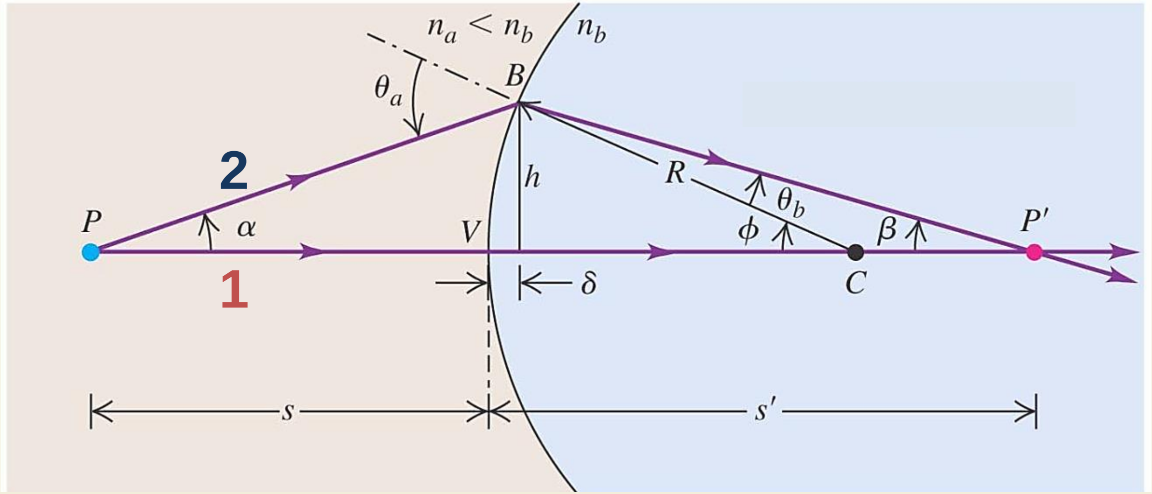
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΟΠΤΙΚΗ

Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια
Φακοί – Ορισμοί
Λεπτοί φακοί
Συγκλίνοντες φακοί
Δημιουργία ειδώλων
Αποκλίνοντες φακοί
Γενικοί τύποι φακών
Σύστημα λεπτών φακών σε επαφή
Ασκήσεις

G. Mítsou

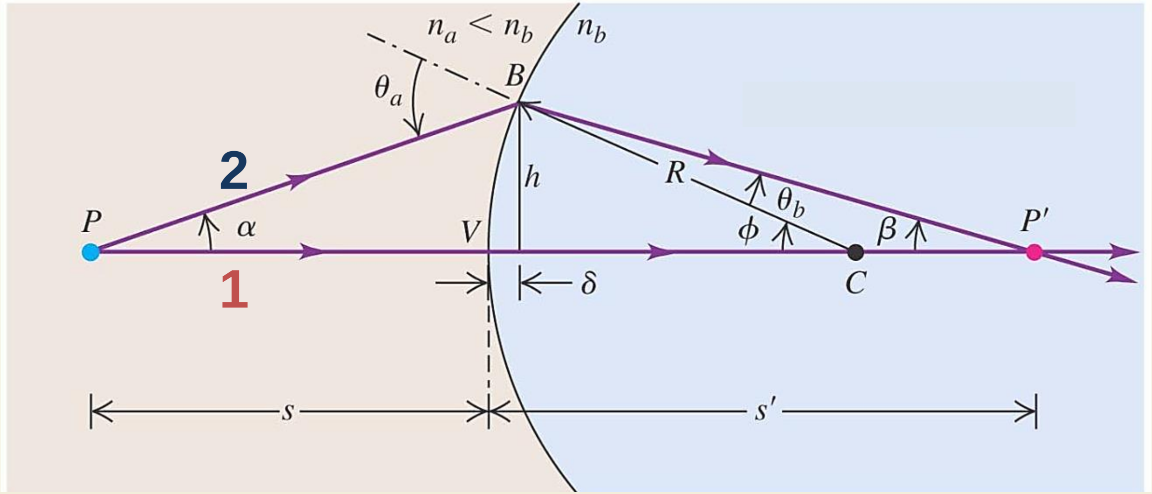
Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια



Ακτίνα 1: Από το P διά μέσου του V, χωρίς απόκλιση (κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια).

Ακτίνα 2: Από το P στο B, διαθλάται προς το n_b σύμφωνα με το νόμο του Snell.

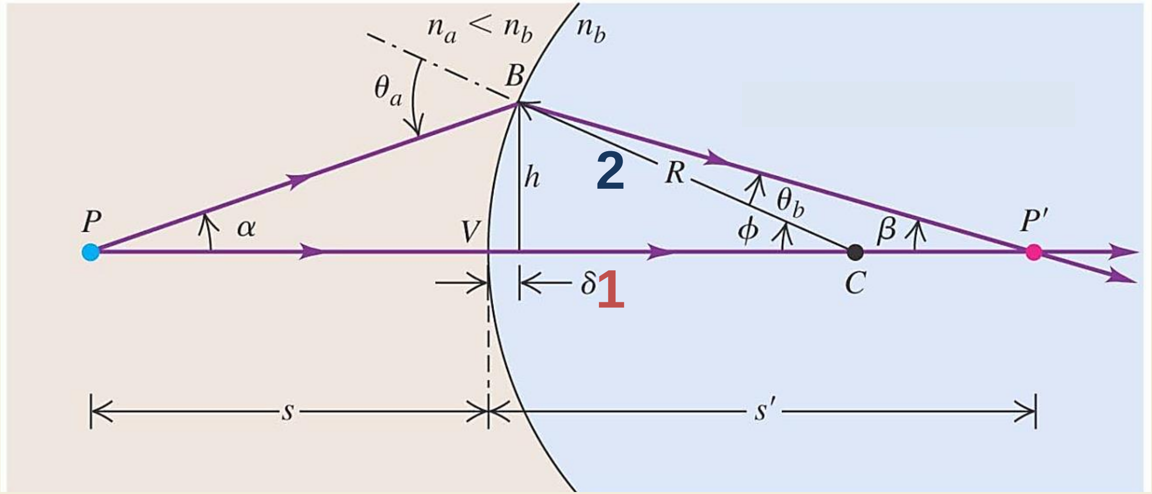
Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια



Ακτίνες 1 και 2 Συγκλίνουν στο P΄

Νόμος του Snell στο B: $n_a \sin\theta_\alpha = n_b \sin\theta_b$ (1)

Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια



Δ PBC $\theta_\alpha = \alpha + \varphi$ (2)

Δ P΄BC $\varphi = \theta_b + \beta \dashrightarrow \theta_b = \varphi - \beta$ (3)

