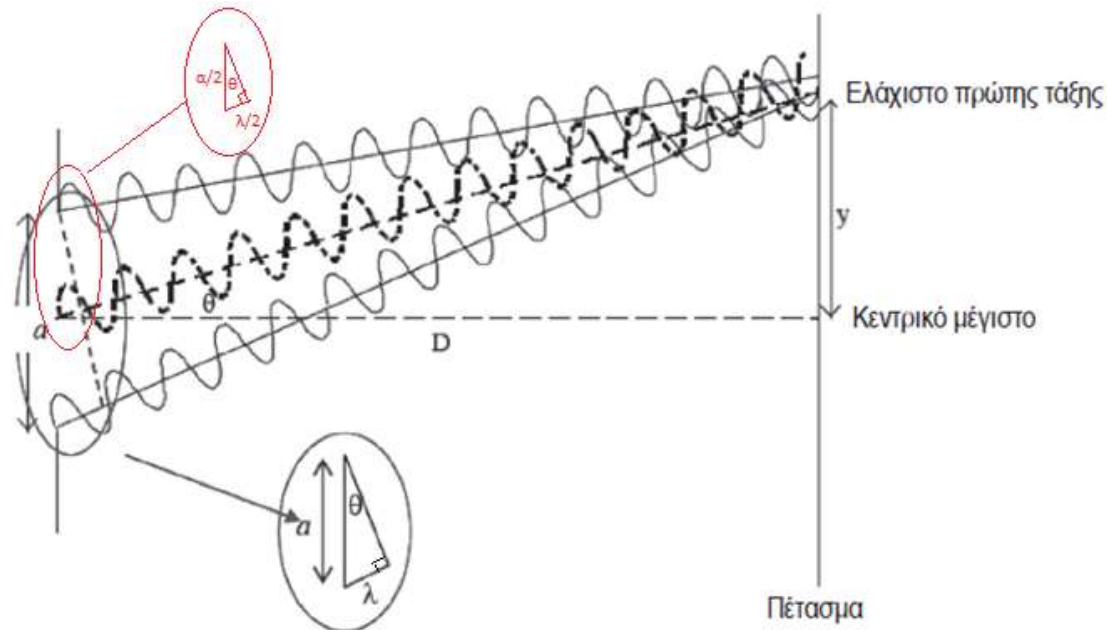
II) Οι ακτίνες που διανύουν την ίδια απόσταση (ζεύγη ακτίνων όπως η 1 και 2 στο ακόλουθο σχήμα) επίσης συμβάλλουν σε φάση πάνω στο πέτασμα ενισχύοντας το κεντρικό μέγιστο.

III) Για να βρούμε τη θέση του πρώτου ελαχίστου εκατέρωθεν (απόσβεση), 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 το ένα άκρο και το μέσο της σχισμής (ζεύγη ακτίνων όπως η 3 και 4 του σχήματος, είναι ίση με μισό μήκος κύματος, δηλ. $\lambda/2$).

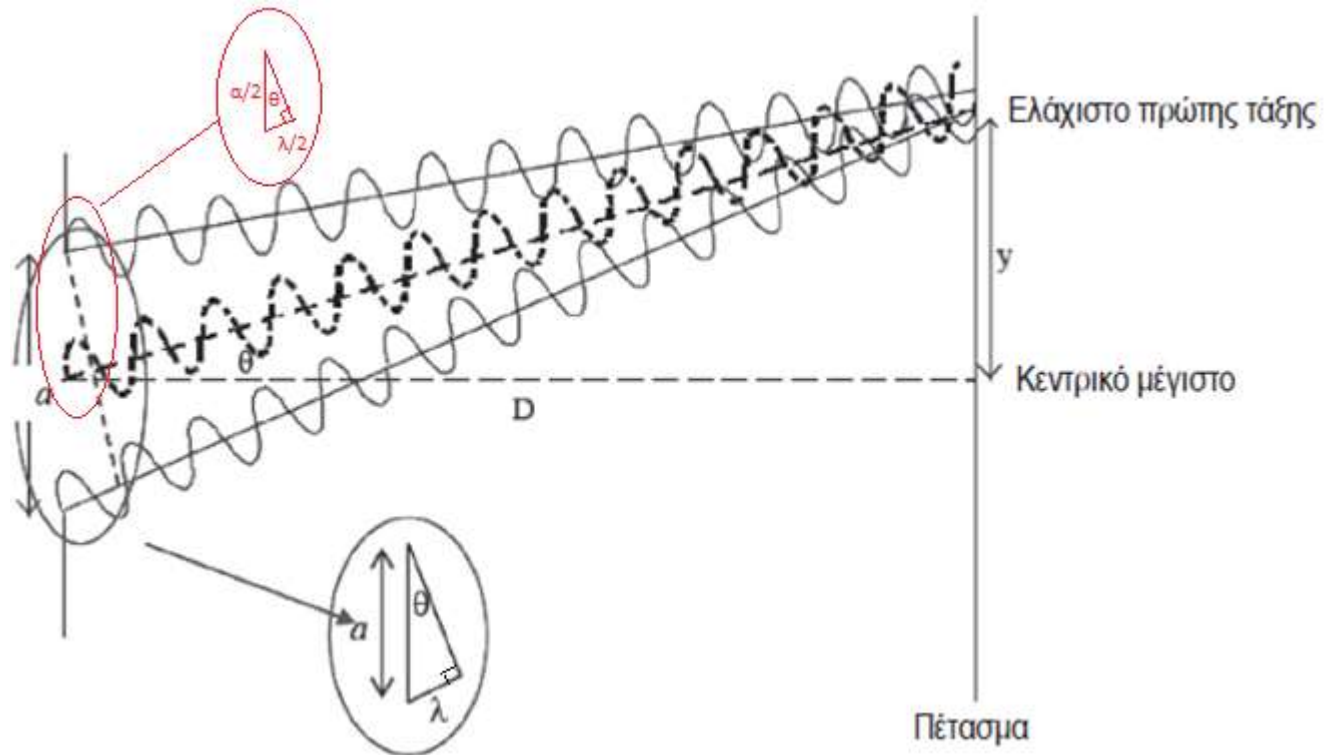


ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

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 ένα 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 κάτω. Όλα αυτά τα ζεύγη ακτίνων που η αφετηρία τους απέχει $a/2$ και αφού η διαφορά δρόμου τους ως το πέτασμα είναι ίση με $\lambda/2$ (αυτό είναι ισοδύναμο με τη δήλωση: τα ζεύγη ακτίνων με αφετηρία τα δύο άκρα της σχισμής (απόσταση a), έχουν διαφορά δρόμου λ), θα αναιρούνται πλήρως και επομένως δεν θα υπάρχει φως σε αυτό το σημείο του πετάσματος.



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ



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

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

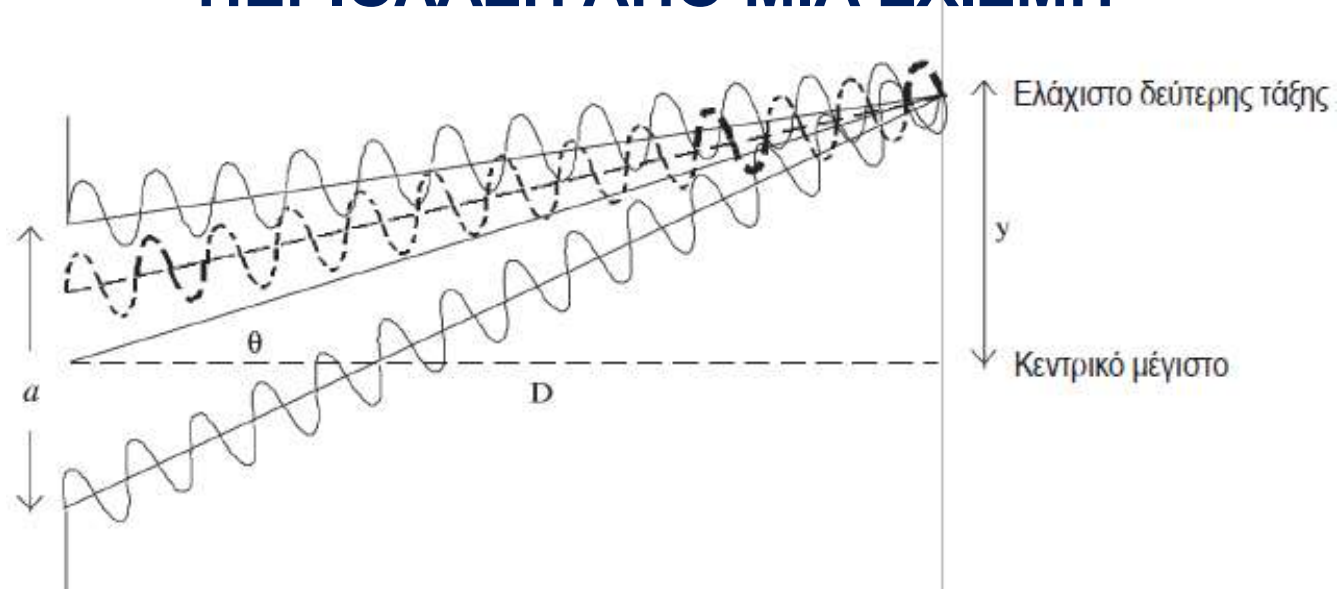
(πρώτο ελάχιστο περίθλασης)

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

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

(*) Στη μελέτη περίθλασης μακρινού πεδίου (Fraunhofer), για τη γωνία θ εκφρασμένη σε rad θεωρούμε ικανοποιητική την προσέγγιση $\theta \approx \sin \theta$, ενώ $\cos \theta \approx 1$, επομένως $\tan \theta \approx \sin \theta$

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ



Για να βρούμε την επόμενη, μεγαλύτερη, γωνία στην οποία έχουμε αναιρετική συμβολή ανά ζεύγη*, και επομένως ελάχιστο περίθλασης, διαιρούμε υποθετικά τη σχισμή σε τέσσερα ίσα τμήματα.

Τα ζεύγη ακτίνων, που προέρχονται από σημεία της σχισμής ευρισκόμενα σε απόσταση ίση με $a/4$, θα υφίστανται και πάλι πλήρη απόσβεση αν η διαφορά δρόμου τους ως το πέτασμα ($= \frac{a}{4} \sin\theta$) είναι ίση με $\lambda/2$.

Επομένως έχουμε 2^ο σκοτεινό κροσσό όταν: $\frac{a}{4} \sin\theta = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \sin\theta = 2 \frac{\lambda}{a}$

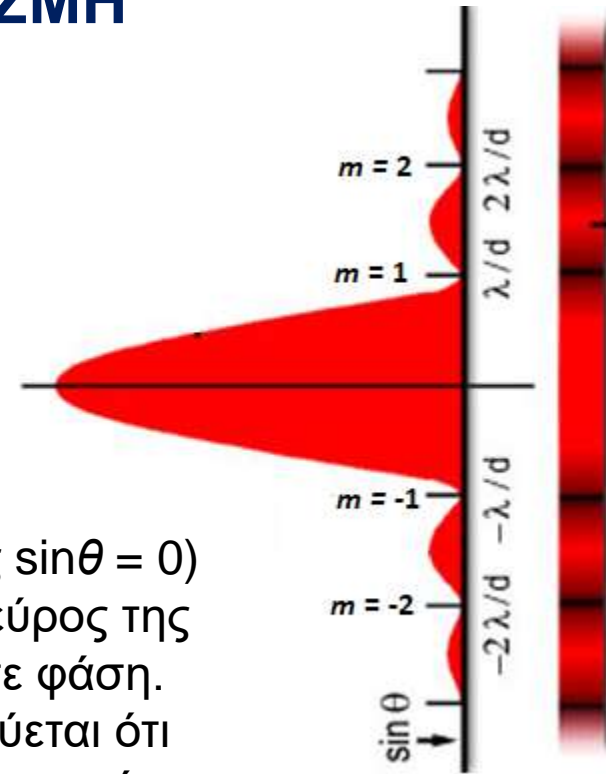
(*) Θέλουμε πάντα ζεύγη, επομένως διαμερίζουμε πάντα τη σχισμή με άρτιο αριθμό, δηλ. 2, 4, 6, 8, ... $2m$ ($m \geq 1$)

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να διαιρέσουμε τη σχισμή σε τέταρτα, έκτα, ... και να δείξουμε την εμφάνιση σκοτεινού κροσσού όταν: $\sin\theta = 2\lambda/\alpha, 3\lambda/\alpha, \dots$ Επομένως, η συνθήκη για σκοτεινό κροσσό είναι:

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

- Η σχέση αυτή δεν ισχύει για $m = 0$. Για $\theta = 0$ (επομένως $\sin\theta = 0$) παρατηρείται μια φωτεινή ταινία αφού φως από όλο το εύρος της σχισμής φθάνει στο σημείο παρατήρησης βρισκόμενο σε φάση. Αυτή είναι ο κεντρικός φωτεινός κροσσός που αποδεικνύεται ότι είναι ακριβώς διπλάσιου εύρους συγκριτικά με τους πλευρικούς φωτεινούς κροσσούς.
- Οι θετικοί και αρνητικοί ακέραιοι m αντιστοιχούν σε σκοτεινούς κροσσούς «επάνω» και «κάτω» από τον οπτικό άξονα αντίστοιχα.



Η εξίσωση αυτή, για τους σκοτεινούς κροσσούς στην περίπτωση περίθλασης από μια σχισμή, μοιάζει πολύ με την εξίσωση που ορίζει τη θέση των φωτεινών κροσσών συμβολής στο πείραμα δύο σχισμών και γι' αυτό οι **έννοιες των συμβόλων πρέπει να έχουν ξεκαθαριστεί με προσοχή!**

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

Με την προσέγγιση μικρής γωνίας για την περίθλαση μακρινού πεδίου ($\sin\theta \approx \theta$), μπορούμε να γράψουμε:

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

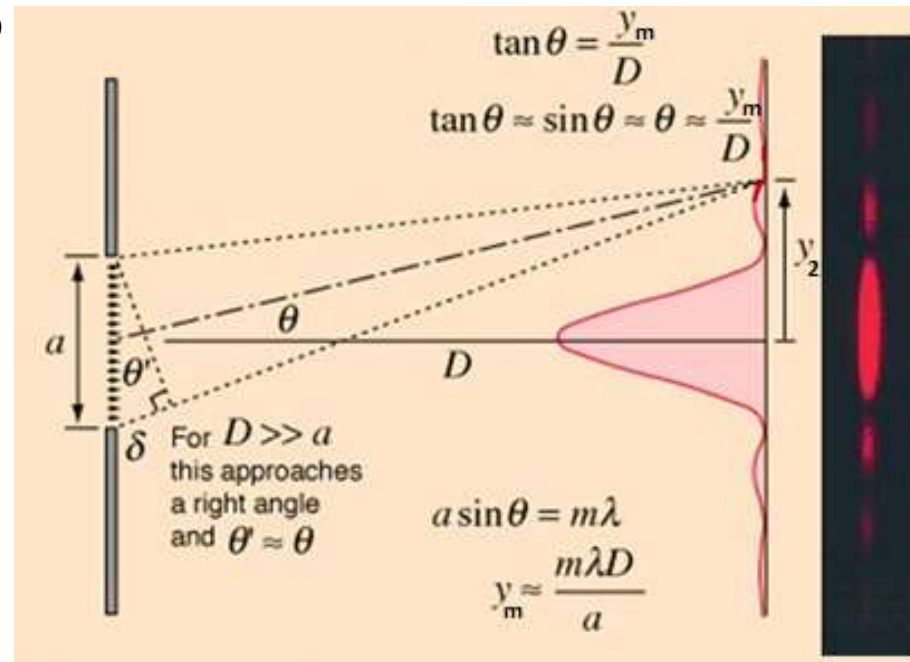
Επίσης, αν D : η απόσταση σχισμής-πετάσματος
 y_m : η κάθετη απόσταση του m -οστού σκοτεινού κροσσού από το κέντρο του διαμορφώματος

τότε: $\tan\theta = y_m/D$

Για μικρές γωνίες μπορούμε ικανοποιητικά να προσεγγίσουμε $\tan\theta = \theta$

Επομένως, οι θέσεις των σκοτεινών κροσσών στην εικόνα μιας (μονής) σχισμής θα είναι:

