



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικό και Καποδιστριακό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ,  
ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ

# **Εστιομετρία φακών και κατόπτρων**

**Εργαστηριακή άσκηση  
στο πλαίσιο του μαθήματος  
Οπτική και Εφαρμογές**

**Κ. Γαζέας - Δ. Παπαθανάσογλου**

**Αθήνα, Μάιος 2014**



## Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι η μέτρηση της εστιακής απόστασης κοίλων και κυρτών φακών και κατόπτρων με διάφορες οπτικές μεθόδους.

Η γνώση της εστιακής απόστασης ενός φακού είναι πολύ σημαντική για την κατασκευή οπτικών οργάνων, είτε αυτό είναι για απλά οφθαλμικά γυαλιά, είτε για πολύπλοκες ερευνητικές οπτικές διατάξεις. Το εύρος των εστιακών αποστάσεων είναι μεγάλο, από χιλιοστά του μέτρου (σε αντικειμενικούς μικροσκοπίου) μέχρι και μερικές δεκάδες μέτρα (σε μεγάλα τηλεσκόπια). Η μέτρηση της εστιακής απόστασης γίνεται με διάφορες μεθόδους, ανάλογα την περίπτωση. Όλες όμως χρησιμοποιούν τη βασική εξίσωση των φακών.

Η άσκηση περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες :

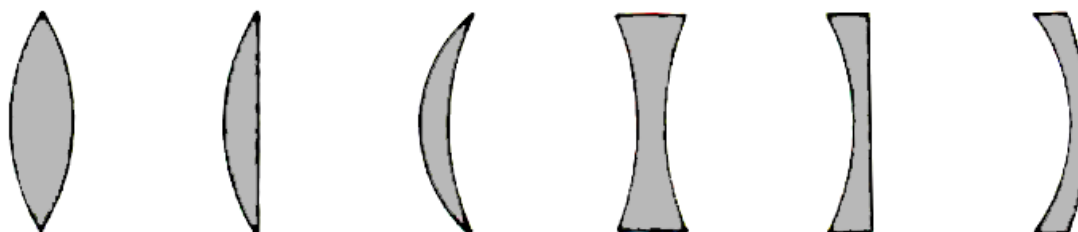
- 1) Θεμελιώδεις ορισμοί και συμβολισμοί στην εστιομετρία.
- 2) Συμβάσεις αποστάσεων και προσήμων στη θεωρία απεικόνισης Gauss
- 3) Περιγραφή των μεθόδων μέτρησης της εστιακής απόστασης λεπτών και παχέων φακών.
- 4) Περιγραφή των μεθόδων μέτρησης της εστιακής απόστασης κοίλων/κυρτών κατόπτρων.

## Συνοπτικά περί φακών, κατόπτρων, κοίλων και κυρτών επιφανειών

Οι φακοί είναι στερεά σώματα από γυαλί, πλαστικό ή άλλο υλικό διαφανές στο φως, τα οποία αποτελούνται από δυο αντικριστές διαθλαστικές επιφάνειες (δίοπτρα), κοίλου, κυρτού ή επίπεδου σχήματος. Η συνδυαστική διαθλαστική ισχύς των δύο αυτών επιφανειών δημιουργεί ένα φακό. Οι δυνατοί συνδυασμοί δύο τέτοιων επιφανειών μπορούν να δημιουργήσουν τους φακούς που φαίνονται στην Εικόνα 1 και διακρίνονται σε έξι κατά σχήμα βασικά είδη (μορφές). Αυτοί είναι:

- 1) Αμφίκυρτοι
- 2) Επιπεδόκυρτοι
- 3) Κοιλόκυρτοι ή συγκλίνοντες μηνίσκοι (παχείς στο μέσον)
- 4) Αμφίκοιλοι
- 5) Επιπεδόκοιλοι και
- 6) Κοιλόκυρτοι ή αποκλίνοντες μηνίσκοι (λεπτοί στο μέσον)

Επίσης ανάλογα της εκτροπής που υφίστανται οι ακτίνες όταν διέρχονται από τους φακούς, αυτοί διακρίνονται σε θετικούς ή συγκλίνοντες φακούς και σε αρνητικούς ή αποκλίνοντες φακούς. Συγκλίνοντες είναι οι φακοί που προκαλούν σύγκλιση μιας παράλληλης εισερχόμενης δέσμης φωτός και αποκλίνοντες είναι οι φακοί που προκαλούν απόκλιση της.



**Εικόνα 1.** Ανάλογα με την κυρτότητα των εξωτερικών επιφανειών τους οι φακοί χωρίζονται σε κατηγορίες. Από δεξιά προς τα αριστερά απεικονίζονται τρεις συγκλίνοντες και τρεις αποκλίνοντες. Αυτοί είναι: αμφίκυρτος, επιπεδόκυρτος, συγκλίνων κοιλόκυρτος (συγκλίνων μηνίσκος), αμφίκοιλος, επιπεδόκοιλος, αποκλίνων κοιλόκυρτος (αποκλίνων μηνίσκος).

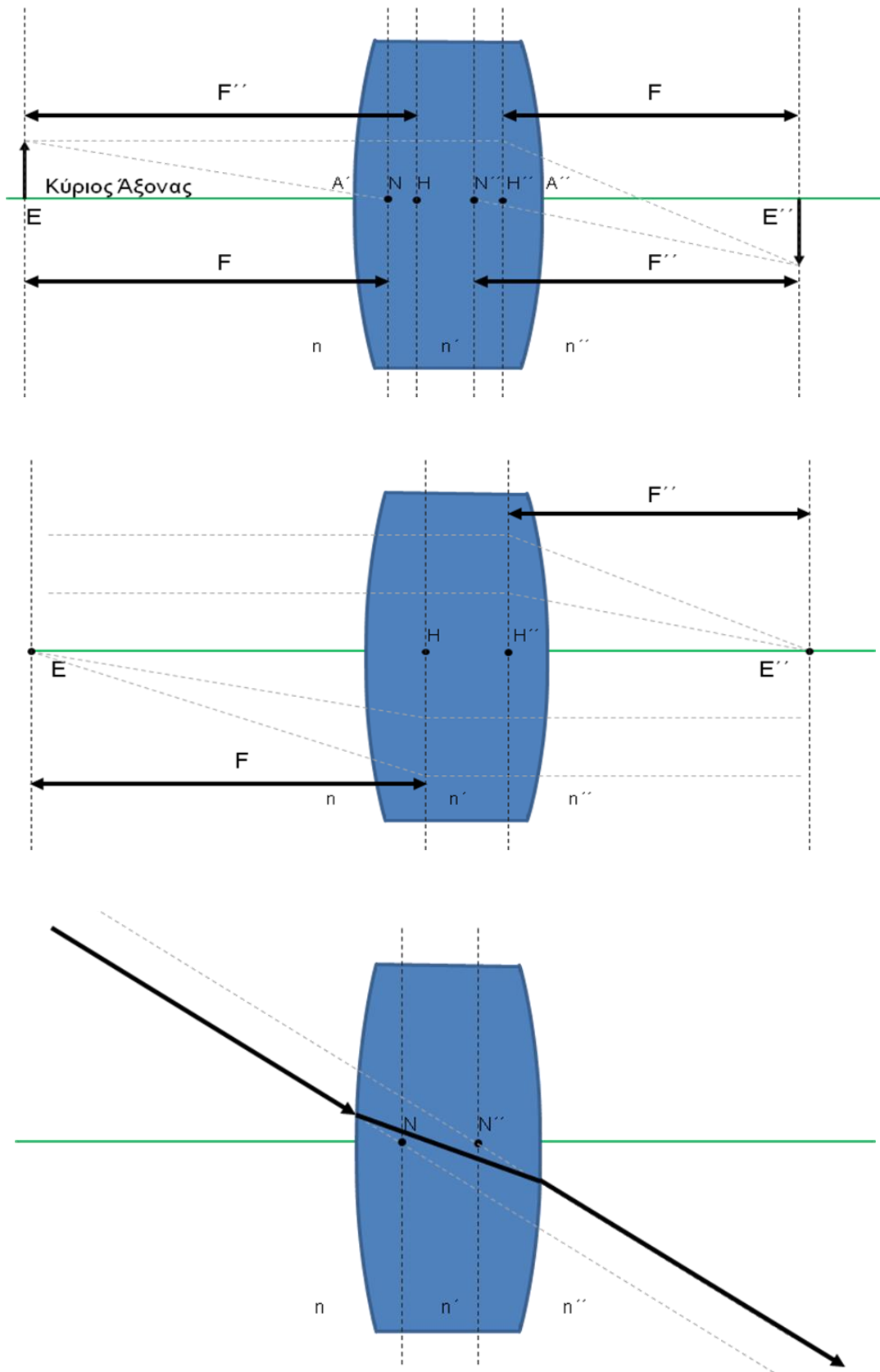
Δεν είναι γνωστό το πότε κατασκευάστηκαν ή επινοήθηκαν οι πρώτοι φακοί. Είναι βέβαιο πάντως ότι οι φακοί ήταν γνωστοί από την αρχαιότητα, τόσο από πολυάριθμα ευρήματα ανασκαφών, όσο και από γραπτά κείμενα (π.χ. από τους στίχους του Αριστοφάνη στις Νεφέλες: «...την λίθον την καλήν, την διαφανή, αφ ής το πυρ άπτουσιν»). Η εξέλιξη των φακών μέσα στον χρόνο καθορίστηκε από τη συνεχή ανάγκη ποιοτικής αναβάθμισης των πάσης φύσεως οπτικών οργάνων, π.χ. φωτογραφικών μηχανών, τηλεσκοπίων, μικροσκοπίων, κ.ά.

