

# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ



Εισαγωγή  
Δείκτης διάθλασης  
Ανάκλαση του φωτός  
Διάθλαση του φωτός  
Ταχύτητα του φωτός – Δείκτης διάθλασης  
Νόμος του Snell  
Ορική γωνία - Ολική ανάκλαση  
Διάθλαση δια μέσου πρίσματος  
Ασκήσεις

# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Οπτική

Η οπτική μελετά το φως, τις ιδιότητές του και τις εφαρμογές του

Γεωμετρική οπτική

Οι διαστάσεις των εμποδίων είναι μεγάλες σε σχέση με το μήκος κύματος του φωτός  
Αγνοείται η κυματική φύση του φωτός



Ανάκλαση, διάθλαση, ευθύγραμμη διάδοση

Φυσική οπτική

Οι διαστάσεις των εμποδίων είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος του φωτός  
Το φως θεωρείται ως κύμα

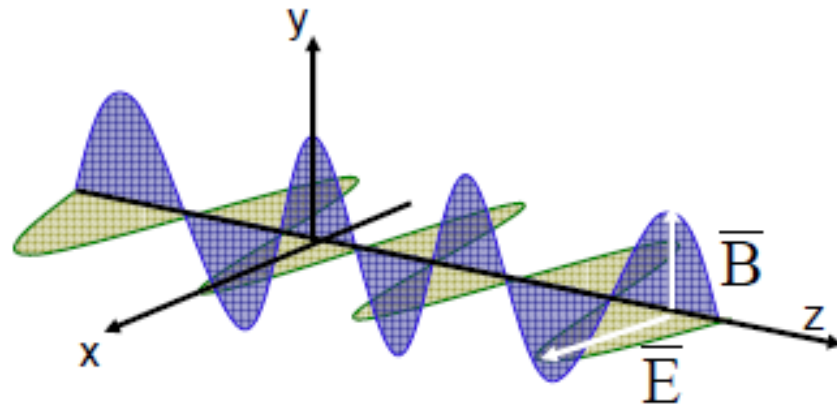


Συμβολή, περίθλαση

# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Το φως ως κύμα

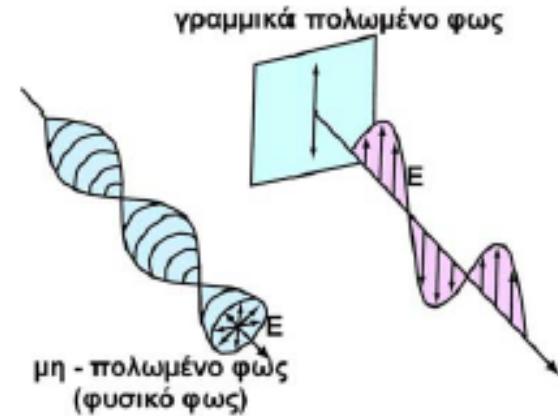
Ηλεκτρομαγνητικό (εγκάρσιο) κύμα



$$\vec{E} = \vec{E}_0 \hat{x} \cos(\omega t - kz)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 \hat{y} \cos(\omega t - kz)$$

↓  
διεύθυνση  
διάδοσης



**Πολωμένο φως:**

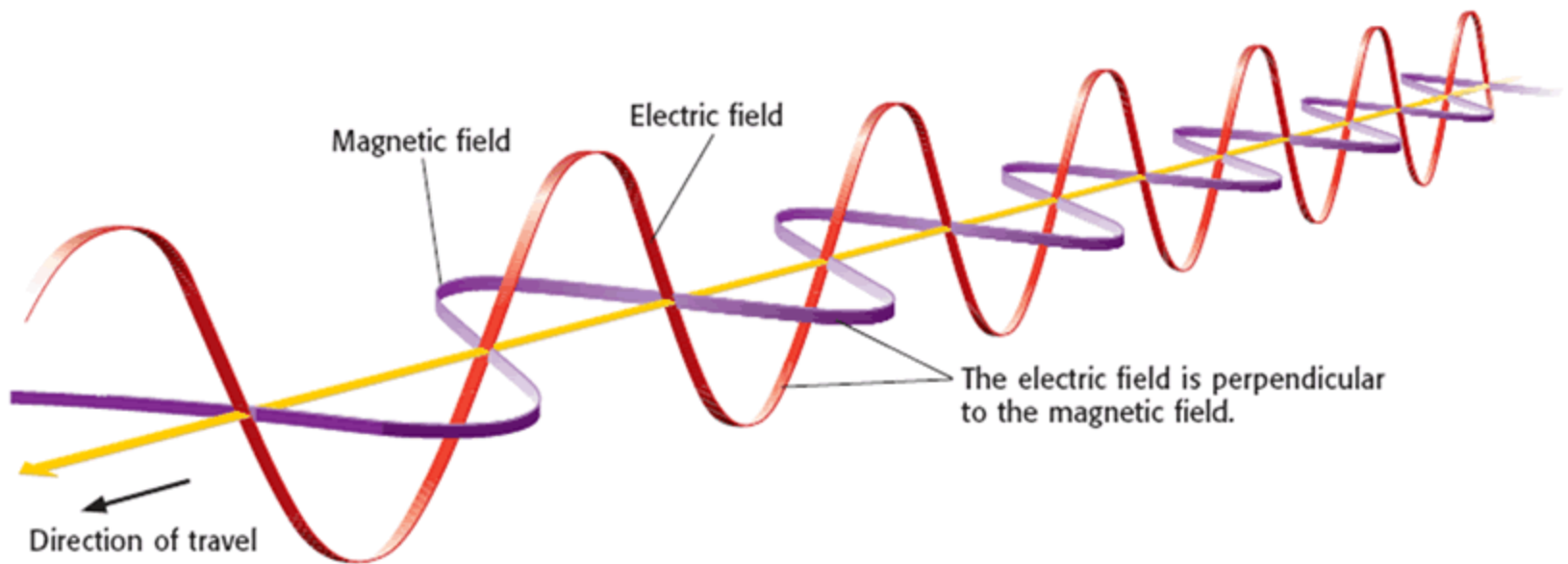
Το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ταλαντώνεται με καθορισμένο τρόπο

**Γραμμικά πολωμένο φως:**

Το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ταλαντώνεται σε ένα επίπεδο

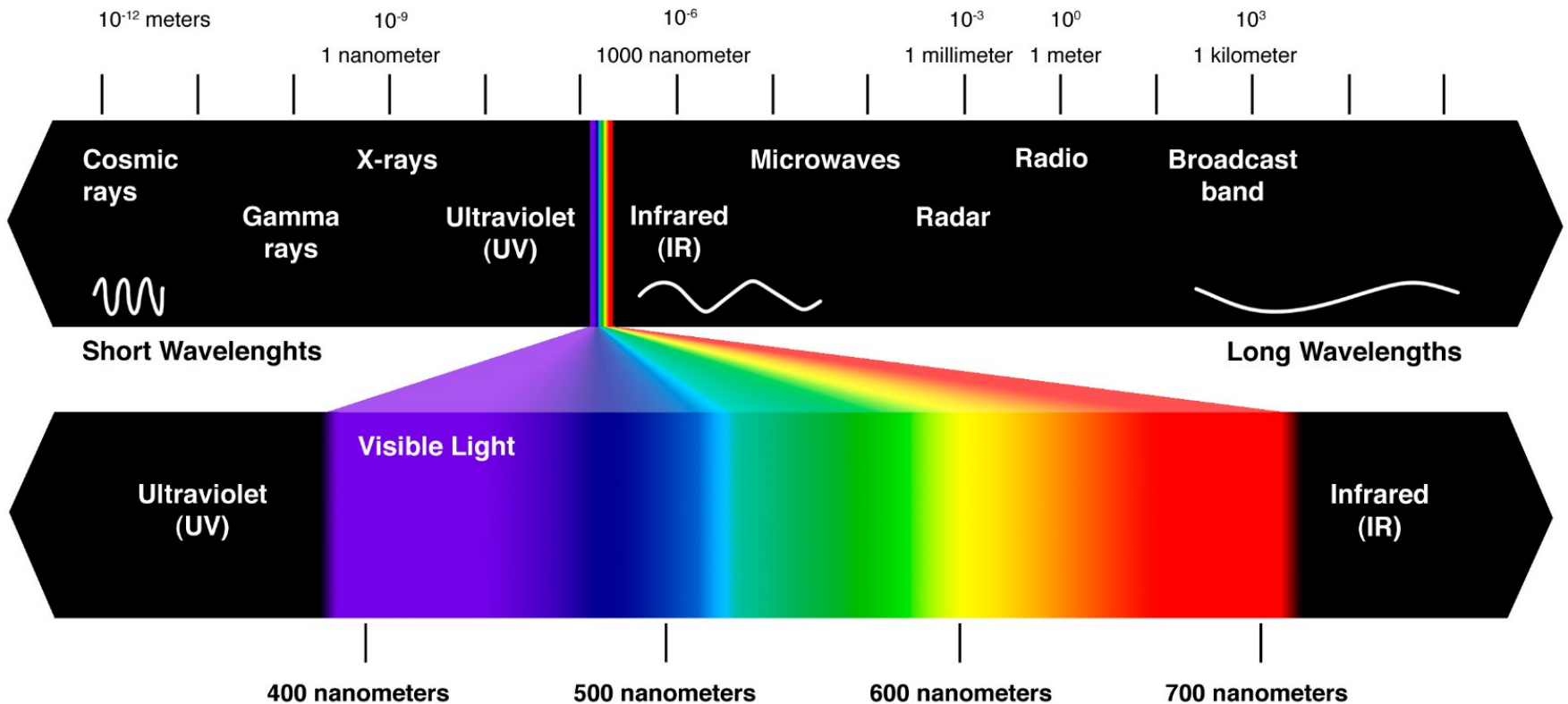
# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Το φως ως κύμα



# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Διάγραμμα Ευαισθησίας οφθαλμού

