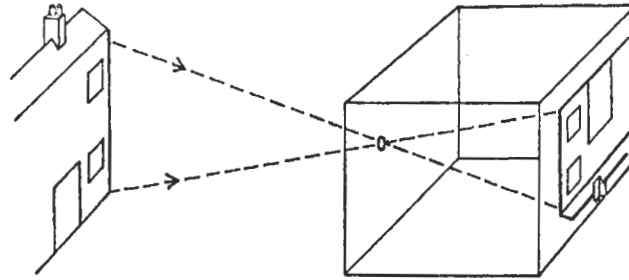


## Οπτικά όργανα

### 17 Σκοτεινός θάλαμος

Ο **σκοτεινός θάλαμος** (*camera obscura*), που μπορεί να θεωρηθεί ως το απλούστερο οπτικό όργανο, είναι απλώς ένας φωτοστεγής θάλαμος με μια μικρή οπή σε μια από τις έδρες του (Σχ. 18).

Κάθε φωτεινό σημείο ενός αντικειμένου προβάλλει πάνω σε ένα διάφραγμα το είδωλο της οπής. Σχηματίζεται έτσι πάνω στο διάφραγμα ένα ανεστραμμένο είδωλο του αντικειμένου. Το είδωλο μπορεί να αποτυπωθεί πάνω σε φωτογραφικό φιλμ που τοποθετείται πάνω στο διάφραγμα. Το μέγεθος του ειδώλου εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου και τον



Σχήμα 18 Σκοτεινός θάλαμος

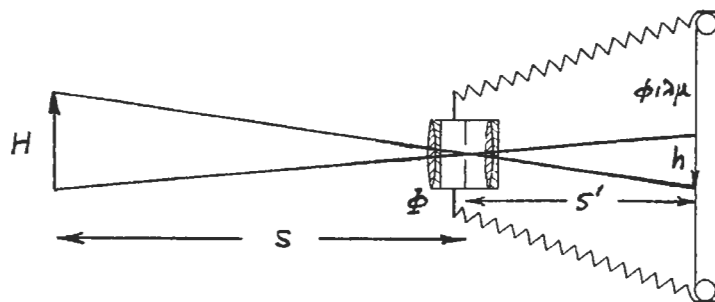
λόγο της απόστασης του αντικειμένου από την οπή προς την απόσταση της οπής από το διάφραγμα. Για καλή διακριτική ικανότητα, το μέγεθος της οπής πρέπει να είναι πολύ μικρό. Αυτό όμως έχει ως επακόλουθο η φωτεινότητα του ειδώλου να είναι πολύ μικρή και οι χρόνοι έκθεσης που απαιτούνται για αποτύπωση του ειδώλου σε φιλμ πολύ μεγάλοι. Οι σκοτεινοί θάλαμοι χρησιμοποιούνται για φωτογράφιση ακίνητων αντικειμένων, π.χ. κτιρίων. Έχουν το πλεονέκτημα ότι τα είδωλα που σχηματίζουν είναι απαλλαγμένα από τις παραμορφώσεις που προκαλούν οι φακοί.

## 18 Φωτογραφική μηχανή

Η φωτογραφική μηχανή αποτελείται από ένα συγκλίνοντα φακό (συνήθως σύνθετο), ο οποίος σχηματίζει ένα αντεστραμμένο, πραγματικό, είδωλο του αντικειμένου πάνω σε φωτοευαίσθητο φιλμ, στο οποίο και αποτυπώνεται (Σχ. 19).

Επειδή η απόσταση  $s + s'$  ανάμεσα στο φιλμ και το αντικείμενο είναι δεδομένη, ο φακός μετατοπίζεται μέχρις ότου επιτευχθεί εστίαση του ειδώλου πάνω στο φιλμ. Αν το μέγεθος του αντικειμένου είναι  $H$ , το μέγεθος του ειδώλου είναι  $h = H \frac{s'}{s}$ .

Στους φακούς zoom μεταβάλλεται κατά πολύ η απόσταση  $s'$  (ενώ η απόσταση  $s$  είναι ουσιαστικά σταθερή), ώστε το μέγεθος  $h$  του ειδώλου να μπορεί να μεταβληθεί.

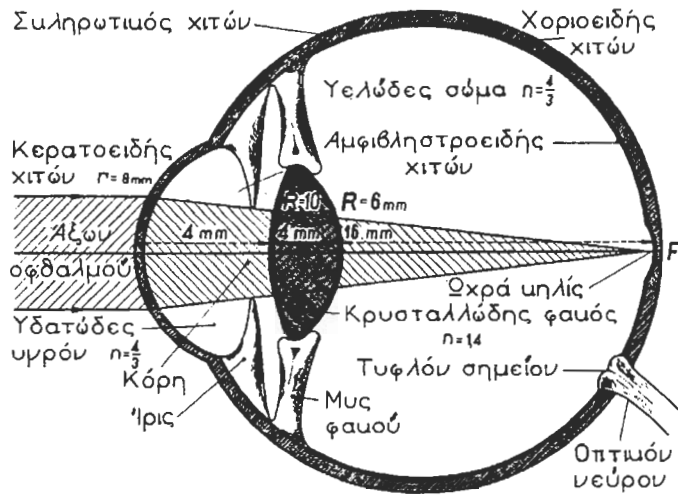


Σχήμα 19 Η αρχή λειτουργίας της φωτογραφικής μηχανής.

