ΦΩΣ

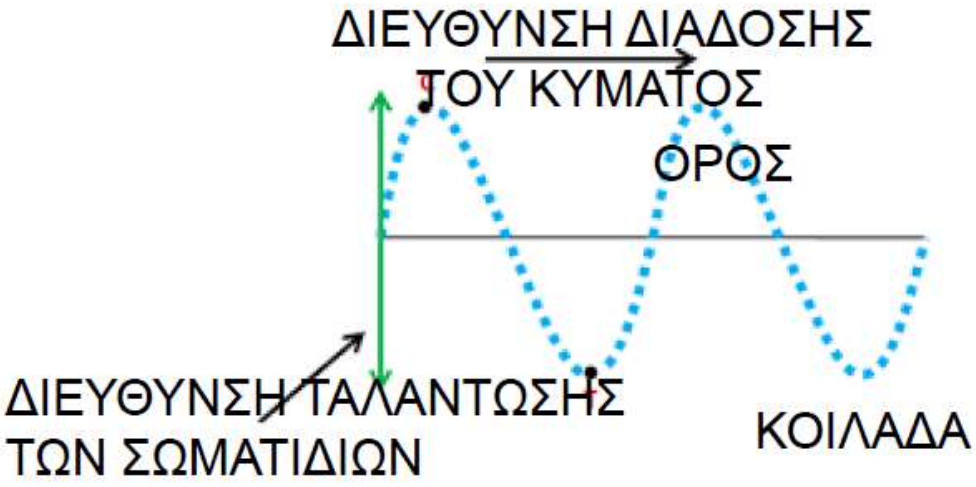
- Το φως είναι ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ.

Εγκαρσια & Διαμηκη Κυματα

- Τα οδεύοντα κύματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα ΕΓΚΑΡΣΙΑ και τα ΔΙΑΜΗΚΗ.

Εγκαρσια Κυματα

- Είναι τα κύματα όπου η διεύθυνση ταλάντωσης είναι ΚΑΘΕΤΗ στη διεύθυνση ΔΙΑΔΟΣΗΣ.



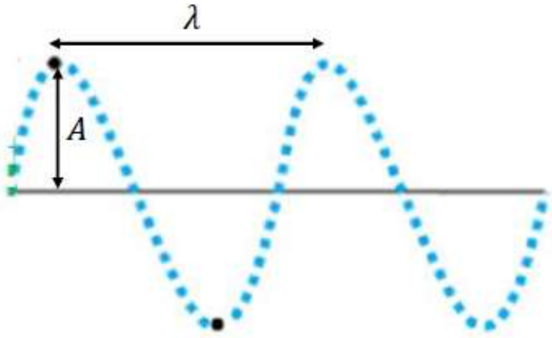
Διαμηκη Κυματα

- Είναι τα κύματα όπου η διεύθυνση ταλάντωσης είναι ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ στη διεύθυνση ΔΙΑΔΟΣΗΣ.

Χαρακτηριστικα των Κυματων

- Σε κάθε κύμα διακρίνουμε:
  - Τη συχνότητα f (ή την περίοδο T) η οποία καθορίζεται από την πηγή του κύματος.
  - Την ταχύτητα διάδοσης c που καθορίζεται από το μέσο διάδοσης.
  - Το μήκος κύματος λ.
  - Το πλάτος του κύματος A.
- Η βασική εξίσωση που συνδέει αυτά τα μεγέθη είναι η:

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow c = \frac{\lambda}{T}$$



Μηχανικα & Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Μια άλλη κατηγοριοποίηση των κυμάτων είναι σε ΜΗΧΑΝΙΚΑ και ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ.

Μηχανικα Κυματα

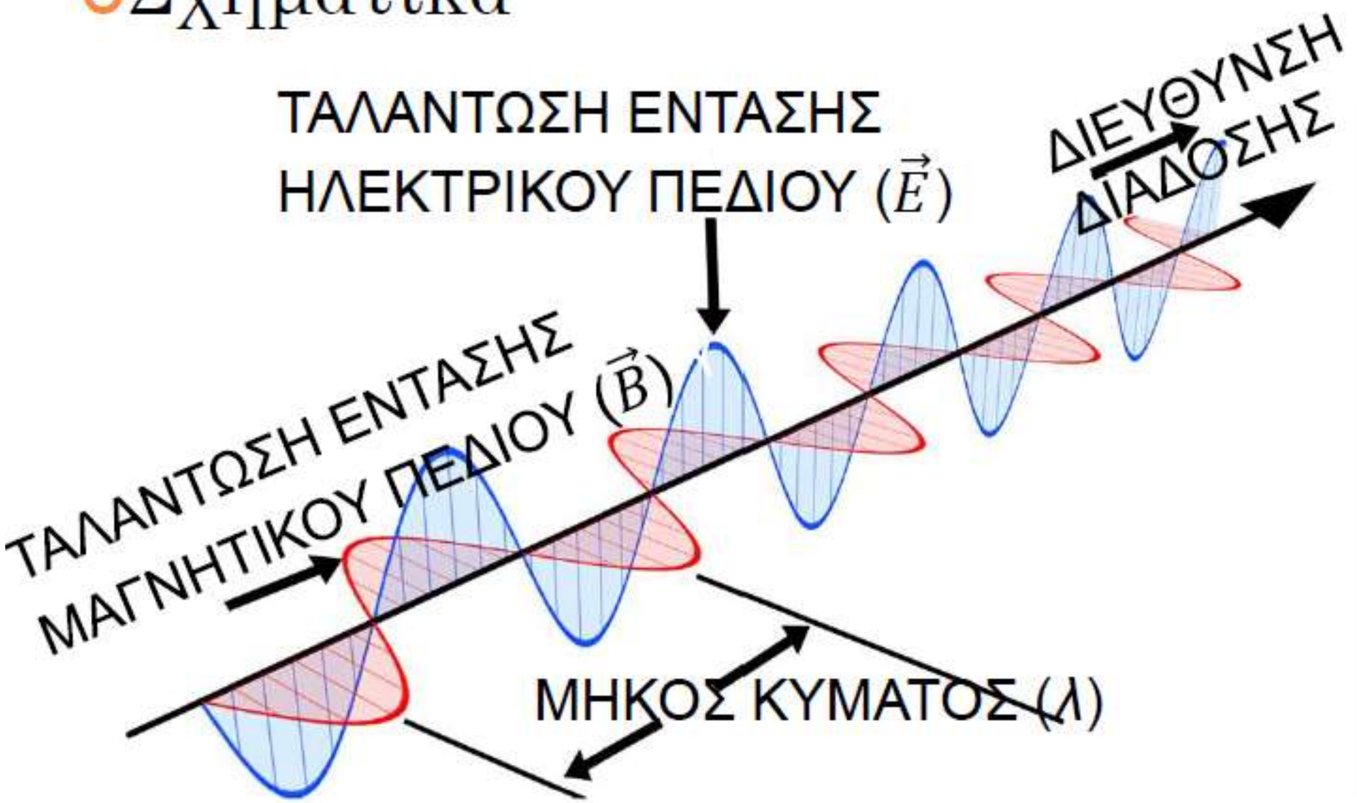
- Είναι εκείνα τα κύματα που για να διαδοθούν απαιτούν την ύπαρξη ενός ελαστικού μέσου διάδοσης.
- Τέτοια είναι τα κύματα σε μια χορδή, τα κύματα που παρατηρούμε στη θάλασσα, ο ήχος κ.ο.κ.

Ηλεκτρομαγνητικα Κυματα

- Είναι εκείνα τα κύματα που ΔΕΝ απαιτούν μέσο διάδοσης αλλά μπορούν να διαδοθούν ΚΑΙ ΣΤΟ ΚΕΝΟ.
- Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα κύματα αυτά ταλαντώνονται δύο μεγέθη, η ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ($\vec{E}$) & η ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ($\vec{B}$).

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

- Σχηματικά



Βασικές Ιδιότητες των Η/Μ κυμάτων:

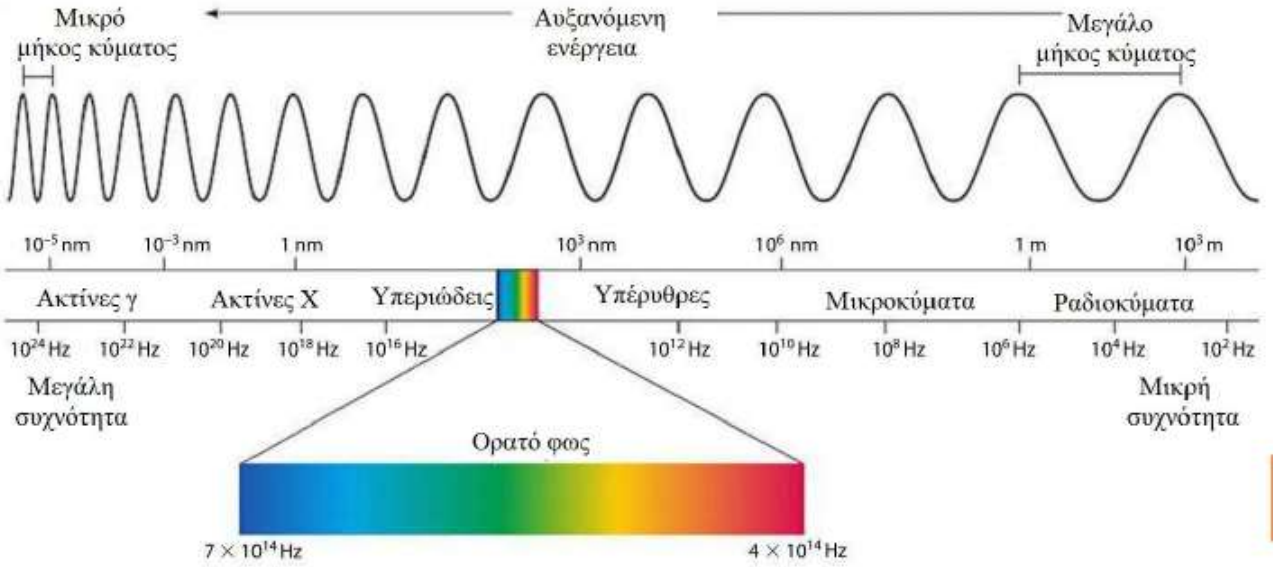
Το ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$ με πλάτος E_0 και το μαγνητικό πεδίο $\vec{B}$ με πλάτος B_0 είναι κάθετα μεταξύ τους και ταλαντώνονται σε συμφωνία φάσης ως εγκάρσια κύματα (κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης) με το ίδιο μήκος κύματος (λ) και την ίδια συχνότητα (f).

Αυτό που παρατηρούμε είναι η **ένταση I** του Η/Μ κύματος, η οποία είναι ανάλογη του E_0^2

Κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται στο κενό με την ταχύτητα που διαδίδεται και το φως,
περίπου **$c = 3 \cdot 10^8$ m/s**
και σύμφωνα με τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής
$\boldsymbol{c = f \cdot \lambda}$

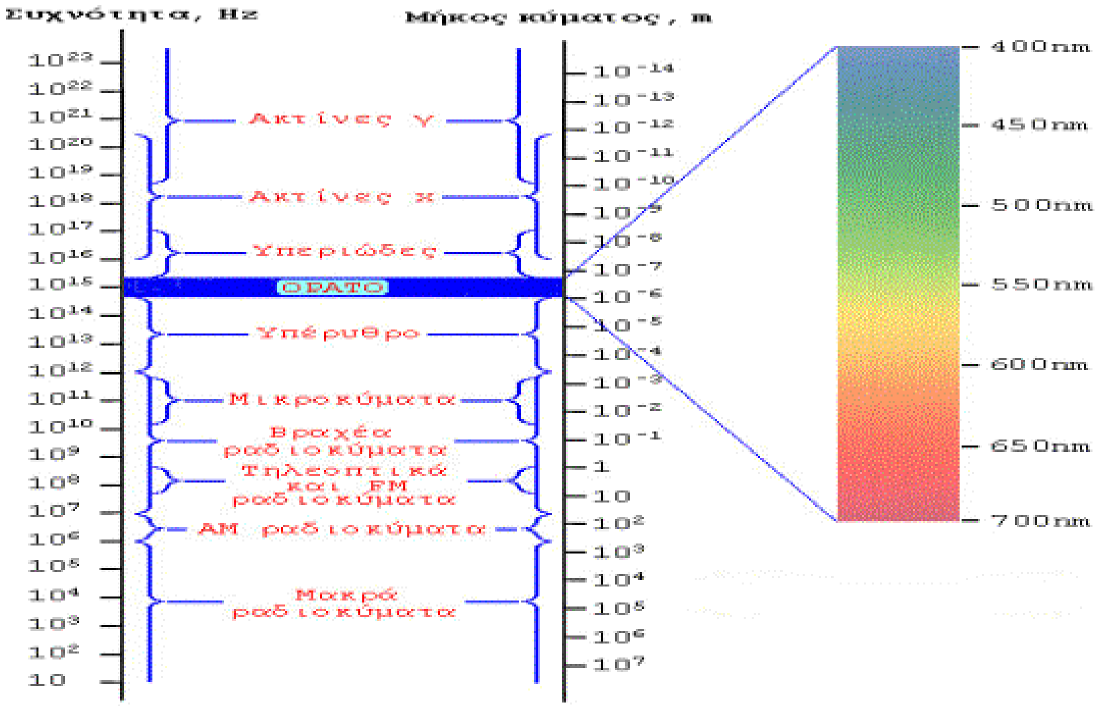
Ηλεκτρομαγνητικο Φασμα

- Σχηματικά



Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

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



Τύποι Η/Μ Κυμάτων

- ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ ($0,3\ m < \lambda < \infty$) : Είναι τα κύματα πολύ μεγάλου μήκους κύματος. Το άκρο που αντιστοιχεί στα μικρά μήκη κύματος χρησιμοποιείται στις επικοινωνίες (ραδιόφωνο, τηλεόραση). Τα κύματα αυτά παράγονται από φορτία που ταλαντώνονται σε ηλεκτρικά κυκλώματα.

Τύποι Η/Μ Κυμάτων

- ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ ($1\ mm < \lambda < 0,3$m): Χρησιμοποιούνται στα κινητά τηλέφωνα, ραντάρ, φούρνους μικροκυμάτων (12,2 cm). Τα κύματα αυτά παράγονται από φορτία που ταλαντώνονται σε ηλεκτρικά κυκλώματα.

- ΥΠΕΡΥΘΡΟ ($780\ nm < \lambda < 1\ mm$) : Χρησιμοποιείται από συστήματα νυχτερινής όρασης αλλά και από ζώα (κυρίως φίδια όπως οχιές, πύθωνες, βόες) που κυνηγούν στο σκοτάδι ανιχνεύοντας τη θερμότητα από τα σώματα των θηραμάτων τους. Τα κύματα αυτά παράγονται από μεταπτώσεις ηλεκτρονίων σε άτομα ή μόρια.

- ΟΡΑΤΟ (390 nm $< \lambda < 780\ nm$): Είναι η περιοχή του Η/Μ φάσματος που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Αποτελείται από επιμέρους χρώματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικά μήκη κύματος. Τα κύματα αυτά παράγονται από μεταπτώσεις ηλεκτρονίων σε άτομα ή μόρια.

Τύποι Η/Μ Κυμάτων

- ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ (10 nm < λ < 390 nm): Τα κύματα αυτά γίνονται αντιληπτά από ορισμένα ζώα (π.χ. μέλισσες, παγώνια). Χρησιμοποιείται σαν μικροβιοκτόνος παράγοντας στα τρόφιμα, το νερό και τον αέρα, αφού σκοτώνει τους μικροοργανισμούς. Τα κύματα αυτά παράγονται από μεταπτώσεις ηλεκτρονίων σε άτομα ή μόρια.

Υπεριώδη Η/Μ Κύματα

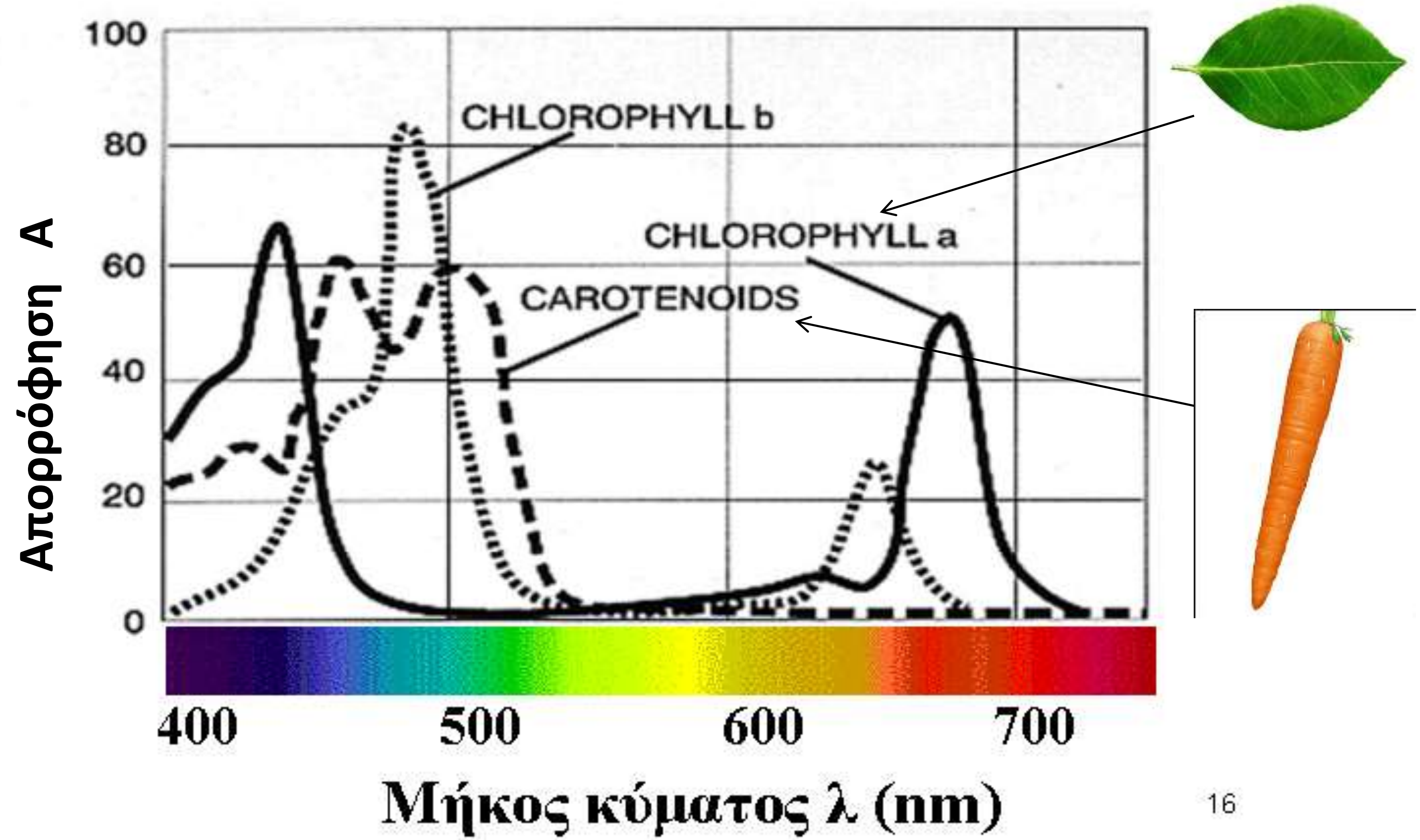
- Ο Ήλιος εκπέμπει υπεριώδη ακτινοβολία η οποία απορροφάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας από το όζον (O_3).
- Σήμερα η τρύπα του όζοντος επιτρέπει τη διέλευση των υπεριώδων ακτίνων σε μεγαλύτερο ποσοστό.