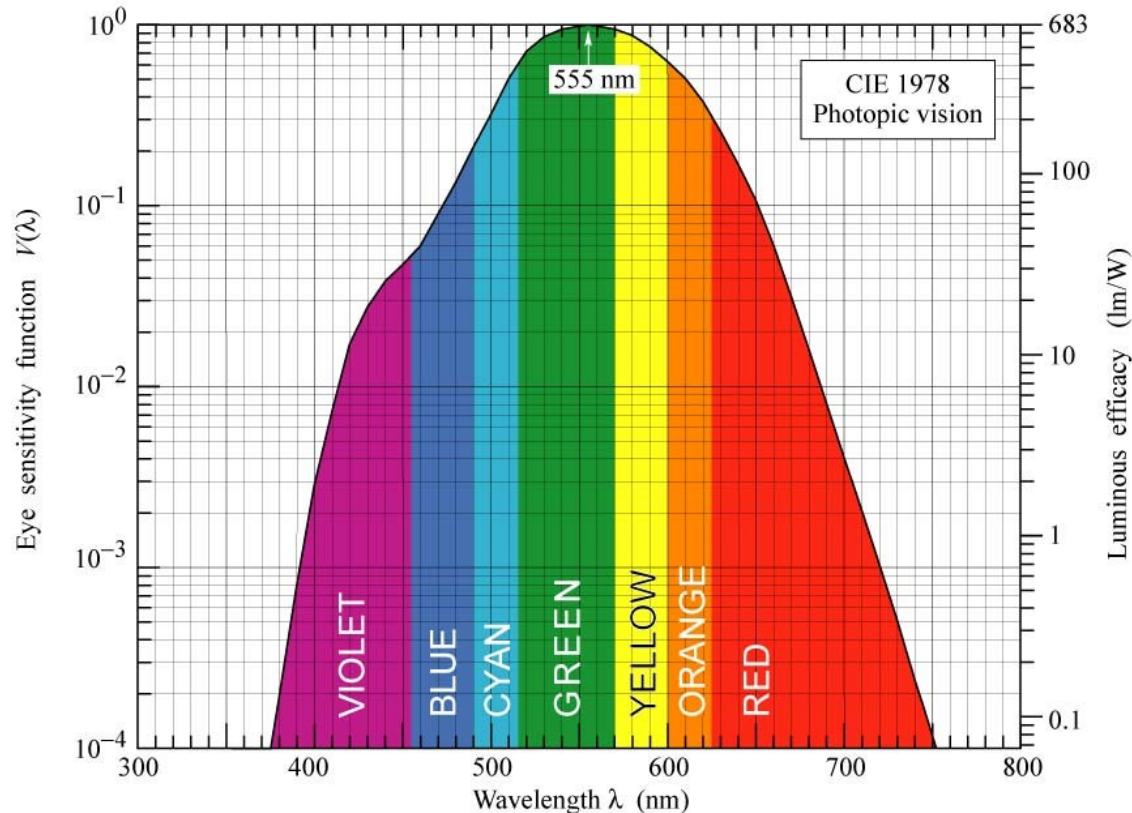
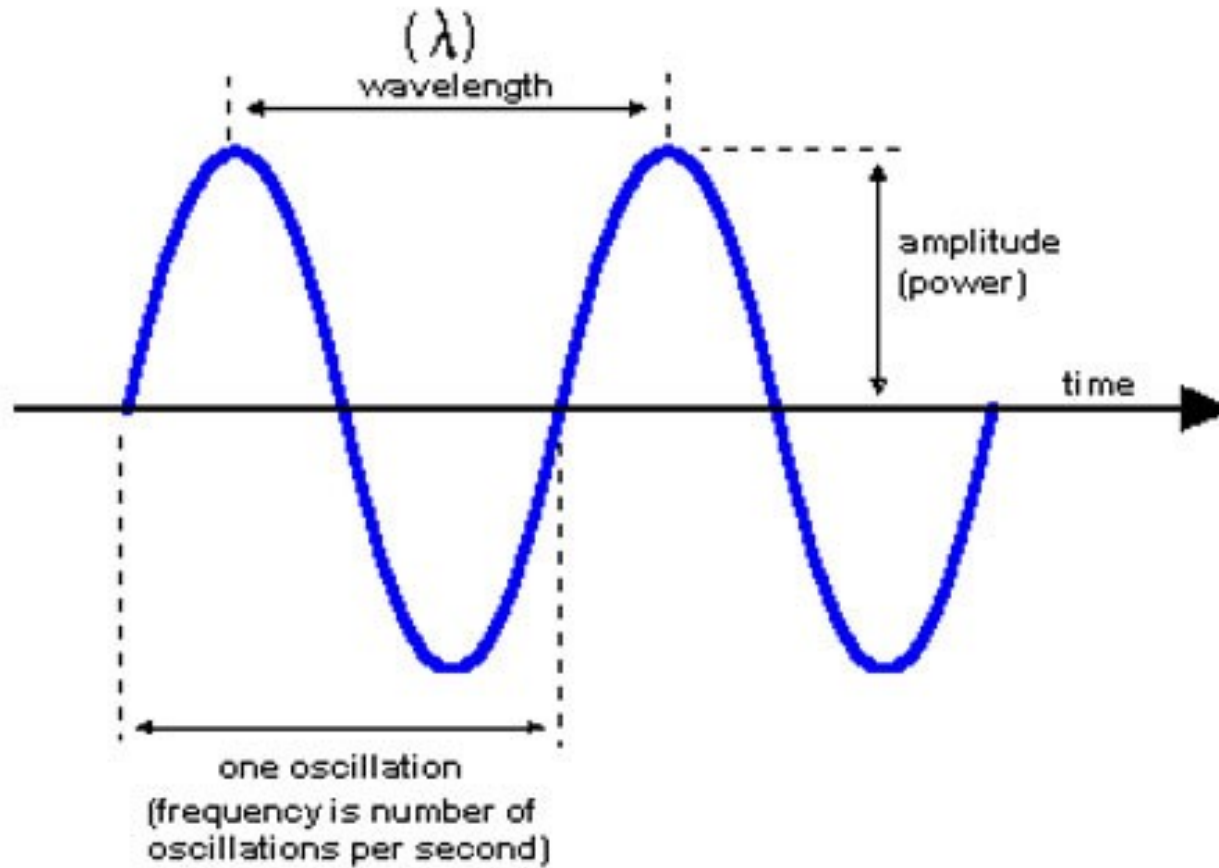


Fig. 16.7. Eye sensitivity function,  $V(\lambda)$ , (left ordinate) and luminous efficacy, measured in lumens per Watt of optical power (right ordinate).  $V(\lambda)$  is greatest at 555 nm. Also given is a polynomial approximation for  $V(\lambda)$  (after 1978 CIE data).

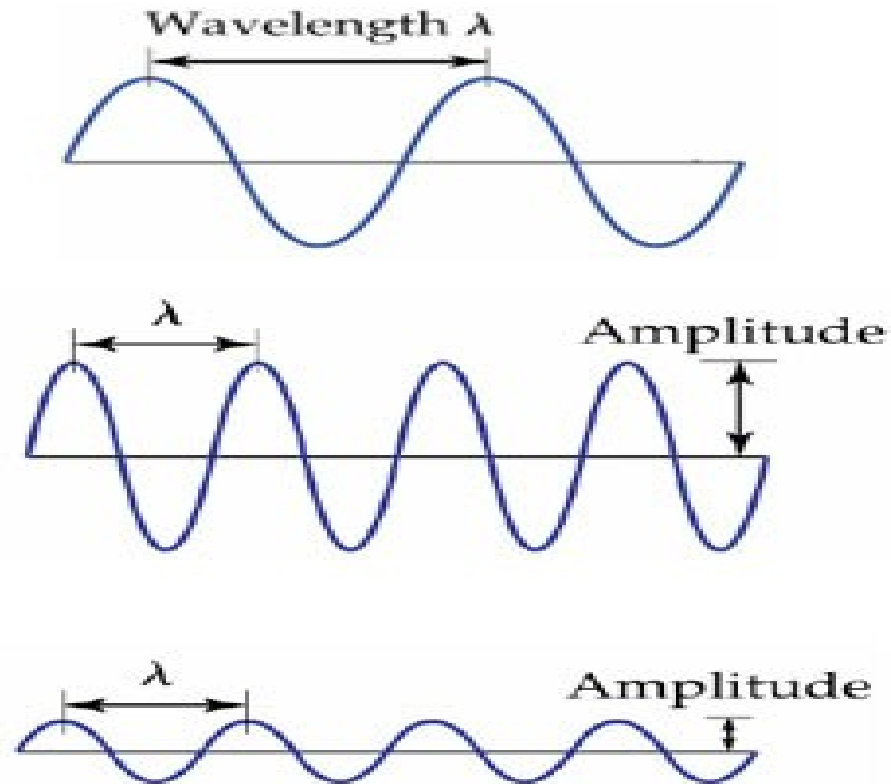
# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Το κύμα



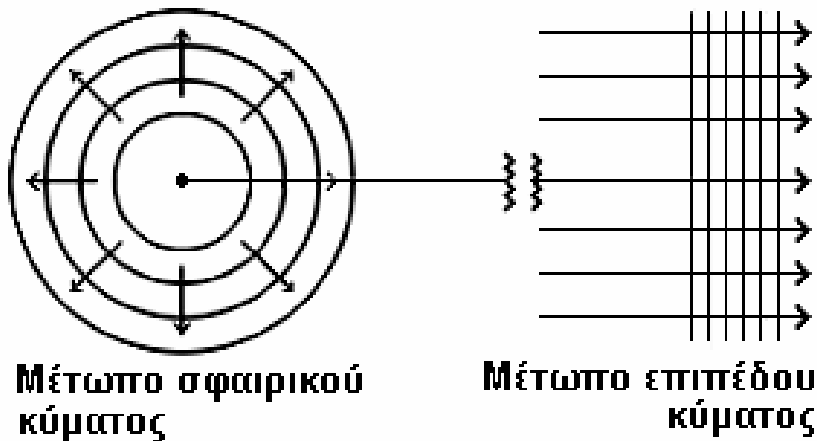
# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Το κύμα



# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Φωτεινή ακτίνα - Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός



Το φως εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή με τη μορφή **σφαιρικών κυμάτων**

Κάθε τέτοια σφαιρική επιφάνεια με κέντρο την πηγή είναι ο γεωμετρικός τύπος των σημείων του κύματος που βρίσκονται στην **ίδια φάση**.

