

# ΥΛΗ που θα καλυφθεί στη διάρκεια του εξαμήνου

Φυσική και Βιολογία.  
Μεγέθη και συστήματα μονάδων.  
Γραφικές παραστάσεις φαινομένων.  
Δυνάμεις. Ροπές.  
Κλασσική φυσική, Νόμοι του Νεύτωνα.  
Ενέργεια.

Θερμότητα, ειδική θερμότητα, θερμοκρασία. Μετατροπές φάσεων.

Πίεση σε ρευστά, άνωση. Κίνηση σε ρευστό, ρευστοδυναμική (νόμοι συνεχείας και Bernoulli).

Ελαστικότητα.

Επιφανειακή τάση.

Αρμονική ταλάντωση. Κύματα.

Η φύση του φωτός. Διάθλαση. Φακοί και Είδωλα. Κυματικά φαινόμενα (περίθλαση, συμβολή πόλωση).

Ηλεκτροστατική. Ηλεκτρικά πεδία. Πυκνωτές.

Ηλεκτρικό ρεύμα. Νόμος του Ohm. Αντίσταση. Το ποτενσιόμετρο.

Ηλεκτρικό ρεύμα και μαγνητικό πεδίο.

Εναλλασσόμενο ρεύμα.

Ανορθωτές και δίοδοι.

Μετρητές ηλεκτρικών ποσοτήτων.

Εκπομπή ηλεκτρονίων.

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Κίνηση φορτίων σε μαγνητικό πεδίο. Κύκλωτρο. Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο.

Ατομικό υπόδειγμα του Bohr. Στοιχεία μοντέρνας (κβαντικής) φυσικής.

Ραδιενεργοί πυρήνες, ραδιενέργεια.

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ



# ΦΩΣ – ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ →

## Κύμα

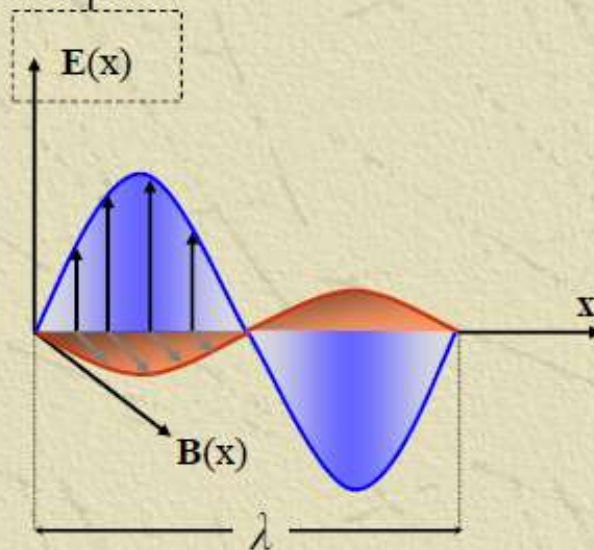
Ηλεκτρικό πεδίο

Μαγνητικό πεδίο

[ταξιδεύουν στο κενό και όλα με την ίδια ταχύτητα, είναι εγκάρσια]

$$E(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t) = E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - 2\pi f t\right)$$

[μέτρο]

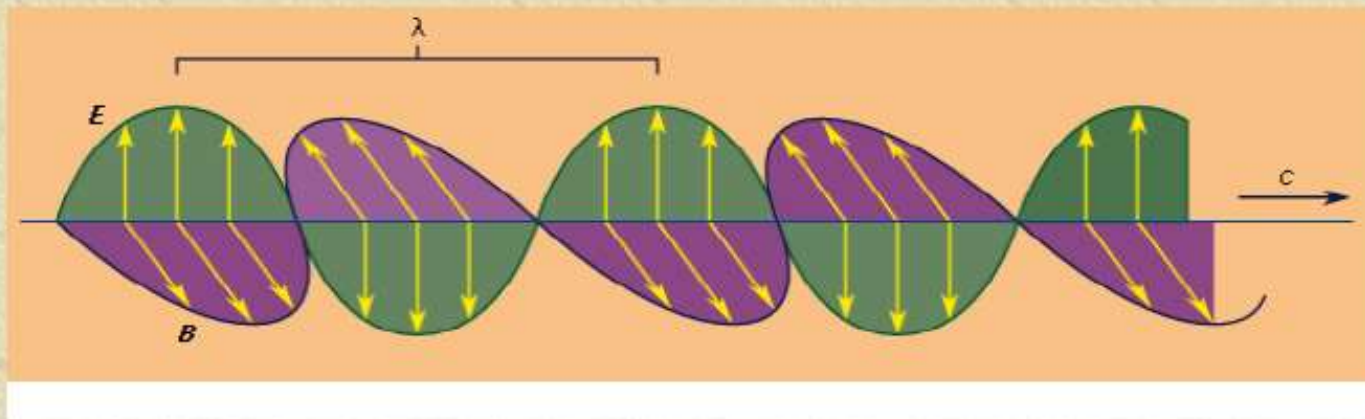


Βασικά χαρακτηριστικά της Η/Μ ακτινοβολίας

- ✦ Μήκος κύματος  $\lambda$  (nm)
- ✦ Συχνότητα  $f$  (THz)  
 $c = \lambda f = 300000 \text{ Km/s}$
- ✦ Ένταση  $I \sim E^2$  ( $\text{W/m}^2$ )
- ✦ Πόλωση

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ ΦΩΣ

- Η ΗΜ ακτινοβολία (φως) αποτελείται από δύο πεδία τα οποία κυμαίνονται αρμονικά: το ηλεκτρικό **E** και το μαγνητικό **B**
- Τα πεδία αυτά είναι ικανά να ασκήσουν δυνάμεις σε φορτισμένα σωματίδια
  - Το φως μπορεί να περιγραφεί πως αποτελείται από ένα σύνολο στοιχειωδών κυμάνσεων τα οποία ονομάζονται φωτόνια το καθένα από τα οποία κινείται με την ταχύτητα  $c$  και κουβαλάει ενέργεια  $E$ . Τα δύο πεδία **E** και **B** είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του φωτός και είναι συμφασικά.



# Κβαντική προσέγγιση - Φωτόνια

✱ Η **ενέργεια** ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι πολλαπλάσιο μιας **στοιχειώδους** ποσότητας  $E_f$

✱ Όλες οι ανταλλαγές ενέργειας πραγματοποιούνται με δημιουργία ή καταστροφή αυτών των στοιχειωδών κυμάτων → **φωτόνια**



$$E_f = h f$$

$$(h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js})$$

Αφού  $f \sim 1/\lambda$

$$[k = 1/\lambda]$$

$$f \uparrow \Rightarrow E_f \uparrow$$

$$\lambda \uparrow \Rightarrow E_f \downarrow$$

$$k \uparrow \Rightarrow E_f \uparrow$$

$$1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \ \& \ \rightarrow \sim 1250\text{nm} \ \text{ή} \ 8000\text{cm}^{-1}$$

# Τι είναι το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα?

---

- Όλοι είμαστε εξοικειωμένοι με το ΦΩΣ
- Το φως είναι μέρος του ΗΜ φάσματος.  
Είναι ΗΜ κύμα
- Υπάρχει ένας αριθμός από διαφορετικά είδη ΗΜ κυμάτων
- Το ΗΜ φάσμα είναι ένας τρόπος για να κατηγοριοποιήσουμε όλα τα είδη των κυμάτων ανάλογα με το μήκος κύματός ΤΟΥΣ



# Ραδιοκύματα

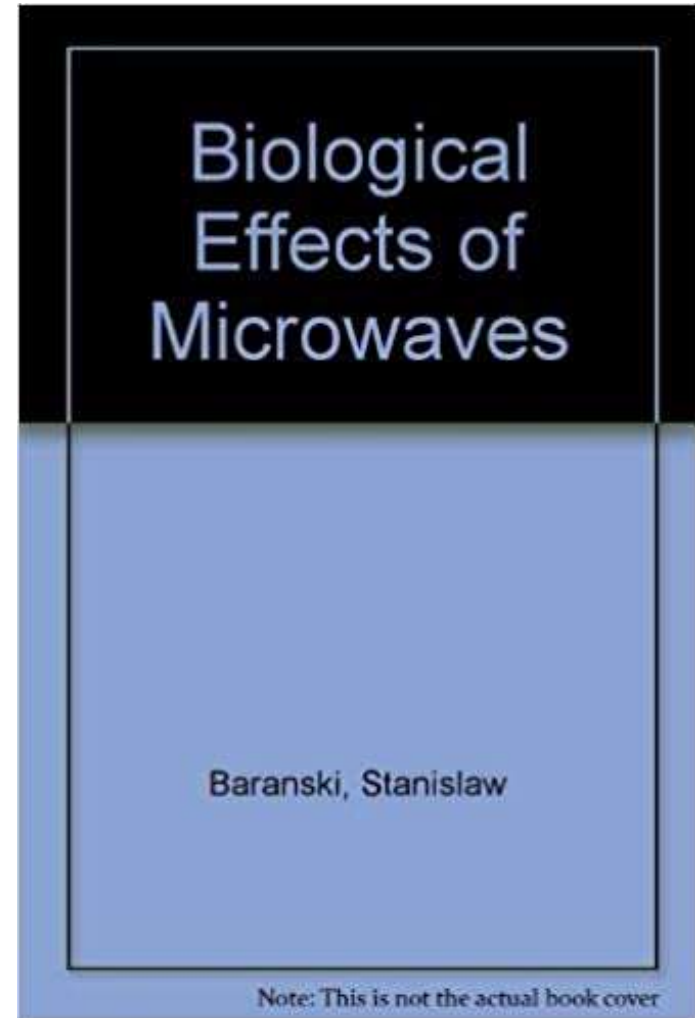
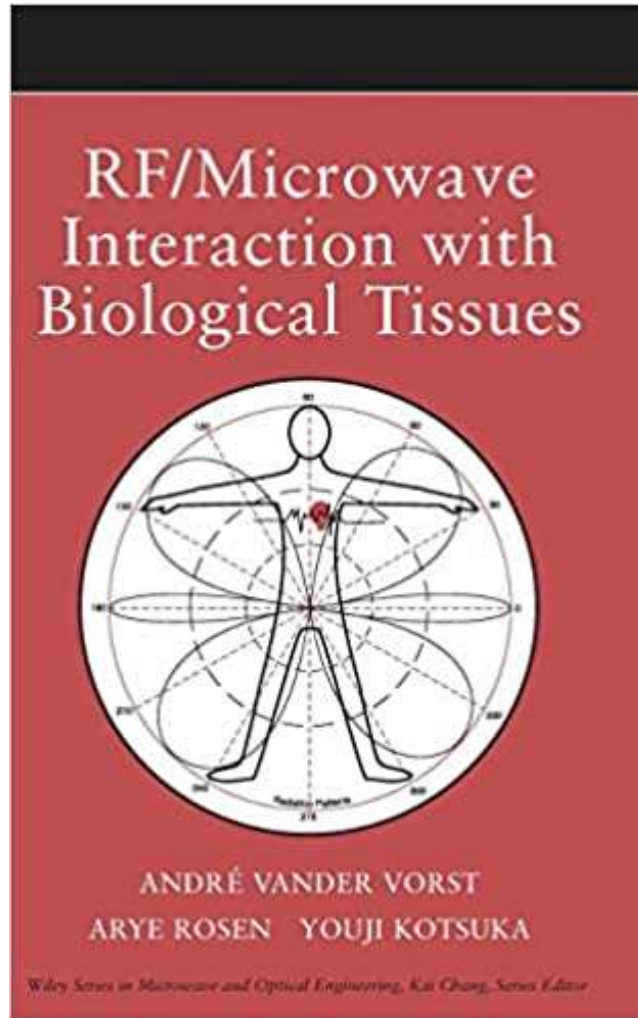
- Δημιουργούνται από ταλαντώσεις ηλεκτρονίων σε αγωγούς
- Πολύ μεγάλο μήκος κύματος (μερικά Km έως και μερικά cm) - χαμηλές συχνότητες - επομένως είναι κύματα χαμηλής ενέργειας
  - Χρησιμοποιούνται για αναμετάδοση ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σημάτων
  - Ταξιδεύουν σε ευθεία και μπορούν να ανακλαστούν από τα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας (μπορούν να ταξιδέψουν σε διάφορα μέρη του κόσμου)





# RADIO FREQUENCY AND MICROWAVE EFFECTS ON BIOLOGICAL TISSUES

Jitendra Behari

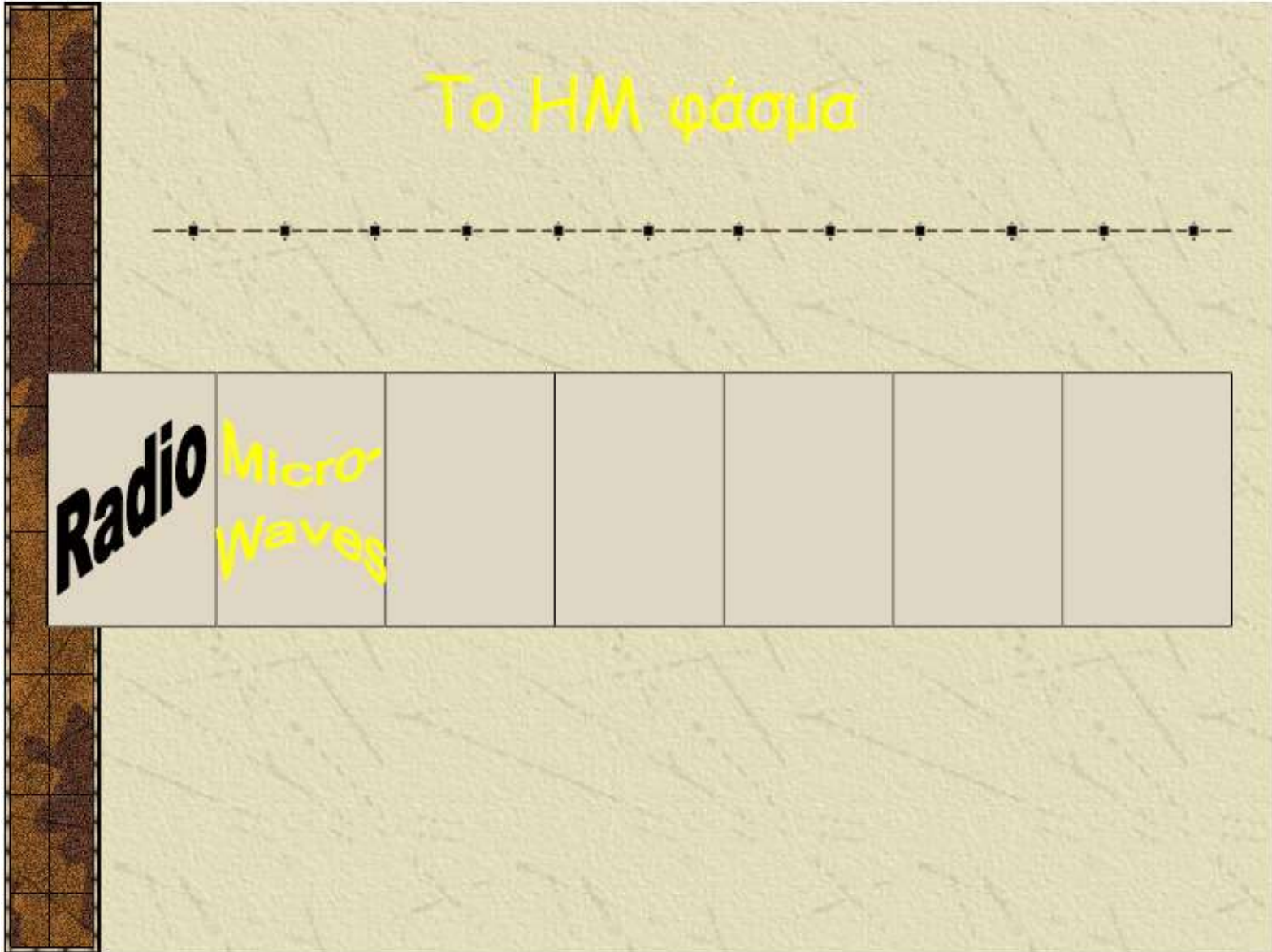


# Το ΗΜ φάσμα



**Radio**

Micro  
Waves



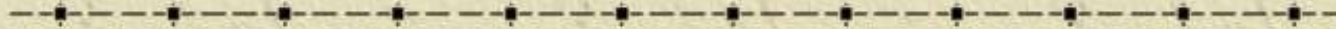
# ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

- Μήκος κύματος από μερικά cm έως και  $0.0001\text{m}$  ( $10^{-4}\text{m}$ )
- Χρησιμοποιούνται για μαγείρεμα φαγητού
- Απορροφούνται από μόρια νερού, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα το φαγητό να ζεσταίνεται πολύ γρήγορα
- Έχουν διεισδυτικότητα μερικών cm οπότε η θερμότητα σε βαθύτερα στρώματα μεταφέρεται με επαφή

# ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

- Τα μικροκύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις τηλεπικοινωνίες
- Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν μικροκύματα
- Χρησιμοποιούνται ακόμα στις τηλεπικοινωνίες με δορυφόρους επειδή μπορούν να διαπερνούν τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας
- Δε διασπείρονται οπότε μπορούν εύκολα να συλληχθούν με κεραία - πιάτο

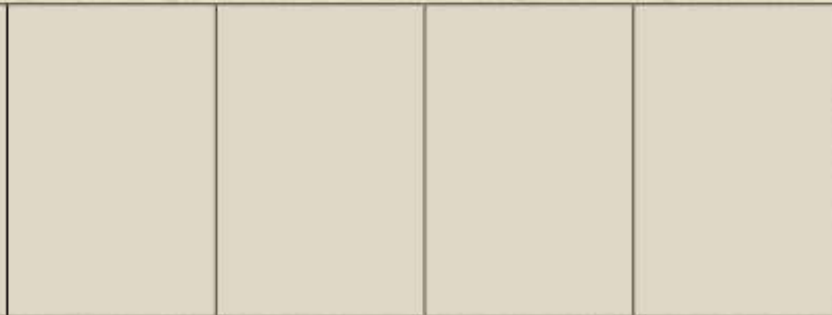
# Το ΗΜ φάσμα



**Radio**

Micro  
Waves

Infra  
Red



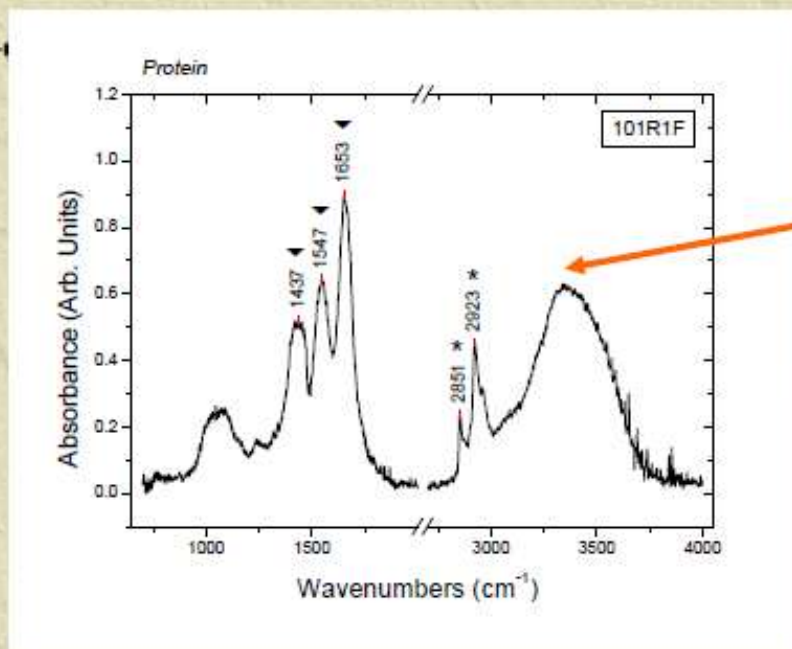
# Υπέρυθρο

- Μήκος κύματος από mm έως και  $0.000001\text{m}$  ( $10^{-6}\text{m}$ ).
- Η πιο γνωστή εφαρμογή είναι στο μαγείρεμα και στη θέρμανση (Ηλεκτρικές αντιστάσεις μαγειρέματος και θέρμανσης)
  - Η υπέρυθρη ακτινοβολία απορροφάται εύκολα από τις επιφάνειες των περισσοτέρων αντικειμένων ζεσταίνοντάς τα. Η θερμότητα στη συνέχεια μεταδίδεται με επαφή.