Σήμερα, ένας φωτογραφικός φακός μπορεί να περιέχει 13 ή και περισσότερα στοιχεία (μέλος του φακού π.χ. διάφραγμα, αμφίκυρτος φακός, επιπεδόκοιλος κλπ.) και η σχεδιάσή του στηρίζεται σε κάποια γενικά μοντέλα. Ο σχεδιαστής ξεκινά το έργο του από ένα έτοιμο σύστημα, το οποίο στη συνέχεια εξελίσσει.

## **Ορισμοί**

Τα θεμελιώδη σημεία και οι αποστάσεις ενός φακού φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα 2.

- Κύριος άξονας ενός φακού ονομάζεται η ευθεία που συνδέει τα κέντρα καμπυλότητας των δύο επιφανειών του. Σε περίπτωση που η μία επιφάνεια είναι επίπεδη τότε κύριος άξονας λέγεται η ευθεία που είναι κάθετη στην επίπεδη επιφάνεια και διέρχεται από το κέντρο καμπυλότητας της σφαιρικής επιφάνειας.
- Κύρια τομή ενός φακού ονομάζεται κάθε επίπεδο που διέρχεται από τον κύριο άξονα.
- Κύρια εστία E (focal point) ενός φακού είναι το γεωμετρικό σημείο του κύριου οπτικού άξονα, στο οποίο όταν βρεθεί η πηγή μιας αξονικής δέσμης, μετά τη διάθλαση αυτής από το φακό, γίνεται παράλληλη με τον κύριο άξονα. Αν μια εστιακή αξονική δέσμη προσπίπτει στο φακό από το σημείο της πρωτεύουσας/δευτερεύουσας κύριας εστίας (E και E'' αντίστοιχα), η διαθλώμενη δέσμη θα εξέλθει παράλληλα προς τον κύριο άξονα.
- Πρωτεύουσα/δευτερεύουσα κορυφή (primary/secondary vertex) (A και A'' αντίστοιχα) ενός φακού είναι το γεωμετρικό σημείο τομής της πρωτεύουσας/δευτερεύουσας επιφάνειας ενός φακού με τον κύριο άξονα.
- Αν προεκτείνουμε τις προσπίπτουσες και διαθλώμενες ακτίνες, τα σημεία τομής τους ορίζουν ένα επίπεδο, κάθετο στον άξονα, που ονομάζεται πρωτεύον/δευτερεύον κύριο επίπεδο (primary/secondary principal plain), και το σημείο τομής του (H/H'') με τον άξονα, ονομάζεται πρωτεύον/δευτερεύον κύριο σημείο (primary/secondary principal point).
- Όταν μια στιγματική αξονική δέσμη προσπίπτει από ένα σημείο εκτός του άξονα σε ένα παχύ φακό, υπάρχει μια ακτίνα της δέσμης, η κύρια ακτίνα (chief ray), η οποία δεν υφίσταται εκτροπή αλλά μόνο παράλληλη μετατόπιση. Αν προεκτείνουμε την προσπίπτουσα και την εξερχόμενη ακτίνα οι προεκτάσεις θα συναντήσουν τον κύριο άξονα στα σημεία N και N'' αντίστοιχα. Τα σημεία αυτά ονομάζονται δεσμικά σημεία.
- Σε κάθε περίπτωση τα κύρια σημεία απέχουν εξίσου από τα δεσμικά, δηλαδή ισχύει  $NH=N''H''$ . Όταν  $n=n''$  τα κύρια σημεία ταυτίζονται με τα δεσμικά.



Εικόνα 2: Θεμελιώδη σημεία και αποστάσεις ενός φακού.

Η σχέση που δίνει την εστιακή απόσταση  $f$  (Απόσταση της πρωτεύουσας/δευτερεύουσας εστίας του φακού από το πρωτεύον/δευτερεύον αντίστοιχα κύριο σημείο) ενός φακού είναι η:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{t_c(n-1)}{nR_1R_2} \right] \quad (1)$$

όπου  $t_c$  το πάχος του κέντρου του φακού και  $R_i$  οι ακτίνες καμπυλότητας αυτού και  $n$  ο δείκτης διάθλασης του φακού.

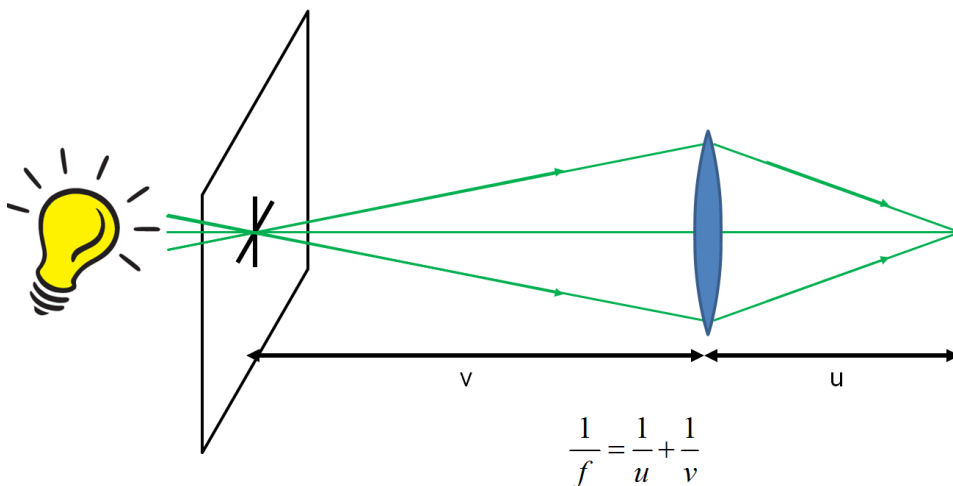
Η παραπάνω σχέση ονομάζεται σχέση των κατασκευαστών των φακών και είναι από τις σημαντικότερες σχέσεις στην Οπτική.

Στην περίπτωση των λεπτών φακών, η παραπάνω σχέση απλοποιείται στην:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (2)$$

ή 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (3)$$

όπου  $u$  και  $v$  οι αποστάσεις του αντικειμένου και του ειδώλου αντίστοιχα (Εικόνα 3).



**Εικόνα 3.** Η εστιακή απόσταση του φακού συνδέεται άμεσα με τις αποστάσεις του αντικειμένου και του ειδώλου, που αυτός σχηματίζει.

Η διαθλαστική ισχύς ενός δίοπτρου είναι αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας καμπυλότητάς του και επομένως της εστιακής του απόστασης. Ισχύει δηλαδή:

$$P = \frac{n' - n}{R} \quad (4)$$

Επειδή συνήθως οι φακοί μετρούνται στον ατμοσφαιρικό αέρα, όπου  $n \approx 1$ , ο τύπος γίνεται:

$$P = \frac{n' - 1}{R} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{(n - 1)}{R_1} - \frac{(n - 1)}{R_2} \quad (6)$$

$$P = P_1 + P_2 \quad (7)$$

Για συστήματα φακών σε μεταξύ τους απόσταση  $d$ , ισχύει:

$$P = P_1 + P_2 - dP_1P_2 \quad (8)$$

Στους αποκλίνοντες φακούς η εστιακή απόσταση λαμβάνεται αρνητική και επομένως η ισχύς τους είναι και αυτή αρνητική.

Οι μονάδες μέτρησης της ισχύος ενός φακού έχουν διαστάσεις αντιστρόφου μήκους, δηλαδή  $m^{-1}$ . Η μονάδα αυτή ονομάζεται διοπτρία (διεθνώς συμβολίζεται ως  $dp$ ), δηλαδή:

$$1 \text{ διοπτρία} = 1 \text{ m}^{-1} \quad (9)$$

Για παράδειγμα, ένας συγκλίνοντας φακός εστιακής απόστασης 50 cm έχει ισχύ 2 διοπτρίες, ενώ ένας αποκλίνοντας φακός της ίδιας εστιακής απόστασης έχει ισχύ -2 διοπτρίες.

