



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική - Σύγχρονη Φυσική

Ενότητα: Οπτική

Βαρουτάς Δημήτρης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



ΟΠΤΙΚΗ (Ηλεκτρομαγνητισμός-Οπτική)

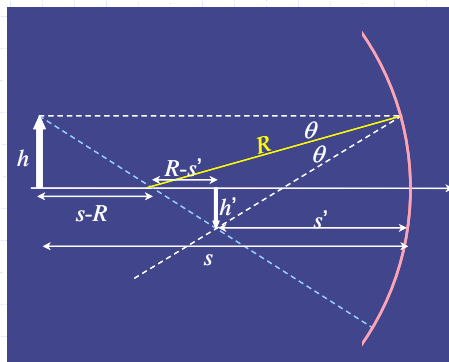
Γεωμετρική Οπτική (Μάθημα 3^ο)

Δ. Βαρουτάς
ΟΠΤΙΚΗ (Η/Μ-Ο)



Κάτοπτρα

Δ. Βαρουτάς, ΟΠΤΙΚΗ





Περιγραμμά

◆ Εισαγωγή

- Χρήση γνωστών εννοιών
- Αντικείμενα και Είδωλα
- Κοίλα κάτοπτρα

◆ Κοίλα Σφαιρικά Κάτοπτρα

- Εξίσωση κατόπτρου
- Μεγέθυνση/Μίκρυνση

◆ Επίπεδα και Κυρτά Σφαιρικά Κάτοπτρα

3



Κάτοπτρα και φακοί

- ◆ Στις πρώτες δυο διαλέξεις μελετήσαμε τα βασικά της φύσης και της διάδοσης του φωτός και στα επόμενα δύο θα μελετήσουμε τους νόμους της γεωμετρικής οπτικής

- Το φως θεωρούμε ότι διαδίδεται σε ακτίνες όταν οι διαστάσεις που μελετάμε είναι \gg από το μήκος κύματος του φωτός

- Ανάκλαση

$$\theta_i = \theta_r$$

- Διάθλαση

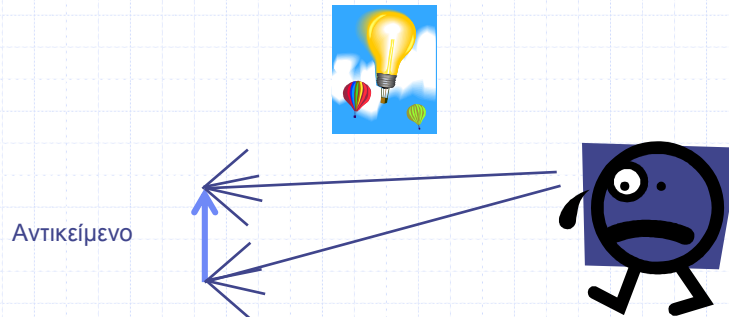
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

- ◆ Θα χρησιμοποιήσουμε αυτούς τους νόμους για να κατανοήσουμε τις ιδιότητες των κατόπτρων (*τέλεια ανάκλαση*) και των φακών (*τέλεια διάθλαση*)
- ◆ Θα ανακαλύψουμε ιδιότητες των συνδυασμών τους που θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε εφαρμογές όπως τα μικροσκόπια, τα τηλεσκόπια κλπ.

4



Αντικείμενα και είδωλα

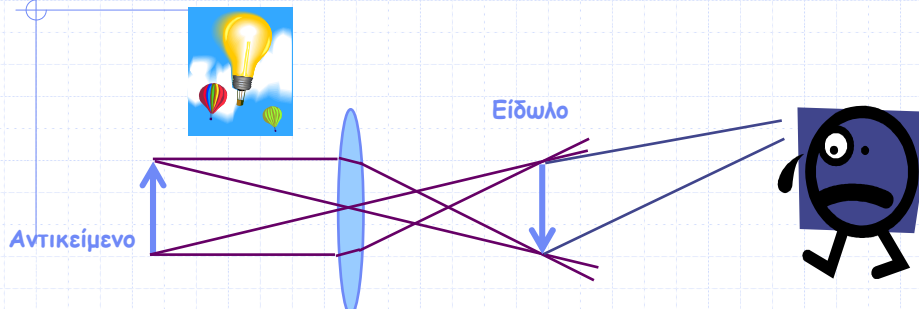


Το φως ανακλάται σε ένα αντικείμενο
Οι ακτίνες διαχέονται προς όλες τις διευθύνσεις
Μερικές κατευθύνονται προς τον παρατηρητή

