



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Φυσική II

Ενότητα 13: Γεωμετρική οπτική

Κουζούδης Δημήτρης  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

# Σκοποί ενότητας

- Η κυματική φύση του φωτός: διάθλαση, ανάκλαση, απορρόφηση
- Γωνίες πρόσπτωσης, ανάκλασης και διάθλασης και ο νόμος της ανάκλασης
- Επίπεδα κάτοπτρα και αποστάσεις αντικειμένου, ειδώλου και εστίασης
- Ορισμός ακτίνας καμπυλότητας σε καμπύλη και σε σφαίρα για σφαιρικά κάτοπτρα και φακούς
- Σφαιρικά κάτοπτρα, οπτικός άξονας, εστιακό σημείο και σχηματισμός ειδώλων
- Ο νόμος της διάθλασης σε διαφορετικά υλικά, δείκτης διάθλασης και ολική ανάκλαση
- Περιγραφή γεωμετρίας και ιδιοτήτων φακών και σχηματισμός ειδώλων από λεπτούς φακούς: αποκλίνοντες και συγκλίνοντες



# Περιεχόμενα ενότητας

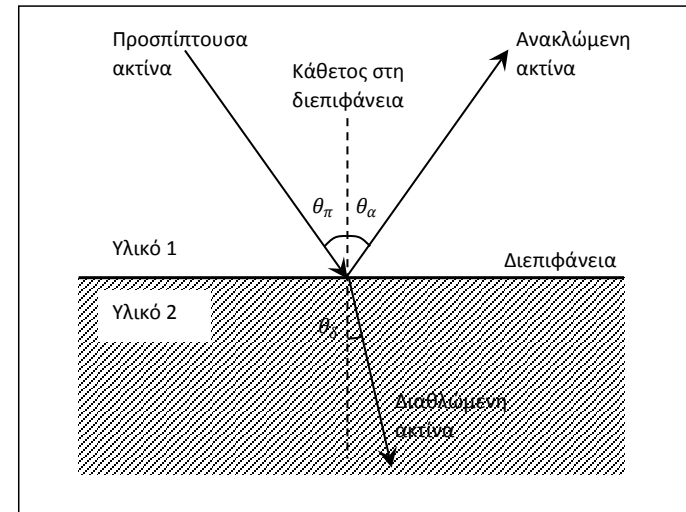
- Το φως ως ακτίνες
- Ο νόμος της ανάκλασης
- Επίπεδα κάτοπτρα
- Ακτίνα καμπυλότητας
- Σφαιρικά κάτοπτρα
- Εστία σφαιρικού κατόπτρου
  - Παράδειγμα
- Ο νόμος της διάθλασης
  - Παράδειγμα
- Ολική ανάκλαση
- Οι φακοί
- Λεπτοί φακοί