Πρόκειται δηλαδή για μια ισοφασική επιφάνεια που ονομάζεται επίσης **μέτωπο κύματος**

# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Διάδοση του φωτός

Περιγράφεται με βάση την έννοια του **μετώπου κύματος** ή με την έννοια της **φωτεινής ακτίνας**

**Μέτωπο κύματος** είναι μια επιφάνεια σταθερής φάσης. Τα μέτωπα του κύματος κινούνται με ταχύτητα ίση με τη ταχύτητα διάδοσης του κύματος

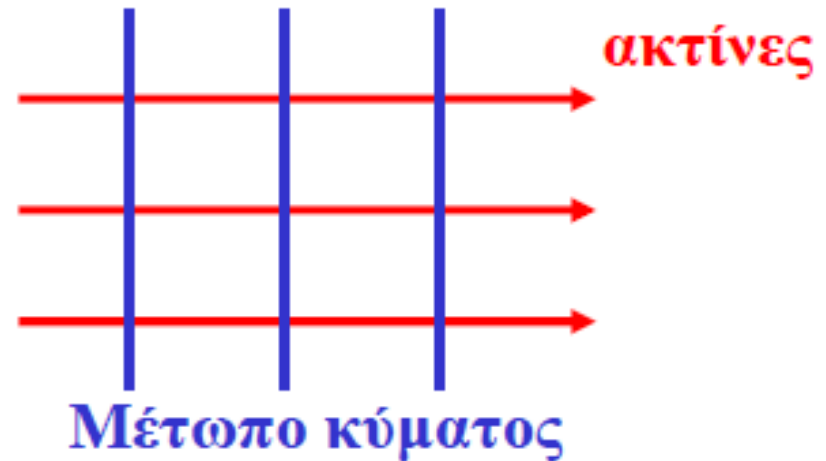


# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

## Διάδοση του φωτός

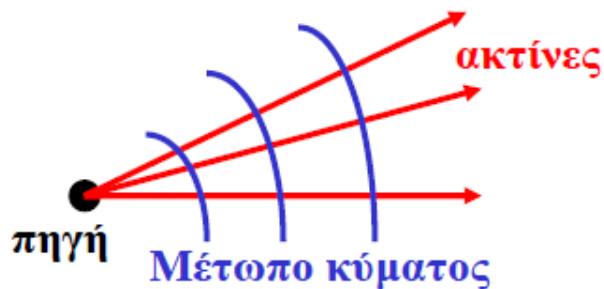
Περιγράφεται με βάση την έννοια του **μετώπου κύματος** ή με την έννοια της **φωτεινής ακτίνας**

Φωτεινή ακτίνα είναι η τροχιά των σωματιδίων ή από κυματική άποψη είναι μια υποθετική γραμμή κατά μήκος της διάδοσης του κύματος

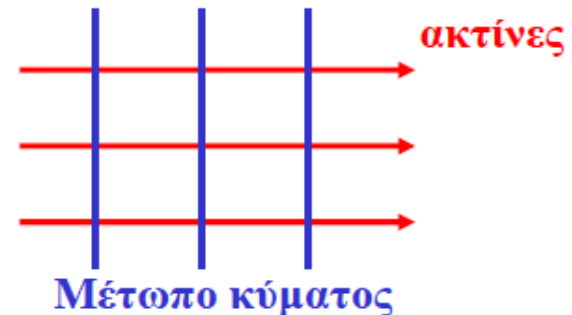


# Διάδοση του φωτός

Όταν τα μέτωπα κύματος είναι επιφάνειες σφαίρας, οι ακτίνες εκκινούν από το κέντρο των σφαιρών



Όταν τα μέτωπα κύματος είναι επίπεδα, οι ακτίνες είναι παράλληλες.



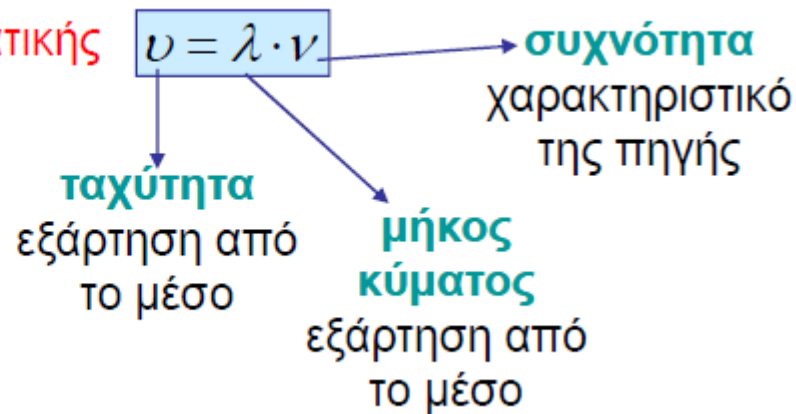
# Διάδοση του φωτός

- Η ενέργεια της ακτινοβολίας διαδίδεται κατά μήκος των οπτικών ακτίνων
- Οι οπτικές ακτίνες είναι κάθετες στα μέτωπα κύματος
- Το μέτωπο κύματος είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων ίσης φάσης

$\Phi = \text{σταθ. σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή}$

# Ταχύτητα του φωτός – Δείκτης διάθλασης

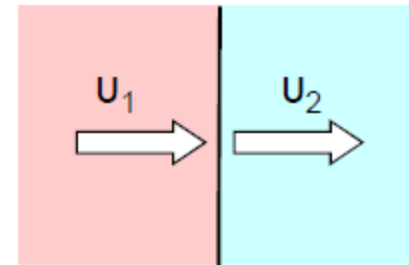
Θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής



## Ταχύτητα του φωτός – Δείκτης διάθλασης

Δείκτης διάθλασης:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$



Απόλυτος δείκτης διάθλασης:

$$n = \frac{c}{v}$$

→ ταχύτητα φωτός στο κενό  
→ ταχύτητα φωτός στο μέσο

$$3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

## Ταχύτητα του φωτός – Δείκτης διάθλασης

Σχέση σχετικού δείκτη διάθλασης με τους απόλυτους δείκτες διάθλασης:

$$\eta_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{\eta_1}}{\frac{c}{\eta_2}} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \Rightarrow \eta_{21} = \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

Σχέση δείκτη διάθλασης με τα μήκη κύματος:

$$\eta_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1 \nu}{\lambda_2 \nu} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \eta_{21} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Ο δείκτης διάθλασης είναι αδιάστατος αριθμός (δεν έχει μονάδες)

## Οπτικός δρόμος (ΟΔ)

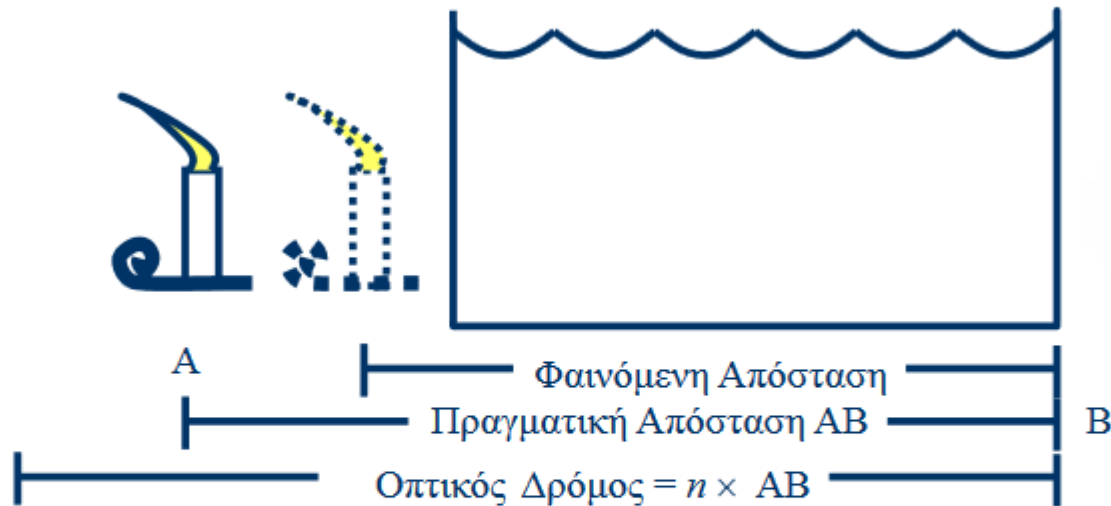
Είναι άμεσα ανάλογος του χρόνου που χρειάζεται το φως για τη μετάβασή του από ένα σημείο  $A$  σε ένα σημείο  $B$ .

Εκφράζεται ως το ορισμένο ολοκλήρωμα κατά μήκος της διαδρομής  $AB$  :

**Εκφράζεται σε μονάδες μήκους**

# Οπτικός δρόμος (ΟΔ)

Διαφορετικός από την πραγματική απόσταση του αντικειμένου!



$$L = \int_A^B n ds$$

## Οπτικός δρόμος (ΟΔ)

### Αρχή του ελάχιστου οπτικού δρόμου:

Από όλους τους πιθανούς δρόμους που μπορεί να μεταδοθεί από ένα σημείο στο άλλο, το φως διαλέγει το δρόμο που αντιστοιχεί στον ελάχιστο οπτικό δρόμο.

Όταν το οπτικό μέσο είναι ομογενές:

$$L = n \cdot (AB)$$

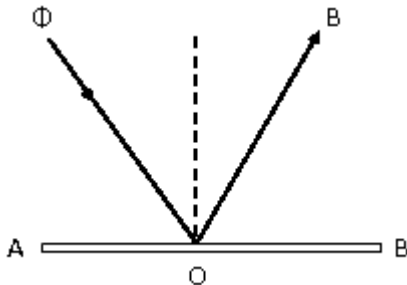
# Ανάκλαση του φωτός

Αν αφήσουμε να πέσει φως επάνω σε μια οποιαδήποτε επιφάνεια, θα παρατηρήσουμε ότι αυτό επανεκπέμπεται από την επιφάνεια ολικά ή μερικά, ανάλογα με τη φύση της επιφάνειας.

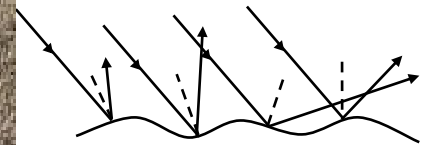
Ανάκλαση: αλλαγή της διεύθυνσης διάδοσης του φωτός όταν προσπίπτει σε ανακλαστική επιφάνεια.

