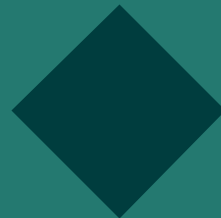
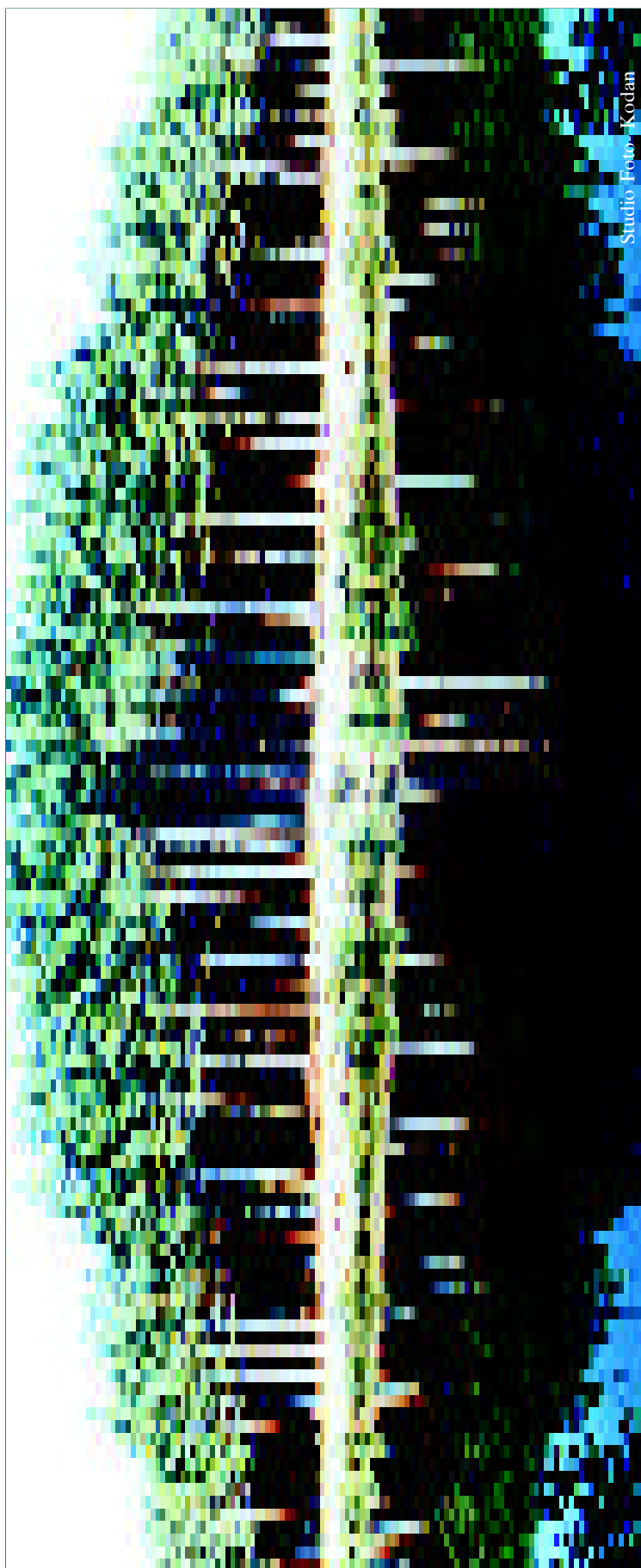


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ



- Ανάκλαση και διάθλαση
- Ανάκλαση σε επίπεδη επιφάνεια
- Ολική εσωτερική ανάκλαση
- Ανάκλαση σε σφαιρική επιφάνεια
- Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια



Studio Foto Kodan

«ΦΥΣΙΚΟΣ ΚΑΘΡΕΦΤΗΣ»

Τα δένδρα του δάσους «καθρεφτίζονται» στα ήρεμα νερά μιας λίμνης.
Η επιφάνεια της λίμνης παίζει το ρόλο ενός επίπεδου κατόπτρου.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

Στη Γεωμετρική Οπτική η διάδοση του φωτός περιγράφεται με την έννοια της **φωτεινής δέσμης**, η οποία αποτελείται από **φωτεινές ακτίνες**. Η διεύθυνση διάδοσης της δέσμης είναι ευθύγραμμη, εφόσον διατρέχει ομογενή υλικά και συμπίπτει με τη διάδοση της κυματικής διαταραχής.

Διακρίνουμε δύο σημαντικές ιδιότητες των φωτεινών ακτίνων:

(α) Οι ακτίνες που αποτελούν τη φωτεινή δέσμη είναι παράλληλες και (β) οι ακτίνες έχουν την ιδιότητα να συγκλίνουν ή να αποκλίνουν, αλλά και να διέρχονται όλες από ένα σημείο. Παράδειγμα μιας τέτοιας δέσμης είναι αυτή που ξεκινά από μια φωτεινή πηγή τέτοιων διαστάσεων, ώστε να θεωρηθεί ως σημείο (σημειακή φωτεινή πηγή).

Ο κλάδος της Οπτικής που ασχολείται με την ακτινική περιγραφή του φωτός ονομάζεται **Γεωμετρική Οπτική**.

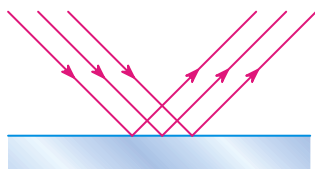


Σ-1 Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός.

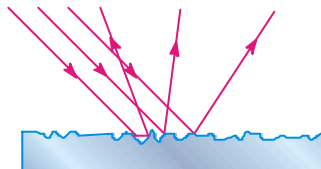
ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Ανάκλαση του φωτός

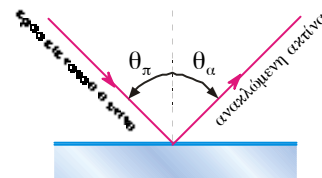
Όταν μία φωτεινή δέσμη, συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια που χωρίζει το αρχικό μέσο διάδοσης από ένα άλλο, τότε ένα μέρος της ανακλάται προς το αρχικό μέσο διάδοσης. Στο σχήμα Σ-2 βλέπουμε πώς ανακλώνται οι ακτίνες, όταν προσπίπτουν σε μια λεία επιφάνεια, π.χ. ένα κάτοπτρο. Οι ανακλώμενες ακτίνες συνεχίζουν να είναι παράλληλες μεταξύ τους και ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η ανάκλαση αυτή ονομάζεται **κατοπτρική ανάκλαση**. Αν όμως η επιφάνεια στην οποία προσπίπτουν οι ακτίνες δεν είναι λεία, δηλαδή είναι τραχιά και ανώμαλη (Σ-3), τότε οι ανακλώμενες ακτίνες διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση (διασκορπίζονται). Η ανάκλαση αυτή ονομάζεται **διάχυση**.