# Γεωμετρική οπτική

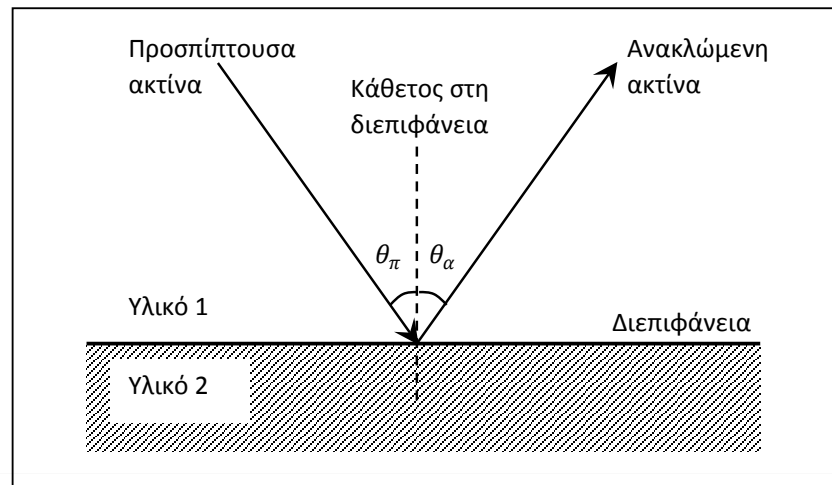
# Το φως ως ακτίνες

- Μικρό εμπόδιο ( $\mu m$ ): κυματική φύση
- Μεγάλο εμπόδιο ( $mm$ ): σωματιδιακή φύση
- Γεωμετρική οπτική
- Λεία διεπιφάνεια υλικών
  - Ανάκλαση
  - Διάθλαση
  - Απορρόφηση (θεωρούμε αμελητέα)
- Τρεις ακτίνες με αντίστοιχες γωνίες
  - Η προσπίπτουσα ακτίνα και η γωνία πρόσπτωσης  $\theta_{\pi}$
  - Η ανακλώμενη ακτίνα και η γωνία ανάκλασης  $\theta_{\alpha}$
  - Η διαθλώμενη ακτίνα και η γωνία διάθλασης  $\theta_{\delta}$



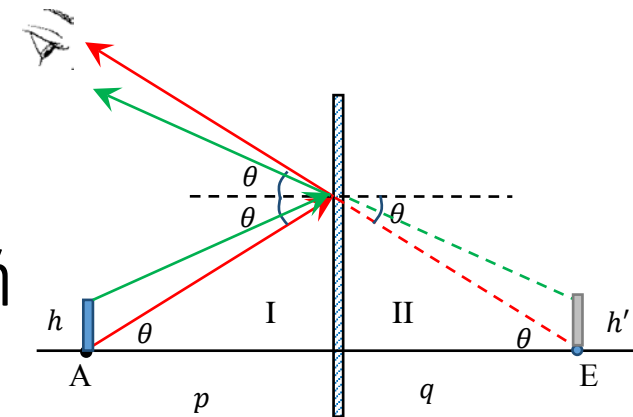
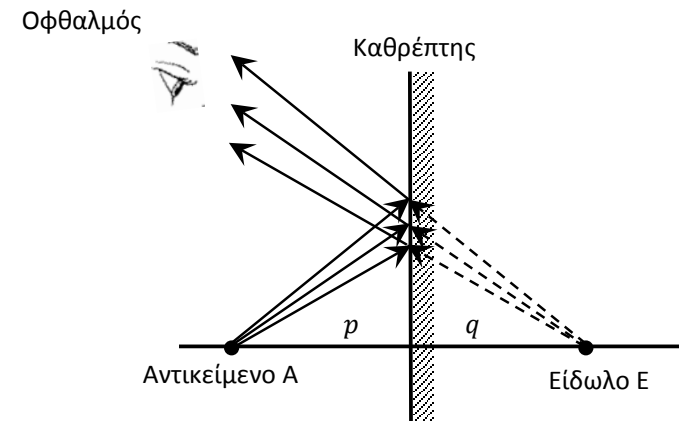
# Ο νόμος της ανάκλασης

- Η γωνία ανάκλασης ισούται με την γωνία πρόσπτωσης
  - $\theta_{\alpha} = \theta_{\pi}$
  - $\theta_{\alpha} = \theta_{\pi} = 0$ : κάθετη πρόσπτωση
- Ανακλαστικά υλικά (κάτοπτρα – καθρέπτες)
  - Μεγαλύτερο μέρος δέσμης ανακλάται
  - Μεταλλικά, λεία
  - Επίπεδα ή κυρτά