Ανάκλαση σε λεία επιφάνεια

Ανάκλαση σε ανώμαλη επιφάνεια

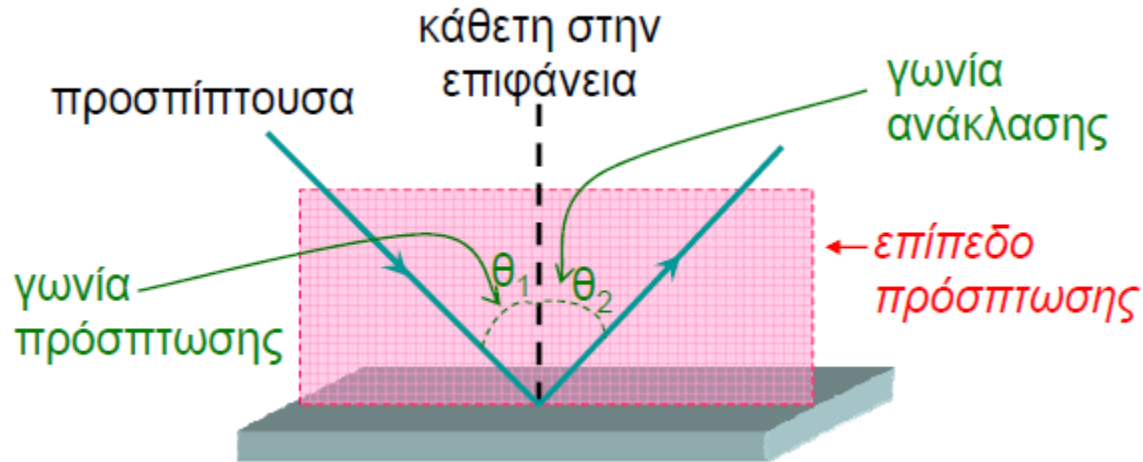


κανονική ανάκλαση



ακανόνιστη ανάκλαση ή διάχυση

# Κανονική ανάκλαση του φωτός



## Νόμοι της ανάκλασης

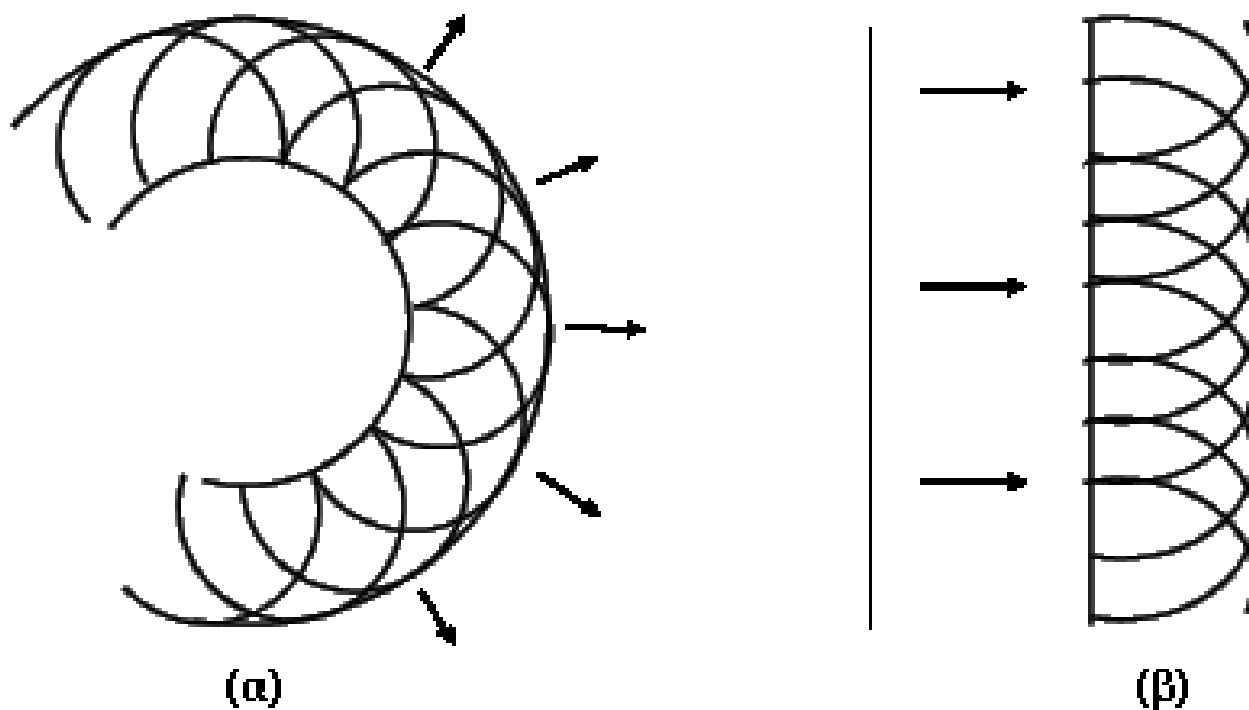
1. Η προσπίπτουσα, η ανακλώμενη και η κάθετη στο σημείο πρόσπτωσης είναι συνεπίπεδες και βρίσκονται πάνω στο επίπεδο πρόσπτωσης.
2. Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης :  $\theta_1 = \theta_2$

## Απόδειξη των νόμων της ανάκλασης με τη βοήθεια της αρχής του Huygens

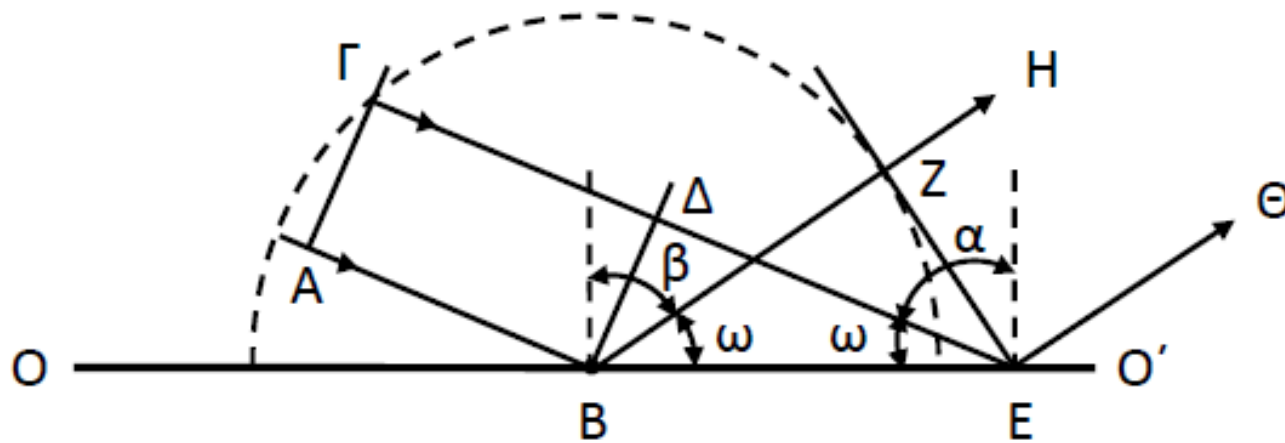
«Κατά τη διάδοση του κύματος κάθε σημείο μιας ισοφασικής επιφάνειας (μετώπου κύματος) μπορεί να θεωρηθεί σαν σημειακή πηγή που εκπέμπει δευτερογενή κύματα, τα οποία διαδίδονται με την ταχύτητα του κύματος στο μέσο. Τα στοιχειώδη αυτά δευτερογενή κύματα συμβάλλουν μεταξύ τους και αλληλοαναιρούνται σε όλα τ' άλλα σημεία, εκτός από τα σημεία της «περιβάλλουσας» (κοινή εφαπτόμενη στις στοιχειώδεις σφαιρικές ισοφασικές επιφάνειες). Έτσι αυτή η «περιβάλλουσα» είναι η νέα ισοφασική επιφάνεια»



# Απόδειξη των νόμων της ανάκλασης με τη βοήθεια της αρχής του Huygens



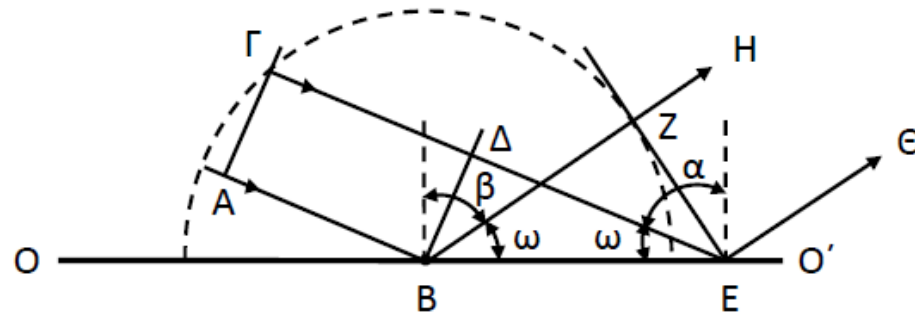
Σχήμα 1.4 Διάδοση σφαιρικού κύματος (α). Διάδοση επίπεδου κύματος/κύματα (β).



Θεωρούμε επιφάνεια  $OO'$  και τις προσπίπτουσες ακτίνες  $AB$  και  $\Gamma\Delta$ .

Αν  $A\Gamma$  είναι μία ισοφασική επιφάνεια (κάθετη στις ακτίνες  $AB$  και  $\Gamma\Delta$ ) τότε είναι φανερό ότι αυτή κινείται παράλληλα με τον εαυτό της με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός στο μέσο αυτό, μέχρις ότου προσκρούσει στην ανακλαστική επιφάνεια  $OO'$  οπότε και θα βρίσκεται στη θέση  $B\Delta$ . Ας αναζητήσουμε τη θέση της ισοφασικής αυτής επιφάνειας μετά από χρόνο  $t$  ίσο προς το χρόνο που χρειάζεται για να διατρέξει το φως την απόσταση  $\Delta E$ , δηλαδή μετά χρόνο

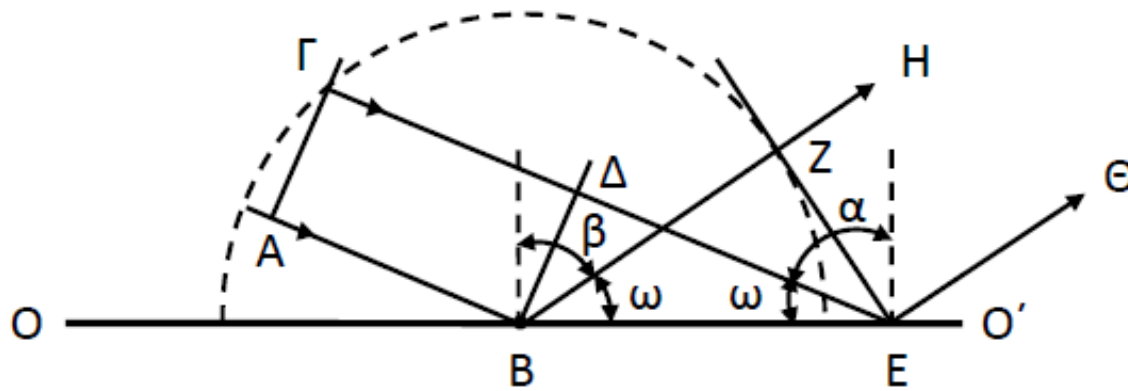
$$t = \frac{(\Delta E)}{c} \quad (1)$$



Την ισοφασική αυτή επιφάνεια βρίσκουμε σαν «περιβάλλουσα» όλων των στοιχειωδών σφαιρικών ισοφασικών επιφανειών που εκπέμπονται από τις δευτερογενές πηγές B και E, αν λάβουμε υπ' όψη ότι η μεν πηγή B αρχίζει να εκπέμπει το κύμα στην αρχή του χρόνου  $t$  ενώ η πηγή E στο τέλος του. Έτσι η νέα ισοφασική επιφάνεια είναι η εφαπτομένη EZ από το E στη σφαιρική επιφάνεια κέντρου B και ακτίνας BZ.

$$BZ = \Delta E \quad (\text{προκύπτει από την (1)})$$

ορθογώνια τρίγωνα BΔE και BZE είναι ίσα επειδή έχουν την υποτείνουσα BE κοινή και από μία κάθετη πλευρά ίση και τη BE κοινή

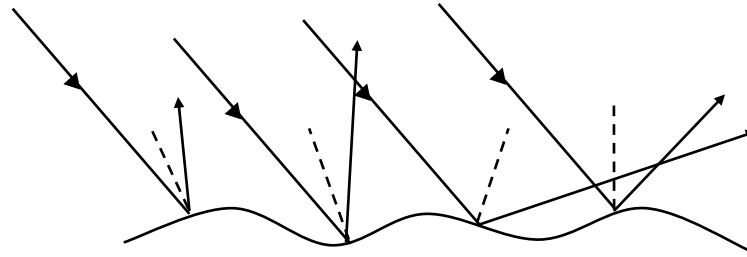


Επομένως οι γωνίες ZBE και BEΔ ίσες =  $\omega$ .