Τύποι Η/Μ Κυμάτων

- ΑΚΤΙΝΕΣ Χ (6 pm $= 6 \cdot 10^{-12}\, m < \lambda <$ 10 nm): Χρησιμοποιούνται στις γνωστές μας ακτινογραφίες. Επίσης χρησιμοποιείται ευρέως στην αστρονομία.

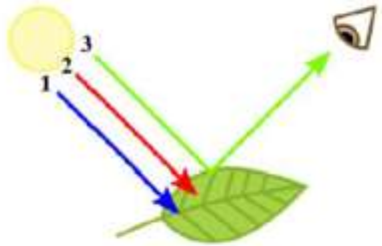
- ΑΚΤΙΝΕΣ γ ($\lambda <$ 6 pm): Χρησιμοποιούνται στην Ιατρική αλλά και στην αστρονομία. Τα κύματα αυτά παράγονται από μεταπτώσεις που συμβαίνουν στον πυρήνα.

Απορρόφηση από χρωστικές



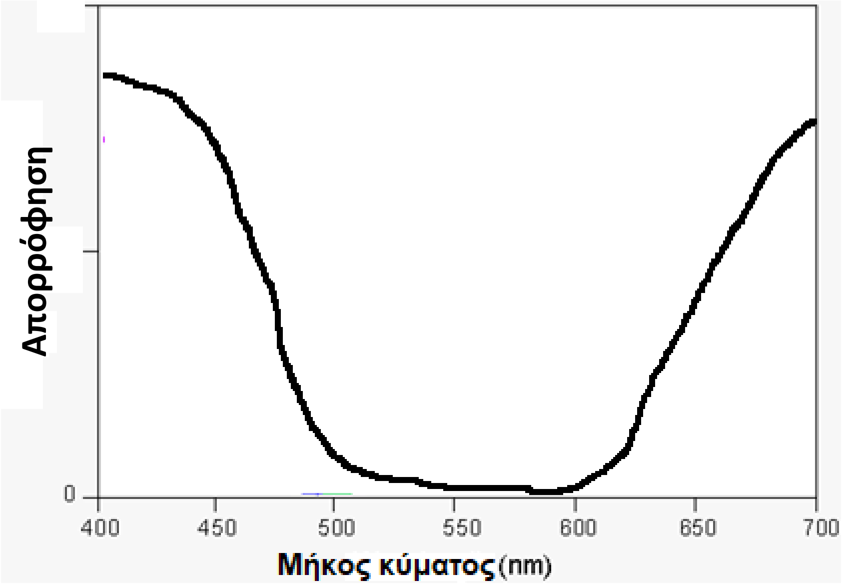
Παλαιό θέμα εξετάσεων

3. (*1 μον.*) Στο Σχήμα που ακολουθεί φαίνονται οι ακτίνες που αντιστοιχούν στα 3 βασικά χρώματα (ερυθρό, πράσινο, κυανό - RGB: Red, Green, Blue) της ορατής ακτινοβολίας από τον Ήλιο και η πορεία τους μετά την πρόσπτωσή τους σε ένα πράσινο φύλλο. Αντιστοιχήστε τις ακτίνες με τα χρώματα και τα μήκη κύματος:



Ακτίνα	*Χρώμα*	*Μήκος κύματος (nm)*
1	Ερυθρό	700–635
2	Κυανό	560–520
3	Πράσινο	490–450

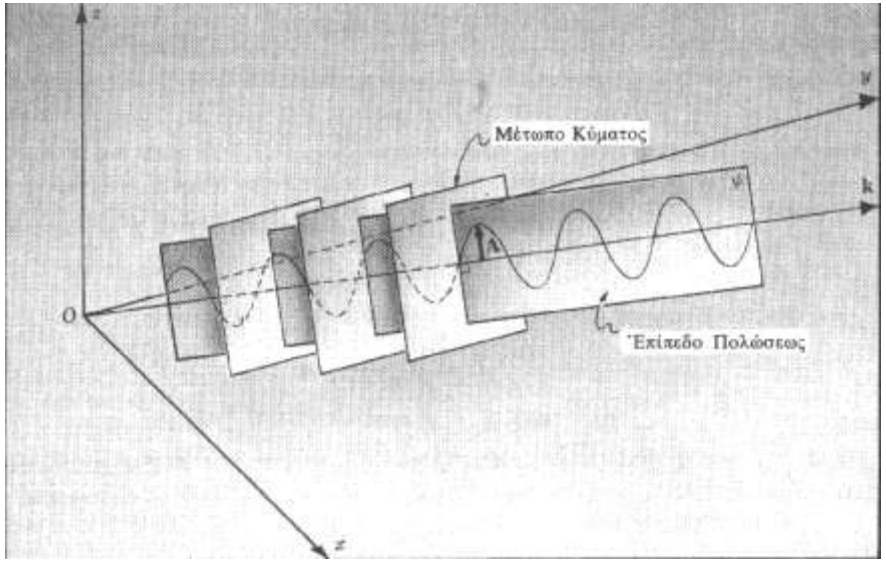
Σχεδιάστε ποιοτικό διάγραμμα απορρόφησης Α(λ), για το φαινόμενο που αναπαρίσταται στο Σχήμα.



Πολωση

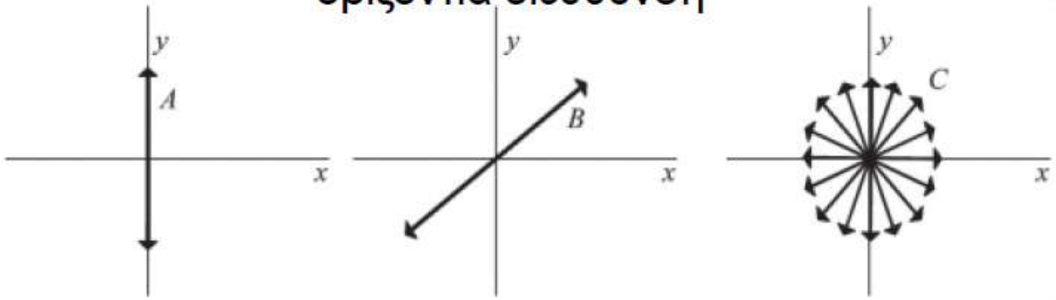
Διευθυνση Πολωσης

- Το φαινόμενο της πόλωσης αφορά ΜΟΝΟ τα εγκάρσια κύματα.
- Τα Η/Μ κύματα ως εγκάρσια μπορούν να πολωθούν.
- Η διεύθυνση ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου ορίζει την ονομαζόμενη ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΟΛΩΣΗΣ του Η/Μ κύματος.



- Σχηματικά έχω:

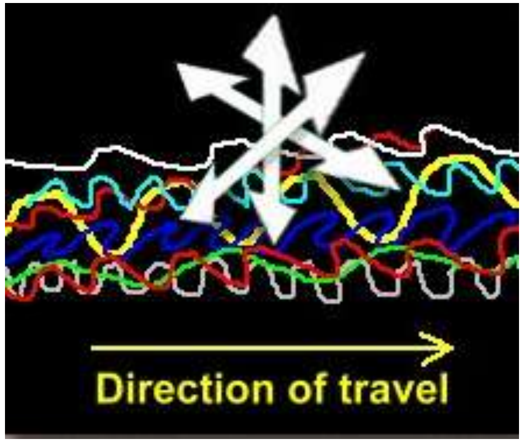
Πόλωση στην οριζόντια διεύθυνση

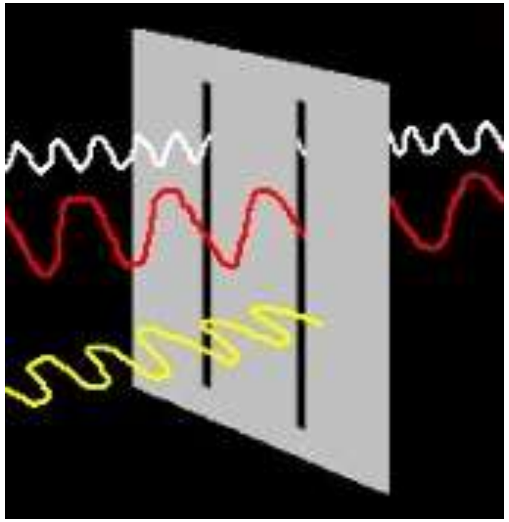


Πόλωση στην κατακόρυφη διεύθυνση

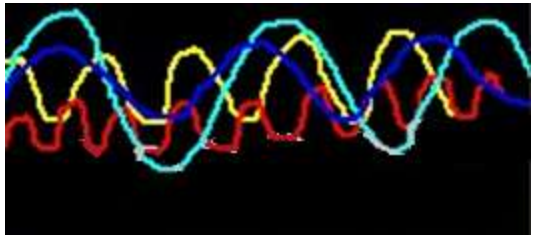
Μη πολωμένο φως

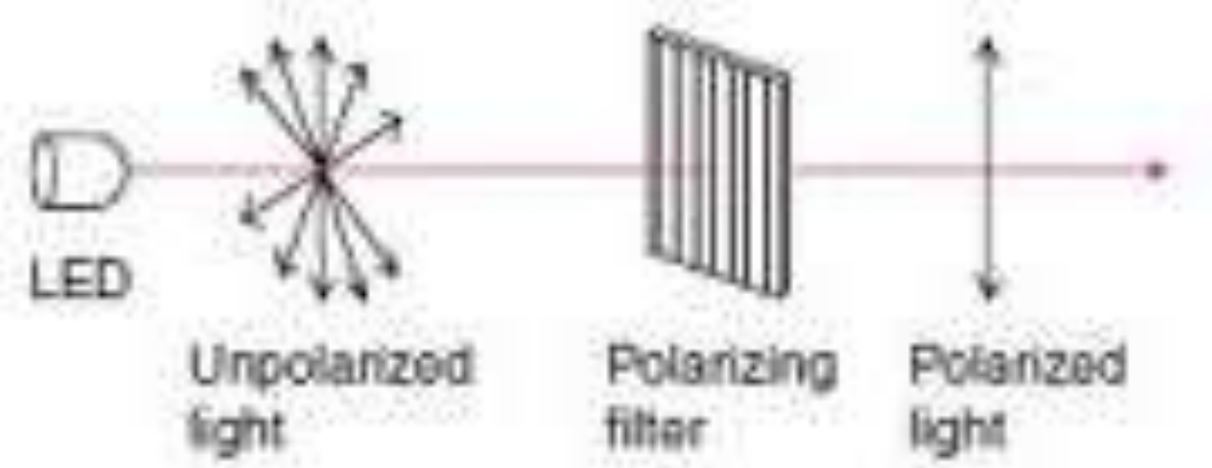
ΠΟΛΩΣΗ





Πολωμένο φως:

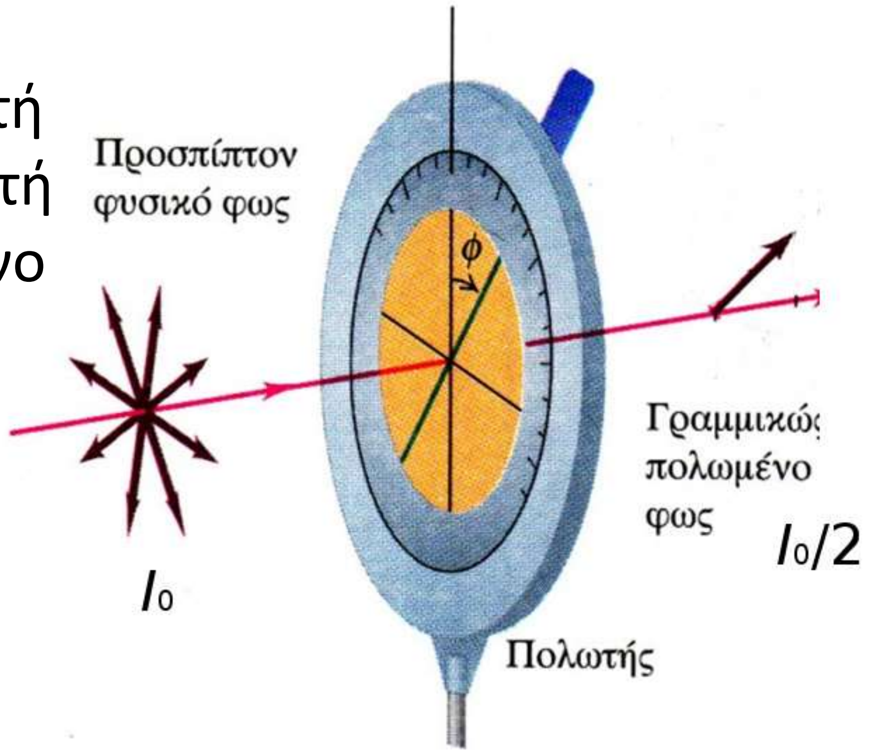




ΠΟΛΩΣΗ

Μελέτη της κατάστασης πόλωσης κύματος με χρήση πολωτή-αναλυτή (δύο πολωτές σε σειρά)

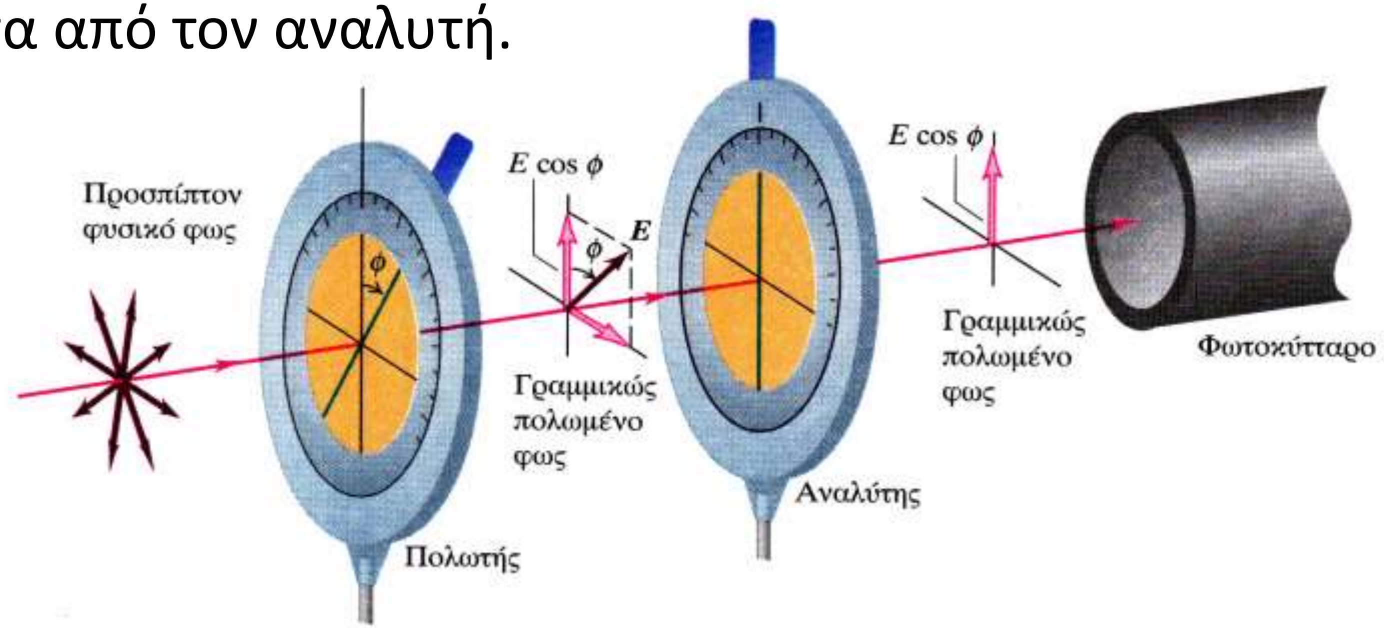
Αν η προσπίπτουσα δέσμη, έντασης I_0 δεν είναι πολωμένη και την αναλύσουμε σε δύο ορθογώνιες συνιστώσες εκ των οποίων η μία είναι παράλληλη στον άξονα του πολωτή, τότε (υποθέτοντας ότι ο πολωτής είναι ιδανικός) μόνο αυτή η συνιστώσα θα διέλθει από τον πολωτή και το φως θα είναι γραμμικά πολωμένο σε αυτήν την διεύθυνση ενώ η ένταση του (δεδομένου ότι οι δύο αρχικές συνιστώσες συνυπάρχουν στην ίδια αναλογία) θα είναι πάντα: $I_0/2$



ΠΟΛΩΣΗ

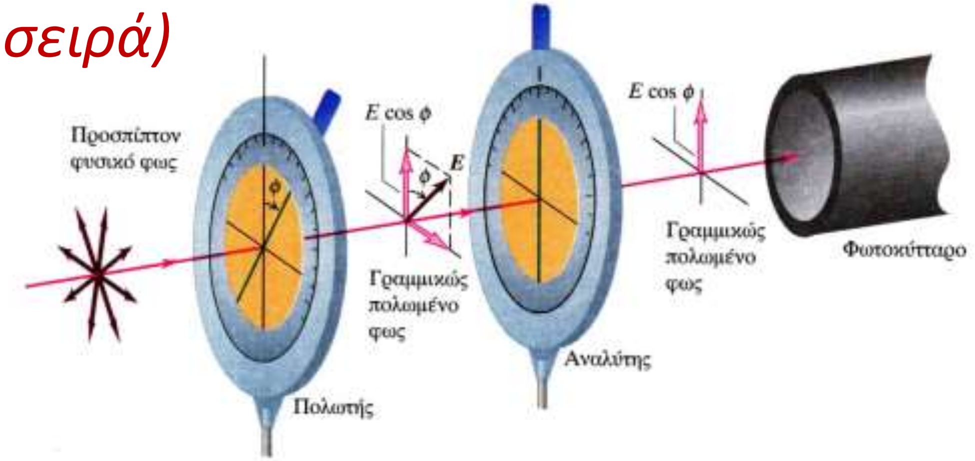
Μελέτη της κατάστασης πόλωσης κύματος με χρήση πολωτή-αναλυτή (δύο πολωτές σε σειρά)

Ένας δεύτερος πολωτής, (συνήθως ονομάζεται ***αναλυτής***), τοποθετείται στην πορεία του πολωμένου κύματος που διήλθε από τον πρώτο πολωτή. Μπορούμε να αναλύσουμε και αυτό με τη σειρά του σε δύο συνιστώσες: μιας παράλληλης και μιας κάθετης στον άξονα του αναλυτή, ο οποίος άξονας υποθέτουμε ότι σχηματίζει ***γωνία φ*** *με τον* αντίστοιχο άξονα του πολωτή. Μόνο η παράλληλη συνιστώσα θα διέλθει μέσα από τον αναλυτή.