Η ευαισθησία του φιλμ και η φωτεινότητα του αντικειμένου καθορίζουν το απαιτούμενο άνοιγμα του διαφράγματος του φακού και τον χρόνο έκθεσης του φιλμ κατά τη φωτογράφιση. Η χρήση σύνθετων φακών για τη διόρθωση των σφαλμάτων, οδηγεί σε ευκρινέστερα είδωλα.

## 19 Οφθαλμός

Η λειτουργία του οφθαλμού είναι όμοια με αυτήν της φωτογραφικής μηχανής (Σχ. 20). Ο φακός του οφθαλμού σχηματίζει το είδωλο του αντικειμένου πάνω στο πίσω μέρος του οφθαλμού, τον **αμφιβληστροειδή χιτώνα**, ο οποίος είναι ευαίσθητος σε φως μήκους κύματος μεταξύ 400 και 750 nm περίπου. Η απόσταση του φακού από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα είναι σταθερή και γι' αυτό η εστίαση επιτυγχάνεται με μεταβολή της εστιακής απόστασης του φακού. Η διάθλαση του φωτός γίνεται κυρίως στην εξωτερική επιφάνεια του **κερατοειδούς χιτώνα**. Ένα διάφραγμα, η **ίριδα**, ανοιγοκλείνει, προσαρμοζόμενη στην ένταση του φωτός. Ο φακός ενός οφθαλμού μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να εστιάσει



Σχήμα 20

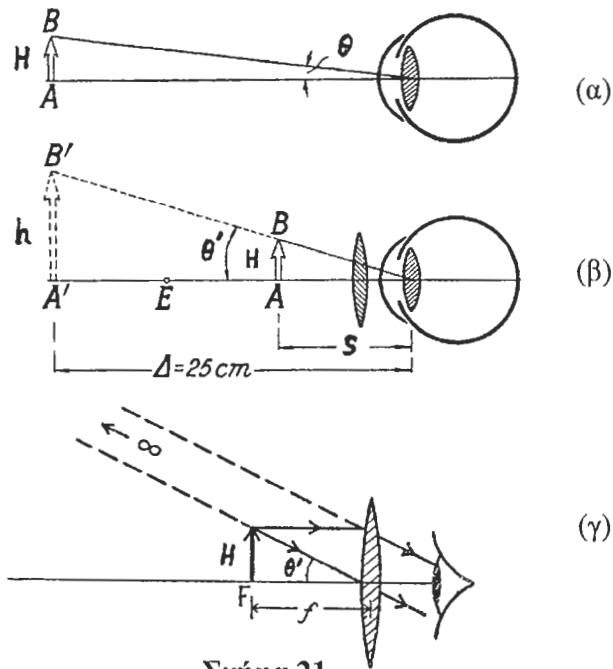
αντικείμενα που βρίσκονται ανάμεσα σε δύο σημεία που ονομάζονται **εγγύτατο σημείο ευκρινούς οράσεως** και **απώτατο σημείο ευκρινούς οράσεως**. Η απόσταση ανάμεσα στο φακό του οφθαλμού και το εγγύτατο σημείο ευκρινούς οράσεως ονομάζεται **ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως, Δ**. Για τον φυσιολογικό οφθαλμό, το απώτατο σημείο ευκρινούς οράσεως βρίσκεται στο άπειρο. Η ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως είναι περίπου 10 cm σε άτομα ηλικίας 20 ετών, 22 cm στα 40, 40 cm στα 50 κ.ο.κ. Ένας φυσιολογικός οφθαλμός, με ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως ίση με 25 cm, μπορεί να διακρίνει ως ξεχωριστά δύο σημεία που απέχουν μεταξύ τους απόσταση μεγαλύτερη από περίπου 0,1 mm. Αυτό αντιστοιχεί σε γωνιακή απόσταση ανάμεσα στα δύο σημεία ίση με 1' περίπου.

## 20 Μεγεθυντικός φακός

Ένας **μεγεθυντικός φακός**, ή **απλό μικροσκόπιο**, είναι ένας συγκλίνων φακός μικρής εστιακής απόστασης.

Το αντικείμενο που παρατηρείται, τοποθετείται πολύ κοντά στο μάτι και η λειτουργία του μεγεθυντικού φακού είναι να σχηματίσει ένα φανταστικό είδωλο σε απόσταση ίση ή μεγαλύτερη από την ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως (Σχ. 21), στην οποία το μάτι μπορεί να το παρατηρήσει άνετα.