# Υπέρυθρο

- Όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν στο υπέρυθρο
- Αυτό επιτρέπει σε κάμερες να χρησιμοποιούν IR αντί του ορατού για νυχτερινές λήψεις
  - Χρησιμοποιούνται επίσης στις κάμερες θερμικής απεικόνισης (ανεύρεση ανθρώπων θαμμένων σε χαλάσματα σεισμών)
- Χρησιμοποιούνται και στα τηλεχειριστήρια

Ταυτοποίηση οργανικών ουσιών – συνδετικά μέσα(και  
ανόργανες χρωστικές ή κονιάματα σε ζωγραφικούς πίνακες -  
**FTIR**



Vis

Η τεχνική χρησιμοποιεί πολυχρωματική ακτινοβολία συνήθως στην περιοχή 2.5-25μm (μέσο υπέρυθρο) η οποία αλληλεπιδρά με το υλικό προς μελέτη. Η συλλεγόμενη ακτινοβολία μετά την αλληλεπίδραση, κουβαλάει πληροφορία η οποία είναι άμεσα σχετιζόμενη με συγκεκριμένα χημικά ήδη που υπάρχουν στο υλικό και οδηγεί στην ταυτοποίησή τους



## Υπέρυθρη ανακλαστογραφία

Vis



IR



Vis

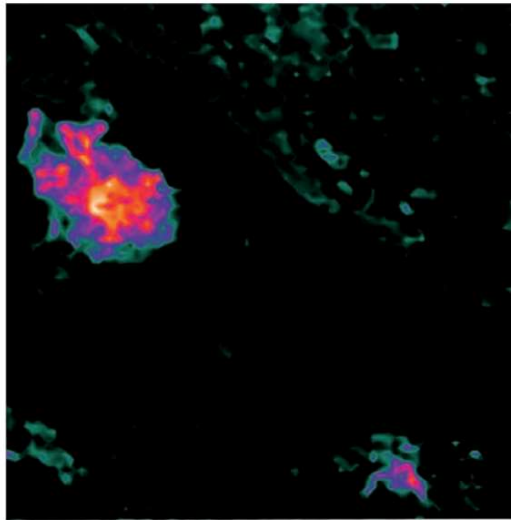


IR

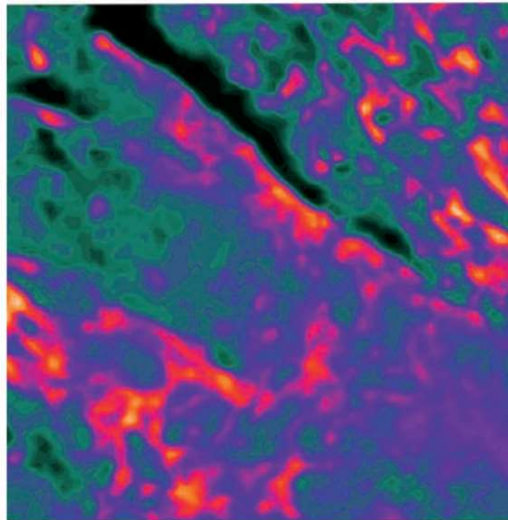


Χρησιμοποιεί ακτινοβολία στο κοντινό υπέρυθρο 1-2 $\mu$ m η οποία «φωτίζει» το έργο. Κατάλληλος ανιχνευτής, ευαίσθητος στα αντίστοιχα μήκη κύματος «φωτογραφίζει» το έργο

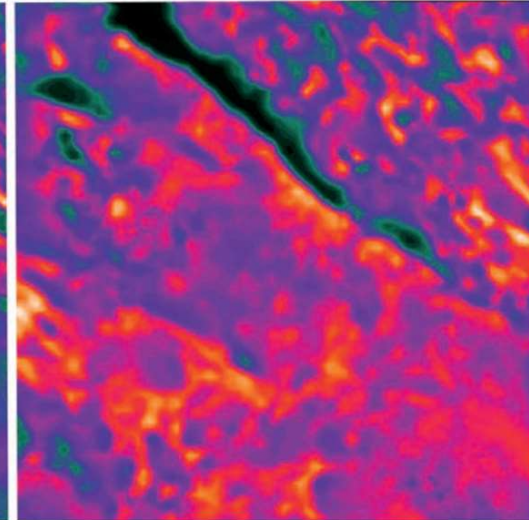
Life-Science Research Applications  
**FT-IR Imaging of Cancerous Tissue**



**Cancerous**

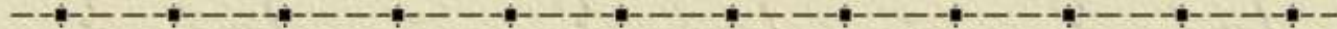


**Collagens**



**Proteins**

# Το ΗΜ φάσμα

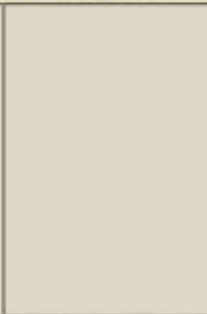


**Radio**

Micro-  
Waves

Infra  
Red

Visible



# ΟΡΑΤΟ ΦΩΣ

- Το ΗΜ κύμα με το οποίο είμαστε περισσότερο εξοικειωμένοι
- Διαφορετικά χρώματα έχουν διαφορετικό μήκος κύματος, από το κόκκινο (μεγαλύτερο) στο ιώδες (μικρότερο)

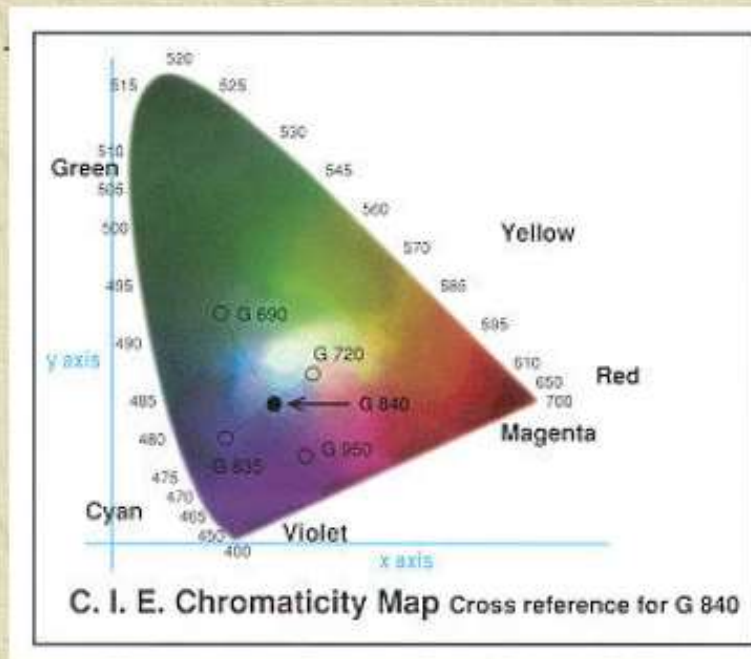
# ΤΟ ΟΡΑΤΟ ΦΑΣΜΑ

Το σύνολο του φάσματος είναι:

- **RED (630-700nm)**
- **ORANGE (590-630nm)**
- **YELLOW (560-590nm)**
- **GREEN (490-560nm)**

- **BLUE (440-490)**
- **VIOLET (400-440nm)**

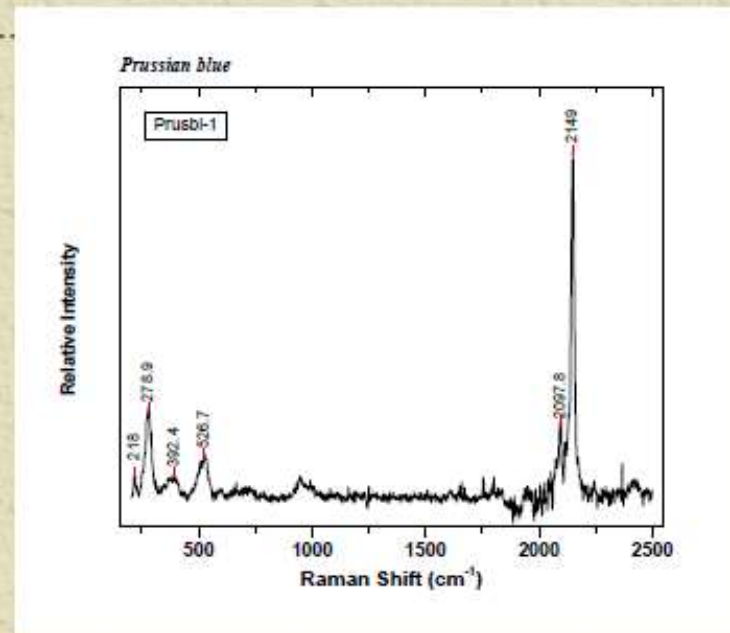
## Colourimetry – Visible spectroscopy



Η τεχνική χρησιμοποιεί πολυχρωματική ακτινοβολία στο ορατό η οποία αλληλεπιδρά με το υλικό προς μελέτη. Η συλλεγόμενη ακτινοβολία μετά την αλληλεπίδραση, κουβαλάει πληροφορία η οποία σχετίζεται με το υλικό και συμβάλει στην ποσοτικοποίηση του αισθητικού αποτελέσματος.

## Ταυτοποίηση Χρωστικών – Φασματοσκοπία Raman

Μπλε της Πρωσίας  
όπως ταυτοποιείται  
από τεχνική  
φασματοσκοπίας  
Raman



Η τεχνική χρησιμοποιεί μονοχρωματική ακτινοβολία η οποία αλληλεπιδρά με το υλικό προς μελέτη. Η συλλεγόμενη ακτινοβολία μετά την αλληλεπίδραση, κουβαλάει πληροφορία η οποία είναι άμεσα σχετιζόμενη με συγκεκριμένα χημικά ήδη που υπάρχουν στο υλικό και οδηγεί στην ταυτοποίησή τους (συμπληρωματική της FTIR)

# Φωτογράφιση στο ορατό

Vis



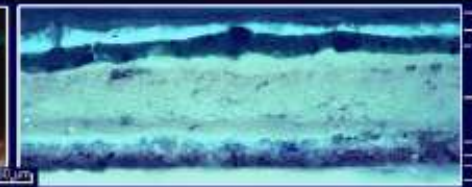
IR



Vis

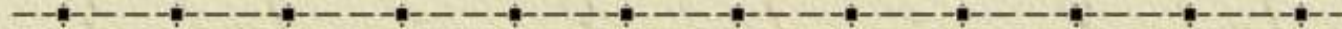


IR





# ΤΟ ΗΜ ΦΑΣΜΑ



<b>Radio</b>	Micro- Waves	Infra Red	Visible	Ultra Violet		
--------------	-----------------	--------------	---------	-----------------	--	--

# ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ

- Μικρότερο μήκος κύματος,  $0.000001\text{m}$  ( $10^{-6}\text{m}$ ) έως  $0.000000001\text{m}$  ( $10^{-9}\text{m}$ ), υψηλότερη συχνότητα
- Κουβαλάν μεγαλύτερη ενέργεια και διεισδύουν τα επιφανειακά στρώματα του δέρματος επηρεάζοντας τα εσωτερικά
- Αυτό μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα ακόμα και καρκίνο του δέρματος για εκθέσεις σε μεγάλο χρονικό διάστημα
- Τα μάτια μας είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στο UV (γυαλιά ηλίου)
- Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας UV του ήλιου φιλτράρεται από το στρώμα όζοντος

# Υπεριώδες

- Η ακτινοβολία UV μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποστείρωση (βακτηρίδια μπορούν να εξολοθρευτούν με UV)
- UV χρησιμοποιείται ακόμη για έλεγχο γνησιότητας σε χαρτονομίσματα
- UV χρησιμοποιείται επίσης στα κέντρα διασκέδασης (κάνουν τα λευκά ρούχα να φαίνονται πιο έντονα)

## UV - Fluorescence

Η τεχνική χρησιμοποιεί υπεριώδη πολυχρωματική ακτινοβολία η οποία αλληλεπιδρά με το υλικό προς μελέτη. Μετά την αλληλεπίδραση όσα υλικά φθορίζουν εκπέμπουν στο ορατό.

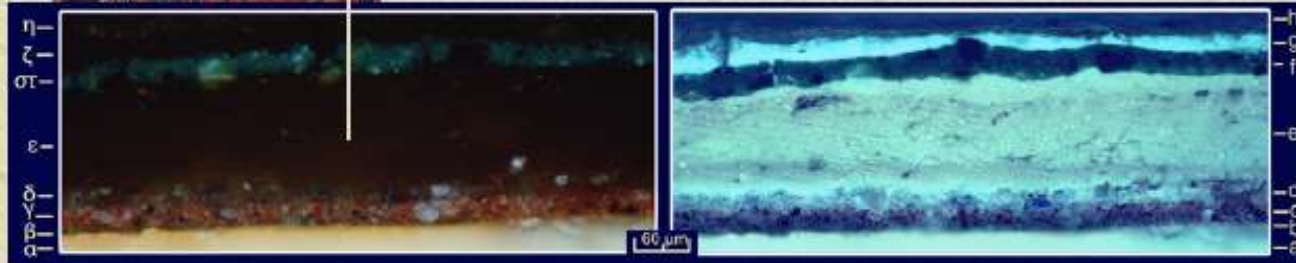
Vis

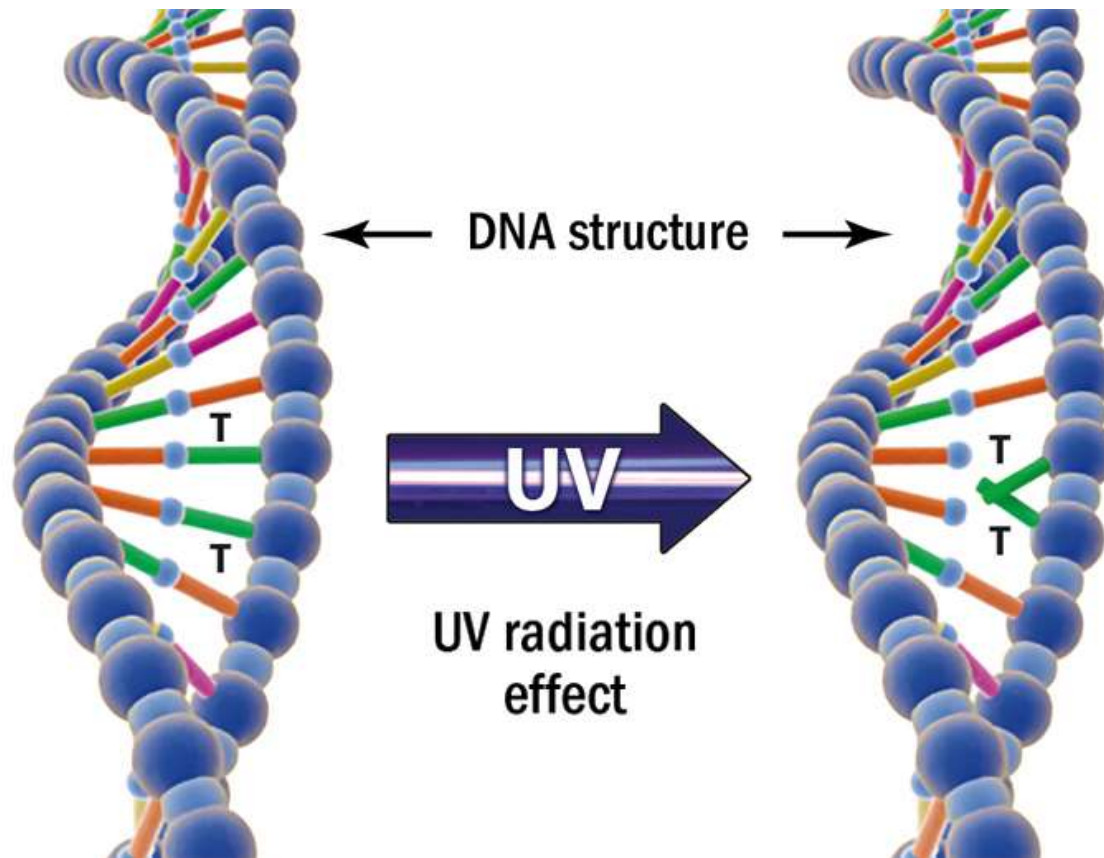


UV

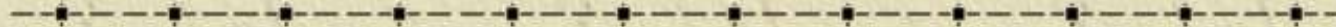


Vis





# Το ΗΜ φάσμα



<b>Radio</b>	Micro- Waves	Infra Red	Visible	Ultra Violet	X-Rays	
--------------	-----------------	--------------	---------	-----------------	--------	--

# X-RAYS

- Ανακαλύφθηκαν τυχαία από τον Wilhelm Röntgen το 1895
- Πολύ μικρό μήκος κύματος (0.00000001m έως 0.0000000000001m ή  $10^{-8}$  έως  $10^{-12}$ ) – πολύ υψηλές συχνότητες
  - Υψηλής ενέργειας – μπορούν να διαπεράσουν το σώμα μας
- Παράγονται αν βομβαρδίσουμε με ηλεκτρόνια ένα μεταλλικό στόχο

# X-Rays

- Η ικανότητα να διαπερνούν ιστούς δέρματος αλλά όχι τα κόκαλα τις καθιστούν ιδανικές για ακτινογραφίες
- Μπλοκάρονται τελείως από μέταλλα – χρησιμοποιούνται σε ανιχνευτές μετάλλων (ασφάλεια αεροδρομίων κλπ)



# X-RAYS

- Επειδή είναι πολύ ενεργητικές μπορούν εύκολα να βλάψουν ή να καταστρέψουν κύτταρα
- Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καρκίνο αν η έκθεση δεν είναι ελεγχόμενη
  - Στα νοσοκομεία χρησιμοποιούνται πολύ μικρές δόσεις οι οποίες είναι ακίνδυνες. Ο χρήστης όμως του μηχανήματος θα πρέπει να στέκεται πίσω από μολύβδινο πέτασμα για να μην εκτίθεται στις ακτίνες για μεγάλο χρονικό διάστημα
- Οι X-rays χρησιμοποιούνται επίσης σαν αγωγή κατά του καρκίνου σκοτώνοντας τα καρκινικά κύτταρα

# X-Ray Radiography

UV



Vis



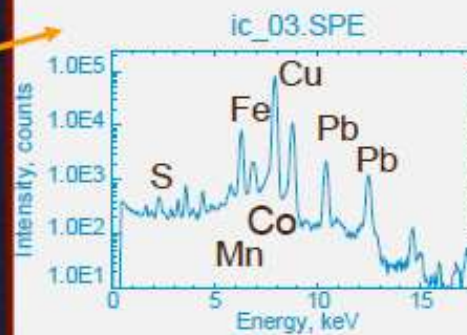
X-Ray



IR

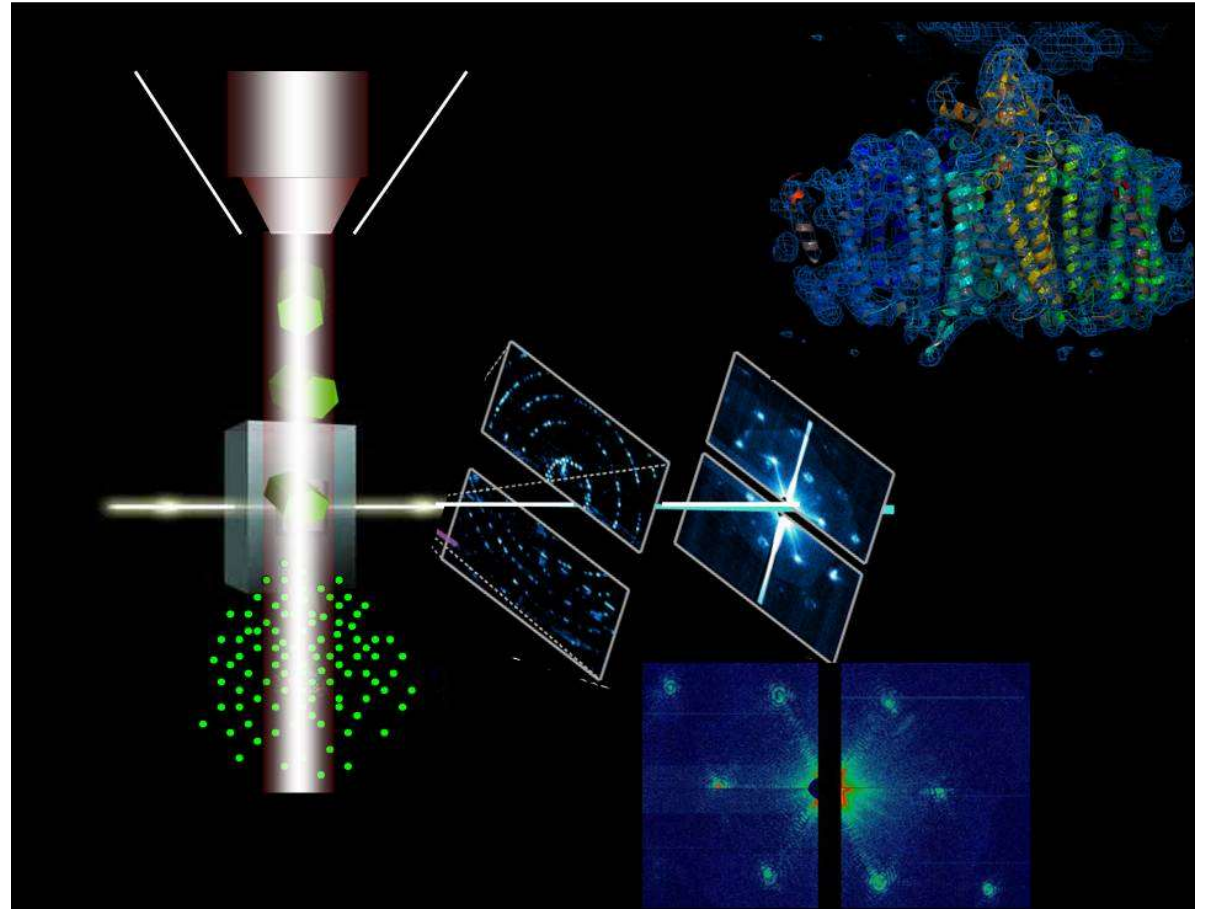


## Blue pigment [Blue background]

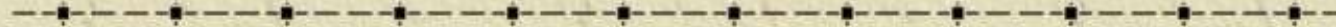


Στοιχειακή ανάλυση  
XRF – EDS analysis

Επίσης  
Περίθλαση ακτίνων-Χ → XRD



# Το ΗΜ φάσμα



**Radio**

Micro-  
Waves

Infra  
Red

Visible

Ultra  
Violet

X-Rays

Gamma  
Rays

# Ακτίνες $\gamma$

- 
- Τρομερά μικρό μήκος κύματος  
(0.0000000001 έως 0.0000000000000000001m  
ή  $10^{-10}$  έως  $10^{-15}$ m)
  - Τρομερά υψηλές συχνότητες, επομένως  
κουβαλάν μεγάλα ποσά ενέργειας.
  - Προέρχονται από πυρήνες ασταθών  
ατόμων

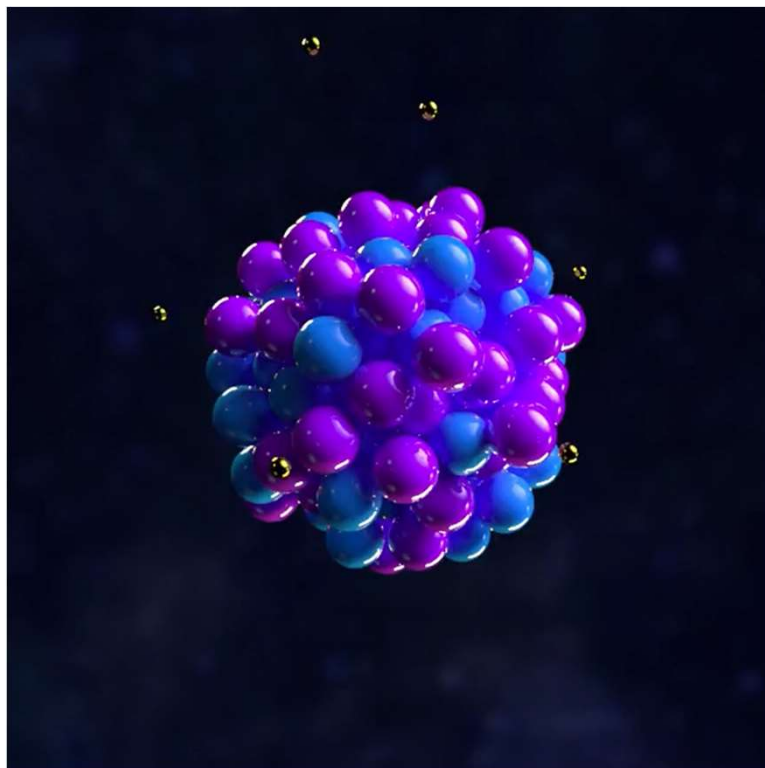
# ΑΚΤΙΝΕΣ $\gamma$

- Πολύ επικίνδυνες στους ζωντανούς οργανισμούς – μπορούν πολύ εύκολα να σκοτώσουν ή να βλάψουν κύτταρα και να οδηγήσουν σε καρκίνο
  - Χρησιμοποιούνται για να αποστειρώσουν υλικό που χρησιμοποιείται σε νοσοκομεία – τα βακτηρίδια σκοτώνονται ακαριαία