ΠΟΛΩΣΗ

Μελέτη της κατάστασης πόλωσης κύματος με χρήση πολωτή-αναλυτή (δύο πολωτές σε σειρά)



Αν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου του προσπίπτοντος κύματος στον αναλυτή είναι *E*, *η* διερχόμενη συνιστώσα, κατά μήκος του άξονα του αναλυτή, θα είναι:

$$E_{\delta\iota\varepsilon\rho\chi} = E\cos\varphi$$

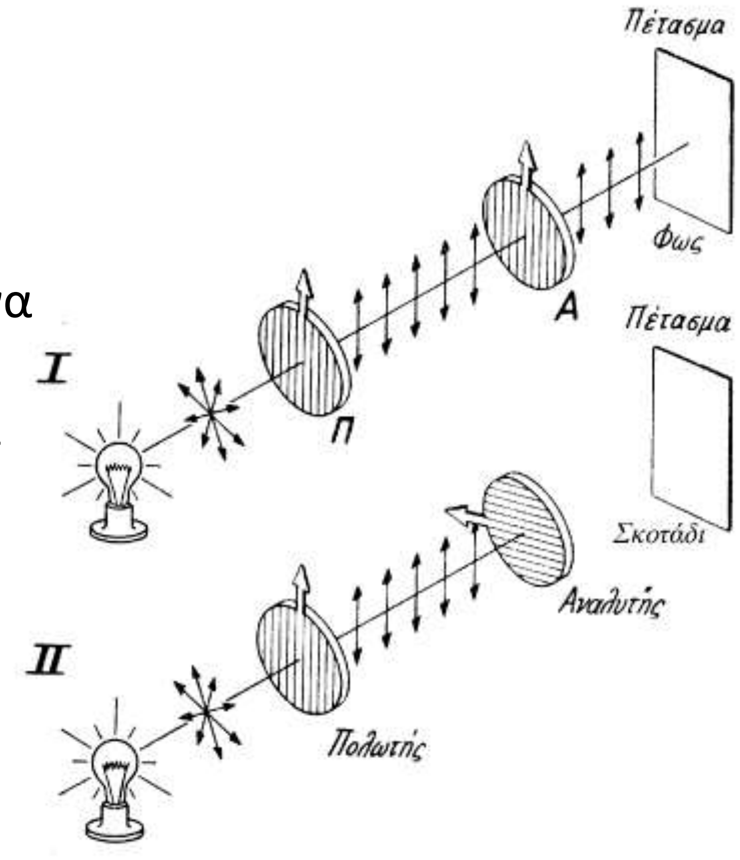
Καθώς, η ένταση του κύματος είναι ανάλογη με το τετράγωνο της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, η διερχόμενη ένταση $I_{\delta\iota\varepsilon\rho\chi}$ συνδέεται με την προσπίπτουσα *I* (του πολωμένου φωτός από τον 1^{ο} πολωτή για την οποία είπαμε ότι: $I = I_0/2$) σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_{\delta\iota\varepsilon\rho\chi} = I\cos^2\varphi = \frac{I_0}{2}\cos^2\varphi$$

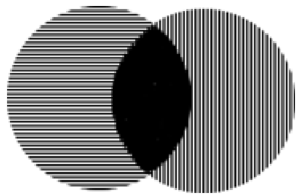
εξίσωση που είναι γνωστή ως ***νόμος του Malus***.

ΠΟΛΩΣΗ

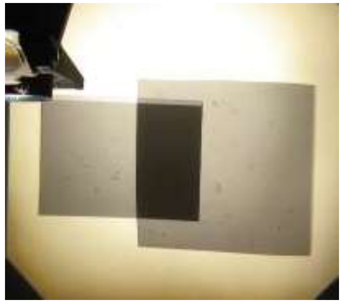
Παράδειγμα: Αν ο πρώτος πολωτής είναι τοποθετημένος με τον άξονά του κατακόρυφο, τότε ανεξαρτήτως της κατάστασης πόλωσης της προσπίπτουσας δέσμης, μόνο κατακόρυφα πολωμένα κύματα θα διέρθουν από τον πολωτή, υποθέτοντας βέβαια ότι αυτός είναι ιδανικός. Αν η προσπίπτουσα δέσμη έχει ένταση $I_{0,}$ η γραμμικά πολωμένη (στην κατακόρυφη διεύθυνση) που εξέρχεται από τον πρώτο πολωτή θα έχει: $I_0/2$



Τοποθετείται δεύτερος πολωτής (*αναλυτής*) στην πορεία του κατακόρυφα πολωμένου κύματος που διήλθε από τον πρώτο πολωτή.



- Αν ο άξονας του αναλυτή είναι και αυτός στην κατακόρυφη διεύθυνση τότε $\varphi = 0^\circ$ και επομένως, αφού συνφ = 1, η διερχόμενη ακτινοβολία διέρχεται αναλλοίωτη από αυτόν και η ένταση της θα είναι: $I_{διερχ} = I_0/2$

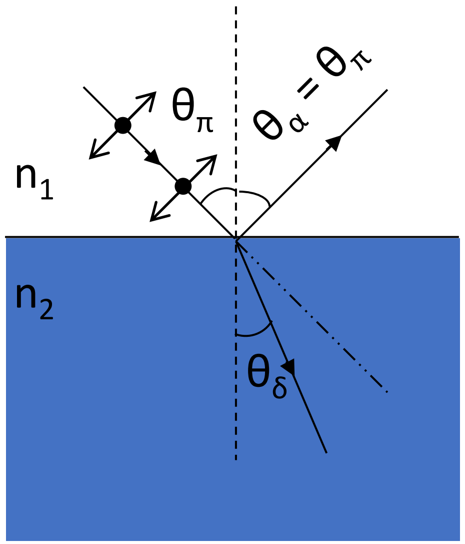


-Αν ο άξονας του αναλυτή είναι στην οριζόντια διεύθυνση τότε $\varphi = 90^\circ$ και συνφ = 0, και επομένως δεν διέρχεται ακτινοβολία από τον αναλυτή $I_{διερχ} = 0$.

- Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση: $I_{διερχ} = (I_0/2)$ συν$^2\varphi$

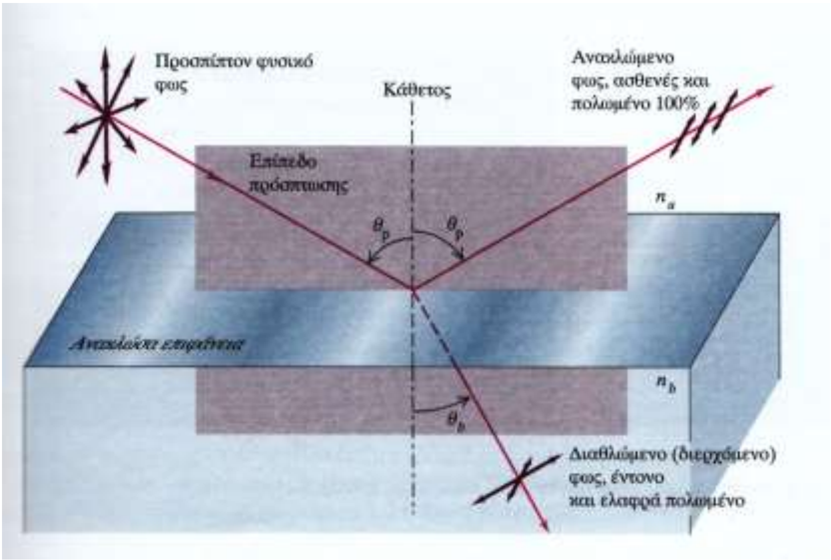
Πόλωση από ανάκλαση σε διηλεκτρικό υλικό
Νόμος Brewster

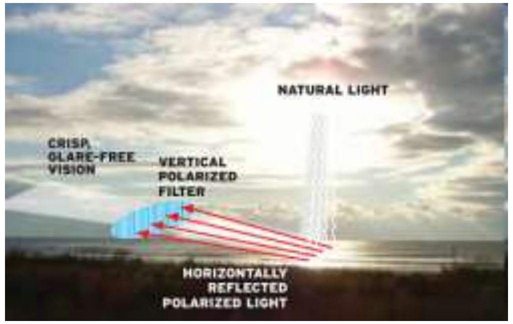
- Έστω ότι μη πολωμένο φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια και ανακλάται κατοπτρικά από αυτή.

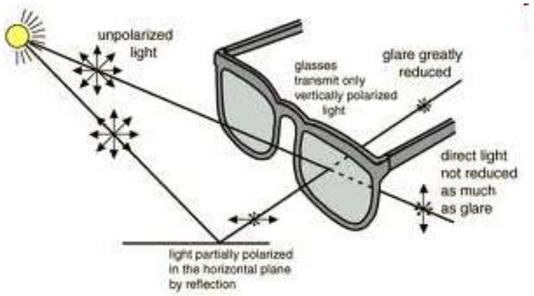


Σε γωνία για την οποία $\tan\theta_\pi = \dfrac{n_2}{n_1}$ **ΓΩΝΙΑ BREWSTER**

Το φως θα είναι ολικά πολωμένο



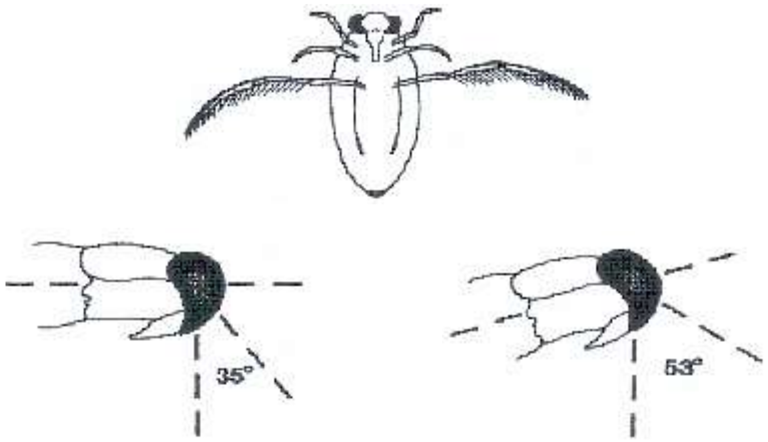




Εφαρμογές

Ο “ύπτιος κολυμβητής” (*Notonecta*) είναι ένα έντομο που ζεί στην επιφάνεια στάσιμων νερών και λιμνών

Κατά καιρούς πετά ψάχνοντας κάποια νέα κατοικία. (Η συνηθισμένη στάση του σώματος του εντόμου σε αυτές τις πτήσεις φαίνεται στο σχήμα)



Λίγο όμως πριν επιχειρήσει να κατέβει στην επιφάνεια της λίμνης το έντομο υιοθετεί τη διπλανή στάση

Η γωνία Brewster για την περίπτωση αέρα-νερού είναι περίπου 53°. Στη συγκεκριμένη θέση παρατήρησης λοιπόν, αναμένεται να έχουμε ανακλώμενο φως οριζόντια πολωμένο.

$$\tan\theta_\pi = \frac{n_2}{n_1}$$

n_2 (νερό) = 1,33 n_1 (αέρας) =1

$$\tan\theta_\pi = 1{,}33 \Longrightarrow \theta_\pi = 0{,}926\ \mathrm{rad} \approx 53°$$

Το έντομο ανιχνεύει με ειδικούς αισθητήρες που διαθέτει στο μάτι του το αν το φως είναι οριζόντια πολωμένο, και έτσι μπορεί να αντιληφθεί αν όντως η ανάκλαση προέρχεται από την επιφάνεια του νερού.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

Βασικες Υποθεσεις Του Μοντελου Των Φωτεινων Ακτινων

- Μια ακτίνα διαδίδεται για πάντα εκτός αν συναντήσει ύλη οπότε είτε ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ είτε ΣΚΕΔΑΖΕΤΑΙ είτε ΔΙΑΘΛΑΤΑΙ είτε ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ.

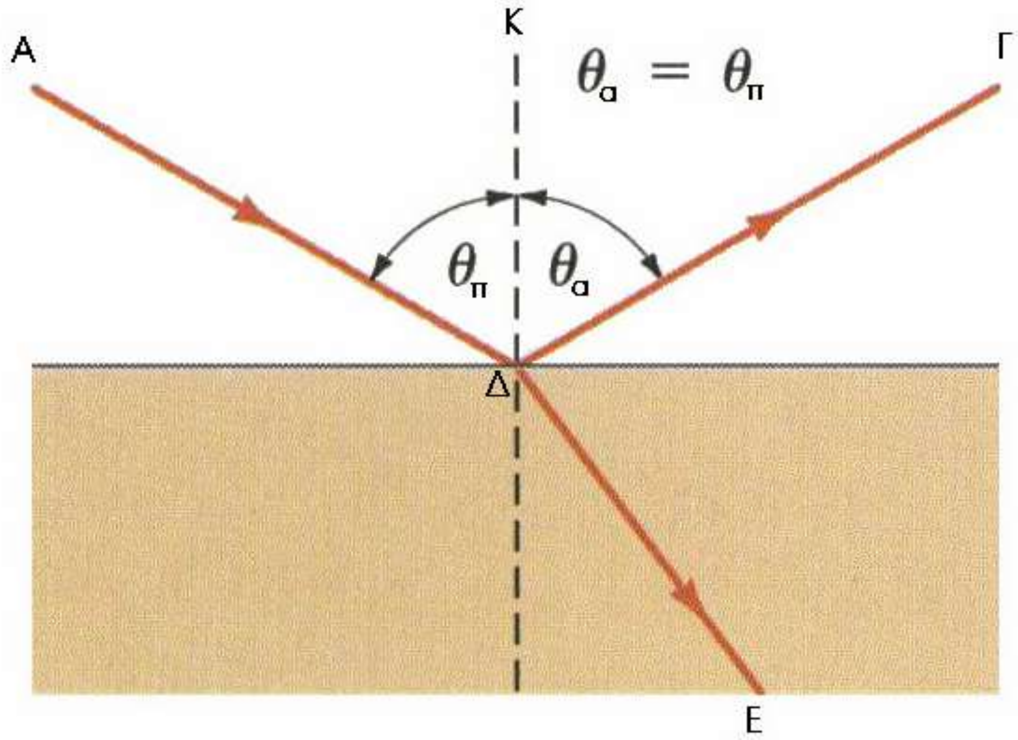
- Από όλες αυτές τις διεργασίες θα ασχοληθούμε μόνο με την ανάκλαση και τη διάθλαση και θα αγνοήσουμε τη σκέδαση και την απορρόφηση.
- Η ανάκλαση και η διάθλαση είναι βασικές για να κατανοήσουμε πως λειτουργούν διάφορα όργανα (π.χ. μικροσκόπια, φωτογραφικές μηχανές, τηλεσκόπια κ.ο.κ.)

ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Η ακτίνα (ή η δέσμη) πριν ανακλασθεί ονομάζεται **προσπίπτουσα** ή **αρχική**, ενώ μετά την ανάκλαση ονομάζεται **ανακλώμενη**.
Η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, ονομάζεται **γωνία πρόσπτωσης**.
Η γωνία που σχηματίζει η ανακλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, ονομάζεται **γωνία ανάκλασης**.

α' νόμος της ανάκλασης:

Η ανακλώμενη ακτίνα βρίσκεται στο επίπεδο που ορίζουν η προσπίπτουσα ακτίνα και η κάθετος στη διαχωριστική επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης.



β' νόμος της ανάκλασης:

Η γωνία πρόσπτωσης θ_π και η γωνία ανάκλασης θ_α είναι ίσες.

ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Δεικτης Διαθλασης

- Ορίζεται για κάθε μέσο στο οποίο διαδίδεται το φως από το πηλίκο της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c_0) προς την ταχύτητα στο υλικό (c). Δηλαδή:

$$\boxed{n = \frac{c_0}{c}}$$

- Πρόκειται για καθαρό αριθμό χωρίς μονάδες.
- Επειδή είναι πάντα $c_0 \geq c$, ο δείκτης διάθλασης είναι μεγαλύτερος της μονάδας.

Οπτικη Πυκνοτητα

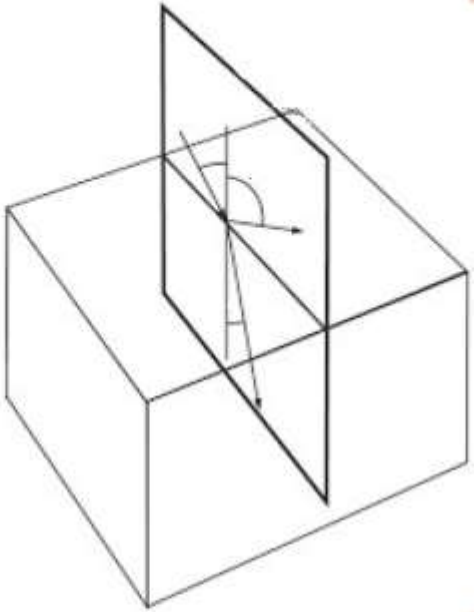
- Με βάση το δείκτη διάθλασης μπορούμε να συγκρίνουμε δύο μέσα ως προς την οπτική τους πυκνότητα.
- Αν ισχύει ότι $n_1 > n_2$, τότε λέμε ότι το μέσο 1 είναι οπτικά πυκνότερο από το 2.

ΔΙΑΘΛΑΣΗ

- Συμβαίνει όταν το φως προσπέσει στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο διαφανών μέσων οπότε αλλάζει κατεύθυνση διάδοσης.

1ΟΣ ΝΟΜΟΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

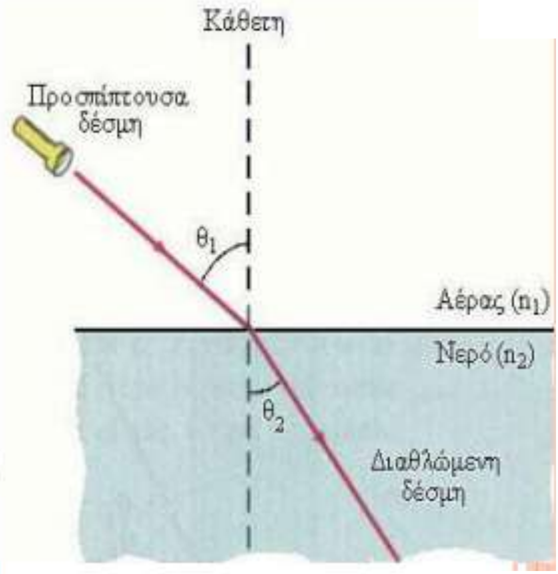
- Η προσπίπτουσα, η διαθλώμενη (η ανακλώμενη) και η κάθετος στην επιφάνεια βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.