Αν το αντικείμενο έχει μέγεθος  $H$  και παρατηρείται με γυμνό οφθαλμό (Σχ. 21α), θα φαίνεται ευκρινώς και όσο γίνεται μεγαλύτερο, αν βρίσκεται σε απόσταση ίση με την ελάχιστη



Σχήμα 21

απόσταση ευκρινούς οράσεως  $\Delta$ . Σε αυτή την περίπτωση, η γωνία που υποτείνει το αντικείμενο στο κέντρο του ματιού είναι περίπου ίση με  $\theta \approx \frac{H}{\Delta}$ .

Αν τώρα ο φακός τοποθετηθεί πολύ κοντά στο μάτι και το αντικείμενο σε απόσταση  $s$  από αυτό, τέτοια ώστε να σχηματιστεί ένα είδωλο του αντικειμένου σε απόσταση ίση με  $\Delta$  (Σχ 21β), το γωνιακό μέγεθος του ειδώλου θα είναι  $\theta' \approx \frac{h}{\Delta} = \frac{H}{s}$ .

Η μεγέθυνση που επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο είναι:  $M_{\Delta} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{H/s}{H/\Delta} = \frac{\Delta}{s}$ .

Όμως, σύμφωνα με τον τύπο των φακών, ισχύει η σχέση  $\frac{1}{f} = \frac{1}{-\Delta} + \frac{1}{s}$  και επομένως η μεγέθυνση που επιτυγχάνεται με τον μεγεθυντικό φακό είναι:  $M_{\Delta} = 1 + \frac{\Delta}{f}$ .

Βεβαίως, το είδωλο του παρατηρούμενου αντικειμένου μπορεί να σχηματιστεί σε οποιαδήποτε άλλη απόσταση από το μάτι, μεγαλύτερη από  $\Delta$ . Στην άλλη ακραία περίπτωση, που το είδωλο σχηματίζεται σε άπειρη απόσταση από το μάτι (Σχ. 21γ), το αντικείμενο πρέπει να

τοποθετηθεί στην εστία του φακού και τότε είναι  $\theta' \approx \frac{H}{f}$ . Στην περίπτωση αυτή, η γωνιακή μεγέθυνση που επιτυγχάνεται με το φακό είναι:  $M_{\infty} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{H/f}{H/\Delta}$  ή  $M_{\infty} = \frac{\Delta}{f}$ .

Για άλλες αποστάσεις του ειδώλου από το μάτι, η μεγέθυνση είναι  $\frac{\Delta}{f} < M < 1 + \frac{\Delta}{f}$ .

Προφανώς, λόγω της εξάρτησης από την ελάχιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως  $\Delta$ , η μεγέθυνση ή το όφελος που προκύπτει από τη χρήση του μεγεθυντικού φακού εξαρτώνται από τον παρατηρητή. Για ένα άτομο με υπερμετωπία, που κανονικά για να παρατηρήσει ένα αντικείμενο πρέπει να το τοποθετήσει σε μεγάλη απόσταση, η χρήση του φακού προσφέρει σημαντικότερο πλεονέκτημα από ότι για ένα άτομο που με γυμνό οφθαλμό μπορεί να παρατηρήσει το αντικείμενο από πολύ μικρότερη απόσταση.

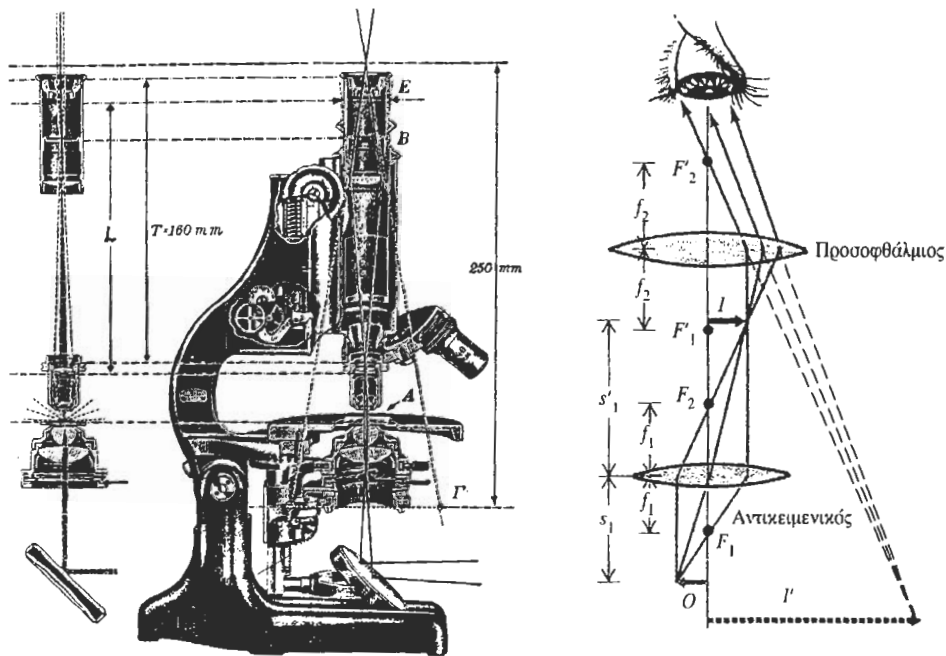
Στις συνήθεις χρήσεις των μεγεθυντικών φακών, οι μεγεθύνσεις είναι μέχρι 8 περίπου. Για μεγαλύτερες μεγεθύνσεις, μέχρι περίπου 20, απαιτείται να γίνουν διορθώσεις των σφαλμάτων των φακών.