όμως είναι συμπληρωματικές των γωνιών  
πρόπτωσης  $\alpha$  και ανάκλασης  $\beta$

Επειδή  $\text{γων. ZBE} = \text{γων. BEΔ}$  θα είναι και  $\text{γων. } \alpha = \text{γων. } \beta$

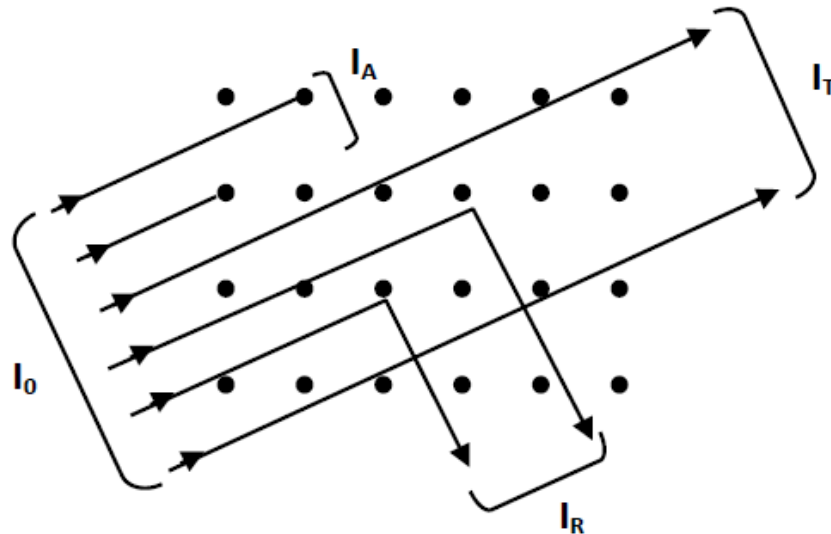
## Ακανόνιστη ανάκλαση του φωτός ή διάχυση



Παράλληλη δέσμη φωτός προσπίπτει επάνω σε μία τραχεία επιφάνεια (όπως π.χ. φύλλο χαρτιού. Παρατηρούμε ότι οι ακτίνες ανακλώνται μεν, αλλά ταυτόχρονα - εξ αιτίας της φύσης της επιφάνειας - διασπείρονται σε κάθε διεύθυνση με αποτέλεσμα να είναι ορατή η επιφάνεια από όλα τα σημεία.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάχυση του φωτός. Εξ' αιτίας του φαινομένου αυτού γίνονται ορατά όλα τα γύρω μας ευρισκόμενα μη αυτόφωτα σώματα.

# Ακανόνιστη ανάκλαση του φωτός ή διάχυση



$$I_0 = I_T + I_A + I_R$$

ή

$$1 = \frac{I_T}{I_0} + \frac{I_R}{I_0} + \frac{I_A}{I_0}$$

διαπερατότητα T  $T = \frac{I_T}{I_0}$

ανακλαστικότητα R  $R = \frac{I_R}{I_0}$

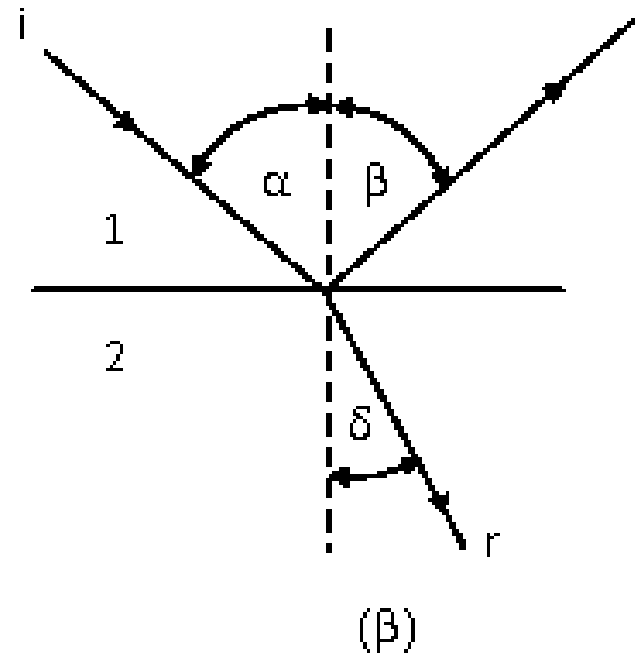
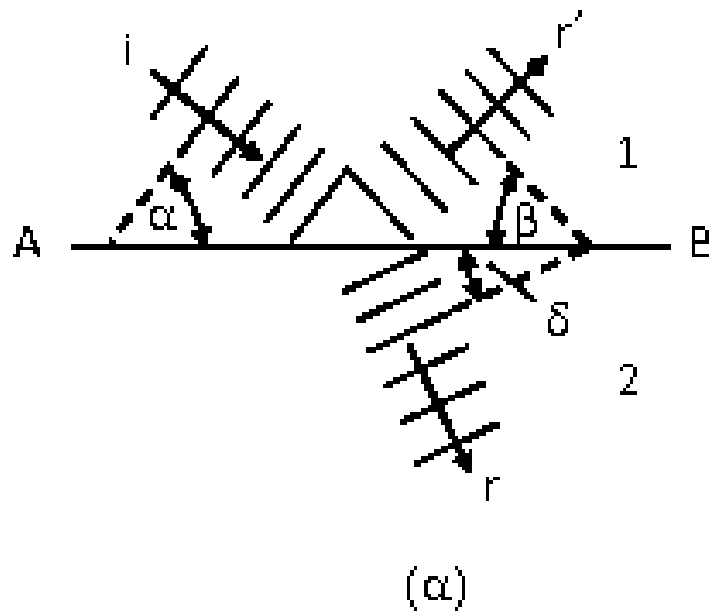
απορροφητικότητα A  $A = \frac{I_A}{I_0}$

$$T + R + A = 1$$

# Διάθλαση του φωτός

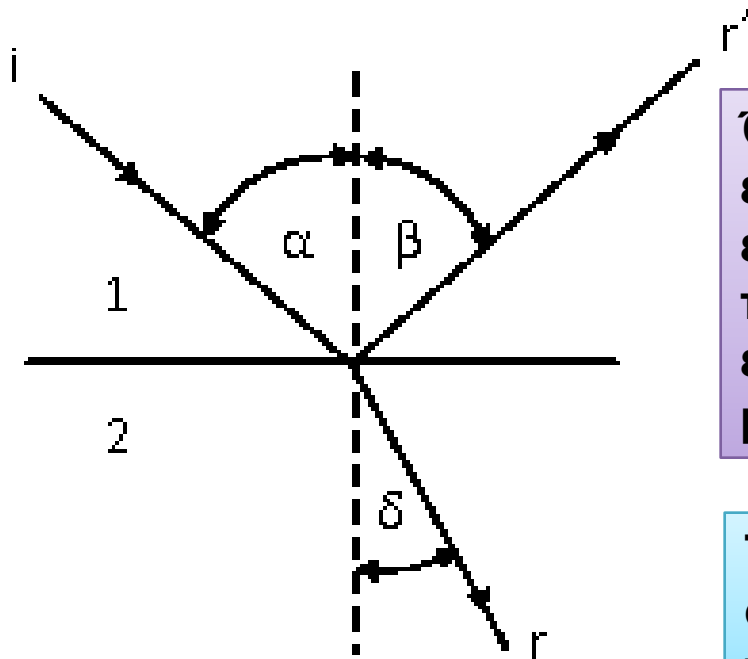
Ας θεωρήσουμε επίπεδο κύμα φωτός που διαδίδεται σε κάποιο μέσο (1) με ταχύτητα  $u_1$  και το οποίο πέφτει σε επιφάνεια AB που χωρίζει το μέσο (1) από κάποιο άλλο μέσο (2) στο οποίο το φως κινείται με ταχύτητα  $u_2$ . Έστω  $i$  η διεύθυνση του προσπίπτοντος κύματος. Τούτο είναι δυνατό να παρασταθεί κατά δύο τρόπους: ή με τα μέτωπα κύματος (ισοφασικές επιφάνειες) (Σχήμα α) ή με τις αντίστοιχες οπτικές ακτίνες (Σχήμα β).

# Διάθλαση του φωτός



Προσπίπτουσα ( $i$ ), ανακλώμενη ( $r'$ ) και διαθλώμενη ακτίνα ( $r$ )

# Διάθλαση του φωτός



Όταν το κύμα φθάσει στη διαχωριστική επιφάνεια, τότε ένα μέρος του ανακλάται και επιστρέφει στο ίδιο μέσο (1) με την ίδια ταχύτητα  $u_1$ , ενώ ένα άλλο μέρος του εισέρχεται στο δεύτερο μέσο (2) και κινείται με ταχύτητα  $u_2$ .

Το φαινόμενο αυτό της εισόδου του φωτός στο δεύτερο μέσο με ταυτόχρονη αλλαγή της ταχύτητάς του, ονομάζεται διάθλαση.

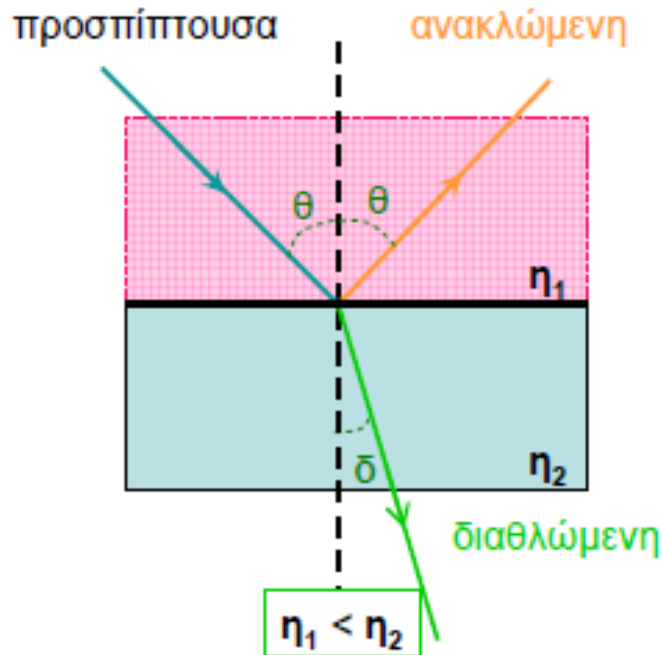
# Διάθλαση του φωτός

## Νόμοι της διάθλασης

1. Οι διευθύνσεις των ακτινών πρόσπτωσης και διάθλασης βρίσκονται σ' ένα και το αυτό επίπεδο που είναι κάθετο στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων.
2. Ο λόγος του ημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης είναι σταθερός:

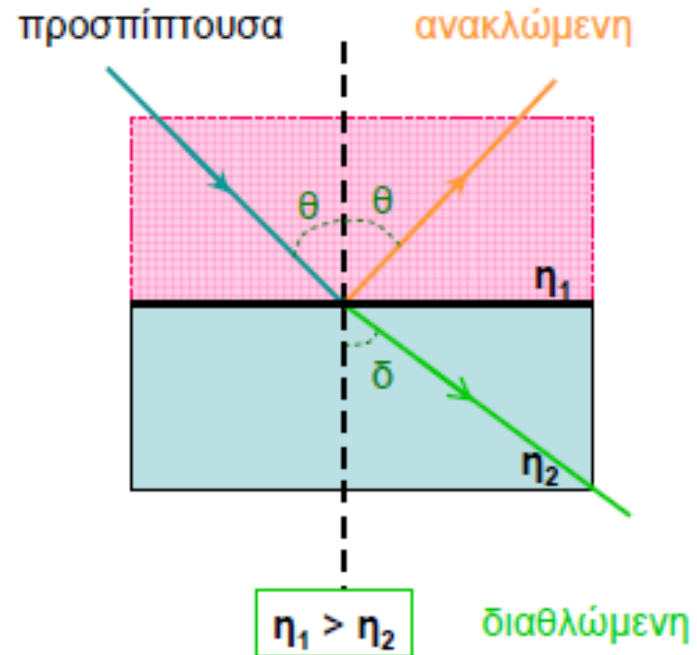
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \delta} = \text{σταθερό}$$

# Διάθλαση του φωτός



διάδοση από οπτικώς αραιότερο μέσο σε οπτικώς πυκνότερο

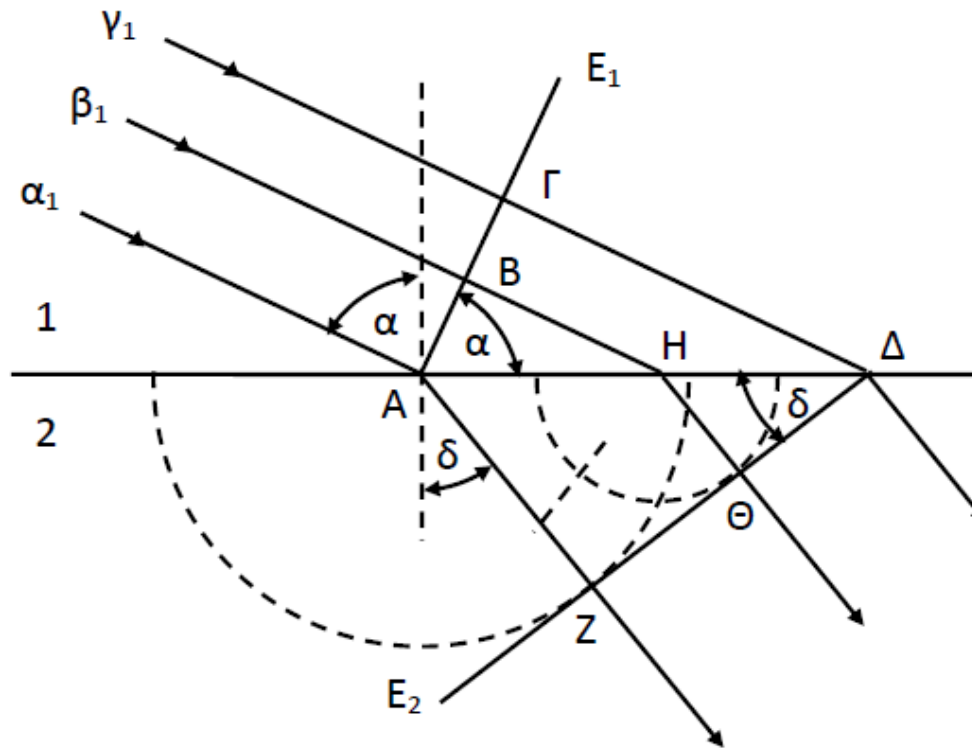
$\delta < \theta$



διάδοση από οπτικώς πυκνότερο μέσο σε οπτικώς αραιότερο

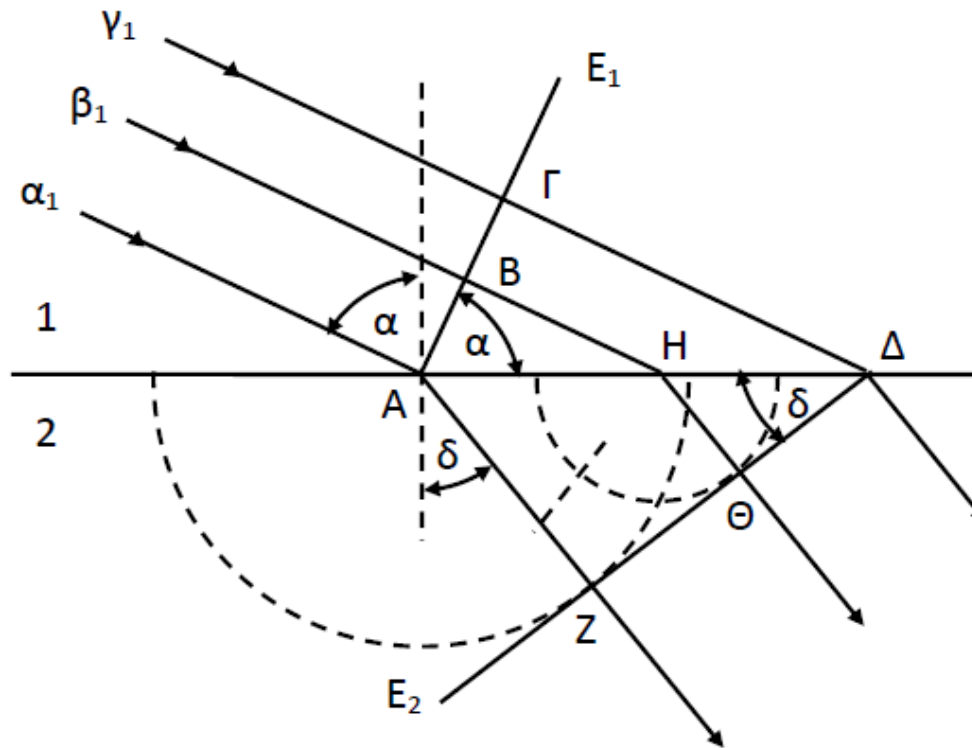
$\delta > \theta$



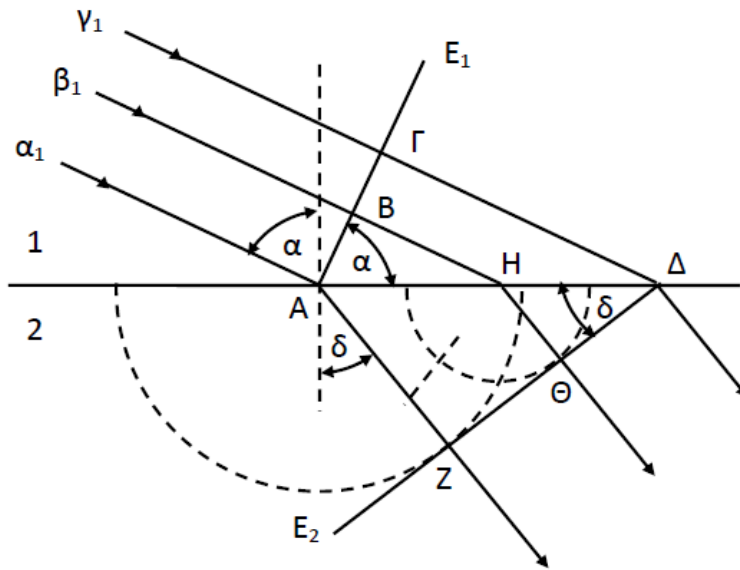


Ας θεωρήσουμε επίπεδο κύμα που διαδίδεται στο μέσο (1) με ταχύτητα  $c_1$  και έστω  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\gamma_1$  τρεις από τις ακτίνες του κύματος. Το κύμα μετά την είσοδό του στο μέσο (2) κινείται με ταχύτητα  $c_2$  (έστω  $c_1 < c_2$ ).

Θα δείξουμε ότι αυτή η αλλαγή της ταχύτητας προκαλεί και **θλάση** των φωτεινών ακτίνων.



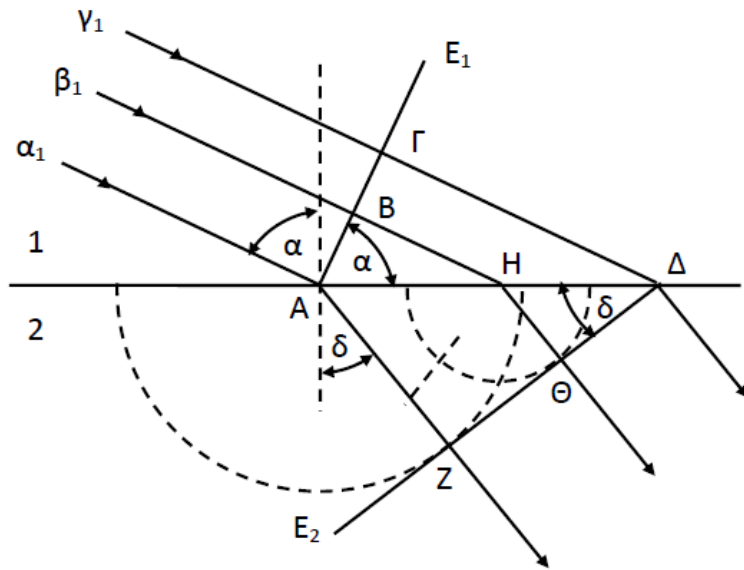
Αν  $E_1$  η θέση της ισοφασικής επιφάνειας που περνά από το σημείο  $A$ , τότε αυτή είναι κάθετη και στις τρεις ακτίνες του Σχήματος (2.8). Ζητάμε τη θέση αυτής της ισοφασικής επιφάνειας μετά από χρόνο  $t$  ίσο προς το χρόνο που χρειάζεται το φως για να διατρέξει την απόσταση  $\Gamma\Delta$ , δηλαδή το χρόνο



$$t = \frac{(\Gamma\Delta)}{c_1}$$

Την νέα θέση της ισοφασικής αυτής επιφάνειας βρίσκουμε σαν **περιβάλλουσα** όλων των στοιχειωδών σφαιρικών ισοφασικών επιφανειών των κυμάτων που εκπέμπονται στο μέσο (2) από τις δευτερογενείς πηγές A, H, Δ, αν λάβουμε υπ' όψη ότι η μεν πηγή A αρχίζει να εκπέμπει στην αρχή του θεωρούμενου χρόνου t, η πηγή Δ στο τέλος του και η πηγή H που βρίσκεται στο μέσο της απόστασης AΔ σε χρόνο t/2.





$$t = \frac{(\Gamma\Delta)}{c_1}$$

$$(\text{AZ}) = c_2 t, (\text{H}\Theta) = c_2 \cdot t / 2 \quad \text{και} \quad 0$$

Από τα ορθογώνια τρίγωνα ΑΓΔ και ΑΔΖ παίρνουμε:

$$(\Gamma\Delta) = (\text{A}\Delta) \eta\mu\alpha \quad \text{και} \quad (\text{AZ}) = (\text{A}\Delta) \eta\mu\delta$$

Διαιρώντας κατά μέλη έχουμε

$$\frac{(\Gamma\Delta)}{(\text{AZ})} = \frac{\eta\mu\alpha}{\eta\mu\delta}$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές των (ΓΔ) και (AZ) έχουμε:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\eta\mu\alpha}{\eta\mu\delta} = \text{σταθ.}$$

δηλαδή το δεύτερο νόμο της διάθλασης.