# ΑΚΤΙΝΕΣ $\gamma$

- Χρησιμοποιούνται σαν αγωγή σε καρκινοπαθείς
- Είναι πιο αποτελεσματικές από τις ακτίνες-Χ αφού κουβαλάν μεγαλύτερη ενέργεια
- Πρέπει όμως η εστίαση των ακτίνων  $\gamma$  να είναι ελεγχόμενη για να μη καταστραφούν υγιή κύτταρα
- Ραδιοχρονολόνηση με  $C^{14}$





Ολόκληρο το ΗΜ φάσμα



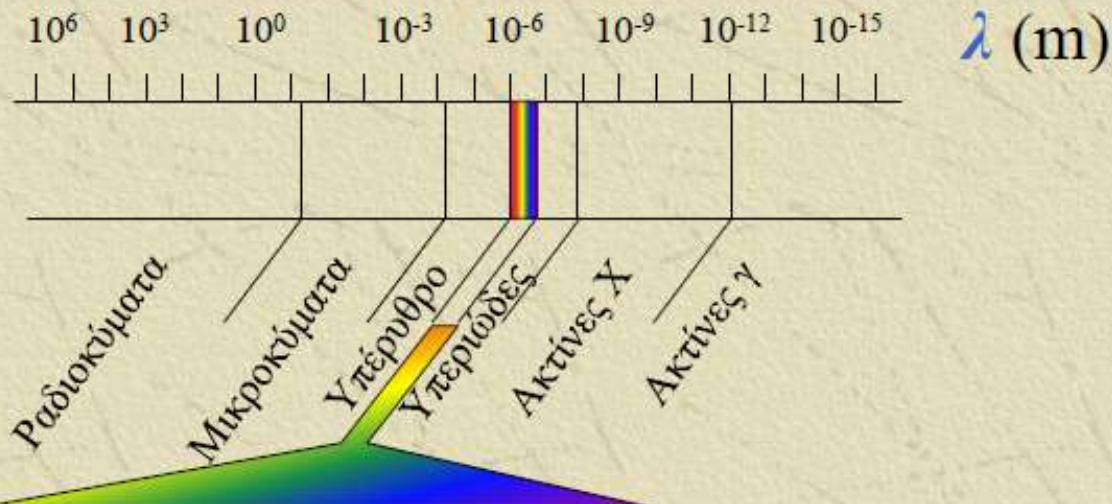
# ΣΗΜΕΙΩΝΟΥΜΕ ΠΩΣ

---

- I. Όλα τα ΗΜ κύματα ταξιδεύουν με την ίδια ταχύτητα στο κενό
- II. Διαφορετικά τμήματα του φάσματος έχουν διαφορετικές ιδιότητες
- III. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα μιας ΗΜ ακτινοβολίας τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργειά της

# Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

—•— ένας τρόπος ταξινόμησης των διαφόρων ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών —•—  
ανάλογα με το μήκος κύματος που διαθέτουν



Ρα	Μμ	Υπ	Ορατό	
Χρ	Χα <sub>1</sub>	Χα <sub>2</sub>	Χαρακτηριστικά: 0.45μm → 0.8μm, χρώματα	ψηλής ενέργειας
Πρ	Χρι	Βάτ	Κόκκινο μεγαλύτερο λ, ιώδες μικρότερο λ	γών ατόμων
Χρ	δορ	Χρησιμοπ	Χρη	ηλ Χρησιμοποιούνται: αποστείρωση νοσοκομειακών χώρων,
	Βάτ	IR κάμερες, τηλ	Χρ	αντιμετώπιση καρκίνου (επικίνδυνες για κάθε είδους ζωντανό κα οργανισμό)

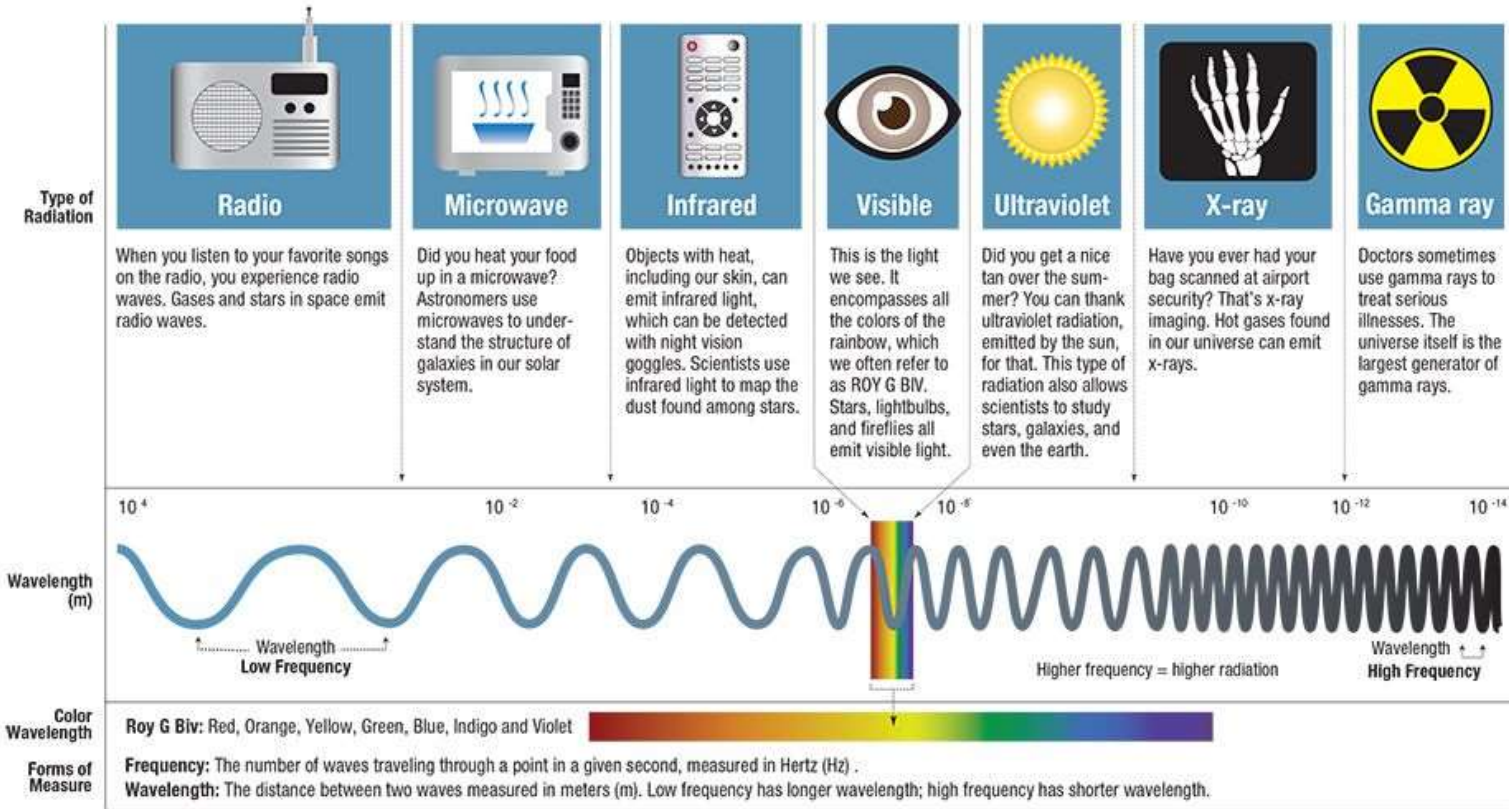
# What Is the Electromagnetic Spectrum?

The electromagnetic spectrum is a range of electromagnetic radiation. Radiation is energy that moves in the form of waves and can travel through a medium, such as air, water, or empty space.

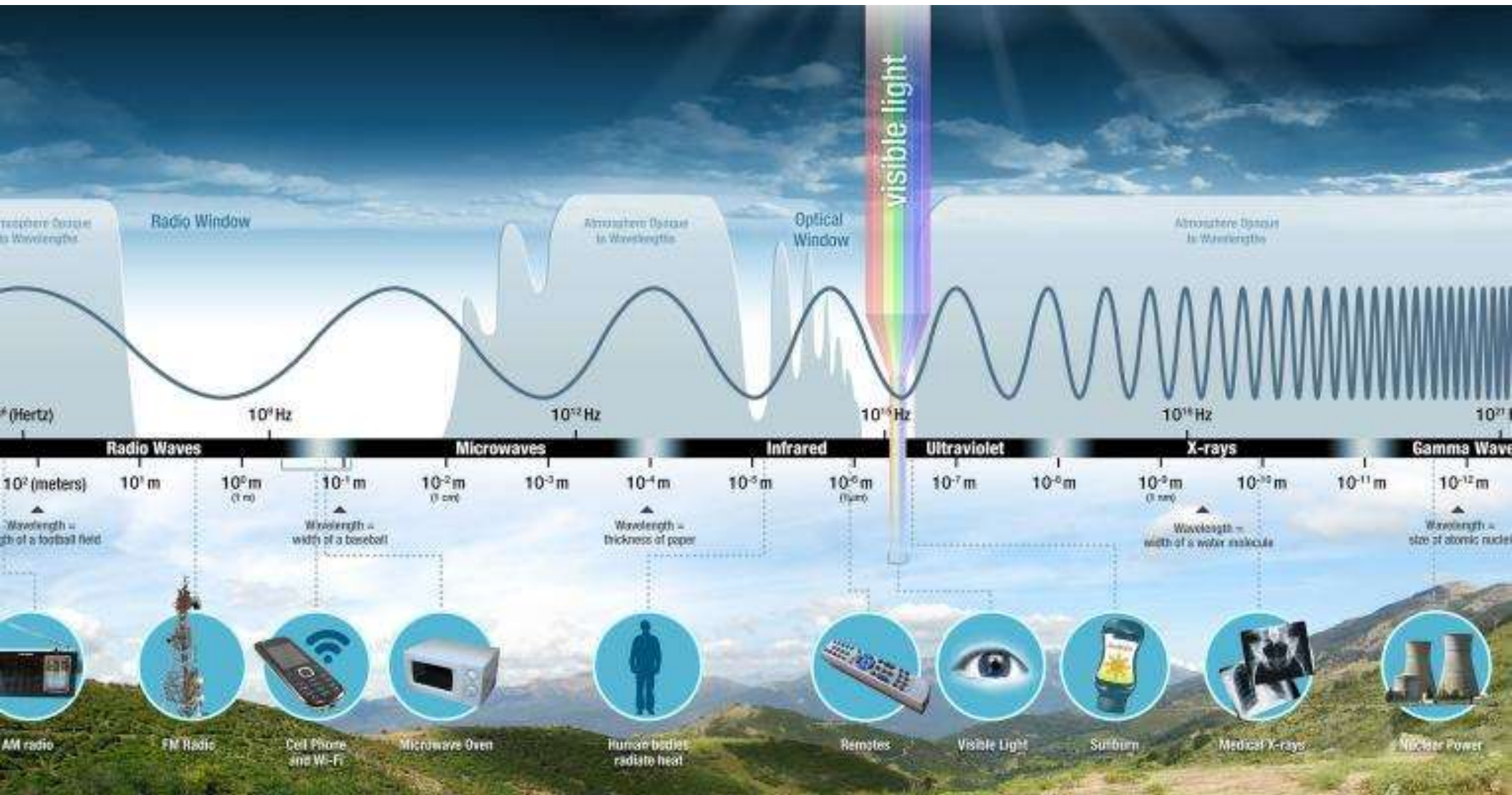
You're probably more familiar with the electromagnetic spectrum than you realize. In fact, you encounter it regularly every day.

## Did you know?

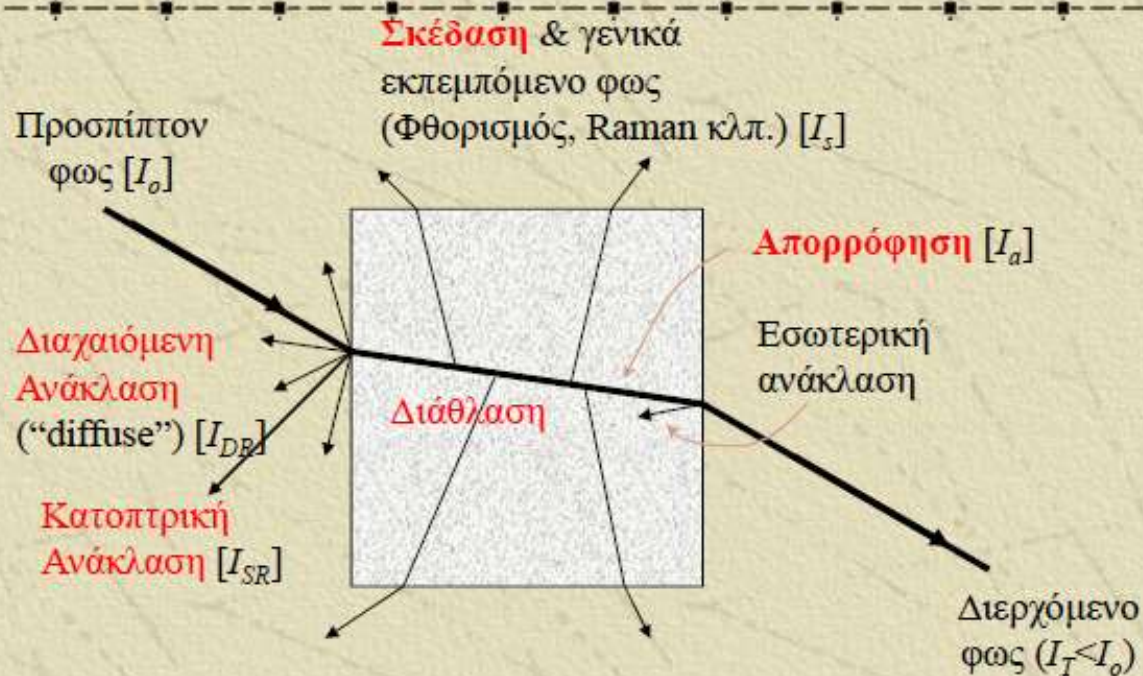
We can't see most of the EM radiation around us. Visible light represents just a small fraction of the entire EM spectrum.



Sources: NASA. "The Electromagnetic Spectrum." Last modified March 2013. <http://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>.  
The Physics Classroom. "What is a Wave?" <http://www.physicsclassroom.com/class/waves/Lesson-1/What-is-a-Wave>.



# ΒΑΣΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΦΩΤΟΣ – ΥΛΗΣ



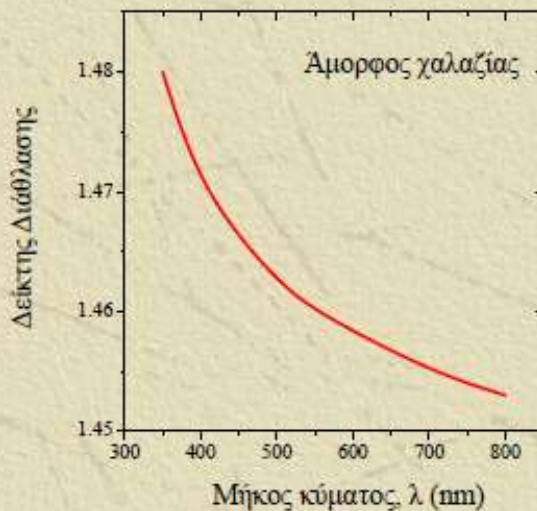
$$I_o = I_s + I_{DR} + I_{SR} + I_a + I_T$$

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

**Δείκτης Διάθλασης ενός υλικού:** Το πηλίκο της ταχύτητας του φωτός στο κενό προς την ταχύτητα του φωτός στο υλικό

$$n = c / u$$

Ισχύει:  $n > 1$



Ο δείκτης διάθλασης αποτελεί ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για ένα υλικό και εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας

Γενικά ο δείκτης διάθλασης μειώνεται μονότονα αυξανόμενου του μήκους κύματος



# ΜΕΤΩΠΟ ΚΥΜΑΤΟΣ – ΑΚΤΙΝΕΣ ΦΩΤΟΣ



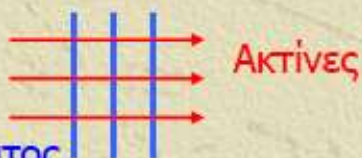
Μέτωπα κύματος

Ακτίνες **Μέτωπο κύματος:**

γεωμετρικός τόπος των σημείων στα οποία η φάση της ταλάντωσης μιας φυσικής ποσότητας, συνδεδεμένης με το κύμα είναι σταθερή

π.χ. Πέτρα πέφτει στην ήρεμη επιφάνεια νερού σε μιας δεξαμενής → Οι "κορυφές" του κύματος (ομόκεντροι κύκλοι) είναι μέτωπα κύματος

Πολλές φορές είναι απλούστερο να αναπαριστούμε ένα φωτεινό κύμα με τη βοήθεια **ακτίνων** δηλ. υποθετική γραμμή κατά μήκος της κατεύθυνσης όδευσης του κύματος (κάθετες στο μέτωπο κύματος)



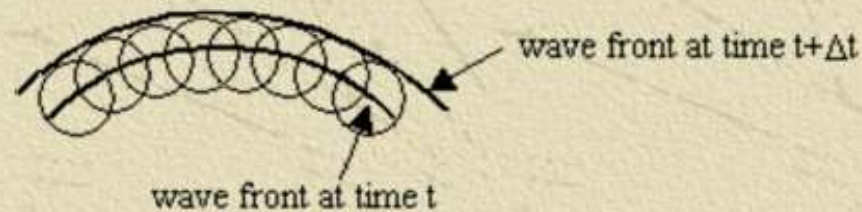
Μέτωπα κύματος

Σε πολύ μεγάλη απόσταση από την πηγή, τμήμα της σφαιρικής επιφάνειας μπορεί να θεωρηθεί επίπεδο (επίπεδο κύμα με παράλληλες ακτίνες)

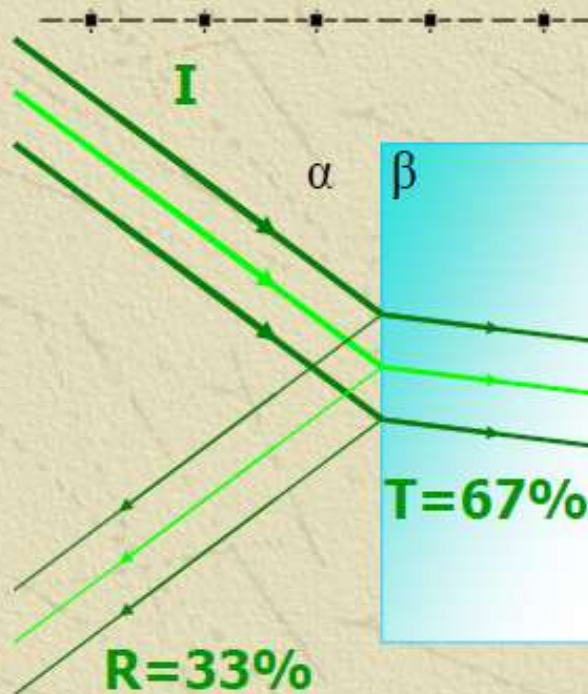
# ΑΡΧΗ ΗΥΓΕΝΣ

## Μέτωπο κύματος:

Κατά τη διάδοση ενός κύματος κάθε σημείο μιας ισοφασικής επιφάνειας (μετώπου κύματος), μπορεί να θεωρηθεί ως σημειακή πηγή που εκπέμπει δευτερογενή κύματα, τα οποία συμβάλλουν μεταξύ τους και αλληλοαναιρούνται σε όλα τα σημεία εκτός από τα σημεία της περιβάλλουσας επιφάνειας .



# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

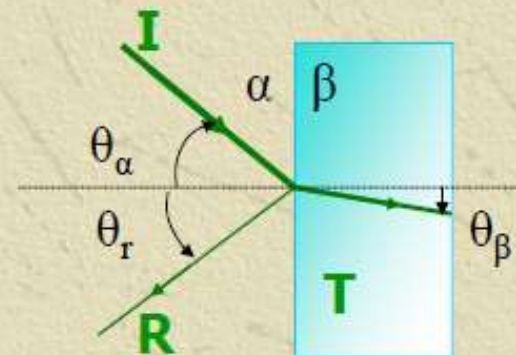


Επίπεδο κύμα – δέσμες ακτίνων – για απλότητα μια ακτίνα για κάθε δέσμη

$I \rightarrow$  Incident προσπίπτουσα δέσμη

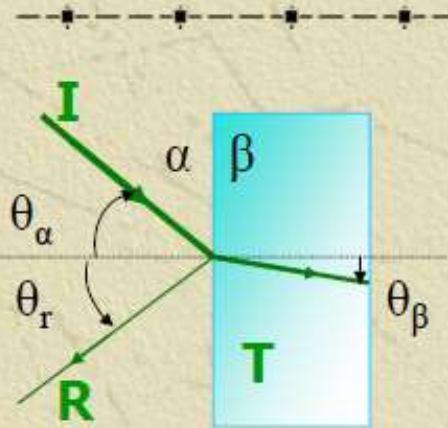
$R \rightarrow$  Reflected ανακλώμενη δέσμη

$T \rightarrow$  Transmitted διερχόμενη δέσμη στην περίπτωση μας **refracted** διαθλώμενη



Στην περίπτωση του "κλασσικού γυαλιού"  $R \approx 10\%$

## ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ



Ακτίνα που διαδίδεται από ένα μέσο σε δεύτερο μεγαλύτερου δείκτη διάθλασης σχηματίζει (στο 2<sup>ο</sup> μέσο) με την κατακόρυφο μικρότερη γωνία.