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



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

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

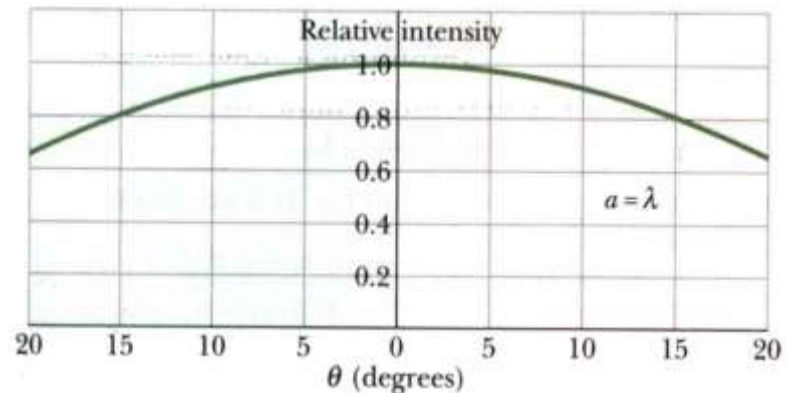
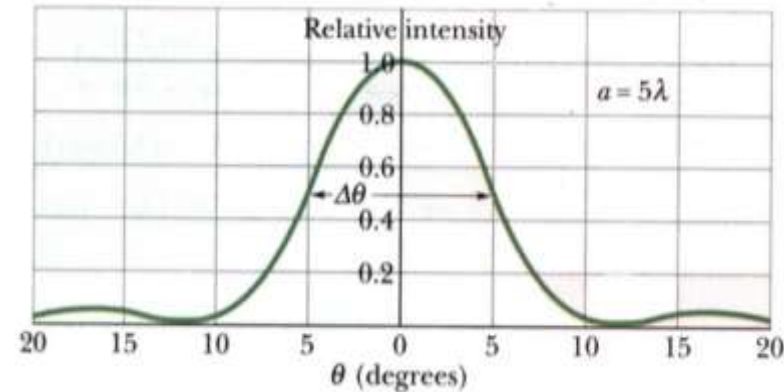
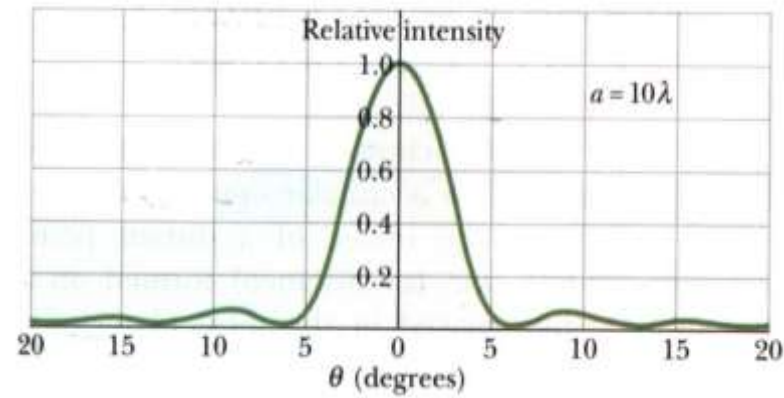
Για μικρές γωνίες ($\sin \theta \sim \theta$) το γωνιακό άνοιγμα του διαμορφώματος περίθλασης (δηλ. για $m = \pm 1$) είναι αντιστρόφως ανάλογο του λόγου του εύρους της σχισμής a προς το μήκος κύματος λ .

$$\theta = \pm \lambda/a$$

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.

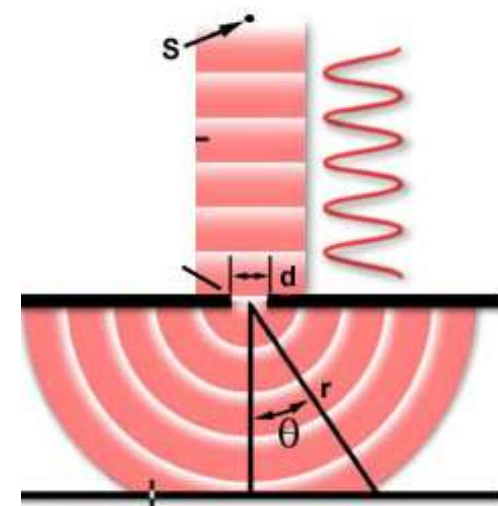
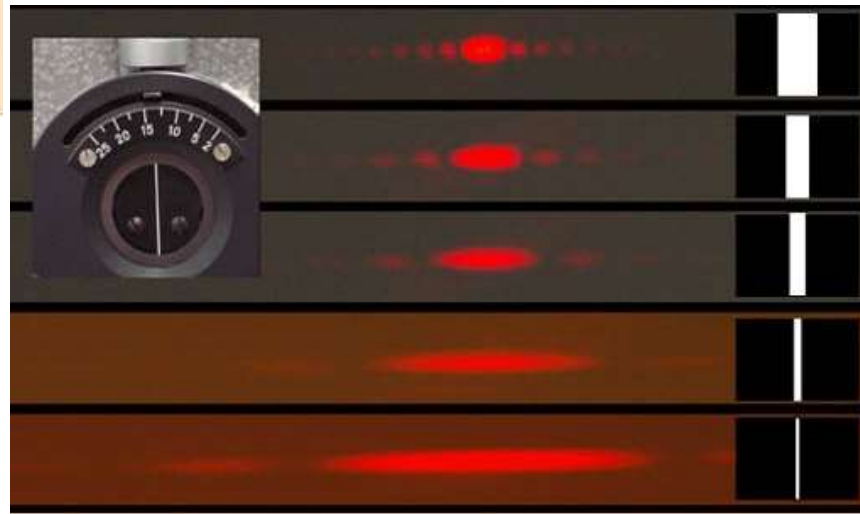
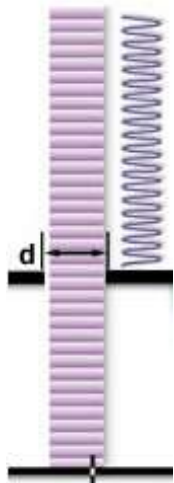
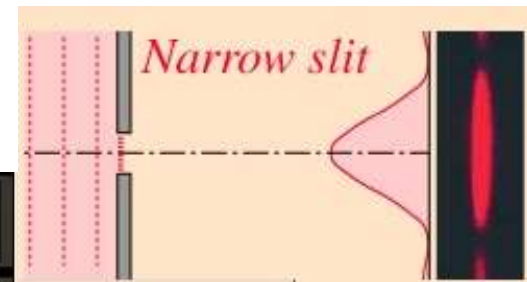
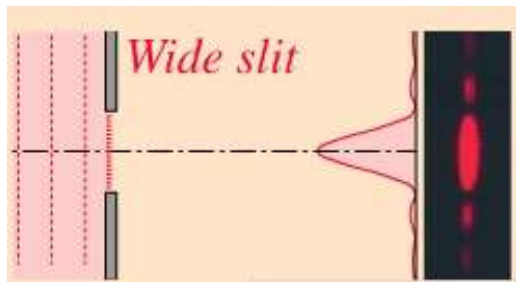
Αν το a είναι μικρότερο του λ , το κεντρικό μέγιστο έχει γωνιακό άνοιγμα 180° και η γωνία περίθλασης δεν είναι δυνατό ούτε καν να παρατηρηθεί.



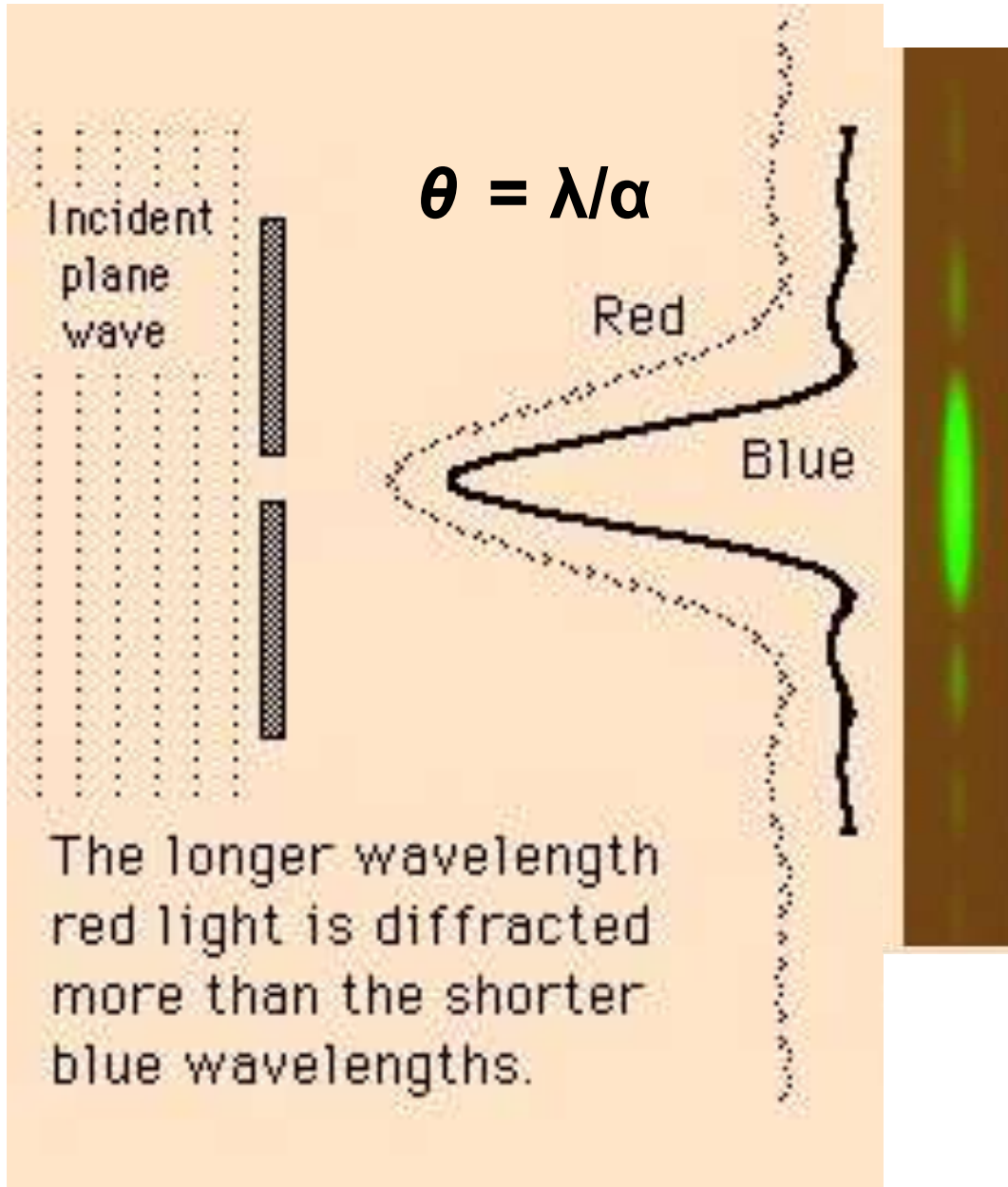
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ

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

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.



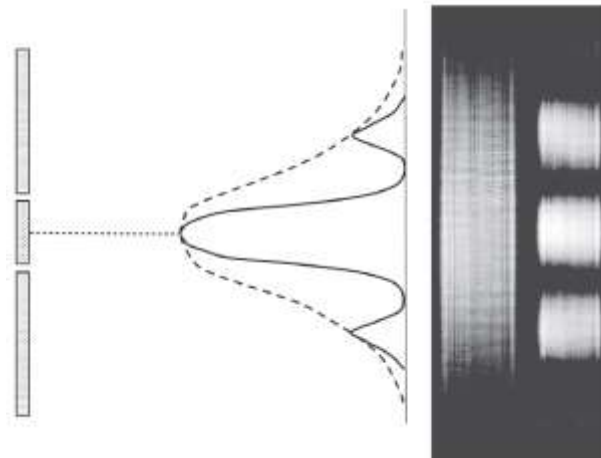
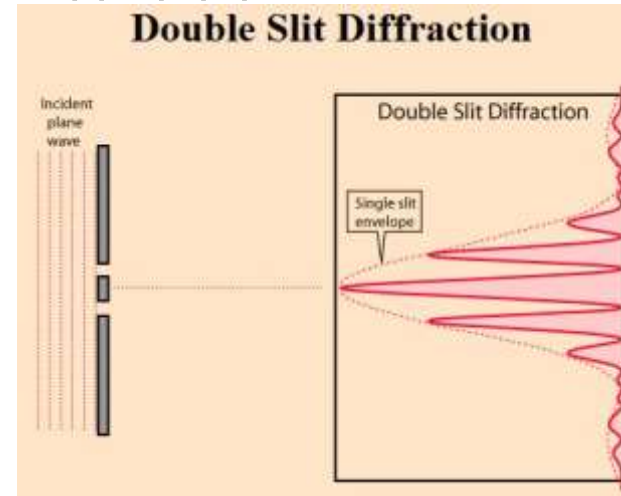
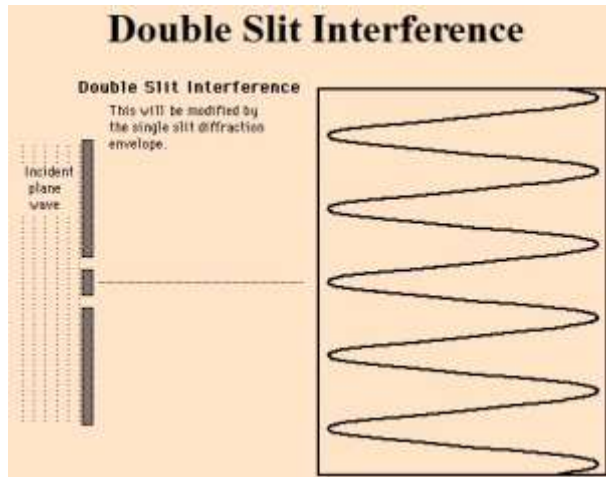
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΧΙΣΜΗ



ΕΠΑΝΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΑΠΟ ΔΥΟ ΣΧΙΣΜΕΣ

Το προφίλ της έντασης των κροσσών συμβολής στην πραγματικότητα διέπεται και από την περίθλαση του φωτός από κάθε σχισμή.

Η ένταση των κροσσών λόγω συμβολής από δύο σχισμές διαμορφώνεται σύμφωνα με την περιβάλλουσα της περίθλασης από καθεμία σχισμή ώστε το τελικό διαμόρφωμα στο πέτασμα να έχει τη μορφή:



ΕΝΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΔΥΟ ΣΧΙΣΜΩΝ

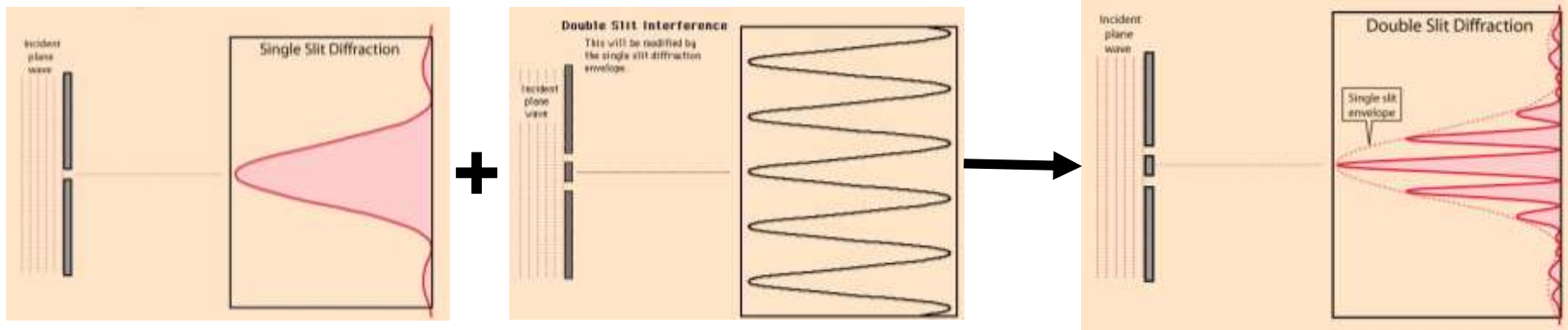
Αποδεικνύεται ότι η κατανομή της έντασης περιθλώμενης ακτινοβολίας από δύο σχισμές εύρους a και απόστασης d μεταξύ τους είναι:

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

όπου: $\phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta$ $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$

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 .