Ομοίως, τα κάτοπτρα μπορεί να είναι κοίλα, κυρτά ή επίπεδα και προφανώς έχουν μία ανακλαστική επιφάνεια, η οποία δεν αφήνει το φως να διέλθει μέσα από αυτήν. Η ισχύς τους (όχι διαθλαστική αυτή τη φορά) ορίζεται και πάλι με τον ίδιο τρόπο όπως την Εξίσωση (5), δηλαδή είναι αντιστρόφως ανάλογη της εστιακής απόστασης του κατόπτρου.

Για τη μέτρηση της εστιακής απόστασης των φακών (λεπτών και παχέων) υπάρχουν αρκετές μέθοδοι, οι οποίες παρουσιάζονται στις επόμενες σελίδες.

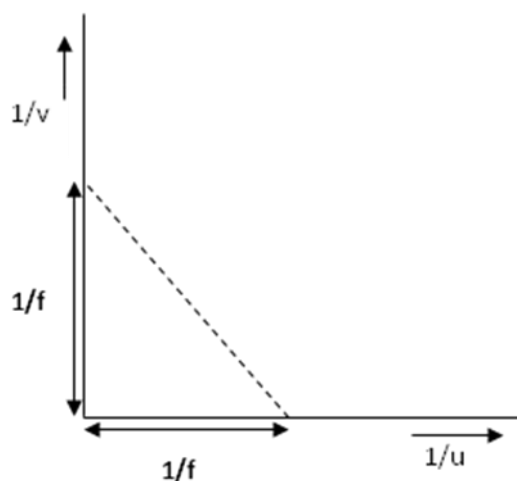
Στις περιπτώσεις που ένας φακός δημιουργεί πραγματικό είδωλο και μπορεί να προβληθεί και να μετρηθεί, η μέθοδος μέτρησης προκύπτει ως άμεση απόρροια των παραπάνω εξισώσεων. Όταν όμως το είδωλο είναι φανταστικό ή σε θέση τέτοια που δεν μπορεί να μετρηθεί, χρησιμοποιούνται βοηθητικοί φακοί, οι οποίοι δημιουργούν ένα πραγματικό είδωλο, το οποίο με τη σειρά του αποτελεί το αντικείμενο για τον προς μελέτη φακό, έτσι ώστε ο δεύτερος να δημιουργήσει ένα μετρήσιμο πραγματικό είδωλο. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται και πάλι οι ίδιες εξισώσεις, με τη διαφορά ότι το αντικείμενο του προς μελέτη φακού είναι το είδωλο του βοηθητικού φακού.

## Γραφικές μέθοδοι

Αξιοσημείωτες μέθοδοι μέτρησης και υπολογισμού της εστιακής απόστασης είναι οι γραφικές. Οι δυο κυριότερες παρατίθενται παρακάτω και είναι η απλή μέθοδος της γραφικής επίλυσης και η μέθοδος της ελάχιστης απόστασης, γνωστή και ως μέθοδος Gauss. Και οι δύο αυτές μέθοδοι χρησιμοποιούνται εύκολα στη μέτρηση της εστιακής απόστασης συγκλίνοντα λεπτού φακού, ενώ με κατάλληλες μετατροπές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στη μέτρηση άλλων φακών.

### **(α) Η απλή γραφική μέθοδος**

Η γραφική παράσταση της ποσότητας  $1/u$  ως συνάρτηση του  $1/v$  (βάσει της Εικόνας 3) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της εστιακής απόστασης  $f$ . Το σημείο όπου η ευθεία της γραφικής παράστασης τέμνει τους άξονες ισούται με  $1/f$ . Για τη δημιουργία της ευθείας λαμβάνονται πολλές μετρήσεις των  $u$  και  $v$ , ώστε να σχηματιστούν πολλά ζεύγη τιμών, τα οποία θα αποτελέσουν τα σημεία της ευθείας (Εικόνα 4).



**Εικόνα 4.** Με τη μέθοδο της γραφικής επίλυσης υπολογίζεται η εστιακή απόσταση ενός συγκλίνοντα φακού από τα σημεία τομής της ευθείας με τους άξονες.



### (β) Η μέθοδος της ελάχιστης απόστασης (εξίσωση Gauss)

Η μέθοδος αυτή είναι λίγο πιο μαθηματική και προκύπτει από τη φυσική ιδιότητα των φακών, δηλαδή ότι υπάρχει πάντοτε μια ελάχιστη απόσταση αντικειμένου και ειδώλου. Αυτό μπορεί να φανεί εάν γίνει η γραφική παράσταση της απόστασης αντικειμένου-φακού ( $u+v$ ) ως συνάρτηση της ποσότητας  $u$  ή  $v$ . Το ελάχιστο της γραφικής αυτής παράστασης (Εικόνα 5) συμβαίνει σε συντεταγμένες  $(2f, 4f)$ . Αυτό σημαίνει ότι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ αντικειμένου και ειδώλου ισούται με  $4f$ .

Απόδειξη:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}, \quad \text{και επομένως: } u + v = \frac{uv}{f} \quad \text{και } v = \frac{fu}{u-f}$$

Άρα:

$$u + v = \frac{u^2}{u-f}$$

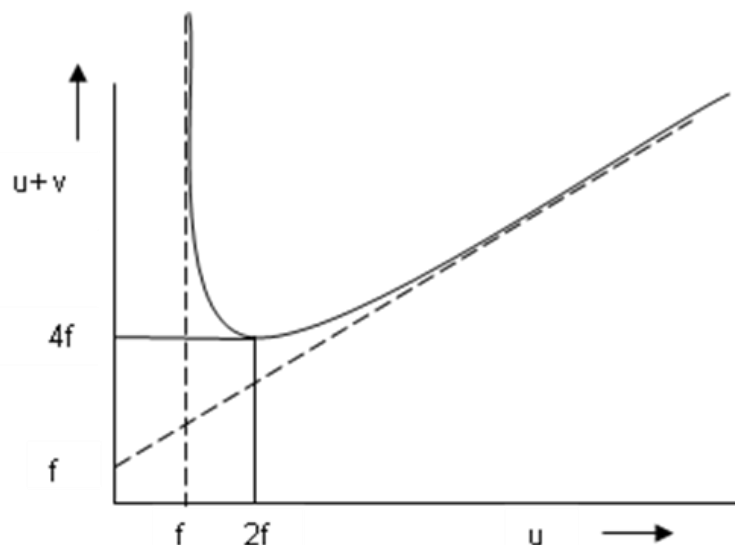
Διαφορίζοντας την παραπάνω σχέση ως προς  $u$  έχουμε:

$$\frac{d(u+v)}{du} = \frac{u^2 - 2uf}{(u-f)^2}$$

Η παραπάνω συνάρτηση παρουσιάζει ελάχιστο όταν:

$$\frac{d(u+v)}{du} = 0 \Rightarrow u^2 - 2uf = 0$$

και έτσι προκύπτει ότι:  $u = 2f$ ,  $v = 2f$  και επομένως:  $u + v = 4f$



**Εικόνα 5.** Με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης υπολογίζεται η εστιακή απόσταση ενός συγκλίνοντα φακού από το ακρότατο της καμπύλης, το οποίο έχει συντεταγμένες το σημείο  $(4f, 2f)$ . Επίσης μπορεί να υπολογιστεί από τα σημεία τομής των ασύμπτωτων ευθειών με τους άξονες.

# Συμβάσεις Αποστάσεων και Προσήμων στη Θεωρία Απεικόνισης Gauss

## A. Κάτοπτρα, δίοπτρα και λεπτοί φακοί

1. Το φως διαδίδεται από αριστερά προς τα δεξιά.

2. Οι σφαιρικές επιφάνειες που στρέφουν το κυρτό τους μέρος προς το φως έχουν θετικές ακτίνες καμπυλότητας και αντίστροφα (βλ. διπλανό σχήμα).

3. Οι αποστάσεις μετρώνται επί του κυρίου άξονα με αρχή την κορυφή του κατόπτρου ή δίοπτρου ή το οπτικό κέντρο του λεπτού φακού.