✓ Οι ευθείες που αντιστοιχούν στην προσπίπτουσα, την ανακλώμενη και τη διαθλώμενη ακτίνα κείνται όλες στο ίδιο επίπεδο στο οποίο κείται και η κάθετος στο επίπεδο

✓ Η γωνία ανάκλασης είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης για όλα τα μήκη κύματος και για οποιοδήποτε ζεύγος υλικών με κοινή διαχωριστική επιφάνεια  $\theta_r = \theta_a$


✓ Για μονοχρωματικό φως και για συγκεκριμένο ζεύγος υλικών  $\alpha$  και  $\beta$  εκατέρωθεν της κοινής διαχωριστικής επιφάνειας ο λόγος των ημιτόνων των γωνιών  $\theta_a$  και  $\theta_\beta$  (οι γωνίες μετρώνται ως προς την κάθετο στην επιφάνεια) ισούται με το αντίστροφο του λόγου των δύο δεικτών διάθλασης  $\sin\theta_a / \sin\theta_\beta = n_\beta / n_\alpha$

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

13 degrees

Rotating a Mirror By an Angle  $\theta$   
Rotates the Reflected Ray By  $2\theta$

Drag the slider to rotate the mirror by an angle  $\theta$

Click the button to see a more complex case: 

Copyright © 2004  
David M. Harrison

<https://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/Optics/Refraction/Refraction.html>

<https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/refraction/refractionmono/index.html>

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

**Reflection and Refraction: Air to Glass**

Angles are in degrees. Values are rounded to the nearest degree. Ray intensities are as shown.

Copyright © 2004 David M. Harrison

30

Angle of Incidence  $\theta$

$n = 1.00$

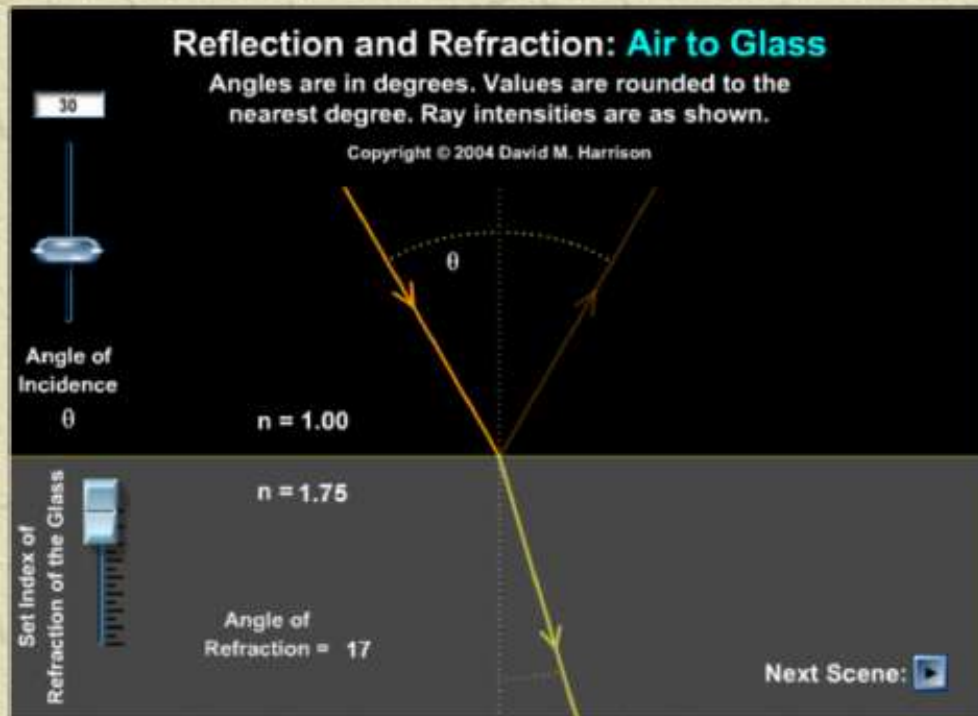
Set Index of Refraction of the Glass

$n = 1.25$

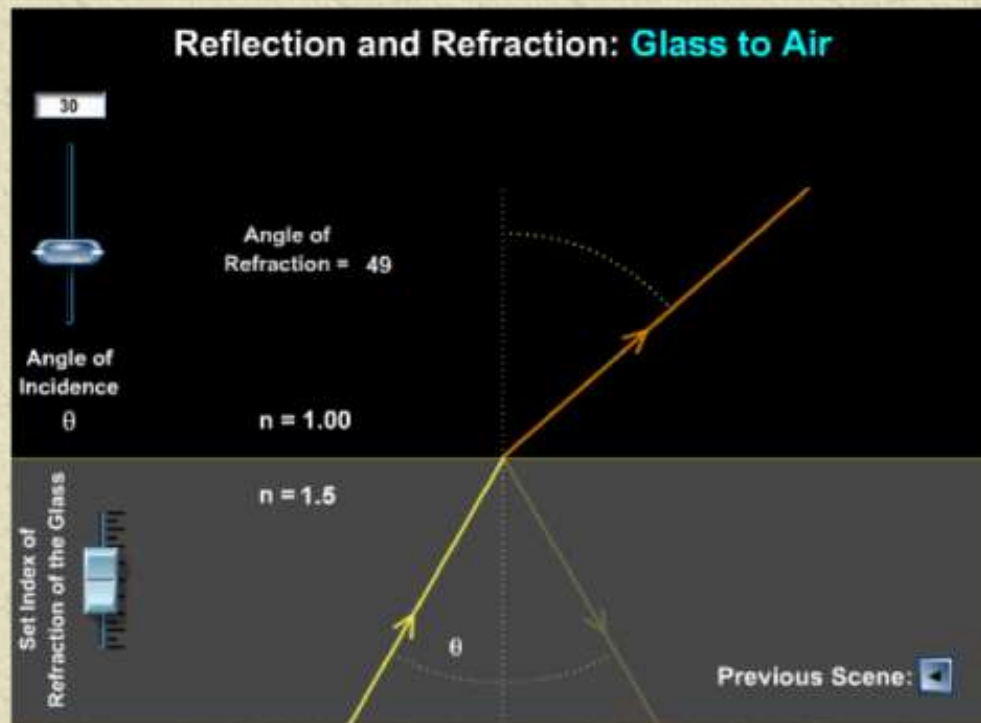
Angle of Refraction = 24

Next Scene:

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ



# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ





## ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Αφού τα υλικά διαθέτουν διαφορετικούς δείκτες διάθλασης και η ταχύτητα του φωτός διαφέρει  $\rightarrow \{c=\lambda f\}$  κάποιο από τα μεγέθη  $f$ ,  $\lambda$  ή και τα δύο αλλάζουν καθώς το φως διέρχεται από το ένα υλικό στο άλλο.

Η συχνότητα,  $f$ , είναι βασικό μέγεθος και **δεν αλλάζει**.

Το μέγεθος που αλλάζει είναι το μήκος κύματος,  $\lambda$ .

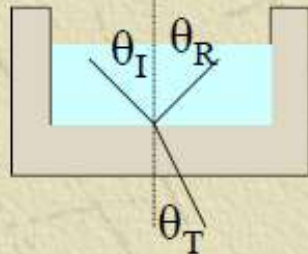
$$n_{\beta} > n_{\alpha} \rightarrow c/u_{\beta} > c/u_{\alpha} \rightarrow u_{\alpha} > u_{\beta} \rightarrow \lambda_{\alpha} f_{\alpha} > \lambda_{\beta} f_{\beta} \rightarrow \lambda_{\alpha} > \lambda_{\beta}$$

$$\lambda = \lambda_0 / n$$

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Στο σχήμα το υλικό α είναι το νερό ( $n=1.33$ ) ενώ το β είναι γυαλί με δείκτη διάθλασης 1.52. Αν η προσπίπτουσα σχηματίζει γωνία  $60^\circ$  με την κάθετη στον πυθμένα του δοχείου, βρείτε τις διευθύνσεις των ανακλώμενων και των διαθλώμενων ακτίνων.

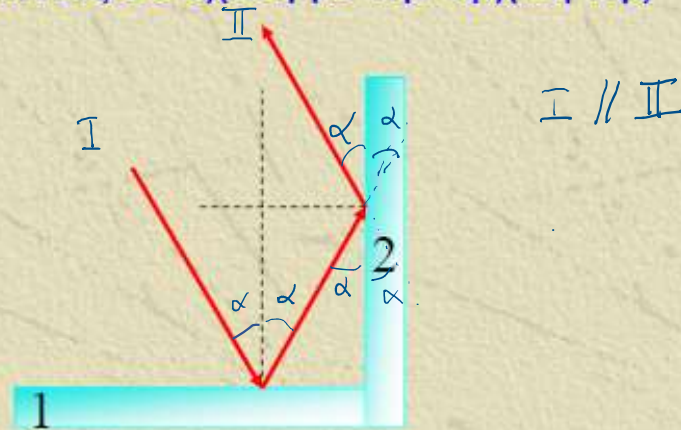


Το μήκος κύματος του ερυθρού φωτός που εκπέμπει laser HeNe είναι  $633\text{nm}$  στον αέρα αλλά  $474\text{nm}$  στο υδατοειδές υγρό μέσα στο βολβό του ανθρώπινου ματιού. Να υπολογίσετε το δείκτη διάθλασης του υδατοειδούς υγρού καθώς και την ταχύτητα και τη συχνότητα του φωτός στην ουσία αυτή.

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

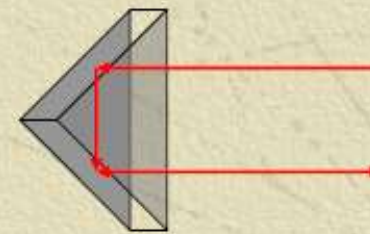
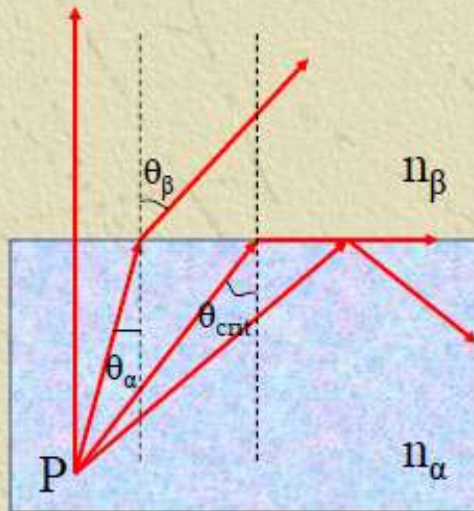
Δύο κάτοπτρα είναι κάθετα μεταξύ τους. Μια ακτίνα διαδιδόμενη σε επίπεδο κάθετο και στα δύο κάτοπτρα ανακλάται από το ένα κάτοπτρο και στη συνέχεια ανακλάται από το δεύτερο κάτοπτρο όπως δείχνει το σχήμα. Ποια είναι η τελική κατεύθυνση της ακτίνας σε σχέση με την αρχική της κατεύθυνση;



# ΟΛΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ

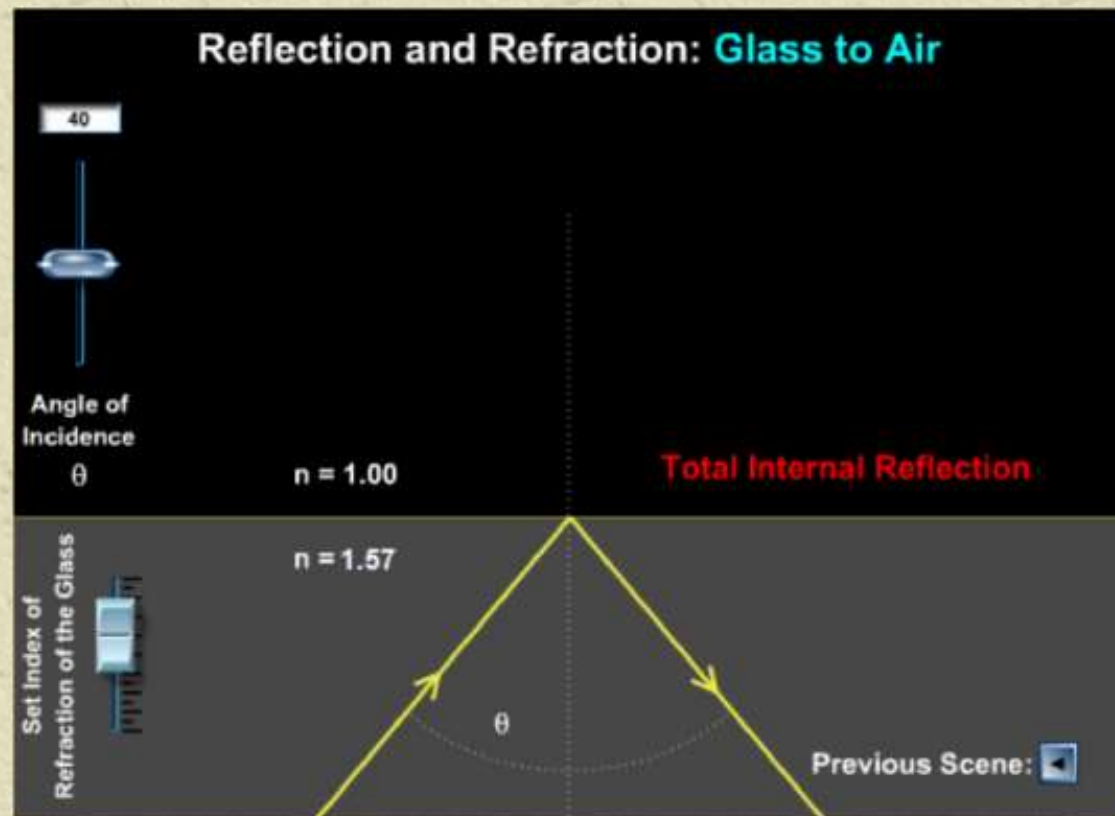
$$\sin\theta_{\beta} = n_{\alpha}/n_{\beta} \sin\theta_{\alpha}, \text{ αν } n_{\alpha} > n_{\beta} \text{ και } \sin\theta_{\beta} = 1 \rightarrow ?$$

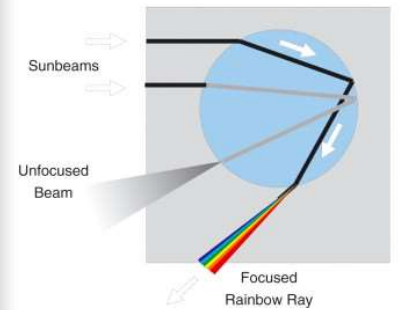
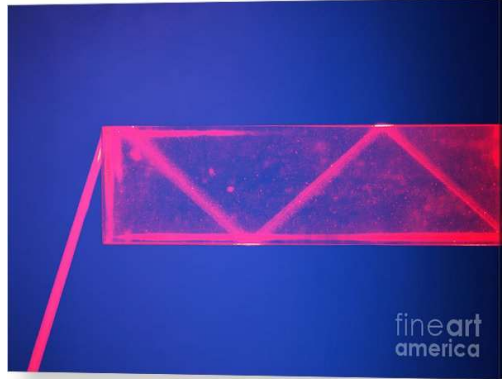
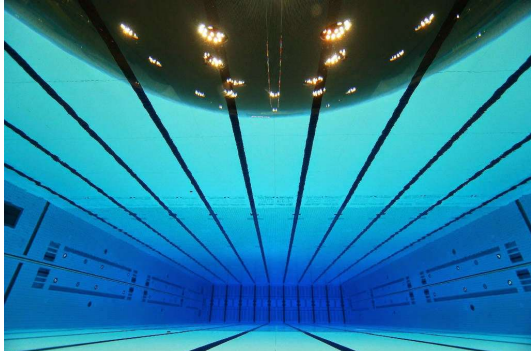
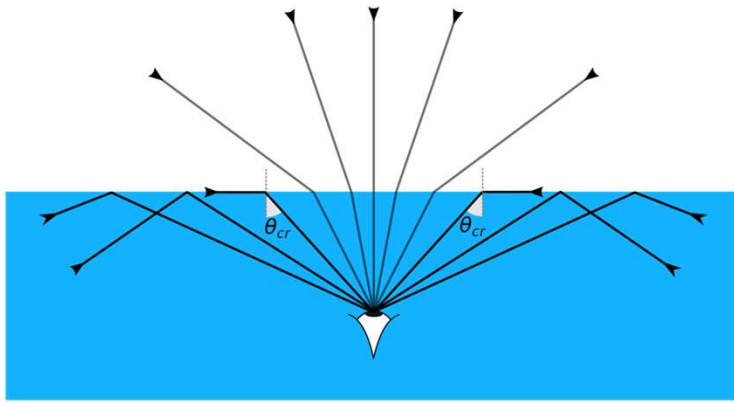
$$\sin\theta_{\text{crit}} = n_{\beta}/n_{\alpha} = 0.658 \text{ για το γυαλί, } \theta_{\text{crit}} = 41.1^{\circ}$$



Πρίσμα Πορρο

# ΟΛΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ





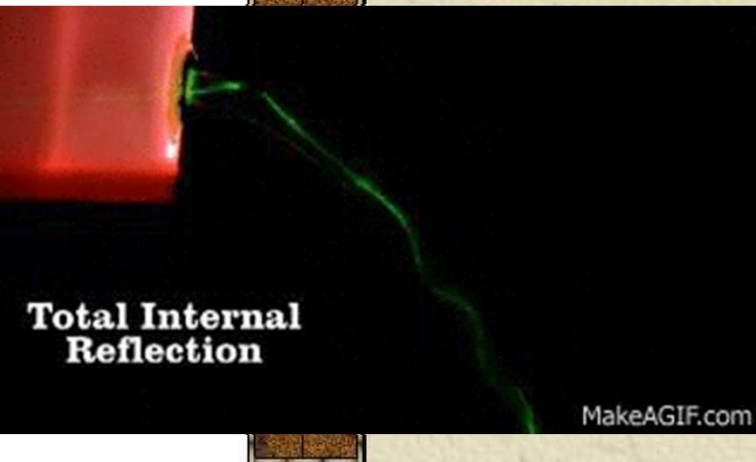
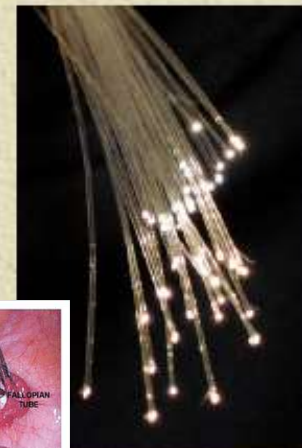
# ΟΛΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ένα περισκόπιο περιέχει δύο πρίσματα ολικής ανάκλασης  $45^\circ$ - $45^\circ$ - $90^\circ$  ενώ η ολική εσωτερική ανάκλαση που καθιστά δυνατή τη λειτουργία του πραγματοποιείται στις έδρες πρισμάτων που βρίσκονται απέναντι από τις ορθές του γωνίες. Αν εμφανιστεί διαρροή το κάτω πρίσμα επικαλύπτεται από το νερό που διεισδύει λόγω της διαρροής. Εξηγείστε γιατί δεν είναι πλέον δυνατή η λειτουργικότητα του περισκοπίου.

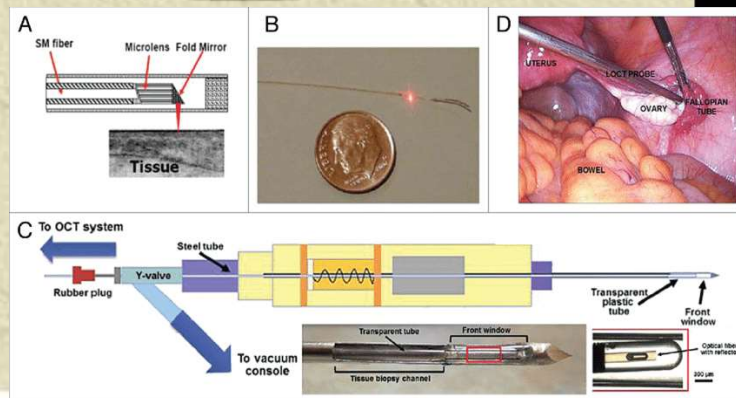
# ΟΛΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής ολικής εσωτερικής ανάκλασης στις οπτικές ίνες.