2ΟΣ ΝΟΜΟΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ (ΝΟΜΟΣ SNELL)

- Οι γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης και οι συντελεστές διάθλασης ικανοποιούν το νόμο του Snell.

$$\boxed{n_1 \cdot sin\theta_1 = n_2 \cdot sin\theta_2}$$



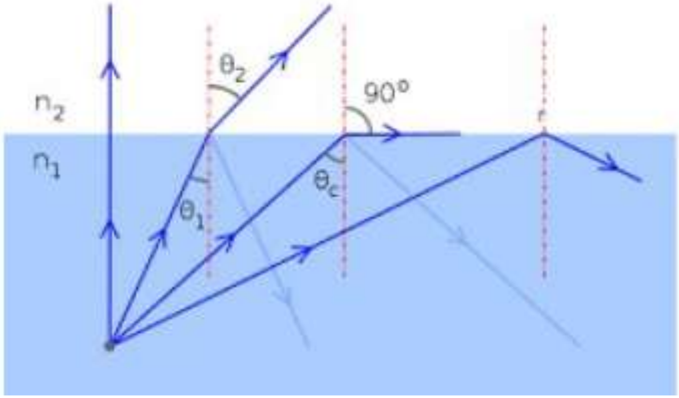
Διαθλαση

- Από το νόμο του Snell εύκολα προκύπτει ότι όταν το φως περνά από οπτικά αραιό σε οπτικά πυκνό μέσο πλησιάζει προς την κάθετο.
- Αν αντιθέτως περνά από πυκνό σε αραιό μέσο τότε απομακρύνεται από την κάθετο.

Ολικη Ανακλαση

- Μπορεί να συμβεί όταν το φως περνά από πυκνό σε αραιό μέσο και η γωνία είναι μεγαλύτερη από μια κρίσιμη τιμή (ορική γωνία).
- Σχηματικά:

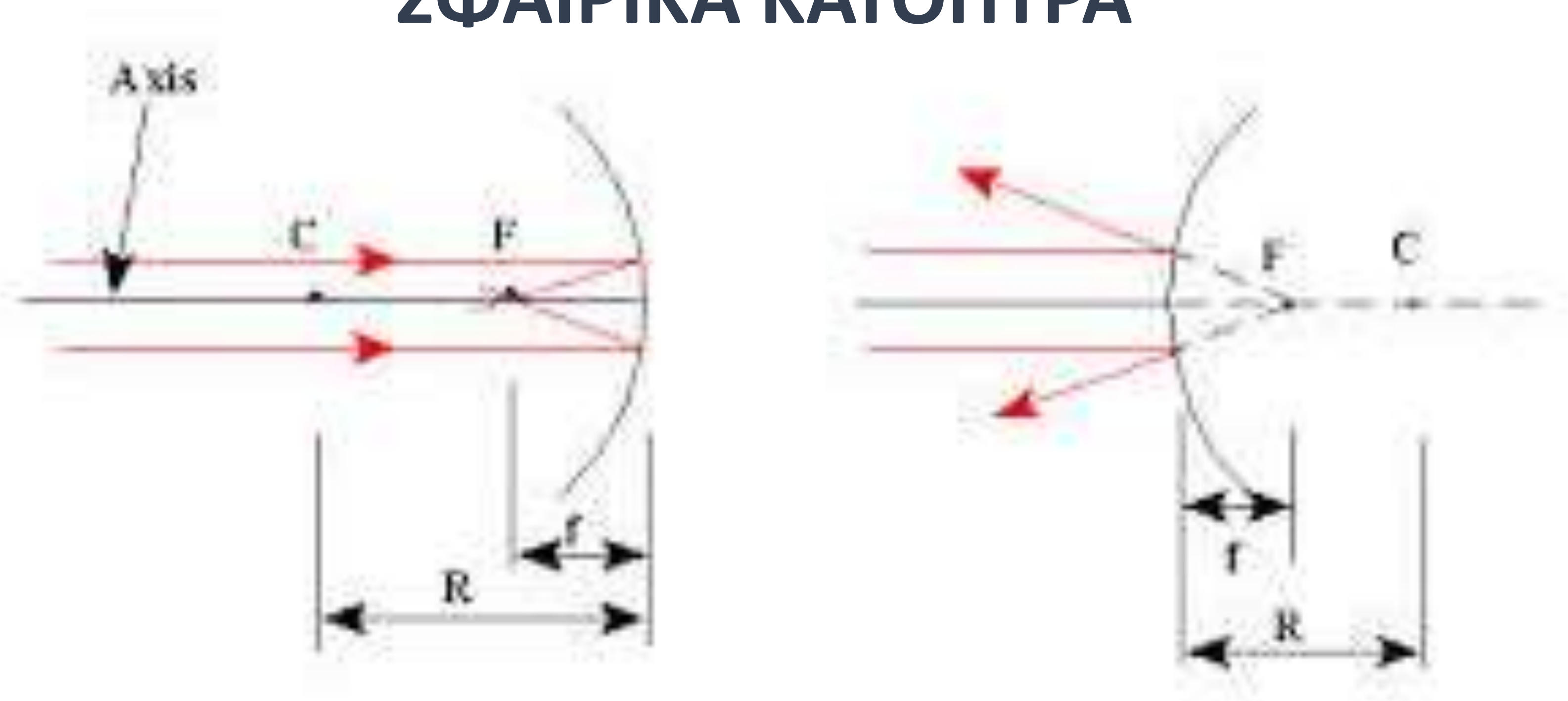
$n_1 > n_2$



- Αποδεικνύεται ότι η κρίσιμη τιμή της γωνίας είναι:

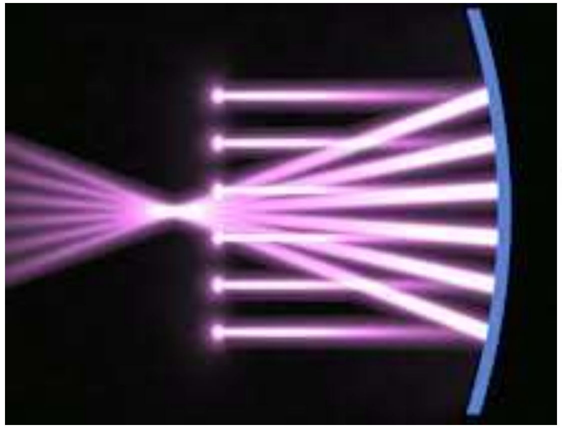
$$sin\theta_{crit} = \frac{n_2}{n_1}$$

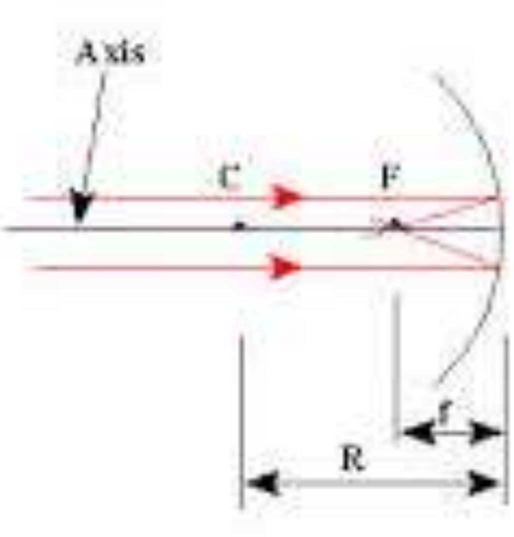
ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

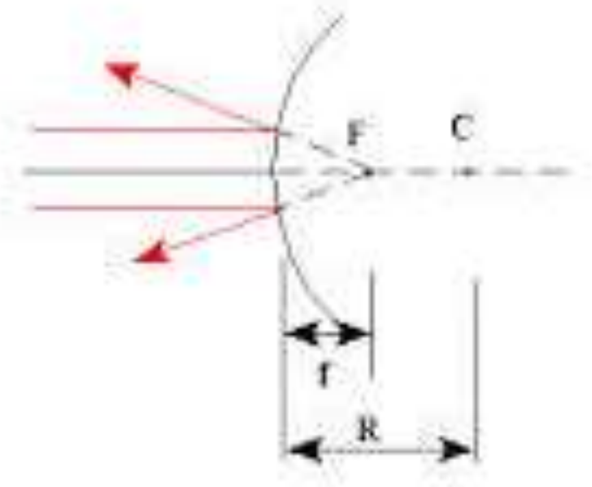


Κύριος άξονας *του κατόπτρου,*
περνά από το ***κέντρο της καμπυλότητας*** **του κατόπτρου C** που είναι το σημείο που ισαπέχει κατά ***R*** (= ***ακτίνα καμπυλότητας***) από όλα τα σημεία της επιφάνειας του κατόπτρου) και το ***κέντρο του κατόπτρου***.

ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ





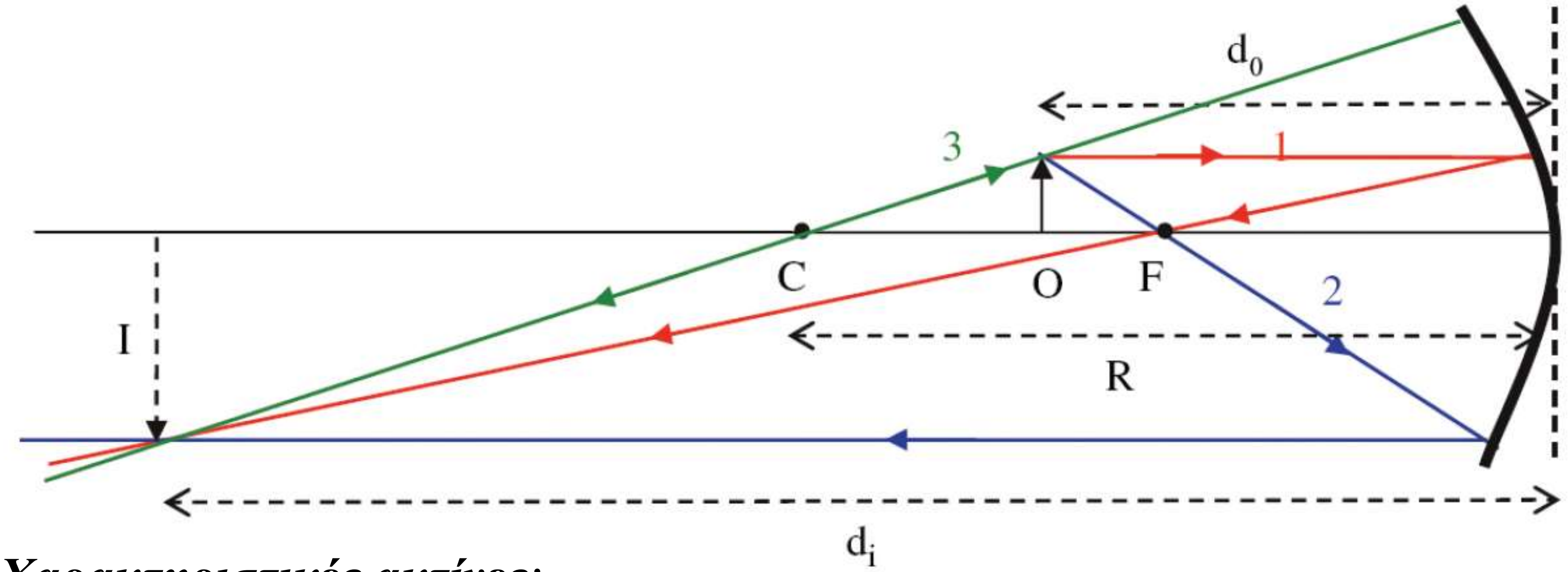


Όλες οι ακτίνες φωτός ανακλώνται από την κατοπτρική επιφάνεια σύμφωνα με τον νόμο της ανάκλασης και <u>συγκλίνουν</u> στο ***εστιακό σημείο F*** *του* κατόπτρου που βρίσκεται σε απόσταση ***f*** ***(εστιακή απόσταση)*** *κατά μήκος του κύριου άξονα από την επιφάνειά* του.
Η εστιακή απόσταση για ένα σφαιρικό κάτοπτρο δίνεται ως:

$$f = \frac{R}{2}$$

Επομένως, *<u>η ακτίνα καμπυλότητας του κατόπτρου ορίζει άμεσα την εστιακή του απόσταση</u>*, που είναι η παράμετρος-κλειδί για τον σχηματισμό ειδώλων από αυτό.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ



Χαρακτηριστικές ακτίνες:

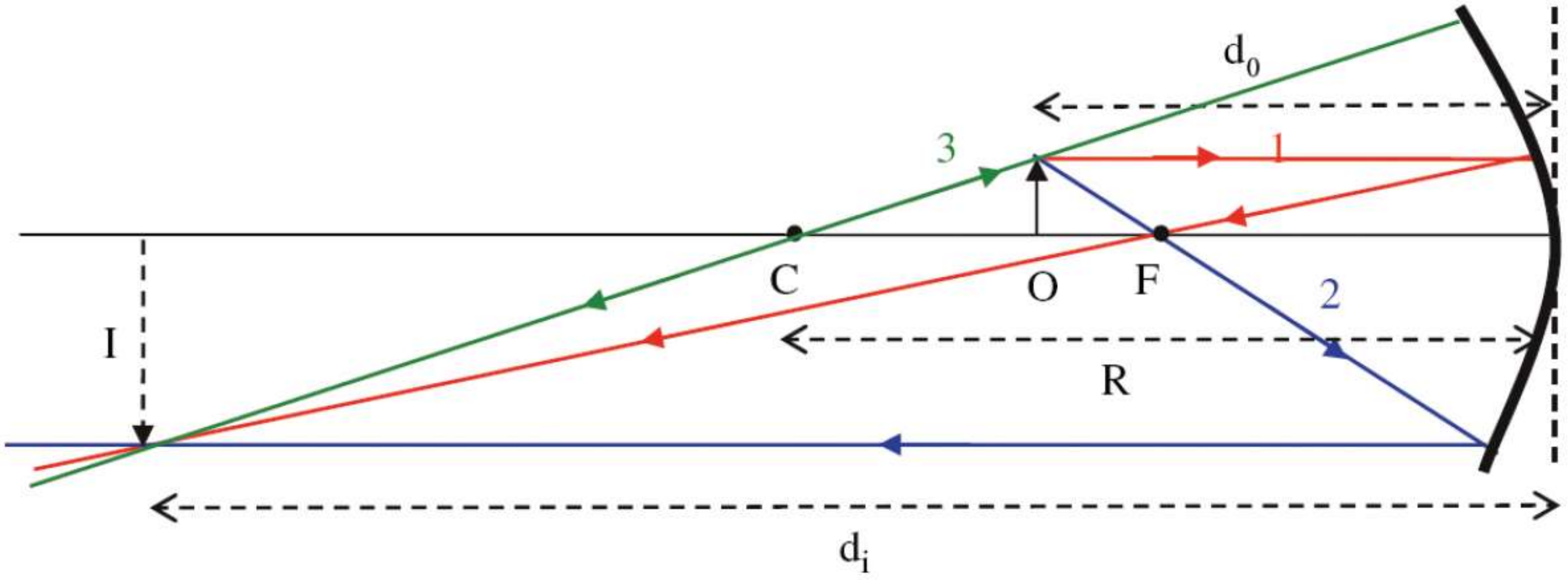
(1) Ακτίνα (κόκκινη) **παράλληλη στον κύριο άξονα του κατόπτρου** που ανακλάται σε αυτό και στη συνέχεια διέρχεται από το εστιακό του σημείο.

(2) Ακτίνα (μπλε) **διερχόμενη από το εστιακό σημείο** που ανακλάται και στη συνέχεια κατευθύνεται παράλληλα στον κύριο άξονα

(3) ακτίνα (πράσινη) **που φαίνεται να προέρχεται από το κέντρο καμπυλότητας C** και ανακλάται κάθετα στο κάτοπτρο ακολουθώντας την ίδια διεύθυνση προς τα πίσω.

Στο σημείο τομής των ανακλώμενων ακτίνων βρίσκεται η κορυφή (ή το αντίστοιχο σημείο) του βέλους-ειδώλου που σχηματίζεται από το κάτοπτρο.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ



Εξίσωση των κατόπτρων:

$$\frac{1}{d_0} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$$

Μεγέθυνση: ($|m| = h_i / h_0$)

$$m = -\frac{d_i}{d_0}$$

όπου το αρνητικό πρόσημο εισέρχεται για να υποδηλώνει ότι <u>*το είδωλο είναι αντεστραμμένο*</u> ως προς το αντικείμενο.

Από την εξίσωση των κατόπτρων, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση (και τη μεγέθυνση) του ειδώλου ενός αντικειμένου σε κάτοπτρο.

Παράδειγμα Ενα κοίλο κάτοπτρο έχει ακτίνα καμπυλότητας 25 cm. Αντικείμενο ύψους 2 cm τοποθετείται σε απόσταση από το κάτοπτρο 20 cm κατά μήκος του άξονά του. Βρείτε πού σχηματίζεται το είδωλο του αντικειμένου και το μέγεθός του.

Λύση: Λύνουμε την εξίσωση των κατόπτρων ως προς την απόσταση σχηματισμού του ειδώλου και για $d_0 = 20$ cm και $f = R/2 = 12{,}5$ cm, έχουμε:

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_0} = \frac{1}{12{,}5} - \frac{1}{20} = 0{,}03\ \mathrm{cm}^{-1} \text{ οπότε } d_i = 33{,}3\ \mathrm{cm}$$

Σύμφωνα με την Εξίσωση (20.9), η μεγέθυνση είναι $m = h_i / h_0 = -d_i / d_0 = -1{,}67$ και επομένως το ύψος του ειδώλου είναι $h_i = -1{,}67 h_0 = -(1{,}67)\cdot(2\ \mathrm{cm}) = -3{,}33$ cm. Εδώ το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι το είδωλο είναι αντεστραμμένο.

Πρόσημο ορισμένων μεγεθών στην Εξίσωση των Κατόπτρων.

