

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΒΑΣΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Όπως αναφέραμε και στην Εισαγωγή, η μοναδική πηγή πληροφοριών που διαθέτουμε για τη μελέτη των ουρανίων σωμάτων είναι οι κάθε είδους ακτινοβολίες που εκπέμπουν. Οι ακτινοβολίες αυτές μετά από ένα μεγάλο ταξίδι φθάνουν στην επιφάνεια του πλανήτη μας και μας παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες τόσο για τις πηγές από τις οποίες προήλθαν, όσο και για τον μεσοαστρικό χώρο απόπου πέρασαν. Για να κατανοήσουμε καλλίτερα τις τεράστιες αποστάσεις που διανύει η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα διάφορα ουράνια σώματα λέμε ότι η **απόσταση Γης-Ήλιου** είναι τόσο μικρή ώστε το φως χρειάζεται μόλις **8 λεπτά** περίπου για να την διανύσει, κινούμενο με τη γνωστή ταχύτητα των περίπου **300.000 Km/s**. Αντίθετα η απόσταση του πιο κοντινού μας αστέρα, **εγγύτατος του Κενταύρου**, είναι τόσο μεγάλη ώστε το φως χρειάζεται να ταξιδεύει επί **4,3 χρόνια** για να την καλύψει. Γι' αυτό και λέμε ότι η απόσταση του πιο κοντινού μας αστέρα είναι **4,3 έτη φωτός**. Και αν αυτή είναι η πιο μικρή απόσταση αντιλαμβάνεται κανείς τι συμβαίνει με το φως από άλλους, πολύ μακρινούς αστέρες. Δηλαδή το Σύμπαν, όπως το παρατηρούμε σήμερα, δεν μας δείχνει την **πραγματικά σημερινή του εικόνα**. Γιατί κάποια ουράνια σώματα πιθανόν να έχουν αλλάξει, αφού το «φως», η ακτινοβολία, τους έχει ξεκινήσει από εκεί ίσως και εκατομμύρια χρόνια πριν. Αυτός είναι εξάλλου και ο λόγος για τον οποίο σήμερα γίνεται προσπάθεια να «δούμε» πιο βαθιά στο Σύμπαν, γιατί έτσι πηγαίνουμε πίσω στον χρόνο και στόχος είναι να φθάσουμε στην αρχή της δημιουργίας του Κόσμου μας.

Προσπαθούμε λοιπόν αρχικά να συλλέξουμε και στη συνέχεια να εξετάσουμε τις πάσης φύσεως ακτινοβολίες που εκπέμπουν τα διάφορα ουράνια σώματα. Η συλλογή γίνεται είτε από την επιφάνεια της Γης με τα διάφορα τηλεσκόπια, είτε έξω από αυτήν με τα δορυφορικά παρατηρητήρια. Σκοπός του Κεφαλαίου αυτού είναι να εξετάσει τα βασικά όργανα συλλογής της ακτινοβολίας.

## ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ

### 2.1 Οπτικά τηλεσκόπια

Τα οπτικά τηλεσκόπια χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε διοπτρικά και κατοπτρικά, ανάλογα με το σύστημα συλλογής φωτός. Στα διοπτρικά ως συλλέκτης φωτός χρησιμοποιείται ένας φακός (**αντικειμενικός**) ή ένα σύστημα φακών, ενώ στα κατοπτρικά ένα κοίλο σφαιρικό ή παραβολοειδές κάτοπτρο (πρωτεύον). Το είδωλο που σχηματίζεται στο εστιακό επίπεδο του τηλεσκοπίου μπορούμε ή να το μελετήσουμε με κάποιο όργανο ή να το φωτογραφήσουμε είτε τέλος, να το δούμε με τη βοήθεια ενός μεγεθυντικού φακού (**προσοφθάλμιος**). Το αντικειμενικό σύστημα αποτελεί το πιο σημαντικό τμήμα ενός τηλεσκοπίου. Από αυτό εξαρτάται:

- το μέγεθος του πιο αμυδρού αστέρα που μπορεί να παρατηρηθεί με το εν λόγω τηλεσκόπιο, (§ 2.1.1).
- η μεγαλύτερη μεγέθυνση του τηλεσκοπίου, (§ 2.1.5).

Οι προσοφθάλμιοι φακοί χρησιμοποιούνται, όπως ήδη αναφέρθηκε, για να μεγεθύνουν τα είδωλα των ουρανίων σωμάτων. Δεν αποτελούν σταθερό τμήμα ενός τηλεσκοπίου αλλά είναι ανταλλάξιμοι. Έτσι επιτυγχάνονται διάφορες μεγεθύνσεις ανάλογα με το παρατηρούμενο αντικείμενο και τον σκοπό της παρατήρησης.