Total Internal Reflection

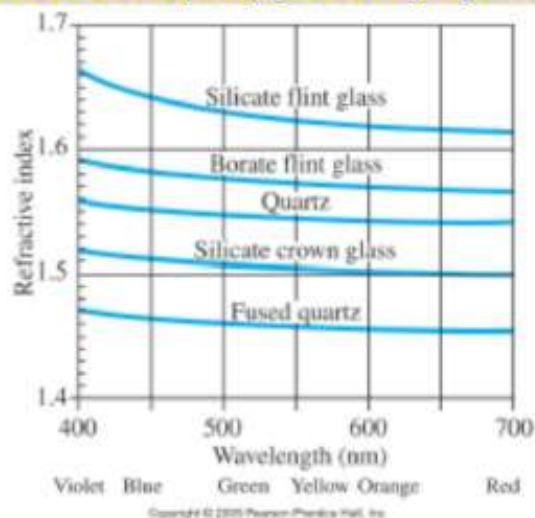
MakeAGIF.com





# ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΣ

Το λευκό φως είναι υπέρθεση κυμάτων με διάφορα μήκη κύματος που εκτείνονται σε όλο το οπτικό φάσμα. Ενώ στο κενό η ταχύτητα του φωτός είναι ανεξάρτητη του μήκους κύματος μέσα σε ένα υλικό η ταχύτητα του φωτός εξαρτάται από το μήκος κύματος. Η εξάρτηση αυτή ονομάζεται διασκεδασμός (διασπορά)



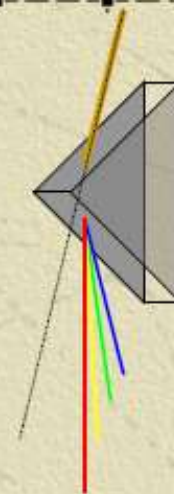
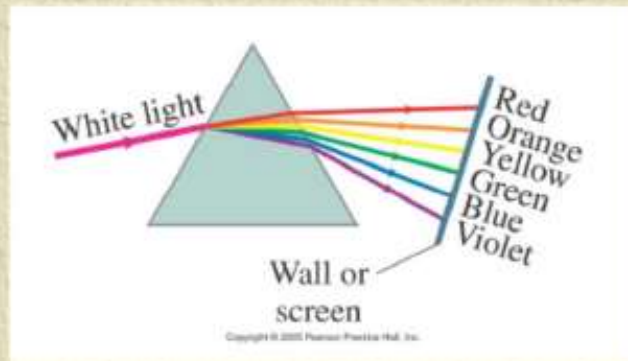
Ο δείκτης διάθλασης αποτελεί ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για ένα υλικό και εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας

# ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΜΟΣ

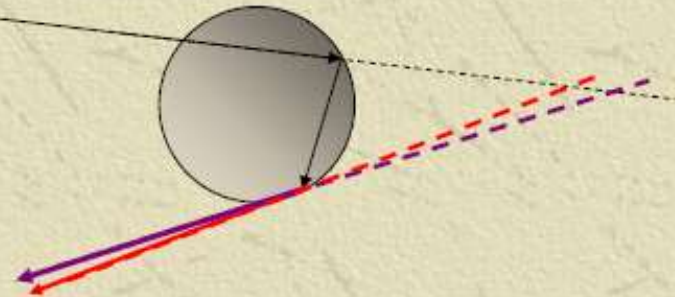
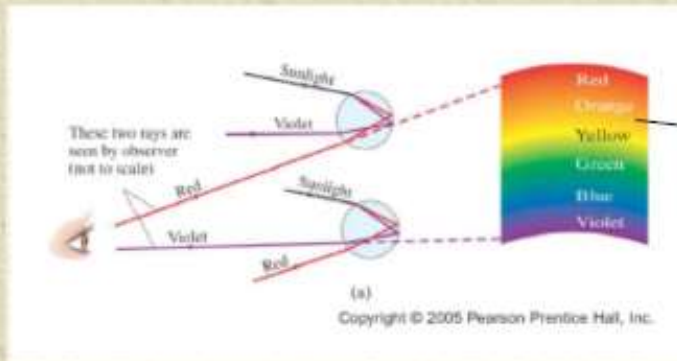
AN  $\alpha \rightarrow$  αέρας,  $b \rightarrow$  γυαλί

Snell  $n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b$

$n_b$  μειώνεται αυξανόμενου του  $\lambda$  (διασκεδασμός)  
το  $\sin \theta_b$  θα πρέπει να αυξάνει (το  $\theta_b$  να αυξάνει)

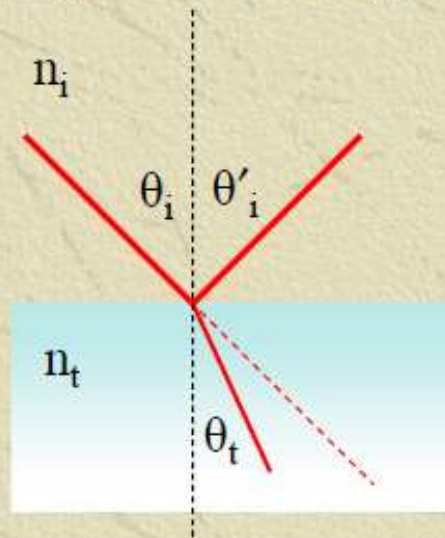


ΠΡΟΣΟΧΗ!!!  
Ως προς την κατακόρυφο



# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Δέσμη φωτός συναντά την επιφάνεια ενός διαφανούς σώματος → φαινόμενα ανάκλασης και διάθλασης



Για την ανακλώμενη δέσμη ισχύει

$$\theta_i = \theta'_i$$

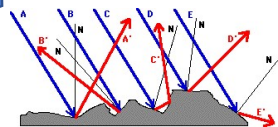
Στιλπνές επιφάνειες ανακλούν σε συγκεκριμένη γωνία (κατοπτρική ανάκλαση).

Τραχιές επιφάνειες ανακλούν σε όλες τις διευθύνσεις (διαχεόμενη ανάκλαση) → επιφανειακές ανωμαλίες

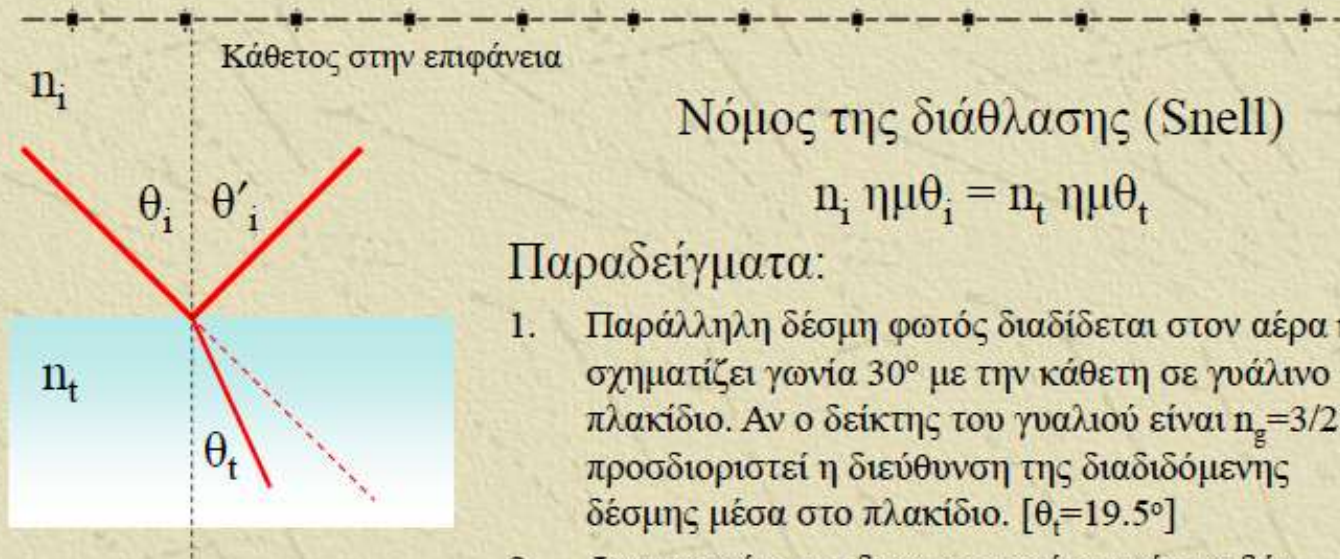
(μόνο αν το μέσο βάθος ανωμαλιών είναι σημαντικά μικρότερο από το  $\lambda$  θα έχουμε κατοπτρική ανάκλαση)

Μεταλλικές τραχιές επιφάνειες ανακλούν κατοπτρικά μικροκύματα ( $\lambda \sim 0.5\text{cm}$ ) όχι όμως το ορατό φως

Επίσης θα πρέπει οι διαστάσεις του ανακλαστή να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από το  $\lambda$



# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ



Νόμος της διάθλασης (Snell)

$$n_i \eta \mu \theta_i = n_t \eta \mu \theta_t$$

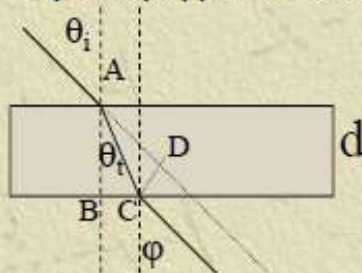
Παραδείγματα:

1. Παράλληλη δέσμη φωτός διαδίδεται στον αέρα και σχηματίζει γωνία  $30^\circ$  με την κάθετη σε γυάλινο πλακίδιο. Αν ο δείκτης του γυαλιού είναι  $n_g=3/2$  να προσδιοριστεί η διεύθυνση της διαδιδόμενης δέσμης μέσα στο πλακίδιο. [ $\theta_t=19.5^\circ$ ]
2. Φανταστείτε μια διαχωριστική επιφάνεια δύο περιοχών, μιας από γυαλί ( $n_g=3/2$ ) και μιας από νερό ( $n_w=1.33$ ). Μια ακτίνα που διαδίδεται μέσα στο γυαλί συναντά διαχωριστική επιφάνεια με γωνία  $45^\circ$  και διαθλάται μέσα στο νερό. Πόση είναι η γωνία διαθλάσεως; [ $\theta_t=52.6^\circ$ ]

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Παραδείγματα:

3. Ναδειχθεί ότι μια ακτίνα που πέφτει με γωνία  $\theta_i$  σε ένα γυάλινο πλακίδιο, θα εξέλθει από αυτό με την ίδια γωνία. Να βρεθεί μια έκφραση για την παράλληλη μετατόπιση  $\alpha$  της ακτίνας αν το πάχος του πλακιδίου είναι  $d$ .



$$n_a \eta\mu\theta_i = n_g \eta\mu\theta_t$$

$$n_g \eta\mu\theta_t = n_a \eta\mu\varphi$$

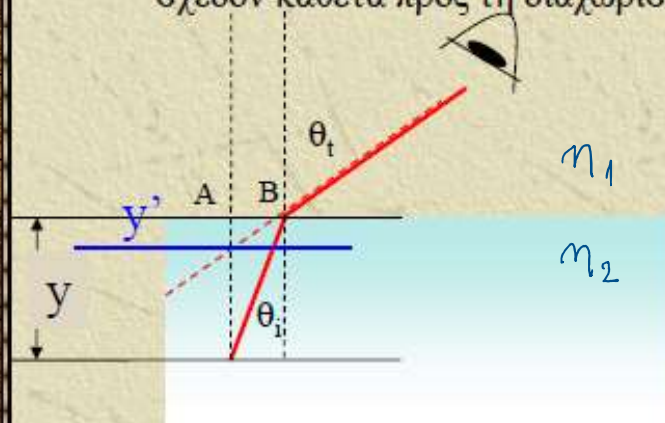
$$n_a \eta\mu\theta_i = n_g \eta\mu\theta_t = n_a \eta\mu\varphi \rightarrow \theta_i = \varphi$$

$$\widehat{CAD} = \theta_i - \theta_t \rightarrow \alpha = AC \eta\mu(\theta_i - \theta_t) = d \eta\mu(\theta_i - \theta_t) / (\sigma\upsilon\nu\theta_t)$$

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Παραδείγματα:

4. Φανταστείτε ότι έχουμε δύο μέσα (με δείκτες διάθλασης  $n_1$  και  $n_2$ ) που χωρίζονται από μια επίπεδη επιφάνεια. Ένα αντικείμενο στο οπτικά πυκνότερο μέσο ( $n_2$ ) βρίσκεται σε απόσταση  $y$  κάτω από τη διαχωριστική επιφάνεια. Ένας παρατηρητής που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια θα δει το αντικείμενο σα να βρισκόταν σε απόσταση  $y'$  κάτω από αυτή. Να εκφραστεί το  $y'$  με το  $y$  και το δείκτη διάθλασης όταν η παρατήρηση γίνεται σχεδόν κάθετα προς τη διαχωριστική επιφάνεια.



$$n_2 \eta\mu\theta_i = n_1 \eta\mu\theta_t$$

$$AB = y \epsilon\phi\theta_i = y' \epsilon\phi\theta_t$$

$$n_2 \sigma\upsilon\nu\theta_i / y = n_1 \sigma\upsilon\nu\theta_t / y'$$

Για μικρές  $\theta_i$   $\cos\theta_i \sim \cos\theta_t \sim 1$

$$y' = y n_1 / n_2$$

# ΑΝΑΚΛΑΣΗ και ΔΙΑΘΛΑΣΗ

-----  
Παραδείγματα:

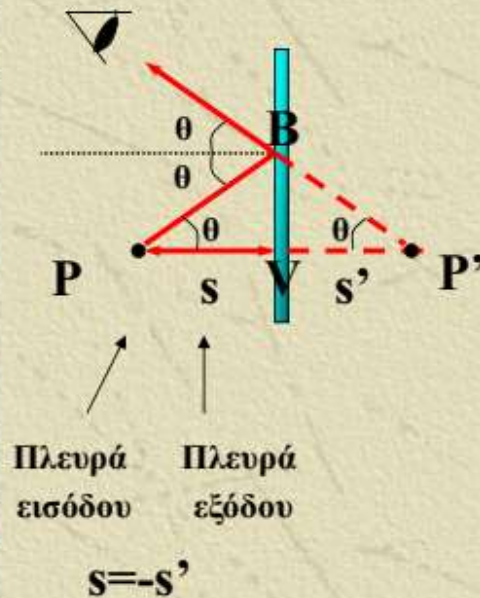
5. Ένα ψάρι φαίνεται ότι βρίσκεται 2m κάτω από την επιφάνεια μιας λίμνης, όταν ένας ψαράς το παρατηρεί σχεδόν κατακόρυφα από ψηλά. Ποιο είναι το πραγματικό βάθος στο οποίο βρίσκεται το ψάρι; [2.66m]

## Οριακή γωνία

Σε περίπτωση που ο δείκτης διάθλασης  $n_1$  του μέσου στο οποίο κινείται μια ακτίνα είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του υλικού  $n_2$  που βρίσκεται πίσω από τη διαχωριστική επιφάνεια την οποία συναντά (εσωτερική ανάκλαση) δηλ.  $n_1 > n_2$  υπάρχει μια τιμή για τη γωνία  $\theta_1$  (οριακή γωνία,  $\theta_c$ ) για την οποία η  $\theta_2$  γίνεται  $90^\circ$ . (Δηλ. διαθλώμενη ακτίνα παράλληλα προς την διεπιφάνεια ή η διαπερατότητα μηδενίζεται). Περαιτέρω αύξηση της  $\theta_1$  έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει διαθλώμενη ακτίνα, το φως παραμένει στο μέσο στο οποίο αρχικά κινούνταν.

# Γεωμετρική οπτική

## Η έννοια του ειδώλου



$s'$  : απόσταση ειδώλου

**Φανταστικό είδωλο** : οι εξερχόμενες ακτίνες από αυτό δεν είναι πραγματικές

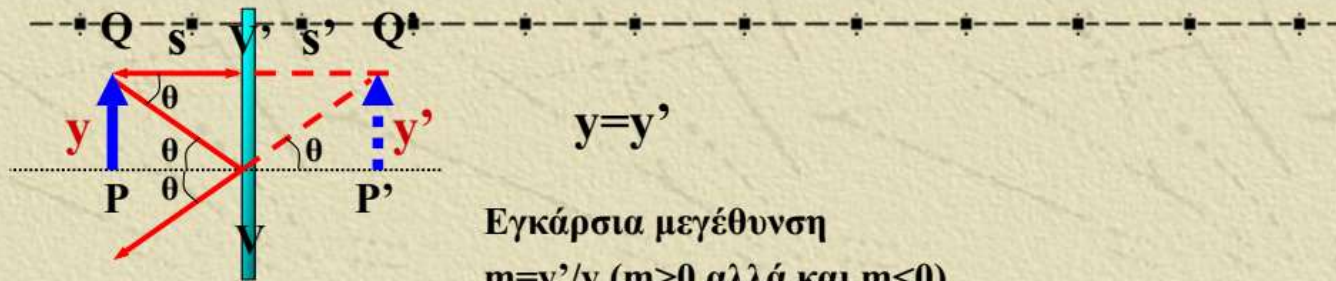
**Πραγματικό είδωλο** : οι εξερχόμενες ακτίνες από αυτό είναι πραγματικές

### Κανόνες προσήμων

1. Όταν το αντικείμενο βρίσκεται στην ίδια πλευρά της ανακλαστικής (ή διαθλαστικής) επιφάνειας με το προσπίπτων φως (πλευρά εισόδου), η απόσταση αντικειμένου  $s$  είναι θετική, διαφορετικά είναι αρνητική
2. Όταν το είδωλο βρίσκεται στην ίδια πλευρά της ανακλαστικής (ή διαθλαστικής) επιφάνειας με το εξερχόμενο φως (πλευρά εξόδου), η απόσταση ειδώλου  $s'$  είναι θετική, διαφορετικά είναι αρνητική



# Γεωμετρική οπτική



Εγκάρσια μεγέθυνση

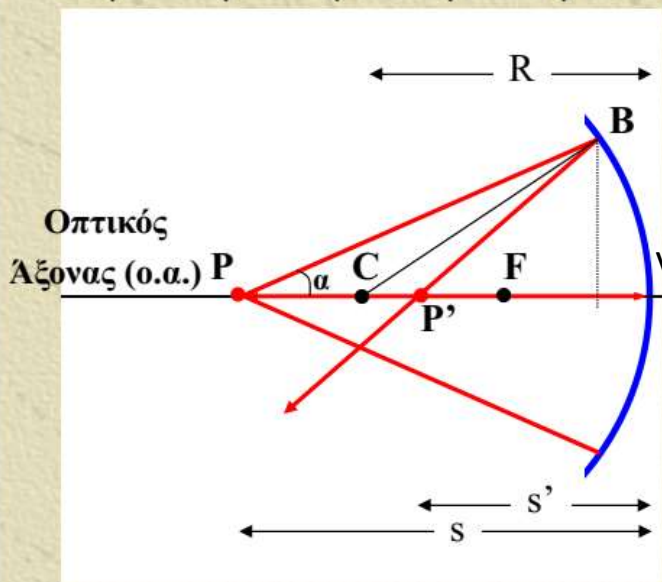
$m=y'/y$  ( $m>0$  αλλά και  $m<0$ )

Ορθό είδωλο / αντεστραμμένο είδωλο : όταν τα  
“βέλη” είναι ομόρροπα / αντίρροπα

Κατοπτρικά αντεστραμμένο είδωλο

# Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια

Με παραδοχή της παραξονικής προσέγγισης



$$1/s + 1/s' = 2/R$$

Κανόνες προσήμων

3. Όταν το κέντρο καμπυλότητας C βρίσκεται από την ίδια πλευρά με το εξερχόμενο φως η ακτίνα καμπυλότητας είναι θετική, διαφορετικά είναι αρνητική.

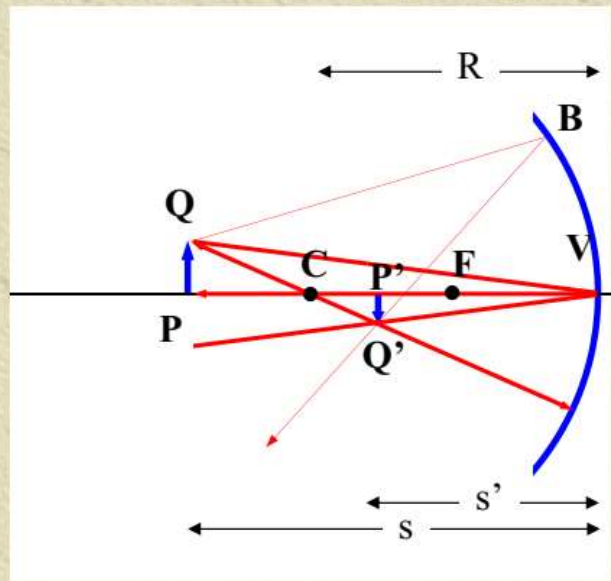
$$R \rightarrow \infty$$

$$\{s > 0, s' > 0, R > 0\} \text{ Μόνον όταν } s < f, s' < 0$$

Εστιακό σημείο F, εστιακή απόσταση:  $f = R/2$

$$1/s + 1/s' = 1/f$$

# Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια



Είδωλο πραγματικό  
κατοπτρικά αντεστραμμένο  
Μεγεθυσμένο:  
από τρίγωνα PVQ και P'VQ'

$$m = -s'/s$$

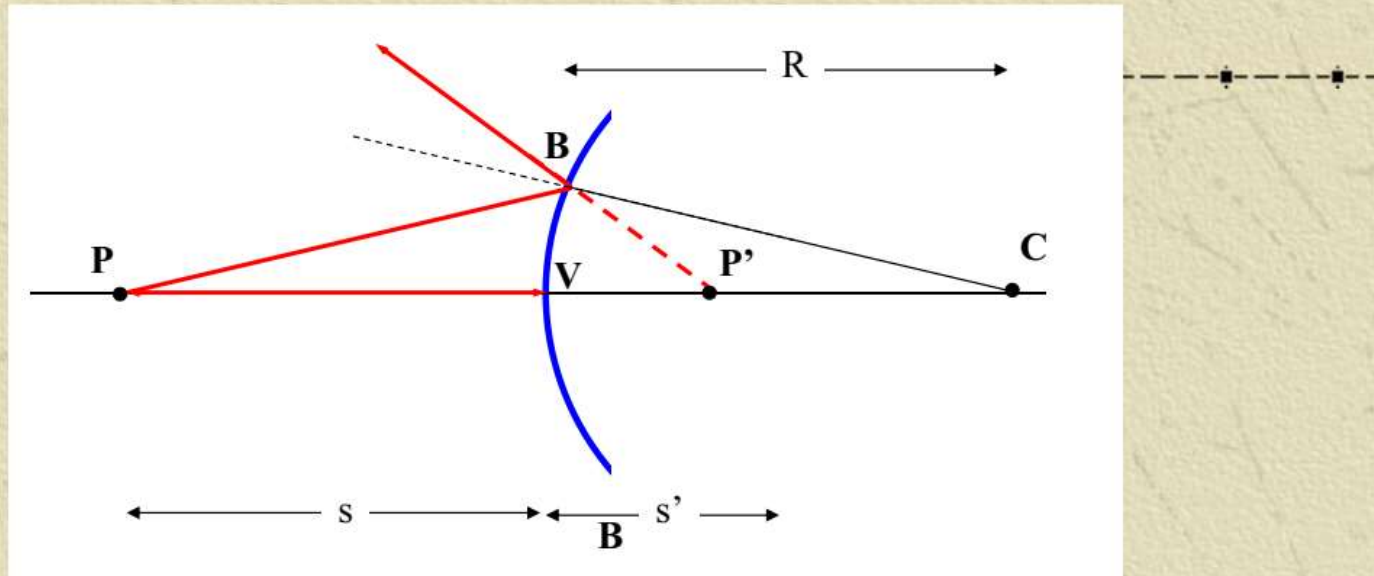
(Αντεστραμμένο)