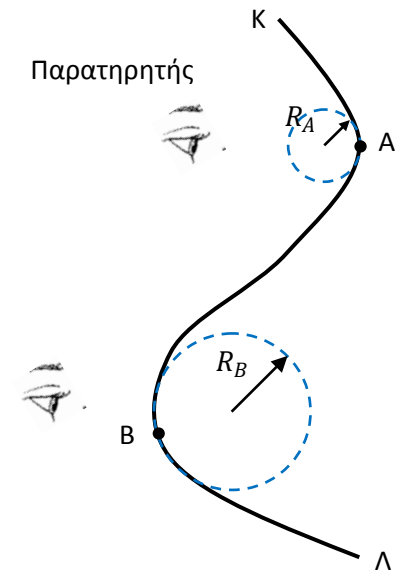
# Επίπεδα κάτοπτρα

- Σχηματισμός ειδώλων
  - Απόσταση αντικειμένου,  $p$
  - Απόσταση ειδώλου,  $q$
- Σε επίπεδο κάτοπτρο οι αποστάσεις αντικειμένου και ειδώλου από τον καθρέπτη είναι ίσες,  $p = q$ 
  - $ΑΠ\hat{K} = ΚΠ\hat{O} = ΕΠ\hat{K}$ , κατά κορυφήν
  - $ΑΠ\hat{K} = ΕΠ\hat{K}$ , εντός εναλλάξ
  - Τρίγωνο  $I =$  Τρίγωνο  $II$ , ίσες γωνίες, κοινή πλευρά
  - Τα ύψη των αντικειμένων είναι ίσα,  $h = h'$



# Ακτίνα καμπυλότητας

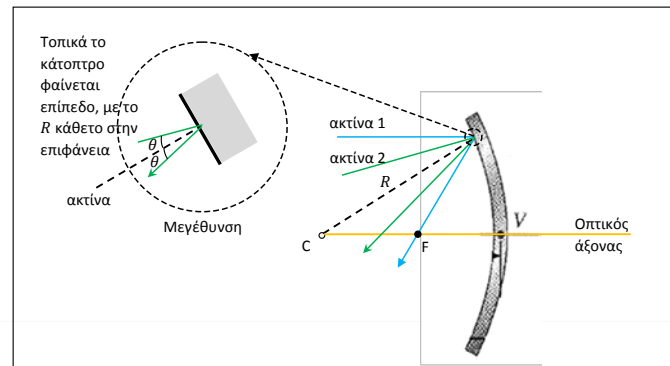
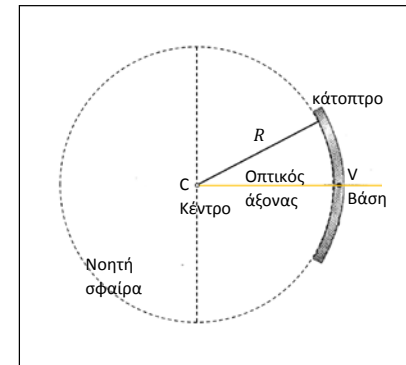
- Σφαιρικά κάτοπτρα, λεπτοί φακοί
- Εφαπτόμενος κύκλος σε καμπύλη στο σημείο A
  - Γεωμετρική ακτίνα κύκλου = ακτίνα καμπυλότητας του A
- Απότομη στροφή: μικρή ακτίνα
- Ομαλή στροφή: μεγάλη ακτίνα
- Ορισμός θετικής φοράς
  - Κύκλος προς τον παρατηρητή (κοίλος)
- Σε επιφάνειες : εφαπτόμενη σφαίρα





# Σφαιρικά κάτοπτρα

- Μέρος νοητής σφαίρας
- Οπτικός άξονας: συμμετρική διχοτόμος στη «βάση» του κατόπτρου
- Κάθετος: η ακτίνα στο σημείο
- Εστιακό σημείο (εστία): σύγκλιση όλων των αρχικά παράλληλων (με τον οπτικό άξονα) προσπιπτουσών
- Εστιακή απόσταση: η απόσταση από την βάση του κατόπτρου μέχρι και την εστία,  $f = R/2$