### 2.1.1 Χαρακτηριστικά Τηλεσκοπίου

Έστω τηλεσκόπιο με διάμετρο αντικειμενικού φακού ή πρωτεύοντος κατόπτρου  $D$  και εστιακή απόσταση  $F$ . Τότε μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των αντικειμενικών συστημάτων είναι ο εστιακός λόγος. Ως εστιακός λόγος  $N$  ορίζεται ο λόγος  $F/D$ , που είναι καθαρός αριθμός και συμβολίζεται ως  $N/...$  Για τηλεσκόπιο με  $D = 120 \text{ cm}$  και  $F = 3,6 \text{ m}$  π.χ. ο εστιακός λόγος είναι:

$$N = \frac{F}{D} = \frac{360}{120} = 3 \quad \text{ή} \quad N/3 \quad (2.1)$$

Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο ενός τηλεσκοπίου είναι η **διαπεραστική ικανότητα** (*penetrating power*). Αυτή ορίζεται ως το **ορικό μέγεθος  $m$**  των αστέρων που είναι μόλις ορατοί με το τηλεσκόπιο αυτό, σε μια κατασκότεινη νύκτα. Για την διαπεραστική ικανότητα ενός τηλεσκοπίου με διάμετρο  $D \text{ cm}$  ισχύει η εμπειρική σχέση:

$$m = C + 5 \log D, \quad D \text{ σε cm} \quad (2.2)$$

όπου  $C$  μία σταθερά με τιμή γύρω στο  $6^m,5$ . (Κατ' άλλους μπορεί να πάρει τιμές μέχρι και  $7^m,1$ ).

Έτσι με τηλεσκόπιο που έχει διάμετρο  $15 \text{ cm}$  μπορούμε να παρατηρήσουμε ουράνια σώματα με μέγεθος  $m$  μέχρι  $12,4$  ( $C=6^m,5$ ), ή το πολύ μέχρι  $12,9$  εάν οι συνθήκες παρατήρησης είναι εξαιρετικές ( $C=7^m,1$ ). Με γυμνό μάτι ( $D$  κόρης του οφθαλμού περίπου ίση με  $8 \text{ mm}$ ) παρατηρούμε αστέρες μέχρι  $6^{\text{ου}}$  μεγέθους περίπου.

Η **διακριτική ή διαχωριστική ικανότητα** (*resolving power*),  $\omega$ , ενός τηλεσκοπίου δηλαδή η ικανότητα του να διακρίνει δύο ουράνια σώματα που βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο ως ξεχωριστά εξαρτάται μόνο από την διάμετρό του  $D$  και από το μήκος κύματος  $\lambda$  της ακτινοβολίας. Και τούτο γιατί το είδωλο ενός αστέρα δεν είναι ένα φωτεινό σημείο, αλλά παρουσιάζει τη μορφή ενός φωτεινού δίσκου, γνωστού ως **δίσκος του Airy**, που περιβάλλεται από κροσσούς συμβολής (σκοτεινοί και φωτεινοί δακτύλιοι). Αυτοί οφείλονται στην παράθλαση του φωτός του αστέρα από τον δακτύλιο που συγκρατεί το αντικειμενικό σύστημα. Έτσι, για να είναι δυνατόν δύο ουράνια σώματα που βρίσκονται πολύ κοντά το ένα στο άλλο, να φαίνονται ως ξεχωριστά θα πρέπει η ελάχιστη γωνιώδης τους απόσταση  $d_{\min}$  να είναι ίση με την ακτίνα του παραθλαστικού δίσκου. Να είναι δηλαδή:

$$d_{\min} = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (2.3)$$

Για το μέσο μήκος κύματος της οπτικής ακτινοβολίας,  $\lambda \sim 5500 \text{ \AA}$ , από την σχέση (2.3)

$$\text{έχουμε: } d'' = \frac{14}{D(\text{cm})}$$

Στην πράξη χρησιμοποιούμε τις σχέσεις:

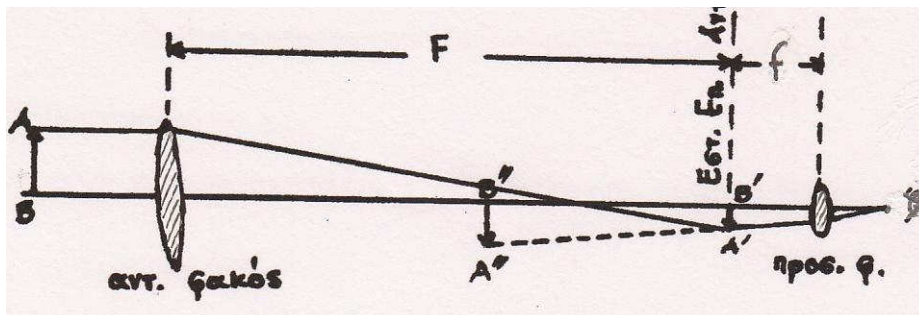
$$\omega'' = \frac{12}{D(\text{cm})} \quad \text{ή} \quad \omega'' = \frac{4,56}{D(\text{in})} \quad (2.4)$$