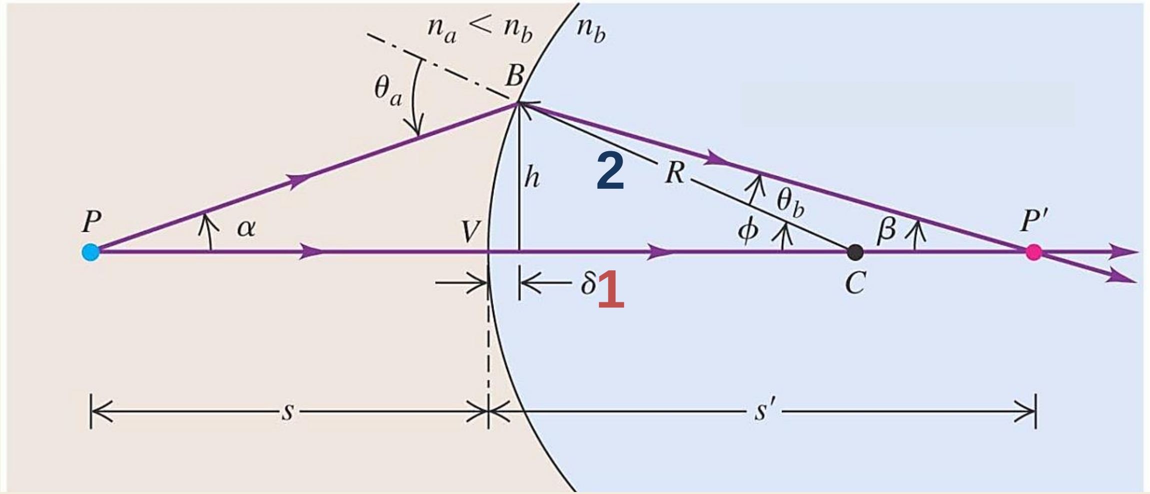
Θεωρούμε προσπίπτουσες αξονικές ακτίνες -> μικρές γωνίες πρόσπτωσης-->
sin θ ~ **tan** θ ~ θ

$$n_a \sin\theta_\alpha = n_b \sin\theta_b \quad (1)$$

Η (1) γίνεται: $n_a\, \theta_\alpha = n_b\, \theta_b$ (4)

Από τις (2), (3), (4) → $n_a(\alpha+\varphi) = n_b(\varphi-\beta) \rightarrow n_a\alpha + n_a\varphi = n_b\varphi - n_b\beta \rightarrow$

Διάθλαση σε σφαιρική επιφάνεια



$\rightarrow n_\alpha \alpha + n_b \beta = (n_b - n_a)\varphi$ (5)

Προσεγγιστικά ισχύει:

$$\alpha \cong \tan\alpha = \frac{h}{s} \quad (6)$$

$$\beta \cong \tan\beta = \frac{h}{s'} \quad (7)$$

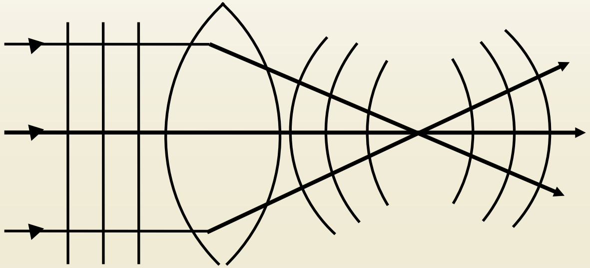
$$\varphi \cong \tan\varphi = \frac{h}{R} \quad (8)$$

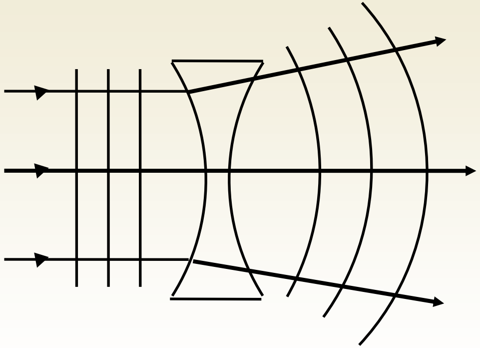
Από τις (5), (6), (7), (8) $\rightarrow \dfrac{n_\alpha}{s} + \dfrac{n_b}{s'} = \dfrac{n_b - n_\alpha}{R}$ (9)

Φακοί

Φακός ονομάζεται κάθε ομογενές και ισότροπο διαφανές οπτικό μέσο, το οποίο περιορίζεται από δύο σφαιρικές επιφάνειες, ή από μία σφαιρική και μία επίπεδη επιφάνεια.

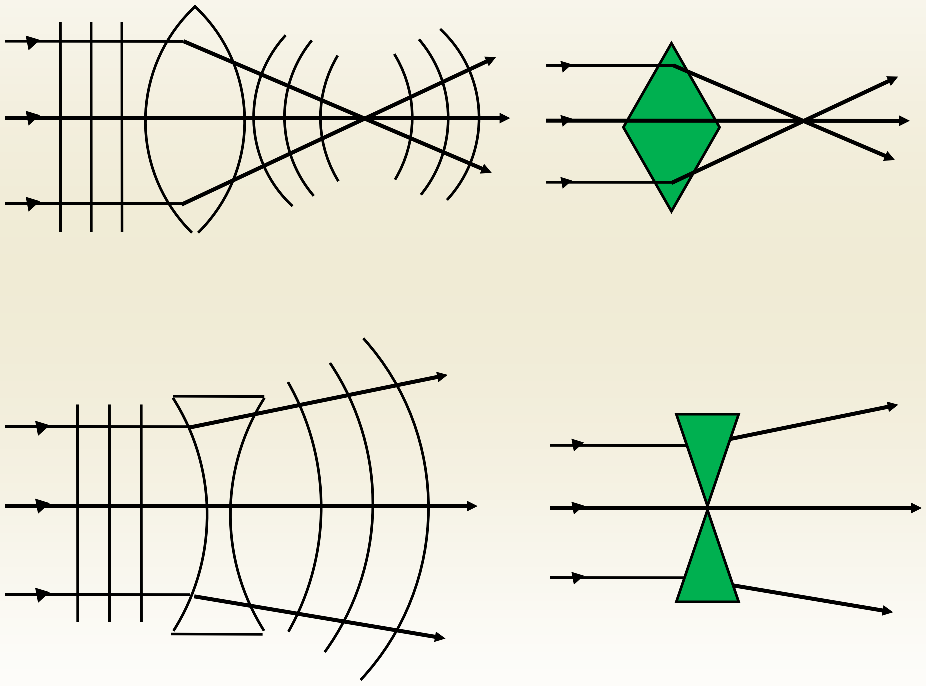
Φακοί





Το σύστημα των δύο αυτών επιφανειών μπορεί να προκαλέσει μεταβολή στην καμπυλότητα των μετώπων κύματος φωτός, όταν διέρχονται από αυτό.

