

# *Φυσική των οφθαλμών και της όρασης*



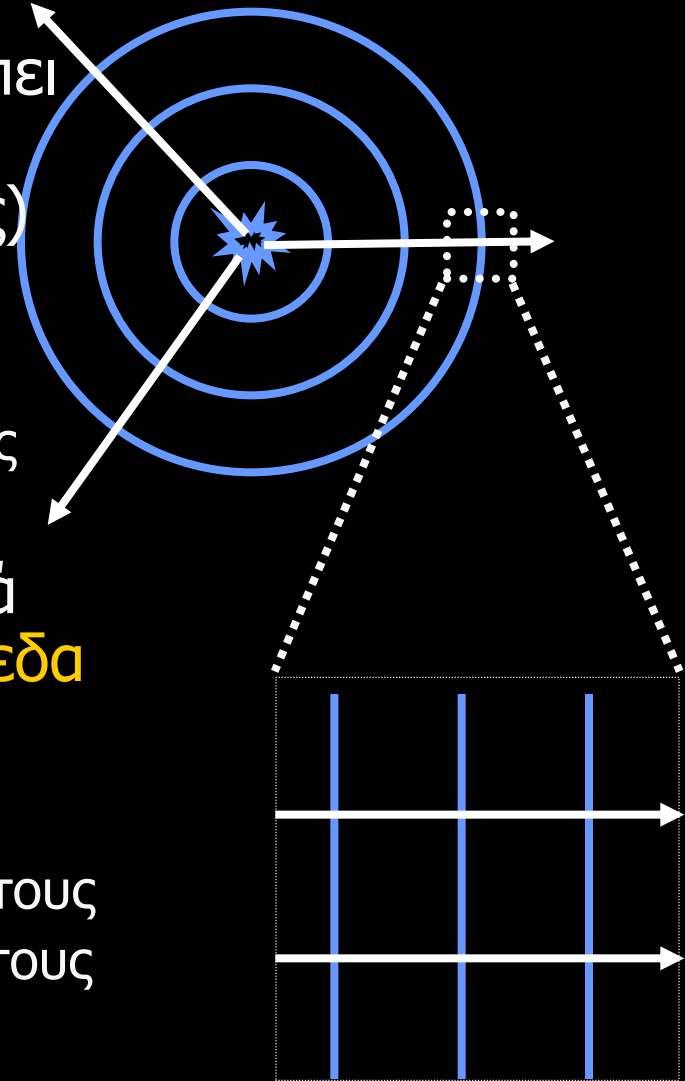
*Κική Θεοδώρου*

# Περιεχόμενα

- ✓ Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής
- ✓ Ανατομία του Οφθαλμού
- ✓ Αμφιβληστροειδής – Ο ανιχνευτής φωτός του οφθαλμού
- ✓ Το κατώφλι της όρασης
- ✓ Φαινόμενα περίθλασης στον οφθαλμό
- ✓ Οπτική οξύτητα
- ✓ Οφθαλμαπάτες και συναφή φαινόμενα
- ✓ Η ελαττωματική όραση και η διόρθωσή της
- ✓ Έγχρωμη όραση και χρωματική εκτροπή
- ✓ Όργανα που χρησιμοποιούνται στην οφθαλμολογία

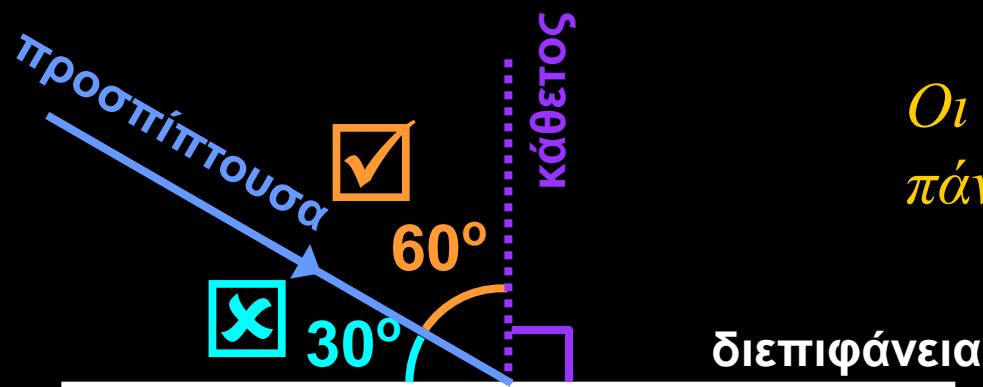
# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

- Μία σημειακή πηγή φωτός εκπέμπει σφαιρικά κύματα (κάθε κύκλος δείχνει το «**μέτωπο**» του κύματος)
- Οι **ακτίνες** είναι:
  - Κάθετες στα μέτωπα των κυμάτων
  - Δείχνουν την διεύθυνση του κύματος
  - Είναι ευθείες γραμμές
- Μακριά από την πηγή τα σφαιρικά κύματα δείχνουν επίπεδα → **επίπεδα κύματα**
- Για τα επίπεδα κύματα:
  - Τα **μέτωπα** είναι **παράλληλα** μεταξύ τους
  - Οι **ακτίνες** είναι **παράλληλες** μεταξύ τους και **κάθετες** στα μέτωπα



# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

- Υποθέτουμε ότι οι ακτίνες φωτός ακολουθούν μία ευθεία γραμμή
- Θα επέλθει αλλαγή όταν οι ακτίνες συναντήσουν μία επιφάνεια
  - Ανάκλαση
  - Διάθλαση
  - Απορρόφηση
- *Η περίθλαση και άλλα φαινόμενα περιγράφονται καλύτερα αν δούμε το φως ως κύματα και όχι ως ακτίνες*