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\eta_{μα}}{\eta_{μδ}} = \text{σταθ.}$$

Αν  $n_1, n_2$  οι δείκτες διάθλασης των μέσων 1 και 2 αντίστοιχα, τότε:

$$n_1 = \frac{c_0}{c_1} \quad \text{και} \quad n_2 = \frac{c_0}{c_2}$$

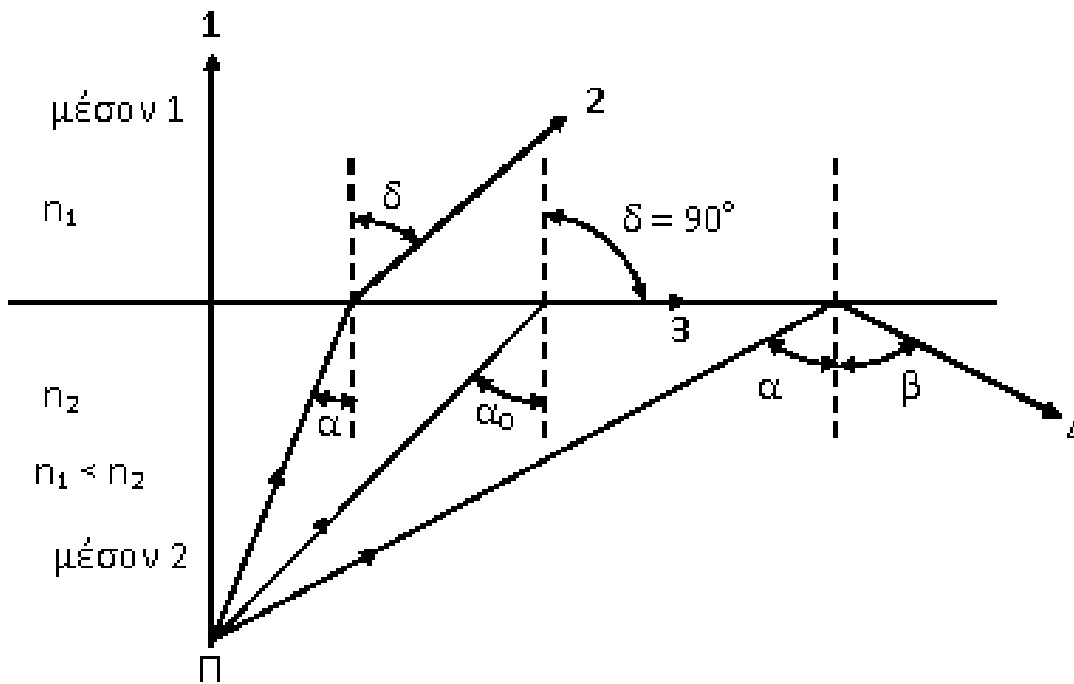
Αντικαθιστώντας τα  $n_1, n_2$  στην παραπάνω σχέση:

$$n_{2,1} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\eta_{μα}}{\eta_{μδ}} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{και}$$

$$n_1 \eta_{μα} = n_2 \eta_{μδ} \quad (\text{Νόμος Snell})$$

Όσον αφορά τον πρώτο νόμο, αυτός προκύπτει από τη συμμετρία και μόνο, αφού η προσπίπτουσα ακτίνα και η κάθετος ορίζουν ένα επίπεδο για το οποίο δεν υπάρχει κανένας λόγος για τη διαθλώμενη ακτίνα να μη περιέχεται σ' αυτό.

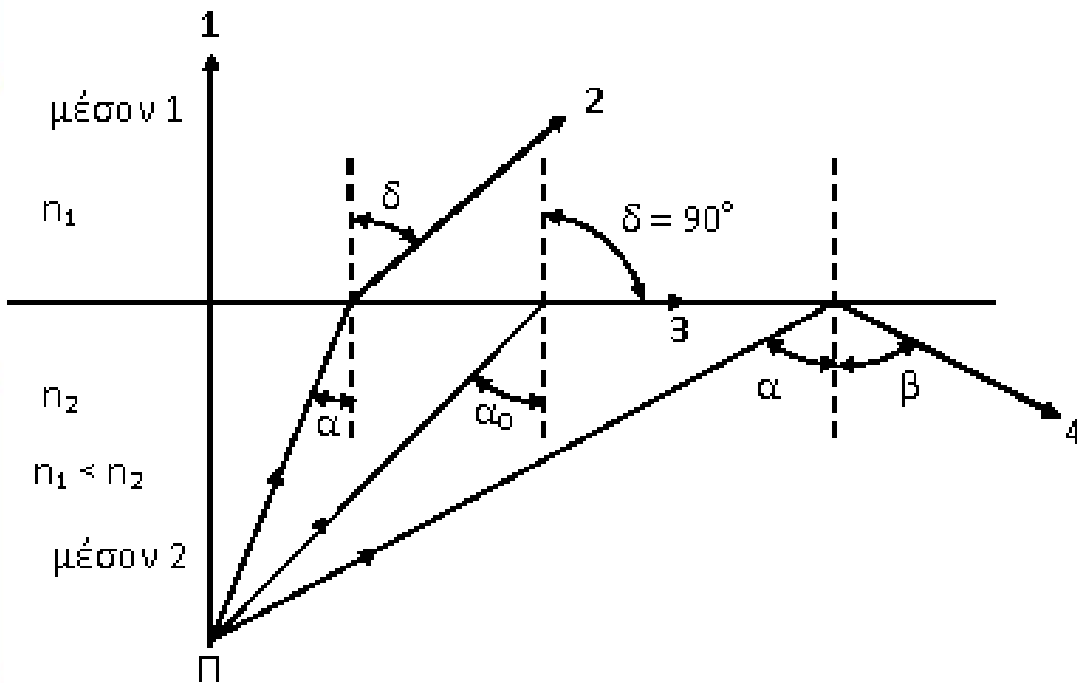
# Ορική γωνία - Ολική ανάκλαση



Το φαινόμενο της διάθλασης παρατηρείται και κατά τη δίοδο φωτός από υλικά μεγάλου δείκτη διάθλασης (οπτικά πυκνότερα μέσα), σε υλικά μικρότερου δείκτη διάθλασης (οπτικά αραιότερα μέσα).

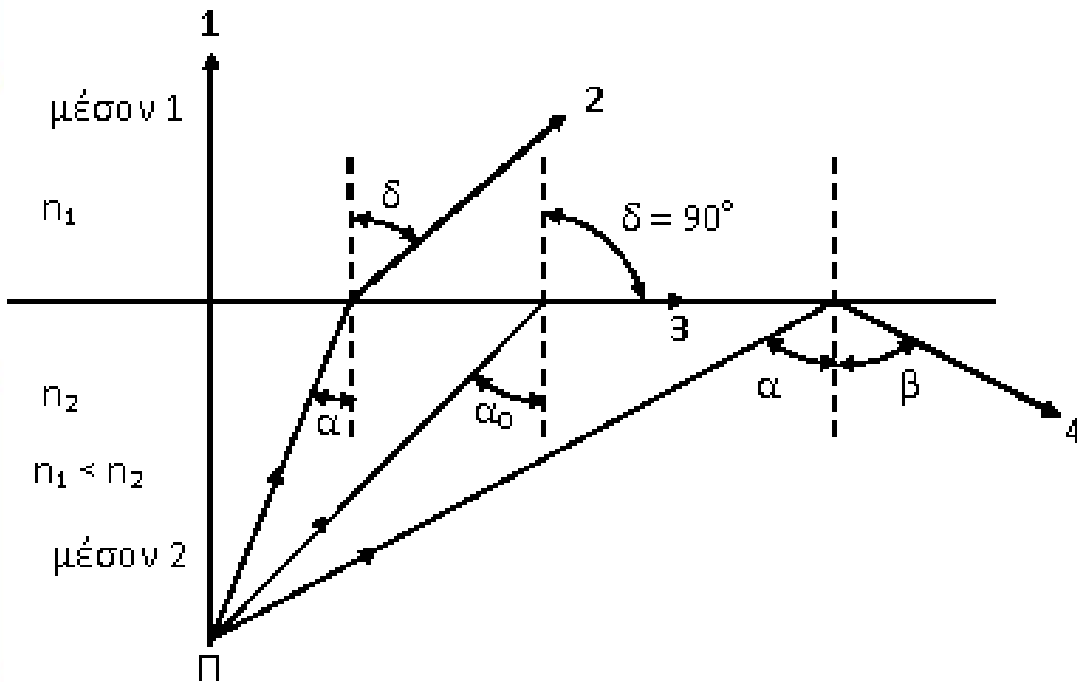
Στην περίπτωση αυτή η γωνία διάθλασης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης και η οπτική ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετο, όταν το φως περάσει τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων (Σχήμα, ακτίνα 2).

# Ορική γωνία - Ολική ανάκλαση



Παρατηρούμε ότι καθώς η γωνία πρόσπτωσης αυξάνει, έχουμε αύξηση και της γωνίας διάθλασης και αυτό μπορεί να συνεχισθεί μέχρις ότου η γωνία διάθλασης  $\delta$  γίνει ίση με  $90^\circ$ . Στην περίπτωση αυτή η διαθλώμενη ακτίνα διαδίδεται κατά μήκος της επιφάνειας που χωρίζει τα δύο μέσα (ακτίνα 3 στο Σχήμα).