5



Αντικείμενα και είδωλα



Το φως ανακλάται σε ένα αντικείμενο
Οι ακτίνες διαχέονται προς όλες τις διευθύνσεις
Μερικές κατευθύνονται προς το φακό
Καμπυλώνονται και δημιουργούν «είδωλο»
Οι ακτίνες του «ειδώλου» φτάνουν στον παρατηρητή

Η δημιουργία του ειδώλου είναι η **βασική ιδέα** των μεγεθυντικών φακών/
μικροσκοπίων/τηλεσκοπίων

6



Μερικά λάθη σχετικά με τα κάτοπτρα

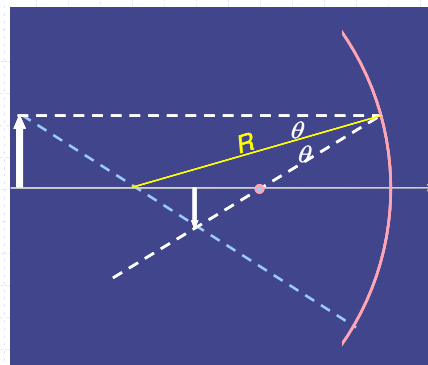
- ◆ Γυαλιά καθρέπτες (μιας κατεύθυνσης)
 - Το φως διαδίδεται το ίδιο και στις δυο κατευθύνσεις απλώς τις περισσότερες φορές δεν υπάρχει πηγή φωτός από την άλλη κατεύθυνση
- ◆ Καθρέπτες αναδίπλωσης

7



Κοίλα σφαιρικά κάτοπτρα

- ◆ Μελέτη για μικρά αντικείμενα κοντά στον άξονα
- ◆ Μπλε ακτίνα
 - $\theta = 0$
- ◆ Λευκή ακτίνα
 - Παράλληλη στον άξονα του κατόπτρου

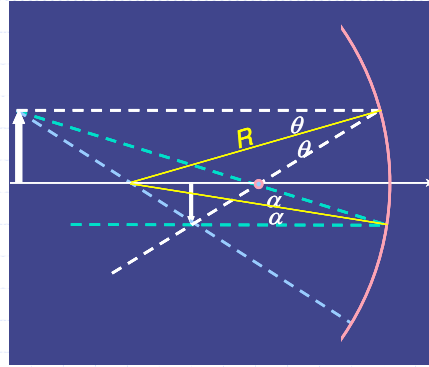


8



Κοίλα σφαιρικά κάτοπτρα συνέχεια

- ◆ Η λευκή και μπλε ακτίνα τέμνονται στο ίδιο σημείο δημιουργώντας ένα ανεστραμμένο είδωλο
- ◆ Ας ελέγξουμε την υπόθεση μελετώντας μια άλλη ακτίνα που προσπίπτει υπό γωνία α
 - Τέμνει τις άλλες δύο στο ίδιο σημείο
- ◆ Το σημείο που τέμνονται η λευκή και η πράσινη ακτίνα σας το ονομάσουμε **εστιακό σημείο**

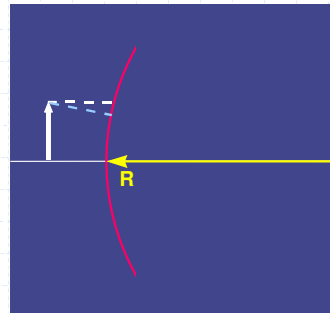


9



Ερώτηση

- ◆ Που τέμνονται οι δυο ακτίνες
 - Δεξιά από το αντικείμενο
 - Αριστερά από το αντικείμενο
 - Δεν τέμνονται