## 21 Μικροσκόπιο

Το **σύνθετο μικροσκόπιο** είναι ένα οπτικό όργανο που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση, υπό μεγέθυνση, αντικειμένων που βρίσκονται πολύ κοντά στον παρατηρητή. Το αντικείμενο τοποθετείται πολύ κοντά σε ένα συγκλίνοντα φακό (τον **αντικειμενικό** φακό) πολύ μικρής εστιακής απόστασης, ο οποίος σχηματίζει ένα πραγματικό είδωλό του (Σχ. 22). Το είδωλο αυτό μεγεθύνεται από άλλο συγκλίνοντα φακό (τον **προσοφθάλμιο** φακό), ο οποίος σχηματίζει ένα φανταστικό είδωλο σε απόσταση από το μάτι ανάμεσα στο εγγύτατο και το απώτατο σημείο ευκρινούς οράσεως. Το μάτι παρατηρεί αυτό το είδωλο.

Αν  $m_1 =$  μεγέθυνση του αντικειμένου από τον αντικειμενικό φακό, και  $M_2 =$  μεγέθυνση από τον προσοφθάλμιο φακό του ειδώλου που σχηματίζει ο αντικειμενικός, η ολική μεγέθυνση που επιτυγχάνεται με το μικροσκόπιο είναι:  $M = m_1 M_2$ .

Οι μεγεθύνσεις  $m_1$  και  $M_2$  αναγράφονται από τον κατασκευαστή στα αντίστοιχα στοιχεία του μικροσκοπίου, και με κατάλληλο συνδυασμό επιτυγχάνεται η επιθυμητή ολική μεγέθυνση. Με τα σύνθετα μικροσκόπια διακρίνονται λεπτομέρειες του αντικειμένου



Σχήμα 22 Μικροσκόπιο

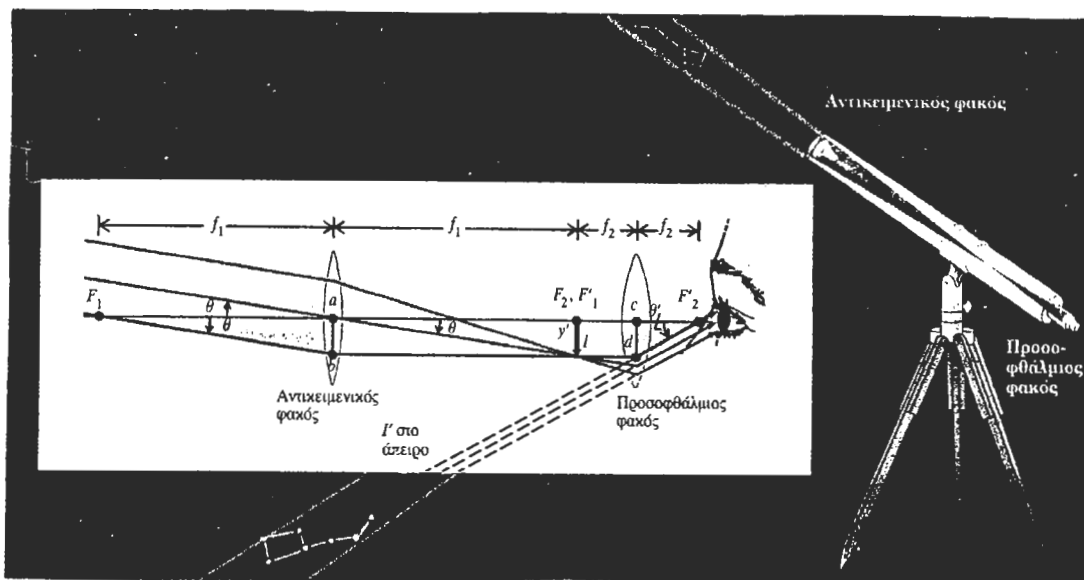
μεγαλύτερες από περίπου 200 nm, μέγεθος που είναι συγκρίσιμο με το μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται. Αυτή η διακριτική ικανότητα αντιστοιχεί σε μια μεγέθυνση περίπου ίση με 500. Μεγαλύτερες ονομαστικές μεγεθύνσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά δεν προσφέρουν κανένα επιπλέον πλεονέκτημα, γιατί η ποιότητα του παρατηρούμενου ειδώλου είναι τέτοια ώστε η αύξηση στη μεγέθυνση να μη συνοδεύεται από βελτίωση στη διακριτική ικανότητα. Χρήσιμες μεγεθύνσεις κυμαίνονται μεταξύ 300 και 600. Το μικροσκόπιο μπορεί να συνδυαστεί με φωτογραφική μηχανή, για τη φωτογράφιση μεγεθυμένων εικόνων των αντικειμένων.