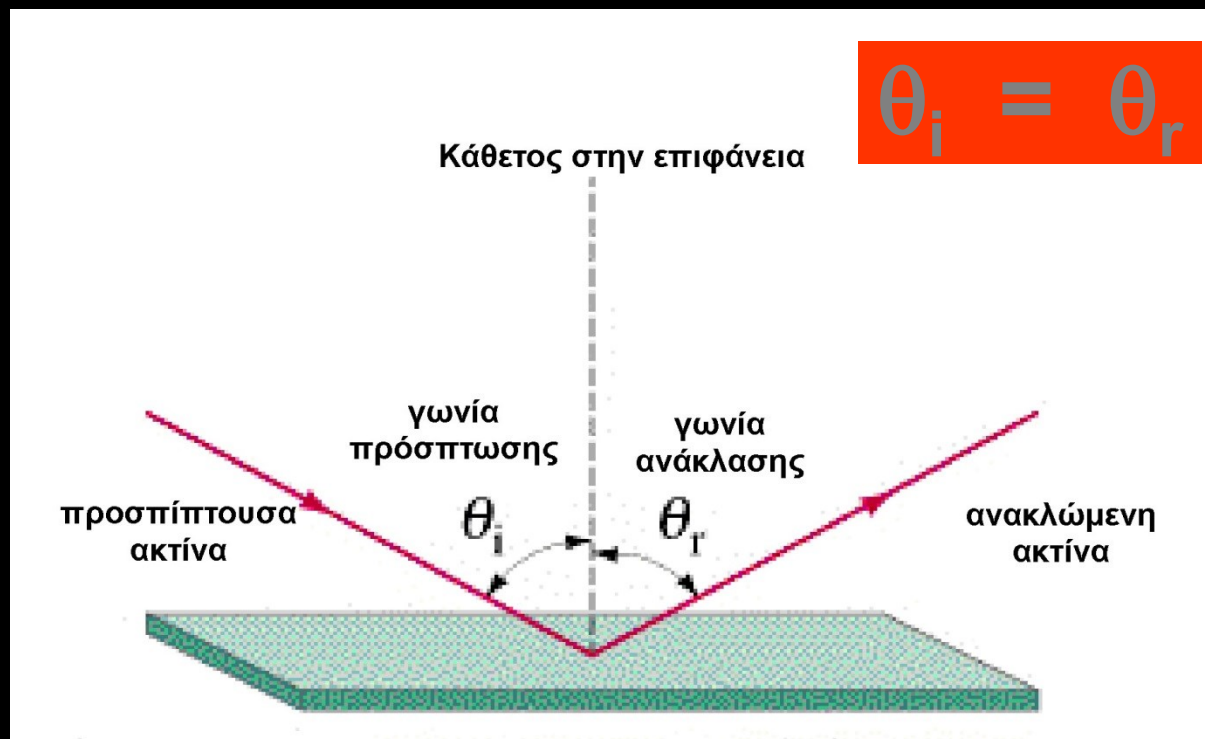


*Οι γωνίες μετριούνται πάντα ως προς την κάθετο*

# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

## Ανάκλαση

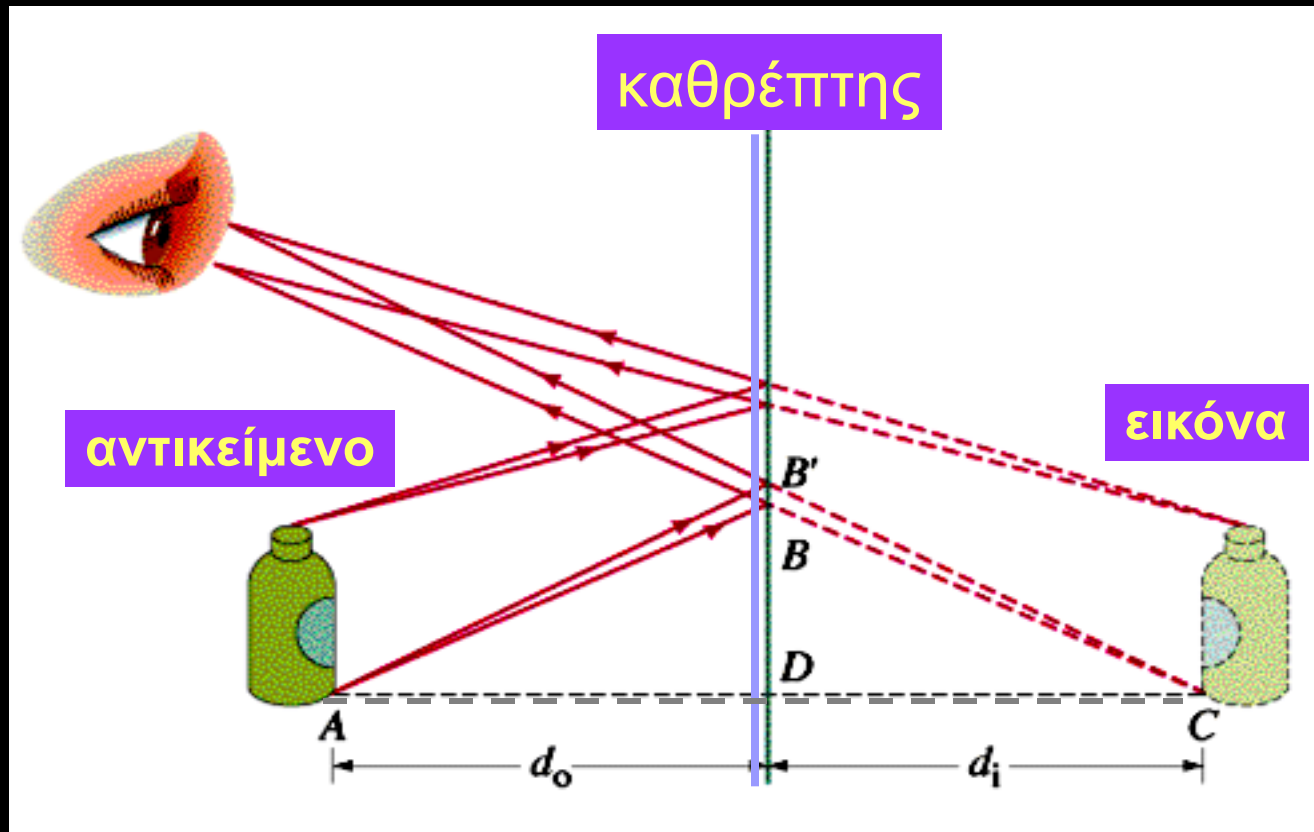
Γωνία πρόσπτωσης = Γωνία ανάκλασης



# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

## Ανάκλαση

Ο εγκέφαλος υποθέτει ότι το φως ταξιδεύει **πάντα** σε ευθεία γραμμή

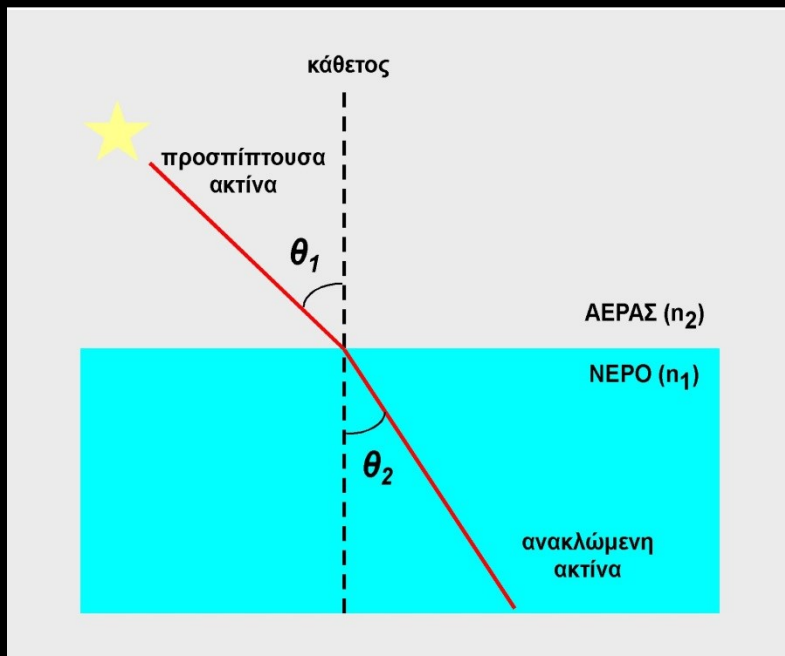


# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

## Διάθλαση

### Νόμος του Snell :

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$



Δείκτης διάθλασης:  $n = c / v$

$c$  = ταχύτητα στο **κενό**

$v$  = ταχύτητα στο μέσο

<u>μέσο</u>	<u>n</u>
κενό	1.0
αέρας	~1.0
νερό	1.3
γυαλί	1.5

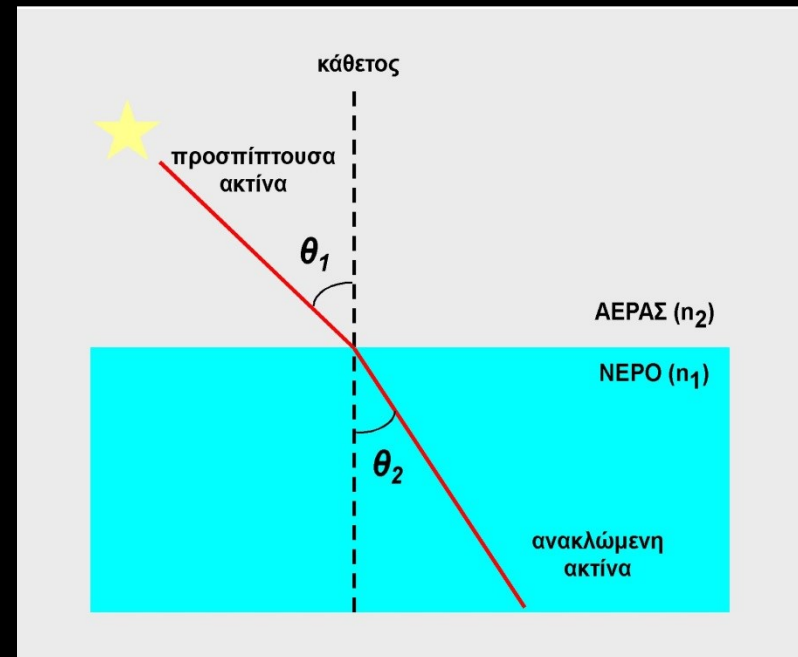
# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

## Διάθλαση

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

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

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$



Οπότε αν  $v_2 < v_1$  (μέσο #2 είναι πιο αργό),

τότε  $\theta_2 < \theta_1$

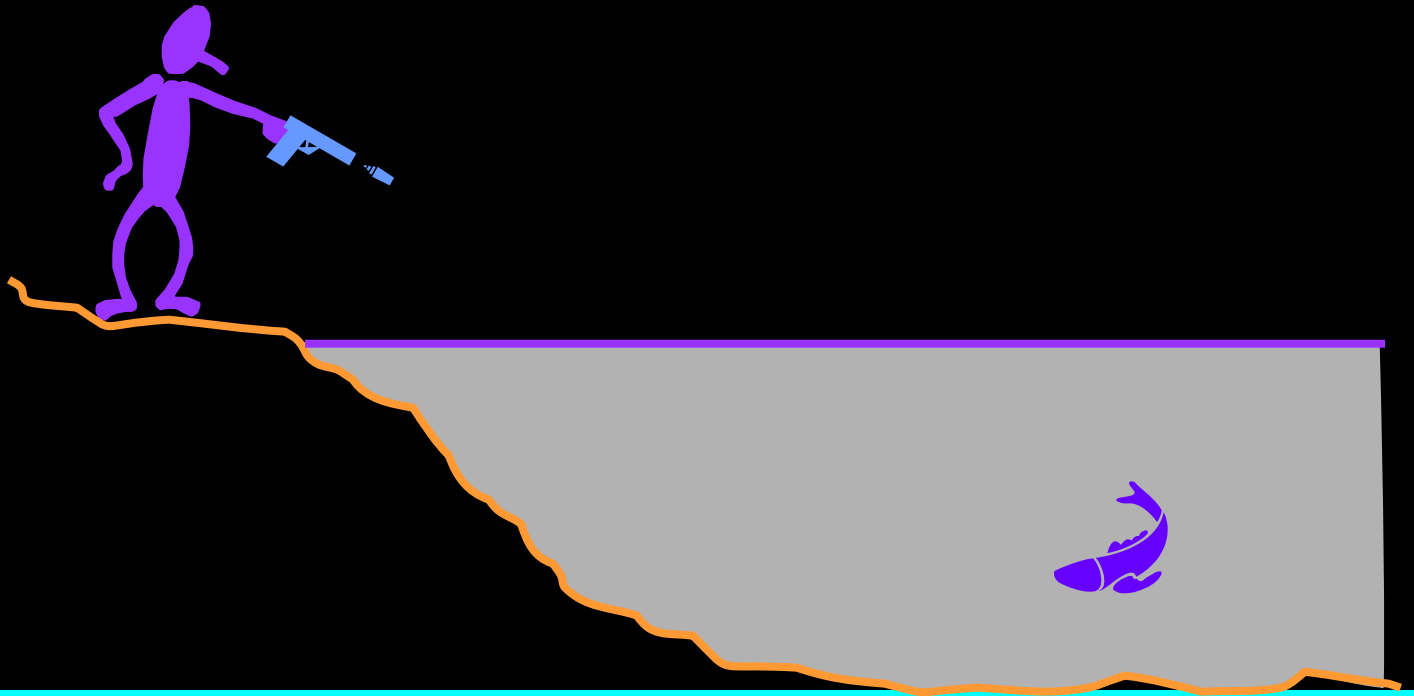
και η ακτίνα θα «λυγίσει» προς την κάθετο !!



# ΤΕΣΤ 1

Για να χτυπήσεις ένα ψάρι με ένα όπλο, πρέπει να στοχεύσεις κατευθείαν στην εικόνα, λίγο πάνω, ή λίγο κάτω?

- (1) Κατευθείαν στην εικόνα
- (2) Λίγο πάνω
- (3) Λίγο κάτω

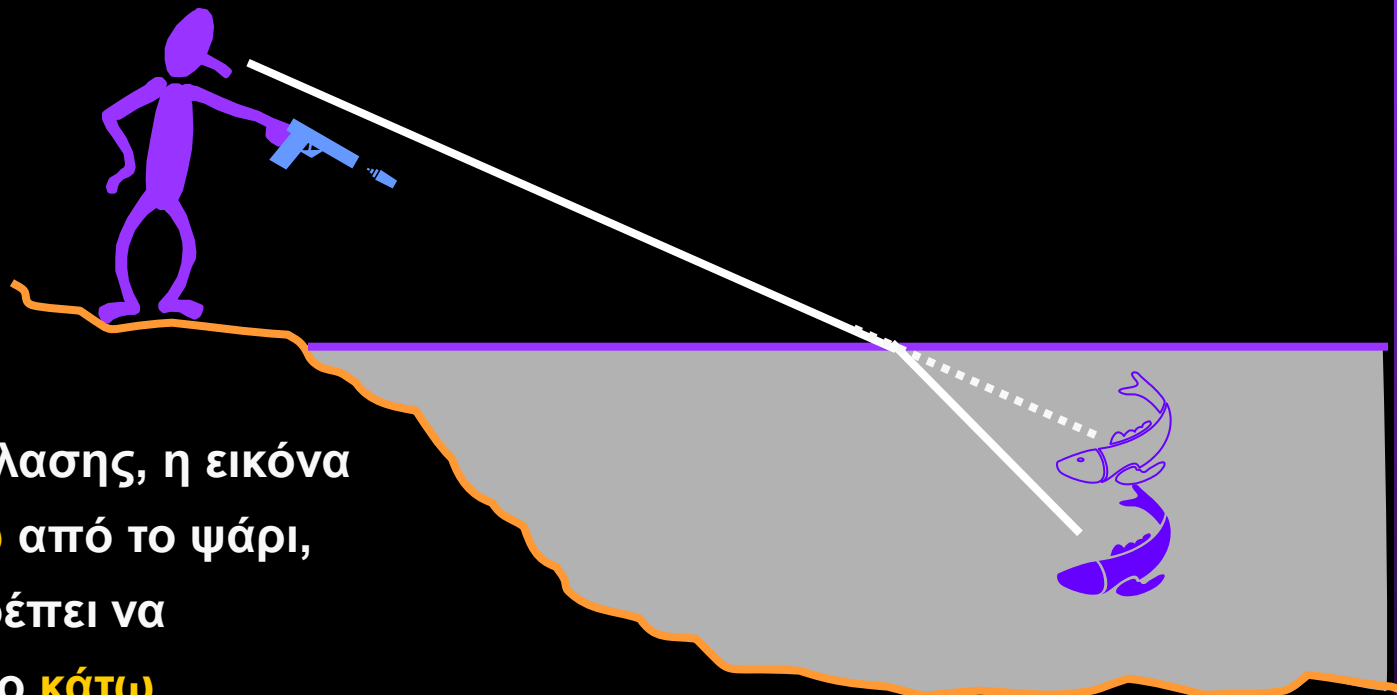


• Για να χτυπήσεις ένα ψάρι με ένα όπλο, πρέπει να στοχεύσεις κατευθείαν στην εικόνα, λίγο πάνω, ή λίγο κάτω?