10



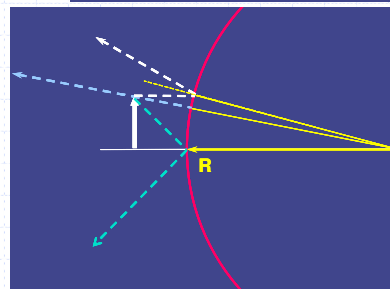
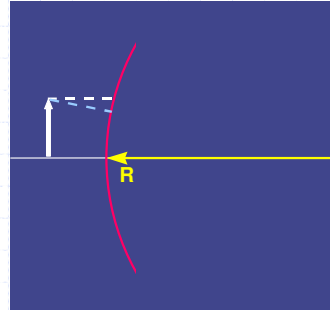
Απάντηση

◆ Που τέμνονται οι δυο ακτίνες

- Δεξιά από το αντικείμενο
- Αριστερά από το αντικείμενο
- Δεν τέμνονται

◆ Γιατί;

- Η γωνία πρόσπτωσης = η γωνία ανάκλασης



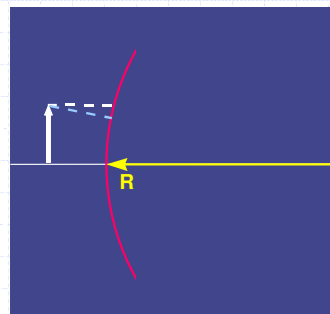
11



Ερώτηση

◆ Πως και που σχηματίζεται το είδωλο

- Ανεστραμμένο και πίσω από το κάτοπτρο
- Ανεστραμμένο και εμπρός από το κάτοπτρο
- Ευθύ και πίσω από το κάτοπτρο
- Ευθύ και εμπρός από το κάτοπτρο

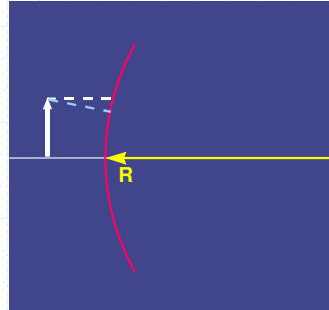


12



Απάντηση

- ◆ Πως και που σχηματίζεται το είδωλο
 - Ανεστραμμένο και πίσω από το κάτοπτρο
 - Ανεστραμμένο και εμπρός από το κάτοπτρο
 - Ευθύ και πίσω από το κάτοπτρο
 - Ευθύ και εμπρός από το κάτοπτρο

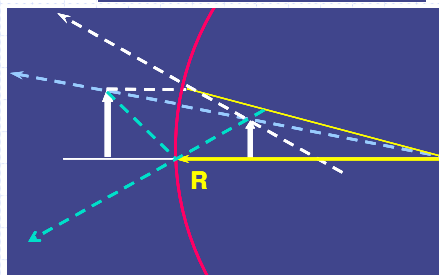
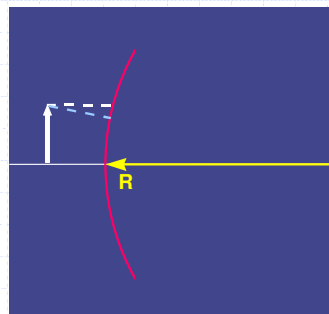


13



Γιατί;

- ◆ Ευθύ και πίσω από το κάτοπτρο **και μικρότερο**
- ◆ Το είδωλο βρίσκεται στο σημείο από το οποίο φαίνεται να έρχονται οι ακτίνες
- ◆ Εφαρμογή
 - Οι καθρέπτες των αυτοκινήτων





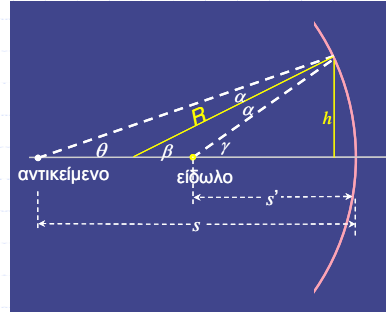
Η εξίσωση του κατόπτρου

$$\begin{aligned} \beta &= \alpha + \theta \\ \gamma &= 2\alpha + \theta \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \gamma = 2\beta - \theta$$