Σ-2 Ανάκλαση σε λεία και στυλνή επιφάνεια.



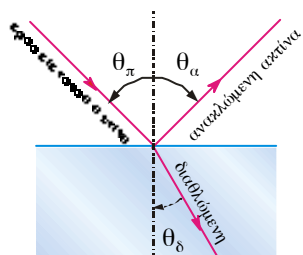
Σ-3 Ανάκλαση σε τραχιά επιφάνεια.



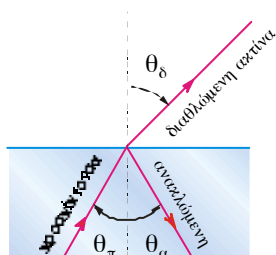
Σ-4 Σύμφωνα με το νόμο της ανάκλασης, η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης ($\theta_{\pi} = \theta_{\alpha}$).

Διάθλαση του φωτός

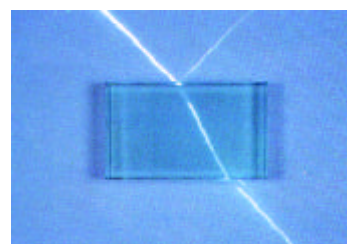
Όταν μία φωτεινή δέσμη συναντήσει πλάγια τη διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφορετικών διαφανών υλικών μέσων, π.χ. αέρα και γυαλιού ή νερού, τότε αυτή εν μέρει ανακλάται και εν μέρει **διαθλάται**. Όταν λέμε διαθλάται, εννοούμε ότι αλλάζει η διεύθυνση διάδοσής της κατά την είσοδό της στο δεύτερο υλικό μέσο.



Σ-5 Διάθλαση από οπτικά αραιότερο σε οπτικά πυκνότερο μέσο ($\theta_{\delta} < \theta_{\pi}$).



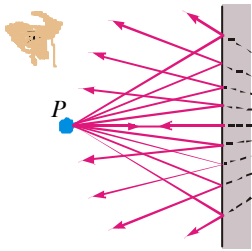
Σ-6 Διάθλαση από οπτικά πυκνότερο σε οπτικά αραιότερο μέσο ($\theta_{\delta} > \theta_{\pi}$).



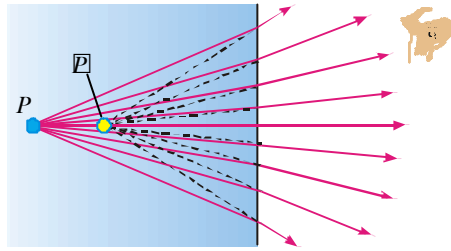
Σ-7 Ανάκλαση και διάθλαση σε γυάλινο πλακίδιο.

ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

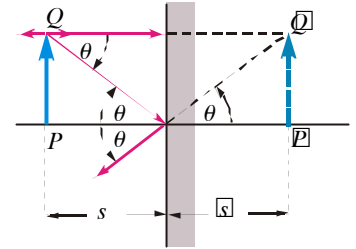
Αυτό που θα μας απασχολήσει στο παράρτημα της Γεωμετρικής Οπτικής είναι η έννοια του ειδώλου. Δηλαδή θα προσπαθήσουμε να αναπτύξουμε με λίγα λόγια, όσο αυτό είναι δυνατόν, τον τρόπο με τον οποίο σχηματίζεται το είδωλο ενός αντικειμένου, τον προσδιορισμό της θέσης του και των γεωμετρικών του στοιχείων στο επίπεδο. Από τη φωτεινή πηγή P των παρακάτω σχημάτων (Σ-8, Σ-9) πηγάζουν αρκετές ακτίνες, οι οποίες ανακλώνται στο επίπεδο κάτοπτρο, σύμφωνα με το νόμο της ανάκλασης, και φαίνονται σαν να προέρχονται από την πηγή P' . Παρατηρούμε ότι οι προεκτάσεις των ανακλώμενων ακτίνων συγκλίνουν στο σημείο P' . Το P' ονομάζεται **είδωλο** του P .



Σ-8 Οι ακτίνες που φθάνουν στο μάτι, μετά από ανάκλασή τους στο επίπεδο κάτοπτρο, δίνουν την εντύπωση ότι προέρχονται από το είδωλο P' .

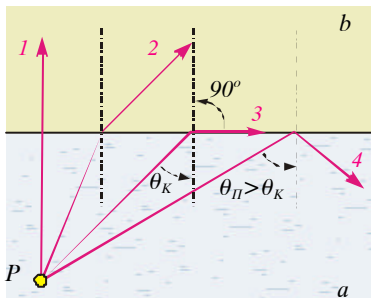


Σ-9 Οι ακτίνες που φθάνουν στο μάτι, μετά από διάθλασή τους στην επίπεδη διαθλαστική επιφάνεια, δίνουν την εντύπωση ότι προέρχονται από το είδωλο P' . Όταν προέρχονται από πικνότερο προς αραιότερο μέσο, το P' πλησιάζει τη διαθλαστική επιφάνεια, ενώ σε αντίθετη περίπτωση βρίσκεται μακρύτερα.



Σ-10 Το σχήμα αυτό δείχνει τον προσδιορισμό των γεωμετρικών στοιχείων του ειδώλου $Q'P'$, που σχηματίζεται από επίπεδο κάτοπτρο. Το είδωλο είναι φανταστικό, όρθιο και έχει το ίδιο μέγεθος με το αντικείμενο. Ισχύει: $s = -s'$.