(1) Κατευθείαν στην εικόνα

(2) Λίγο πάνω

(3) Λίγο κάτω

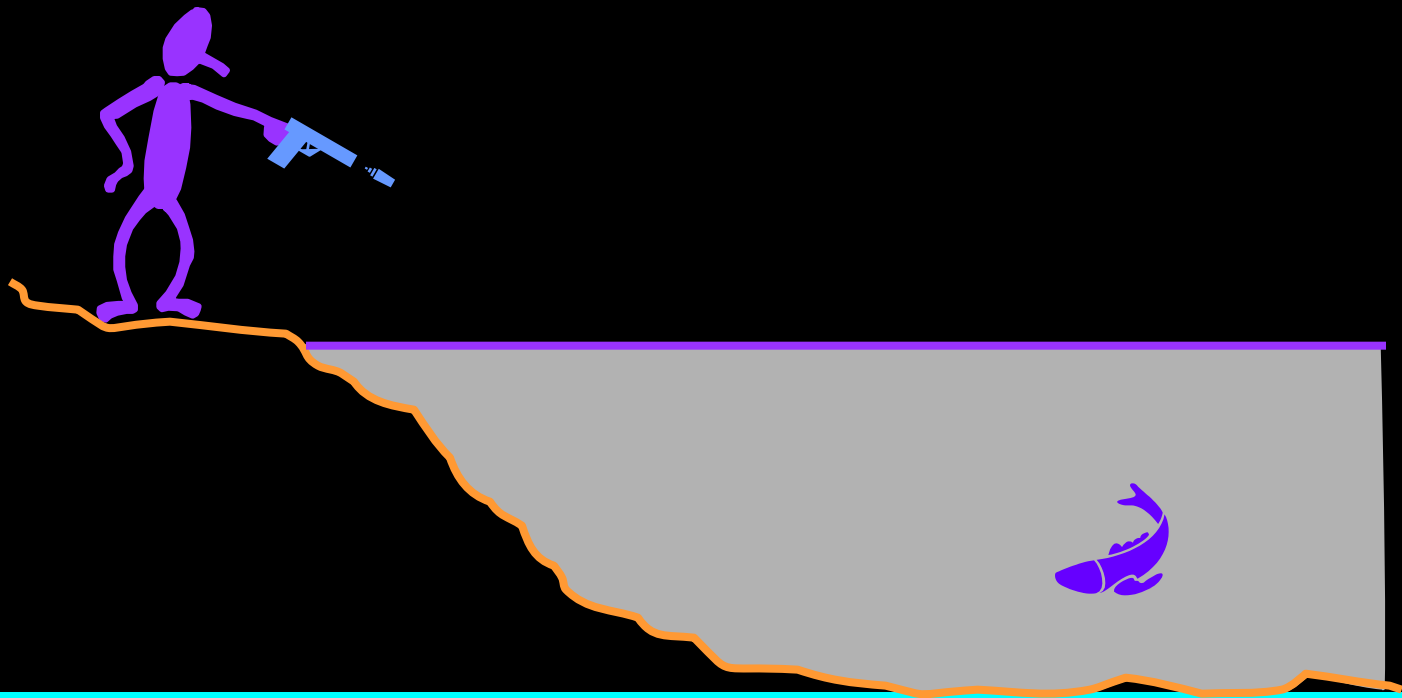


Λόγω της διάθλασης, η εικόνα θα φανεί **πάνω** από το ψάρι, για αυτό θα πρέπει να στοχεύσεις λίγο κάτω.

## ΤΕΣΤ 2

Για να χτυπήσεις ένα ψάρι με ένα laser όπλο, πρέπει να στοχεύσεις κατευθείαν στην εικόνα, λίγο πάνω, ή λίγο κάτω?

- (1) Κατευθείαν στην εικόνα
- (2) Λίγο πάνω
- (3) Λίγο κάτω

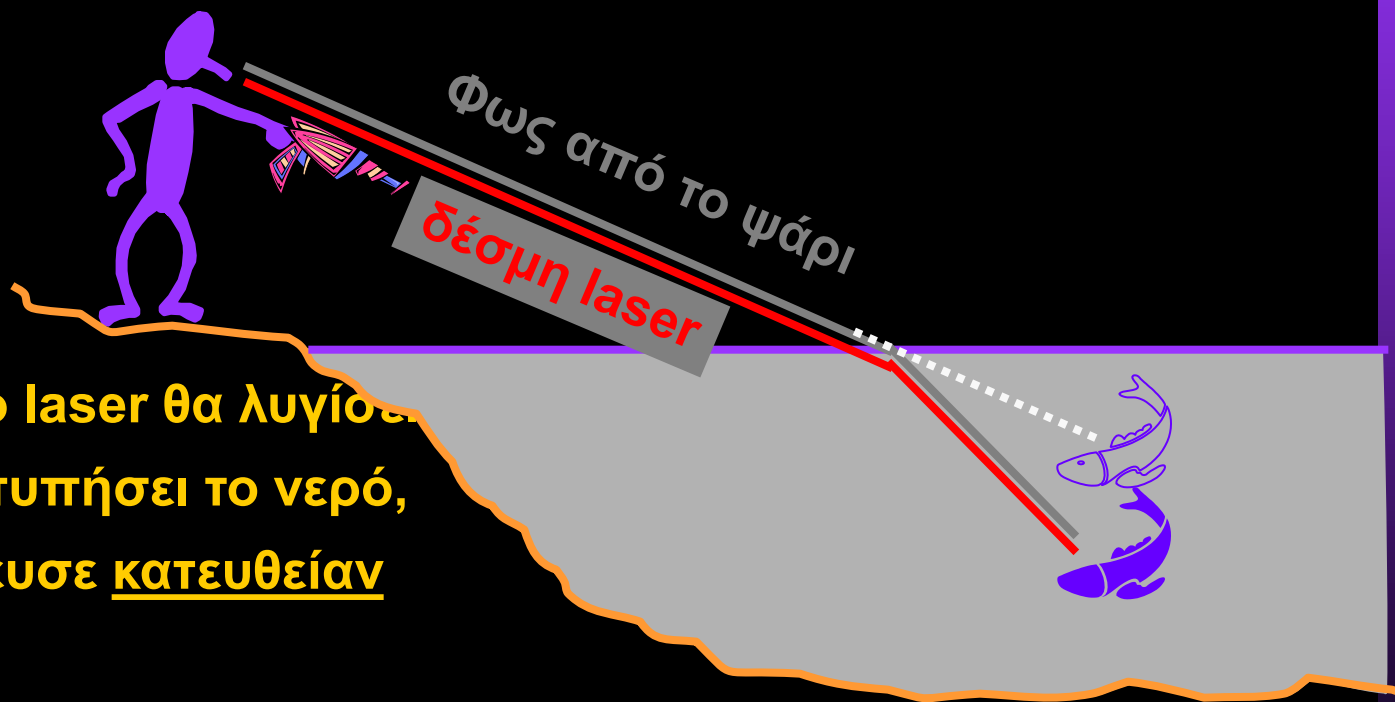


Για να χτυπήσεις ένα ψάρι με ένα laser όπλο, πρέπει να στοχεύσεις κατευθείαν στην εικόνα, λίγο πάνω, ή λίγο κάτω?

(1) Κατευθείαν στην εικόνα

(2) Λίγο πάνω

(3) Λίγο κάτω



Το φως από το laser θα λυγίσει επίσης όταν χτυπήσει το νερό, για αυτό στόχευσε κατευθείαν το ψάρι.

# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

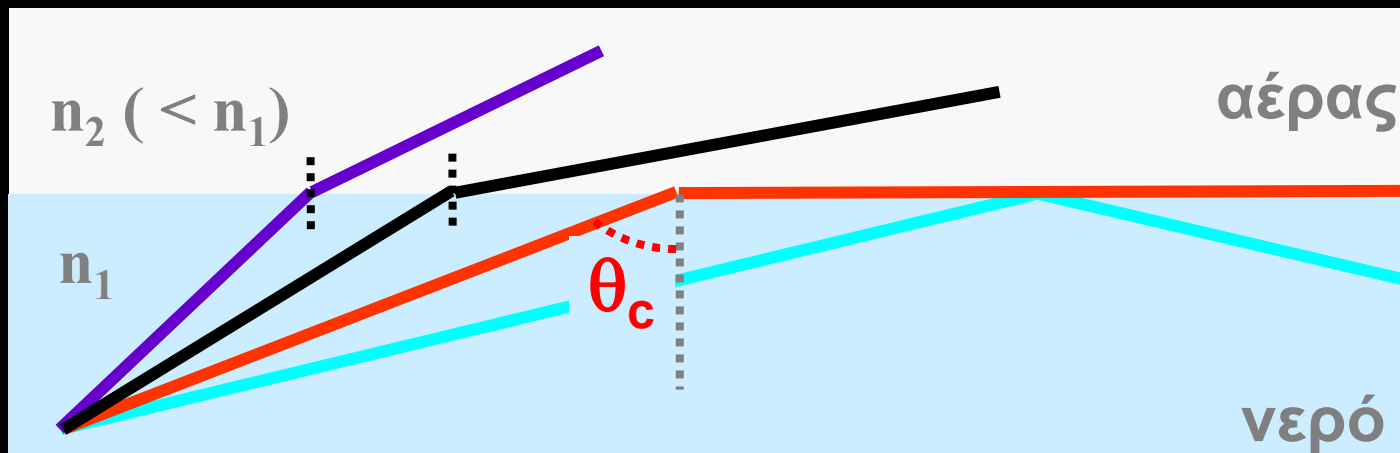
## Διάθλαση

- Όταν το φως πάει από μέσο με **υψηλό  $n$**  σε μέσο με **χαμηλό  $n$** , οι ακτίνες λυγίζουν σε μεγάλη γωνία από την κάθετο.
- Για γωνίες μεγαλύτερες της  $\theta_c$  δεν υπάρχει **καθόλου** διάθλαση

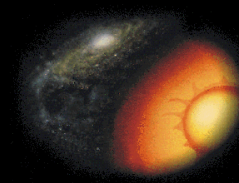
$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ = n_2$$



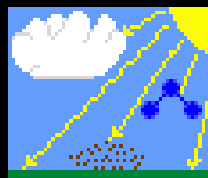
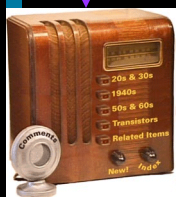
$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$



# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής



RF  $\mu$ wave infrared visible υπ x-ray  $\gamma$ -ray cosmic



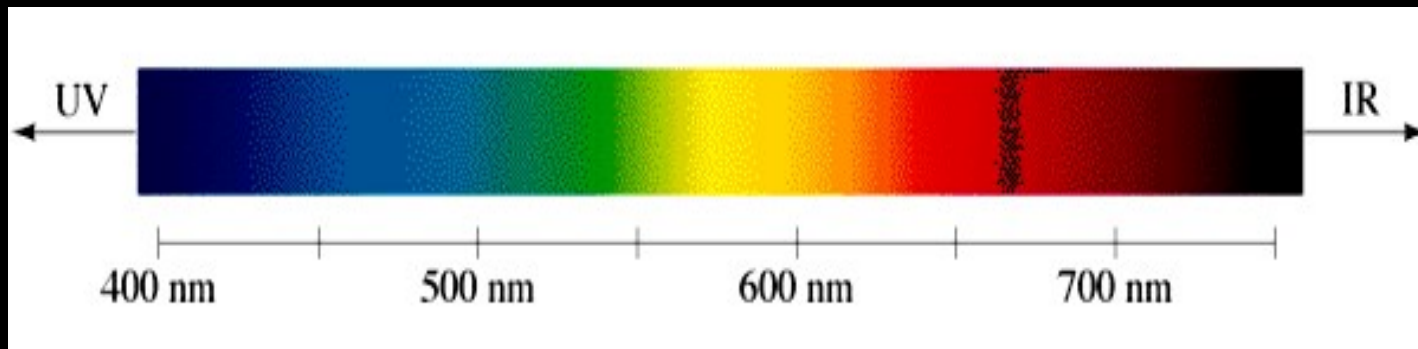
Χαμηλή ενέργεια

Υψηλή ενέργεια

# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

- Θυμηθείτε ότι το λευκό φως περιέχει όλα τα χρώματα του

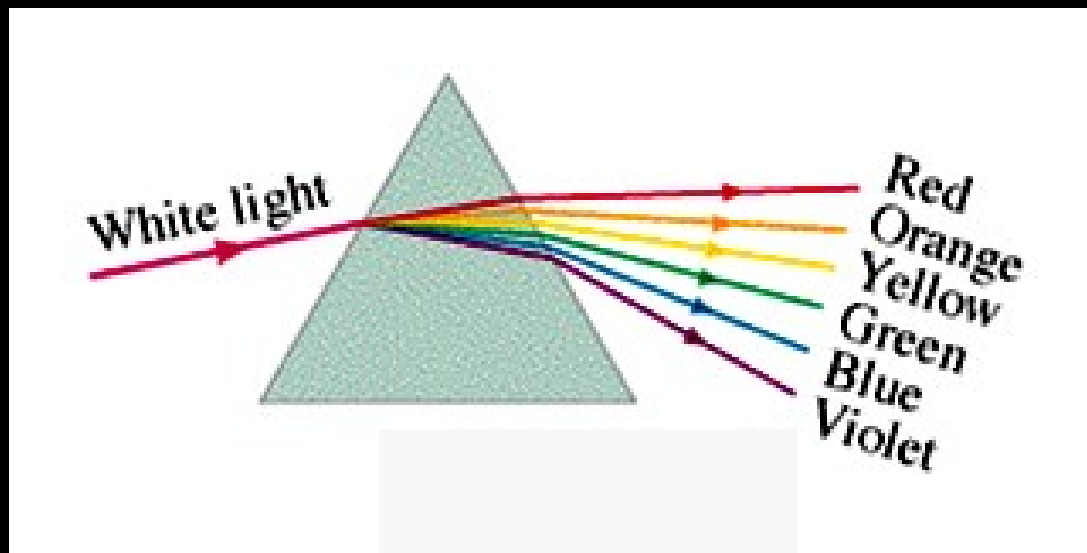
φάσματος



- κάθε χρώμα από το φάσμα έχει και διαφορετικό μήκος κύματος

# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

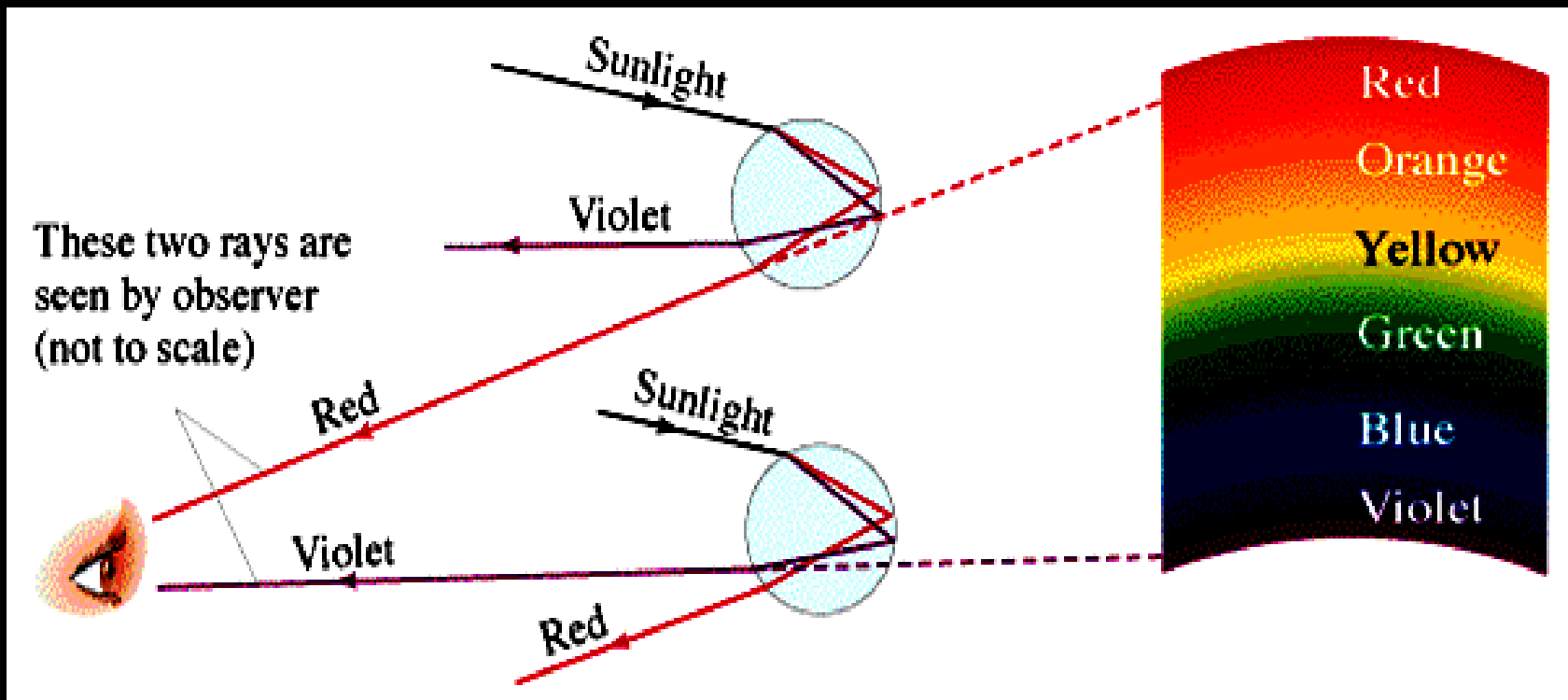
- $n$  μειώνεται καθώς  $\lambda$  αυξάνεται
  - για **κόκκινο** φως ( $\lambda = 700$  nm)  $\Rightarrow n$  μικρό (μικρότερη διάθλαση)
  - για **μπλε** φως ( $\lambda = 400$  nm)  $\Rightarrow n$  μεγάλο (μεγαλύτερη διάθλαση)
  - διαχωρισμός των χρωμάτων λόγω της **διάθλασης !!**





# Στοιχεία Γεωμετρικής Οπτικής

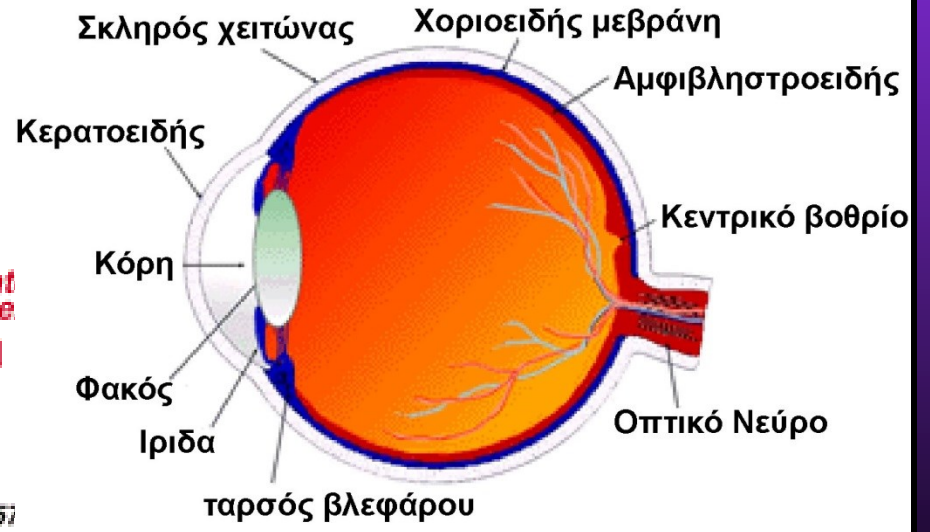
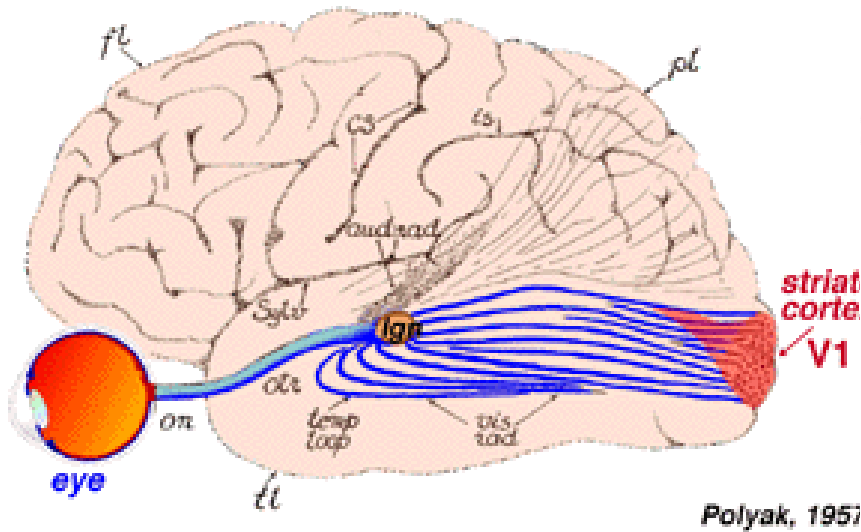
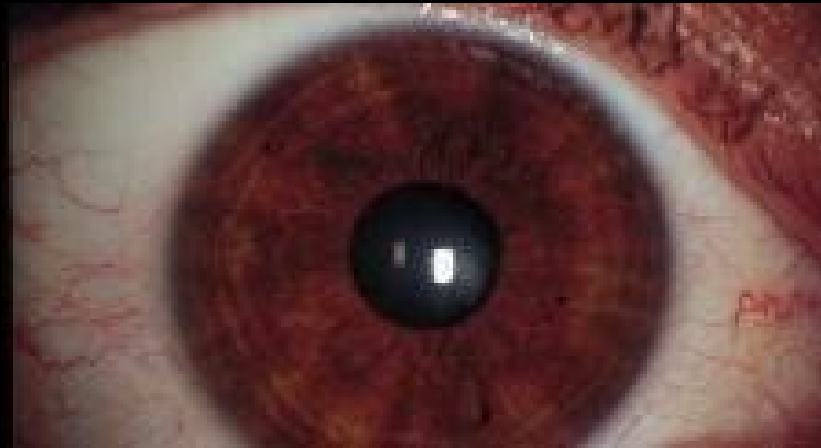
- Το φως διαθλάται στις σταγόνες νερού
  - ✓ **κόκκινο** φως σε μικρότερη γωνία (**ψηλά** στο ουράνιο τόξο)
  - ✓ **μοβ** φως σε μεγαλύτερη γωνία (**χαμηλά** στο ουράνιο τόξο)



# ΟΦΘΑΛΜΟΣ



# Οφθαλμός



# Οφθαλμός: το καλύτερο οπτικό σύστημα!

- ✓ Μεγάλη οπτική γωνία με ταυτόχρονη δυνατότητα εστίασης
- ✓ Γρήγορο σύστημα αυτόματης εστίασης
- ✓ Αποτελεσματική λειτουργία για ένα εύρος έντασης φωτός ( $10^{10}:1$ )
- ✓ Διαθέτει ενσωματωμένο σύστημα ίασης πιθανών αμυχών
- ✓ Διαθέτει σύστημα ρύθμισης εσωτερικής πίεσης
- ✓ Διαθέτει προστασία (οστέινη θήκη)
- ✓ Διαθέτει σύστημα λίπανσης
- ✓ Η ανεστραμμένη εικόνα επανορθώνεται αυτόματα
- ✓ Καλή αντίληψη διαστάσεων και τρισδιάστατη απεικόνιση από των συνδυασμό και των δύο οφθαλμών
- ✓ Ευέλικτη κίνηση

# Οφθαλμός: το καλύτερο οπτικό σύστημα!

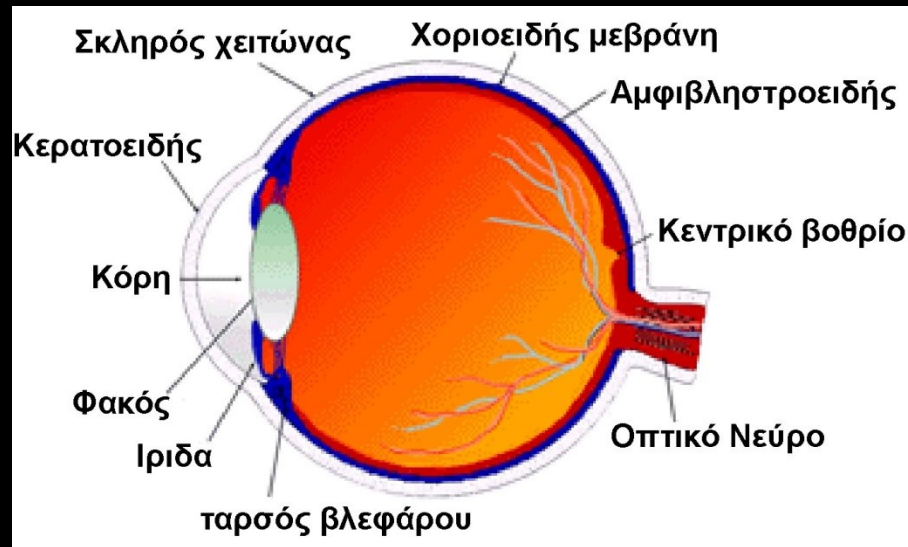
Λαμβάνοντας υπόψη το πόσο πολύπλοκος είναι ο μηχανισμός του οφθαλμού, ένα εντυπωσιακά μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων έχει καλή όραση.