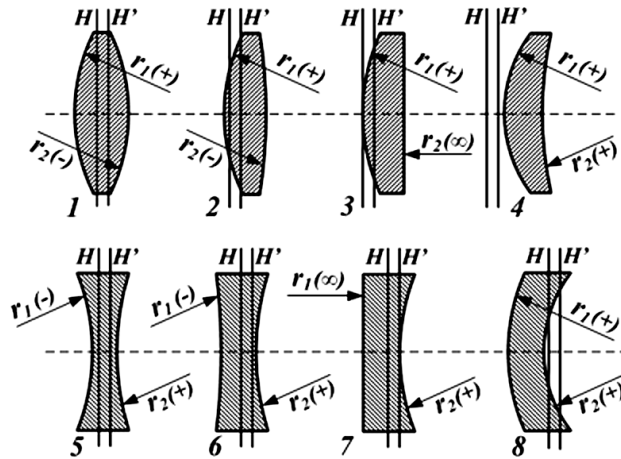
4. Στα κάτοπτρα: ως θετικός χώρος ορίζεται αυτός που βρίσκεται αριστερά του κατόπτρου και ως αρνητικός χώρος αυτός που βρίσκεται δεξιά. Τα σημεία που βρίσκονται στον θετικό χώρο είναι πραγματικά και οι αποστάσεις τους θετικές. Τα αντίθετα ισχύουν για τα σημεία του αρνητικού χώρου.

5. Στα δίοπτρα και τους φακούς: ως χώρος αντικείμενου ορίζεται ο αριστερά του δίοπτρου ή φακού χώρος και ως χώρος ειδώλου, ο δεξιά. Αντικείμενο ή αντίστοιχα είδωλο που βρίσκεται στον ομώνυμό του χώρο είναι πραγματικά και οι αποστάσεις τους θετικές. Αντίθετα, αν βρίσκονται σε ετερόνυμό τους χώρο, είναι φανταστικά και οι αποστάσεις τους αρνητικές.

6. Όταν το αντικείμενο ή το είδωλο βρίσκονται επάνω από τον κύριο άξονα, έχουν ύψος θετικό και αντίστροφα.

7. Οι γωνίες πρόσπτωσης ή διάθλασης θεωρούνται θετικές αν η κάθετος στο σημείο πρόσπτωσης μπορεί να συμπέσει με την ακτίνα, περιστρεφόμενη κατά τη θετική φορά (αντίθετη των δεικτών του ωρολογίου) και κατά γωνία μικρότερη των  $90^\circ$ . Διαφορετικά θεωρούνται αρνητικές.

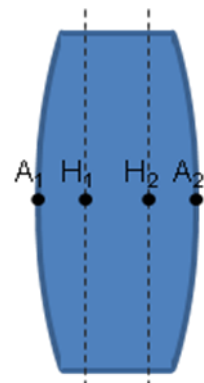
8. Οι γωνίες των ακτίνων με τον κύριο άξονα θεωρούνται θετικές αν ο κύριος άξονας μπορεί να συμπέσει με την ακτίνα, περιστρεφόμενος κατά τη θετική φορά και κατά γωνία μικρότερη των  $90^\circ$ . Διαφορετικά θεωρούνται αρνητικές.



## B. Παχείς φακοί

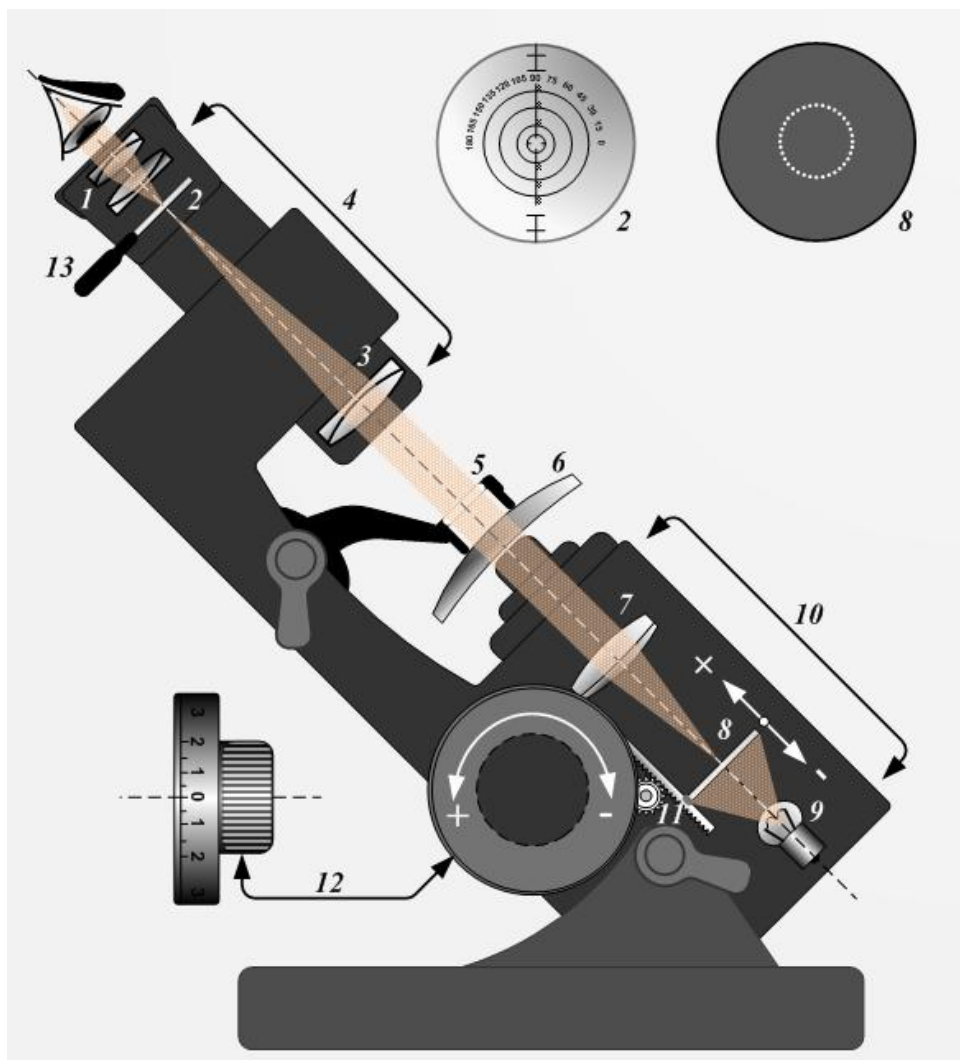
1. Οι αποστάσεις μετρώνται πάλι επί του κυρίου άξονα, αλλά η απόσταση του αντικείμενου μετριέται από το πρώτο κύριο σημείο ( $H_1$ ) του φακού, ενώ του ειδώλου, από το δεύτερο κύριο σημείο ( $H_2$ ).

2. Οι αποστάσεις ( $H_1A_1$ ) και ( $H_2A_2$ ) των κυρίων σημείων από τις κορυφές  $A_1$  και  $A_2$  του φακού, θεωρούνται θετικές αν τα  $H_1$  και  $H_2$  βρίσκονται δεξιά των αντίστοιχων κορυφών  $A_1$  και  $A_2$ , και αντίστροφα.



## Εστιόμετρο οπτικών φακών

Το εστιόμετρο των οπτικών φακών είναι ένα σύνθετο όργανο μέτρησης της εστιακής απόστασης με μεγάλη ακρίβεια, ενώ ταυτόχρονα είναι εύκολο στη χρήση (Εικόνα 6). Στην όψη θυμίζει μικροσκόπιο και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση κάθε είδους οφθαλμικών φακών. Το εστιόμετρο είναι μια μικρογραφία της οπτικής διάταξης για τη μέτρηση της εστιακής απόστασης φακών (όπως π.χ. στην οπτική τροχιά), με τη μέθοδο του τηλεσκοπίου (με το αντικείμενο να στέλνει το φως του από το άπειρο). Περιλαμβάνει ένα τηλεσκόπιο κι έναν κατευθυντήρα φακό με ρυθμιζόμενο σταυρόνημα, ενώ μεταξύ τους παρεμβάλλεται ο προς μέτρηση φακός.