Για τριδιάστατα αντικείμενα η  
μεγέθυνση είναι διαφορετική κατά μήκος  
του ο.α. με την αντίστοιχη σε εγκάρσια  
διεύθυνση

$$\{s > 0, \text{ σχεδόν πάντα } s' > 0, R > 0\}$$

*Μόνον όταν  $s < f, s' < 0$*

## Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια – κυρτά κάτοπτρα

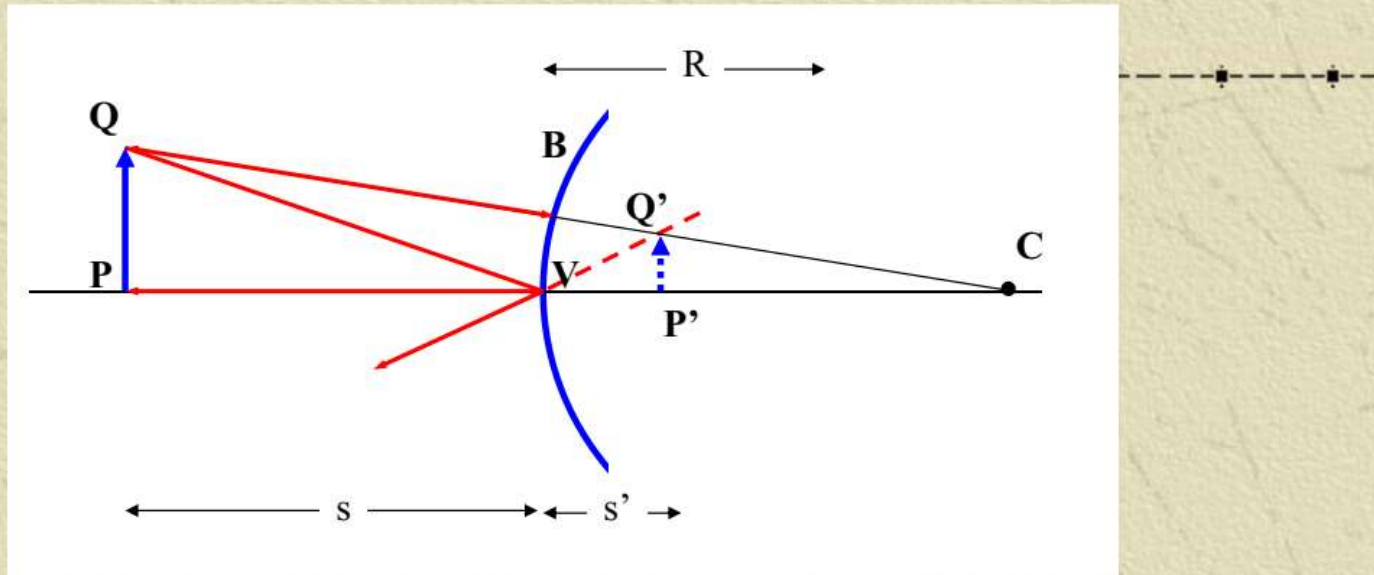


$$1/s + 1/s' = 2/R$$

$$f = R/2$$

$$\{s > 0, s' < 0, R < 0\}$$

# Ανάκλαση από σφαιρική επιφάνεια – κυρτά κάτοπτρα



$$\{s > 0, s' < 0, R < 0\}$$

Είδωλο φανταστικό, κατοπτρικά αντεστραμμένο

Μεγεθυσμένο  $m = -s'/s$

(ορθό)

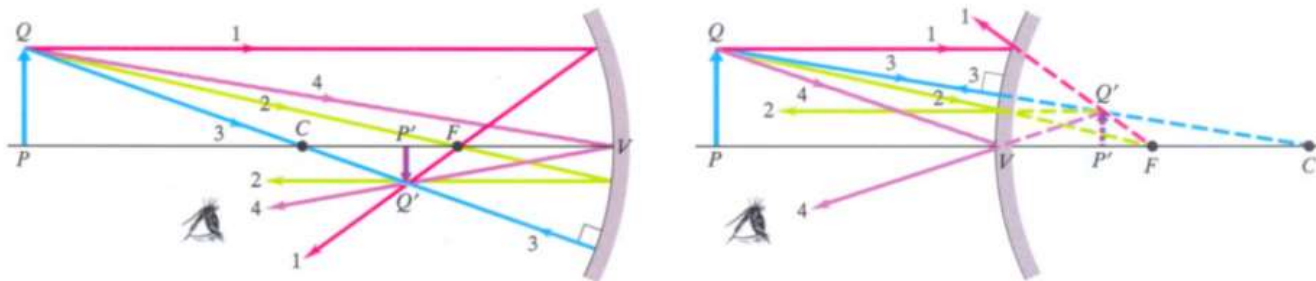
# Κύριες ακτίνες

Μια ακτίνα παράλληλη προς τον άξονα διέρχεται μετά την ανάκλασή της από το εστιακό σημείο  $F$  ενός κοίλου κατόπτρου ή φαίνεται ότι προέρχεται από το (φανταστικό) εστιακό σημείο ενός κυρτού κατόπτρου

Μια ακτίνα διερχόμενη από το εστιακό σημείο  $F$  ανακλάται παράλληλα προς τον άξονα

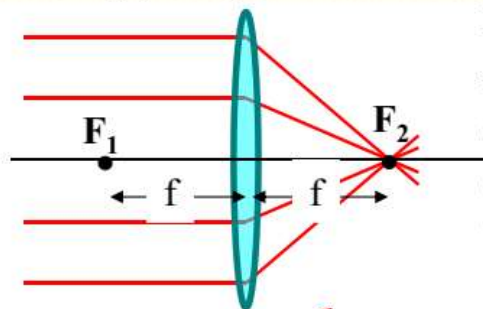
Μια ακτίνα διερχόμενη από το κέντρο καμπυλότητας  $C$  προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια και ανακλώμενη ακολουθεί την ίδια τροχιά

Μια ακτίνα που συναντά το κάτοπτρο στο σημείο  $V$  ανακλάται υπό γωνία (ως προς τον οπτικό άξονα) ίση με τη γωνία πρόσπτωσης



# ΛΕΠΤΟΙ ΦΑΚΟΙ

Φακός: οπτικό σύστημα που περιλαμβάνει δύο διαθλαστικές επιφάνειες. Οι απλούστεροι φακοί περιλαμβάνουν δύο σφαιρικές επιφάνειες αρκετά κοντά η μια στην άλλη ώστε να μπορεί να αγνοηθεί η μεταξύ τους απόσταση → Λεπτός φακός

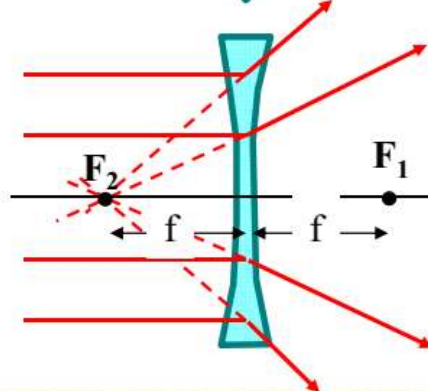


$F_1, F_2$ : εστιακά σημεία

$f$ : εστιακή απόσταση

Οι δύο εστιακές αποστάσεις είναι πάντα ίσες ακόμα κι αν οι δύο επιφάνειες έχουν διαφορετικές καμπυλότητες

$$1/s + 1/s' = 1/f \quad m = -s'/s = y'/y$$



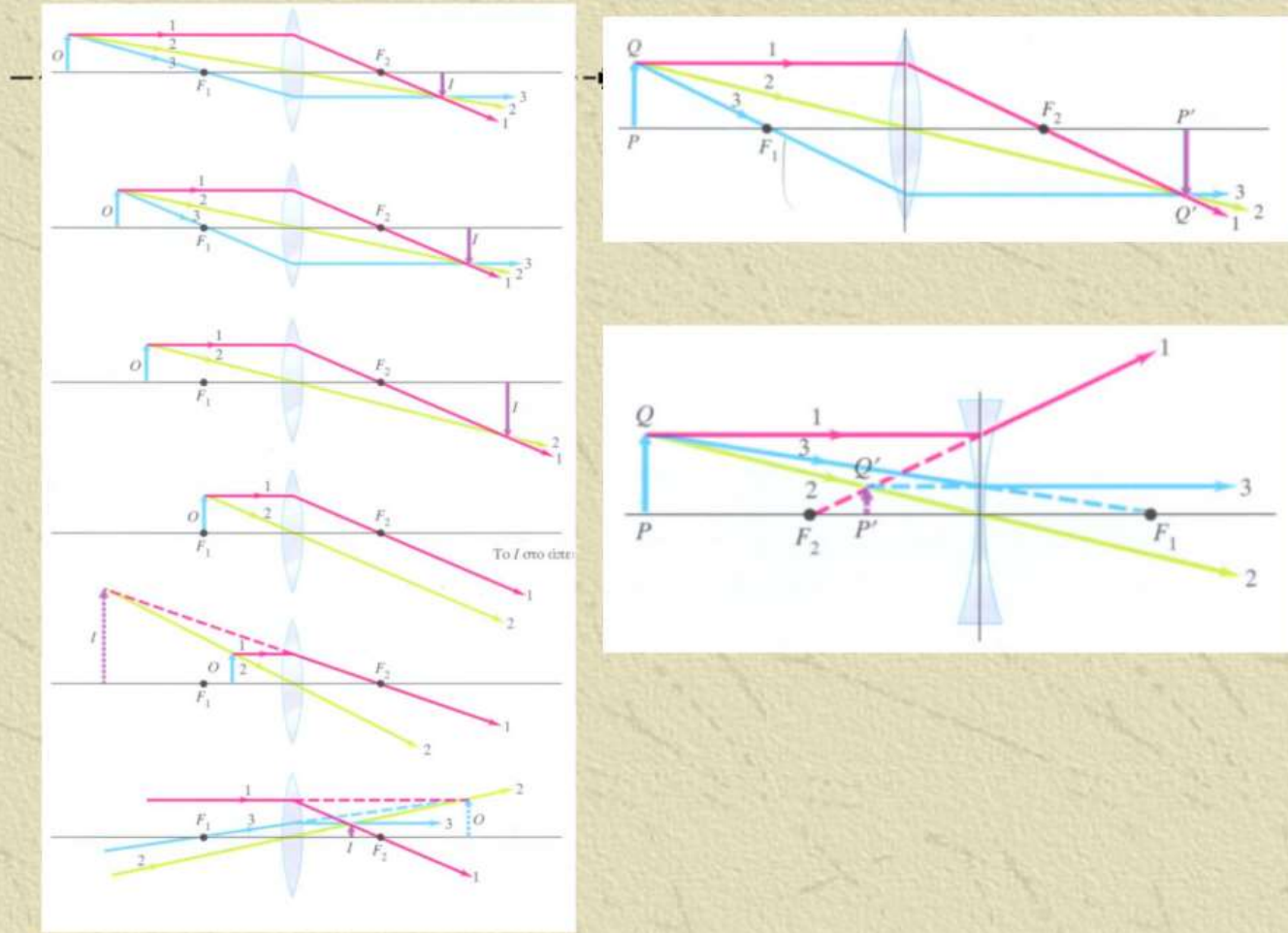
$$1/s + 1/s' = (n-1)(1/R_1 - 1/R_2) \leftarrow \text{εξίσωση του κατασκευαστή}$$

Συγκλίνων φακός  $f > 0$  (θετικός φακός), είδωλο πραγματικό

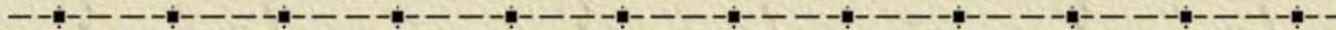
Αποκλίνων φακός  $f < 0$  (αρνητικός φακός), είδωλο φανταστικό

Στους αποκλίνοντες φακούς τα εστιακά σημεία έχουν αντίστροφη διάταξη από εκείνα ενός συγκλίνοντα φακού

# Κύριες ακτίνες







Αντικείμενο το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 4 m από φακό έχει είδωλο στα 8 cm πίσω από αυτόν. Η διάσταση του ειδώλου είναι 3 cm. Ποια η εστιακή απόσταση του φακού και ποιο το μέγεθος του αντικειμένου;

## Δύο λεπτοί φακοί σε σειρά & Σφάλματα φακών

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

### Σφάλματα Φακών

#### Χρωματικό σφάλμα

επειδή η εστιακή απόσταση ενός φακού εξαρτάται από το δείκτη διάθλασης του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένος ο οποίος εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός, τα διαφορετικά χρώματα του λευκού φωτός εστιάζονται σε διαφορετικά σημεία

#### Σφαιρική εκτροπή

Ακτίνες που προσπίπτουν στα άκρα του φακού εστιάζονται σε διαφορετικά σημεία από ότι αυτές που προσπίπτουν στα κεντρικά σημεία του φακού

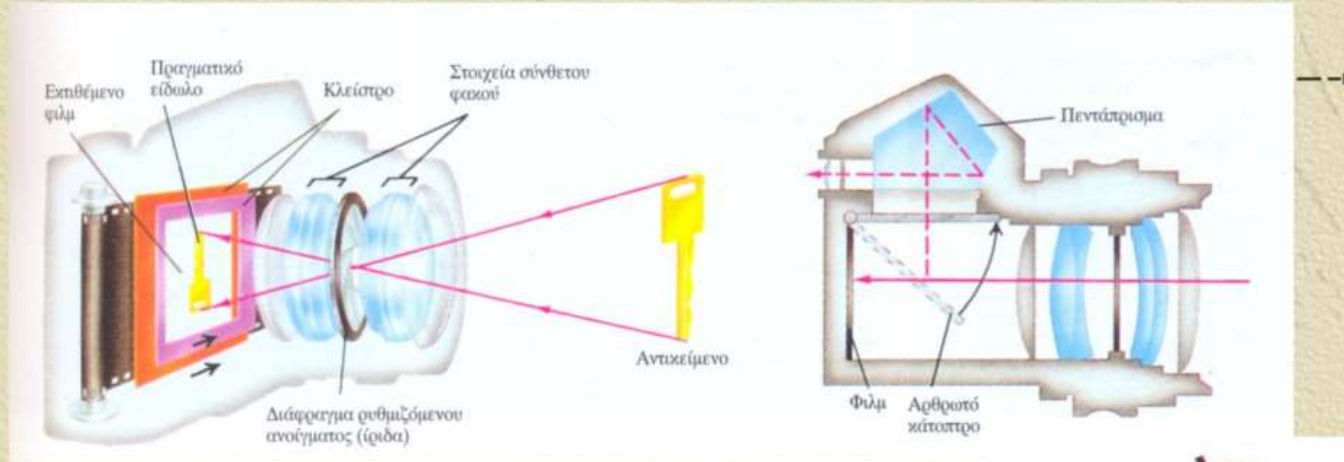
#### Αστιγματική εκτροπή

Προέρχεται από ακτίνες οι οποίες ξεκινούν από σημεία του αντικειμένου που βρίσκονται μακριά από τον κύριο άξονα

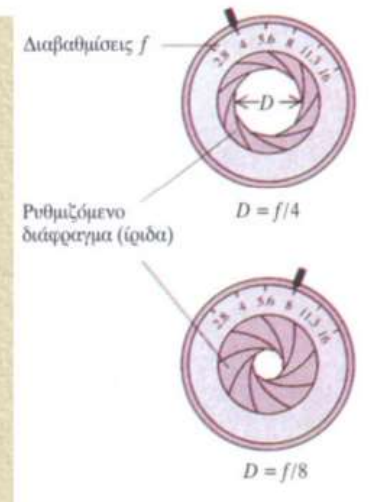
#### Σφάλμα καμπύλωσης

Το είδωλο επίπεδου αντικειμένου κάθετου στον κύριο άξονα δεν είναι επίπεδο. Παρουσιάζει καμπύλωση και επομένως προβολή του ειδώλου σε επίπεδη επιφάνεια είναι ασαφής

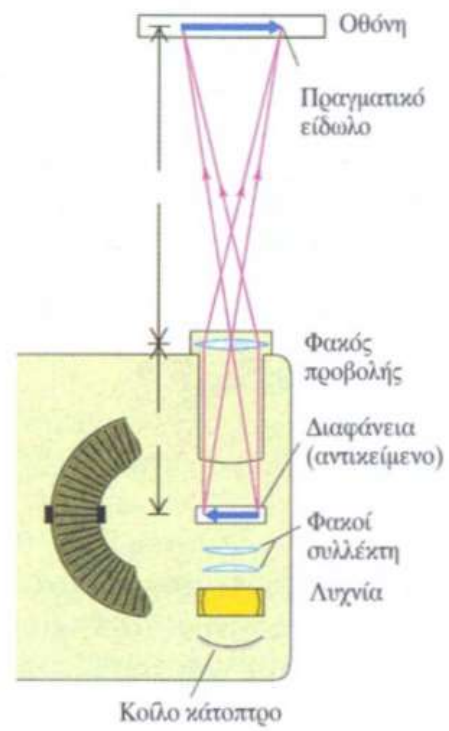
# ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ



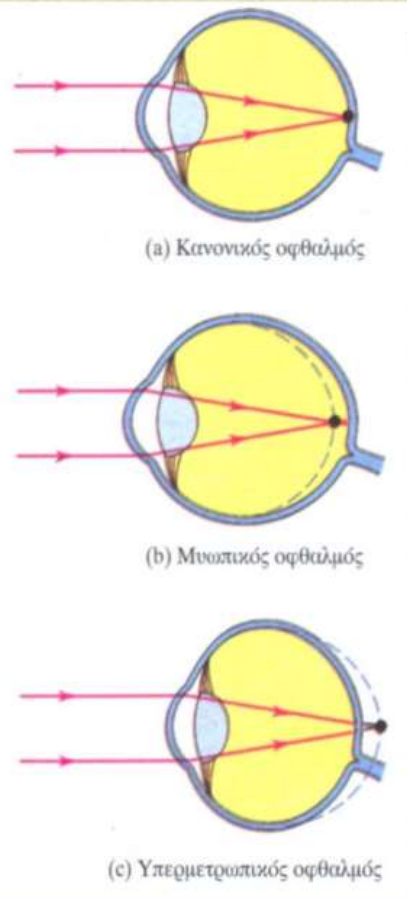
$$\text{αριθμός-}f = \frac{\text{Εστιακή απόσταση}}{\text{Διάμετρος ανοίγματος}} = \frac{f}{D}$$



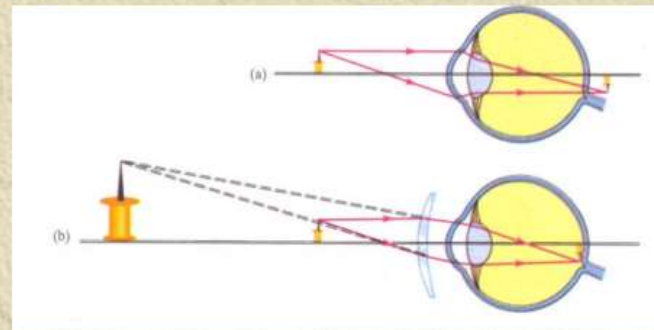
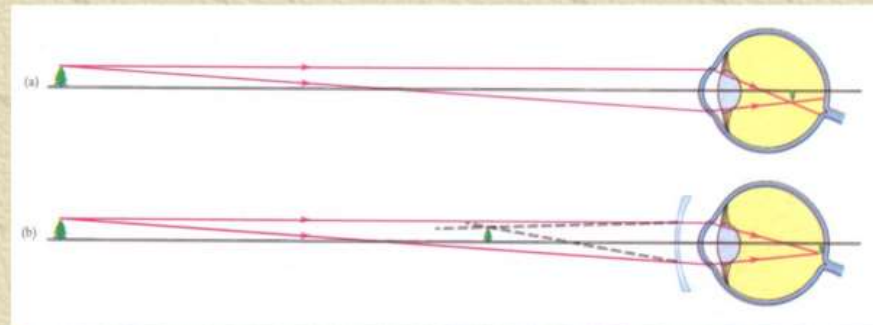
# ΠΡΟΒΟΛΕΑΣ ΔΙΑΦΑΝΕΙΩΝ



# ΟΦΘΑΛΜΟΣ

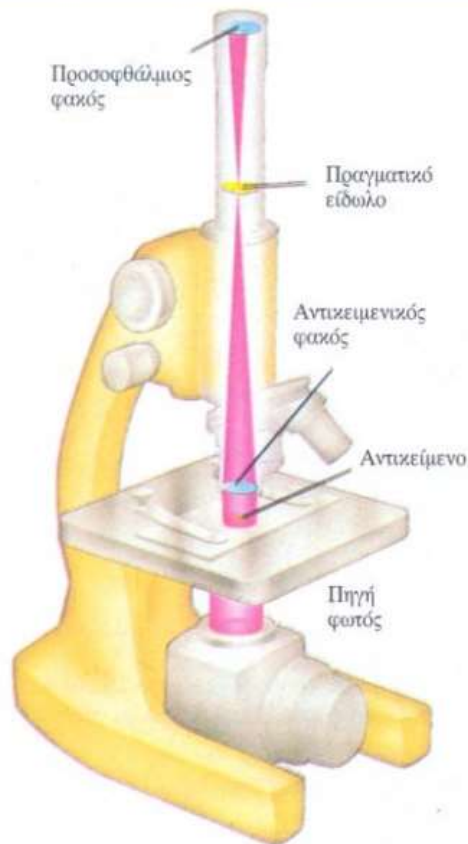


## Διόρθωση μυωπίας / υπερμετροπίας



# ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Ολική Μεγέθυνση = Μεγέθυνση αντικειμενικού x μεγέθυνση προσοφθάλμιου



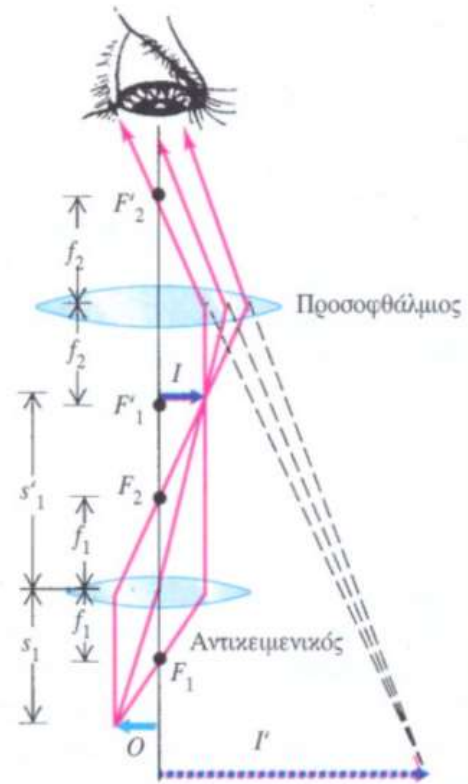
$$M = m_1 M_2$$

Σε απόλυτη τιμή

$$m_1 = -s_1' / s_1$$

$$M_2 = 25\text{cm} / f_2$$

$$M \approx 25s_1' / f_1 f_2$$



# ΦΩΣ – ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ →

## Κύμα

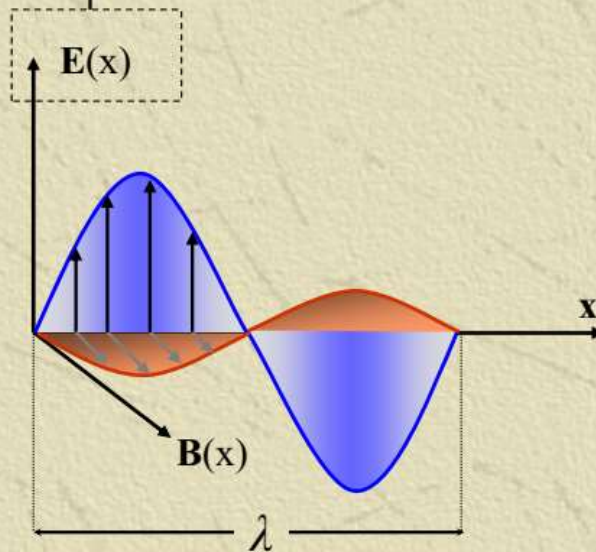
Ηλεκτρικό πεδίο

Μαγνητικό πεδίο

[ταξιδεύουν στο κενό και όλα με την ίδια ταχύτητα, είναι εγκάρσια]

$$E(x,t) = E_0 \cos(kx - \omega t) = E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - 2\pi ft\right)$$