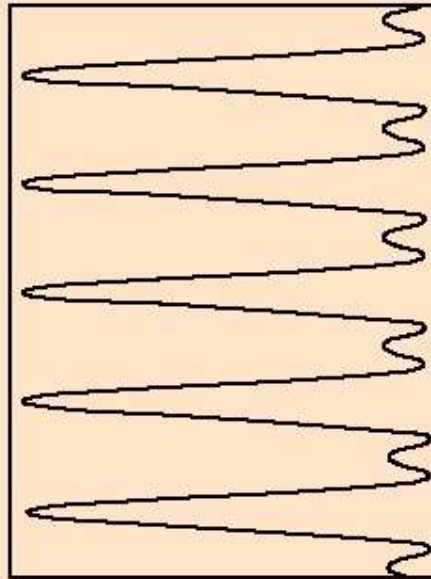
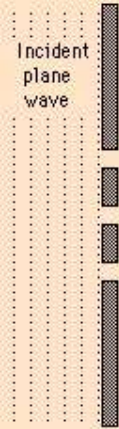
Όπως αποδεικνύεται, όμως,

- 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

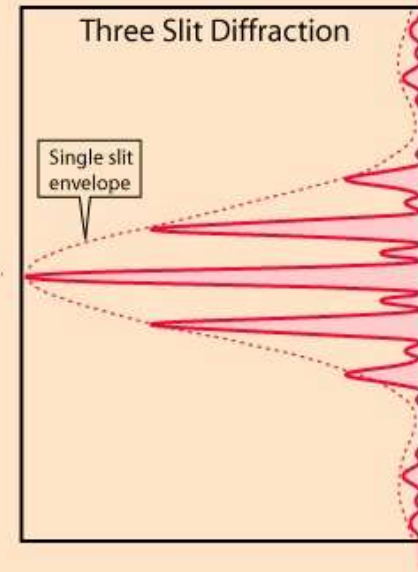
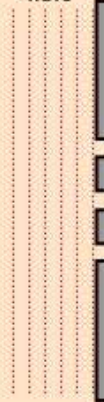
Three Slit Interference

This will be modified by the single slit diffraction envelope.



Three Slit Diffraction

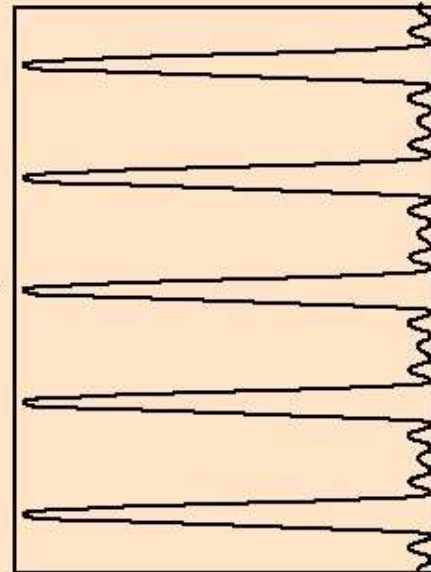
Incident plane wave



Five Slit Interference

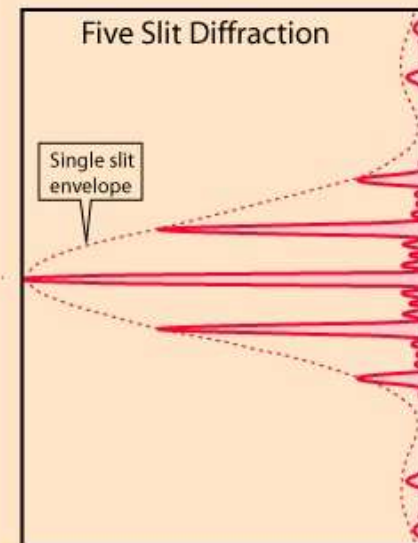
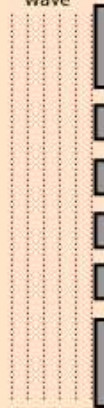
Five Slit Interference

This will be modified by the single slit diffraction envelope.

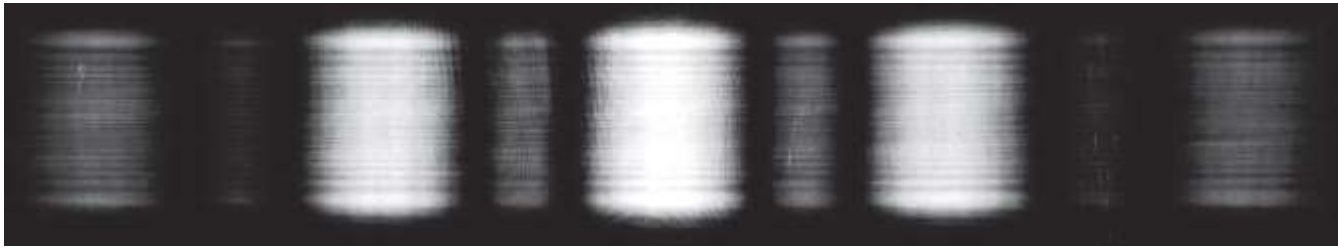


Five Slit Diffraction

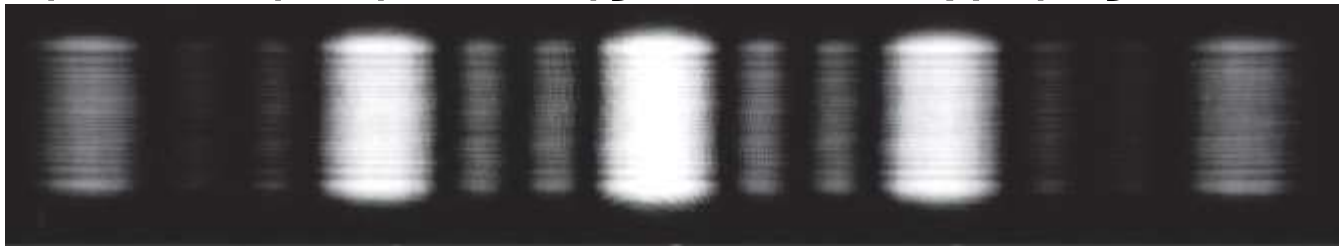
Incident plane wave



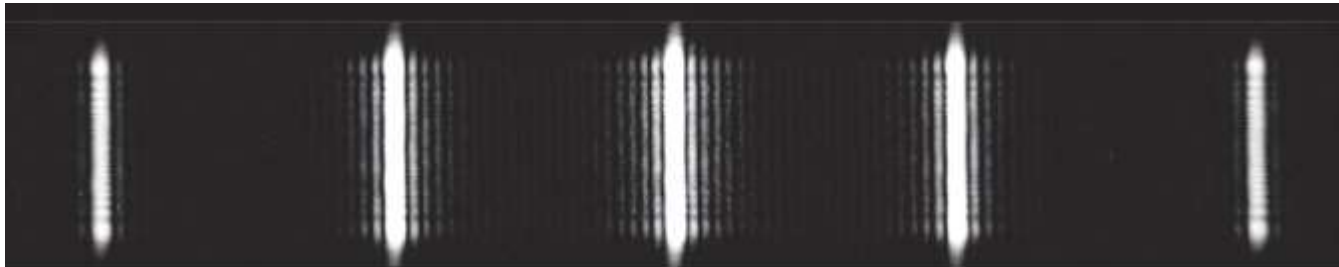
ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΛΕΠΤΕΣ ΣΧΙΣΜΕΣ



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).

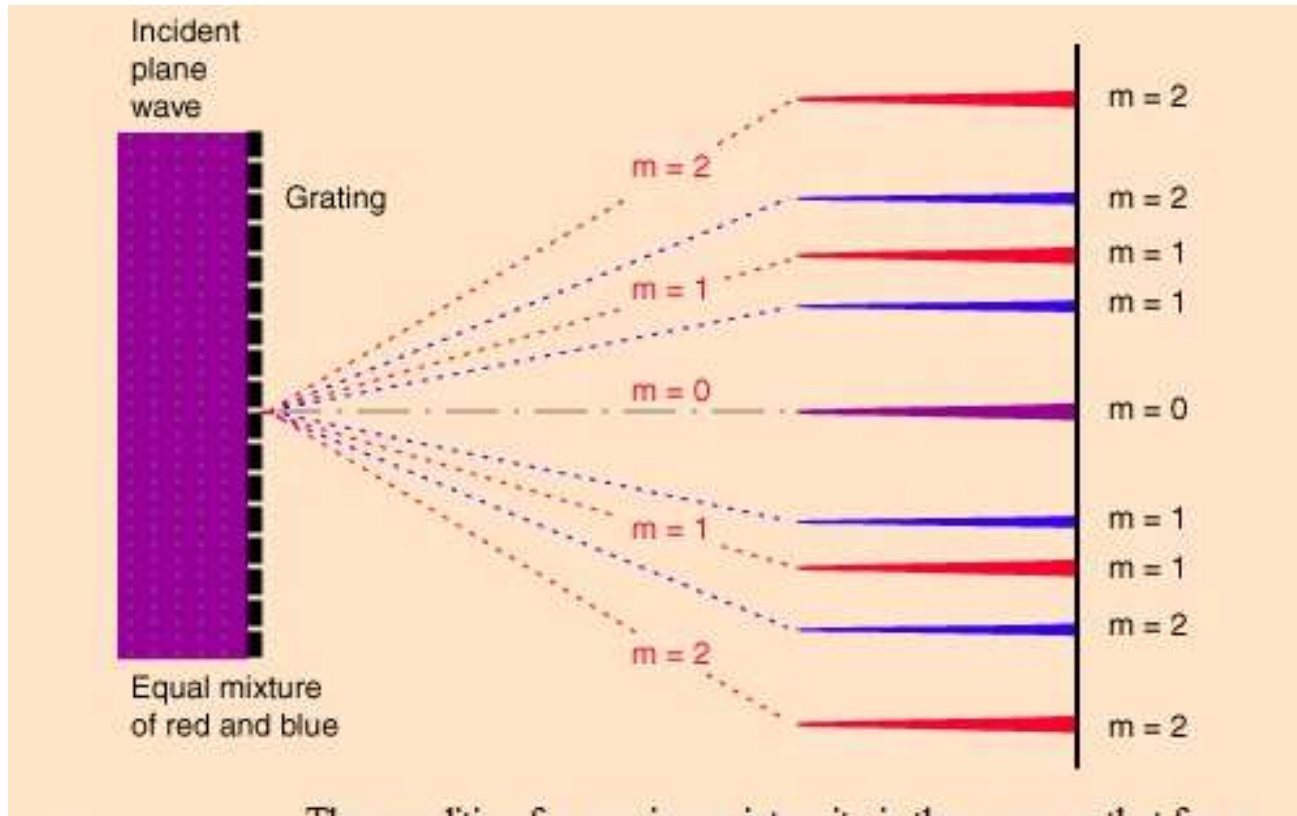
Τα φράγματα περίθλασης δίνουν πολύ οξείες κορυφές συμβολής και έτσι όταν πέσει σε αυτά μονοχρωματικό φως, όπως φως από λέιζερ, η εικόνα περίθλασης θα είναι μια σειρά από μικρές κηλίδες, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί στην τάξη συμβολής που περιγράφεται στην εξίσωση $d \sin\theta = m\lambda$.



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.

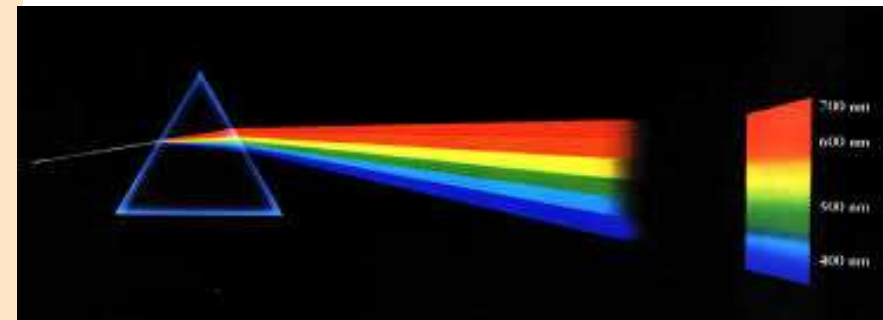
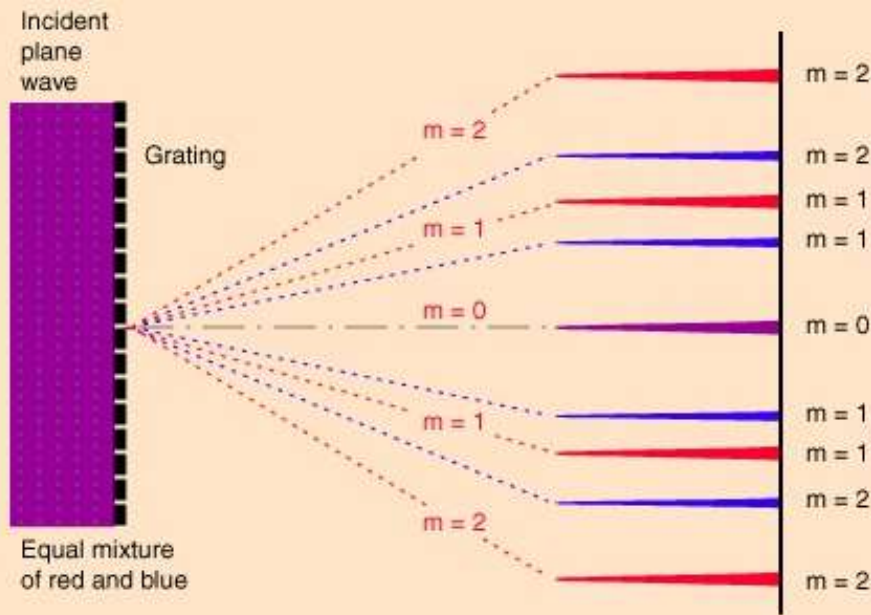


ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

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*.

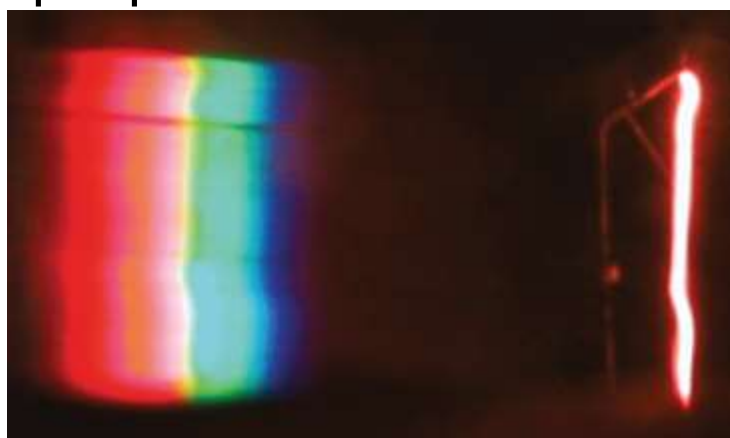
Σύμφωνα με την εξίσωση $d \sin \theta = m\lambda$, **το φως με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος θα περιθλάται στις μεγαλύτερες γωνίες.**

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).



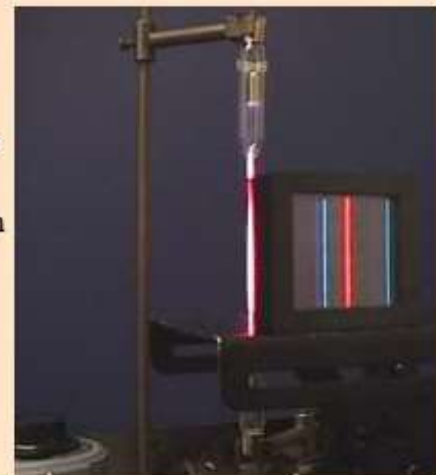
ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

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.