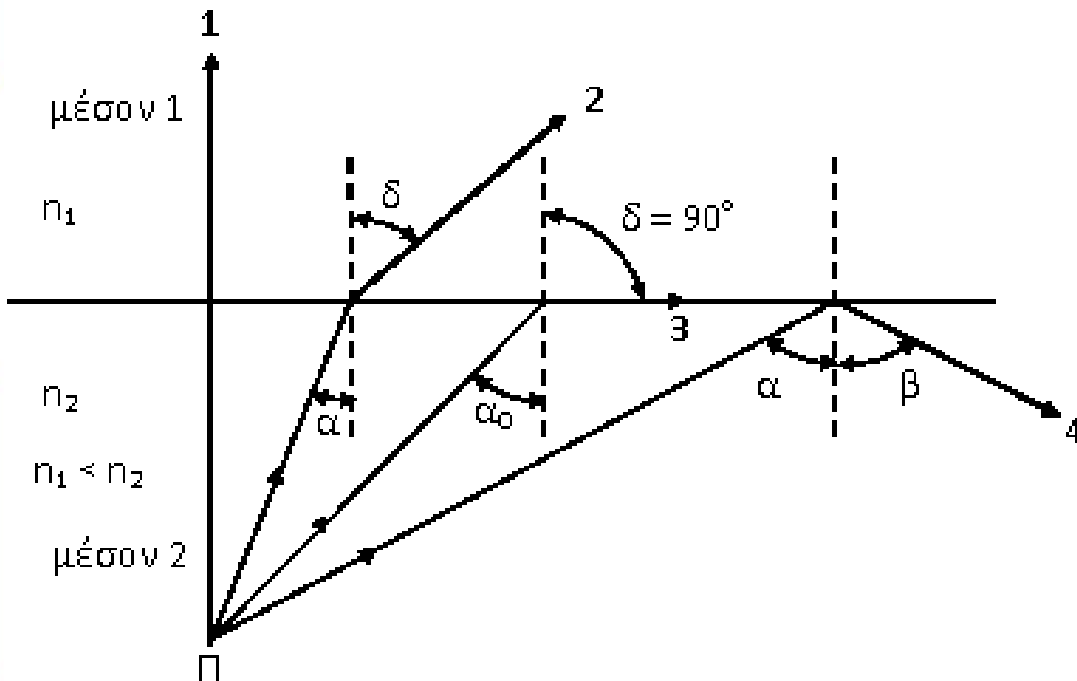
# Ορική γωνία - Ολική ανάκλαση



Η χαρακτηριστική εκείνη τιμή  $\alpha_0$  της γωνίας πρόσπτωσης η οποία αντιστοιχεί σε γωνία διάθλασης  $90^\circ$ , όταν το φως πηγαίνει από οπτικά πυκνότερο μέσο σε οπτικά αραιότερο, λέγεται ορική γωνία.



# Ορική γωνία - Ολική ανάκλαση



Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση που εξακολουθούμε ν' αυξάνουμε τη γωνία πρόσπτωσης, δεν έχουμε διαθλώμενη ακτίνα όταν η γωνία πρόσπτωσης υπερβεί την ορική γωνία, αλλά επιστροφή του φωτός στο ίδιο μέσο (ακτίνα 4 του Σχήματος).

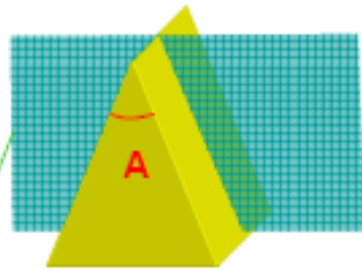
Το φαινόμενο αυτό είναι το βαινόμενο της ολικής ανάκλασης και παρατηρείται πάντοτε στην διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, όταν το φως προέρχεται από οπτικά πυκνότερο μέσο και προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια με γωνία μεγαλύτερη της ορικής.

## Διάθλαση δια μέσου πρίσματος



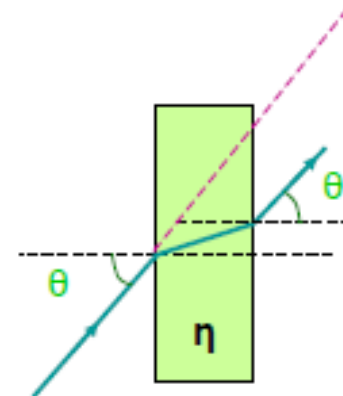
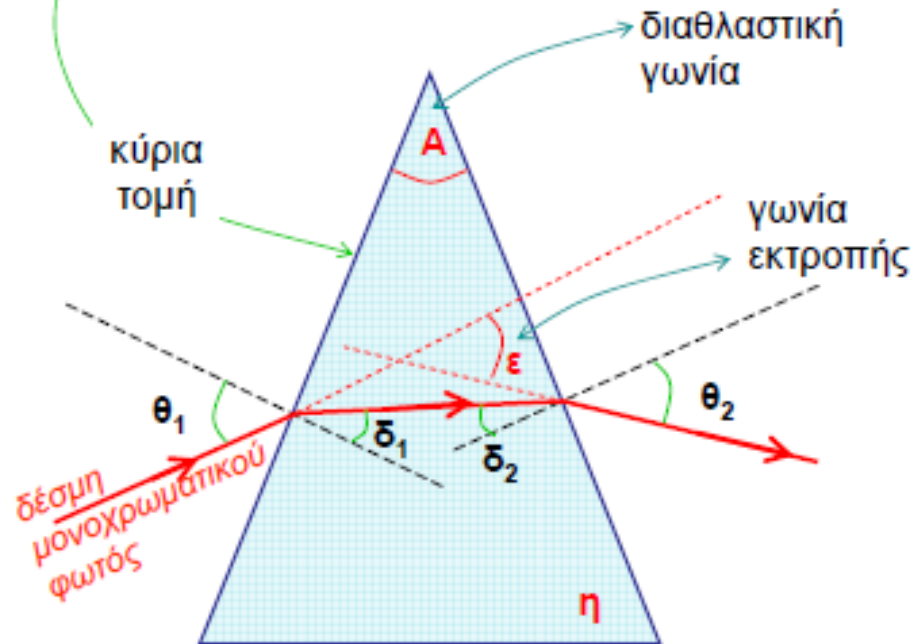
Στην οπτική ονομάζουμε πρίσμα κάθε ομογενές και ισότροπο, διαφανές οπτικό μέσο το οποίο περιορίζεται από δύο τεμνόμενες επίπεδες επιφάνειες. Η τομή των δύο αυτών επιφανειών ονομάζεται ακμή του πρίσματος. Η δίεδρη γωνία που σχηματίζουν οι έδρες του πρίσματος ονομάζεται διαθλαστική γωνία του πρίσματος.

# Διάθλαση δια μέσου πρίσματος



## Πρίσμα:

δύο επίπεδα που χωρίζουν διαφανές μέσο (π.χ. γυαλί) από το περιβάλλον του (συνήθως αέρας)



# Γωνία εκτροπής

$$\varepsilon = (\theta_1 - \delta_1) + (\theta_2 - \delta_2)$$

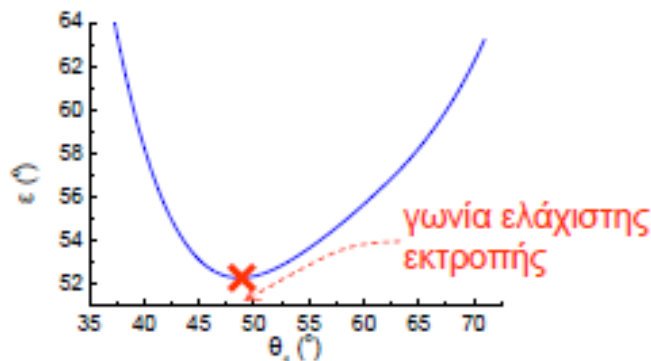
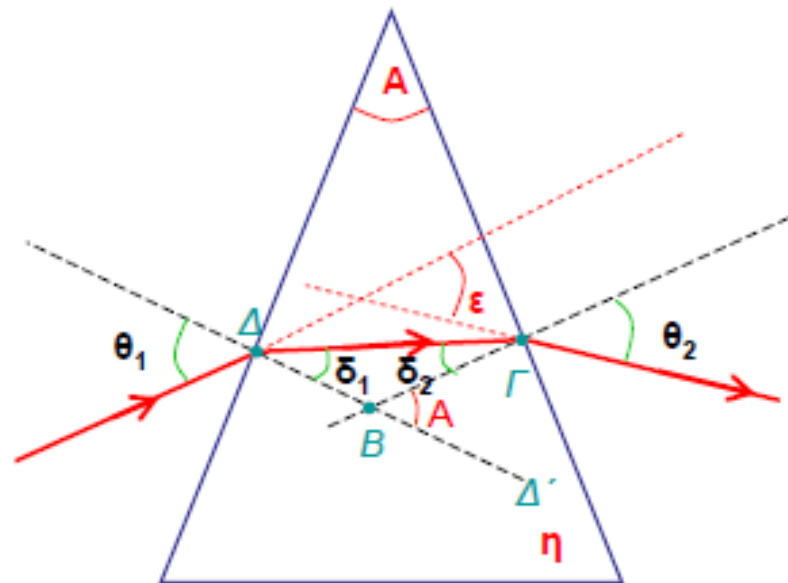
$$\Delta' \hat{B} \Gamma = A \Rightarrow A = \delta_1 + \delta_2$$

αμοιβαία κάθετες πλευρές

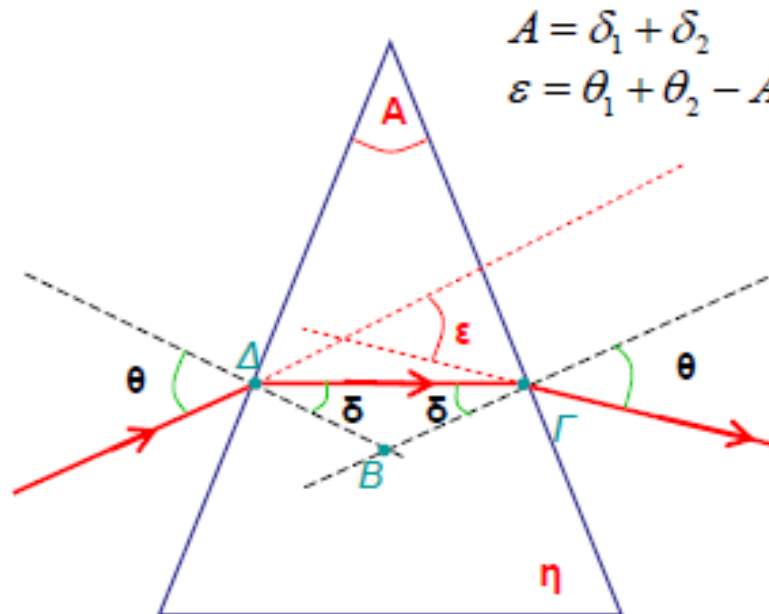
$$\Rightarrow \varepsilon = \theta_1 - \delta_1 + \theta_2 - \delta_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \theta_1 + \theta_2 - A$$

η γωνία εκτροπής εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης και από τη γωνία ανάδυσης (εξόδου) η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης ...



# Γωνία ελάχιστης εκτροπής



γωνία ελάχιστης εκτροπής ( $\varepsilon_m$ )  
για γωνία πρόσπτωσης =  
γωνία ανάδυσης

$$\varepsilon_m = 2\theta - A \Rightarrow \theta = \frac{\varepsilon_m + A}{2}$$

$$A = 2\delta$$

Snell στο  $\Delta$ :

$$1 \cdot \sin \theta = \eta \cdot \sin \delta \Rightarrow \sin \frac{\varepsilon_m + A}{2} = \eta \cdot \sin \frac{A}{2} \Rightarrow \eta = \frac{\sin \frac{\varepsilon_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

Χρήσιμη μέθοδος προσδιορισμού του δείκτη διάθλασης ενός υλικού

# Γωνία ελάχιστης εκτροπής

$$\eta = \frac{\sin \frac{\varepsilon_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

Γωνία ελάχιστης εκτροπής

$$\varepsilon_m = 52.5^\circ$$

$$\eta = 1.66$$