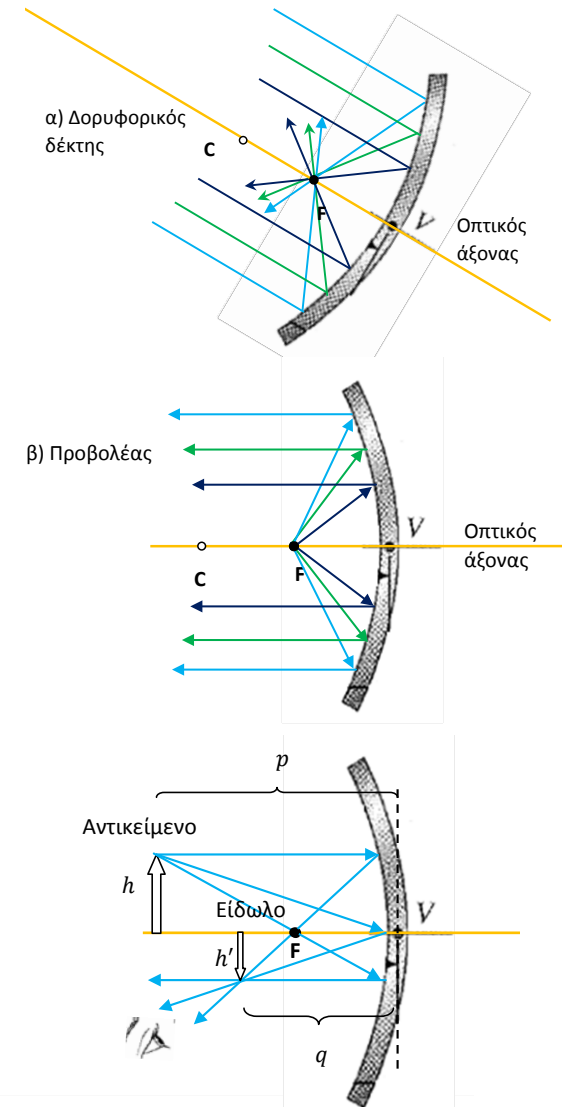


# Εστία σφαιρικού κατόπτρου

- Δορυφόροι: παράλληλα με οπτικό άξονα, εστίαση στην εστία – μέγιστο σήμα
- Προβολέας: ανάκλαση φωτεινών ακτίνων, παράλληλα με οπτικό άξονα – μεγάλες αποστάσεις
- Σχηματισμός ειδώλων
  - Οριζόντια απόσταση αντικειμένου,  $p$
  - Οριζόντια απόσταση ειδώλου,  $q$

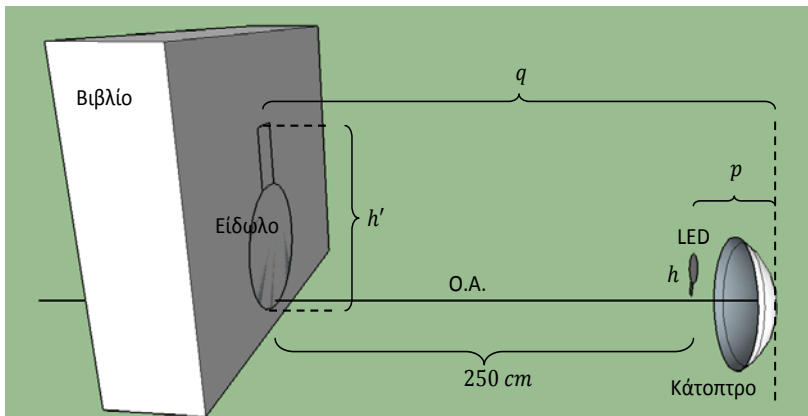
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

- Κατακόρυφη απόσταση: ύψος ειδώλου  $h'$
- Μεγέθυνση:  $m = h'/h = -q/p$



# Παράδειγμα 1

Η λάμπα μικρού φακού τύπου LED διαμέτρου 2 mm τοποθετείται κοντά σε ένα κοίλο κάτοπτρο εστιακής απόστασης 12 cm. Ένα μεγάλο ανεστραμμένο είδωλο του φακού εμφανίζεται μεγεθυμένο επάνω στο χάρτινο εξώφυλλο ενός βιβλίου που είναι τοποθετημένο κατακόρυφα επάνω στο ίδιο τραπέζι που βρίσκονται ο φακός και το κάτοπτρο, στην ίδια μεριά του κατόπτρου όπως ο φακός και σε απόσταση 2.5 m από αυτόν. Να βρεθεί η απόσταση του φακού LED από το κάτοπτρο καθώς και το ύψος του ειδώλου.