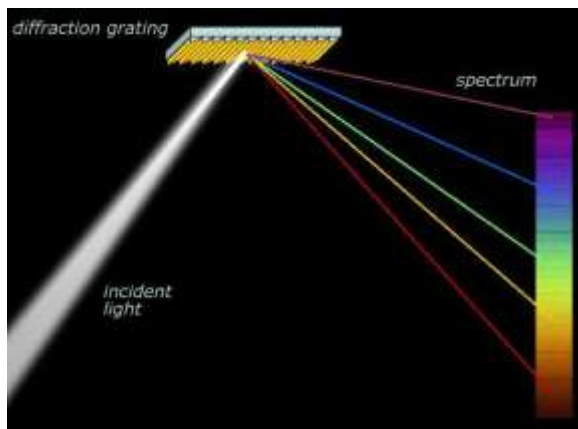
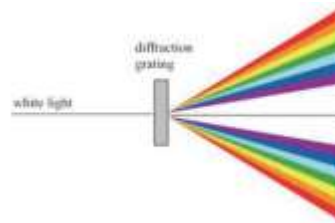
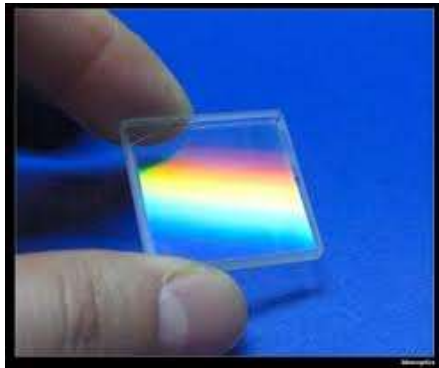
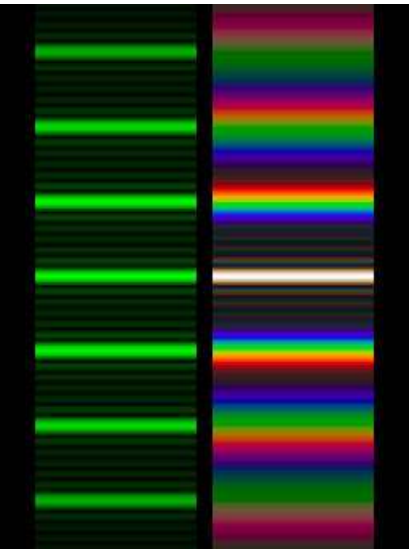
Διαμόρφωμα περίθλασης που σχηματίζεται όταν ένα φράγμα τοποθετηθεί μπροστά σε μια σχισμή που εκπέμπει λευκό φως. Στο σχήμα φαίνεται, αριστερά του κεντρικού μεγίστου φαίνεται το μέγιστο πρώτης τάξης όπου παρατηρείται ένα συνεχές φάσμα χρωμάτων.

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

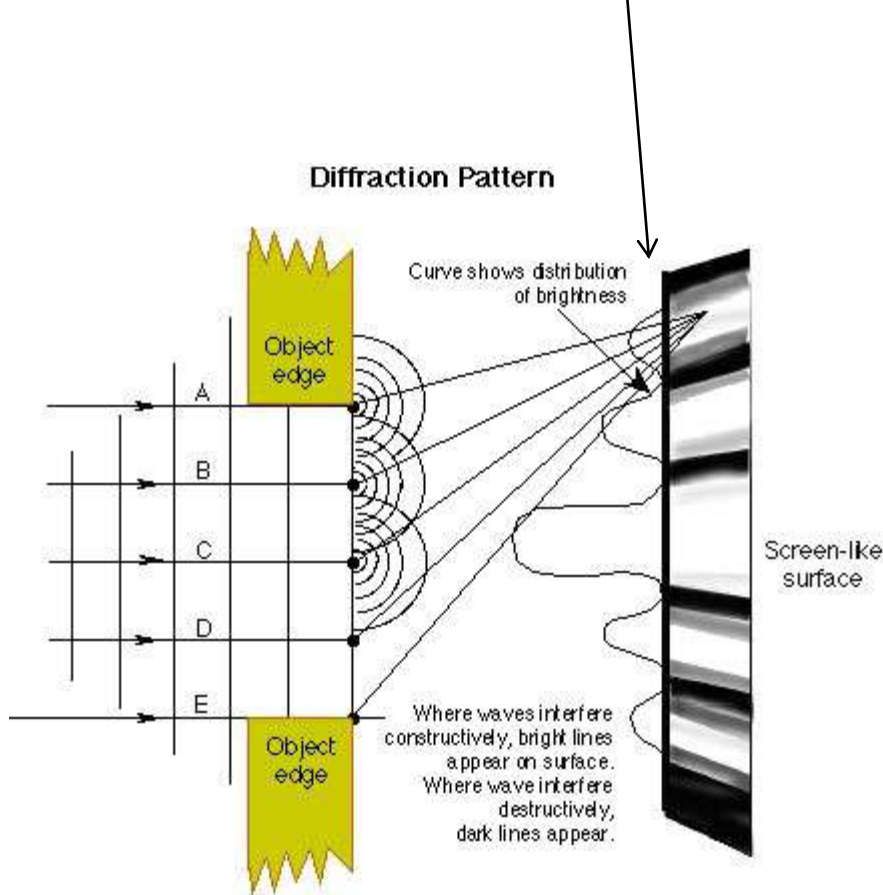
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τέτοιων οπτικών φραγμάτων: **φράγματα διέλευσης**, όπως αυτά που έχουμε εξετάσει ως τώρα και **φράγματα ανάκλασης**, κατασκευασμένα με πολλές λεπτές χαραγές πάνω σε κατοπτρική επιφάνεια.



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° .

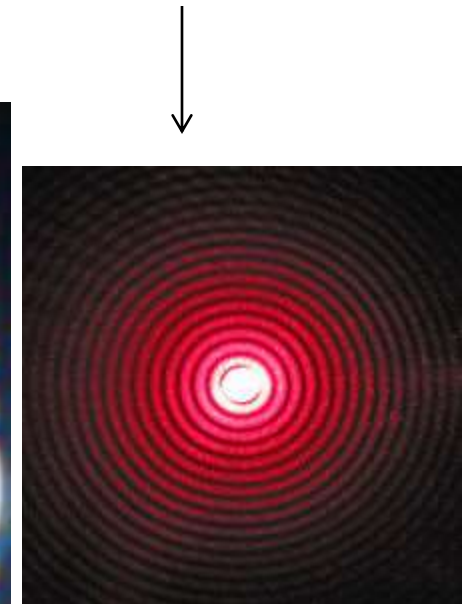
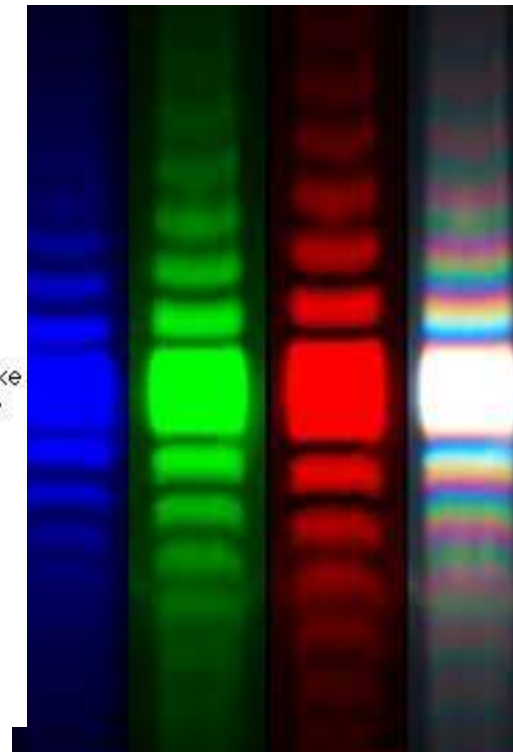
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Το διαμόρφωμα περίθλασης περιέχει πληροφορίες για το σχήμα και διαστάσεις του ανοίγματος.



σχισμή

κυκλική οπή



Βλ. Phet : Wave interference

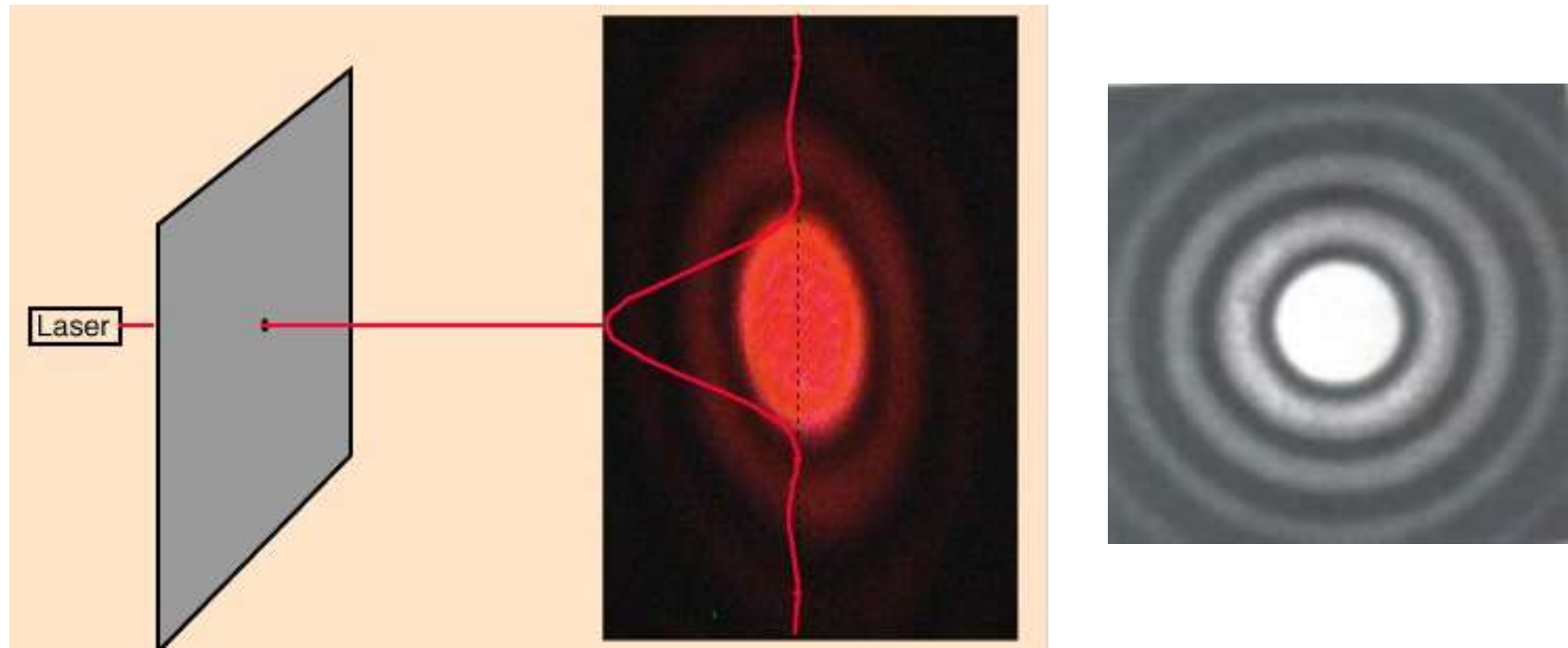
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ

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:

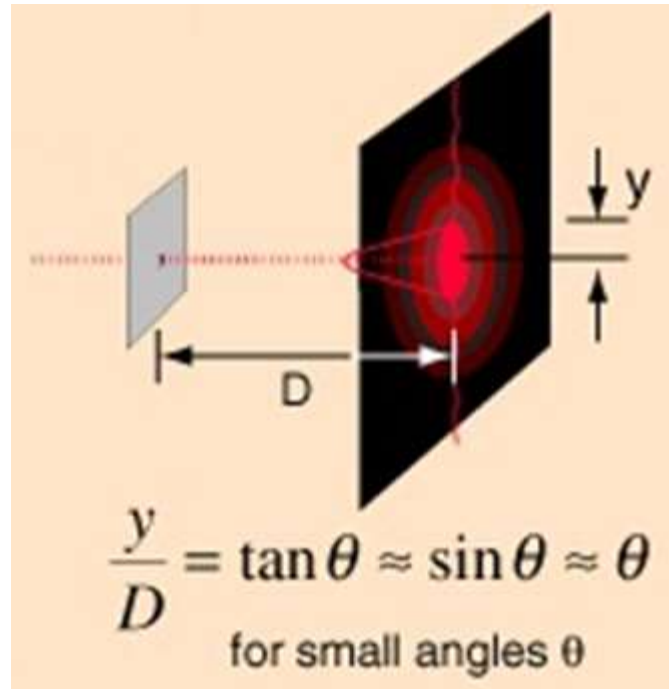
$$d \sin \theta = 1,22 \lambda$$

όπου d η διάμετρος του κυκλικού ανοίγματος.

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



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ



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

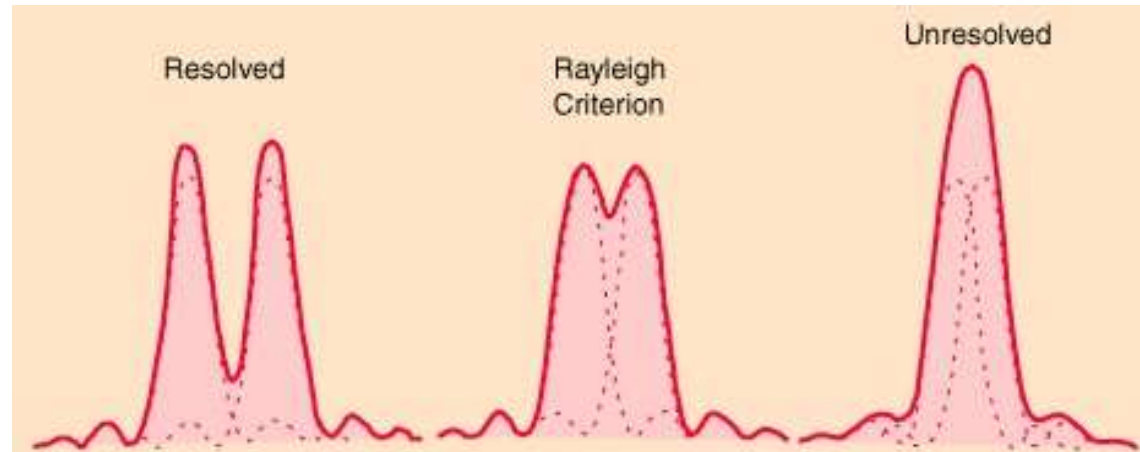
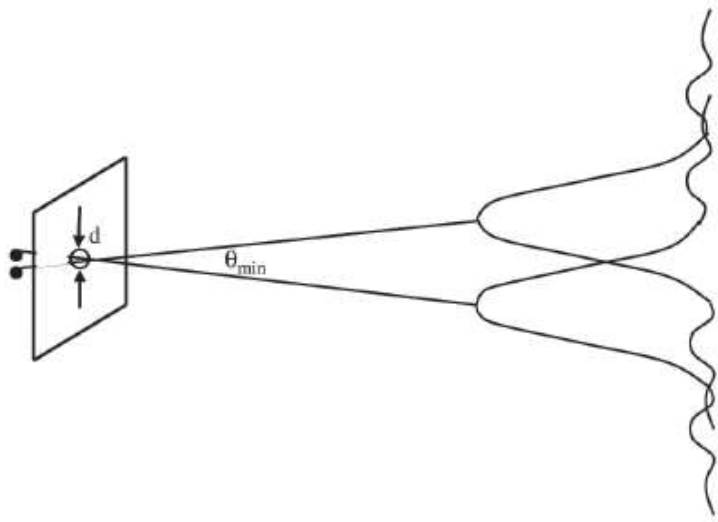
$$y / D = 1,22 \lambda / d$$

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.