[μέτρο]

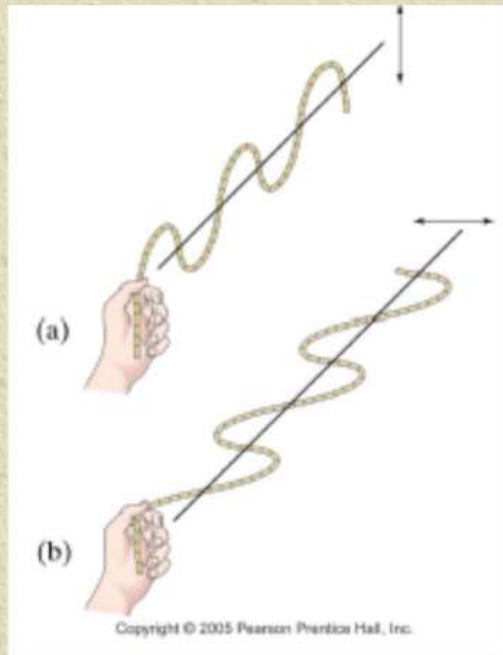


Βασικά χαρακτηριστικά της Η/Μ ακτινοβολίας

- ✦ Μήκος κύματος  $\lambda$  (nm)
- ✦ Συχνότητα  $f$  (THz)
- $c = \lambda f = 300000\text{Km/s}$
- ✦ Ένταση  $I \sim E^2$  ( $\text{W/m}^2$ )
- ✦ Πόλωση

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Το φως λέμε πως είναι γραμμικά πολωμένο ή απλά πολωμένο όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ταλαντώνεται σε ένα μόνο επίπεδο και όχι σε οποιαδήποτε διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης



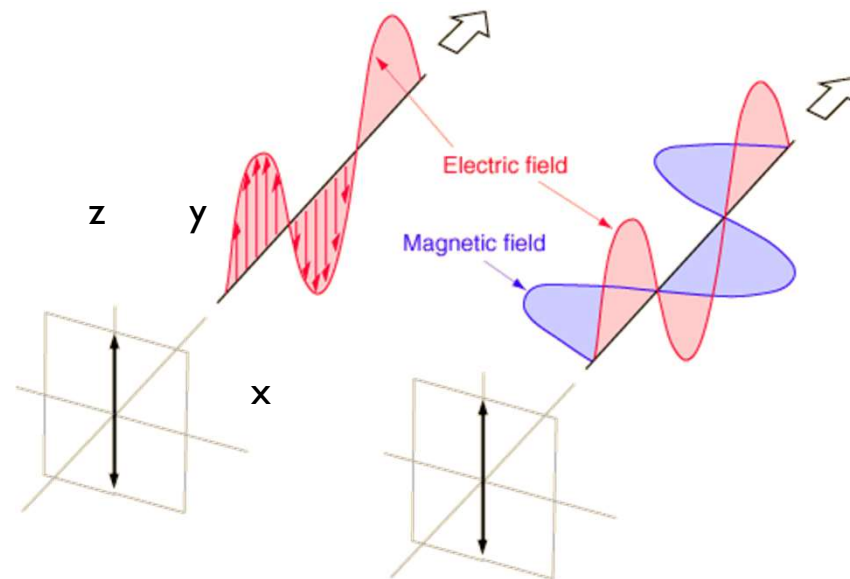
Το ΦΥΣΙΚΟ φως δεν είναι πολωμένο  
Για ένα γραμμικά πολωμένο φως  
πρέπει πάντα να δηλώνουμε το  
επίπεδο πόλωσής του

Εκτός από μη πολωμένο και γραμμικά  
πολωμένο φως υπάρχει και φως  
κυκλικά ή ελλειπτικά πολωμένο. Στην  
περίπτωση αυτή η πλήρης περιγραφή  
της πόλωσης περιλαμβάνει εκτός των  
άλλων και τον προσδιορισμό  
δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη



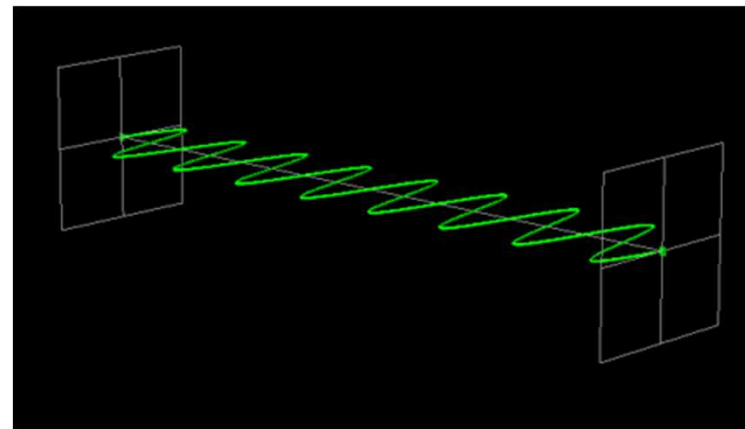
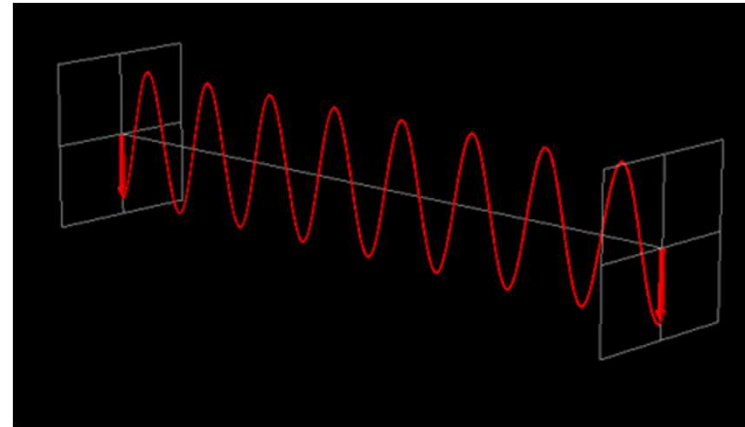
# Φως γραμμικά πολωμένο

Η ταλάντωση του ηλεκτρικού πεδίου  $\mathbf{E}$  πραγματοποιείται σε ένα ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ επίπεδο (π.χ.  $yz$ ). Το φως χαρακτηρίζεται ως γραμμικά πολωμένο με επίπεδο πόλωσης το επίπεδο  $yz$



# Polarized Light

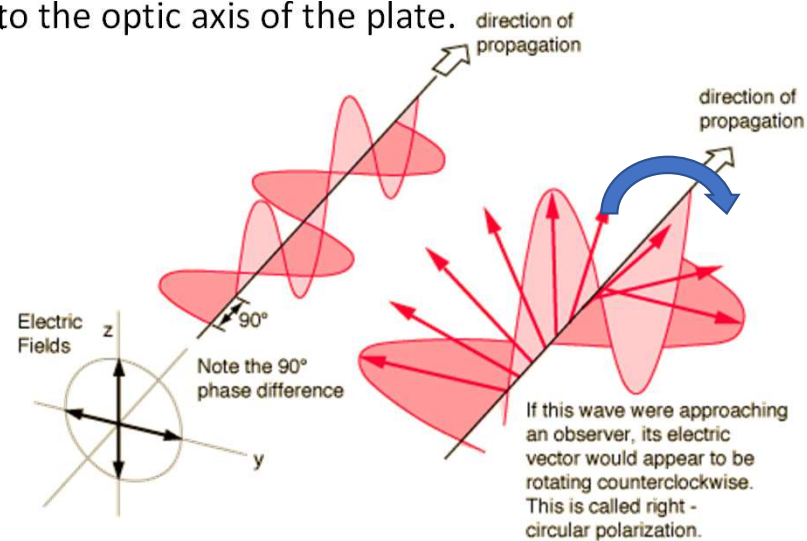
- Light with oscillations confined to a single plane.
- Top: vertically polarized light
- Bottom: horizontally polarized light



Videos throughout notes from <http://www.photophysics.com/polarization.php>

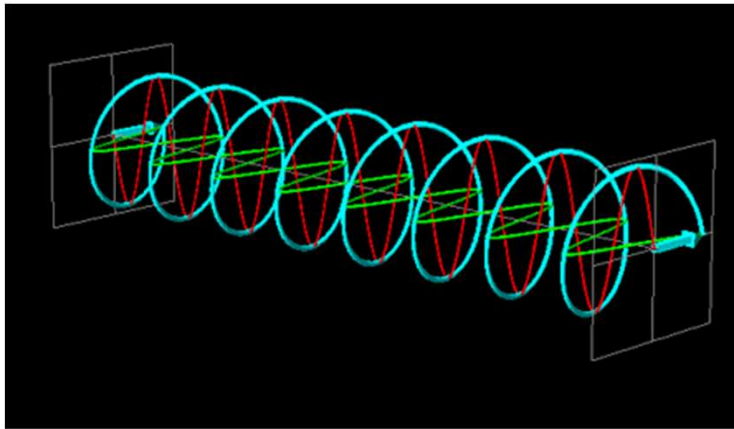
# Φως κυκλικά πολωμένο

- Circularly polarized light consists of two perpendicular electromagnetic plane waves of equal amplitude and  $90^\circ$  difference in phase. The light illustrated is right- circularly polarized.
- Circularly polarized light may be produced by passing [linearly polarized](#) light through a [quarter-wave plate](#) at an angle of  $45^\circ$  to the optic axis of the plate.



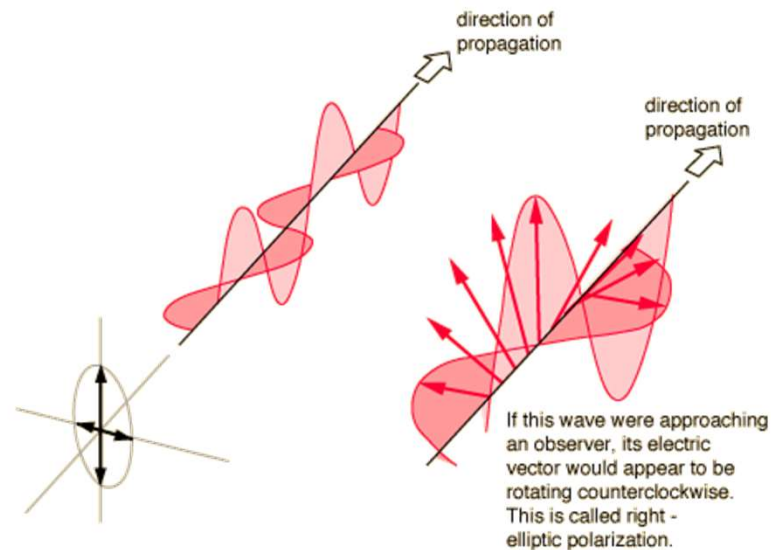
# Circularly Polarized Light

- Sum of vertically and horizontally plane-polarized light in which the phases differ by a quarter wave



# Φως ελλειπτικά πολωμένο

- Elliptically polarized light consists of two perpendicular waves of **unequal** amplitude which differ in phase by  $90^\circ$ . The illustration shows right-elliptically polarized light.



# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Υπάρχουν οπτικά μέσα τα οποία μας επιτρέπουν να "παίζουμε" με την πόλωση του φωτός

Πολωτικά φίλτρα ή πολωτές

Πλακίδια καθυστέρησης φάσης  $\lambda/2$

Πλακίδια καθυστέρησης φάσης  $\lambda/4$

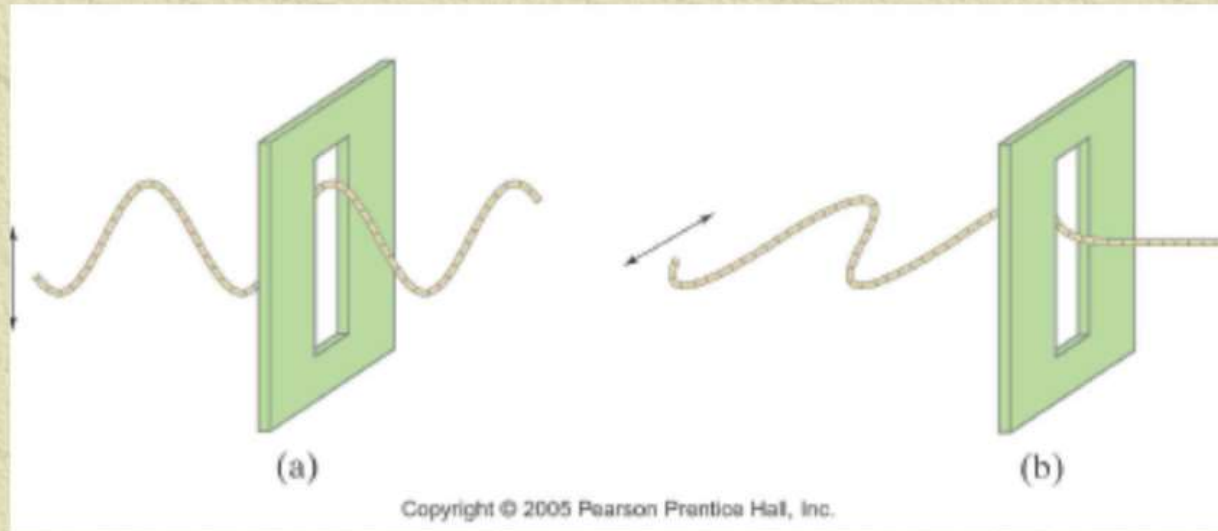
Soleil Babinet

κλπ

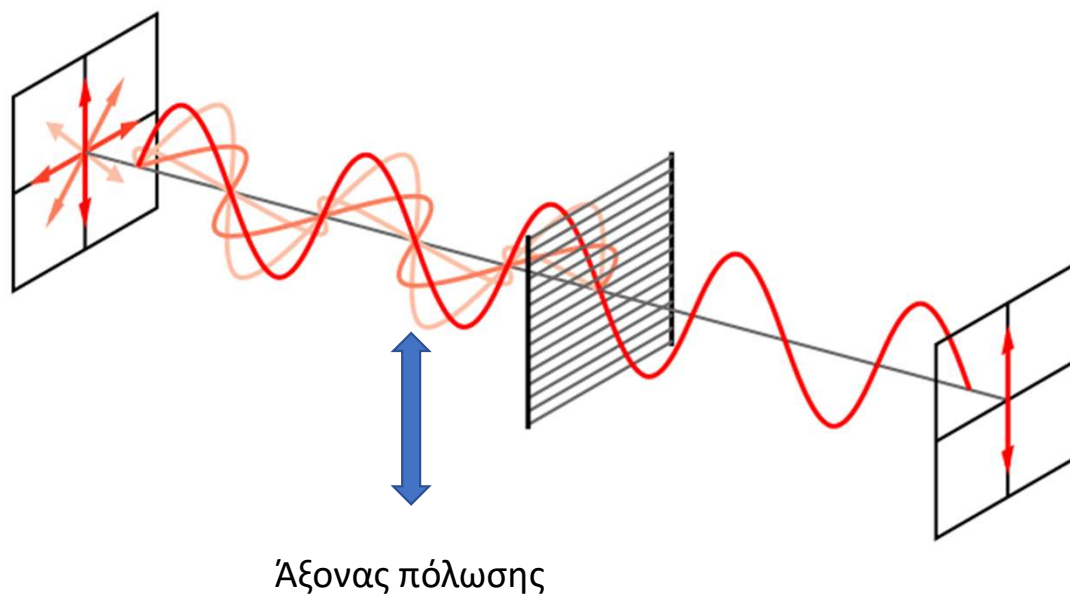
# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωτικά φίλτρα

Διαθέτουν άξονα πόλωσης. Φως πολωμένο σε επίπεδο κάθετο στον άξονα πόλωσης του φίλτρου δε διαπερνά το φίλτρο



# Πολωτές





# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΟΣ,  $I$

Ονομάζουμε την ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που διαπερνά τη μονάδα της επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου

$$I = \epsilon_0 c E^2$$

Μονάδες:  $\frac{J}{s m^2}$

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωτικά φίλτρα

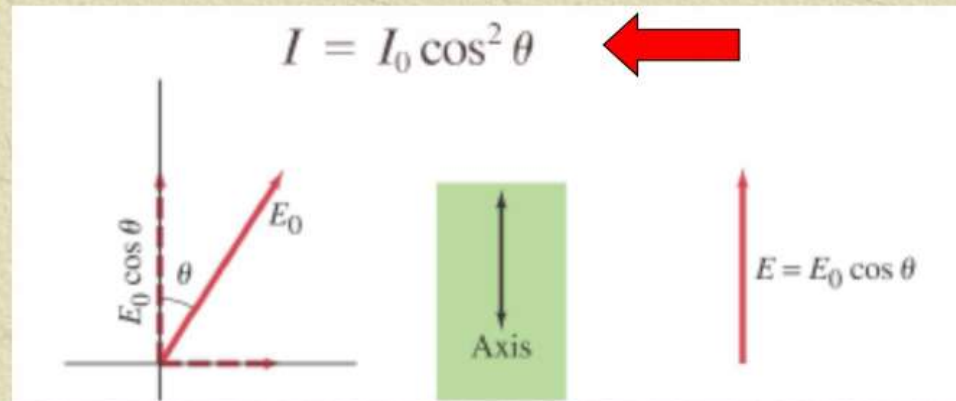
Όταν φυσικό φως με ένταση  $I_0$  προσπέσει σε πολωτικό φίλτρο τότε πίσω από το φίλτρο το φως θα είναι γραμμικά πολωμένο με επίπεδο πόλωσης παράλληλα στον άξονα πόλωσης του φίλτρου και ένταση

$$I = I_0 / 2$$

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωτικά φίλτρα

Το φίλτρο διαπερνά μόνο η συνιστώσα της πόλωσης του προσπίπτοντος φωτός στη διεύθυνση του άξονα πόλωσης του φίλτρου



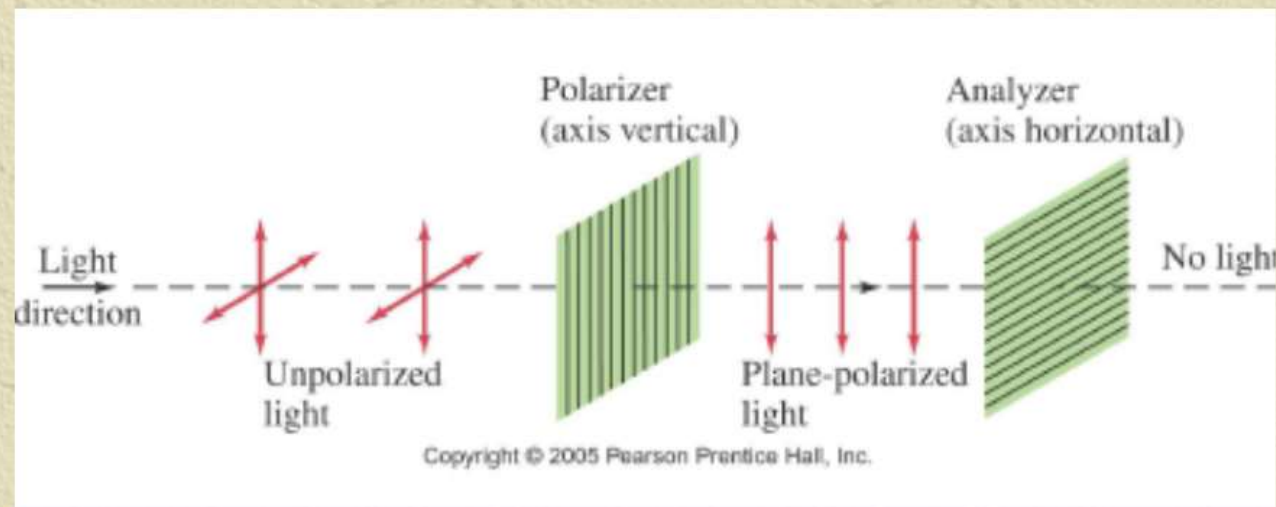
Γραμμικά πολωμένο Άξονας φίλτρου  
φως με επίπεδο σε κάθετη  
πόλωσης σε γωνία διεύθυνση  
 $\theta$  (κατακ.)

Πεδίο το οποίο  
διαπερνά το  
φίλτρο

# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

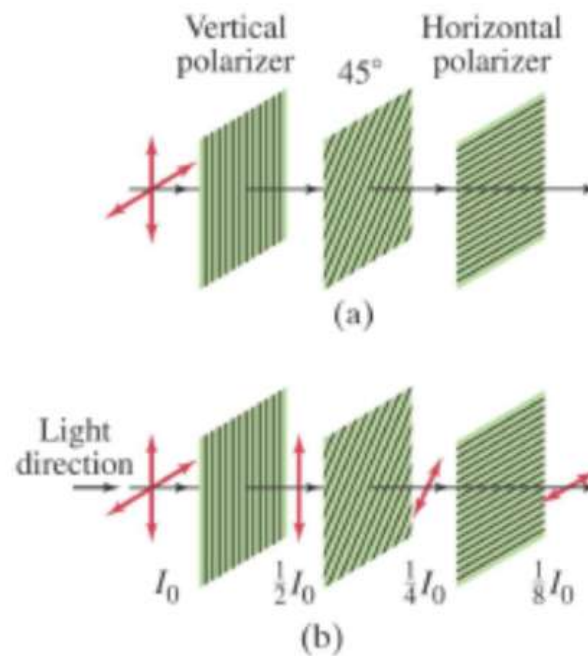
Αν διαθέτουμε ζευγάρι δύο πολωτών τότε συμβατικά τον πρώτο ονομάζουμε πολωτή και τον δεύτερο αναλυτή.