$$f = +20 \text{ cm, κοίλο}$$

$$q = 250 + p$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{20} \Rightarrow \frac{1}{p} + \frac{1}{250 + p} = \frac{1}{20} \Rightarrow p^2 + 210p - 5000 = 0$$

$$p = 21.6 \text{ cm, } q = 250 + p \rightarrow q = 271.6 \text{ cm}$$

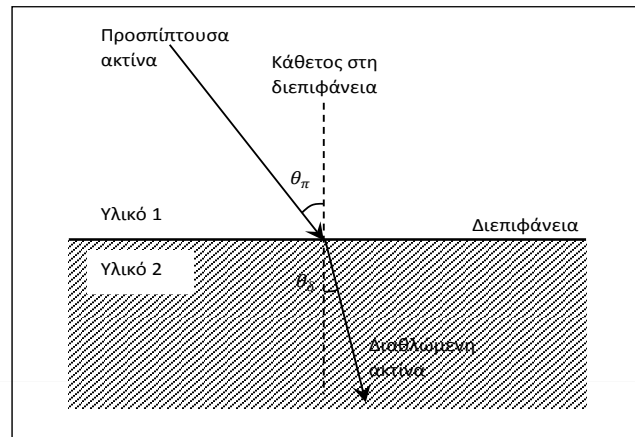
$$m = -\frac{q}{p} = -\frac{271.6}{21.6} = -12.6$$

$$\frac{d'}{d} = -m \Rightarrow d' = -md = 12.6 \times 0.2 = 2.52 \text{ cm}$$



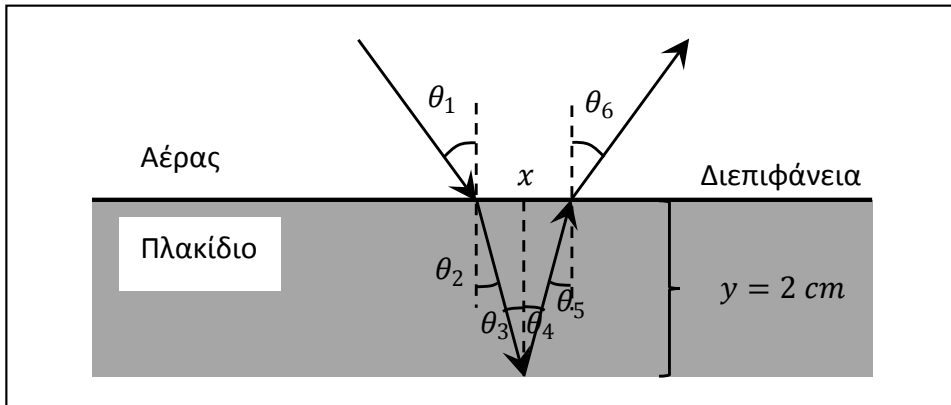
# Ο νόμος της διάθλασης

- Διαθλώμενη ακτίνα – διέλευση από υλικό
- $\theta_{\pi} \neq \theta_{\delta}$  για διαφορετικά υλικά
- Νόμος Διάθλασης (Νόμος Snell)
  - $n_{\pi} \sin \theta_{\pi} = n_{\delta} \sin \theta_{\delta}$
- Κάθετη πρόσπτωση:  $\theta_{\pi} = 0$



# Παράδειγμα 2

Μια φωτεινή ακτίνα συναντά την πάνω επιφάνεια ενός πλακιδίου Plexiglas με γωνία πρόσπτωσης  $28^\circ$  και ακολούθως διαθλάται μέσα σε αυτό. Αφού ανακλαστεί στην κάτω επιφάνεια του πλακιδίου η οποία είναι παράλληλη με την πάνω και απέχει απόσταση  $2\text{ cm}$  από αυτήν, να υπολογιστεί η οριζόντια απόσταση μεταξύ του σημείου εισόδου και σημείου εξόδου της δέσμης στην πάνω επιφάνεια.