Από το νόμο για τις μικρές γωνίες για τη γωνία θ :

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$$

$$\theta \approx \frac{h}{s} \quad \beta \approx \frac{h}{R} \quad \gamma \approx \frac{h}{s'}$$



$$\frac{1}{s'} = \frac{2}{R} - \frac{1}{s}$$

Ορίζουμε **εστιακή απόσταση** $f = R/2$,

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

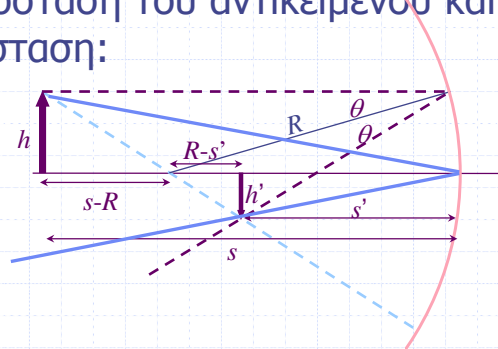
Εξίσωση του κατόπτρου
Ανεξάρτητη της γωνίας
Για κάθε **μικρό** θ έχουμε **ειδωλο**



Μεγέθυνση

◆ Βρήκαμε την εξίσωση του κατόπτρου σε σχέση με την απόσταση του αντικειμένου και την εστιακή απόσταση:

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



- Τι γίνεται με το μέγεθος του ειδώλου;;
 - Πόσο είναι το h' σε σχέση με h ;;
 - Ας χρησιμοποιήσουμε όμοια τρίγωνα

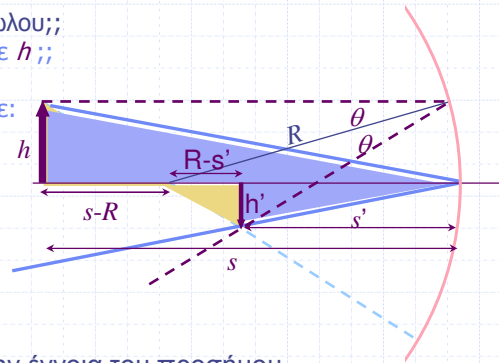


Μεγέθυνση ...συνέχεια

Τι γίνεται με το μέγεθος του ειδώλου;;
Πόσο είναι το H σε σχέση με h ;;

Από τα όμοια τρίγωνα έχουμε:

$$\frac{h'}{h} = \frac{s'}{s}$$



Μπορούμε να εισάγουμε και την έννοια του προσήμου στην μεγέθυνση. Μπορούμε να δούμε ότι η εικόνα είναι αντεστραμμένη αν ορίσουμε ότι η μεγέθυνση από τη σχέση :

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



Κοίλοι – Επίπεδοι – Κυρτοί

◆ Τι συμβαίνει αν αλλάξουμε την καμψυλότητα του κατόπτρου;

■ Επίπεδο κάτοπτρο: $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$
 ♦ $R = \infty$ $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = 0$

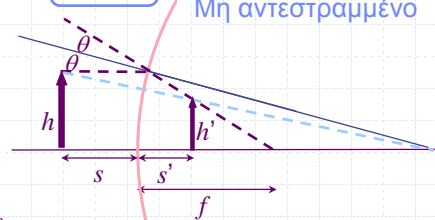
$$s' = -s$$

$$M = +1$$

Είδωλο:
Φανταστικό
Μη αντεστραμμένο

■ Κυρτό κάτοπτρο:
♦ $R < 0$ $f = \frac{R}{2} < 0$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s} < 0$$



$$s' < 0$$

$$M > 0$$

Είδωλο:
Φανταστικό
Μη αντεστραμμένο





Ερώτηση

- ◆ Πως μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα **πραγματικό, ανεστραμμένο και μεγενθυμένο** είδωλο
 - Με ένα **κοίλο** κάτοπτρο
 - Με ένα **κυρτό** κάτοπτρο
 - Με ένα **επίπεδο** κάτοπτρο
 - Με **κανέναν** τρόπο