Φακοί

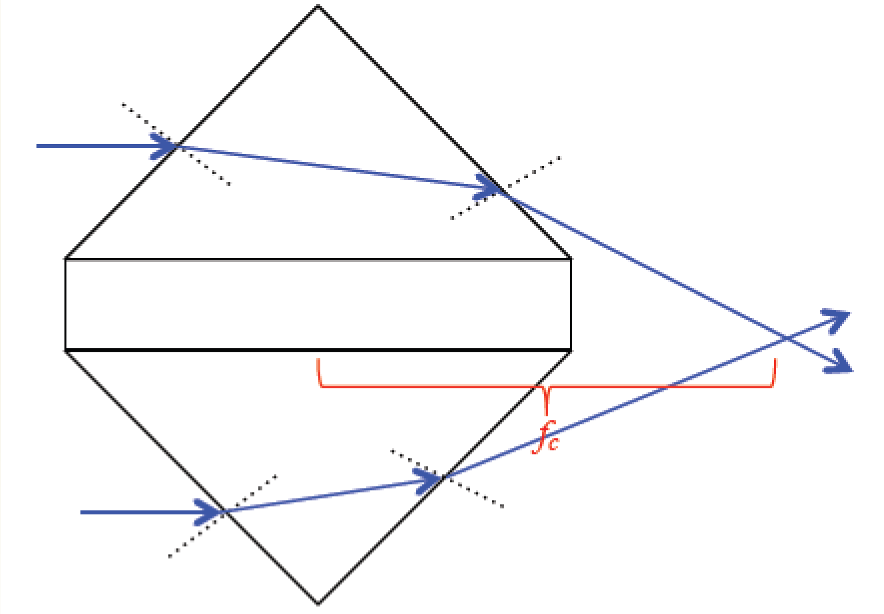


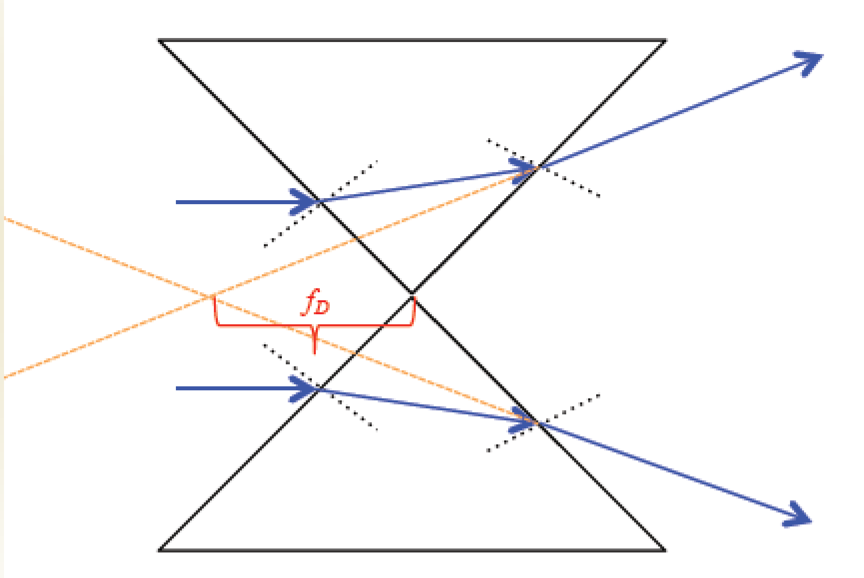
Η συμπεριφορά αυτή εξηγείται αν θεωρηθεί ότι:

οι φακοί αποτελούνται από πρίσματα οπότε:

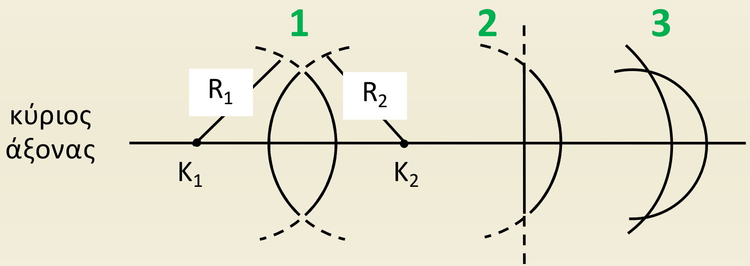
το φως εκτρέπεται προς τις βάσεις αυτών των πρισμάτων

Φακοί





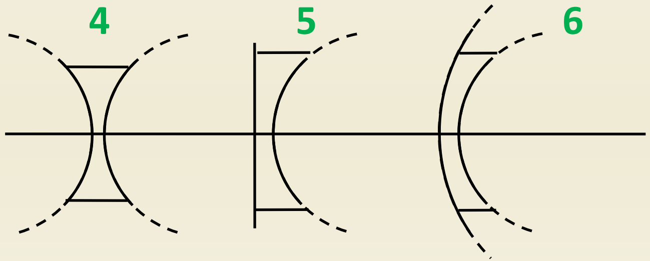
Φακοί



Ι συγκλίνοντες φακοί

Ι συγκλίνοντες φακοί
1. αμφίκυρτος
2. επιπεδόκυρτος
3. συγκλίνων μηνίσκος

Φακοί

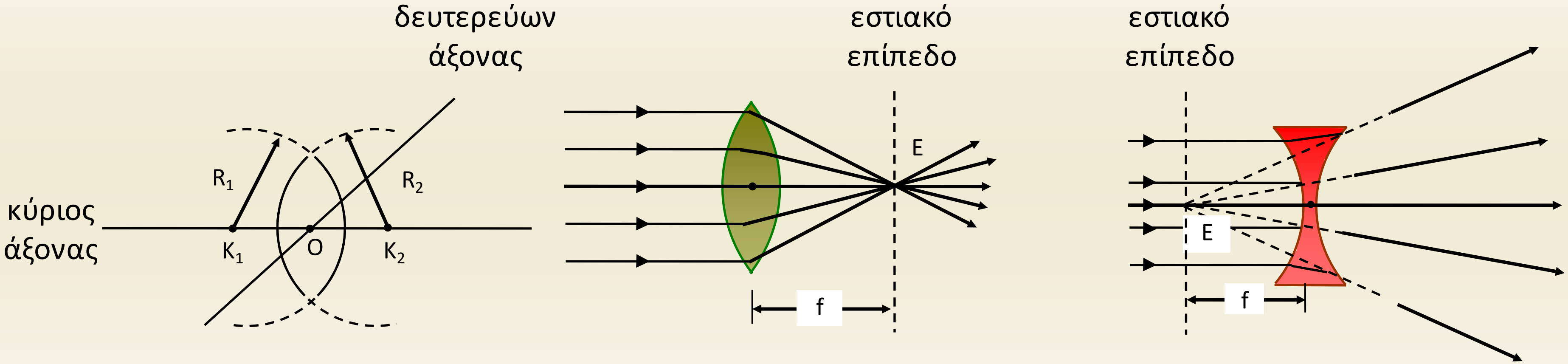


II αποκλίνοντες φακοί

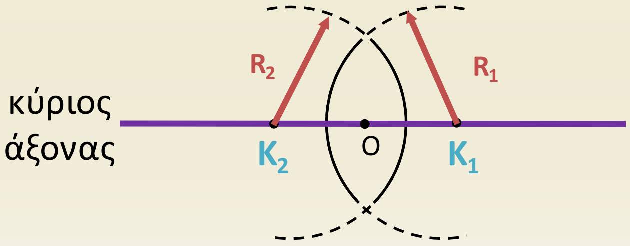
II αποκλίνοντες φακοί

4. αμφίκοιλος
5. επιπεδόκοιλος
6. αποκλίνων μηνίσκος

Φακοί - Βασικά στοιχεία



Φακοί - Βασικά στοιχεία

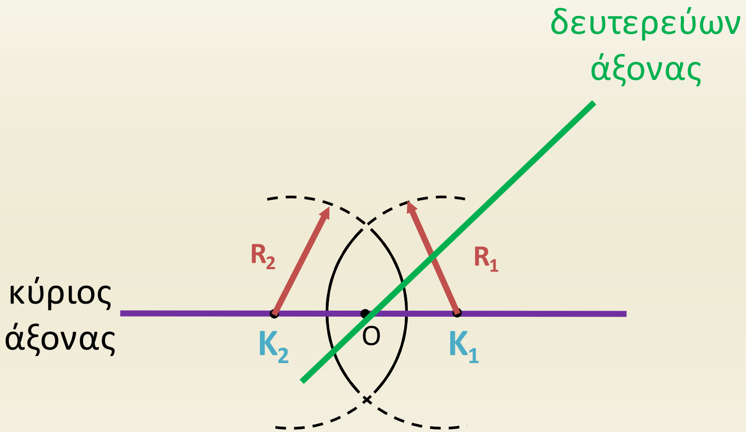


Οι ακτίνες R_1 και R_2 των σφαιρών στις οποίες ανήκουν οι επιφάνειες του φακού, ονομάζονται **ακτίνες καμπυλότητάς του.**

Τα κέντρα K_1 και K_2 των σφαιρών στις οποίες ανήκουν οι επιφάνειες του φακού λέγονται **κέντρα καμπυλότητας του φακού**.