Αν οι άξονες πόλωσης των δύο πολωτών τοποθετηθούν κάθετα τότε πίσω από τον αναλυτή δε θα διέρχεται φως (cross polarization)



# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Τι θα γίνει αν ανάμεσα από δύο πολωτές σε θέση cross τοποθετήσουμε έναν τρίτο πολωτή με τον άξονα πόλωσης του να σχηματίζει γωνία  $45^\circ$  με τους άξονες των άλλων δύο;



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

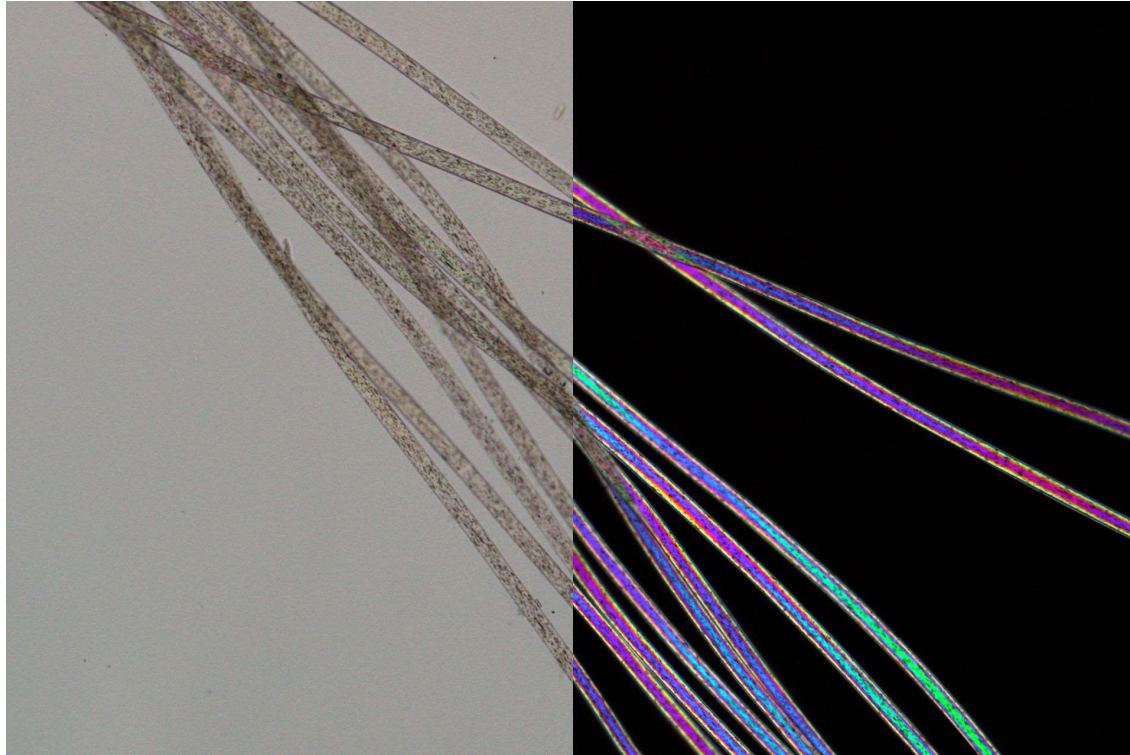
Εφαρμογή για  
γωνία  $30^\circ$

## Microscope images

Cross polarizers

vs

Parallel (or no) polarizers

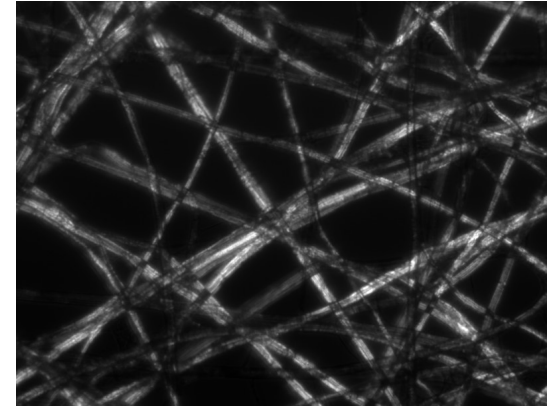


Left: Nylon fibers imaged with parallel polarizers. Right: Same nylon fibers imaged with crossed polarizers show typical higher order birefringence colors. Images recorded with a DM4 P microscope using transmitted light, 20x Plan Fluotar objective, and polarizers.

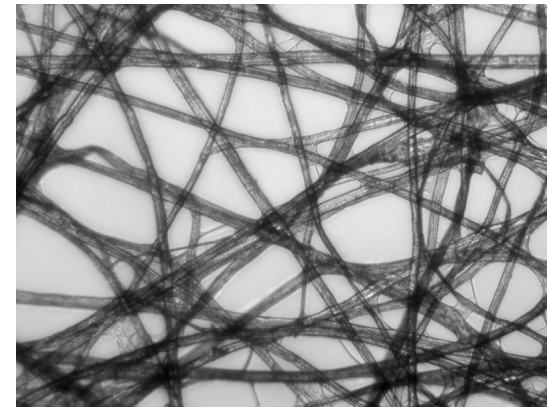
<https://www.leica-microsystems.com/science-lab/galleries/polarizing-microscope-image-gallery/>

# Polarizing microscope

Cross-polarized light illumination, sample contrast comes from rotation of polarized light through the sample



Bright field illumination, sample contrast comes from absorbance of light in the sample

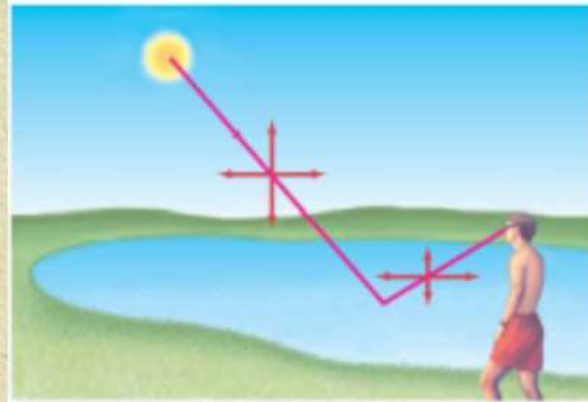


Γυαλιά polaroid

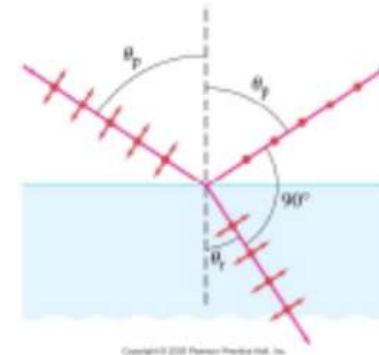


## ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωμένο φως μπορούμε να πάρουμε έπειτα από ανάκλαση σε μη μεταλλική επιφάνεια σε μια συγκεκριμένη γωνία που ονομάζεται γωνία Brewster.



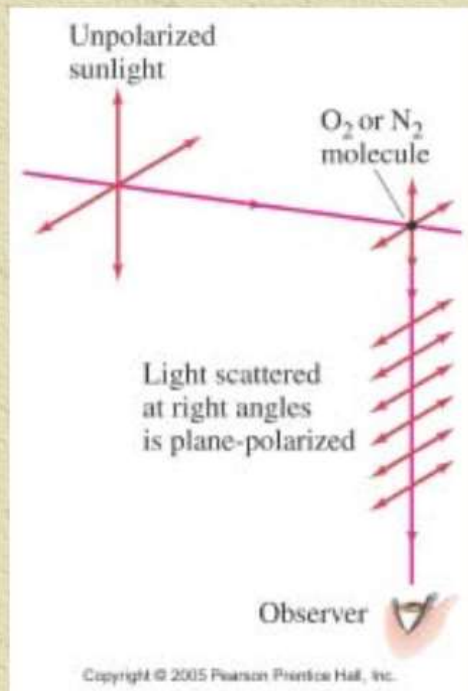
$$\tan \theta_p = \frac{n_2}{n_1}$$





# ΠΟΛΩΣΗ ΦΩΤΟΣ

Πολωμένο φως μπορούμε να πάρουμε έπειτα από σκέδαση του φωτός.



Το φως του ουρανού είναι μερικώς πολωμένο εξαιτίας της σκέδασης του φωτός από μόρια του αέρα.

Το ποσοστό πόλωσης εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου με τη διεύθυνση παρατήρησης

## ΣΚΕΔΑΣΗ

Νόμος Rayleigh:  $I_s$  ανάλογη του  $1/\lambda^4$

Κόκκινο 700nm

Ιώδες 400nm

$$I_{s[\text{violet}]} / I_{s[\text{red}]} = 9.4$$

- (α) Βρείτε τη γωνία από το μάτι κάθε παρατηρητή που βρίσκεται στα σημειωμένα στον καθρέπτη είσοδο των αντικειμένων που κινούνται.
- (β) Βρείτε ότι ο λόγος της γωνίας που βγαίνει στο είσοδο του στενότερου αντικειμένου από τον πλησιέστερο στον καθρέπτη παρατηρητή, προς τη γωνία που βγαίνει στο είσοδο του πιο κοντού αντικειμένου από τον πιο απομακρυσμένο στον καθρέπτη παρατηρητή, είναι ο ίδιος με τον λόγο των υψών των αντικειμένων.
- (γ) Δείξτε επίσης ότι, αν η απόσταση των παρατηρητών από τον καθρέπτη είναι αρκετά μεγαλύτερη από τα ύψη των αντικειμένων, ο λόγος που ζητείται στο (β) είναι ανεξάρτητος από τη θέση των παρατηρητών.

6. Μια ακτινική φωνή προβάλλεται από το εστιακό μέρος στην πλευρική επιφάνεια ενός ορθογώνιου επιπέδου με γωνία τοξομάτας, σχηματίζοντας γωνία  $30^\circ$  με την κάθετο σε αυτήν, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

(α) Τι γωνία σχηματίζει η διαθλωμένη ακτινή μόλις στη ραβδό με την κάθετο στην επιφάνεια, δεδομένου ότι ο δείκτης διάθλασης για το γυάλινο είναι 1,55.

(β) Τι γωνία με την κάθετο στην επιφάνεια σχηματίζει η ακτινή μόλις στο νερό.

(γ) Εάν τα σώμα, του γυαλιού τοξομάτας είναι 3 mm, πόσο μετατοπισμένη είναι η ελαγχρωμένη από το γυάλινο ακτινή που υπέρχεται τελικά στο νερό, σε σχέση με το σημείο που θα ελαγχρωταν αν ελακτοκλιθόταν να διαθλώσει στη διεύθυνση της πρόσπτωσης χωρίς να διαθλώσει μέσα στο γυάλι.



7. Εισαγωγή μια πλάκα από υαλο με πάχος διαθλώσεως 1,5 και σταθερός δείκτης  $n = 2$  cm σε ύψη την εστιακή της. Ακτινική φωτιά προσπίπτει στην πλάκα με γωνία  $\theta$  ως προς την κάθετο στις παράλληλες επιφάνειες της. Δείξτε ότι η ακτινή φωτιάς εξέρχεται από την πλάκα σε διεύθυνση παράλληλη με αυτή της προσπίπτουσας σχηματίζοντας την ίδια γωνία  $\theta$  με την κάθετο. Αν  $\theta = 30^\circ$ , υπολογίστε τη μετατόπιση (κάθετη απόσταση) της εξέρχουσας ακτινής από τη διεύθυνση πρόσπτωσης της.

8. Εάν στο προηγούμενο πρόβλημα η προσπίπτουσα ακτινική φωνή έχει συχνότητα 88,3 MHz, υπολογίστε την ταχύτητα του φωτός μέσα στην πλάκα, το

μήκος κύματος της ακτινικής φωνής μέσα και στην πλάκα και τον χρόνο που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει την πλάκα.

9. Το στενότερο εστιακό σημείο του κοίλου σφαιρικού καθρέπτη για να βλεπεί μεγεθωμένο το όραμα του κίτρινου είναι 2 cm, πόσο κοντά πρέπει να βρίσκεται σε ένα άτομο ώστε το είδαίο του όραμα να είναι τραπέζιο σε μέγεθος; Το σχηματιζόμενο είδαίο θα είναι ορθό ή αντεστραμμένο, πραγματικό ή φανταστικό.

10. Ένα αντικείμενο ύψους 3,5 cm τοποθετείται 20 cm μακριά από ένα κοίλο κίτρινό έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα πραγματικό του είδαίο ύψους 7 cm. Σε ποιά απόσταση από το κίτρινό σχηματίζεται αυτό το είδαίο; Είναι ορθό ή αντεστραμμένο; Ποιά είναι η ισχύς κίτρινό, του κίτρινου;

11. Ένα κοίλο κίτρινό ημισφαιρικό 0,25 m και ημισφαιρικό κίτρινος 2 m, τοποθετείται ψηλά από το ξύλο ενός καταστήματος ως καθρέπτης ασφαλείας. Πόσο θα είναι το ύψος του κίτρινου που σχηματίζεται σε αυτό του καθρέπτη ενός παιδιού που στέκεται σε απόσταση 5 m από αυτόν και έχει ύψος 1,5 m; Θα φαίνεται σε αυτόν το παιδί να είναι το ύψος που είναι η ακτινή των παπουτσιών του σχηματίζεται στο κατώτερο μέρος του καθρέπτη.

12. Ένα κοίλο καθρέπτη ημισφαιρικό ημισφαιρικό ημισφαιρικό 25 cm. Πόσο κοντά στο καθρέπτη πρέπει να φέρει μια γυνίκα τη μητή της ώστε να φαίνεται 3 φορές μεγεθωμένη. Στονόση τη απάντησή σας και με ένα διάγραμμα τρέψιμης ακτινών.

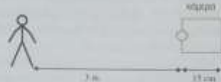
13. Ένα νόμισμα τοποθετείται σε απόσταση 3 cm από ένα κοίλο κίτρινό ακτινών κίτρινό 15 cm. Περιγράψτε το είδαίο που σχηματίζεται βρισκόμενος τη θέση του, τη μεγέθυνση του και αν είναι ορθό ή αντεστραμμένο, πραγματικό ή φανταστικό.

14. Στο αλάνο καθρέπτη ενός αυτοκινήτου, το οποίο είναι ένα κοίλο κίτρινό με ακτιν κίτρινό 150 cm, σχηματίζεται το είδαίο ενός άλλου αυτοκινήτου που ακολουθεί σε απόσταση 10 m. Πρότε πως σχηματίζεται το είδαίο, τη μεγέθυνση του και αν είναι ορθό ή αντεστραμμένο, πραγματικό ή φανταστικό.

15. Στον πύθωνα μιας μεγάλης πύνας βάθος 2,5 m έχει τοποθετηθεί, για να φωτίζει την επιφάνειά της, ένας μικρός αλλά αρκετά φωτεινός προβολέας. Δείξτε ότι ένας παρατηρητής έδω από την πύνα θα βλέπει φωτισμένη μια περιοχή της επιφάνειάς της που αντιστοιχεί σε ένα οβάλόμο όμοιο, και βρείτε την ακτινή του.

τοποθετείται στο εστιακό του κίτρινό, στη φωνή που εισέρχεται από την πολύ μικρή ήρση είναι σφαιρικός αλλά διαφορετικά η λεπτή και η απόσταση της εικόνας μπορεί να είναι υπέρχρη.

4. Μια ημισφαιρική φωτογραφική μηχανή, σαν αυτή που περιγράφεται στο Πρόβλημα 3, έχει προσκολλημένο έναν φακό στη μικρή ήρση και η απόσταση από τον κίτρινό, όπου τοποθετείται το φάκ, βρίσκεται σε απόσταση (βήθος κίτρινος) 15 cm. Θεωρήστε ότι ο φακός της κίτρινος είναι σχεδισμένος έτσι ώστε η καλύτερη φωτογράφιση εκπαικνόμενα να γίνεται όταν αυτά βρισκόμενα σε απόσταση 3 m από την κίτρινος. Ποιά είναι η εστιακή απόσταση του φακού;



5. Ημε φωτογραφική μηχανή έχει έναν φακό σε ραβδόμη θέση. Το βήθος της φωτογραφικής μηχανής (βλ. Πρόβλημα 4) είναι  $d = 4$  cm. Υπολογίστε την εστιακή απόσταση του φακού και πόσο θα πρέπει να μπορεί να προεκτείνεται από την κίτρινος,  $a$ , ώστε η φωτογραφική μηχανή να μπορεί να βγάλει καθαρές φωτογραφίες αντικειμένων που βρισκόμενα σε αποστάσεις από 50 cm έως το άπειρο (βλ. σχήμα).



6. Σε μια φωτογραφική μηχανή παρόμοια με αυτή του Προβλήματος 5, ο φακός έχει εστιακή απόσταση 35 mm και η αρχική του θέση είναι τέτοια ώστε να εστιακά αντικείμενα που βρισκόμενα σε άπειρη απόσταση. Πόσο θα πρέπει να μετακινηθεί ο φακός από αυτή τη θέση ώστε η φωτογραφική μηχανή να βγάλει καθαρές φωτογραφίες αντικειμένων σε απόσταση 3 m από αυτήν.

7. Υποθέστε ότι η κίτρινος ενός όντος που κίτρινος σε ένα τριβύλο Ρετρί (μυθό γυάλινο ή πλαστικό κίτρινος) είναι μικρός αλλά αρκετά φωτεινός προβολέας. Η απόσταση από το τριβύλο στον φακό είναι 36 cm και ο φακός βρίσκεται σε απόσταση 4,5 m από το κίτρινό και τον φακό. (Το κίτρινό αλλά ανακαταβλόμενα τα φως από την φακό στην όλην,

θεωρήστε ημισφαιρική την απόσταση μεταξύ φακού και κίτρινος. Έτσι, η απόσταση του αντικειμένου  $u$  από το σφαιρικό φακού-κίτρινος είναι 36 cm και το είδαίο σχηματίζεται σε απόσταση  $v = 4,5$  m από αυτό.)



(α) Ποιά είναι η εστιακή απόσταση του φακού προβολέας;

(β) Αν το αν κίτρινος με ταχύτητα 1 cm το δεξιό-κόσμο στο τριβύλο, πόσο γρήγορα θα κινείται το είδαίο του στην όλην.

8. Μια μηχανή προβολής διαφανών έχει φακό προβολής εστιακή απόσταση 135 mm.

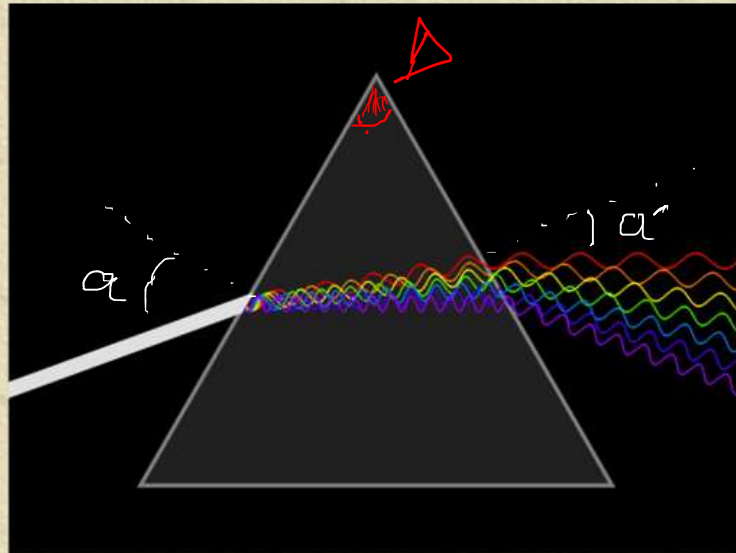
(α) Πόσο θα πρέπει να τοποθετούνται οι διαφανείς αν η όλην προβολής είναι σε απόσταση 3 m από τον φακό προβολής;

(β) Ποιά θα είναι η μεγέθυνση;

(γ) Αν θέλετε να έχετε στην όλην προβολής ένα πραγματικό (ορθό, χωρίς κίτρινος ανταπόλη) είδαίο της εικόνας της διαφανής πως θα πρέπει να τοποθετήσετε τη διαφανή στο μηχανή με προβολής; Αναποδογυρισμένη πάνω-κάτω, δεξιά-αριστερά;

9. Ένας γρήγορος και εύκολος τρόπος για να προσδιορίσει προσεγγιστικά την εστιακή απόσταση ενός κοίτου φακού είναι να μετρήσει την απόσταση από τον φακό του είδαίου μιας φωτεινής πηγής που βρίσκεται σε μακρινή απόσταση. Ας υποθέσουμε ότι ένας φακός έχει εστιακή απόσταση 10 cm και μια λάμπα φθορισμού, σταματημένη με ένα μεταλλικό πλέγμα στην οροφή του διαμετώ, βρίσκεται σε απόσταση 1,5 m από τον φακό, ώστε ένας πιστωτής να μπορεί να δει το είδαίο του μεταλλικού πλέγματος στο πίσω μέρος του γίτρινος του. Ο πιστωτής πιστοποιεί ότι η εστιακή απόσταση του φακού είναι ίση με την απόσταση μεταξύ του φακού και του γίτρινος του όπου σχηματίζεται το είδαίο. Υπολογίστε την εστιακή απόσταση του φακού-γίτρινος όταν σχηματίζεται ένα εστιακό είδαίο σε αυτό και δείξτε ότι το σφάλμα στην τιμή της εστιακής απόστασης που προσδιορίζεται με αυτόν τον τρόπο είναι μικρότερο από 10%. Σφάλμα = [(μετρούμενη απόσταση) - εστιακή απόσταση]/εστιακή απόσταση \* 100%.

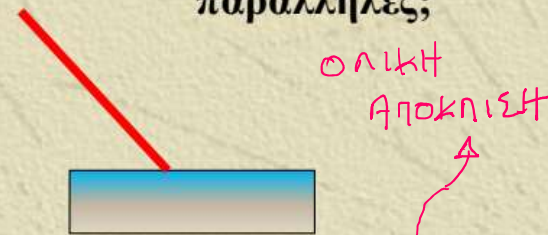
# ΠΡΙΣΜΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ



Μπορείτε να εξηγήσετε πώς προκύπτουν οι δέσμες που φαίνονται στο σχήμα;

**προσπίπτουσα**

Που οφείλεται ο διαχωρισμός των χρωμάτων από ένα πρίσμα; Τι θα γίνονταν εάν οι πλευρές του πρίσματος ήταν παράλληλες;



$E = \alpha + \alpha' - \Delta$  Total deviation