## 22 Τηλεσκόπιο

Το τηλεσκόπιο, γνωστό ως **αστρονομικό τηλεσκόπιο**, χρησιμοποιείται για την παρατήρηση, υπό μεγέθυνση, αντικειμένων που βρίσκονται μακριά από τον παρατηρητή. Ένας μεγάλης εστιακής απόστασης συγκλίνων φακός, ο **αντικειμενικός**, σχηματίζει ένα πραγματικό είδωλο του αντικειμένου στην εστία του. Στη συνέχεια, ο **προσοφθάλμιος** φακός, ο οποίος είναι ένας συγκλίνων φακός, σχηματίζει ένα φανταστικό είδωλο στο άπειρο (Σχ. 23). Ο παρατηρητής βλέπει το τελικό αυτό είδωλο του αντικειμένου, το οποίο είναι ανεστραμμένο.

Αν  $f_1 =$  εστιακή απόσταση του αντικειμενικού φακού και  $f_2 =$  εστιακή απόσταση του προσοφθάλμιου φακού, η μεγέθυνση του τηλεσκοπίου είναι:  $M = -\frac{f_1}{f_2}$  (το αρνητικό πρόσημο δηλώνει την αντιστροφή του ειδώλου του παρατηρούμενου αντικειμένου).

Στις αστρονομικές παρατηρήσεις, περισσότερο και από μια μεγάλη μεγέθυνση, απαιτείται μεγάλη διάμετρος του αντικειμενικού φακού, με την οποία επιτυγχάνεται τόσο η μεγάλη διακριτική ικανότητα όσο και η συλλογή μεγάλης ποσότητας φωτός για την παρατήρηση αμυδρών αστρονομικών σωμάτων. Η δυσκολία στην κατασκευή φακών μεγάλης διαμέτρου περιορίζει στο 1 m περίπου τη μέγιστη διάμετρο διαθλαστικών τηλεσκοπίων (με φακό).



Σχήμα 23 Αστρονομικό τηλεσκόπιο

Αντιθέτως, τα αστρονομικά τηλεσκόπια είναι συνήθως κατοπτρικά, με παραβολικά κάτοπτρα με διαμέτρους μέχρι και 10 m, όπως στην περίπτωση του τηλεσκοπίου του αστεροσκοπίου Keck. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble είναι επίσης κατοπτρικό, με κάτοπτρο διαμέτρου 2,4 m.

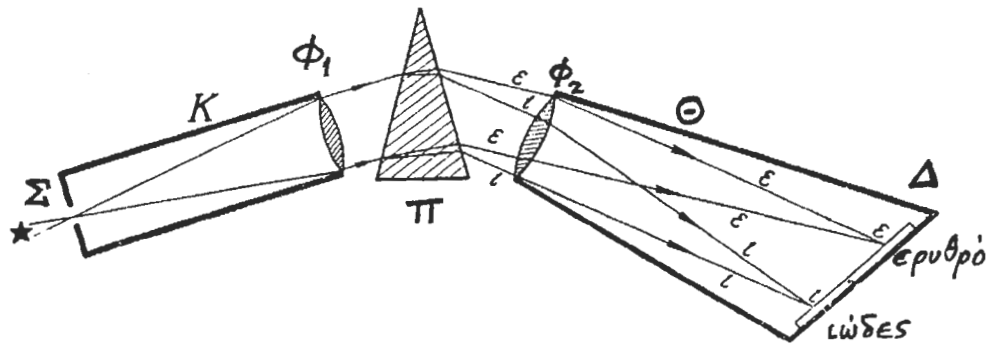
Στα τηλεσκόπια για επίγειες παρατηρήσεις, η ανόρθωση του τελικού ειδώλου επιτυγχάνεται με την παρεμβολή μεταξύ του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου φακού ενός συστήματος δύο συγκλινόντων φακών. Στις διόπτρες (κιάλια), η ανόρθωση του ειδώλου επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο ανακλαστικών πρισμάτων.