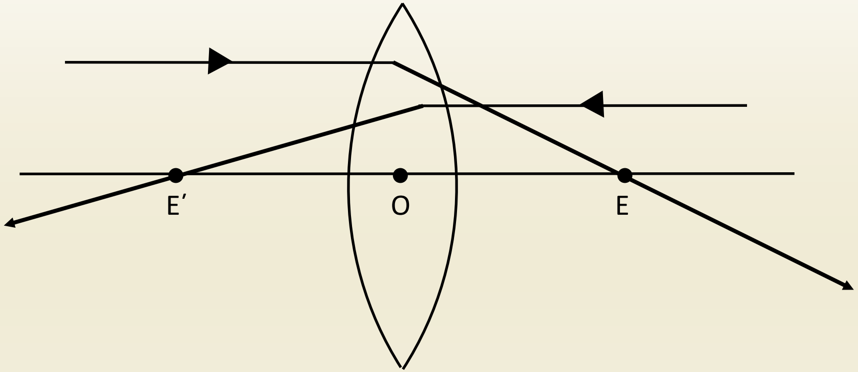
Η ευθεία K_1K_2 που συνδέει τα δύο κέντρα καμπυλότητας του φακού ονομάζεται **κύριος άξονας του φακού**

Φακοί - Βασικά στοιχεία



Κάθε άλλη ευθεία που περνά από το οπτικό κέντρο Ο, εκτός του κύριου άξονα λέγεται **δευτερεύων άξονας**

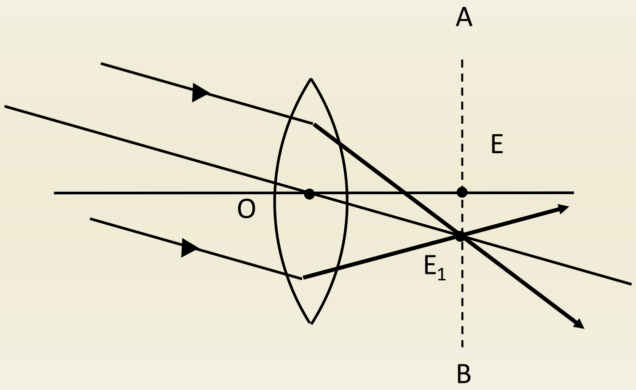
Συγκλίνοντες Φακοί



Δέσμη // φωτεινών ακτίνων μετά την έξοδό της από το φακό συγκλίνει σ’ ένα σημείο Ε του κύριου άξονα που ονομάζεται **κύρια εστία του φακού**

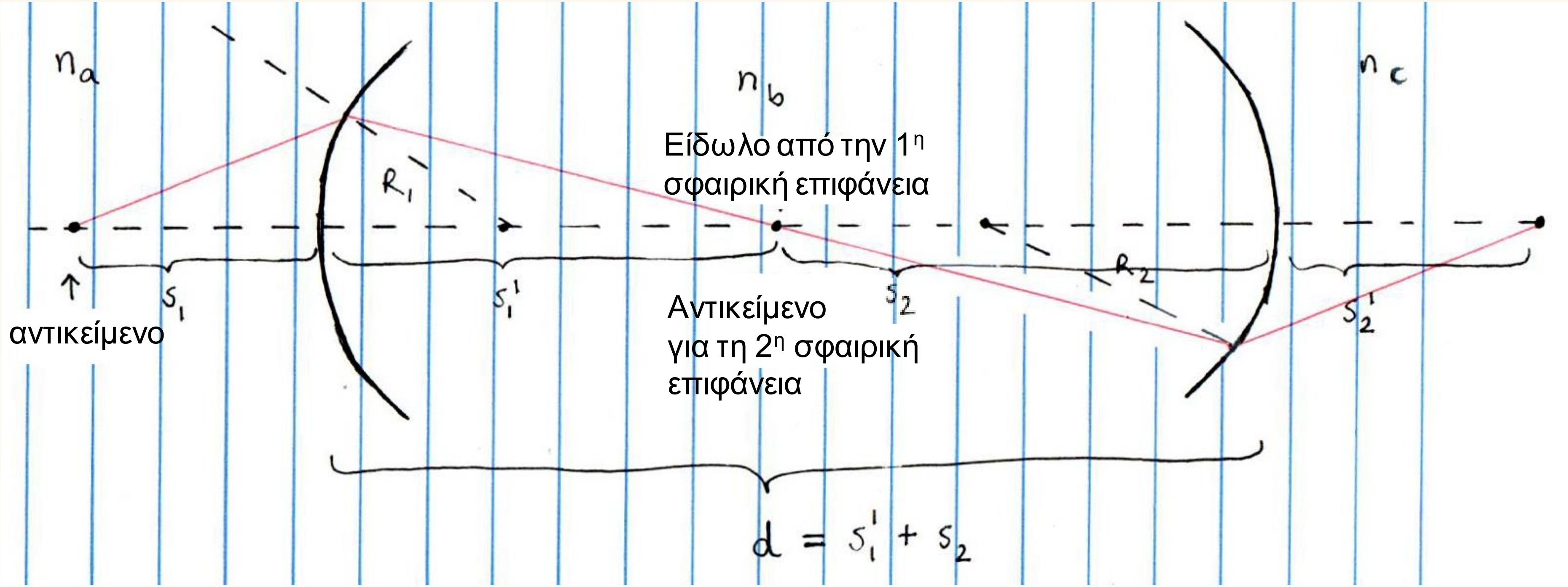
(ΟΕ) = (ΟΕ΄) = f = εστιακή απόσταση του φακού

Συγκλίνοντες Φακοί



Δέσμη // ακτίνων που προσπίπτει σε φακό με διεύθυνση // προς έναν δευτερεύοντα άξονά του, συγκλίνει μετά την έξοδο σ' ένα σημείο E_1 του δευτερεύοντα άξονα που λέγεται **δευτερεύουσα εστία**.