**Εικόνα 6.** Σχηματική διάταξη του εστιόμετρου των οπτικών φακών. Στη διάταξη διακρίνονται:

- 1 – ρυθμιζόμενος προσοφθάλμιος φακός, 2 – σταυρόνημα, 3 – αντικειμενικός φακός,
- 4 – τηλεσκόπιο (τύπου Kepler), 5 – στήριγμα φακού προς μέτρηση, 6 – φακός προς μέτρηση
- 7 – κατευθυντήρας φακός, 8 – φωτισμένος στόχος, 9 – φωτεινή πηγή,
- 10 – συνολική διάταξη κατευθυντήρα, 11 – κοχλίας μεταβολής γωνίας παρατήρησης
- 12 – κοχλίας μέτρησης οπτικής ισχύος φακού (από +20 έως -20 διοπτρίες)
- 13 – μοχλός πρίσματος βαθμονόμησης

## Μέθοδοι μέτρησης εστιακής απόστασης φακών και κατόπτρων

1. Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (Α΄)  
(μέθοδος μακρινού αντικειμένου)
2. Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (Β΄)  
(εφαρμόζοντας την εξίσωση απεικόνισης Gauss)
3. Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (Γ΄)  
(γραφική επίλυση)
4. Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (Δ΄)  
(μέθοδος αυτοκατεύθυνσης – autocollimation)
5. Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (Ε΄)  
(μέθοδος των συζυγών σημείων)
6. Μέτρηση εστιακής απόστασης αποκλίνοντος φακού (Α΄)  
(με τη δημιουργία φανταστικού αντικειμένου)
7. Μέτρηση εστιακής απόστασης αποκλίνοντος φακού (Β΄)  
(με τη δημιουργία φανταστικού αντικειμένου)
8. Μέτρηση εστιακής απόστασης παχέως συγκλίνοντος φακού (Α΄)  
(μέθοδος δεσμικών σημείων)
9. Μέτρηση εστιακής απόστασης παχέως συγκλίνοντος φακού (Β΄)  
(μέθοδος μεγέθυνσης - μέθοδος Abbe)
10. Μέτρηση εστιακής απόστασης παχέως αποκλίνοντος φακού  
(χρήση βοηθητικού συγκλίνοντος φακού - δημιουργία φανταστικού αντικειμένου)

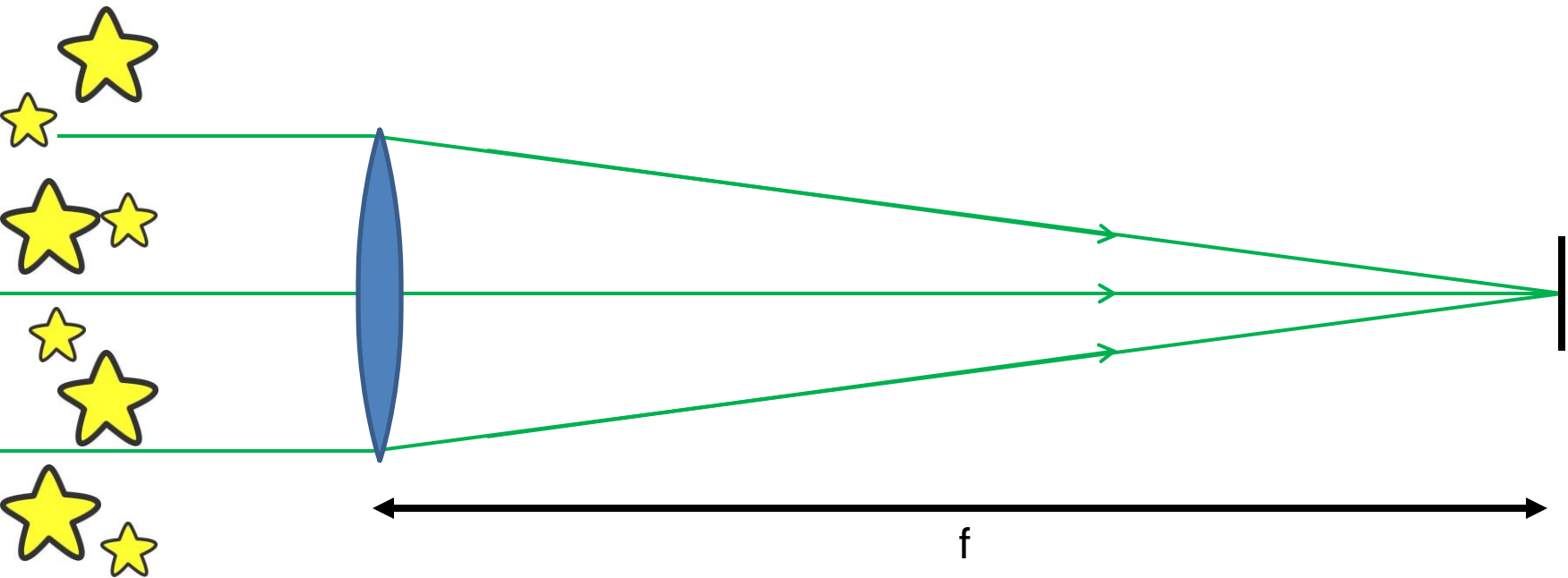
## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Κ. Αλεξόπουλου , Οπτική : Κεφάλαιο 1.

Δ. Παπαθανάσογλου, Εφαρμοσμένη Οπτική: Κεφάλαια 3 και 4.

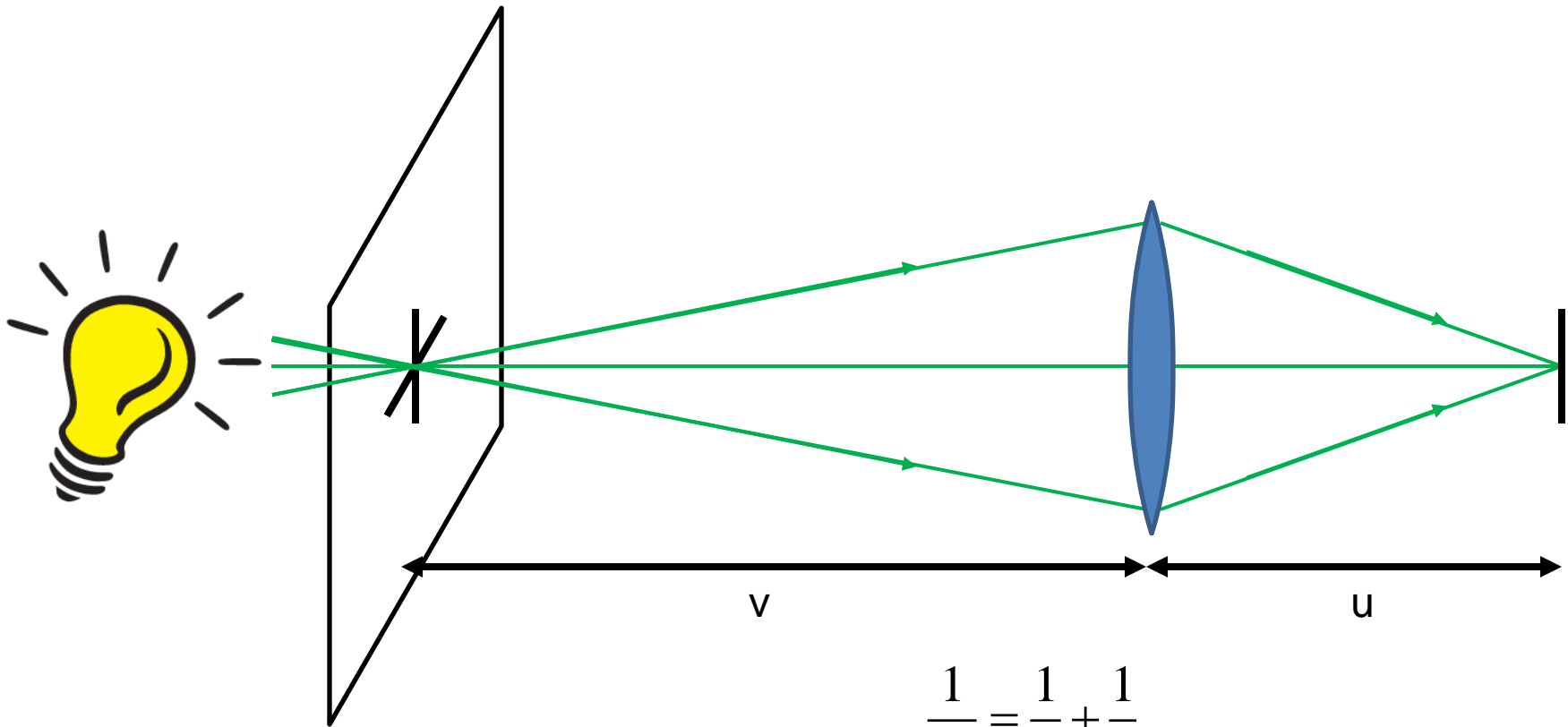
# Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (Α')

(μέθοδος μακρινού αντικειμένου)



Η τεχνική αυτή είναι μια άμεση μέθοδος μέτρησης της εστιακής απόστασης ενός συγκλίνοντος φακού και γίνεται με την εστίαση ενός πολύ απομακρυσμένου αντικείμενου, όπως για παράδειγμα του Ήλιου, επάνω σε ένα πέτασμα. Στην περίπτωση αυτή, η απόσταση μεταξύ του φακού και του πετάσματος είναι η εστιακή απόσταση του φακού.