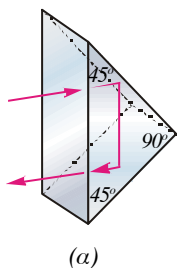
ΟΛΙΚΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ



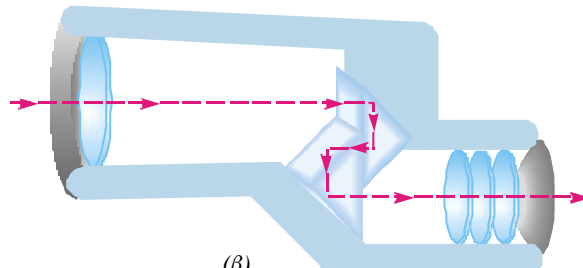
Σ-11 Οι ακτίνες 1, 2, 3 και 4 εκπέμπονται από σημειακή πηγή P και οδεύουν από πικνότερο προς αραιότερο μέσο.

Το σχήμα Σ-11 δείχνει μερικές ακτίνες που προέρχονται από τη φωτεινή πηγή P , η οποία βρίσκεται μέσα σε πικνότερο υλικό μέσο a (π.χ. νερό) σε σχέση με το b (π.χ. αέρας). Αφού φθάσουν στη διαχωριστική επιφάνεια, άλλες από τις ακτίνες διαθλώνται (εισχωρούν στο δεύτερο υλικό) (2), άλλες ανακλώνται (4) και άλλες οδεύουν παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια (3), ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης τους. Οι ακτίνες που δεν καταφέρνουν να διαπεράσουν τη διαχωριστική επιφάνεια λέμε ότι παθαίνουν **ολική εσωτερική ανάκλαση**.

Η γωνία πρόσπτωσης, για την οποία οι ακτίνες δε διαπερνούν τη διαχωριστική επιφάνεια αλλά οδεύουν παράλληλα προς αυτήν, ονομάζεται **κρίσιμη γωνία** (θ_K). Θυμίζουμε ότι για τη μελέτη της διάδοσης του φωτός σε διαφορετικά υλικά μέσα ορίζεται ένας συντελεστής, που ονομάζεται δείκτης διάθλασης n ενός μέσου (περισσότερα στην ενότητα 1.3).



(α)



(β)



(γ)

Σ-12 (α) Εσωτερική ανάκλαση σε ένα πρίσμα Porro, (β) τυπικός συνδυασμός δύο πρισμάτων Porro σε διόπτρα, (γ) διαθλώμενες και ολικά ανακλώμενες ακτίνες.

ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΣΕ ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Κοίλα κάτοπτρα

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με το σχηματισμό ειδώλου από σφαιρικό κάτοπτρο. Το κάτοπτρο του σχήματος Σ-13, ακτίνας καμπυλότητας R , με την κοίλη επιφάνειά του στραμμένη προς το προσπίπτον φως, ονομάζεται **κοίλο κάτοπτρο**. Το κέντρο καμπυλότητας του κατόπτρου, δηλαδή το κέντρο της σφαίρας της οποίας μέρος είναι η ανακλαστική επιφάνεια, το συμβολίζουμε με το γράμμα C . Το σημείο V στο κέντρο του κατόπτρου ονομάζεται **κορυφή** του κατόπτρου και η ευθεία CV **οπτικός άξονας**.

Έστω τώρα ένα σημειακό αντικείμενο P , που βρίσκεται πάνω στον οπτικό άξονα σε απόσταση s από την κορυφή του κατόπτρου. Οι ακτίνες που ξεκινούν από το P , αφού ανακλαστούν, τέμνουν όλες τον άξονα στο ίδιο σημείο P' . Το σημείο P' είναι επομένως το είδωλο του σημειακού αντικειμένου P και απέχει s' από την κορυφή V . Αποδεικνύεται ότι μεταξύ των s , s' και R ισχύει η σχέση:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad (1)$$

Αν $R \rightarrow \infty$, τότε το κάτοπτρο γίνεται επίπεδο και η παραπάνω εξίσωση (1) δίνει $s' = -s$, που ισχύει για επίπεδα κάτοπτρα.

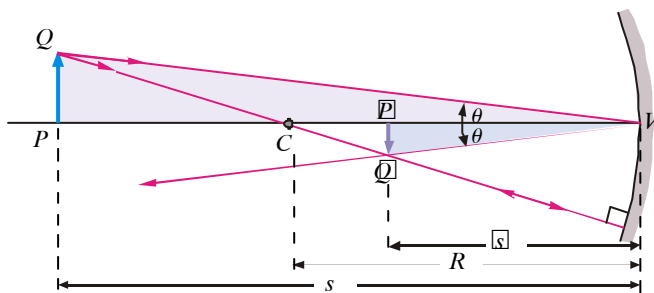
Εστιακό σημείο

Όταν το σημειακό αντικείμενο P βρίσκεται πολύ μακριά από το κάτοπτρο, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι προσπίπτουσες ακτίνες οδεύουν παράλληλα προς τον οπτικό άξονα (σχήμα Σ-14α). Οι ακτίνες, αφού ανακλαστούν, συγκλίνουν σε ένα σημείο F του οπτικού άξονα. Το σημείο F ονομάζεται **εστιακό σημείο** ή απλώς **εστία**. Η απόσταση του F από την κορυφή V του κατόπτρου συμβολίζεται με το γράμμα f και ονομάζεται **εστιακή απόσταση**. Εφαρμόζοντας τη σχέση (1) για $s = \infty$ και $s' = f$ έχουμε:

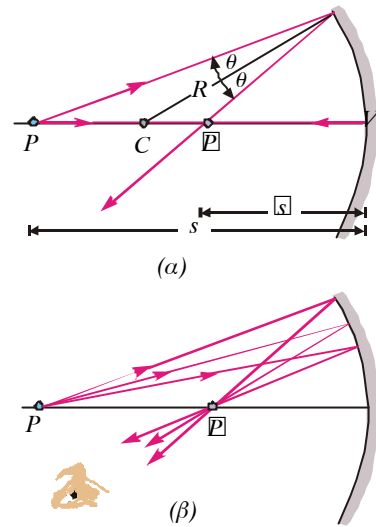
$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{R}{2} \quad (2)$$