### 23 Φασματοσκόπιο - Φασματογράφος

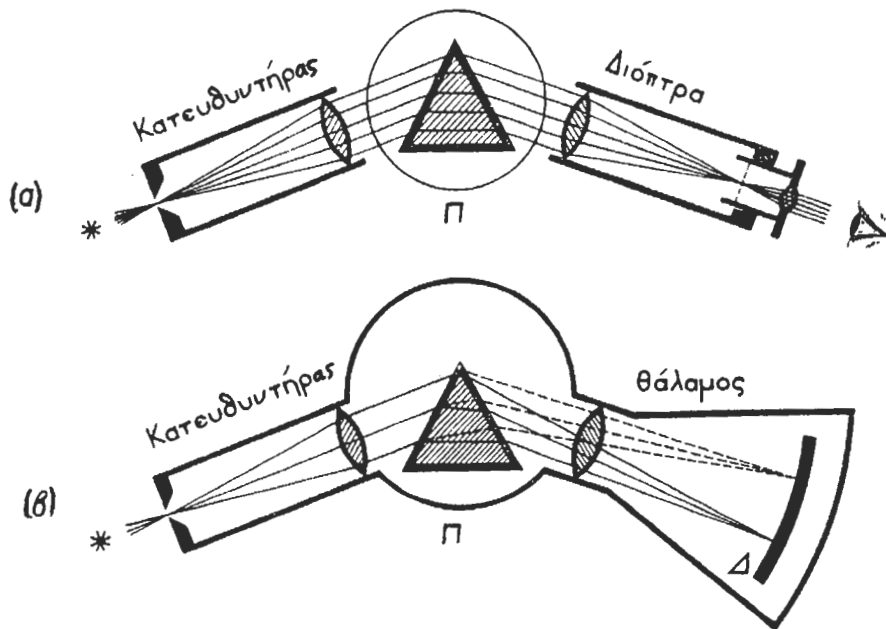
Ένα όργανο που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση του φάσματος του φωτός από μια πηγή φωτός ονομάζεται **φασματοσκόπιο** ή **φασματόμετρο**. Αν έχει τη δυνατότητα φωτογράφησης του φάσματος ονομάζεται **φασματογράφος**.

Τα απλούστερα φασματοσκόπια χρησιμοποιούν οπτικό πρίσμα για την ανάλυση του φωτός. Η αρχή λειτουργίας τους φαίνεται στο Σχ. 24. Το φως που θα αναλυθεί περνά μέσα από μια στενή σχισμή  $\Sigma$ , που βρίσκεται στο εστιακό επίπεδο συγκλίνοντος φακού  $\Phi_1$ . Ο φακός δημιουργεί έτσι μια παράλληλη δέσμη φωτός. Η σχισμή και ο φακός αποτελούν τον κατευθυντήρα. Η δέσμη του φωτός περνά μετά μέσα από ένα πρίσμα  $\Pi$ , το οποίο προκαλεί τη χρωματική ανάλυση του φωτός, με διαφορετική γωνία εκτροπής για τις συνιστώσες του φωτός με διαφορετικά μήκη κύματος. Ένας δεύτερος συγκλίνων φακός, ο  $\Phi_2$ , εστιάζει το φως πάνω σε ένα διάφραγμα  $\Delta$ . Σε κάθε σημείο του διαφράγματος σχηματίζεται έτσι ένα είδωλο της σχισμής, διαφορετικού χρώματος. Αν το αναλυόμενο φως έχει συνεχές φάσμα, θα παρατηρηθεί μια συνεχής κατανομή φωτός στο διάφραγμα. Αν, αντιθέτως, η δέσμη αποτελείται από πεπερασμένο αριθμό διαφορετικών και καλά διακριτών χρωμάτων, θα παρατηρηθούν φασματικές γραμμές των χρωμάτων αυτών στο φάσμα που σχηματίζεται στο διάφραγμα (βλ. Σχ. 11).

Το φάσμα μπορεί να παρατηρηθεί απευθείας αν αντί φακού και διαφράγματος τοποθετήσουμε διόπτρα παρατήρησης (τηλεσκόπιο) μετά το πρίσμα (Σχ.25α), οπότε έχουμε τη διάταξη του φασματοσκοπίου. Αν πάνω στο διάφραγμα τοποθετηθεί φωτογραφικό φιλμ πάνω στο οποίο θα αποτυπωθεί το φάσμα, έχουμε τη διάταξη του φασματογράφου (Σχ. 25β).



Σχήμα 24 Η αρχή λειτουργίας του φασματογράφου



Σχήμα 25 Σχηματική απεικόνιση (α): φασματοσκοπίου και (β): φασματογράφου.

Η περιοχή του ορατού φωτός, η οποία εκτείνεται στα μήκη κύματος μεταξύ 400 nm και 750 nm περίπου, μπορεί να καλυφθεί από φασματοσκόπια ή φασματογράφους με πρίσμα από κοινό γυαλί. Μετρήσεις με φασματογράφο με πρίσμα από χαλαζία (φασματογράφος Littrow) μπορούν να καλύψουν την περιοχή μηκών κύματος μεταξύ 200 nm (υπεριώδους) και 1000 nm (υπέρυθρου). Στο φασματογράφο υπέρυθρων, χρησιμοποιείται πρίσμα από ορυκτό άλας, και οι παρατηρήσεις μπορούν να καλύψουν την περιοχή από 380 nm μέχρι 1700 nm.