Τύπος των κατασκευαστών των φακών



Τύπος των κατασκευαστών των φακών

Θέση ειδώλου μετά την 1η επιφάνεια

$$\frac{n_a}{s_1} + \frac{n_b}{s'_1} = \frac{n_b - n_a}{R_1}$$

Τύπος των κατασκευαστών των φακών

$$\frac{1}{f} = (\eta - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Τα πρόσημα των r_1, r_2 διαμορφώνονται σύμφωνα με τα παρακάτω:

1. Οι φωτεινές ακτίνες προσπίπτουν στο φακό από αριστερά
2. Όταν οι ακτίνες προσπίπτουν σε κυρτή επιφάνεια, η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας έχει (+) πρόσημο
3. Όταν οι ακτίνες προσπίπτουν σε κοίλη επιφάνεια, η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας έχει (-) πρόσημο

Τύπος των κατασκευαστών των φακών

$$\frac{1}{f}=(\eta-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

Για παράδειγμα, στην **περίπτωση αμφίκυρτου φακού** η r_1 έχει (+) πρόσημο και η r_2 (-) πρόσημο και επομένως η παραπάνω σχέση γίνεται

$$\boxed{\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{-r_2}\right)\Rightarrow\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)}$$

Τύπος των κατασκευαστών των φακών

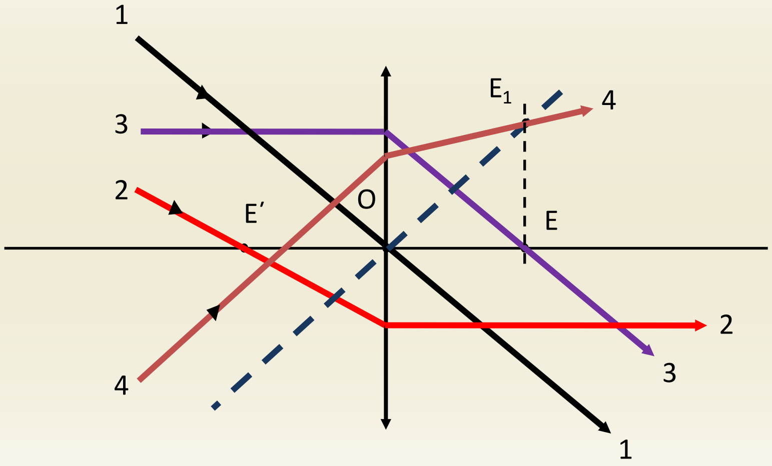
Αν η μια επιφάνεια του φακού είναι επίπεδη (περίπτωση επιπεδόκυρτου ή επιπεδόκοιλου φακού) τότε η ακτίνα καμπυλότητας είναι άπειρη (εν προκειμένω $r_1 = \infty$) και επομένως:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{-r_2}\right) \text{ (περίπτωση επιπεδόκυρτου φακού)}$$

ή

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{+r_2}\right) \text{ (περίπτωση επιπεδόκοιλου φακού)}$$

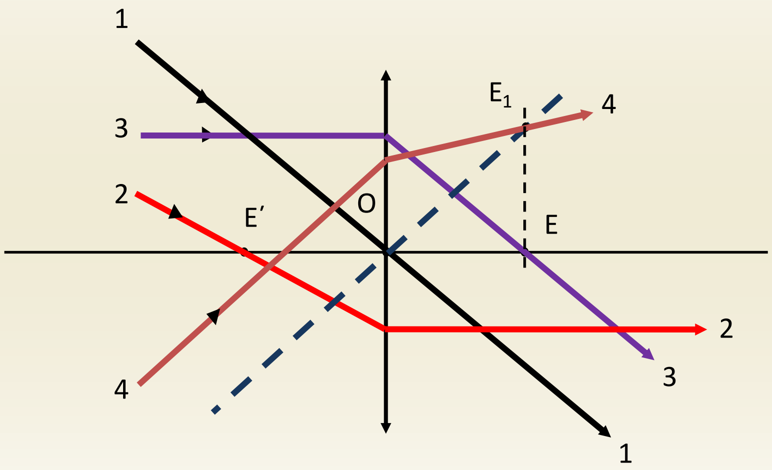
Πορεία ακτίνων σε συγκλίνοντα φακό



Ακτίνα που **διέρχεται από το οπτικό κέντρο** ενός φακού, **συνεχίζει την πορεία της αδιατάρακτα** (ακτίνα 1 στο Σχήμα).

Ακτίνα που **διέρχεται από την κύρια εστία** (πριν εισέλθει στο φακό), βγαίνοντας από το φακό **είναι παράλληλη με τον κύριο άξονά του** (ακτίνα 2 στο Σχήμα).

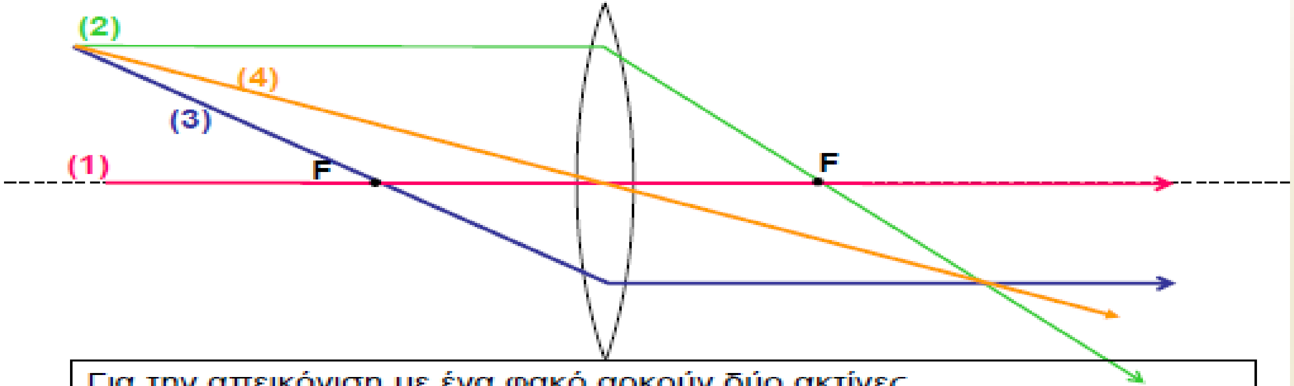
Πορεία ακτίνων σε συγκλίνοντα φακό



Ακτίνα που **προσπίπτει σε φακό παράλληλα με τον κύριο άξονά του**, τότε βγαίνοντας από αυτόν **θα περάσει από την κύρια εστία του** (ακτίνα 3 στο Σχήμα).

Ακτίνα που **προσπίπτει σε φακό παράλληλα προς ένα δευτερεύοντα άξονά του**, **θα διέλθει από την αντίστοιχη δευτερεύουσα εστία που βρίσκεται στο εστιακό του επίπεδο** (ακτίνα 4 στο Σχήμα).