Περίθλαση και περιορισμός της διακριτότητας

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

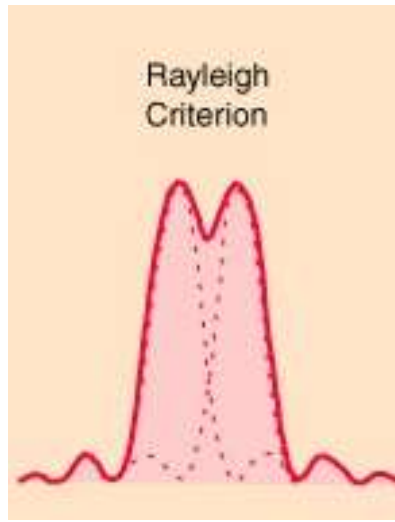
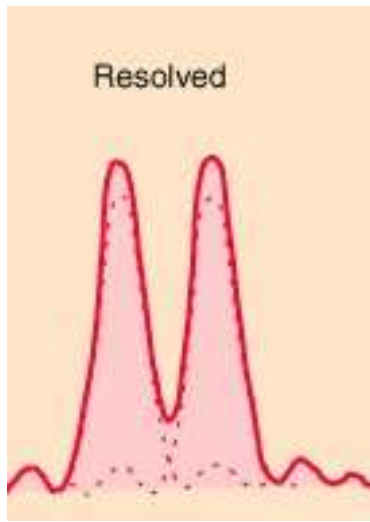
$$\theta_{\min} = \frac{1,22\lambda}{d}$$

όπου, η θ_{\min} εκφράζει την **ελάχιστη γωνιακή διαχώριση** (σε ακτίνια) (ελάχιστη γωνιακή απόσταση θ_m που σχηματίζουν δύο πηγές με κορυφή το κυκλικό άνοιγμα 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:

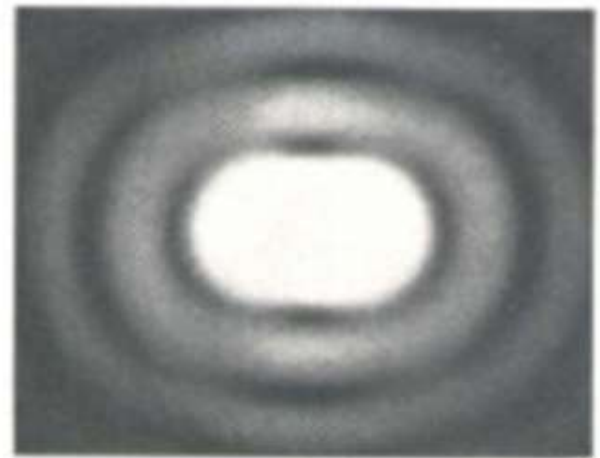
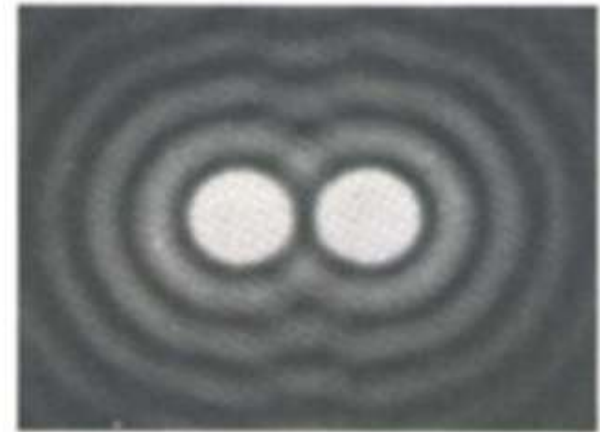
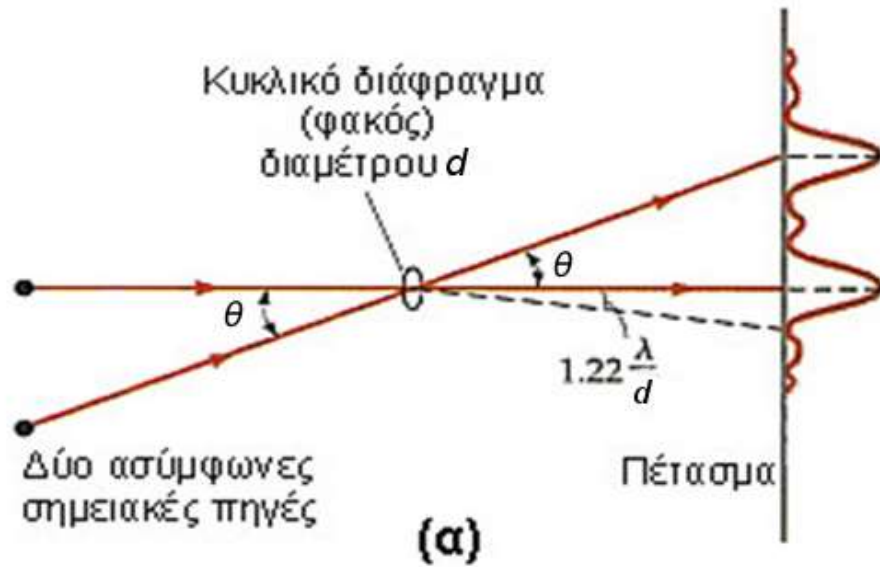
$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$$

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



Περίθλαση και περιορισμός της διακριτότητας

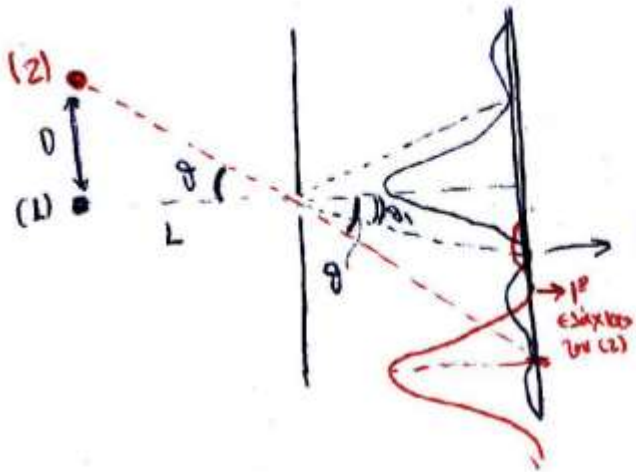
Κριτήριο Rayleigh - Κυκλικό άνοιγμα διαμέτρου d



(γ)

Περίθλαση και περιορισμός της διακριτότητας

Κριτήριο Rayleigh -



Όταν a το ύψος μιας σχισμής το πρώτο ελάχιστο αντιστοιχεί στη γωνία θ ομοία με την σχέση:

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{a} \quad \left. \begin{array}{l} \theta \text{ μικρό, } \sin \theta_1 = \theta_1 \text{ (rad)} \end{array} \right\} \theta_1 = \frac{\lambda}{a}$$

Όσο το (2) πλησιάζει το (1), η γωνία θ μικραίνει (θ μικρό, $\frac{D}{L} = \tan \theta \approx \sin \theta \approx \theta$)
 Όταν $\theta \leq \theta_1$, το κεντρικό μέγιστο του ειδώλου του (1) έχει πέσει πάνω στο ελάχιστο του άλλου (2).

ΚΡΙΤΗΡΙΟ RAYLEIGH $\boxed{\theta = \frac{\lambda}{a}}$ ή $\frac{D}{L} = \frac{\lambda}{a} \Leftrightarrow D = \frac{\lambda}{a} L$

↑
ελάχιστη γωνία

↑
ελάχιστη απόσταση

ώστε τα (1) & (2) να διακρίνονται.

ΑΣΚΗΣΗ

Η κόρη του οφθαλμού της γάτας συστέλλεται σε μια σχισμή εύρους $0,5 \text{ mm}$ στο φως της ημέρας. Ποια είναι η γωνιακή διακριτική ικανότητα (ή διαχωριστικότητα); (Υποθέστε ότι το μήκος κύματος του φωτός που προσπίπτει στον οφθαλμό της γάτας είναι 500 nm)

ΛΥΣΗ

$$\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-4}} \text{ rad} = 10^{-3} \text{ rad} = 180 \frac{10^{-3}}{\pi} = 0.057^\circ$$

ΑΣΚΗΣΗ

Υποθέστε ότι οι προβολείς ενός αυτοκινήτου είναι σημειακές πηγές που απέχουν $1,5 \text{ m}$. Υπολογίστε τη μέγιστη απόσταση από την οποία ένας παρατηρητής μπορεί να διακρίνει τους δύο προβολείς. (Μέση διάμετρος κόρης οφθαλμού $1,5 \text{ mm}$)

ΛΥΣΗ

$D = 1,5 \text{ m}$ και $d = 1,5 \text{ mm}$

L απόσταση παρατηρητή από το αυτοκίνητο

Από κριτήριο Rayleigh: $\theta_{\min} = 1,22 \lambda / d$

Αφού $d = \text{σταθερό}$, $\theta_{\min} = 1,22 \lambda_{\min} / d$

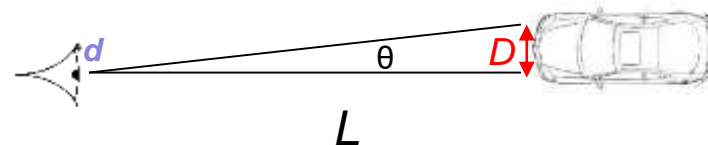
Θεωρούμε την προσέγγιση για μικρή γωνία θ , οπότε: $\theta = D / L$

Αφού $D = \text{σταθερό}$

$\theta_{\min} = D / L_{\max} = 1,22 \lambda_{\min} / d \Rightarrow L_{\max} = Dd / (1,22 \lambda_{\min})$

Μεγαλύτερη απόσταση για μικρότερο μήκος κύματος. Επομένως, για το ιώδες ($\lambda = 400 \text{ nm}$)

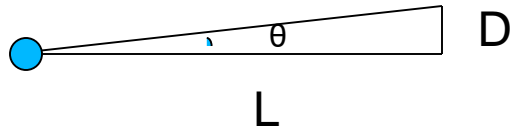
$$L = \frac{(1,5 \text{ m})(1,5 \times 10^{-3} \text{ m})}{(1,22)(400 \times 10^{-9} \text{ m})} = \frac{2,25}{4,88} 10^4 \text{ m} \approx 4,6 \text{ km}$$



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 700 nm.

d = διάμετρος κόρης οφθαλμού = 1,5 έως 4 mm



ΛΥΣΗ

Εδώ L = σταθερό, οπότε:

$$\theta_{\min} = D_{\min} / L = 1,22 \lambda_{\min} / d_{\max}$$

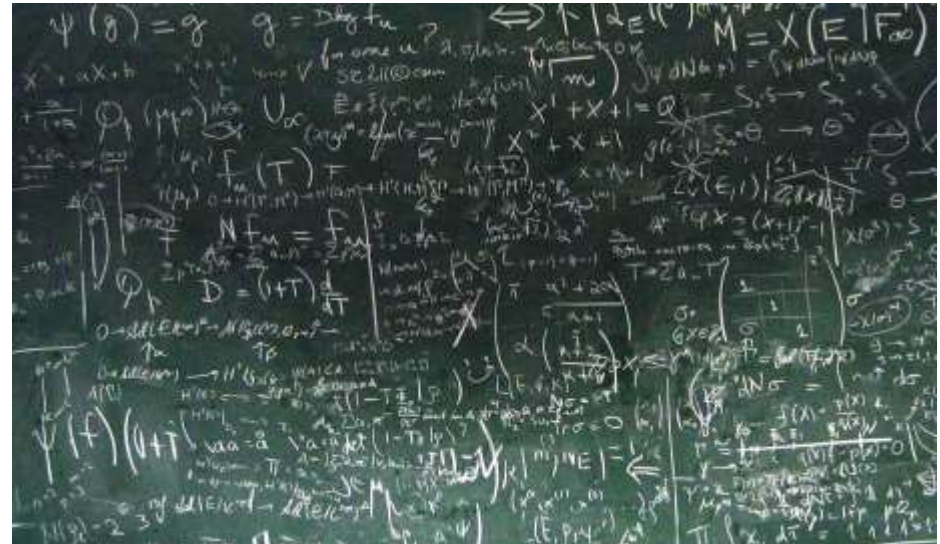
Το όριο διακριτότητας θα είναι μικρότερο (υψηλότερη διακριτότητα)

για λ_{\min} (= 400 nm)

και d_{\max} (= 4 mm).

$$\text{Άρα } D_{\min} = 1,22 \cdot 400 \text{ nm} \cdot 10 \text{ m} / 4 \text{ mm} = 1,22 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$$

Επομένως, 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;



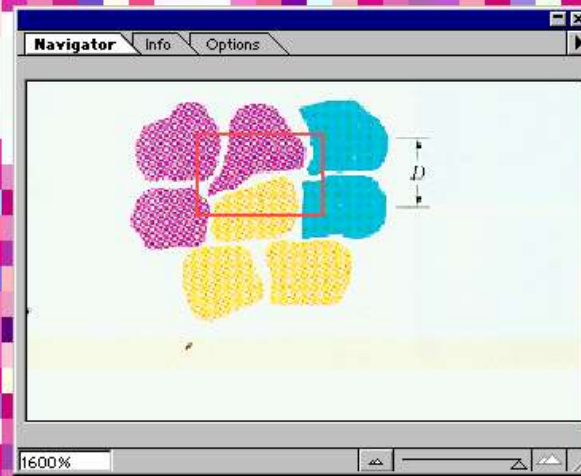
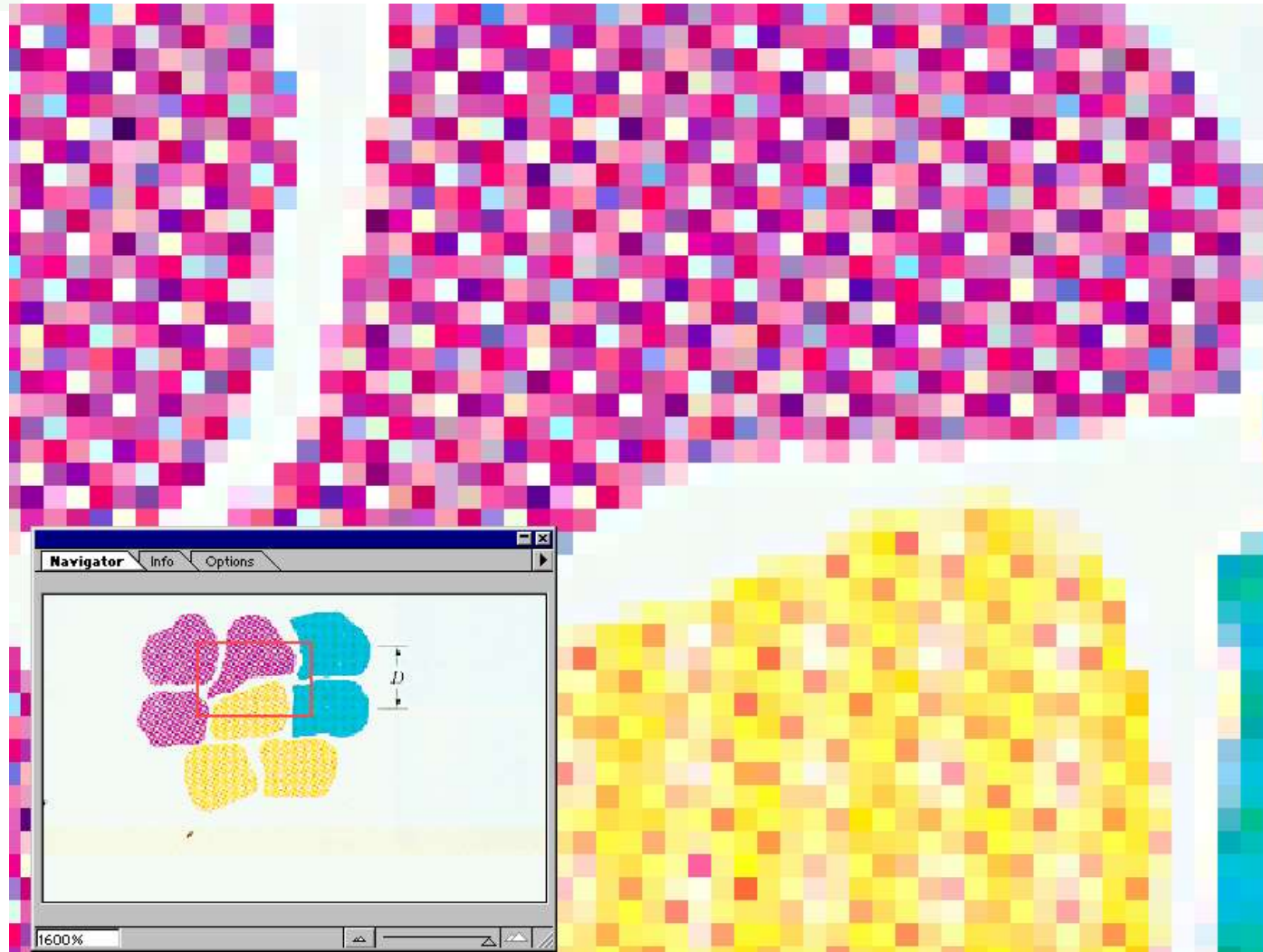
Seurat Georges

Κυριακάτικο απόγευμα στο νησί Grande Jatte

Στίγματα από τον πίνακα του *Seurat*



Pixels





λ_{\min} έχει το ιώδες χρώμα ($\lambda_{\text{ιώδους}} = 400\text{nm}$), επομένως

$$L_{\max} = \frac{(2 \cdot 10^{-3}\text{m})(1,5 \cdot 10^{-3}\text{m})}{1,22 \cdot 400 \cdot 10^{-9}\text{m}} = 6,1\text{ m}$$

έγχρωμα στίγματα ~ κυκλ. δίσκοι, απόσταση κέντρων $D = 2\text{mm}$
Διάμετρος κόρης οφθαλμού ~ $d = 1,5\text{mm}$

θ μικρό \rightarrow (προσέγγιση) $\theta = D / L$

L απόσταση παρατηρητή από τα στίγματα

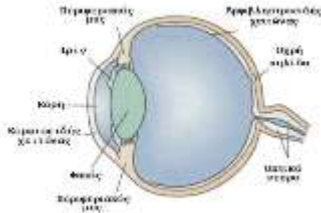
Κριτήριο Rayleigh $\rightarrow L_{\max} = Dd / 1,22 \lambda_{\min}$