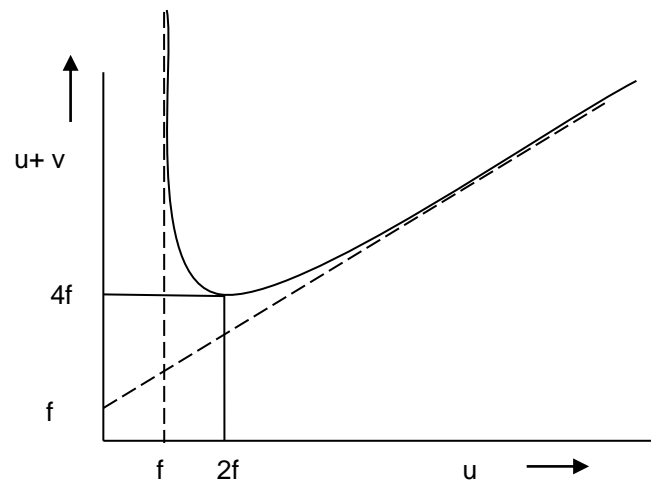
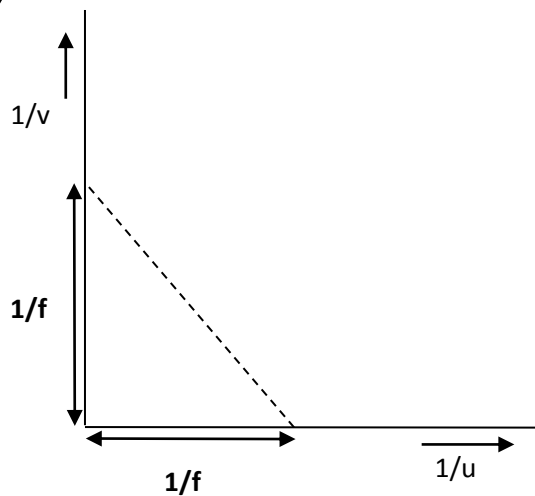
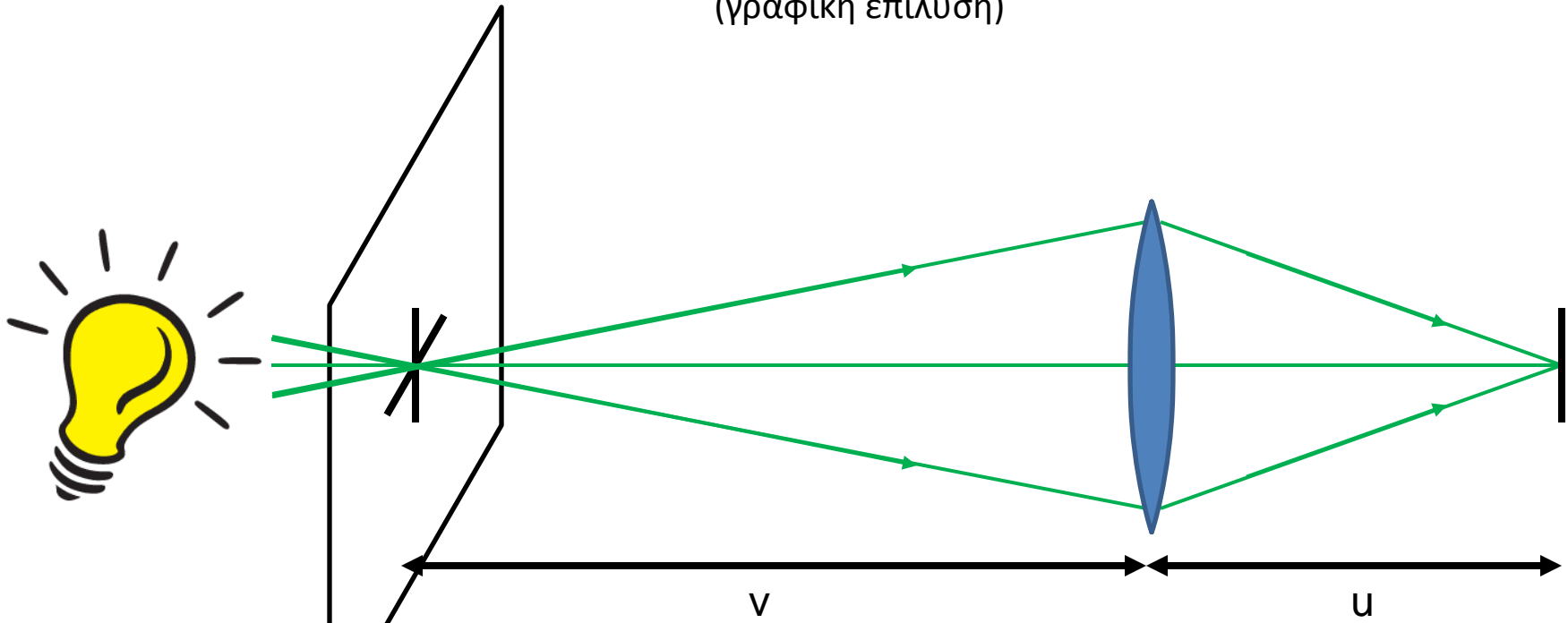
Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (B')  
(εφαρμόζοντας την εξίσωση απεικόνισης Gauss)



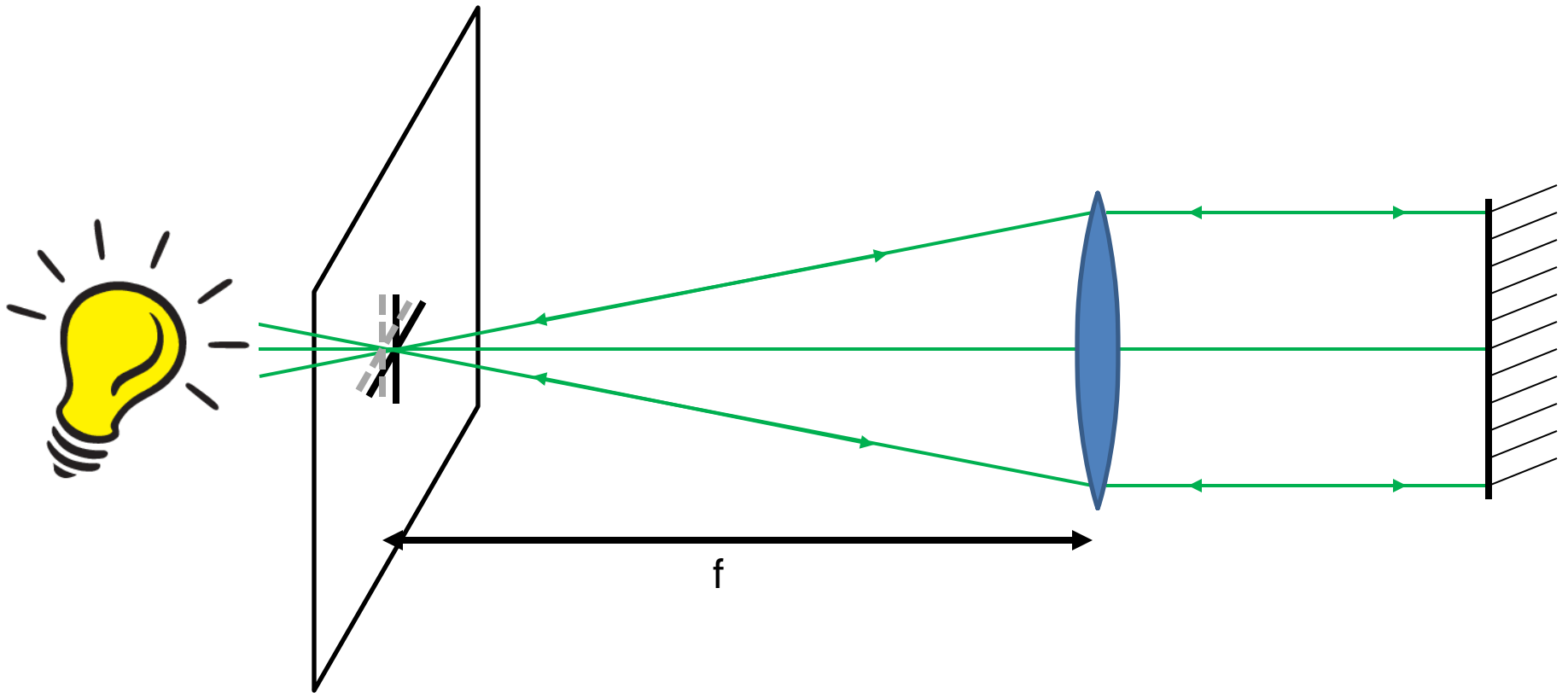
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

# Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (Γ')

(γραφική επίλυση)



# Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού ( $\Delta'$ ) (μέθοδος αυτοκατεύθυνσης – autocollimation)

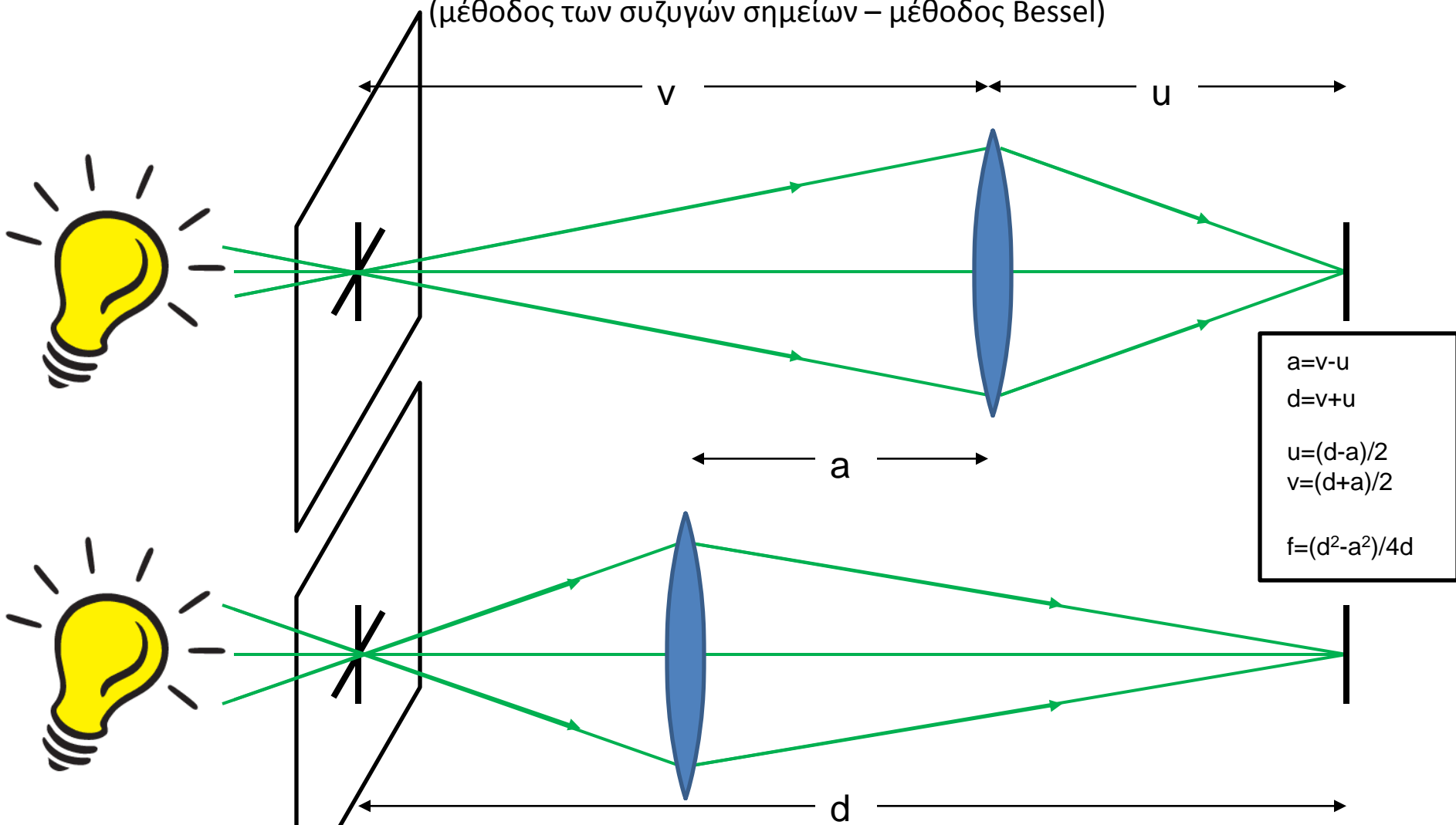


Στη μέθοδο αυτή ο συγκλίνων φακός τοποθετείται δίπλα σε ένα επίπεδο κάτοπτρο, όπως φαίνεται στην εικόνα. Το αντικείμενο στη θέση του σταυρού μετακινείται, έτσι ώστε το είδωλο να σχηματίζεται επάνω στο ίδιο πέτασμα. Το σημείο αυτό είναι η κύρια εστία του συγκλίνοντος φακού.



# Μέτρηση εστιακής απόστασης συγκλίνοντος φακού (Ε')

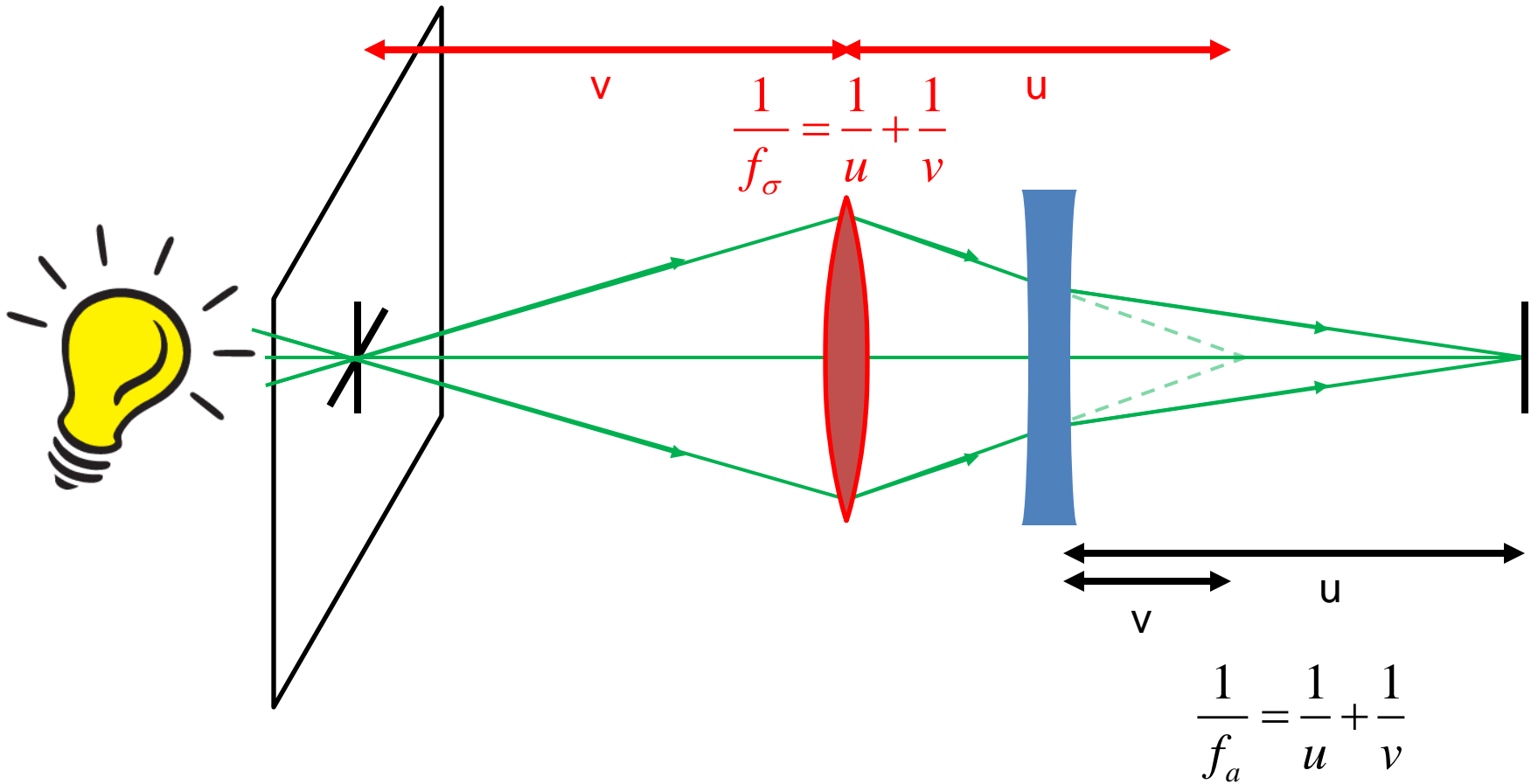
(μέθοδος των συζυγών σημείων – μέθοδος Bessel)



Ένα φωτεινό αντικείμενο στα αριστερά εστιάζεται σε ένα πέτασμα στα δεξιά. Για δεδομένη απόσταση φωτεινής πηγής και πετάσματος, υπάρχουν δύο θέσεις του φακού, στις οποίες επιτυγχάνεται η εστίαση. Βάσει της αρχής της αντιστρεψιμότητας, οι δύο αυτές θέσεις είναι συμμετρικές ως προς τις θέσεις της φωτεινής πηγής και του πετάσματος.