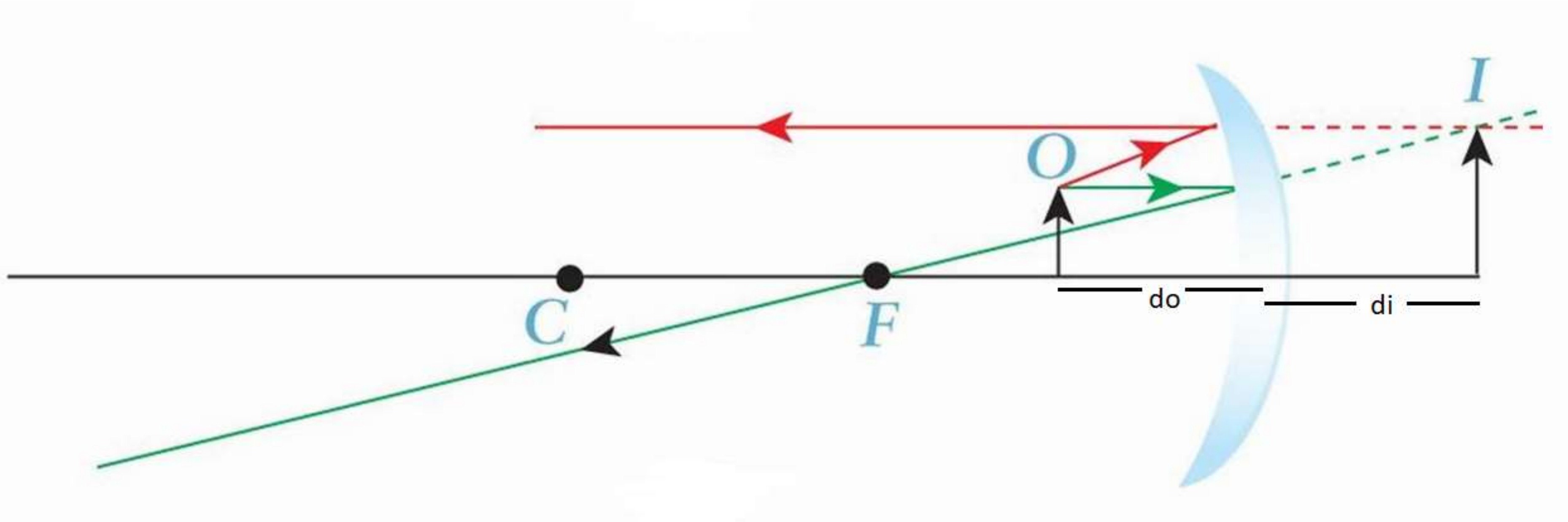
Μέγεθος	***Θετικό όταν***	***Αρνητικό όταν***
Εστιακή απόσταση, f	Κοίλο κάτοπτρο	Κυρτό κάτοπτρο
Απόσταση αντικειμένου, d_0	Πραγματικό αντικείμενο (συνήθης περίπτωση)	* Φανταστικό αντικείμενο (σπάνια περίπτωση)
Απόσταση ειδώλου, d_i	Πραγματικό είδωλο (βρίσκεται μπροστά από το κάτοπτρο)	Φανταστικό είδωλο (βρίσκεται πίσω από το κάτοπτρο)
Μεγέθυνση, m	Ορθό είδωλο	Αντεστραμμένο είδωλο

Παράδειγμα Αντικείμενο ύψους 1 cm βρίσκεται σε απόσταση 10 cm από κοίλο κάτοπτρο με ακτίνα καμπυλότητας 40 cm. Προσδιορίστε το είδωλο που σχηματίζεται από το κάτοπτρο.

Λύση: Η εστιακή απόσταση είναι $R/2 = 20$ cm και από την εξίσωση των κατόπτρων βρίσκουμε την απόσταση του ειδώλου:

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_0} = \frac{1}{20} - \frac{1}{10} = -\frac{1}{20}$$

$\boxed{d_i = -20 \text{ cm}}$. Το αρνητικό πρόσημο δείχνει ότι το είδωλο είναι φανταστικό και βρίσκεται πίσω από το κάτοπτρο. Υπολογίζουμε τη μεγέθυνση ίση με $m = -d_i/d_0 = -(-20)/(10) = 2$. Επομένως το είδωλο είναι ορθό και το ύψος του ίσο με 2 cm.



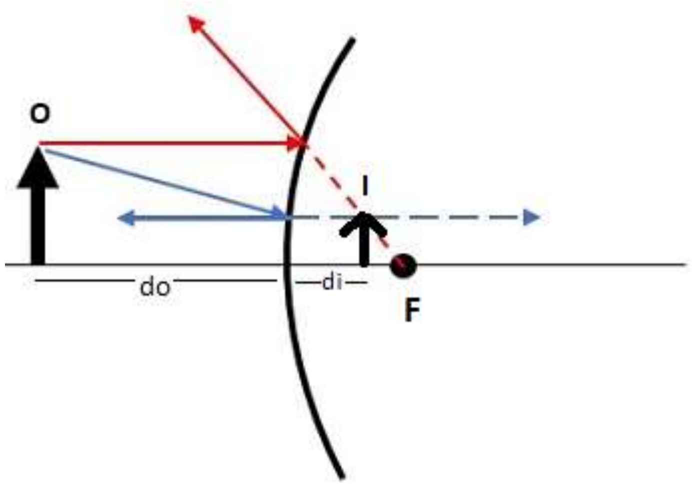
Παράδειγμα Το πλαϊνό καθρεφτάκι ενός αυτοκινήτου είναι κυρτό κάτοπτρο με ακτίνα καμπυλότητας 150 cm. Περιγράψτε το είδωλο που σχηματίζεται σε αυτό τον καθρέφτη, ενός αυτοκινήτου που ακολουθεί σε απόσταση 20 m.

ΛΥΣΗ

Στην περίπτωση αυτή το κάτοπτρο είναι κυρτό, οπότε $f = -R/2 = -75$ cm = - 0,75 m

Από την εξίσωση κατόπτρων και για d_0 = 20 m, βρίσκουμε ότι:

$$\frac{1}{d_\mathrm{i}} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_0} = -\frac{1}{0{,}75} - \frac{1}{20} = -1{,}383\ \mathrm{m}^{-1} \Rightarrow d_\mathrm{i} = -0{,}72\ \mathrm{m}$$



Επομένως, το είδωλο είναι **<u>φανταστικό</u>** και αφού $m = -d_\mathrm{i} / d_0 = -(-0{,}72)/20 = 0{,}036$ είναι και **<u>ορθό</u>**.

Θυμηθείτε ότι το m ορίζεται επίσης και ως: $m = h_\mathrm{i}/h_\mathrm{o}$. Αν υποθέσουμε ότι το αυτοκίνητο που ακολουθεί έχει ύψος h_0 = 1,5 m, τότε το είδωλό του από το καθρεφτάκι θα έχει ύψος h_i = 0,036 ·1,5 = 0,054 m = 5,4 cm.

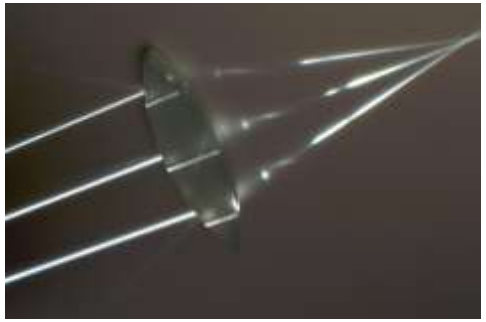
- Αν υποθέσουμε ότι το καθρεφτάκι έχει διαστάσεις 10cm x10cm, το είδωλο "χωράει" ολόκληρο στο καθρεφτάκι. Τι θα συμβεί όταν το αυτοκίνητο που ακολουθεί πλησιάσει στα 5 m;
- Γιατί στους κυρτούς καθρέφτες αυτοκινήτου συχνά αναγράφεται: «τα αντικείμενα που αντικατοπτρίζονται στον καθρέφτη βρίσκονται στην πραγματικότητα πιο κοντά από ό,τι φαίνονται»; (γεγονός στο οποίο θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή)

ΟΠΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Οι φακοί κατασκευάζονται συνήθως από γυαλί ή διαφανές πλαστικό που λειαίνεται έτσι ώστε να έχουν σφαιρικές επιφάνειες.

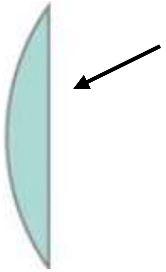
Βασικές μορφές φακών:

Συγκλίνοντες φακοί, οι οποίοι είναι παχύτεροι στο κέντρο από ότι στα άκρα τους



Αμφίκυρτος

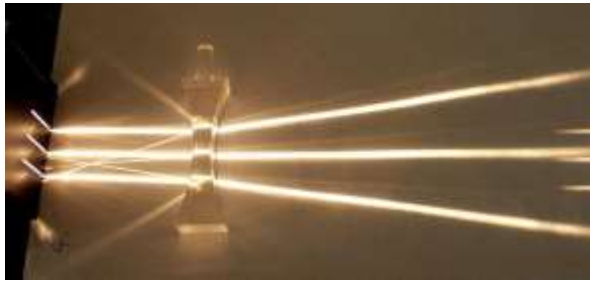
$R_2 = \infty$



Επιπεδόκυρτος

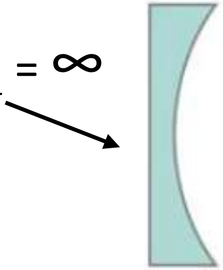
Μηνίσκος

Αποκλίνοντες φακοί, *που είναι λεπτότεροι* στο κέντρο από ότι στα άκρα



Αμφίκοιλος

$R_1 = \infty$

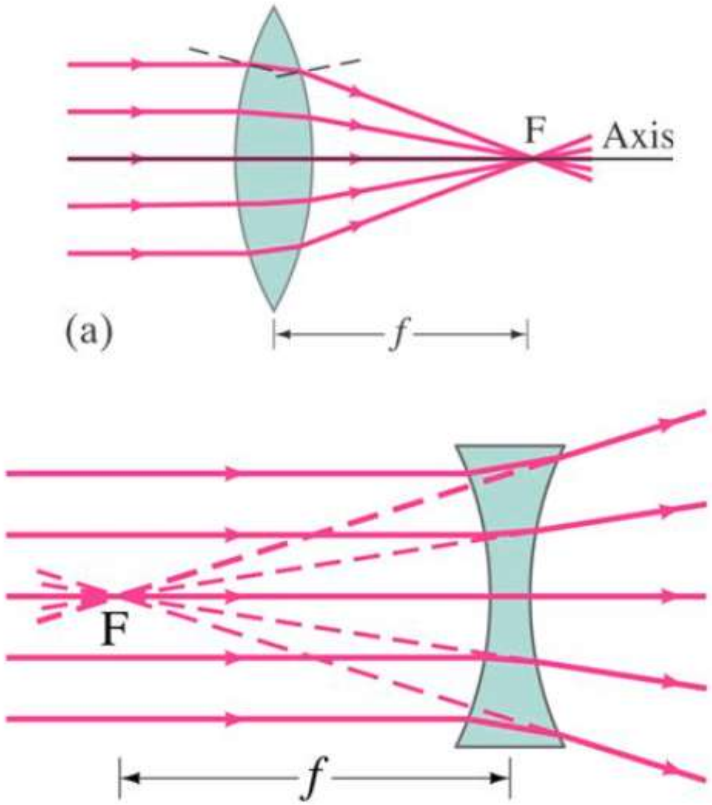


Επιπεδόκοιλος

Μηνίσκος

ΟΠΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Οπτικός άξονας φακού: η ευθεία που περνά από το κέντρο του κάθετα προς τις δύο επιφάνειές του.
Για έναν λεπτό φακό υπάρχει ένα σημείο, το ***εστιακό σημείο F,*** στο οποίο όλες αυτές οι ακτίνες συγκλίνουν και τέμνουν τον οπτικό του άξονα. Η **απόσταση *f* *αυτού του σημείου*** *από το κέντρο του φακού ονομάζεται* ***εστιακή απόσταση*** *του φακού* και είναι η ίδια και από τις δύο πλευρές του φακού (αν ο φακός περιστραφεί 180° γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα θα εστιάζει το φως στο ίδιο σημείο).



ΟΠΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Η εστιακή απόσταση ενός λεπτού φακού σχετίζεται με τις ακτίνες καμπυλότητας R_1 και R_2 *των δύο πλευρών του και τον* δείκτη διάθλασης *n του υλικού του* (θεωρώντας ότι το περιβάλλον του φακού είναι ο αέρας για τον οποίον $n_{αέρα} = 1$) *από την*

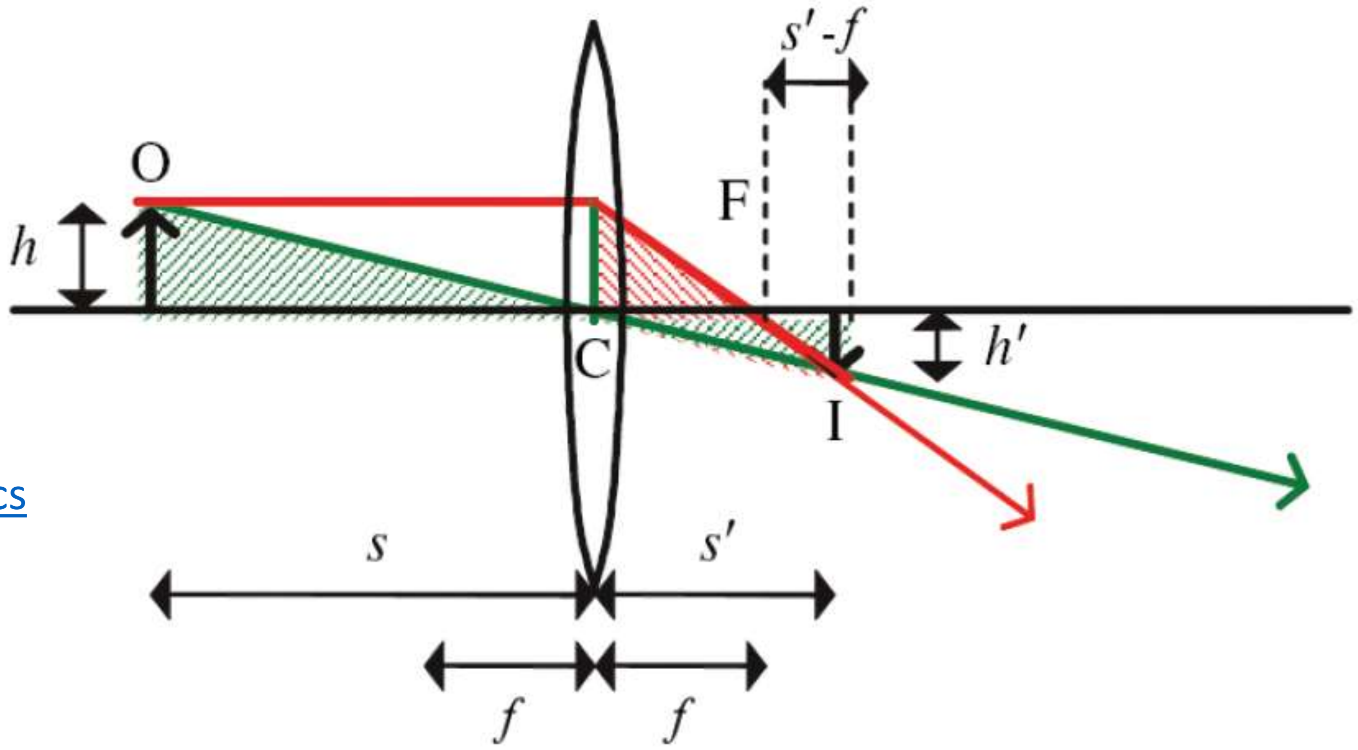
Εξίσωση του κατασκευαστή φακών

(για λεπτό φακό)

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

✓Η εξίσωση αυτή ορίζει **μία και μοναδική εστιακή απόσταση** για έναν φακό, από όποια πλευρά κι αν δέχεται το προσπίπτον φως και ακόμα και αν οι πλευρές του έχουν διαφορετικές ακτίνες καμπυλότητας.

ΣΥΓΚΛΙΝΩΝ ΦΑΚΟΣ – ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ



Βλ. Phet : [Geometric optics]

Εξίσωση φακού: $$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$$

s: απόσταση του αντικειμένου από το κέντρο του φακού
s': απόσταση του ειδώλου από το κέντρο του φακού

Γραμμική μεγέθυνση: $m=-\frac{s'}{s}$ $\quad |m|=\frac{h'}{h}$

(το αρνητικό δηλώνει αρνητική μεγέθυνση στον σχηματισμό αντεστραμμένων ειδώλων και θετική μεγέθυνση στον σχηματισμό ορθών ειδώλων)

Ισχύς του φακού: $P=\frac{1}{f}$

- Όσο μικρότερη είναι η εστιακή απόσταση ενός φακού τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του

Η μονάδα ισχύος φακού είναι η <u>διόπτρα (D) και 1 D = 1 m^{-1}</u>

ΟΠΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ – ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ

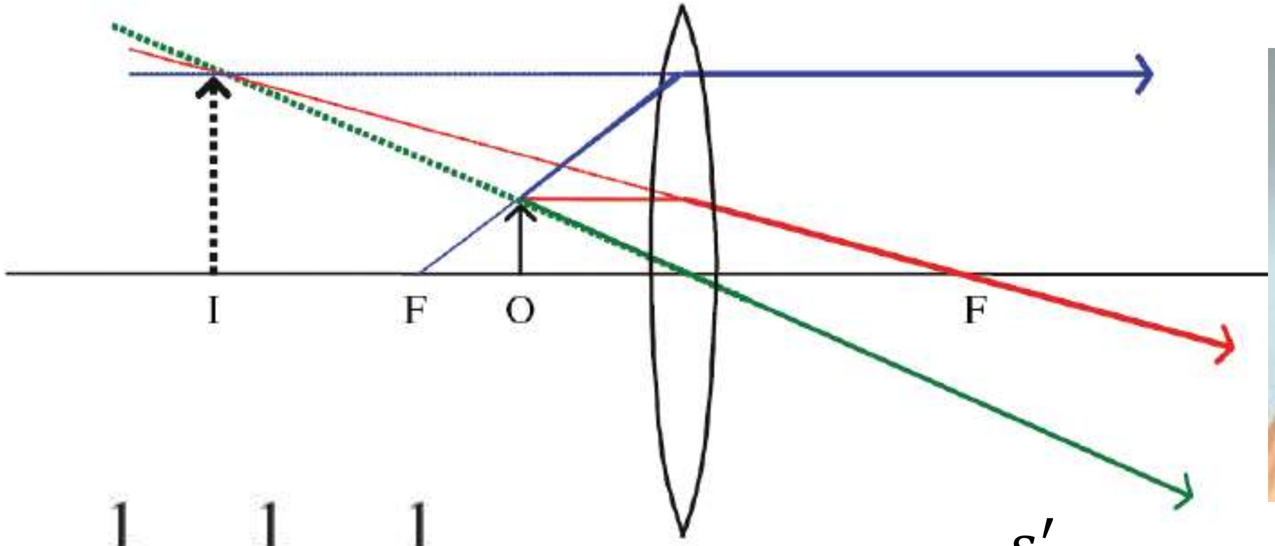
Κανόνες προσήμου για λεπτούς φακούς.