λ_{\min} έχει το ιώδες χρώμα ($\lambda_{\text{ιώδους}} = 400\text{nm}$), επομένως

$$L_{\max} = \frac{(2 \cdot 10^{-3}\text{m})(1,5 \cdot 10^{-3}\text{m})}{1,22 \cdot 400 \cdot 10^{-9}\text{m}} = 6,1\text{ m}$$

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 στον αμφιβληστροειδή) $\sim 0,1 \text{ mm}$

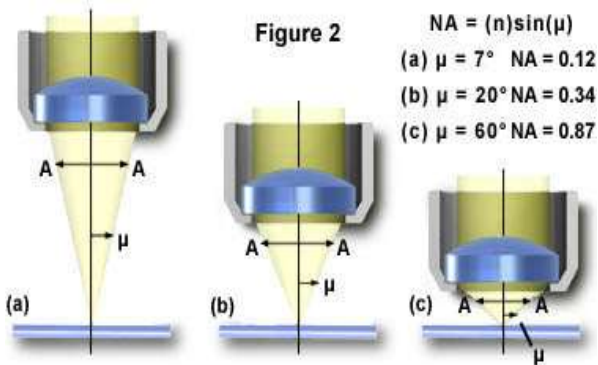


Figure 2

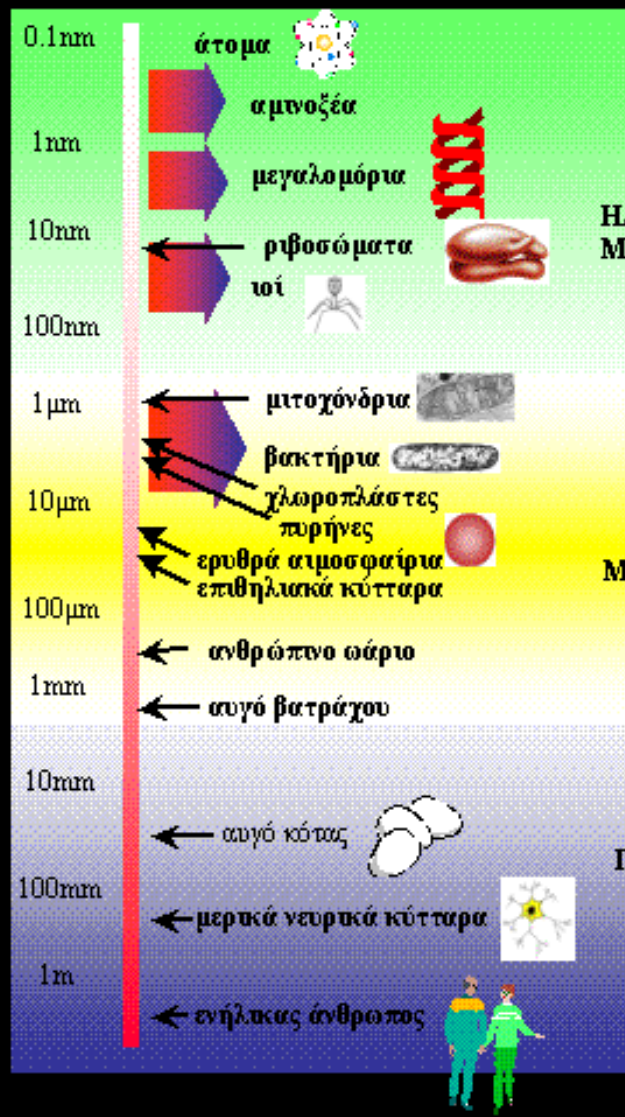
- $NA = (n)\sin(\mu)$
(a) $\mu = 7^\circ$ $NA = 0.12$
(b) $\mu = 20^\circ$ $NA = 0.34$
(c) $\mu = 60^\circ$ $NA = 0.87$

Οπτικά μικροσκόπια

(ιδανικές συνθήκες – βλέπε Παράρτημα II)

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

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



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



ΟΠΤΙΚΟ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



ΓΥΜΝΟ ΜΑΤΙ

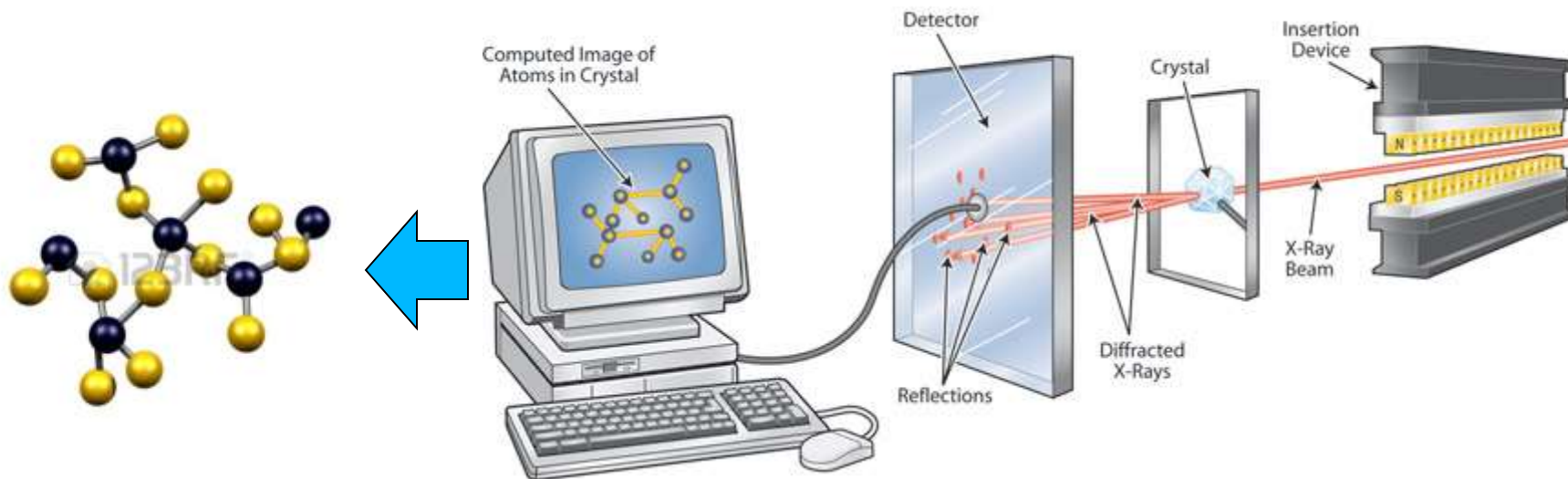


Τα σχετικά μεγέθη των
διαφόρων βιολογικών
δομών

Κρυσταλλογραφία ακτίνων Χ

Τι είναι η κρυσταλλογραφία ακτίνων-Χ;

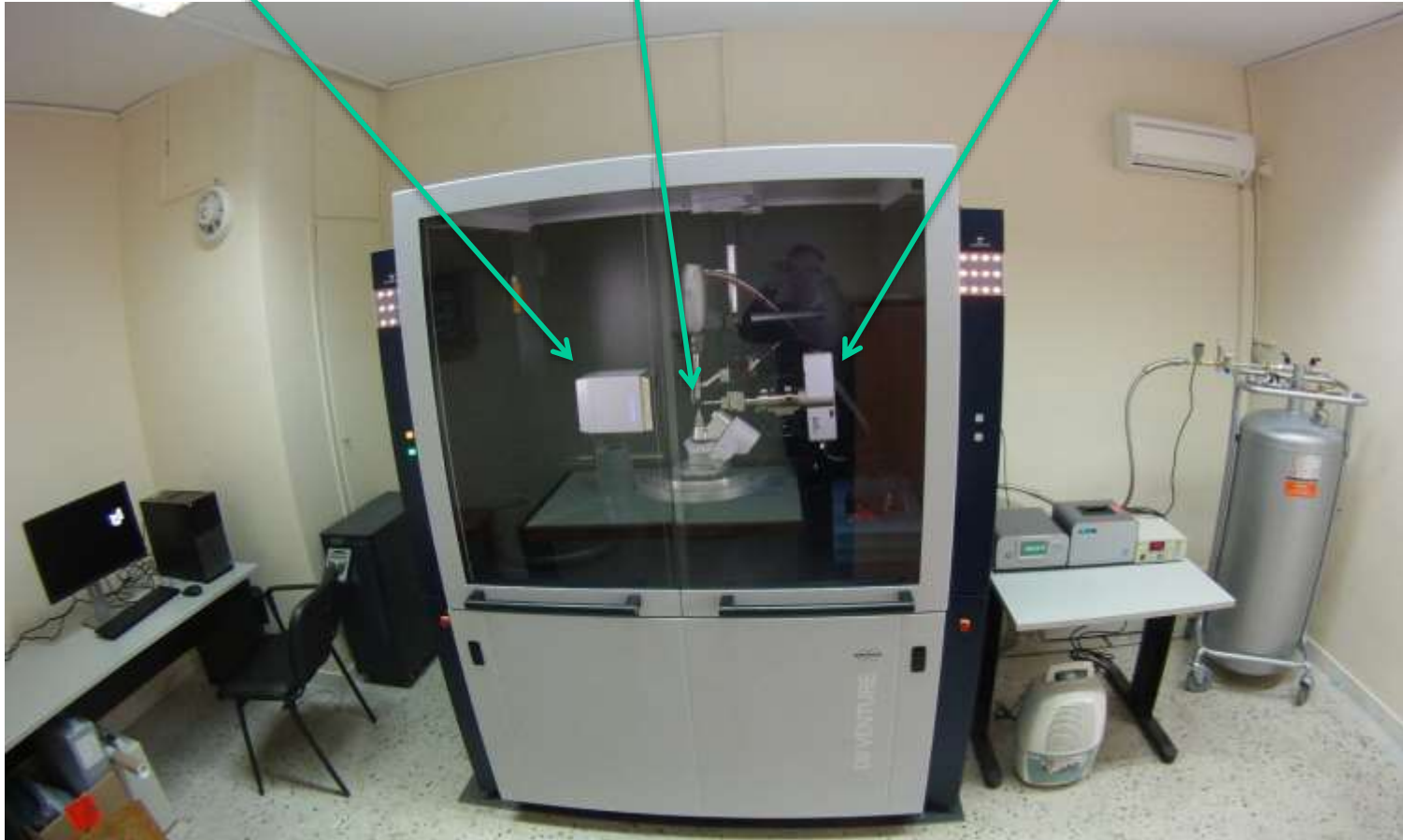
Η κρυσταλλογραφία ακτίνων-Χ είναι μία πειραματική μέθοδος που μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε τη δομή των κρυσταλλων στον χώρο. Στην πραγματικότητα «βλέπουμε» τα άτομα και μόρια που βρίσκονται στην κρυσταλλική κατάσταση. Οι γνώσεις που προκύπτουν έχουν πολλές πρακτικές εφαρμογές στην ζωή μας.



Ανιχνευτής

κρύσταλλος

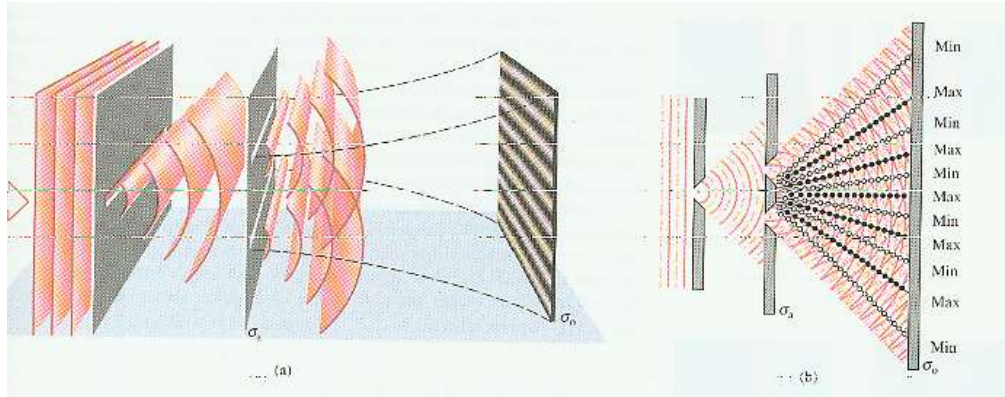
πηγή ακτινων Χ



Σύστημα κρυσταλλογραφίας Εργαστηρίου Φυσικής ΓΠΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές

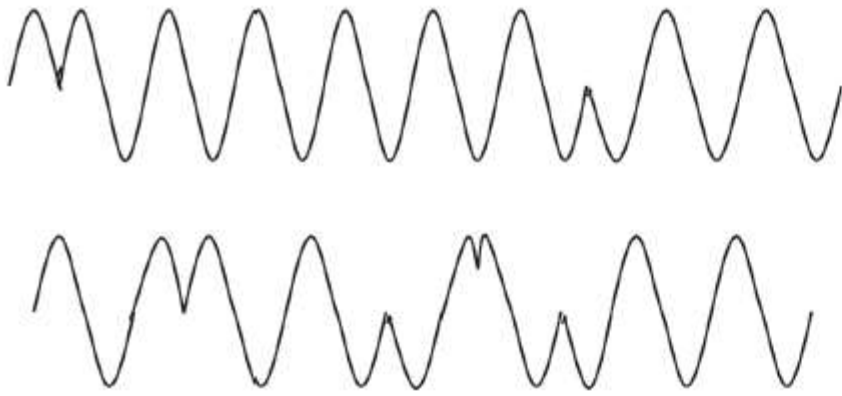


Για να παρατηρήσουμε διαμόρφωμα συμβολής από δύο σχισμές, οι δύο προσπίπτουσες ακτίνες από τις σχισμές να είναι **σύμφωνες** (*coherent*). (ίδια συχνότητα και καθορισμένη χρονοανεξάρτητη σχέση φάσεων)
Αν από τη θέση των σχισμών εκπέμπονταν δύο εντελώς ασύμφωνες ακτίνες, δεν θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε 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:

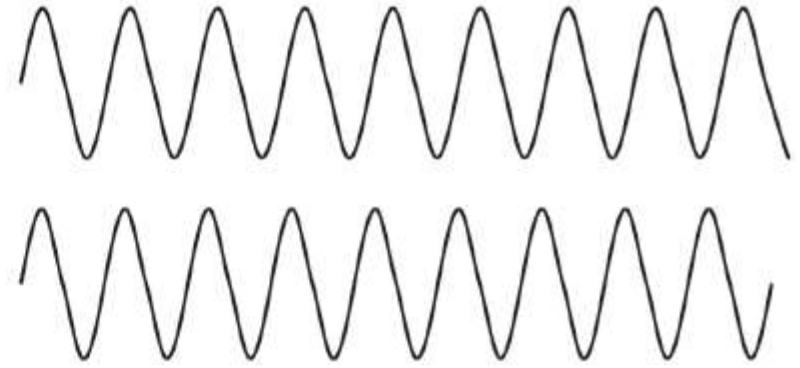
$$I = I_1 + I_2 \text{ (ασύμφωνο φως)}$$

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.

ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές



Δυο κύματα ίδιας συχνότητας και πλάτους αλλά με διαφορετικά μήκη συμφωνίας οδεύουν προς τα δεξιά. Το επάνω κύμα έχει μεγαλύτερο $\ell_{\text{συμφων}}$ από το κάτω.



Δυο κύματα με ελαφρώς διαφορετική συχνότητα ή μήκος κύματος ξεκινούν από τα αριστερά ευρισκόμενα σε φάση. Καθώς οδεύουν προς τα δεξιά, η διαφορά των φάσεών τους δεν είναι σταθερή, δηλαδή δεν υπάρχει καθορισμένη σχέση μεταξύ των φάσεών τους.

συμφωνία φωτός στη διαμήκη απόσταση ορίζεται από τη χρονική συμφωνία του, δηλαδή το χρονικό διάστημα στο οποίο υπάρχει καθορισμένη σχέση φάσεων. Η εκπομπή φωτός εξαιτίας συγκεκριμένων μεταπτώσεων ατομικών ή μοριακών ηλεκτρονίων από διεγερμένες σε χαμηλότερες ενεργειακές καταστάσεις λαμβάνει χώρα στον πεπερασμένο «χρόνο ζωής» αυτών των διεγερμένων ηλεκτρονιακών καταστάσεων.