Όταν το είδωλο σχηματίζεται στην περιοχή των προσπίπτουσών ακτίνων (μπροστά στο κάτοπτρο), ονομάζεται **πραγματικό είδωλο**. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν το είδωλο σχηματίζεται πίσω από το κάτοπτρο, δηλαδή είναι αποτέλεσμα της σύγκλισης των προεκτάσεων των ακτίνων, ονομάζεται **φανταστικό είδωλο**. Η απόσταση s' παίρνει τότε αρνητικές τιμές. Γενικά ισχύει η σχέση:

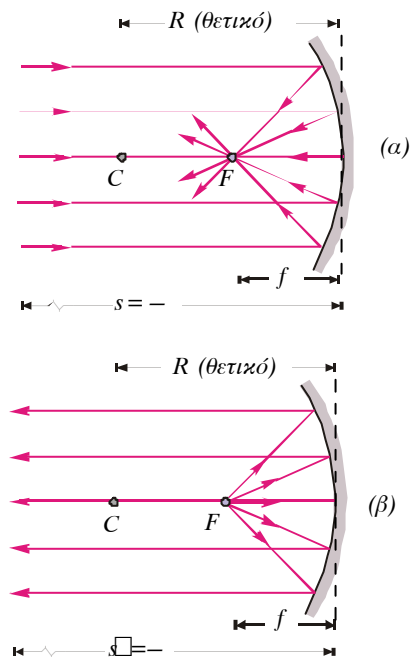
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad \text{Τύπος των κατόπτρων} \quad (3)$$



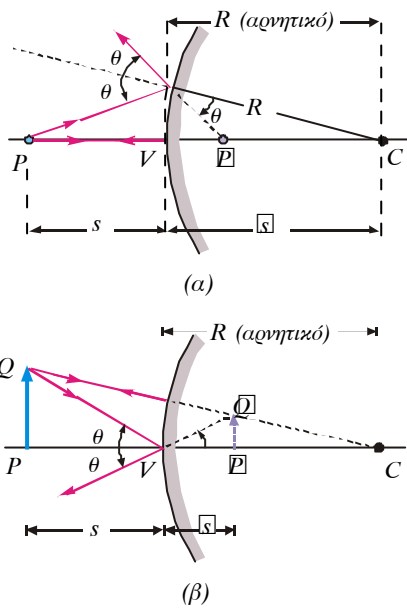
Σ-15 Το παραπάνω σχήμα δείχνει τη γεωμετρική κατασκευή του ειδώλου $P'Q'$ ενός αντικειμένου PQ . Από την πορεία των ακτίνων γίνεται σαφές ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίστηκε γραφικά η θέση, ο προσανατολισμός και το μέγεθος του ειδώλου. Το πηλίκο $m = P'Q'/PQ$ ορίζεται ως **εγκάρσια μεγέθυνση**. Από τα όμοια τρίγωνα PQV και $P'Q'V$ προκύπτει ότι $m = -s'/s$. Το αρνητικό πρόσημο της μεγέθυνσης δηλώνει ότι το είδωλο είναι αντεστραμμένο σε σχέση με το αντικείμενο, όπως δείχνει το σχήμα.



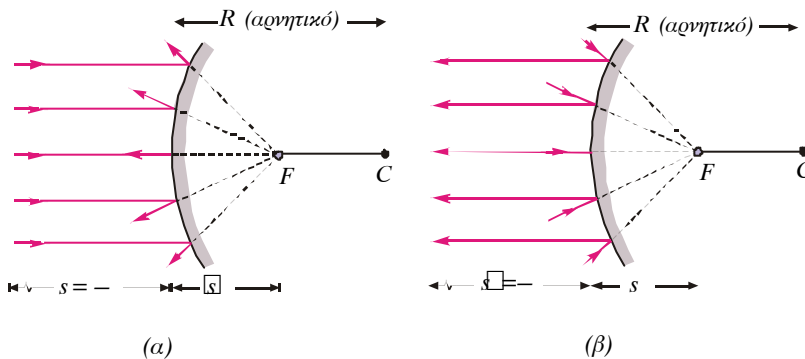
Σ-13 (α) Φαίνεται ο γεωμετρικός προσδιορισμός του ειδώλου P' , που προέρχεται από το σημειακό αντικείμενο P . (β) Ο παρατηρητής έχει την εντύπωση ότι οι ακτίνες προέρχονται από το P' .



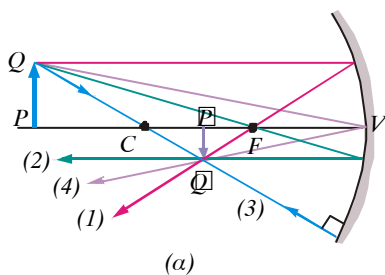
Σ-14 (α) Οι ακτίνες προσπίπτουν παράλληλα προς τον άξονα και συγκλίνουν στο εστιακό σημείο F . Ισχύει: $s' = f = R/2$. (β) Οι ακτίνες ξεκινούν από το εστιακό σημείο και, αφού ανακλαστούν στο κοίλο κάτοπτρο, γίνονται παράλληλες προς τον οπτικό άξονα.



Σ-16 (α) Φαίνεται ο γεωμετρικός προσδιορισμός της θέσης του ειδώλου P' και (β) ο προσδιορισμός της θέσης, ο προσανατολισμός και το μέγεθος του ειδώλου $P'Q'$.



Σ-17 (α) Ακτίνες φωτός που προσπίπτουν παράλληλα προς τον οπτικό άξονα κυρτού κατόπτρου ανακλώμενες, φαίνονται σαν να προέρχονται από το εστιακό σημείο F. (β) Ακτίνες που κατευθύνονται προς το εστιακό σημείο κυρτού κατόπτρου ανακλώνται παράλληλα προς τον οπτικό άξονα. (γ) Η εικόνα δείχνει το σχηματισμό όρθιου φανταστικού ειδώλου, τον φωτογράφο, με μικρότερες διαστάσεις.



Σ-18 Οι κύριες ακτίνες που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του ειδώλου (α) κοίλου κατόπτρου, (β) κυρτού κατόπτρου.