Μέγεθος	Κανόνας
s	+ Αν το αντικείμενο είναι μπροστά* από τον φακό
	– Αν το αντικείμενο είναι πίσω από τον φακό
s'	+ Αν το είδωλο είναι πίσω από τον φακό
	– Αν το είδωλο είναι μπροστά από τον φακό
h, h'	+ Αν το είδωλο είναι ορθό
	– Αν το είδωλο είναι αντεστραμμένο
R_1, R_2	+ Αν η επιφάνεια είναι κυρτή
	– Αν η επιφάνεια είναι κοίλη
f	+ Αν ο φακός είναι συγκλίνων
	+ Αν ο φακός είναι αποκλίνων

* Το μπροστά ή πίσω καθορίζεται σε σχέση με το προσπίπτον φως. Ως μπροστινή θεωρείται η πλευρά του φακού στην οποία προσπίπτει αρχικά το φως.

Όταν ***s > f***, 1/*s* < *1/f* και σύμφωνα με την *Εξίσωση φακού, s΄ > 0 και το* **είδωλο είναι πραγματικό και αντεστραμμένο** (επειδή *m <0).*
- Αν s΄ > s το είδωλο είναι μεγαλύτερο ενώ αν *s΄ < s είναι μικρότερο από το αντικείμενο.*

ΣΥΓΚΛΙΝΩΝ ΦΑΚΟΣ – ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ



$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

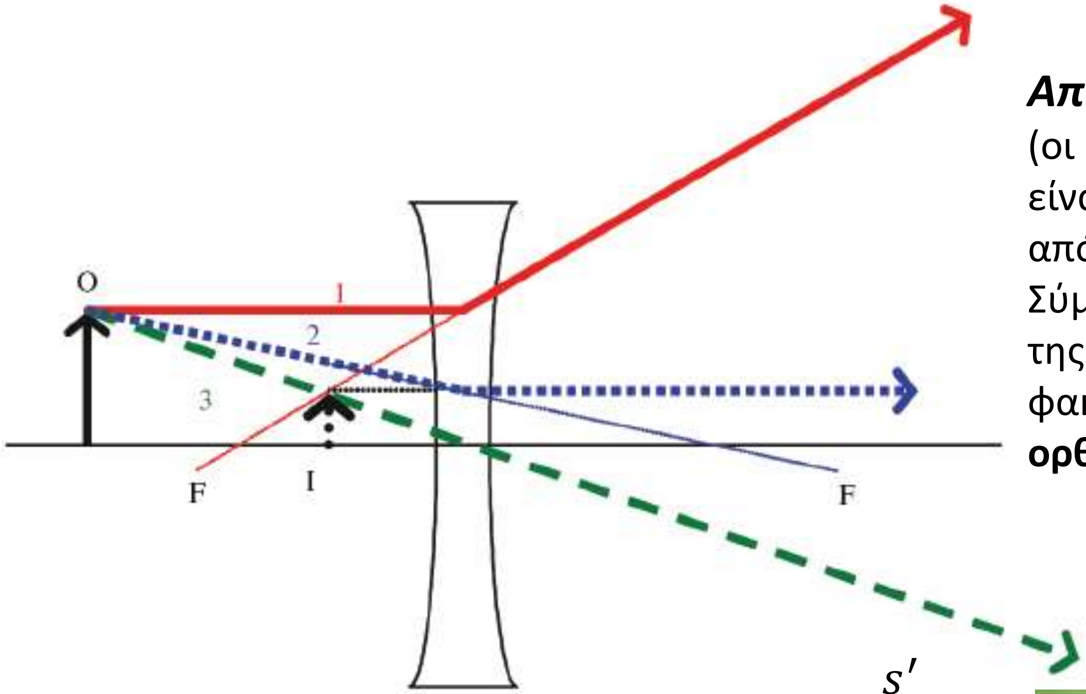
$$m = -\frac{s'}{s}$$

Περίπτωση όπου το αντικείμενο βρίσκεται σε απόσταση **μικρότερη της εστιακής** απόστασης (**$1/s > 1/f$**) από τον φακό: Σύμφωνα με την Εξίσωση φακού **$s' < 0$**.

<u>Τι σημαίνει αυτό για το σχηματιζόμενο είδωλο;</u>

Οι ακτίνες, μετά τη διάθλασή τους από τον φακό, αποκλίνουν και γι’ αυτό δεν σχηματίζεται κανένα πραγματικό είδωλο (δηλαδή δεν υπάρχει τοποθεσία πίσω από τον φακό όπου αν τοποθετηθεί ένα πέτασμα θα σχηματιστεί το είδωλο του αντικειμένου). Ένας παρατηρητής που βρίσκεται σε μακρινή απόσταση από τη δεξιά πλευρά του φακού κοιτάζοντας προς τον φακό θα βλέπει τις **ακτίνες σαν να προέρχονται από ένα (φανταστικό) είδωλο ευρισκόμενο πίσω από τον φακό, μεγαλύτερο από το αντικείμενο και σε ορθή θέση** (μεγεθυμένο και ορθό αφού $s' > s$ *και* $s' < 0$, επομένως **$m > +1$**. Όσο το αντικείμενο προσεγγίζει το εστιακό σημείο, το φανταστικό είδωλο πηγαίνει σε μεγαλύτερες αποστάσεις και μεγεθύνεται

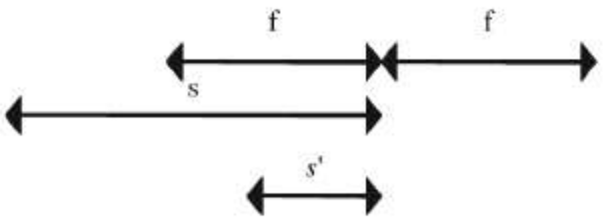
ΑΠΟΚΛΙΝΩΝ ΦΑΚΟΣ – ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΙΔΩΛΟΥ



Αποκλίνων φακός

(οι ακτίνες καμπυλότητας και των δύο πλευρών είναι αρνητικές). Επομένως και η εστιακή απόσταση θα είναι αρνητική.

Σύμφωνα με την εξίσωση φακού, ανεξάρτητα της θέσης του αντικειμένου στα αριστερά του φακού, **το είδωλο θα είναι πάντα φανταστικό, ορθό και μικρότερο από το αντικείμενο**.



$$m = -\frac{s'}{s}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

Για αποκλίνων φακό $f < 0$. Για να γίνει πιο παραστατικό σημειώνουμε $f = -|f|$, οπότε:

$$\frac{1}{s'} = -\frac{1}{|f|} - \frac{1}{s}$$

Επομένως, θα είναι πάντα $s' < 0$ και $|s'| < s$.

ΣΥΝΘΕΤΟΙ ΦΑΚΟΙ

Συνδυασμοί πολλών απλών φακών σε σειρά, που είτε βρίσκονται σε επαφή είτε απέχουν μεταξύ τους. Οι περισσότεροι φακοί των οπτικών συσκευών είναι σύνθετοι φακοί κατασκευασμένοι έτσι ώστε να αντισταθμίζουν τις εκτροπές.

Δύο λεπτοί φακοί που είναι σε επαφή μεταξύ τους:

Το είδωλο του αντικειμένου από τον πρώτο μεμονωμένο φακό (αυτόν που βρίσκεται πλησιέστερα στο αντικείμενο) θεωρείται ως αντικείμενο για τον δεύτερο φακό κ.ο.κ. και χρησιμοποιούμε τους κανόνες προσήμων.

Εξίσωση φακού για τον 1ο φακό και τον 2ο φακό είναι:

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} = \frac{1}{f_1} \qquad \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f_2}$$

Αν θεωρήσουμε **το είδωλο από τον πρώτον φακό ως αντικείμενο για τον δεύτερο, θα είναι $s_2 = -s'_1$** *και προσθέτοντας τις δύο* εξισώσεις βρίσκουμε ότι:

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$$

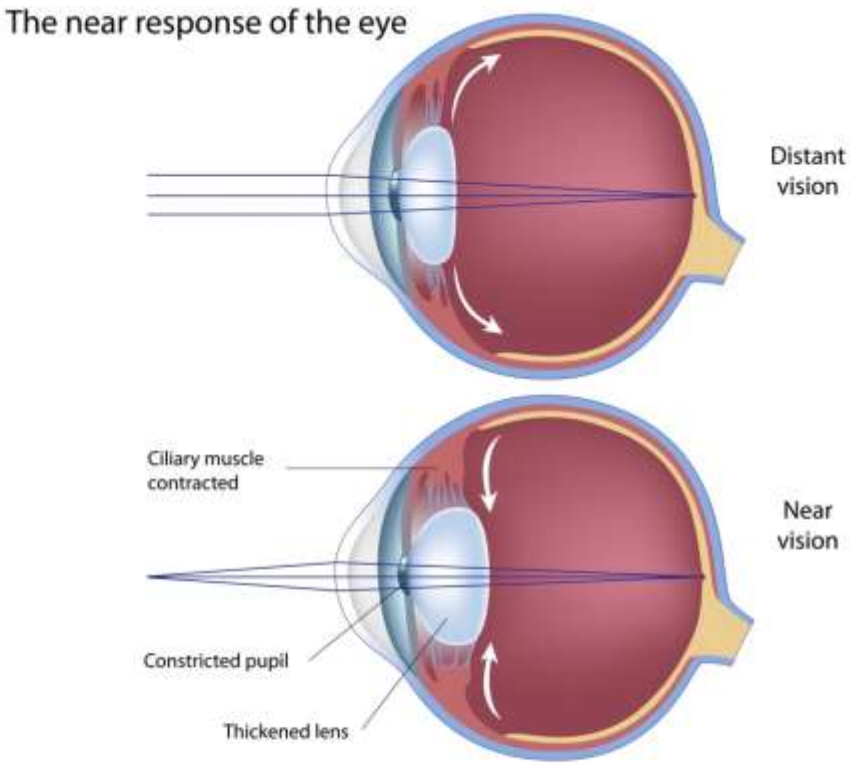
ΣΥΝΘΕΤΟΙ ΦΑΚΟΙ

Δηλ., μπορούμε να θεωρήσουμε τους δύο λεπτούς φακούς, που είναι σε επαφή μεταξύ τους, ως έναν φακό του οποίου η εστιακή απόσταση προκύπτει από τον συνδυασμό των άλλων δύο, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$$

Οι περισσότεροι φακοί των οπτικών συσκευών είναι σύνθετοι φακοί κατασκευασμένοι έτσι ώστε να αντισταθμίζουν τις εκτροπές.

Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ



Φυσιολογικά, χωρίς καμία αλλαγή του σχήματος του φακού, μπορούμε να εστιάζουμε σε αντικείμενα που βρίσκονται σε απόσταση από περίπου <u>6 m έως το άπειρο</u>.
<u>Για να δούμε αντικείμενα που βρίσκονται σε κοντινότερες αποστάσεις, το μάτι δεν παραμένει χαλαρωμένο. Ο φακός του αλλάζει σχήμα, εξογκώνεται και δίνει πιο κοντινή εστίαση.</u>

Από ένα αντικείμενο στο «άπειρο», παράλληλες ακτίνες φωτός εστιάζονται, από τον φακό σε κατάσταση χαλάρωσης, σε ένα σημείο του αμφιβληστροειδούς, περίπου 2 cm πίσω από τον φακό.
Ένα αντικείμενο σε μεγάλη αλλά πεπερασμένη απόσταση **εστιάζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή ως αντεστραμμένο είδωλο**, το οποίο ερμηνεύεται ανορθωμένο από τον εγκέφαλο.

Χειρισμός Γεωμετρική Οπτικής για τον Ανθρώπινο Οφθαλμό

Αν και η πραγματική απόσταση κερατοειδούς-αμφιβληστροειδούς είναι περίπου 1.7 cm (~2 cm), επειδή ο φακός είναι στο πίσω μέρος του πρόσθιου θαλάμου που είναι γεμάτος με υδατοειδές υγρό με n_i = 1,33, η εξίσωση φακών αλλάζει και το f του φακού διαχωρίζεται σε f_o αντικειμένου (=1,7 cm) και f_i ειδώλου (=2,2 cm).

$$\frac{1}{s_o} + \frac{n_i}{s_i} = \frac{1}{f_o} = \frac{n_i}{f_i}$$

Προκειμένου να συνεχίζουμε να χρησιμοποιούμε την απλοποιημένη εξίσωση φακών, χωρίς να εισάγουμε το n_i = 1,33,

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

θα θεωρήσουμε ότι <u>η εστιακή απόσταση του οφθαλμού ενός ανθρώπου είναι μία, f, ίση περίπου με 3 cm όταν είναι πλήρως χαλαρωμένος</u>

Εγγύς σημείο όρασης

Για να βλέπουμε «καθαρά» ένα αντικείμενο, το είδωλό του από το φακό του οφθαλμού θα πρέπει να σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή, δηλαδή $s' = 3$ cm.

- Όταν οφθαλμός είναι πλήρως χαλαρωμένος, η εστιακή απόσταση του φακού του είναι $f = 3$ cm, επομένως εστιάζει αντικείμενα στο άπειρο αφού τότε $s = \infty$ και $s' = f$.

- Όταν το αντικείμενο δεν είναι στο άπειρο, αλλά σε μια απόσταση πρακτικά $s < 6$ m, το s' γίνεται μεγαλύτερο από 3 cm (μάλιστα, αν θεωρήσουμε f = σταθ., το s' μεγαλώνει καθώς το s μικραίνει – βλέπε phet).

Τότε, για να πετύχει το μάτι εστίαση στον αμφιβληστροειδή, δηλ. $s' = 3$ cm, συμπιέζει με τους μυς του τον φακό, ελαττώνει την ακτίνα καμπυλότητας του και επομένως μειώνει την f του.

Αυτό μπορεί να το κάνει μέχρις ενός ορίου, μπορεί δηλαδή να μειώσει την f μέχρι 2,7 cm (f_{min}). Αυτό σημαίνει ότι για να εστιαστεί το είδωλο στον αμφιβληστροειδή (s' = 3 cm) υπάρχει και ένα κατώτερο s (s_{min}) στο οποίο μπορεί να τοποθετηθεί το αντικείμενο:

$$(1/f_{min}) = (1/s_{min}) + (1/3) \Rightarrow (1/2{,}7) = (1/s_{min}) + (1/3)$$

Ο υπολογισμός του s_{min}, σύμφωνα με αυτό, δίνει μια τιμή περίπου 25 cm που ονομάζεται **ΕΓΓΥΣ ΣΗΜΕΙΟ ΟΡΑΣΗΣ**.

Εγγύς σημείο όρασης

(η μικρότερη απόσταση από τον οφθαλμό στην οποία όταν βρίσκεται ένα αντικείμενο, ο οφθαλμός έχει την ικανότητα να εστιάζει σε αυτό με ευκρίνεια)

Για ένα **φυσιολογικό οφθαλμό**:

- το εγγύς σημείο όρασης είναι $s_{\mathrm{min}} = 25$ cm και
- θεωρούμε απόσταση από τον αμφιβληστροειδή $s' = 3$ cm,

τότε, όπως προκύπτει από την Εξίσωση φακού:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

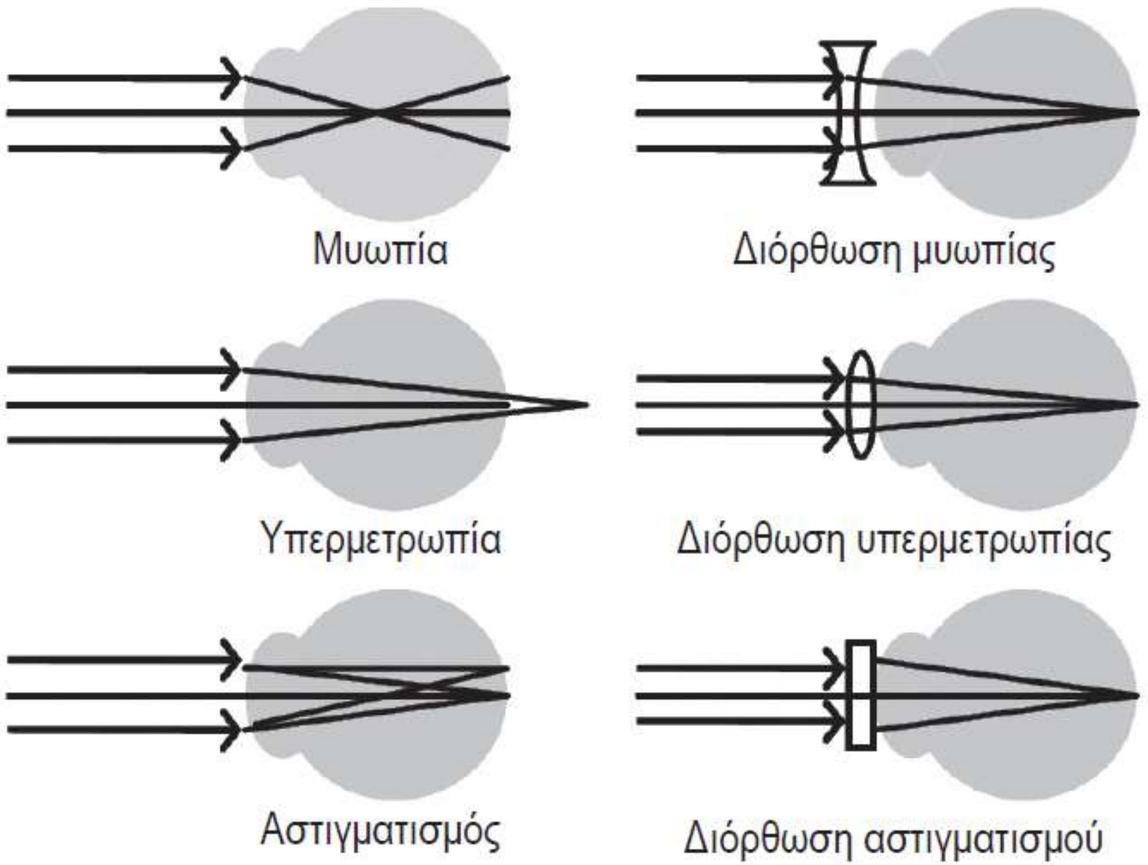
η **ελάχιστη εστιακή απόσταση** f **του φυσιολογικού οφθαλμού (αυτή που μπορεί να αποκτήσει επιτυγχάνοντας τη μέγιστη δυνατή εξόγκωση του φακού με τους ακτινωτούς μυς) είναι περίπου 2,7 cm**.

Ο φυσιολογικός οφθαλμός σχηματίζει ένα αντεστραμμένο πραγματικό είδωλο στον αμφιβληστροειδή

$$m = -s'/s = -3\text{cm} / 25\text{ cm} = -0{,}12$$

που είναι σε μέγεθος $|m| = 12\%$ του μεγέθους του αντικειμένου.

Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ



Μυωπία: *Ο βολβός του οφθαλμού είναι, σε σχέση με την ακτίνα καμπυλότητας του κερατοειδούς, περισσότερο επιμηκυμένος κατά μήκος του οπτικού άξονα.*

Υπερμετρωπία: λιγότερο επιμηκυμένος κατά μήκος του οπτικού άξονα.