Ο χρόνος αυτός αποτελεί για το εκπεμπόμενο φως
τον **χρόνο συμφωνίας** $T_{\text{συμφων}}$

ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές

Όσο πιο μεγάλος είναι ο χρόνος συμφωνίας τόσο πιο μεγάλη θα είναι η απόσταση στη διεύθυνση διάδοσης κατά την οποία υπάρχει μια καθορισμένη μεταβολή της φάσης και γι' αυτό την ονομάζουμε **μήκος συμφωνίας** ($l_{\text{συμφων}}$)

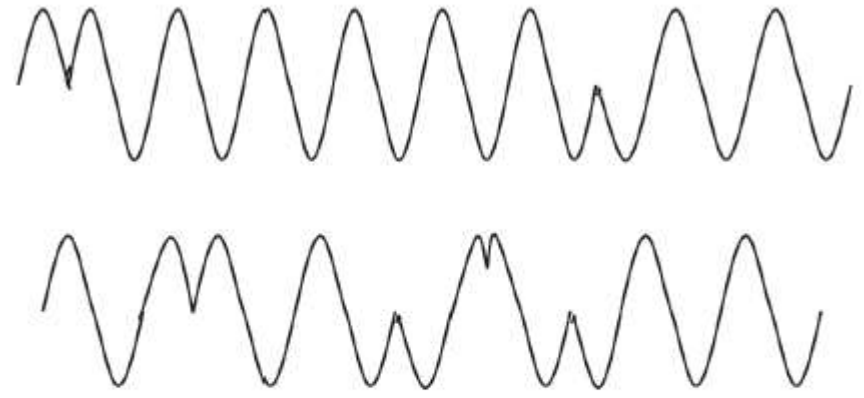
$$l_{\text{συμφων}} = c T_{\text{συμφων}}$$

Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος συμφωνίας, τόσο περισσότερο προσεγγίζεται το καθαρά ημιτονοειδές κύμα (για μονοχρωματικό κύμα το $T_{\text{συμφων}}$ είναι άπειρο) ενώ όσο μικρότερος είναι ο χρόνος συμφωνίας, τόσο μεγαλύτερη η αντίστοιχη περιοχή συχνοτήτων Δf , όπως φαίνεται από την:

$$T_{\text{συμφων}} \propto \frac{1}{\Delta f}$$

ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές

Το φως από φωτεινές πηγές όπως οι λάμπες πυρακτώσεως χαρακτηρίζεται από ευρύ φάσμα συχνοτήτων (χρώματα) και αντιστοιχεί σε εξαιρετικά μικρά μήκη συμφωνίας.

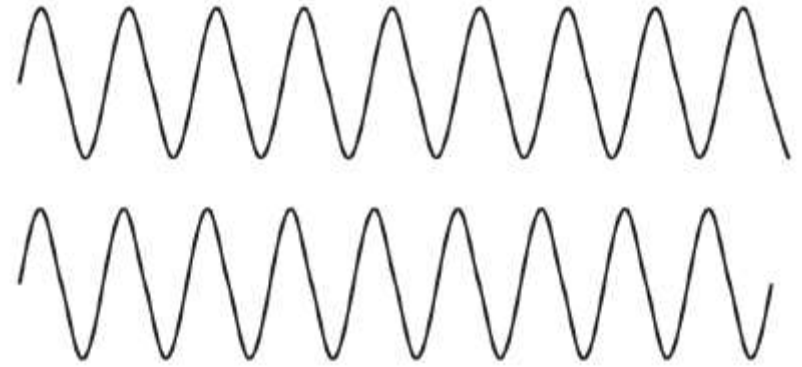


Δυο κύματα ίδιας συχνότητας και πλάτους αλλά με διαφορετικά μήκη συμφωνίας οδεύουν προς τα δεξιά. Το επάνω κύμα έχει μεγαλύτερο ℓ συμφων από το κάτω.

Εάν χρησιμοποιήσουμε ένα έγχρωμο φίλτρο για να μειώσουμε το εύρος των συχνοτήτων που παρουσιάζονται, τότε το μήκος συμφωνίας μπορεί κάπως να αυξηθεί. Όσο πιο καθαρό είναι το χρώμα μιας ακτίνας φωτός, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος και το μήκος συμφωνίας της. Ορισμένα λέιζερ παράγουν ιδιαίτερα καθαρά χρώματα φωτός και οι ακτίνες τους έχουν μήκη συμφωνίας πολλών χιλιομέτρων.

ΣΥΜΒΟΛΗ – Φως διερχόμενο από δύο σχισμές

Έστω δύο κύματα που ξεκινούν ευρισκόμενα σε φάση αλλά έχουν λίγο διαφορετικές συχνότητες. Αφού ταξιδέψουν κάποια απόσταση, δεν θα έχουν πλέον κοινή φάση, εξαιτίας της διαφοράς των συχνοτήτων τους. Σε ένα πείραμα συμβολής φωτός, οι σχέσεις μεταξύ των φάσεων των διαφορετικών ακτίνων έχουν μεγάλη σημασία.



Δυο κύματα με ελαφρώς διαφορετική συχνότητα ή μήκος κύματος ξεκινούν από τα αριστερά ευρισκόμενα σε φάση. Καθώς οδεύουν προς τα δεξιά, η διαφορά των φάσεών τους δεν είναι σταθερή, δηλαδή δεν υπάρχει καθορισμένη σχέση μεταξύ των φάσεών τους.

Αν το μήκος συμφωνίας δεν είναι μεγαλύτερο από τις γεωμετρικές αποστάσεις στην πειραματική διάταξη, κάθε ακτίνα δεν θα έχει καθορισμένη φάση σε όλη τη διαδρομή της και επομένως, ακόμα κι αν οι δύο ακτίνες ξεκινούν με την ίδια φάση, δεν θα είναι δυνατόν να παρατηρηθούν φαινόμενα συμβολής τους

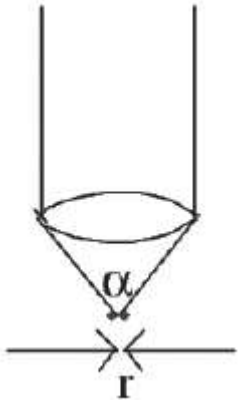
Το φως από λαμπτήρα πυρακτώσεως έχει πολύ σύντομο χρόνο συμφωνίας, περίπου 10^{-10} s, που αντιστοιχεί σε μήκος συμφωνίας λίγων εκατοστών του μέτρου. Εκτός των περιπτώσεων που οι διαφορές στους οπτικούς δρόμους είναι πολύ μικρές, πειράματα συμβολής με φως από λαμπτήρες πυρακτώσεως δεν είναι, γενικά, εφικτά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

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**.

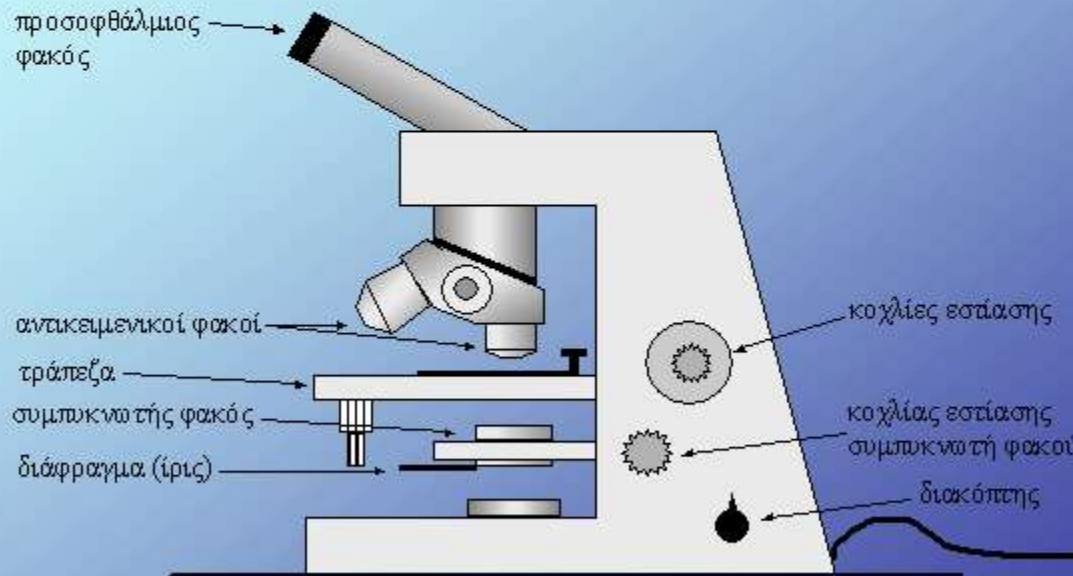
ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΟΠΤΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ

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

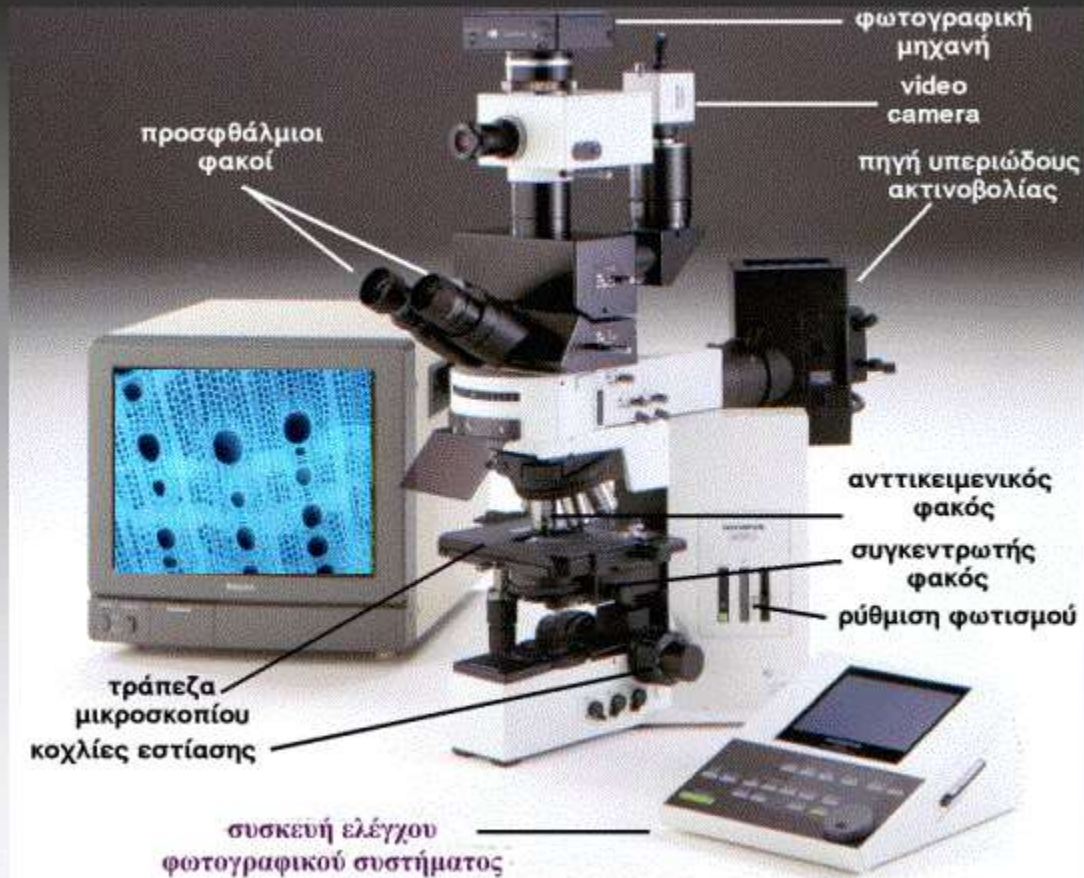
Για συνήθη μικροσκόπια $n = 1$ ενώ για μικροσκόπια που επιτυγχάνουν μεγαλύτερες μεγεθύνσεις χρησιμοποιείται συχνά **ελαιοκαταδυτικός αντικειμενικός φακός** για να αυξηθεί η διακριτική ικανότητά του. Σε αυτή την περίπτωση, μια σταγόνα κατάλληλου λαδιού (με $n = 1,5$, συνήθως χρησιμοποιείται κεδρέλαιο) 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.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ
είδη οπτικών
μικροσκοπίων

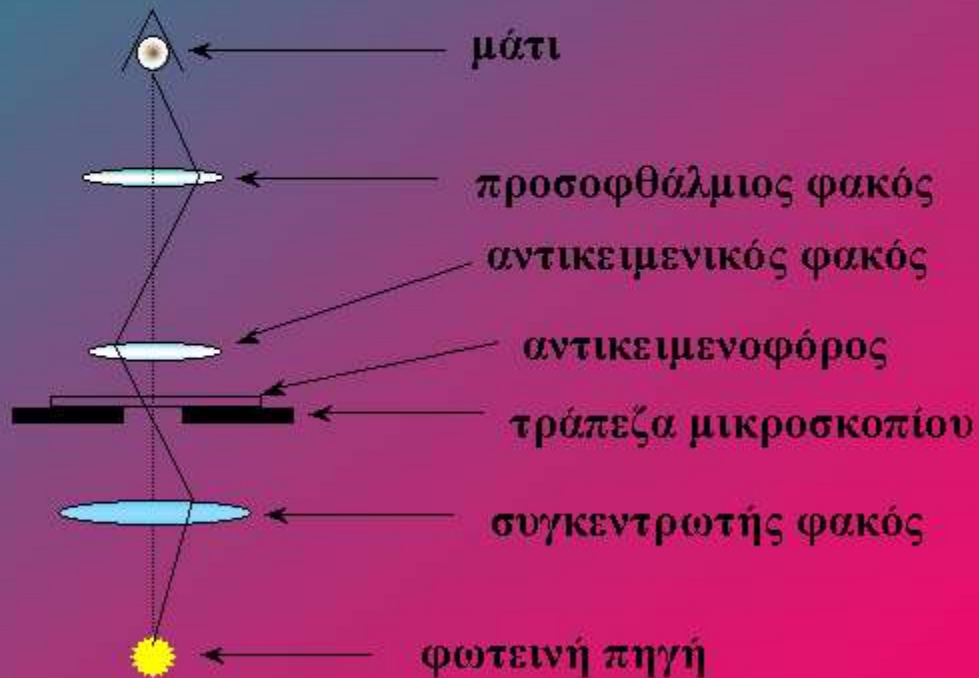
Το οπτικό μικροσκόπιο



Ένα σύγχρονο οπτικό μικροσκόπιο



Η πορεία των φωτεινών ακτίνων στο κοινό οπτικό μικροσκόπιο



Νέα Οπτικά Μικροσκόπια

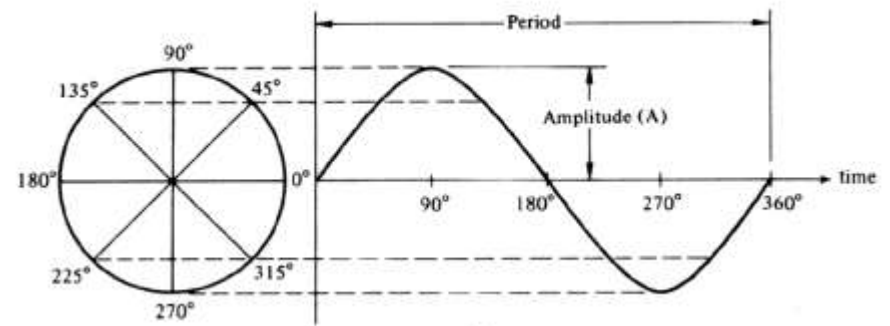
Για να αυξήσουμε την αντίθεση εικόνας:

Αντίθεση εικόνας (contrast)