Κυρτά κάτοπτρα

Όταν το φως προσπίπτει από το κυρτό μέρος του σφαιρικού κατόπτρου, τότε το σφαιρικό κάτοπτρο ονομάζεται **κυρτό**. Στο σχήμα Σ-16 βλέπουμε ένα τέτοιο κάτοπτρο. Το κέντρο καμπυλότητάς του βρίσκεται σε αντίθετη πλευρά από ό,τι οι προσπίπτουσες ακτίνες. Όσα ισχύουν για τα κοίλα κάτοπτρα αποδεικνύονται και για τα κυρτά, με τη διαφορά ότι, ανεξάρτητα από τη θέση του αντικειμένου, **το είδωλο είναι πάντα φανταστικό**. Ας το δούμε αυτό αναλυτικότερα.

Έστω ένα σημειακό αντικείμενο P, που βρίσκεται πάνω στον οπτικό άξονα σε απόσταση s από την κορυφή του κατόπτρου. Οι ακτίνες που ξεκινούν από το P, αφού ανακλαστούν, τέμνουν με όλες τις προεκτάσεις τους τον άξονα στο ίδιο σημείο P' . Το σημείο P' είναι επομένως το είδωλο του σημειακού αντικειμένου P και απέχει s' από την κορυφή V. Όπως στα κοίλα, έτσι και στα κυρτά κάτοπτρα αποδεικνύεται ότι μεταξύ των s, s' και R ισχύουν οι σχέσεις:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}$$

για τον προσδιορισμό της θέσης του ειδώλου και

$$m = \frac{P'Q'}{PQ} = -\frac{s'}{s}$$

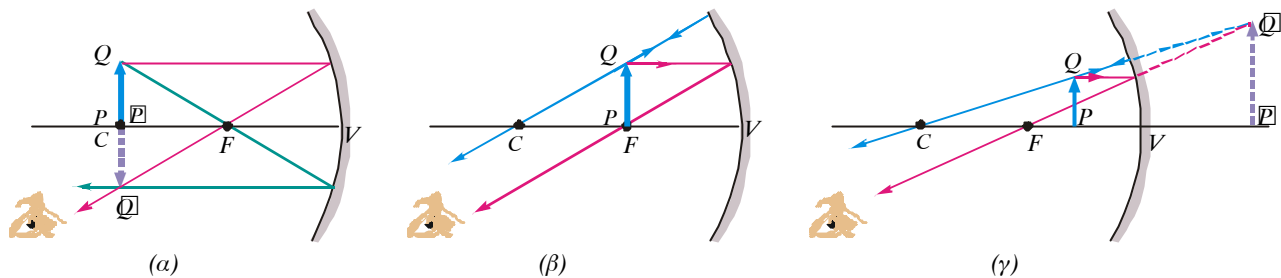
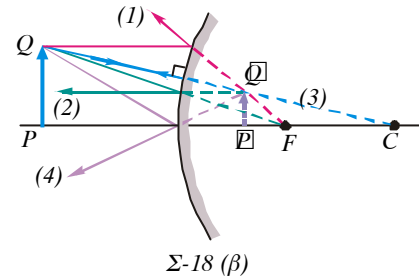
για τον υπολογισμό της εγγράφας μεγέθυνσης m, αρκεί να εφαρμόσουμε με συνέπεια τον κανόνα των προσημών για τα μεγέθη s, s' , f, R.

Γραφική μέθοδος για την εύρεση ειδώλου από σφαιρικά κάτοπτρα

Παρακάτω παραθέτουμε μια γραφική μέθοδο που πιστεύουμε ότι μπορεί να σας βοηθήσει να προσδιορίζετε απλά τη θέση και το είδος ενός ειδώλου. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο προσδιορισμός του ειδώλου βασίζεται στη σχεδίαση τεσσάρων ακτίνων, οι οποίες με καλή προσέγγιση περνούν από το ίδιο σημείο. Οι ακτίνες αυτές ονομάζονται **κύριες ακτίνες**. Στην πράξη θα διαπιστώσετε ότι αρκούν μόνο δύο από τις τέσσερις κύριες ακτίνες για τον προσδιορισμό της θέσης του ειδώλου.

- Μία ακτίνα παράλληλη προς τον οπτικό άξονα, μετά από ανάκλαση σε κοίλο κάτοπτρο, διέρχεται πάντα από το εστιακό σημείο F. Προκειμένου για κυρτό κάτοπτρο παίρνουμε την προέκταση της ανακλώμενης ακτίνας.

- Μία ακτίνα που διέρχεται από το εστιακό σημείο ανακλάται παράλληλα προς τον οπτικό άξονα για κοίλο κάτοπτρο, ενώ για κυρτό κάτοπτρο ανακλάται η προέκτασή της.
- Μία ακτίνα που διέρχεται από το κέντρο καμπυλότητας C ακολουθεί ανακλώμενη την ίδια πορεία.
- Μία ακτίνα που συναντά την κορυφή V ανακλάται υπό γωνία ίση με την προσπίπτουσα ως προς τον οπτικό άξονα.

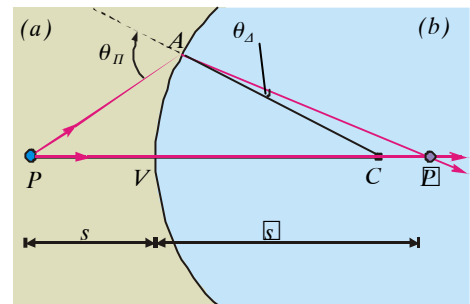


Σ-19 Γεωμετρικός προσδιορισμός ειδώλου από αντικείμενο που βρίσκεται σε διαφορετικές θέσεις. Έχουν χρησιμοποιηθεί οι δύο από τις τέσσερις κύριες ακτίνες. (α) Το αντικείμενο βρίσκεται στο κέντρο καμπυλότητας, άρα $s=s'$. (β) Το αντικείμενο βρίσκεται στην εστιακή απόσταση, οπότε προκύπτει $s'=\infty$. (γ) Το αντικείμενο βρίσκεται μεταξύ των F και V , οι ανακλώμενες ακτίνες συναντώνται στις προεκτάσεις τους και το είδωλο προκύπτει φανταστικό, άρα $s'<0$.

ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΣΕ ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Στην ενότητα αυτή θα προσπαθήσουμε, όσο γίνεται πιο απλά, να θυμίσουμε τη διάδοση του φωτός σε δύο οπτικά υλικά με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης. Η διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών θα είναι σφαιρική, ακτίνας R και με δείκτες διάθλασης n_a και n_b με $n_a > n_b$, που σημαίνει ότι το υλικό μέσο a είναι αραώτερο του b . Θυμίζουμε ακόμα ότι οι ακτίνες που προσπίπτουν πλάγια στη διαχωριστική επιφάνεια αλλάζουν διεύθυνση διάδοσης κατά την είσοδό τους στο δεύτερο μέσο, ενώ αυτές που προσπίπτουν κάθετα συνεχίζουν την αρχική τους πορεία.

Στο σχήμα Σ-20 βλέπουμε την πορεία δύο ακτίνων που ξεκινούν από το σημειακό αντικείμενο P . Η ακτίνα PA αλλάζει διεύθυνση, ενώ η PV όχι. Η τομή των δύο ακτίνων είναι το είδωλο P' .



Σ-20 Γεωμετρικός προσδιορισμός του σημειακού ειδώλου P' ενός σημειακού αντικειμένου P , που σχηματίζεται λόγω της διάθλασης σε σφαιρική επιφάνεια.

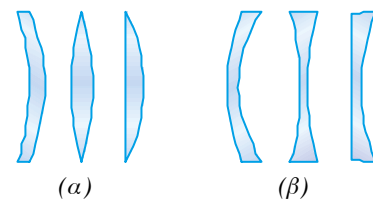
Λεπτοί φακοί

Οι λεπτοί φακοί είναι οπτικά συστήματα που αποτελούνται από δύο σφαιρικές επιφάνειες πολύ κοντά η μία με την άλλη, έτσι ώστε να μπορούμε να αγνοούμε το πάχος τους. Υπάρχουν δύο ομάδες φακών, οι **συγκλίνοντες** και οι **αποκλίνοντες**. Οι συγκλίνοντες είναι παχύτεροι στο κέντρο και λεπτότεροι στην περιφέρεια, ενώ για τους αποκλίνοντες ισχύει το αντίστροφο. Στο σχήμα Σ-21 βλέπουμε τις δύο ομάδες των λεπτών φακών.

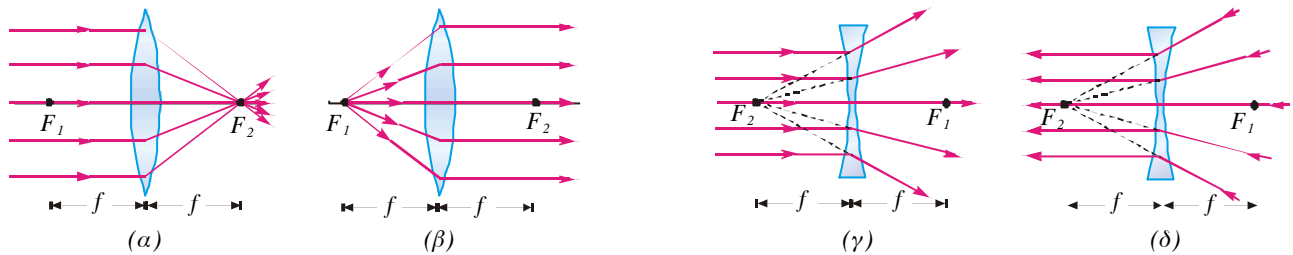
Εστιακά σημεία του φακού

Οι φακοί του σχήματος Σ-22 (α,β) είναι συγκλίνοντες, δηλαδή όταν διέρχεται από αυτούς μία παράλληλη δέσμη ακτίνων, αυτές συγκλίνουν σε ένα σημείο F_2 (σχήμα α). Ομοίως οι ακτίνες που ξεκινούν από το σημείο F_1 εξέρχονται από το φακό ως δέσμη παράλληλων ακτίνων (σχήμα β). Τα σημεία F_1 και F_2 βρίσκονται στον κύριο άξονα του φακού και ονομάζονται **κύρια εστιακά σημεία**. Η απόσταση f από το κέντρο του φακού ονομάζεται **εστιακή απόσταση**.

Όπως γίνεται φανερό από το σχήμα Σ-22, εκτρέπονται από την αρχική τους πορεία όλες οι ακτίνες, εκτός από αυτές που διέρχονται από το οπτικό κέντρο του φακού. Η απόσταση μεταξύ των ακτίνων σχεδιάστηκε



Σ-21 (α) Συγκλίνοντες φακοί: μηνίσκος, αμφίκυρτος, επιπεδόκυρτος. (β) Αποκλίνοντες φακοί: μηνίσκος, αμφίκοιλος, επιπεδόκοιλος. Οι παραπάνω ορισμοί των φακών έγιναν με την προϋπόθεση ότι ο δείκτης διάθλασης του φακού είναι μεγαλύτερος από αυτόν του περιβάλλοντος. Σε αντίθετη περίπτωση οι φακοί του (α) γίνονται αποκλίνοντες και οι φακοί του (β) συγκλίνοντες.



Σ-22 Τέσσερις λεπτοί φακοί, δύο συγκλίνοντες (α, β) και δύο αποκλίνοντες (γ, δ), με τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία.

μεγάλη, για να γίνει πιο αισθητό το φαινόμενο.

Η παράλληλη δέσμη που προσπίπτει στο φακό του σχήματος Σ-22α δίνει πραγματικό είδωλο, η εστιακή του απόσταση f είναι θετική και ο φακός ονομάζεται **θετικός φακός**.

Το αντίθετο συμβαίνει με τον αποκλίνοντα φακό (σχήμα Σ-22γ). Τα εστιακά σημεία είναι η τομή των προεκτάσεων των ακτίνων και έχουν αντίστροφη διάταξη σε σχέση με τους συγκλίνοντες φακούς. Η αριθμητική τιμή της εστιακής απόστασης είναι αρνητική και ο φακός ονομάζεται **αρνητικός φακός**.

Η εξίσωση των κατασκευαστών των φακών

Οι λεπτοί φακοί προκύπτουν με την τομή δύο σφαιρικών διαθλαστικών επιφανειών, ακτίνων R_1 και R_2 , που έχουν δείκτη διάθλασης n . Αυτό σημαίνει ότι ο φακός θα χαρακτηρίζεται από το δείκτη διάθλασης n .