Αστιγματισμός: η επιφάνεια του κερατοειδούς δεν είναι σφαιρική αλλά ωοειδής, με αποτέλεσμα η εστίαση να μην είναι η ίδια για δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις.

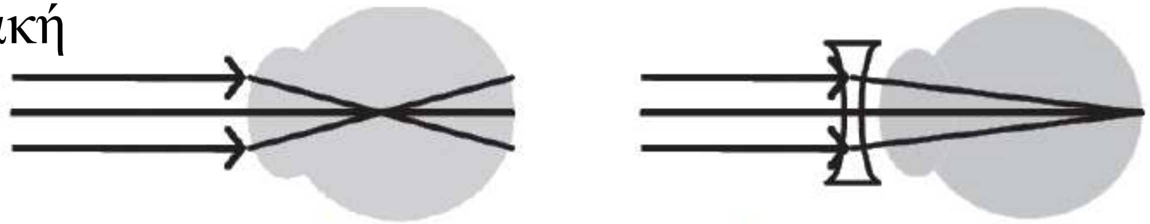
ΑΣΚΗΣΗ

Υποθέστε ότι η εστιακή απόσταση του οφθαλμού ενός ανθρώπου είναι 3 cm όταν είναι πλήρως χαλαρωμένος (δηλαδή, όταν κοιτάζει ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση). Εάν ο αμφιβληστροειδής του οφθαλμού βρίσκεται σε απόσταση 3,3 cm πίσω από τον φακό του οφθαλμού

Α) τι πάθηση θα εμφανίζει ο οφθαλμός;

Απάντηση: πρόκειται για μυωπικό οφθαλμό.

Β) Ποιά πρέπει να είναι η εστιακή απόσταση των διορθωτικών φακών που πρέπει να χρησιμοποιήσει αυτός ο άνθρωπος ώστε να μπορεί να βλέπει ευκρινώς αντικείμενα σε μεγάλες αποστάσεις;



Λύση: Χρησιμοποιώντας την εξίσωση λεπτού φακού με $s = \infty$ και $s' = 3{,}3$ cm, βρίσκουμε ότι χρειάζεται να πετύχουμε μια συνολική εστιακή απόσταση ίση με 3,3 cm. Για ένα τέτοιο σύστημα δύο φακών (*φακός του οφθαλμού και διορθωτικός φακός*), η συνολική εστιακή απόσταση υπολογίζεται από την εξίσωση σύνθετων φακών : $\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$ ως:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_{\text{διορ. φακ.}}} + \frac{1}{f_{\text{φακ. οφθαλ.}}}$$

και επομένως η εστιακή απόσταση του φακού που χρειάζεται, είναι:

$$f_{\text{διορ. φακ.}} = \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{f_{\text{φακ. οφθαλ.}}} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{3{,}3} - \frac{1}{3{,}0} \right)^{-1} = -\,33{,}0 \text{ cm}$$

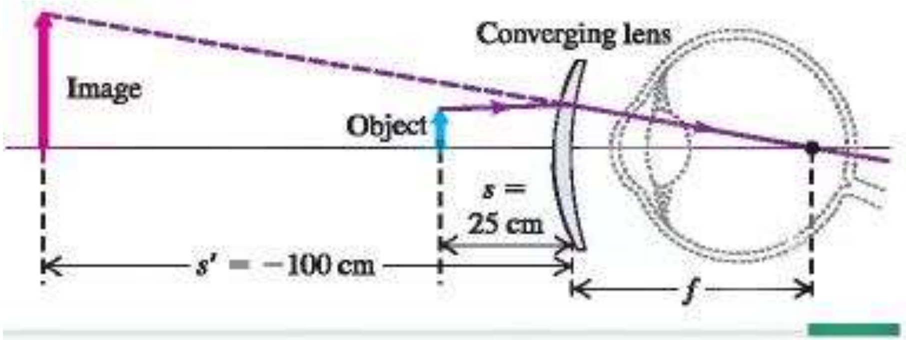
ή σε διόπτρες 1/(- 0,33 m) = - 3 D.

Άσκηση

Η μέση ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως (εγγύς σημείο) ενός ασθενούς με υπερμετρωπία είναι 100 cm. Χρειάζεται φακούς επαφής και ποιας εστιακής απόστασης, ώστε να μπορεί να εστιάσει στα 25 cm;

Λύση

Πρέπει ο φακός επαφής να δημιουργεί ένα είδωλο στα 100 cm για ένα αντικείμενο που βρίσκεται στα 25 cm.



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{+25\ \text{cm}} + \frac{1}{-100\ \text{cm}}$$

$$f = +33\ \text{cm}$$

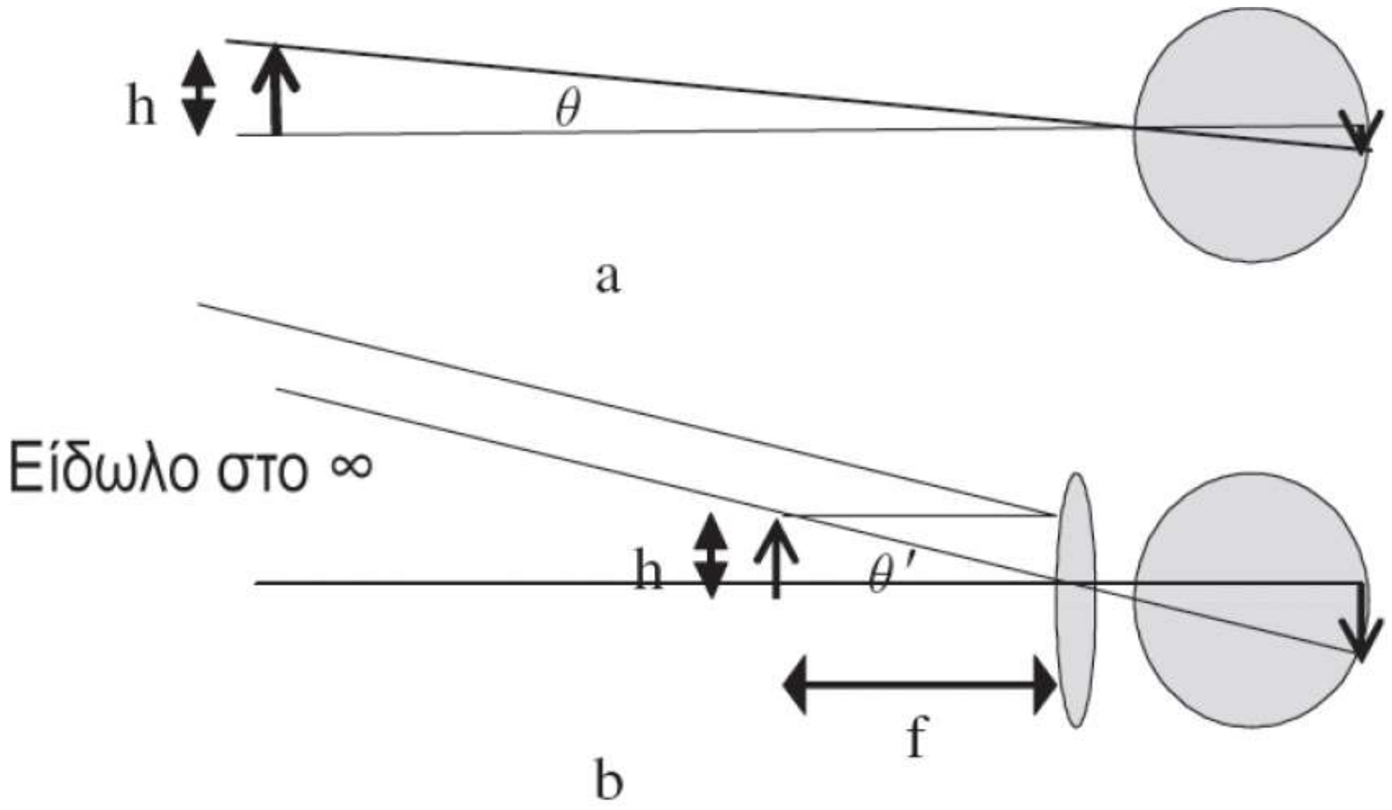
ΟΠΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ: ΜΕΓΕΘΥΝΤΙΚΟΣ ΦΑΚΟΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Για να μπορέσουμε να παρατηρησουμε μικρές λεπτομέρειες ενός αντικειμένου θα πρέπει να το φέρουμε όσο το δυνατόν πλησίον στα μάτια μας. Με αυτό τον τρόπο το είδωλο του αντικειμένου που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή μεγεθύνεται και καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση στις περιοχές ανίχνευσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρικής ανάλυσης στον αμφιβληστροειδή.

Αφού η ύπαρξη του εγγύς σημείου περιορίζει την ικανότητά μας να φέρουμε τα αντικείμενα όσο κοντά θα θέλαμε, ώστε να αυξήσουμε το μέγεθος του εστιασμένου στον αμφιβληστροειδή ειδώλου, η δυνατότητα του γυμνού ανθρώπινου οφθαλμού να διακρίνει λεπτομέρειες είναι περιορισμένη.

ΜΕΓΕΘΥΝΤΙΚΟΣ ΦΑΚΟΣ

Αν θεωρήσουμε ότι το εγγύς σημείο είναι στα 25 cm (συνήθης τιμή)



Phet : [Geometric optics]

(a) γωνία $\theta = h/25$.

(b) οφθαλμός βοηθούμενος από μεγεθυντικό φακό. Το αντικείμενο μεταφέρεται στο εστιακό σημείο του κυρτού φακού [εγγύτερα στον οφθαλμό από ότι στο (a)] και η γωνία $\theta' = h/f$ είναι μεγαλύτερη της θ.

ΜΕΓΕΘΥΝΤΙΚΟΣ ΦΑΚΟΣ

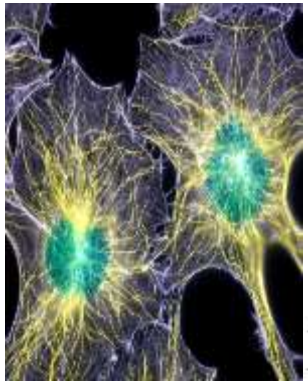
Ο μεγεθυντικός (κυρτός) φακός είναι συγκλίνων φακός που δίνει τη δυνατότητα εστίασης σε αποστάσεις κοντινότερες από ότι ο φακός του γυμνού οφθαλμού μας. Έτσι, μπορούμε να φέρουμε τα αντικείμενα πιο κοντά στο μάτι μας και τα είδωλό τους να παραμένουν εστιασμένα. Η ***<u>γωνιακή μεγέθυνση ή ισχύς μεγέθυνσης</u>*** ορίζεται από το πηλίκο της γωνίας *θ′* όταν το αντικείμενο βρίσκεται στην κοντινή θέση όπου επιτυγχάνεται εστίαση με τη βοήθεια του φακού, προς τη γωνία *θ όταν* το αντικείμενο είναι στο εγγύς σημείο του γυμνού οφθαλμού:

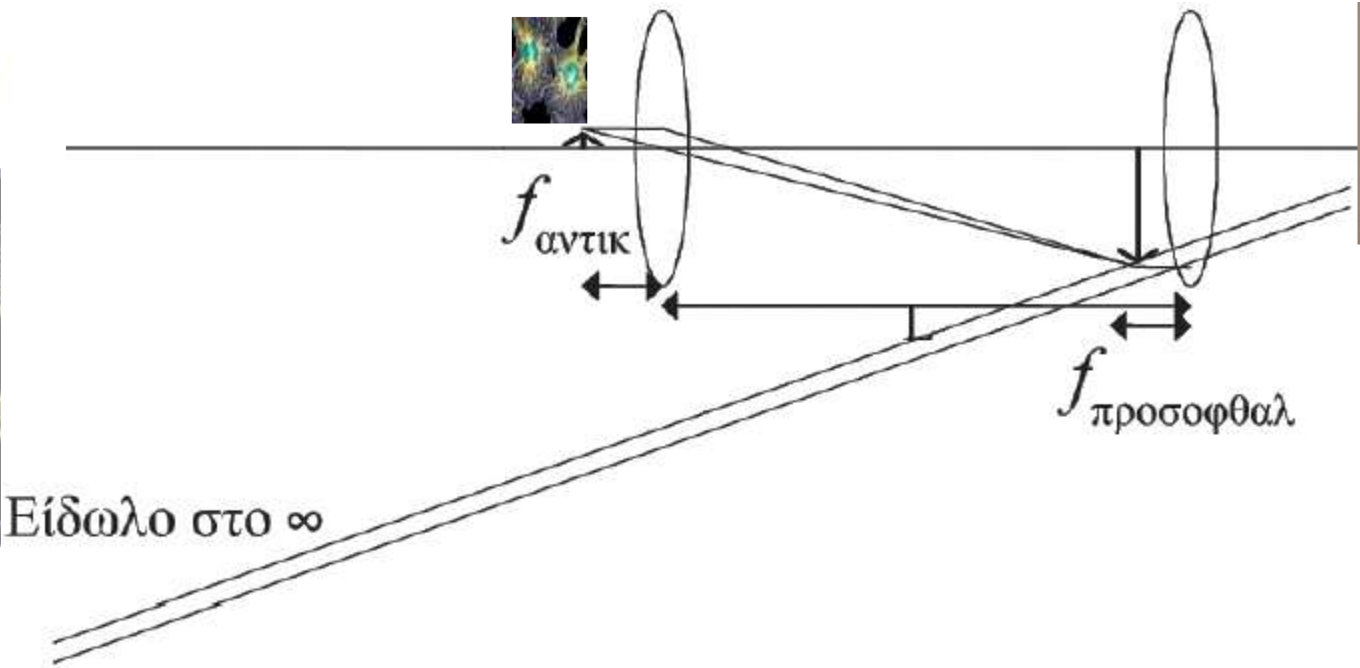
$$m_\theta = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\left(\frac{h}{f}\right)}{\left(\frac{h}{25\ \mathrm{cm}}\right)} = \frac{25\ \mathrm{cm}}{f}$$

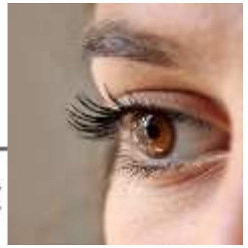
Όσο μικρότερη είναι η εστιακή απόσταση του φακού, τόσο μεγαλύτερη είναι η μεγέθυνση του ειδώλου που επιτυγχάνεται στο μάτι. Μέγιστη μεγέθυνση θα έχουμε όταν το είδωλο από τον μεγεθυντικό φακό σχηματίζεται στο εγγύς σημείο του οφθαλμού.

ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Προσοφθάλμιος και αντικειμενικός φακός



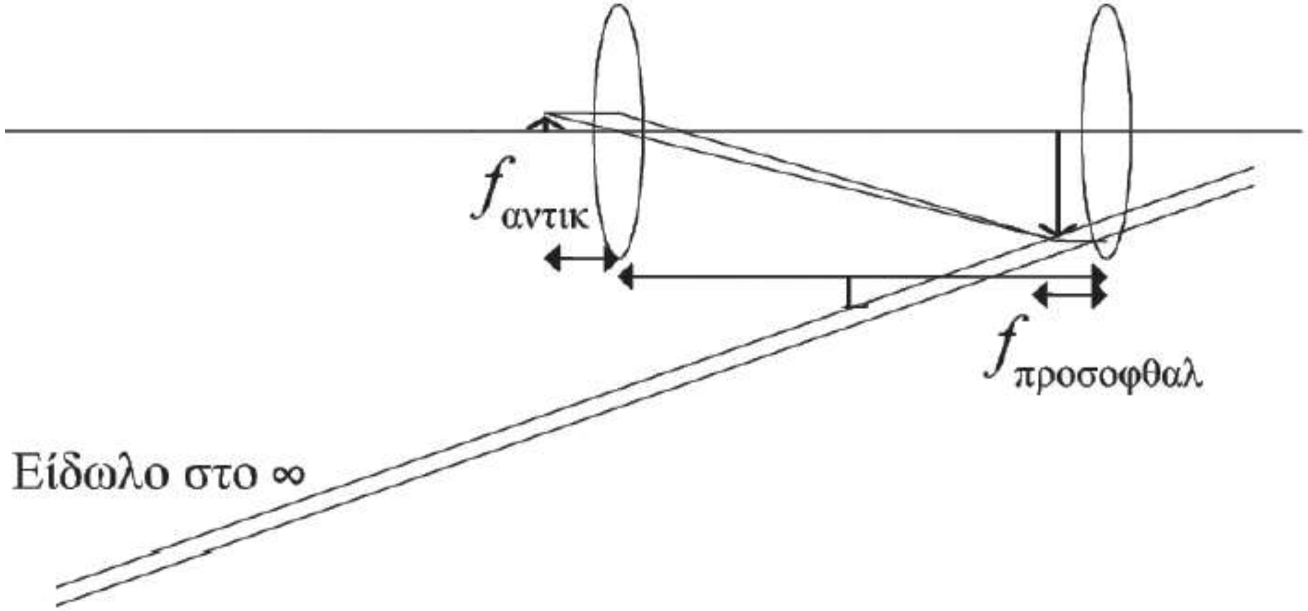




Το αντικείμενο τοποθετείται ακριβώς έξω από το *<u>εστιακό σημείο του αντικειμενικού φακού</u>* ώστε ένα μεγεθυμένο, αντεστραμμένο, πραγματικό είδωλο να σχηματίζεται ακριβώς πάνω στο εστιακό σημείο του προσοφθάλμιου φακού.

<u>Ο προσοφθάλμιος φακός</u>, με τη σειρά του, σχηματίζει ένα περαιτέρω μεγεθυμένο φανταστικό είδωλο στο άπειρο, ώστε να το βλέπει ο οφθαλμός σε χαλάρωση.

ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

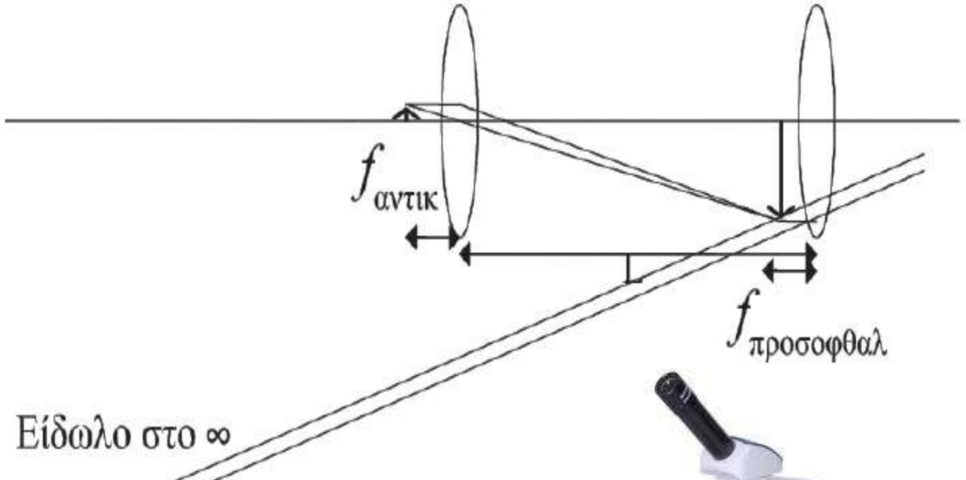


Τοποθετούμε το αντικείμενο που θέλουμε να παρατηρήσουμε ακριβώς έξω από το εστιακό σημείο του αντικειμενικού φακού,
$s \sim f_{αντικ}$, και σχηματίζεται ένα πραγματικό αντεστραμμένο είδωλο με γραμμική μεγέθυνση :

$$m_{αντικ} = \frac{s'}{s} = \frac{s'}{f_{αντικ}}$$

ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Το είδωλο αυτό χρησιμοποιείται ως αντικείμενο από τον προσοφθάλμιο φακό, ο οποίος ρυθμίζεται έτσι ώστε να σχηματίζει ένα φανταστικό τελικό είδωλο στο άπειρο και επομένως ο οφθαλμός μπορεί να είναι σε χαλάρωση όταν το βλέπει.