*Καλή Όραση* → *Εμμέτρωπες*  
*Ελαττωματική Όραση* → *Αμέτρωπες*

## Επαγγελματικές ομάδες:

- ✓ Οφθαλμίατροι
- ✓ Ειδικοί οπτομέτρες
- ✓ Τεχνολόγοι οφθαλμολόγοι
- ✓ Οπτικοί

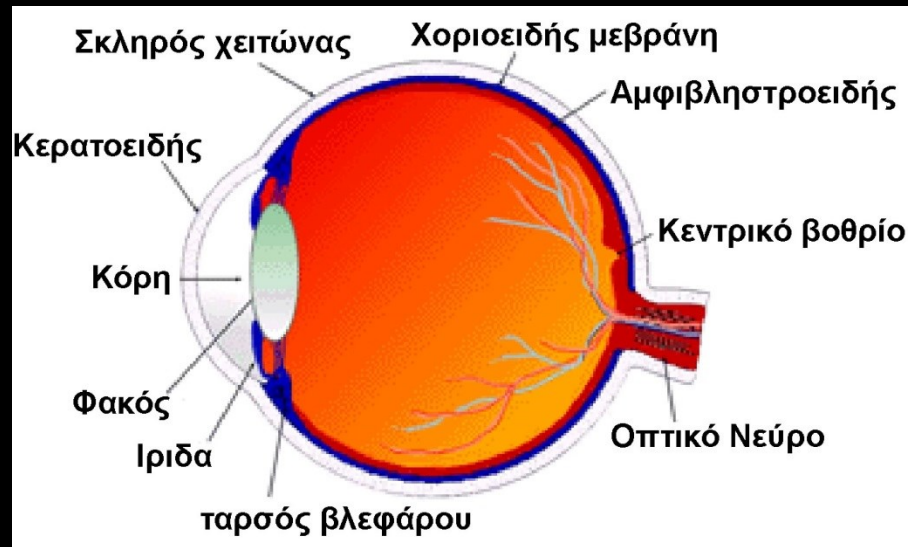
# Ανατομία του οφθαλμού



## *Κερατοειδής*

- Είναι το διαφανές κύρτωμα στο πρόσθιο μέρος του οφθαλμού και ευθύνεται για τα 2/3 περίπου της εστίασης.
- Είναι σταθερός σε σχήμα
- Ο δείκτης διάθλασης είναι σταθερός για όλους τους ανθρώπους αλλά η καμπυλότητα αλλάζει από άνθρωπο σε άνθρωπο και έχει την ευθύνη για τις περισσότερες περιπτώσεις ελαττωματικής όρασης

# Ανατομία του οφθαλμού

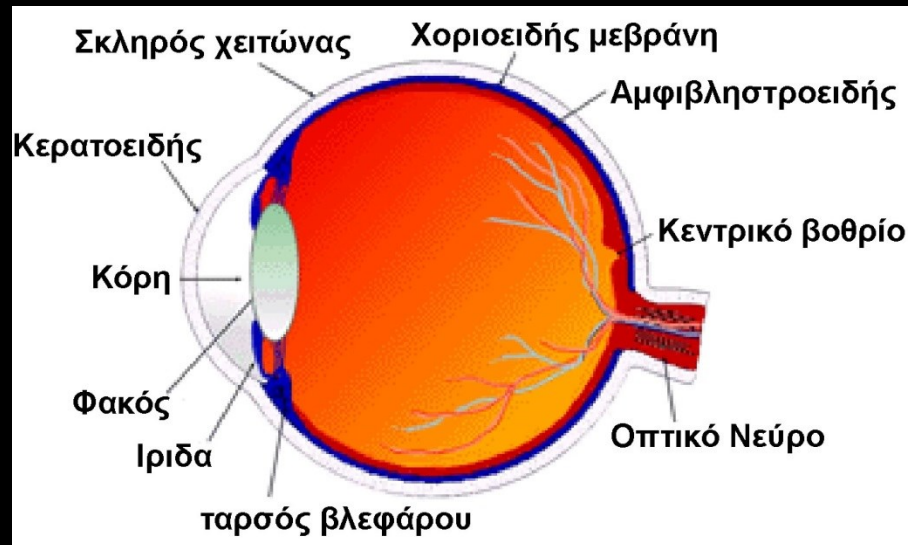


## Φακός

- Ευθύνεται για την τελική εστίαση
- Παρουσιάζει μεγαλύτερη κυρτότητα στην πρόσθια επιφάνεια και μικρότερη στην οπίσθια
- Ο ενεργός δείκτης διάθλασης δεν είναι μεγαλύτερος από 1.07
- Προσαρμόζει την εστιακή του απόσταση μεταβάλλοντας την κυρτότητά του (→ ακτινωτός μύς)



# Ανατομία του οφθαλμού

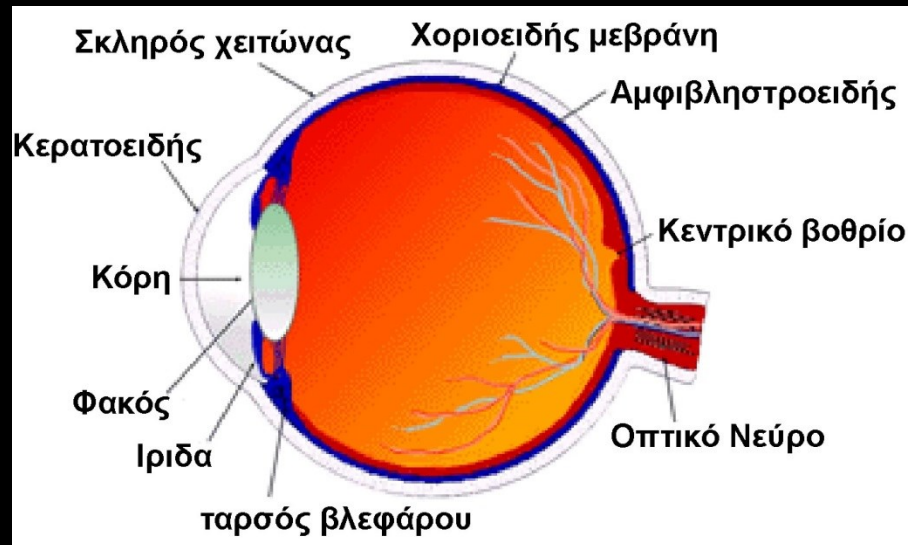


## ***Κόρη***

- Είναι το άνοιγμα που βρίσκεται στο κέντρο της ίριδας από όπου το φως εισέρχεται στον φακό
- Υπό συνθήκες μετρίου φωτός η κόρη έχει διάμετρο ~ 4mm. Αλλάζει διάμετρο από 3mm (πολύ φως) σε 8mm (αμυδρό φως)
- Χρειάζονται περίπου 300s για ανοίξει πλήρως η κόρη και περίπου 5s για να κλείσει όσον το δυνατό περισσότερο.



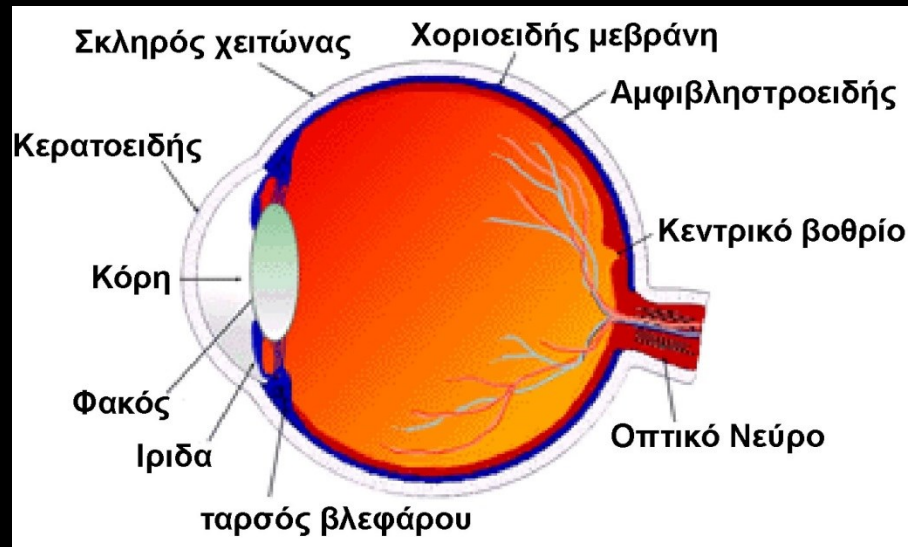
# Ανατομία του οφθαλμού



## *Ίριδα*

- Είναι ένα διάφραγμα
- Βοηθάει τον οφθαλμό αυξάνοντας ή μειώνοντας την ένταση του φωτός στον αμφιβληστροειδή
- Αυξάνει το βάθος εστίασης

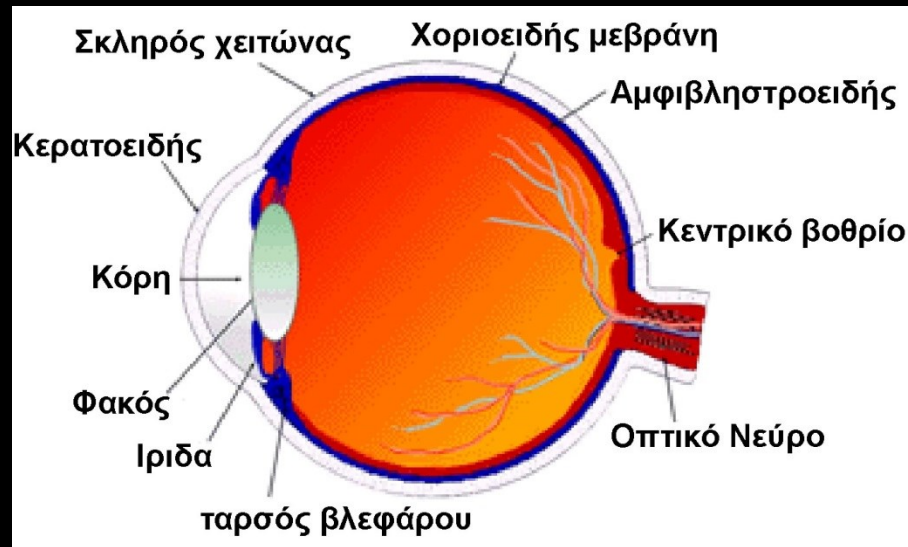
# Ανατομία του οφθαλμού



## *Αμφιβληστροειδής*

- Είναι το φωτοευαίσθητο τμήμα του οφθαλμού
- Μετατρέπει τις φωτεινές εικόνες σε ηλεκτρικές ώσεις που μεταφέρονται στον εγκέφαλο
- Μέρος του είναι:
  - η ωχρά κηλίδα
  - το κεντρικό βοθρίο