Έστω λοιπόν ένας αμφίκυρτος λεπτός φακός, με ακτίνες καμπυλότητας R_1 και R_2 , που έχει εστιακή απόσταση f . Τα μεγέθη R_1 , R_2 , n και f συνδέονται με την εξίσωση:

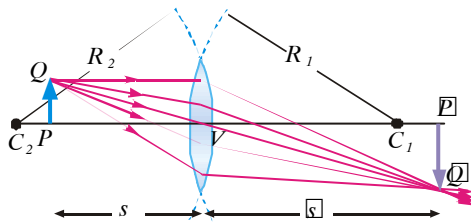
$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (4)$$

η οποία ονομάζεται **εξίσωση των κατασκευαστών των φακών**. Αν s και s' είναι αντίστοιχα οι αποστάσεις του αντικειμένου και του ειδώλου από την κορυφή του φακού, τότε ισχύουν οι εξισώσεις:

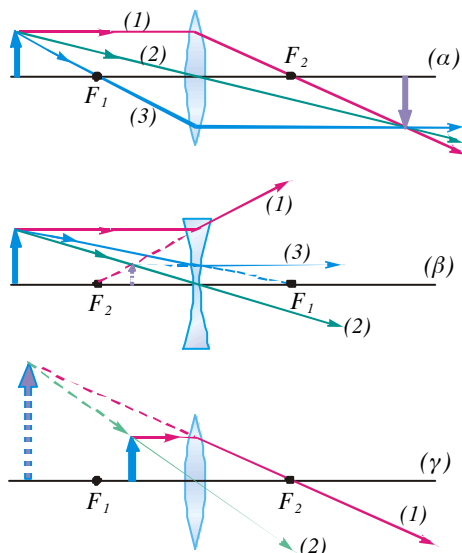
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

και για την εγκάρσια μεγέθυνση

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



Σ-23 Συγκλίνων φακός, που προκύπτει από δύο διαθλαστικές επιφάνειες, με ακτίνες καμπυλότητας R_1 και R_2 . Το πηλίκο $m = PQ/QP$ ορίζεται ως **εγκάρσια μεγέθυνση**. Από τα όμοια τρίγωνα PQV και $P'Q'V$ προκύπτει ότι $m = -s'/s$. Αφού τα s και s' είναι θετικά, το αρνητικό πρόσημο της μεγέθυνσης δηλώνει ότι το είδωλο είναι αντεστραμμένο σε σχέση με το αντικείμενο, όπως δείχνει το σχήμα.



Σ-24 Σχηματισμός ειδώλων από λεπτούς φακούς για διάφορες θέσεις του αντικειμένου. Όπως φαίνεται από το σχήμα (γ), αρκούν μόνο δύο από τις κύριες ακτίνες για τον προσδιορισμό του ειδώλου, οι (1) και (2).

Γραφική μέθοδος για την εύρεση ειδώλου από λεπτούς φακούς

Η γραφική μέθοδος για τον προσδιορισμό της θέσης και του μεγέθους ενός ειδώλου δε διαφέρει ουσιαστικά από αυτήν που περιγράψαμε στα σφαιρικά κάτοπτρα. Σχεδιάζουμε μερικές χαρακτηριστικές ακτίνες, που ξεκινούν από κάποιο σημείο του αντικειμένου που δεν ανήκει στον κύριο άξονα (σχήμα Σ-24). Αυτές, αφού περάσουν από το λεπτό φακό και διαθλαστούν, συγκλίνουν σε ένα σημείο, που προσδιορίζει τη θέση και το μέγεθος του ειδώλου. Τις ακτίνες αυτές τις ονομάζουμε **κύριες ακτίνες**. Στην προκειμένη περίπτωση είναι τρεις ως προς τον αριθμό και είναι οι εξής:

- Μία ακτίνα παράλληλη προς τον οπτικό άξονα, μετά από διάθλαση της στο λεπτό φακό, διέρχεται πάντα από το δεύτερο εστιακό σημείο F_2 ενός συγκλίνοντος φακού. Προκειμένου για αποκλίνοντα παίρνουμε την προέκταση της διαθλώμενης ακτίνας [σχήμα Σ-24β (1),(3)].
- Μία ακτίνα που διέρχεται από το κέντρο του φακού δεν αποκλίνει από την ευθύγραμμη πορεία της, γιατί στην περιοχή του κέντρου οι δύο επιφάνειες είναι παράλληλες, αφού ο φακός είναι λεπτός.
- Μία ακτίνα που διέρχεται από το πρώτο εστιακό σημείο F_1 , αφού συναντήσει το φακό, διαθλάται παράλληλα προς τον κύριο άξονα.