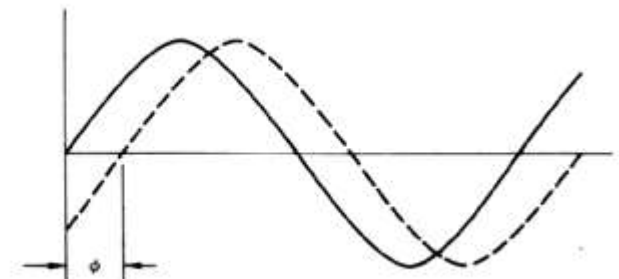


Αντίθεση πλάτους

Αντίθεση φάσης



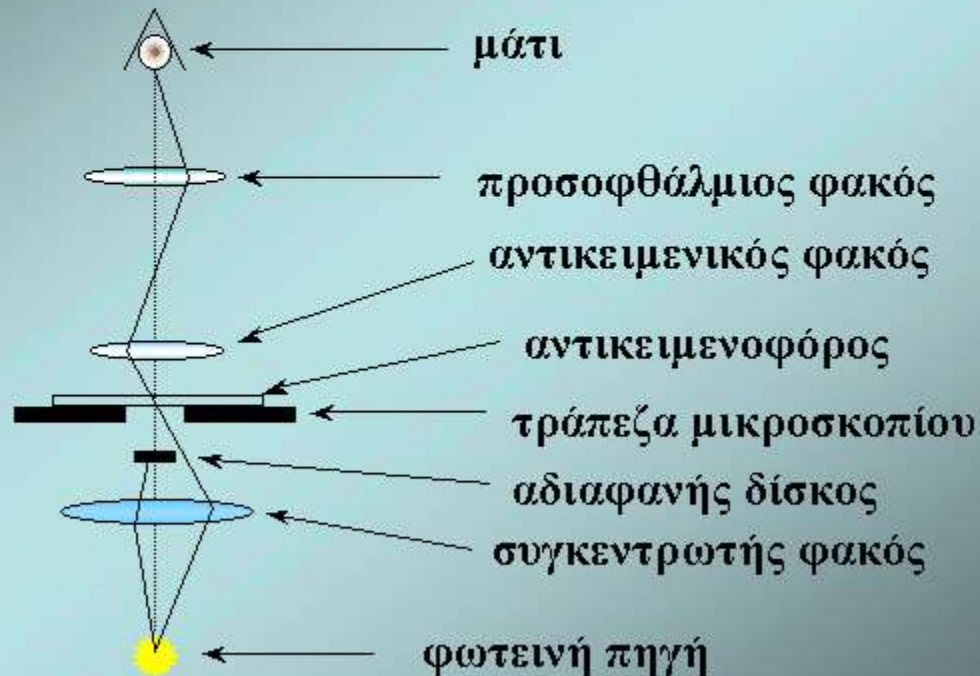
(a)



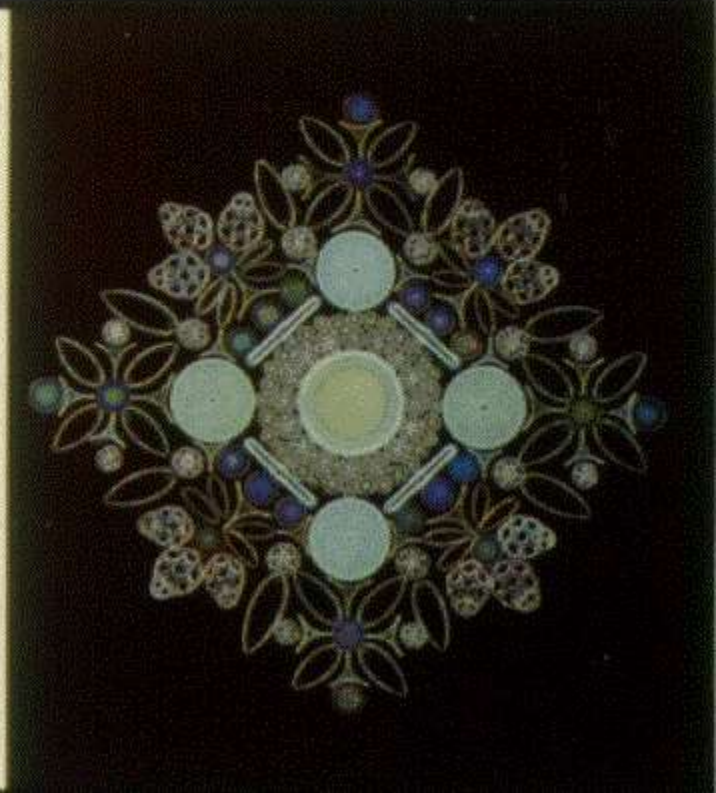
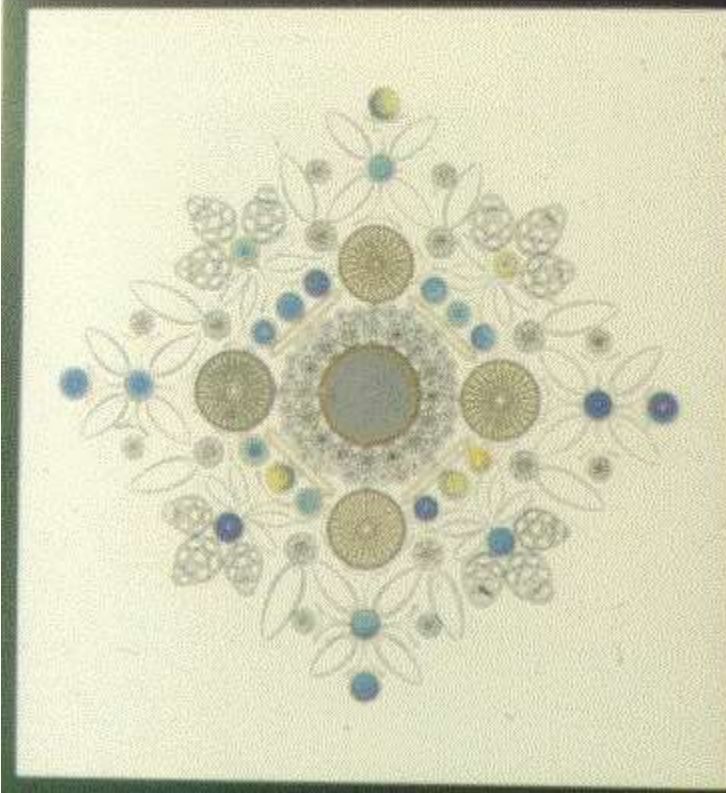
(b)

$$\text{Αντίθεση εικόνας} = 100 \times (I_{\text{υποβ}} - I_{\text{δειγμα}}) / I_{\text{υποβ}}$$

Η πορεία των φωτεινών ακτίνων στο μικροσκόπιο σκοτεινού πεδίου



Το ίδιο παρασκεύασμα, από διάτομα,
φωτογραφημένο με κοινό και μικροσκόπιο
σκοτεινού πεδίου



Μικροσκοπία φθορισμού

(Χρησιμοποιεί φθορίζουσες χρωστικές για το δείγμα)

(Φθορισμός: φθορίζουσα χρωστική που ακτινοβολείται, εκπέμπει ταυτόχρονα ακτινοβολία μεγαλύτερου λ)

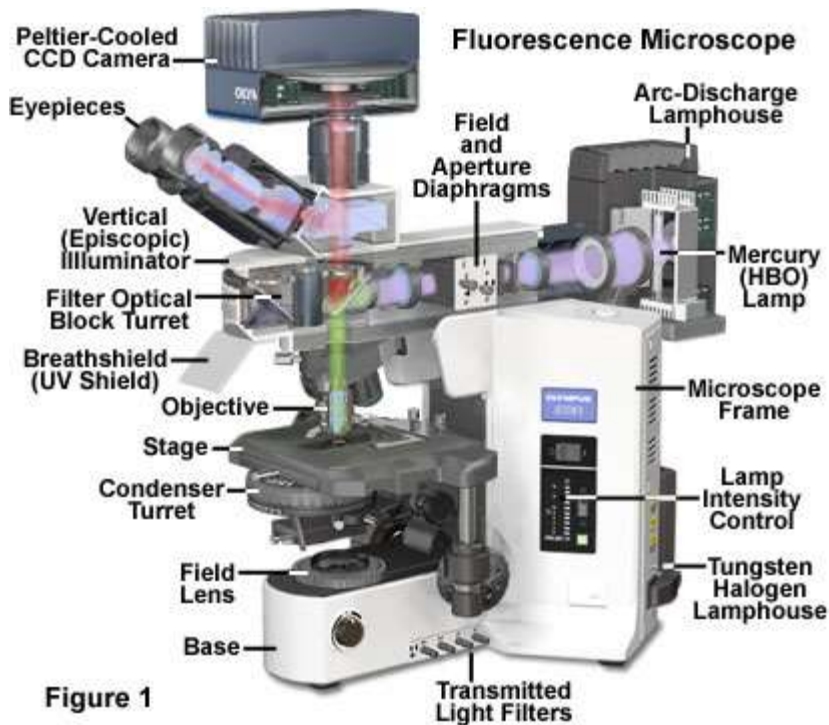
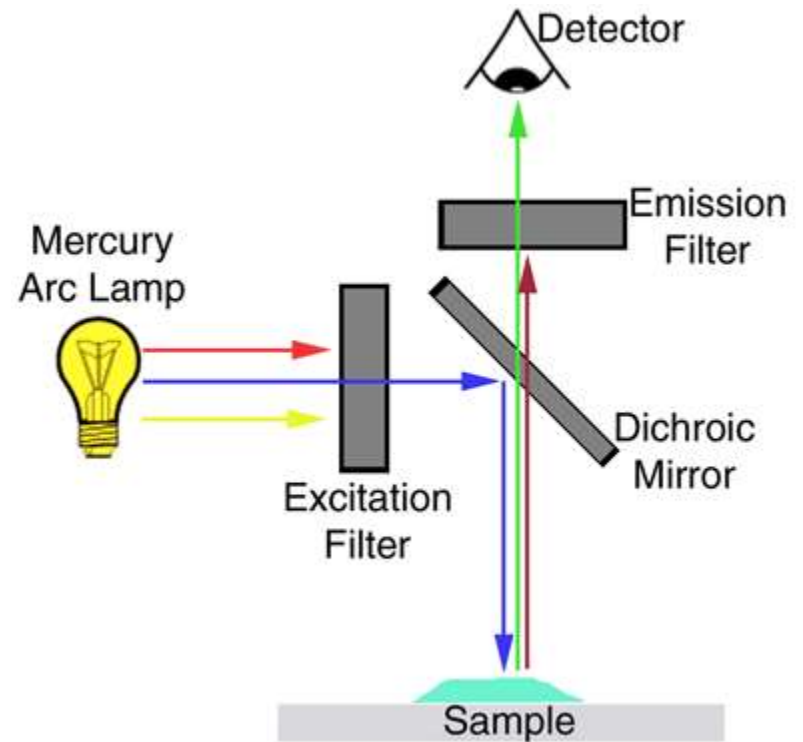
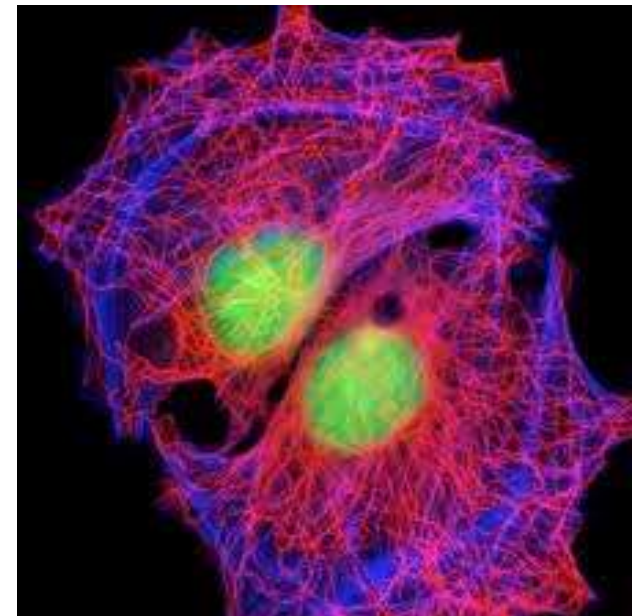


Figure 1



Μικροσκοπία αντίθεσης φάσης

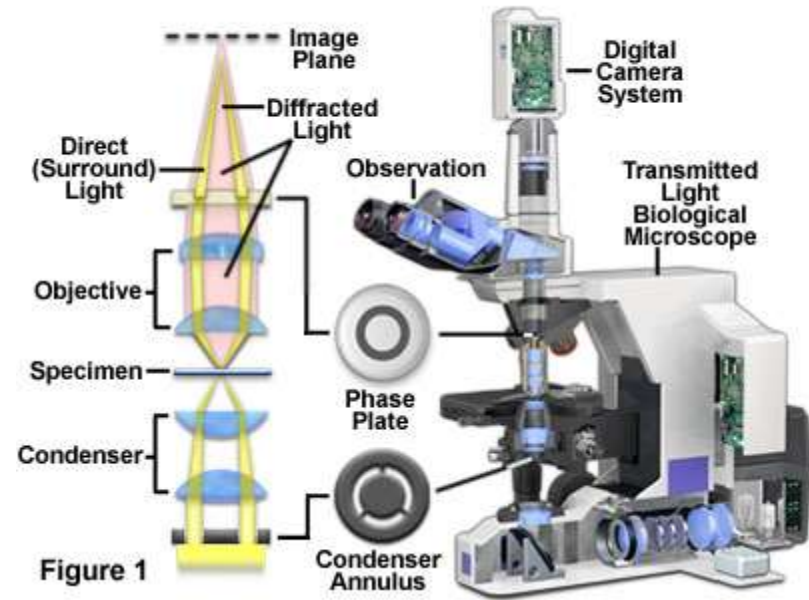
(Χρησιμοποιεί την μετατόπιση φάσης του φωτός που περνά από το δείγμα για να αυξήσει το contrast). Έτσι σχεδόν διαφανή δείγματα π.χ κύτταρα είναι τώρα ορατά)

Μικρή αντίθεση

μεγάλη αντίθεση



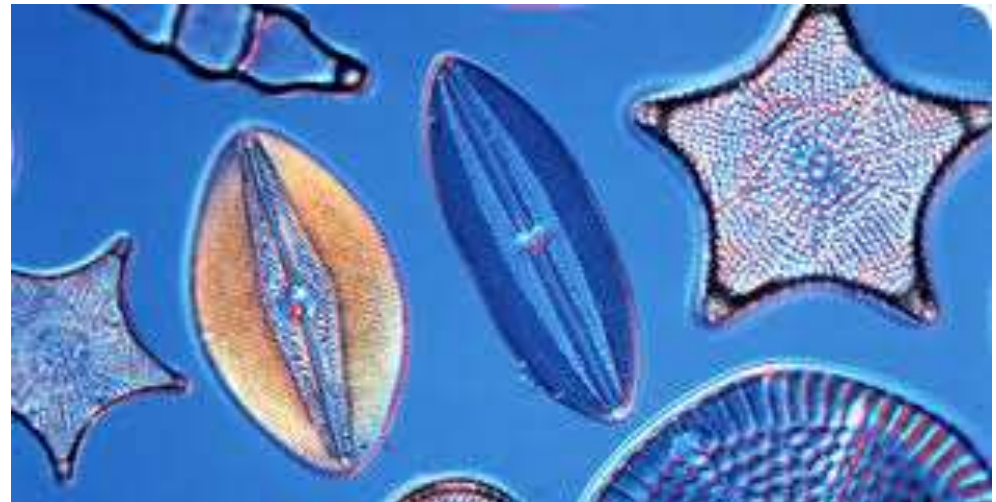
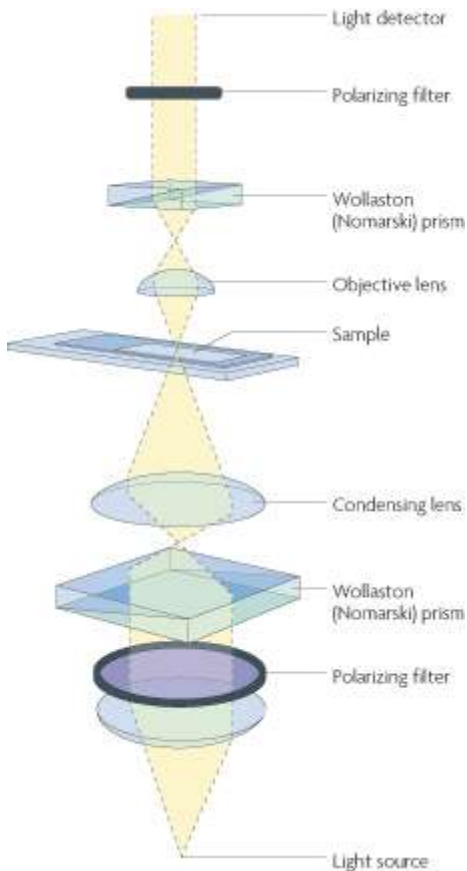
Phase Contrast Microscope Configuration



Η συνολική διαφορά φάσης μεταξύ μη εκτρεπόμενης και περιθλόμενης από το δείγμα ακτινοβολίας προκαλεί διακυμάνσεις της έντασης στο είδωλο

Μικροσκοπία αντίθεσης διαφορικής συμβολής

(Χρησιμοποιεί την σχετική μετατόπιση φάσης του φωτός δυο ακτίνων που περνούν από το δείγμα για να αυξήσει το contrast)



Συνεστιακή μικροσκοπία σάρωσης λέιζερ

(Χρησιμοποιεί ακτίνα λέιζερ που εστιάζεται σε κάποιο σημείο του δείγματος και μετά σαρώνει όλο το δείγμα)