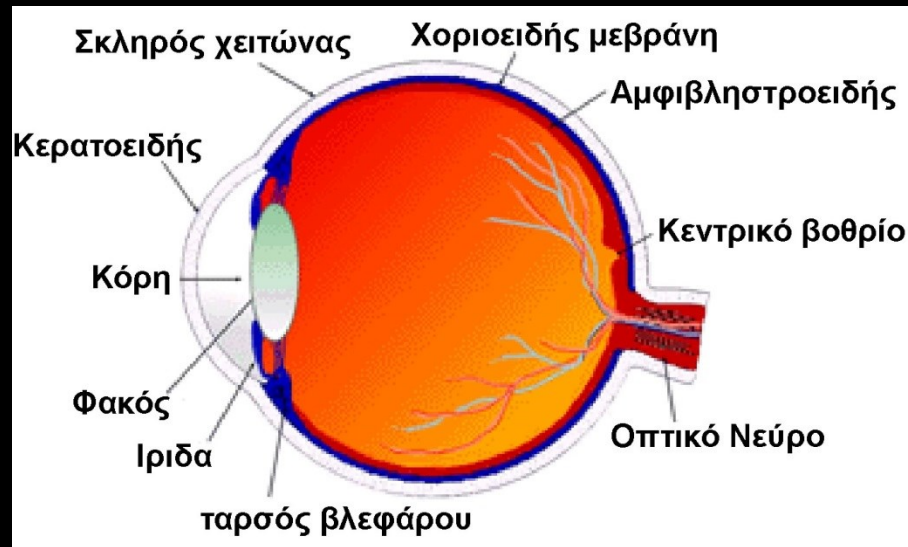
# Ανατομία του οφθαλμού



## *Υδατοειδές Υγρό*

- Γεμίζει το χώρο μεταξύ του φακού και του κερατοειδούς
- Αποτελείται κυρίως από νερό, παράγεται συνεχώς και διαφεύγει από το κανάλι του Schlemm. Φέρει θρεπτικά συστατικά
- Διατηρεί την εσωτερική πίεση στο 1.6kPa

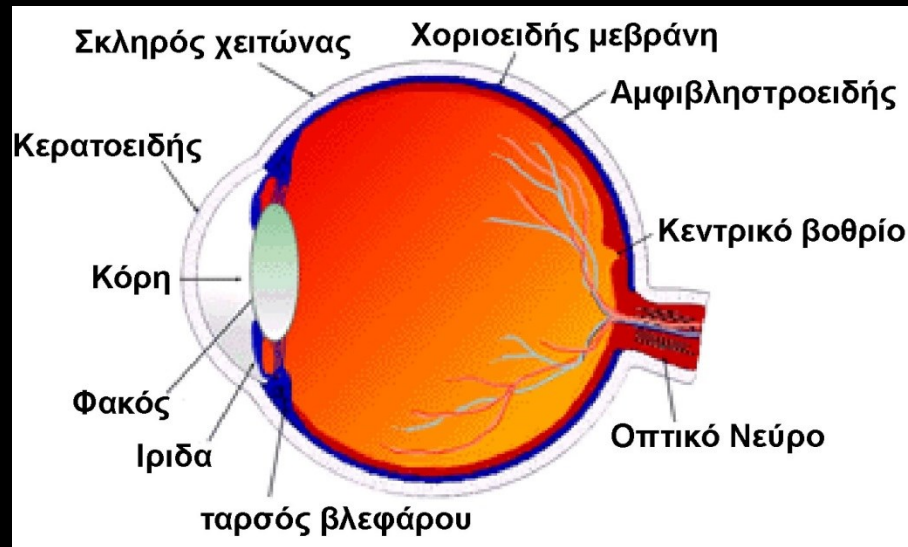
# Ανατομία του οφθαλμού



## *Υαλοειδές Υγρό*

- Γεμίζει το χώρο μεταξύ του φακού και του αμφιβληστροειδούς
- Διαυγείς ουσία
- Διατηρεί το σχήμα του οφθαλμού
- Είναι μόνιμο

# Ανατομία του οφθαλμού



## *Σκληρός Χιτώνας*

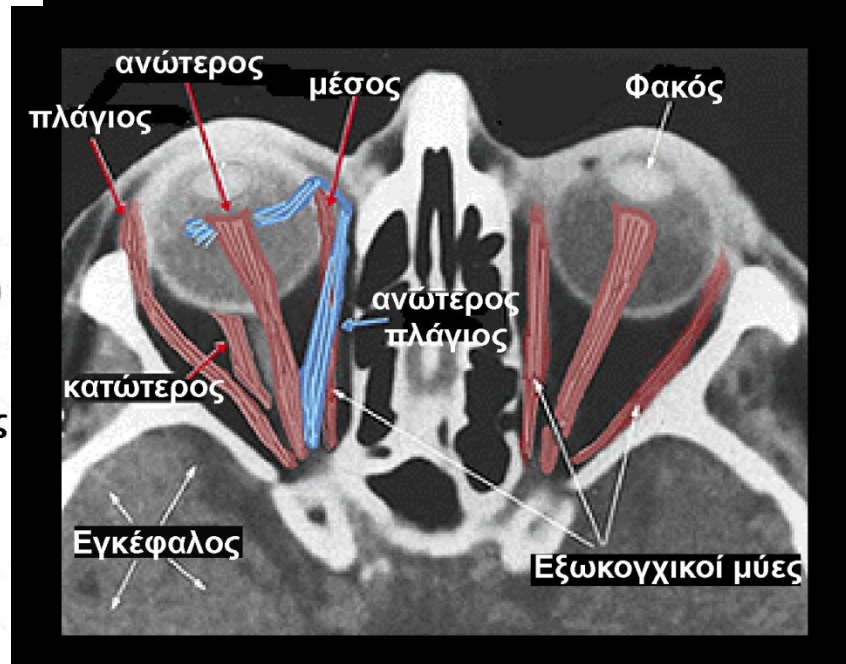
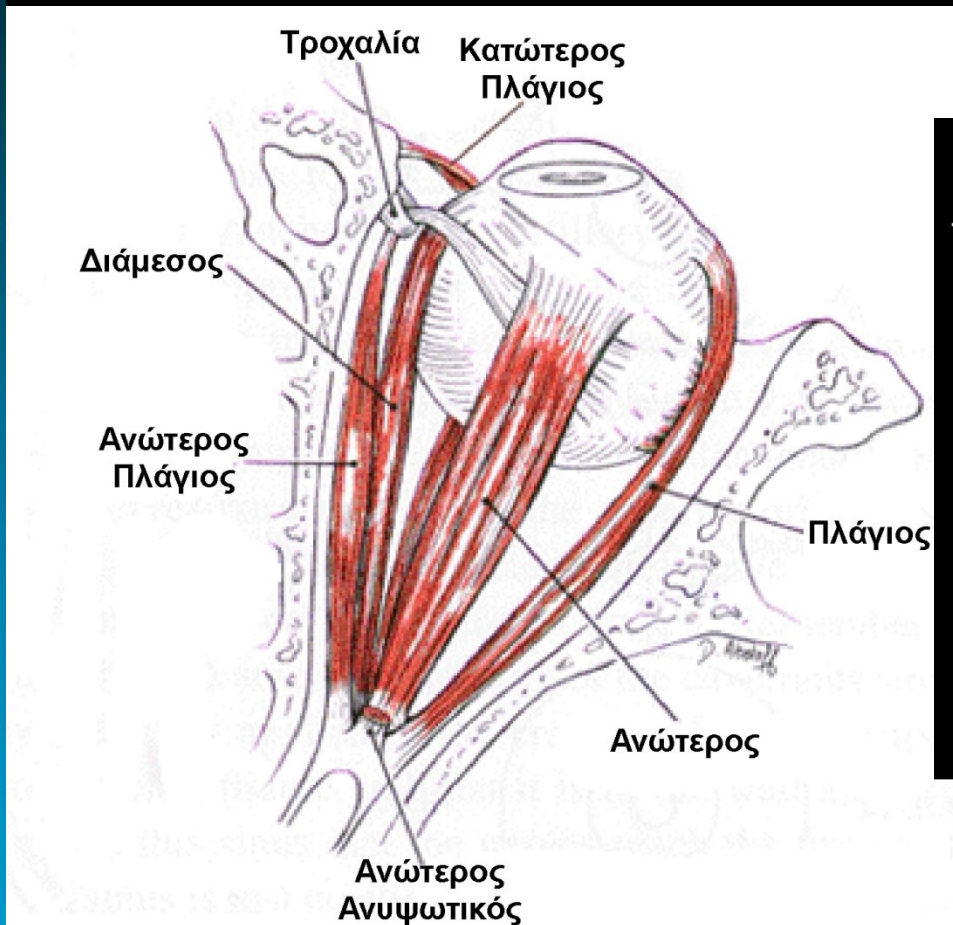
- Περιβάλλει όλο τον οφθαλμό εκτός του κερατοειδούς

## *Οπτικό Νεύρο*

- Μεταφέρει τα ηλεκτρικά σήματα στο οπτικό κέντρο του εγκεφάλου

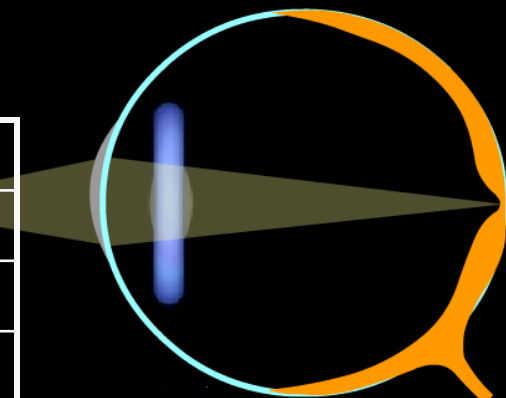
# Ανατομία του οφθαλμού

## Οι μύες του οφθαλμού



# Το σύστημα εστίασης

Οπτικά στοιχεία	Δείκτης διάθλασης
Κερατοειδής	1,34
Υδατοειδές υγρό	1,33
Εξωτερικός φλοιός φακού	1,38
Εσωτερικό Φακού	1,41
Υαλοειδές υγρό	1,34



- Το 80% της εστίασης γίνεται από τον κερατοειδή
- Το 20% της εστίασης γίνεται από τον φακό