Πορεία ακτίνων σε συγκλίνοντα φακό



Για την απεικόνιση με ένα φακό αρκούν δύο ακτίνες

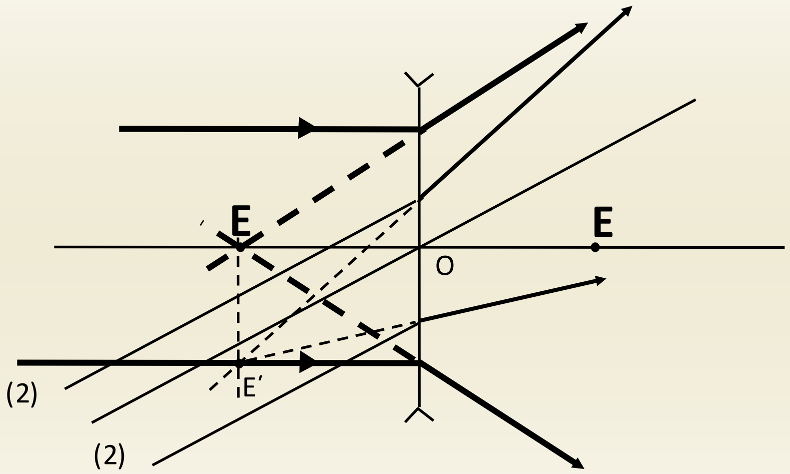
(1) Ακτίνα που διαδίδεται πάνω στον κύριο άξονα δεν εκτρέπεται

(2) Ακτίνα που διαδίδεται παράλληλα στον κύριο άξονα όταν διαθλασθεί από τον φακό διέρχεται από την κύρια εστία του

(3) Ακτίνα που διέρχεται από την κύρια εστία του φακού, όταν διαθλασθεί από τον φακό διαδίδεται παράλληλα στον κύριο άξονα

(4) Ακτίνα που διέρχεται από το κέντρο του φακού δεν εκτρέπεται

Πορεία ακτίνων σε αποκλίνοντα φακόφακό

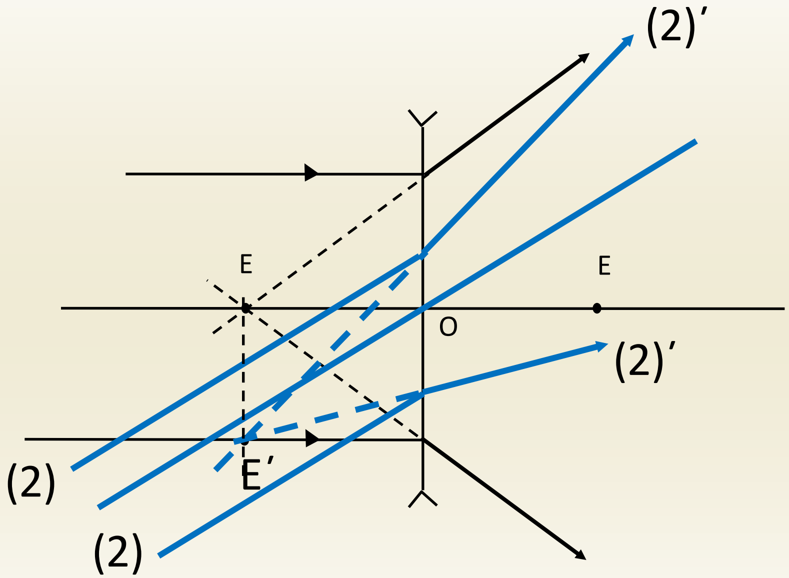


Δέσμη φωτεινών ακτίνων, **προσπίπτει παράλληλα με τον κύριο άξονα του φακού**.

Παρατηρούμε ότι η δέσμη των ακτίνων που εξέρχεται από το φακό **αποκλίνει της αρχικής της πορείας και φαίνεται σα να προέρχεται από την εστία Ε του φακού**.

Η κύρια εστία του αποκλίνοντος φακού είναι φανταστική

Πορεία ακτίνων σε αποκλίνοντα φακόφακό

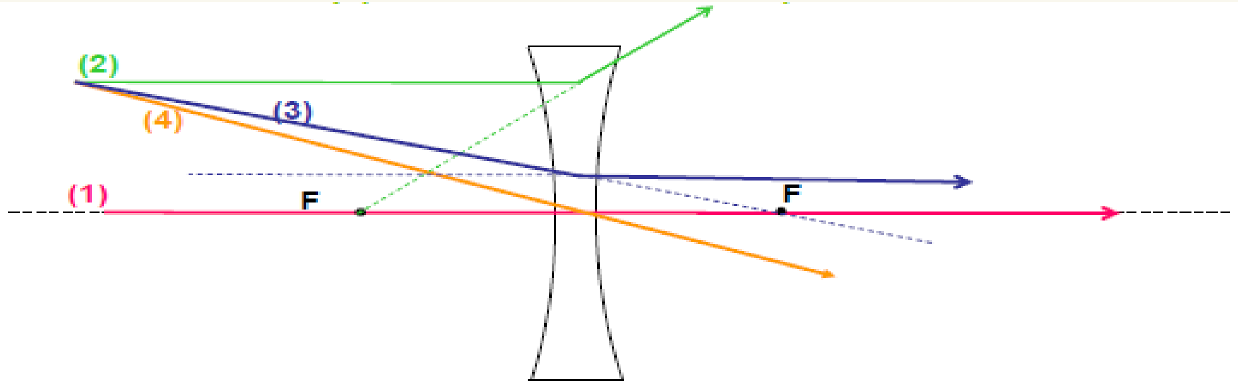


// δέσμη φωτεινών ακτίνων πέφτει στον φακό με διεύθυνση παράλληλη με έναν δευτερεύοντα άξονα (ακτίνες (2) στο Σχήμα).

Μετά την έξοδό της από το φακό, **η αποκλίνουσα δέσμη (ακτίνες 2΄στο Σχήμα) φαίνεται προερχόμενη από την φανταστική δευτερεύουσα εστία Ε΄.**

Στον αποκλίνοντα φακό τα δύο εστιακά επίπεδα είναι φανταστικά

Πορεία ακτίνων σε αποκλίνοντα φακόφακό



Για την απεικόνιση με ένα φακό αρκούν δύο ακτίνες

(1) Ακτίνα που διαδίδεται πάνω στον κύριο άξονα δεν εκτρέπεται

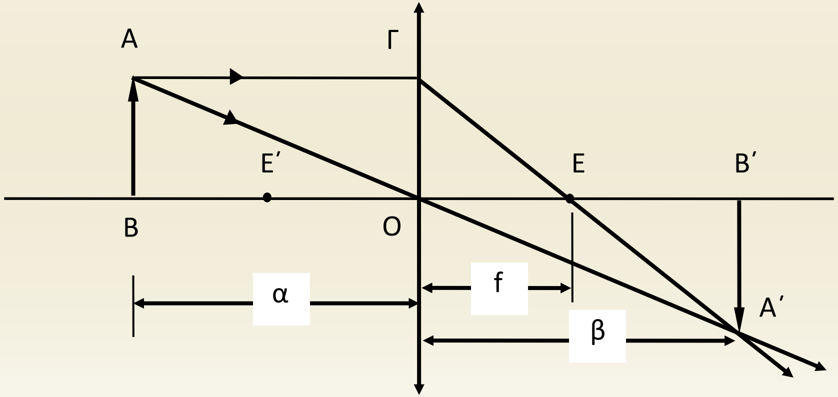
(2) Ακτίνα που διαδίδεται παράλληλα στον κύριο άξονα όταν διαθλασθεί από τον φακό φαίνεται ότι προέρχεται από την κύρια εστία του

(3) Ακτίνα που διέρχεται από φακό έτσι ώστε η προέκτασή της να διέρχεται από την κύρια εστία, διαδίδεται παράλληλα στον κύριο άξονα