19



Απάντηση

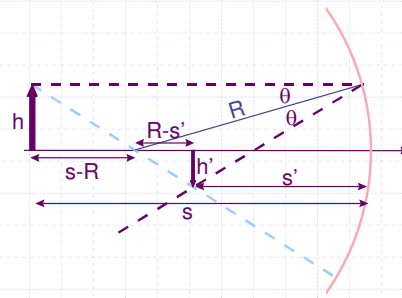
- ◆ Πως μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα **πραγματικό, ανεστραμμένο και μεγενθυμένο** είδωλο
 - Με ένα **κοίλο** κάτοπτρο
 - Με ένα **κυρτό** κάτοπτρο
 - Με ένα **επίπεδο** κάτοπτρο
 - Με **κανέναν** τρόπο

20



Γιατί;

- ◆ Ένα **κυρτό** κάτοπτρο μπορεί να δημιουργήσει μόνο φανταστικό είδωλο καθώς αποκλείουν όλες οι ακτίνες
 - Άρα το **β** είναι **λάθος**
- ◆ Για να δημιουργήσουμε **πραγματικό** είδωλο με **κοίλο** είδωλο, πρέπει το αντικείμενο να είναι εκτός **εστιακού σημείου**
- ◆ Το διπλανό παράδειγμα δίνει **πραγματικό αντεστραμμένο αλλά μικρότερο είδωλο**
- ◆ Μπορούμε να διαλέξουμε τις παραμέτρους ώστε να **μεγεθυνούμε το είδωλο**;

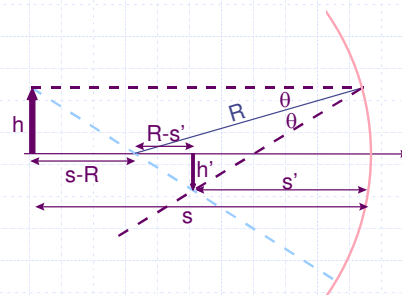


21



Ας φερθούμε λίγο έξυπνα

- ◆ **h'** είναι το πραγματικό είδωλο
- ◆ Ας υποθέσουμε ότι το **ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ** είναι **h'** .
- ◆ Το **ΕΙΔΩΛΟ** θα είναι **$h !!!$**
- ◆ Άρα είναι **ΔΥΝΑΤΟΝ** να γίνει!!
- ◆ (Προσοχή ακολουθούν εξισώσεις)

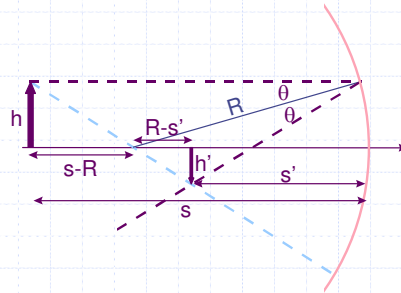


22



Λίγες εξισώσεις

◆ Μπορούμε να διαλέξουμε τις παραμέτρους ώστε να **μεγεθυνούμε το είδωλο**;



$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad s' = \frac{fs}{s-f}$$

$$M = -\frac{s'}{s} \quad \Rightarrow \quad M = -\frac{f}{s-f}$$

Για **πραγματικό είδωλο** θέλουμε: $s > f$

Άρα για **αντεστραμμένο μεγενθυμένο είδωλο** θέλουμε: $s < 2f$

Άρα για **πραγματικό, αντεστραμμένο και μεγενθυμένο είδωλο** $f < s < 2f$



Συμπερασματικά....

◆ Εξισώσεις κατόπτρου:

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

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

Μεταβλητή	Κάτοπτρο
$f > 0$ $f < 0$	κίλλο κυρτό
$s > 0$ $s < 0$	πραγμ (εμπρος) φαντ (πίσω)
$s' > 0$ $s' < 0$	πραγμ (εμπρος) φαντ (πίσω)

Τέλος

Γεωμετρική οπτική

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.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Βαρουτάς Δημήτρης. «Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική - Σύγχρονη Φυσική. Οπτική». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI121/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 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-sa/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.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