Plexiglas  $n = 1.5$ , αέρας  $n = 1$

$$1 \times \sin 28^\circ = 1.5 \times \sin \theta_2 \rightarrow \theta_2 = 18.24^\circ$$

$\theta_3 = \theta_2$  ως εντός εναλλάξ,  $\theta_4 = \theta_3$  λόγω ανάκλασης

$\theta_5 = \theta_4$  ως εντός εναλλάξ. Επομένως  $\theta_5 = 18.24^\circ$ .

$$\tan \theta_3 = \frac{x/2}{y}$$

$$x = 1.32\text{ cm}$$

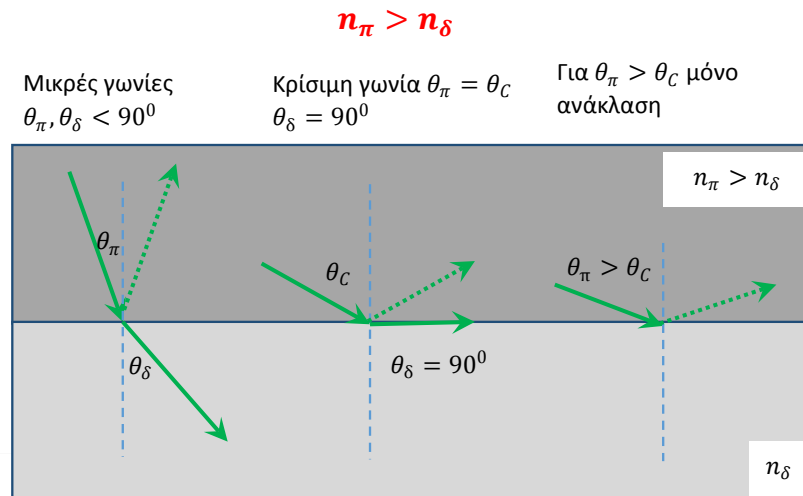


# Ολική ανάκλαση

- Αν  $n_{\pi} < n_{\delta}$ , πρέπει  $\sin\theta_{\pi} > \sin\theta_{\delta}$
- Μέγιστη τιμή  $\theta_{\delta} = 90^{\circ} \rightarrow$  κρίσιμη γωνία  $\theta_c$ 
  - Εξαφάνιση διαθλώμενης ακτίνας – ολική ανάκλαση

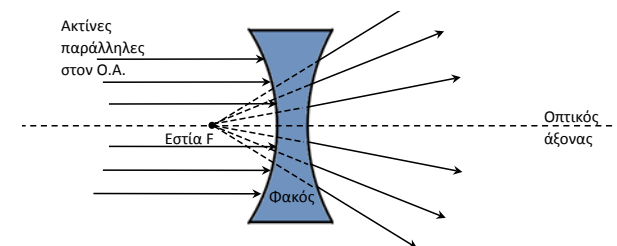
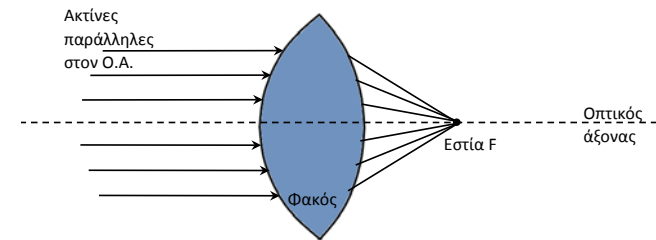
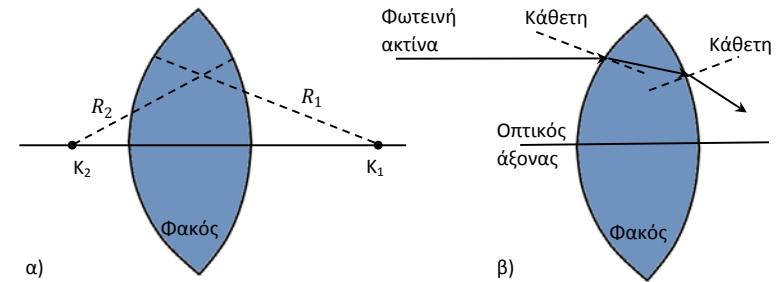
$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\delta}}{n_{\pi}}\right)$$