(4) Ακτίνα που διέρχεται από το κέντρο του φακού δεν εκτρέπεται

Είδωλο αντικειμένου

Μεγέθυνση - Τύπος λεπτών φακών

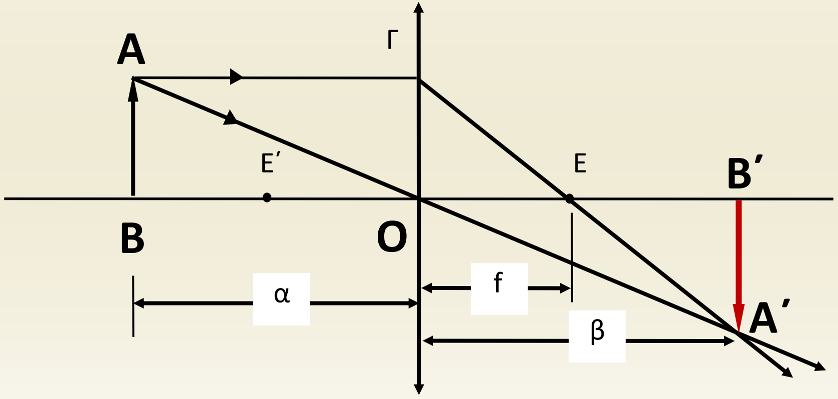


$$M = \frac{E}{A} = -\frac{\beta}{\alpha}$$ Μεγέθυνση

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f}$$ Τύπος λεπτών φακών

Είδωλο αντικειμένου

Μεγέθυνση



Είδωλο Α΄Β΄ αντεστραμμένο και πραγματικό, δηλαδή μπορούμε να το παρατηρήσουμε σε πέτασμα.

Από τα όμοια **τρίγωνα ΑΟΒ και Α΄ΟΒ΄**:

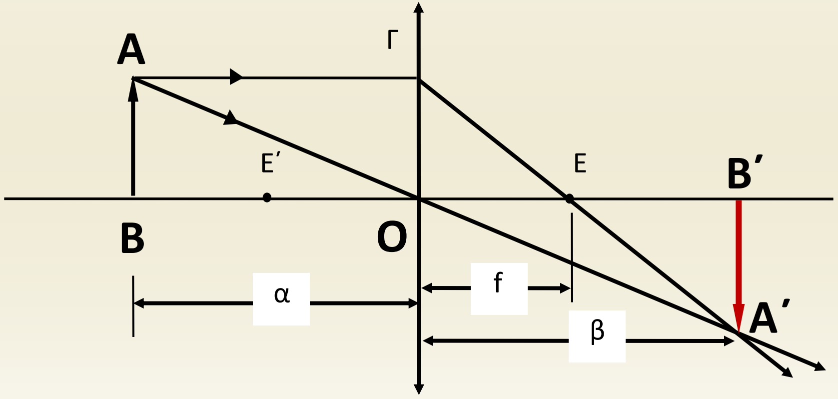
$$M = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB} \quad ή \quad M = \frac{E}{A} = \frac{\beta}{\alpha}$$

Όπου:

Ε = (Β΄Α΄), Α = (ΑΒ),
α = (ΟΒ) και β = (ΟΒ΄)

Είδωλο αντικειμένου

Μεγέθυνση

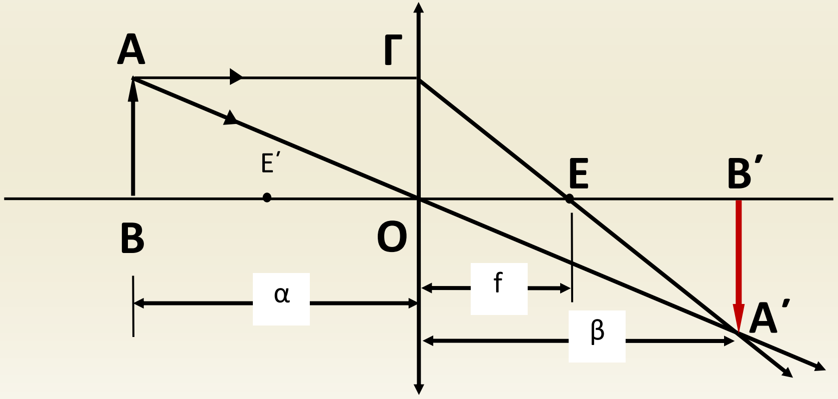


Στην περίπτωση ανεστραμμένου ειδώλου:

$$M = \frac{E}{A} = -\frac{\beta}{\alpha}$$

Είδωλο αντικειμένου

Τύπος λεπτών φακών



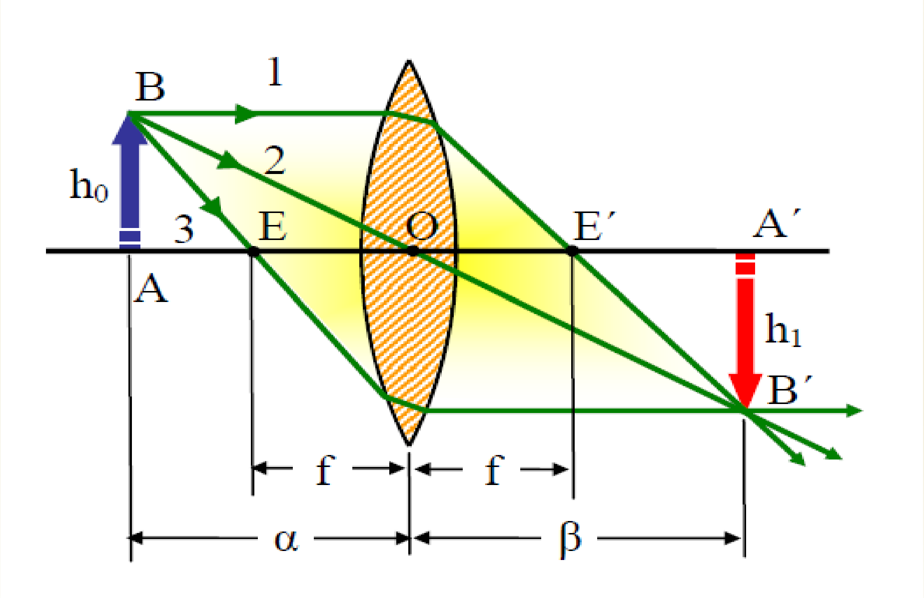
Τα τρίγωνα ΟΕΓ και ΕΑ΄Β΄ είναι όμοια. Επομένως:

$$\frac{A'B'}{O\Gamma} = \frac{EB'}{OE} \quad ή \quad \frac{A'B'}{AB} = \frac{\beta - f}{f}$$

όμως $$M = \frac{E}{A} = \frac{\beta}{\alpha}$$ αντικαθιστώντας:

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\beta - f}{f} \quad ή \quad \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f}$$ **(τύπος λεπτών φακών)**