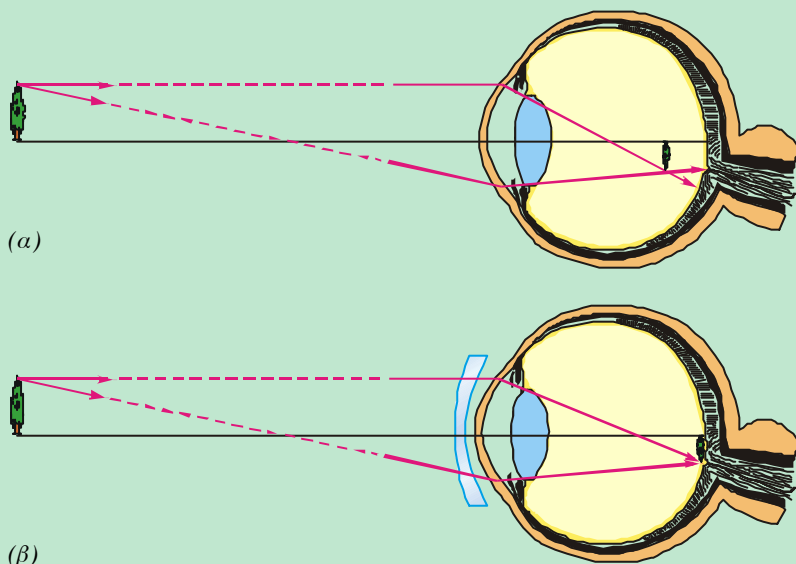
Συνθήκη προσήμων για κάτοπτρα

Το s παίρνει πρόσημο (+), εάν το αντικείμενο βρίσκεται μπροστά από το κάτοπτρο (πραγματικό αντικείμενο).
 Το s παίρνει πρόσημο (-), εάν το αντικείμενο βρίσκεται πίσω από το κάτοπτρο (φανταστικό αντικείμενο).
 Το s' παίρνει πρόσημο (+), εάν το είδωλο βρίσκεται μπροστά από το κάτοπτρο (πραγματικό είδωλο).
 Το s' παίρνει πρόσημο (-), εάν το είδωλο βρίσκεται πίσω από το κάτοπτρο (φανταστικό είδωλο).
 Τα f και R παίρνουν πρόσημο (+), εάν το κέντρο καμπυλότητας είναι μπροστά από το κάτοπτρο (κοίλο).
 Τα f και R παίρνουν πρόσημο (-), εάν το κέντρο καμπυλότητας βρίσκεται πίσω από το κάτοπτρο (κυρτό).
 Εάν η m είναι θετική, τότε το είδωλο είναι όρθιο. Εάν η m είναι αρνητική, τότε το είδωλο είναι αντεστραμμένο.

Συνθήκη προσήμων για φακούς

Το s παίρνει πρόσημο (+), εάν το αντικείμενο βρίσκεται μπροστά από το φακό.
 Το s παίρνει πρόσημο (-), εάν το αντικείμενο βρίσκεται πίσω από το φακό.
 Το s' παίρνει πρόσημο (+), εάν το είδωλο βρίσκεται πίσω από το φακό.
 Το s' παίρνει πρόσημο (-), εάν το είδωλο βρίσκεται μπροστά από το φακό.
 Τα R_1 και R_2 παίρνουν πρόσημο (+), εάν το κέντρο καμπυλότητας βρίσκεται πίσω από το φακό.
 Τα R_1 και R_2 παίρνουν πρόσημο (-), εάν το κέντρο καμπυλότητας βρίσκεται μπροστά από το φακό.

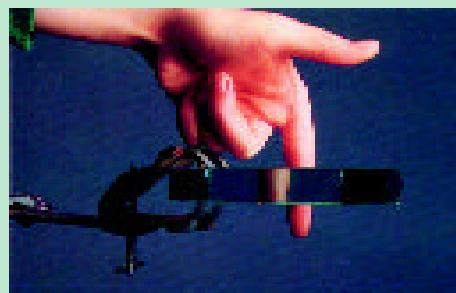
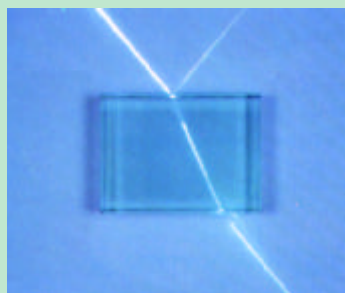
Χρήσεις των φακών στη διόρθωση της όρασης του ανθρώπινου οφθαλμού



Σ-25 (α) Ένας μη διορθωμένος μυωπικός οφθαλμός. Οι ακτίνες που εισέρχονται στον οφθαλμό συγκλίνουν περισσότερο και έτσι το είδωλο δημιουργείται μπροστά από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα. (β) Ένας αρνητικός (αποκλίνων) φακός δίνει την απαραίτητη απόκλιση των ακτίνων και έτσι το είδωλο σχηματίζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα.

Η διπλή διάθλαση

Σ-26 Όταν το φως διαπερνά ένα γυάλινο πλακίδιο, παθαίνει διπλή διάθλαση. Η πρώτη διάθλαση γίνεται, όταν το φως εισέρχεται από αραιότερο σε πυκνότερο μέσο, ενώ η δεύτερη, όταν η ακτίνα εξέρχεται από το πλακίδιο. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται το «κόψιμο» του δακτύλου στη διπλανή εικόνα.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Serway, *Physics for scientists & engineers*

Jones Jones and Marchington, *Physics*, Cambridge

Jim Jardin, *Physics*, Oxford edited

Ken Dobson, *Physics*, Nelson Science

Nathan, *Physique*

Φυσική PSSC

ABITUR '99

ABITUR TRAINING

Hammer - Knauth - Kuhner, *Physik 13*

Born - Bader, *Φυσική*

Αλεξόπουλος Κ., *Γενική Φυσική (Οπτική)*

Schaum's Outline Series

Hugh D. Young, *Πανεπιστημιακή Φυσική*, εκδόσεις Παπαζήση

Φυσική Γ^α Λυκείου Σ₂ Κύπρου

Εκπαιδευτική Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια, Εκδοτική Αθηνών

Επιστημονική και Τεχνολογική Εγκυκλοπαίδεια «Επιστήμη», εκδόσεις Κουμουνδουρέας

Μεγάλη Σχολική Εγκυκλοπαίδεια «Γνωρίζω το χθές, το σήμερα, το αύριο», εκδόσεις Κουμουνδουρέας

Douglas G. Giancoli, *Physics*, Prentice-Hall International Editions

Arthour Belser, *Physics* Addison Wesley Publishing Company

Nelkon and Parker, *Advanced Level Physics*

S.K. Srivastava, *Problems in Physics*, Weeler Puplishing

Graham Booth, *A-Level Physics*, Letts Educational

Roger Muncaster, *A-Level Physics*, Stanley Thornes (Publishers)

Tony Hey - Patrick Walter, *Το κβαντικό Σύμπαν*

Kenneth Ford, *Συγχρονη Φυσική*

John Avison, *The Wold of Physics*

E.N. Οικονόμου κ.ά., *Η Φυσική Σήμερα. Οι δέκα κλίμακες της ύλης*

Poul Hewitt, *Οι έννοιες της Φυσικής*

Berkeley Physics course - Waves (vol. 3)

Διευθύνσεις στο διαδίκτυο με θέματα Φυσικής:

<http://www.ceba.gov/services/pced/atomtour/>

<http://www.cern.ch/public/welcome.html>

<http://www1.slac.stanford.edu/library/main.html>

<http://www.education.index.com/>

<http://www.bhs.berkeley.k12.ca.us/departments/science/index.html>