- Οπτικές ίνες:  $n_{\text{πυρήνα}} \gg \gg n_{\text{περιβλήματος}} \rightarrow \theta_c \rightarrow 0$



# Οι φακοί

- Συμπαγείς σφαιρικές τομές, υψηλού δείκτη διάθλασης
- Σχηματισμός ειδώλου: νόμος διάθλασης
  - Δυο φορές, παρέκκλιση ακτίνας
  - Μεγάλη απόσταση από οπτικό άξονα
  - μεγάλη παρέκκλιση
- Παράλληλες ακτίνες ως προς οπτ. άξονα
  - Συγκλίνουν στην εστία (συγκλίνοντες)
  - Αποκλίνουν από την εστία (αποκλίνοντες)

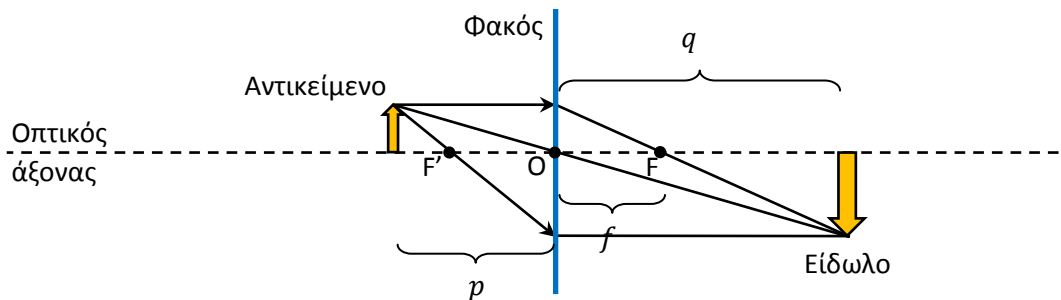


# Λεπτοί φακοί

- Πάχος φακού  $\ll$  ακτίνες καμπυλότητας ( $R_1, R_2$ )
- Προσομοίωση: ευθύγραμμο τμήμα, κάθετο σε οπτ. άξονα
  - Εστιακή απόσταση,  $f$   $\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$
  - Συνήθως  $R_2 > R_1 \rightarrow f > 0$
  - Ίδιες εξισώσεις με επίπεδα κάτοπτρα
  - Διαφορετικές συμβάσεις πρόσημων

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

$$m = -\frac{h'}{h} = \frac{p}{q}$$





# Βιβλιογραφία

- Serway R. A., Jewett J. W., 2013, *Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς : ηλεκτρισμός και μαγνητισμός, φώς και οπτική, σύγχρονη φυσική*, Κλειδάριθμος , Αθήνα
- Halliday D., Resnick R, 2009, *Φυσική: μέρος Β*, 4<sup>η</sup> εκδ., Γ. & Α. Πνευματικός, Αθήνα
- Young H.D., Freedman R.A., 2010, *Πανεπιστημιακή φυσική με σύγχρονη φυσική, τ. 2: Ηλεκτρομαγνητισμός-Οπτική* , 2<sup>η</sup> έκδ., Παπαζήσης , Αθήνα
- Pollack G.L., Stump D. R., 2002, *Electromagnetism*, Addison Wesley, San Francisco
- Hecht E.P., 1975, *Schaum's outline of theory and problems of optics*, McGraw-Hill Book Company, New York



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών

Δημήτριος Κουζούδης. «Φυσική II»

Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2165/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.