## 24 Φασματογράφος φράγματος

Το φαινόμενο της περίθλασης έχει μελετηθεί στην κυματική (βλ. ενότητες Δ6-10, *Κυματικά φαινόμενα*). Για περίθλαση από  $N$  πανομοιότυπες σχισμές, είχε βρεθεί ότι η ένταση της ακτινοβολίας (π.χ. φωτός) μεταβάλλεται συναρτήσει της θέσης σύμφωνα με τη σχέση:

$$I = I_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta}, \quad (16)$$

όπου

$$\alpha = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta, \quad (17)$$

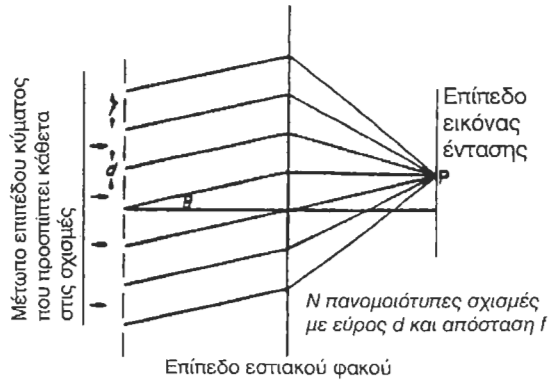
$$\beta = \pi \frac{f}{\lambda} \sin \theta, \quad (18)$$

$\lambda$  το μήκος κύματος του φωτός,  
 $d$  το εύρος της κάθε σχισμής, και  
 $f$  η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σχισμών  
 (Σχ. 26).

Για  $N$  πολύ μεγάλο, η ένταση  $I$  παρουσιάζει σχετικά πολύ έντονα κύρια μέγιστα όταν ικανοποιείται η συνθήκη

$$f \sin \theta = n\lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots). \quad (19)$$

**Σχήμα 26** Περίθλαση από  $N$  πανομοιότυπες σχισμές.



Το καθένα από τα μέγιστα αυτά περιστοιχίζεται από  $N - 1$  δευτερεύοντα μέγιστα, στα οποία η ένταση είναι κατά ένα παράγοντα  $N^2$  μικρότερη από την ένταση των κυρίων μεγίστων. Για  $N$  πολύ μεγάλο, τα δευτερεύοντα μέγιστα μπορούν να αγνοηθούν και η εικόνα περίθλασης από τις σχισμές αποτελείται ουσιαστικά από μέγιστα στις γωνίες  $\theta_n$  που δίνονται από τη σχέση

$$\theta_n = \arcsin\left(n \frac{\lambda}{f}\right) \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots). \quad (20)$$

Οι γωνίες στις οποίες παρατηρούνται τα μέγιστα εξαρτώνται από το μήκος κύματος του φωτός,  $\lambda$ . Για μονοχρωματικό φως μήκους κύματος  $\lambda_1$ , θα παρατηρηθούν μέγιστα (δηλαδή έντονες φωτεινές γραμμές) στις γωνίες:

$$\theta_0(\lambda_1) = 0, \quad \theta_1(\lambda_1) = \arcsin\left(\frac{\lambda_1}{f}\right), \quad \theta_2(\lambda_1) = \arcsin\left(2 \frac{\lambda_1}{f}\right), \quad \theta_3(\lambda_1) = \arcsin\left(3 \frac{\lambda_1}{f}\right), \dots \quad (21)$$

Για ένα άλλο μήκος κύματος,  $\lambda_2$ , τα μέγιστα θα παρατηρηθούν στις γωνίες:

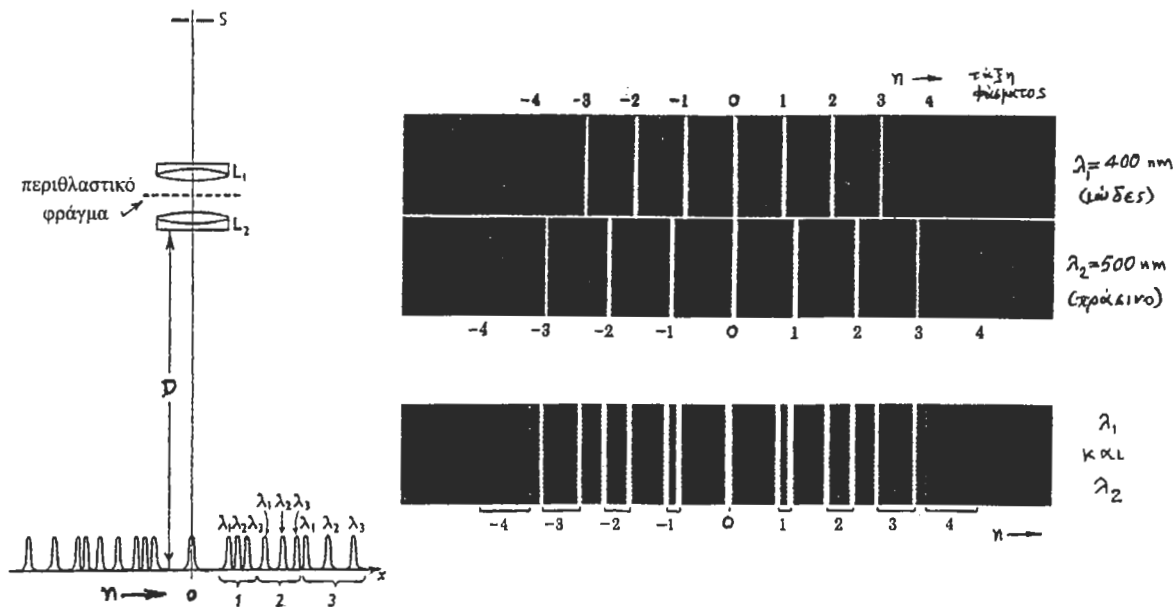
$$\theta_0(\lambda_2) = 0, \quad \theta_1(\lambda_2) = \arcsin\left(\frac{\lambda_2}{f}\right), \quad \theta_2(\lambda_2) = \arcsin\left(2 \frac{\lambda_2}{f}\right), \quad \theta_3(\lambda_2) = \arcsin\left(3 \frac{\lambda_2}{f}\right), \dots \quad (22)$$