Τότε:

$$s' = (L - f_{προσοφθαλ}),$$

όπου L η απόσταση μεταξύ των φακών, όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Η συνολική μεγέθυνση που επιτυγχάνεται με αυτό το σύστημα φακών, συγκριτικά με το μέγεθος του ειδώλου όταν το αντικείμενο βρίσκεται στο εγγύς σημείο του γυμνού οφθαλμού, είναι τότε:

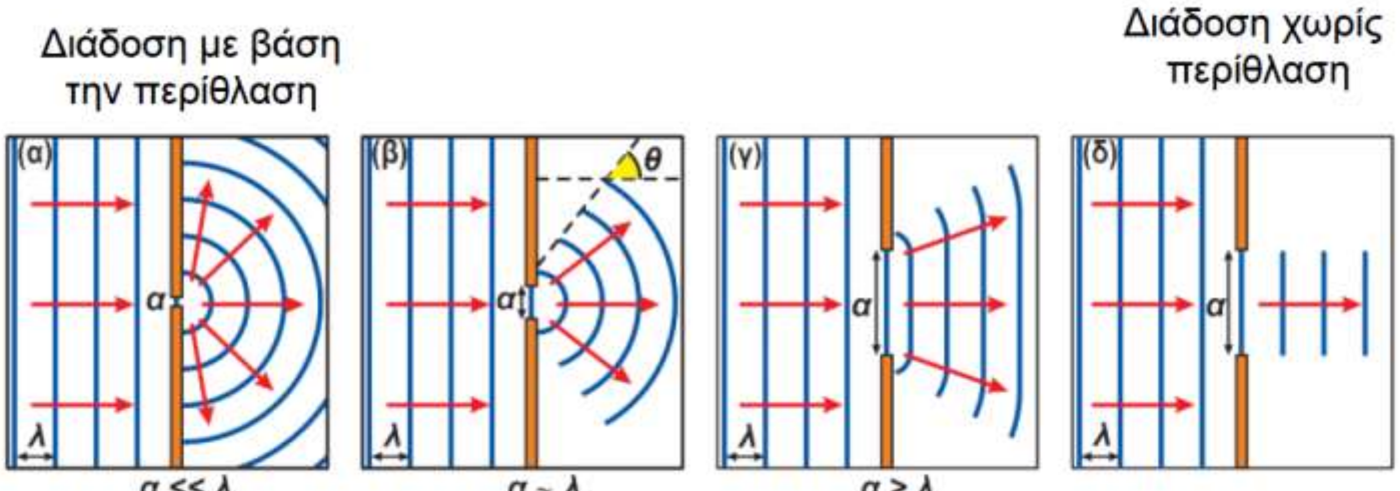
$$m = m_{αντικ}\, m_{προσοφθαλ} = \left(\frac{L - f_{προσοφθαλ}}{f_{αντικ}}\right)\left(\frac{25\text{ cm}}{f_{προσοφθαλ}}\right) \approx \frac{25\text{ cm} \cdot L}{f_{αντικ}\, f_{προσοφθαλ}}$$

γενικά η $f_{προσοφθαλ}$ είναι πολύ μικρότερη από την L και όλες οι αποστάσεις δίνονται σε cm.

ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ – ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

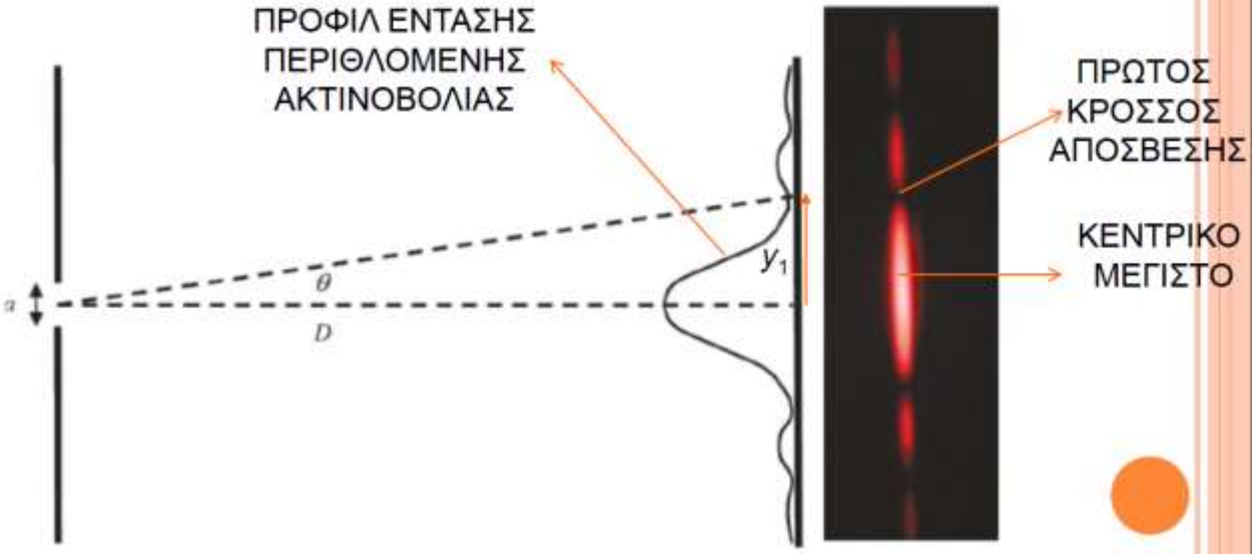
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

- Είναι το φαινόμενο που το φως (ή γενικότερα οποιοδήποτε κύμα) αποκλίνει από την ευθύγραμμη διάδοση όταν συναντά ανοίγματα ή εμπόδια με διαστάσεις συγκρίσιμες με το μήκος κύματος.
- Επομένως στην περίθλαση εμφανίζεται φως σε περιοχές που δεν το περιμένουμε, με βάση το μοντέλο των ακτίνων, να υπάρχει.
- Σχηματικά



Περιθλαση απο Σχισμη

- Έστω ότι μια σχισμή εύρους a φωτίζεται από μονοχρωματικό φως. Η οθόνη παρατήρησης βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση (D) από τη σχισμή ($D>>a$).
- Σχηματικά



- Στην οθόνη θα παρατηρήσουμε ένα κεντρικό μέγιστο και δεξιά και αριστερά κροσσούς μεγίστων και ελαχίστων.

- Αποδεικνύεται ότι στην περίπτωση αυτή οι θέσεις των σκοτεινών κροσσών δίνονται από τη σχέση:

$$\boxed{a \cdot sin\theta = m \cdot \lambda \quad m = \pm 1, \pm 2 \ ...}$$

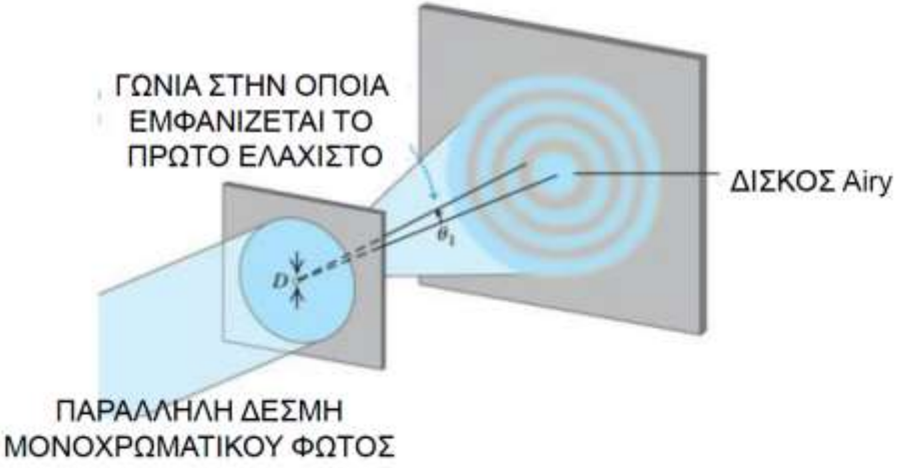
- Χρησιμοποιώντας το γεγονός ότι για $m = 1$ (1ος σκοτεινός κροσσός) $sin\theta \approx y_1/D$, καταλήγουμε ότι:

$$a \cdot \frac{y_1}{D} = \lambda \Rightarrow a = \frac{\lambda \cdot D}{y_1}$$

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΠΟ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΠΗ

- Στην περίπτωση που το άνοιγμα είναι μια κυκλική οπή διαμέτρου D, αλλάζει το μοτίβο της παρατηρούμενης περίθλασης.

- Σχηματικά το πείραμα γίνεται με την ακόλουθη διάταξη.



- Αποδεικνύεται ότι σε αυτή την περίπτωση το πρώτο ελάχιστο βρίσκεται σε γωνία θ_1 η οποία δίνεται από τη σχέση:

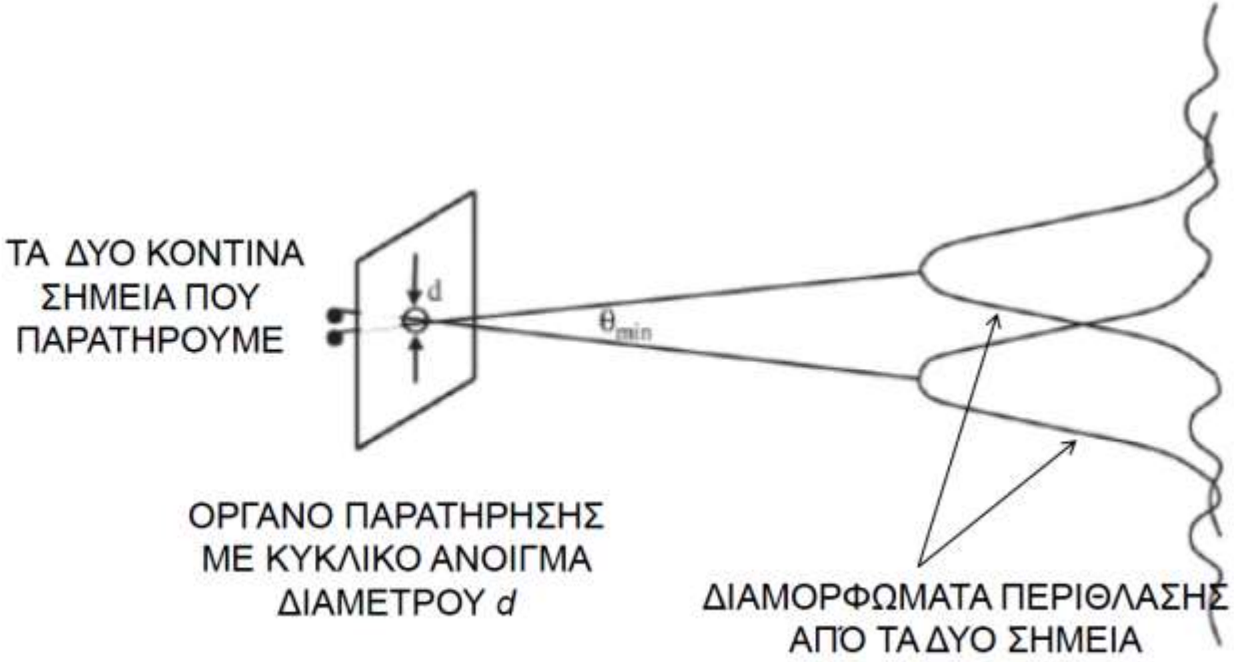
$$\boxed{sin\theta_1 = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{D}}$$

ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΟΡΓΑΝΟΥ

- Τα διάφορα οπτικά όργανα (μικροσκόπια, μάτι, τηλεσκόπια κ.ο.κ.) έχουν κυκλικά ανοίγματα.
- Η προηγούμενη περίπτωση περίθλασης λοιπόν θέτει ένα όριο στη διακριτική ικανότητα αυτών των οργάνων.
- Έστω λοιπόν ότι μέσα από κάποιο όργανο με κυκλικό άνοιγμα διαμέτρου d παρατηρούμε δύο κοντινά σημειακά αντικείμενα.
- Τα είδωλα που θα σχηματίζονται δεν είναι ελεύθερα περίθλασης.

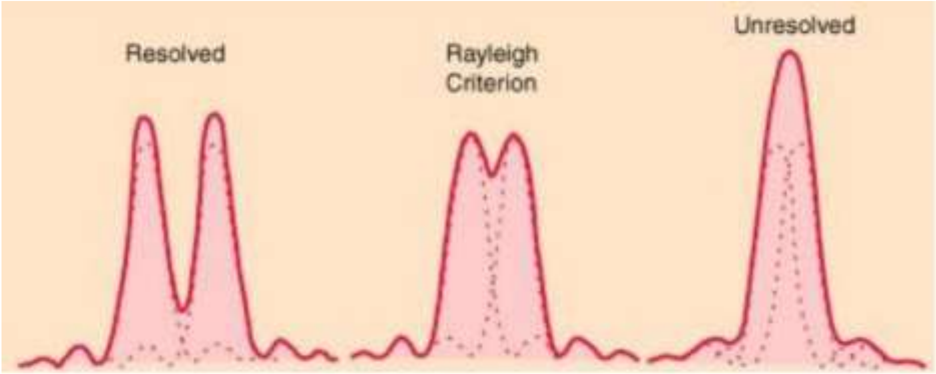
- Σχηματικά



Διακριτική Ικανότητα Οργάνου

- Για να είμαστε σε θέση να ξεχωρίζουμε τα δύο σημεία θα πρέπει να ξεχωρίζουμε τα δύο μέγιστα περίθλασης.

- Συμβατικά, έχει επικρατήσει να χρησιμοποιούμε το κριτήριο Rayleigh σύμφωνα με το οποίο για να διακρίνουμε δύο σημεία θα πρέπει το μέγιστο της έντασης του ενός να πέφτει στο πρώτο ελάχιστο του άλλου.



- Σχηματικά, καθώς τα σημεία πλησιάζουν έχουμε τις ακόλουθες εικόνες.

- Προκύπτει λοιπόν ότι η ελάχιστη γωνία που μπορεί να απέχουν τα δύο σημεία για να είναι διακριτά είναι:

$$sin\theta_{min} = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

- Επειδή η γωνία αυτή είναι μικρή, συνήθως χρησιμοποιούμε την προσέγγιση $sin\theta_1 \cong \theta_1$ οπότε η ελάχιστη γωνία για να διακρίνονται δύο σημεία είναι:

$$\boxed{\theta_1 = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{D}}$$

ΑΣΚΗΣΗ

Η κόρη του οφθαλμού της γάτας συστέλλεται σε μια σχισμή εύρους 0,5 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)

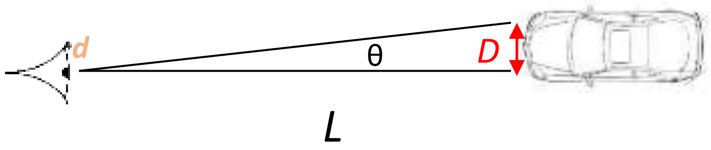
ΛΥΣΗ

$$\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-4}} rad = 10^{-3} \mathrm{rad} = 180 \frac{10^{-3}}{\pi} = 0.057^{0}$$

ΑΣΚΗΣΗ

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

ΛΥΣΗ



D = 1,5 m και d = 1,5 mm

L απόσταση παρατηρητή από το αυτοκίνητο

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

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

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

Αφού D = σταθερό

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

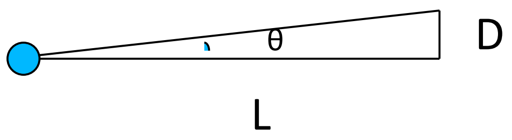
Μεγαλύτερη απόσταση για μικρότερο μήκος κύματος. Επομένως, για το ιώδες (λ = 400nm)

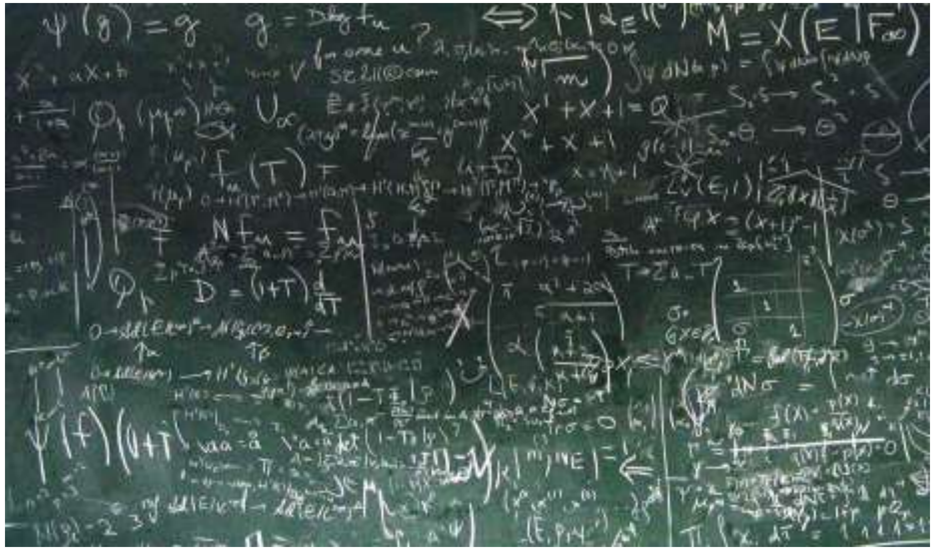
$$L = \frac{(1{,}5\,m)(1{,}5 \times 10^{-3}\,m)}{(1{,}22)(400 \times 10^{-9}\,m)} = \frac{2{,}25}{4{,}88} 10^{4}\,m \approx 4{,}6\,km$$

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:

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

Το όριο διακριτότητας θα είναι μικρότερο (υψηλότερη διακριτότητα) για λ_{min} (= 400 nm) και d_{max} (= 4 mm).

Άρα D_{min} = 1,22 ·400 nm · 10 m / 4 mm = 1,22 mm < 3 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;