Διπλό σύστημα φακών

- Ακτινωτός μυς χαλαρός → φακός επίπεδος → εστίαση μακριά

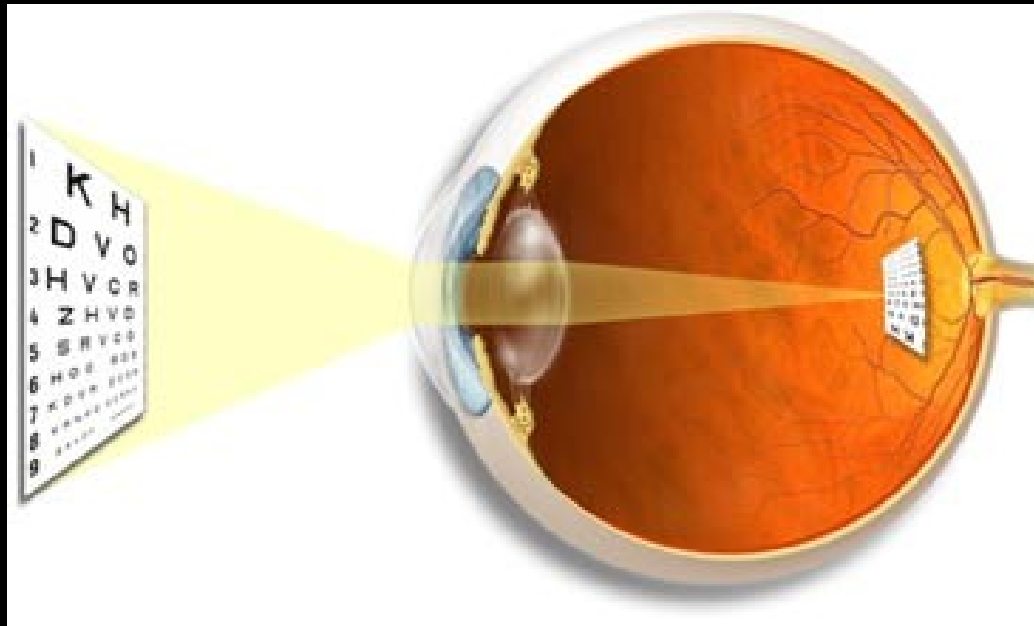
## *Απώτερο σημείο όρασης*

- Ακτινωτός μυς συσταλμένος → φακός κυρτός → εστίαση κοντά

## *Εγγύτερο σημείο όρασης*

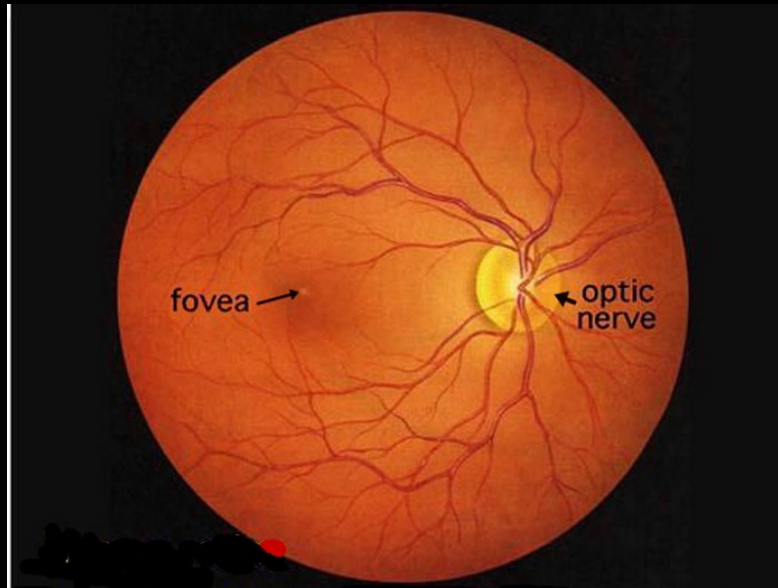


# Ο αμφιβληστροειδής – ο ανιχνευτής φωτός

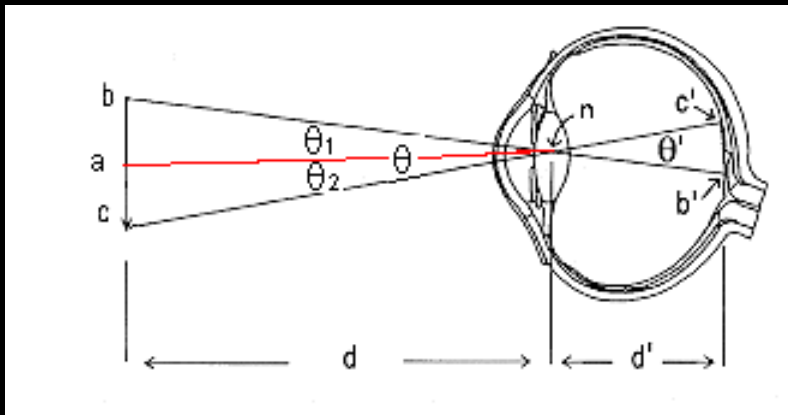




# Ο αμφιβληστροειδής



Εικόνα από οφθαλμοσκόπιο

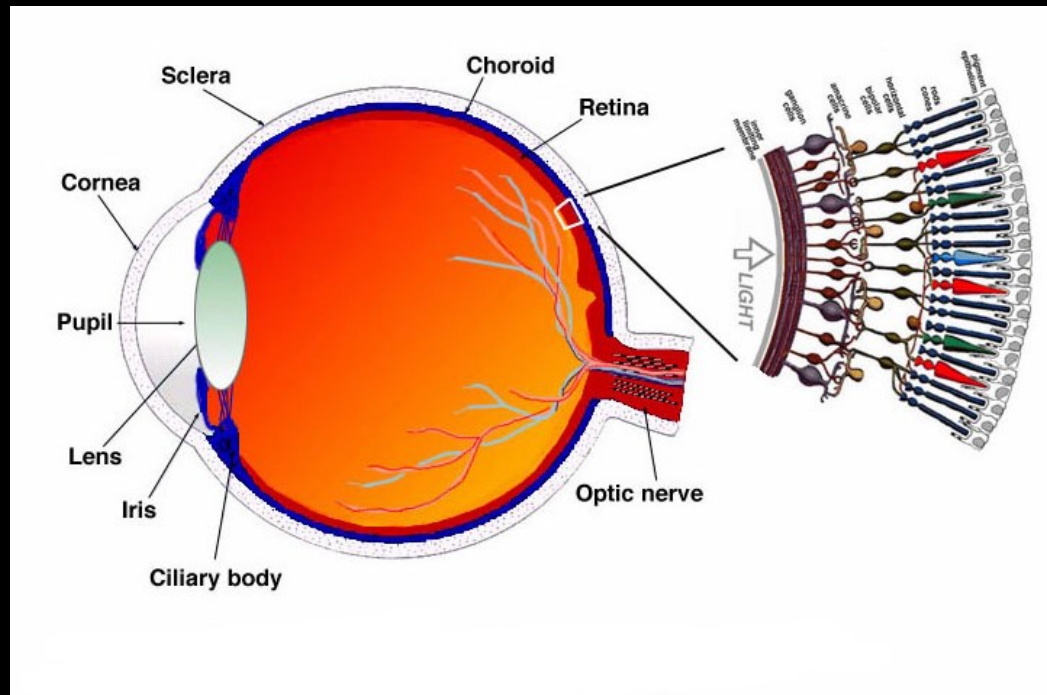


Οπτική γωνία

Μέγεθος ειδώλου

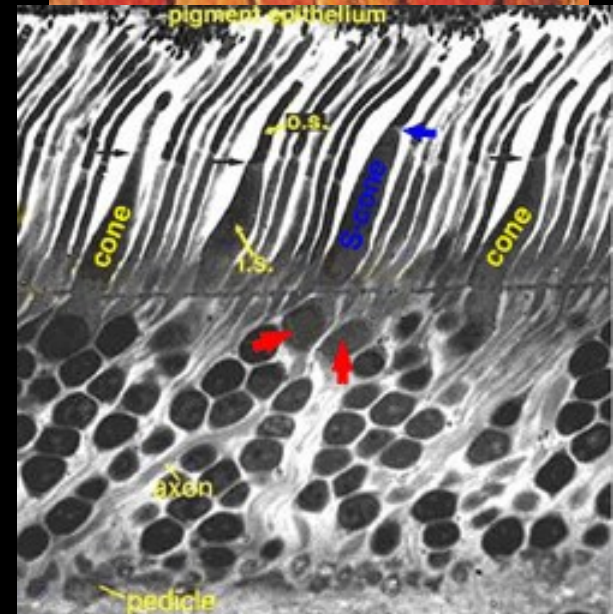
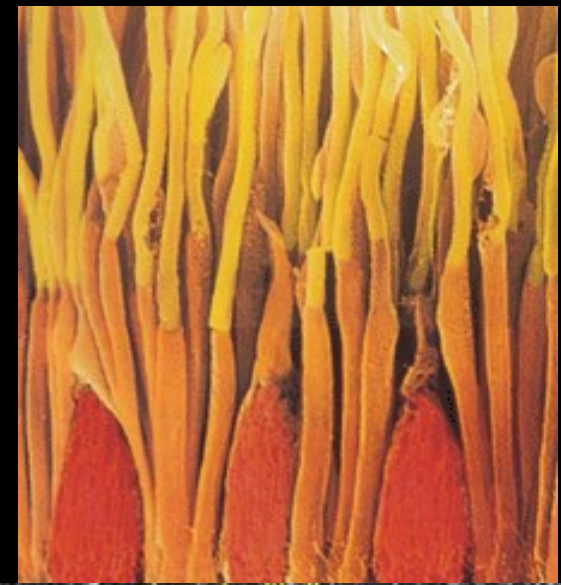
$$\frac{d}{a} = \frac{d'}{a'}$$

# Ο αμφιβληστροειδής



Αποτελείται από:

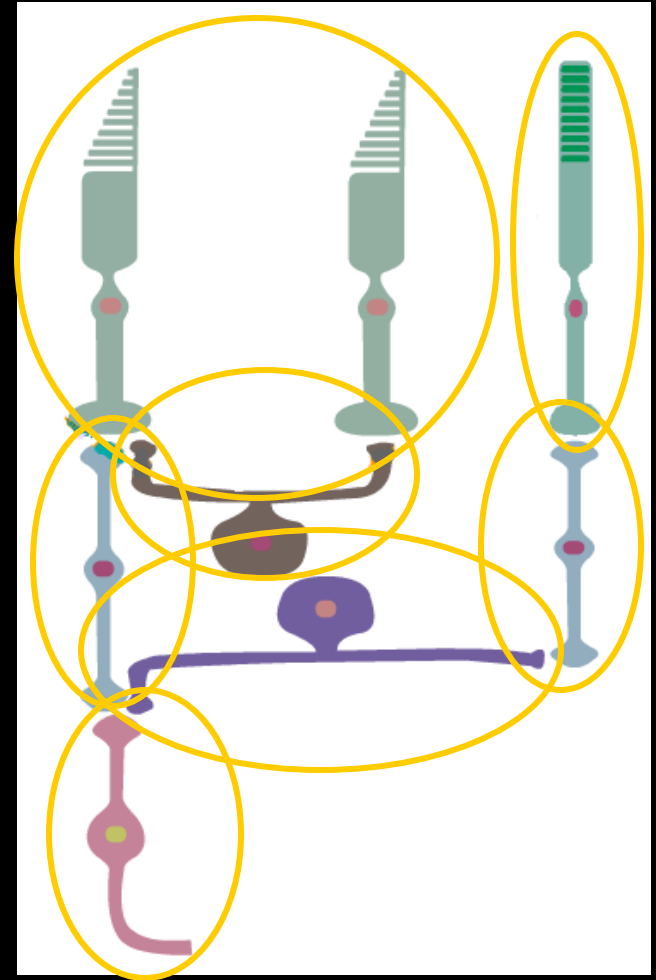
- **Κωνία**
- **Ραβδία**



# Ο αμφιβληστροειδής

## 5 τύποι κυττάρων

- Το φως ενεργοποιεί κωνία διαφορετικών χρωμάτων
- Τα ραβδία είναι ασπρόμαυρα
- Τα γάγγλια είναι η έξοδος του οφθαλμού
- Τα διπολικά κύτταρα ενώνουν τους υποδοχείς με τα γάγγλια
- Τα οριζόντια κύτταρα συνδυάζουν το σήμα από πολλούς κώνους και καθορίζουν πόσα γάγγλια θα χρησιμοποιηθούν
- Τα Amacrine κύτταρα κάνουν το ίδιο για τα ραβδία