Για  $\lambda_1 < \lambda_2$  θα είναι και  $\theta_0(\lambda_1) < \theta_0(\lambda_2)$ ,  $\theta_1(\lambda_1) < \theta_1(\lambda_2)$  κ.λπ. Παρατηρείται επομένως γωνιακός διαχωρισμός των χρωμάτων λόγω της περίθλασης από τις σχισμές. Αυτή είναι η αρχή της χρήσης του περιθλαστικού φράγματος στη φασματοσκοπία.

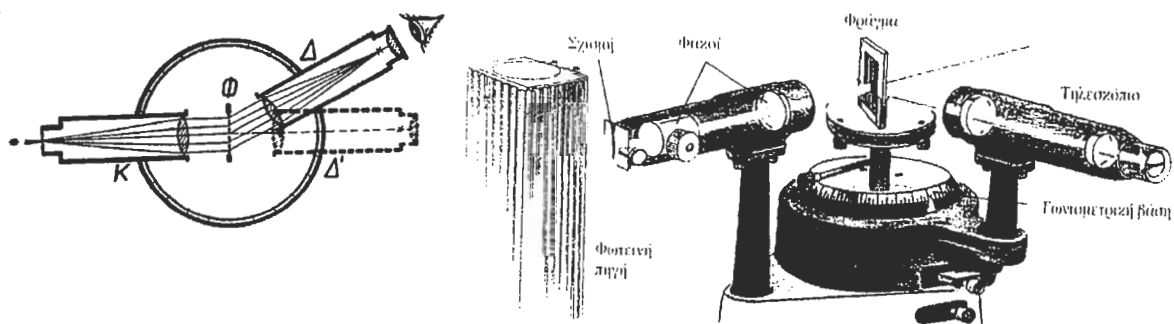
Στο Σχ.27 φαίνεται η εικόνα περίθλασης φωτός αποτελούμενου από τρία μήκη κύματος,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  και  $\lambda_3$ . Υπάρχει διαχωρισμός ανάλογα του μήκους κύματος, (φάσμα). Τα γραμμικά φάσματα για τα μήκη κύματος  $\lambda_1 = 400$  nm (ιώδες) και  $\lambda_2 = 500$  nm (πράσινο) ξεχωριστά, και για τα  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$  μαζί, φαίνονται επίσης στο σχήμα. Το άλλο άκρο του ορατού φάσματος  $\lambda = 750$  nm (ερυθρό), θα βρίσκεται σε ακόμη μεγαλύτερες γωνίες.

Το **περιθλαστικό φράγμα** χρησιμοποιείται στο **φασματογράφο περίθλασης** (Σχ.28). Το φράγμα παίζει τον ίδιο ρόλο με το πρίσμα σε φασματογράφους πρίσματος. Το φάσμα παρατηρείται μετά από διέλευση ή (συχνότερα) ανάκλαση από ένα φράγμα. Το φράγμα





**Σχήμα 27** Φασματικός διαχωρισμός διαφορετικών μηκών κύματος. Η θέση των φασμάτων διαφορετικών τάξεων ( $n$ ) φαίνεται επίσης. Για μεγάλες τάξεις, υπάρχει αλληλεπικάλυψη ανάμεσα στα φάσματα ορατού φωτός διαφορετικών τάξεων.



**Σχήμα 28** Η πειραματική διάταξη ενός φασματογράφου φράγματος (διέλευσης φωτός).

μπορεί να έχει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικές χιλιάδες σχισμές (χαραγές) ανά εκατοστόμετρο. Ο διαχωρισμός των χρωμάτων είναι μεγαλύτερος και οι φασματικές γραμμές για μονοχρωματικό φως στενότερες, όσο πιο μεγάλος είναι ο ολικός αριθμός σχισμών  $N$ .

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. M.Young. *Οπτική και Lasers*. (Παρατηρητής, Αθήνα, 1989).
2. E.Hecht. *Οπτική*. (ΕΣΠΙ-Schaum, Αθήνα).
3. F.A.Jenkins and H.E.White. *Fundamentals of Optics*. (McGraw-Hill).
4. H.D.Young. *Πανεπιστημιακή φυσική*. (Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 1994). Τόμος Β', Κεφ. 34-38.
5. H.C.Ohanian. *Φυσική*. (Συμμετρία, Αθήνα 1991). Τόμος Β', Κεφ. 37-40.