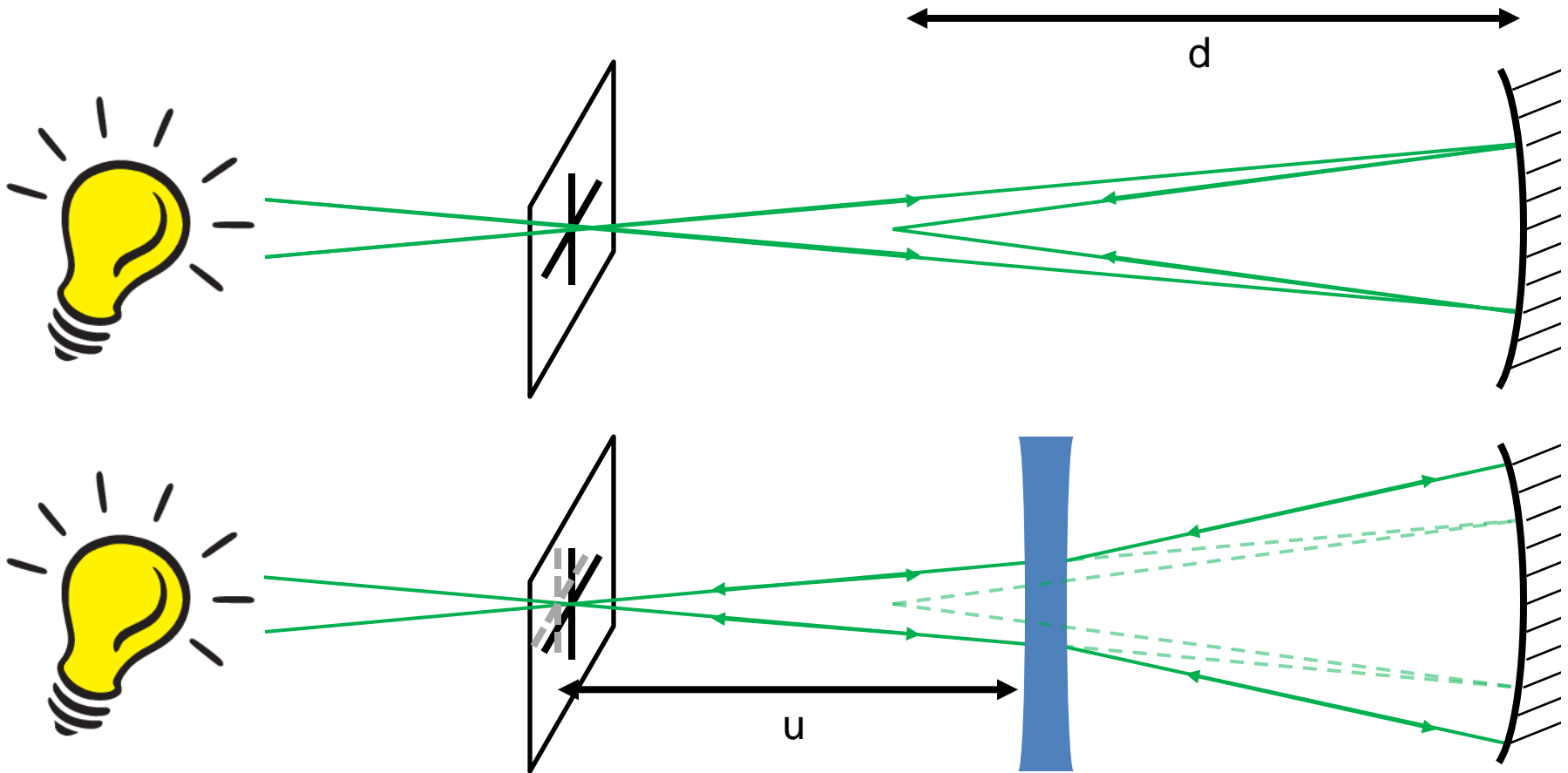
# Μέτρηση εστιακής απόστασης αποκλίνοντος φακού (A')

(με τη δημιουργία φανταστικού ειδώλου)



# Μέτρηση εστιακής απόστασης αποκλίνοντος φακού (B')

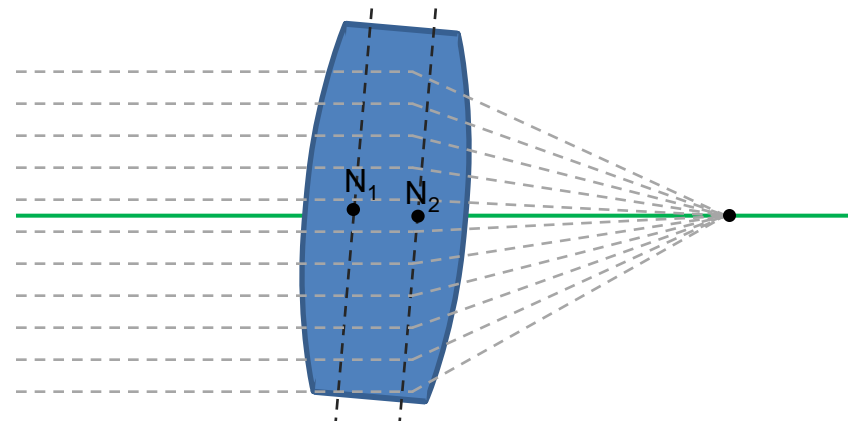
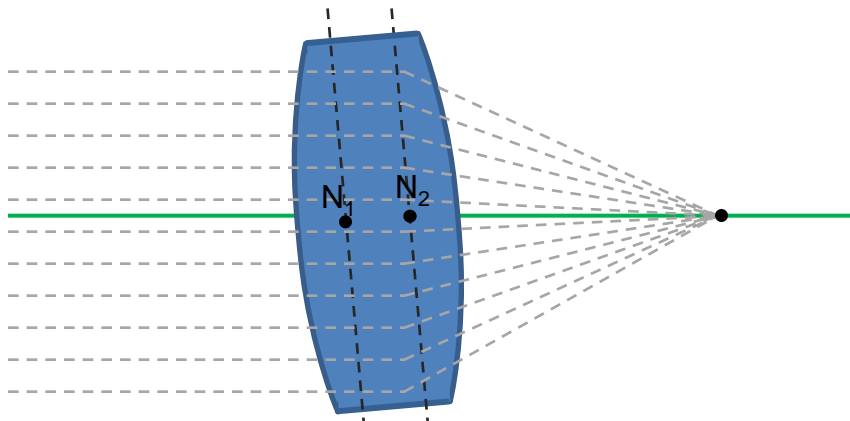
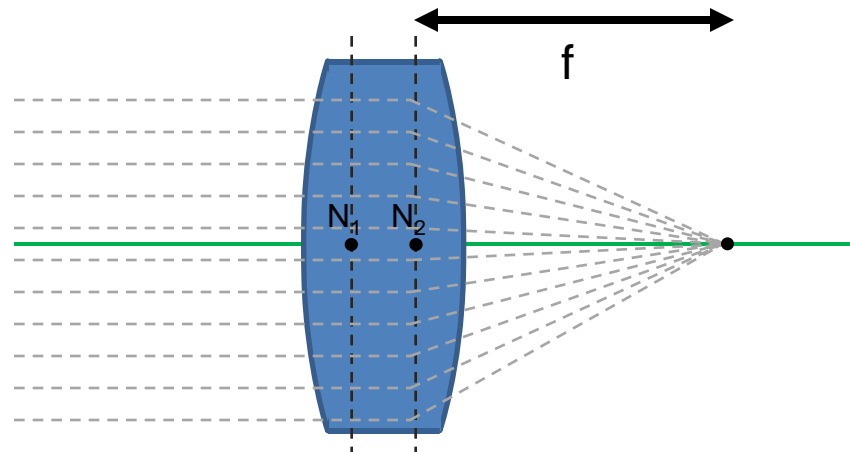
(με τη δημιουργία φανταστικού ειδώλου)



(επίλυση με τη μέθοδο των πινάκων)

# Μέτρηση εστιακής απόστασης παχέως συγκλίνοντος φακού (Α')

(μέθοδος δεσμικών σημείων)



# Μέτρηση εστιακής απόστασης παχέως συγκλίνοντος φακού (B')

(μέθοδος μεγέθυνσης - μέθοδος Abbe)