# Ο αμφιβληστροειδής

## ***Κωνία***

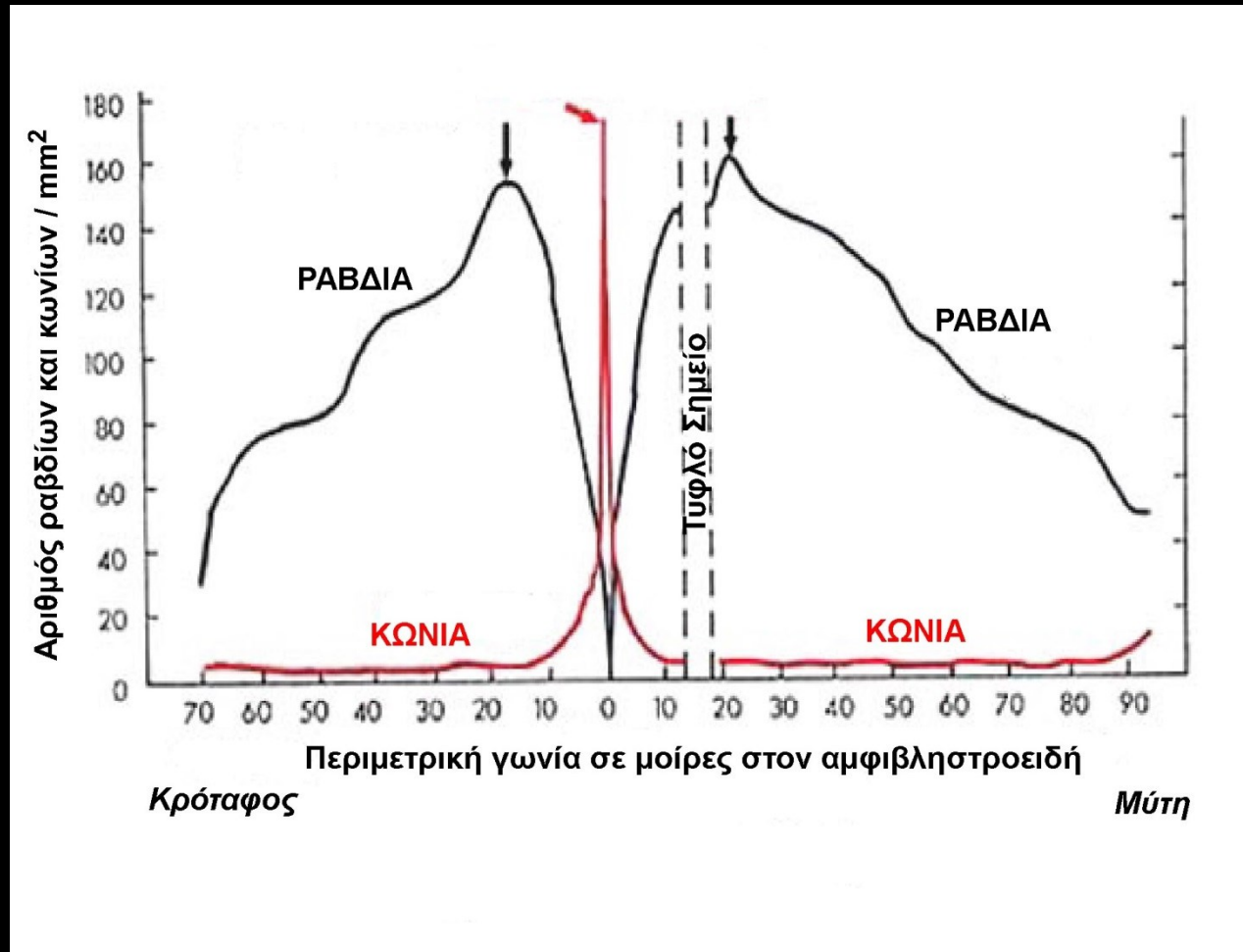
- Είναι περίπου 6.5 εκατομμύρια σε κάθε οφθαλμό
- Κάθε κωνίο έχει την δική του νευρική ίνα σύνδεσης με τον εγκέφαλο
- Λειτουργούν υπό το φως της ημέρας – *φωτοοπτική όραση*
- Με αυτά αναγνωρίζουμε λεπτομέρειες και χρώματα
- Βρίσκονται κυρίως στην περιοχή του κεντρικού βοθρίου αλλά μερικά είναι διασκορπισμένα και στον υπόλοιπο αμφιβληστροειδή

## ***Ραβδία***

- Είναι περίπου 120 εκατομμύρια σε κάθε οφθαλμό
- Λειτουργούν περισσότερο με λίγο φως – *νυχτερινή ή σκοτοοπτική όραση*
- Με αυτά έχουμε την περιφερειακή όραση
- Δεν μπορούν να ξεχωρίσουν χρώμα (ασπρόμαυρη εικόνα)
- Καλύπτουν τον μεγαλύτερο μέρος του αμφιβληστροειδή

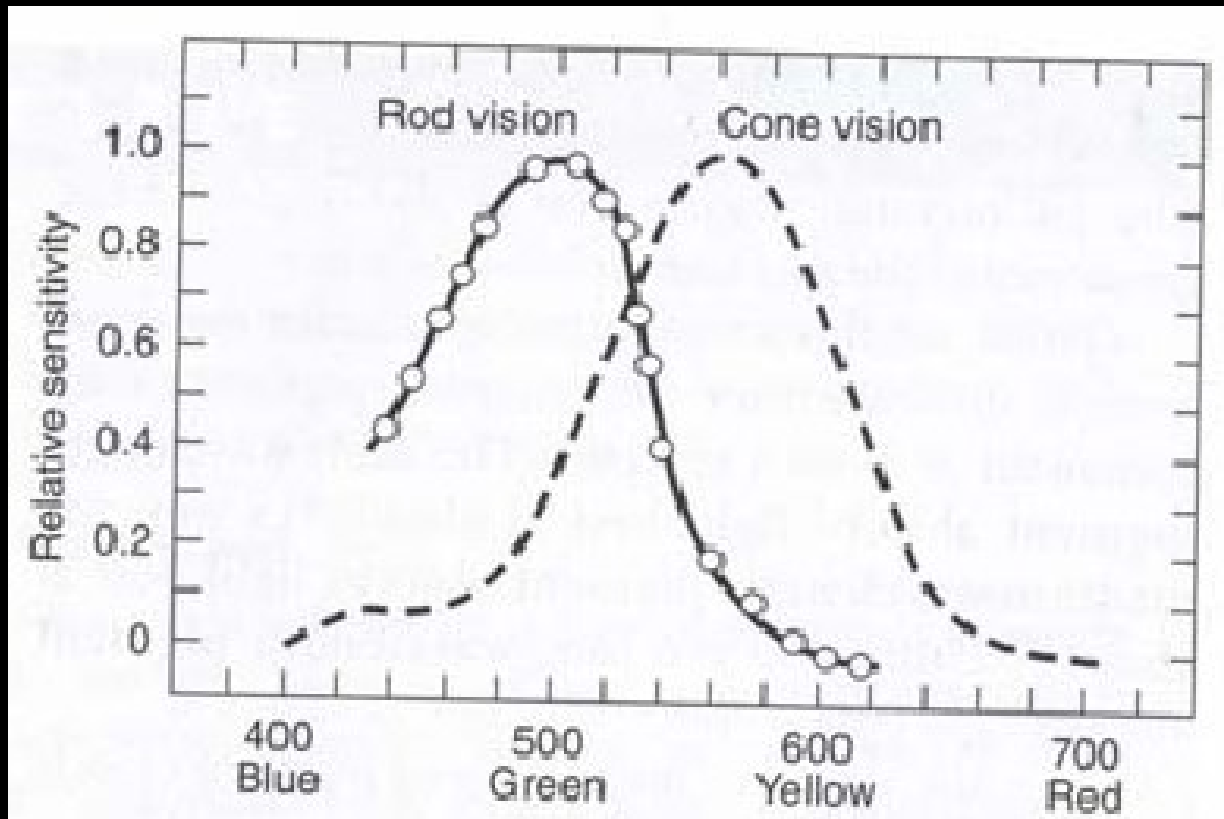
# Ο αμφιβληστροειδής

## Κατανομή κωνίων και ραβδίων στο χώρο



# Ο αμφιβληστροειδής

*Κατανομή κωνίων και ραβδίων συναρτήσει του μήκος κύματος*



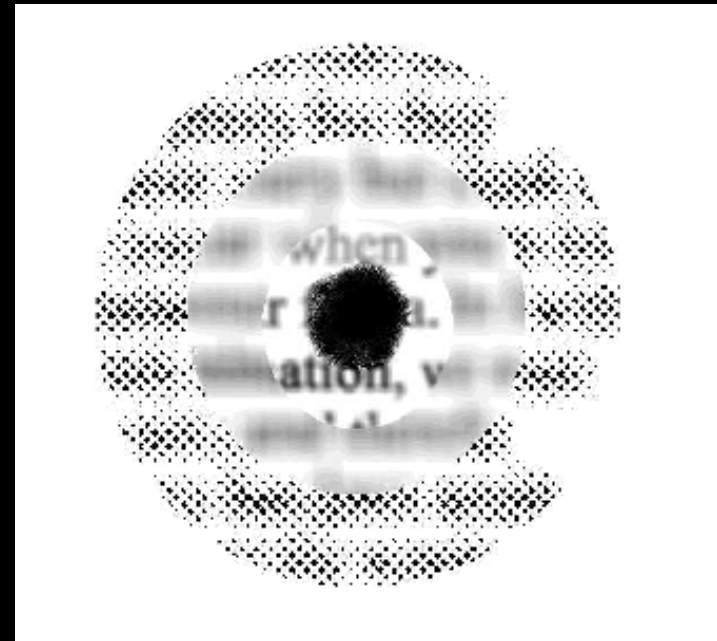


# Ο αμφιβληστροειδής

*Όραση την ημέρα και την νύχτα*



Με το φως της ημέρας μόνο το κεντρικό βοθρίο διακρίνει λεπτομέρειες και χρώμα



Την νύχτα υπάρχει μόνο περιφερειακή, ασπρόμαυρη όραση. Το κεντρικό βοθρίο είναι τυφλό

# Ο αμφιβληστροειδής

## Όραση την ημέρα και την νύχτα

✓ Τα περιφερειακά ραβδία έχουν μικρή πυκνότητα



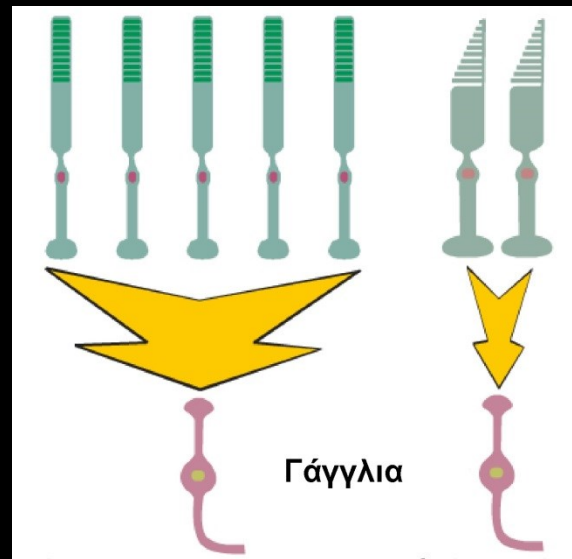
✓ Τα περιφερειακά ραβδία έχουν μεγάλη σύγκλιση



✓ Τα περιφερειακά ραβδία ολοκληρώνουν σε μία περιοχή 3 μοιρών



✓ **Μικρή διακριτική ικανότητα**



✓ Τα κωνία του βοθρίου έχουν μεγάλη πυκνότητα



✓ Τα κωνία του βοθρίου έχουν μικρή σύγκλιση



✓ Τα κωνία του βοθρίου ολοκληρώνουν σε μία περιοχή 0.03 μοιρών



✓ **Μεγάλη διακριτική ικανότητα**



# Ο αμφιβληστροειδής

Χρονική απόκριση κωνίων και ραβδίων συναρτήσει της έντασης