Σχηματισμός πραγματικού ειδώλου

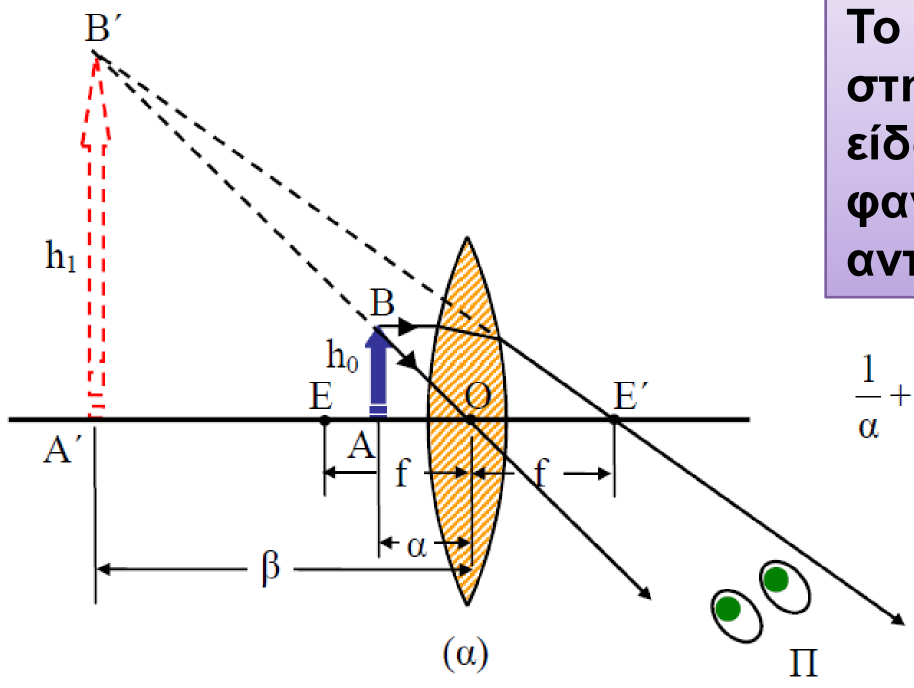


Γραφικός προσδιορισμός της θέσης και του μεγέθους ειδώλου

αριθμητικά από τον τύπο των λεπτών φακών

$$\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}=\frac{1}{f}$$

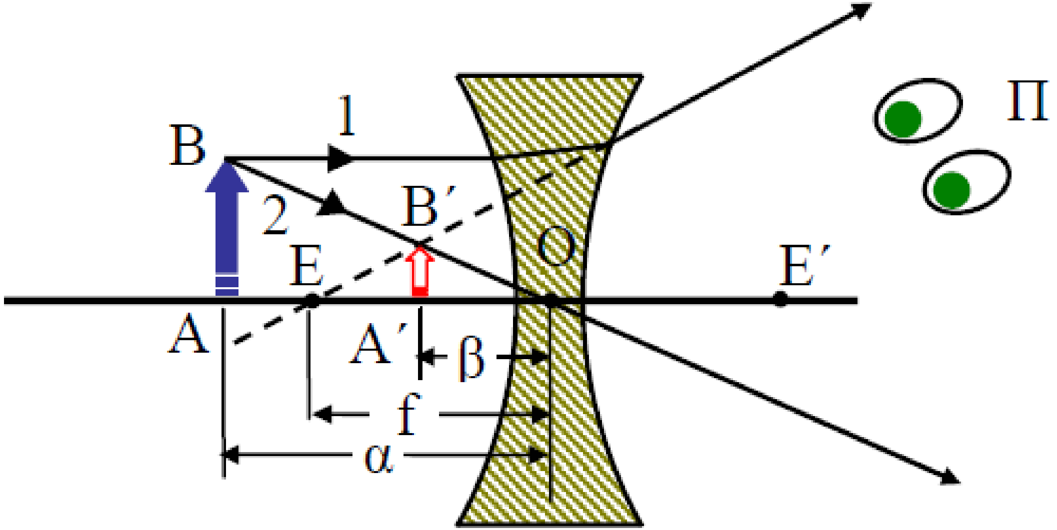
Σχηματισμός φανταστικού ειδώλου



Το αντικείμενο είναι τοποθετημένο μέσα στην εστία ενός συγκλίνοντα φακού. Το είδωλο που σχηματίζεται είναι φανταστικό, ορθό και μεγαλύτερο του αντικειμένου.

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{-\beta} = \frac{1}{f}$$

Σχηματισμός φανταστικού ειδώλου



$$\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{-\beta}=-\frac{1}{f}$$

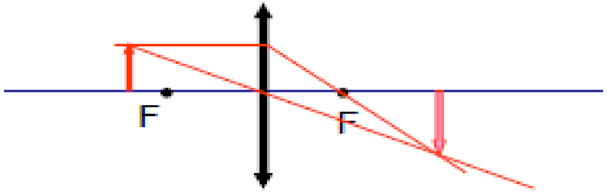
Το είδωλο που σχηματίζεται από αποκλίνοντα φακό είναι <u>φανταστικό, ορθό και μικρότερο του αντικειμένου</u>

Σχηματισμός ειδώλου – όλες οι δυνατές περιπτώσεις

Φακός	f	Θέση αντικειμένου	Είδωλο	Τύπος φακών	Μεγέθυνση
Συγκλίνων	+	$\alpha > f$	πραγματικό ανεστραμμένο	$\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}=\frac{1}{f}$	$M=\frac{h_1}{h_0}=-\frac{\beta}{\alpha}$
Συγκλίνων	+	$\alpha = f$	πραγματικό ανεστραμμένο	$\frac{1}{\beta}=0$	
Συγκλίνων	+	$\alpha < f$	Φανταστικό ορθό	$\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{-\beta}=\frac{1}{f}$	$M=\frac{h_1}{h_0}=\frac{\beta}{\alpha}$
Αποκλίνων	-		Φανταστικό ορθό	$\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{-\beta}=-\frac{1}{f}$	$M=\frac{h_1}{h_0}=\frac{\beta}{\alpha}$

Σχηματισμός ειδώλου – όλες οι δυνατές περιπτώσεις

Ένας συγκλίνων φακός έχει εστιακή απόσταση 15cm. Για ένα αντικείμενο σε αποστάσεις 20cm και 5cm προσδιορίστε (γραφικά και ποσοτικά): α) τη θέση του ειδώλου, β) τη μεγέθυνση, (γ) το είδος του ειδώλου (πραγματικό ή φανταστικό) (δ) αν το είδωλο είναι ορθό η ανεστραμμένο



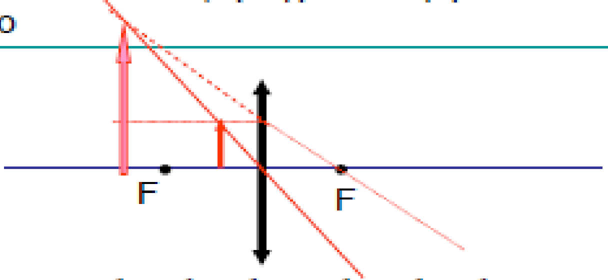
(α) $\frac{1}{f}=\frac{1}{s}+\frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{15}=\frac{1}{20}+\frac{1}{s'}$

$\Rightarrow s'=60cm$

(β) $M=-\frac{s'}{s}=-\frac{60}{20}=-3$

(γ) πραγματικό (s΄>0)

(δ) ανεστραμμένο (M<0)



(α) $\frac{1}{f}=\frac{1}{s}+\frac{1}{s'} \Rightarrow \frac{1}{15}=\frac{1}{5}+\frac{1}{s'}$

$\Rightarrow s'=-7.5cm$

(β) $M=-\frac{s'}{s}=-\frac{-7.5}{5}=1.5$

(γ) φανταστικό (s΄<0)

(δ) ορθό (M>0)