Δύο αστέρες διακρίνονται ως **ξεχωριστοί** με τηλεσκόπιο διαμέτρου **D**, αν η γωνιώδης τους απόσταση είναι **μεγαλύτερη ή ίση** προς την διακριτική ικανότητα του τηλεσκοπίου, όπως δίνεται από τις σχέσεις (2.4). Σε διαφορετική περίπτωση **φαίνονται ως ένας**.

**Οπτική ισχύς** ενός τηλεσκοπίου ονομάζεται το αντίστροφο της διακριτικής του ικανότητας.

### 2.1.2 Διοπτρικά Τηλεσκόπια

Στο σχήμα (2.1) δίνεται η αρχή λειτουργίας του πιο απλού τύπου ενός διοπτρικού τηλεσκοπίου. Φαίνονται: η πρόσπτωση της φωτεινής δέσμης, η διάθλασή της και ο σχηματισμός ειδώλου στο εστιακό επίπεδο του αντικειμενικού φακού (που είναι και εστιακό επίπεδο του προσοφθάλμιου). Καθώς επίσης η έξοδος της δέσμης από τον προσοφθάλμιο και η παρατήρηση του ειδώλου με την βοήθεια του προσοφθάλμιου φακού.



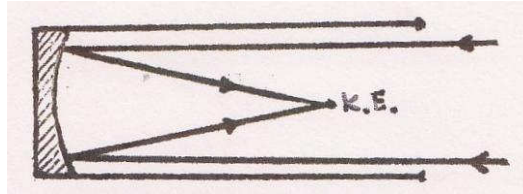
Σχήμα 2.1: Αρχή λειτουργίας ενός διοπτρικού τηλεσκοπίου

Οι φακοί δημιουργούν διάφορα σφάλματα στα είδωλα των ουρανίων σωμάτων. Για τη διόρθωση των διαφόρων αυτών σφαλμάτων –που είναι γνωστά ως *αποπλανήσεις*– δεν χρησιμοποιείται μόνο ένας φακός ως αντικειμενικός, αλλά ένα σύστημα δύο ή περισσότερων φακών.

Στην περίπτωση αυτή ονομάζουμε **ενεργό εστιακή απόσταση**,  $F_{eff}$ , την εστιακή απόσταση ενός απλού φακού που δίνει είδωλο με το ίδιο μέγεθος όπως και το σύστημα των φακών. Το μεγαλύτερο διοπτρικό τηλεσκόπιο έχει διάμετρο **102 cm** και βρίσκεται στο αστεροσκοπείο του **Yerkes**. Επειδή είναι πολύ δύσκολη η κατασκευή μεγάλων φακών σήμερα δεν κατασκευάζονται πια μεγάλα διοπτρικά τηλεσκόπια.

### 2.1.3 Κατοπτρικά Τηλεσκόπια και εστίες παρατήρησης

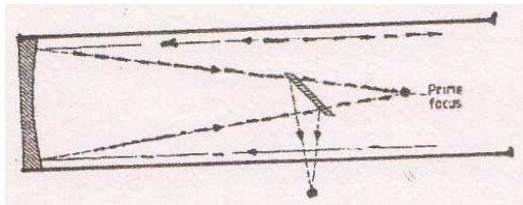
Στα κατοπτρικά τηλεσκόπια χρησιμοποιούνται **προτεδόντα** (ή **κύρια**) **κάτοπτρα** με παραβολοειδή επιφάνεια. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται υλικά με μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής (από 5 ως  $30 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}$ ). Η παρατήρηση μπορεί να γίνει στην κυρία εστία (**Κ.Ε.** στο Σχήμα 2.2) ή να εκτραπεί προς άλλες εστίες με την βοήθεια άλλων δευτερευόντων κατόπτρων.



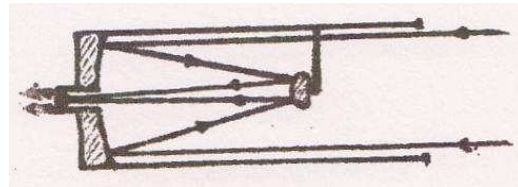
Σχήμα 2.2: Παρατήρηση στην κυρία εστία τηλεσκοπίου

Αν  $F$  και  $f$  είναι οι εστιακές αποστάσεις του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος κατόπτρου αντίστοιχα, μπορούμε:

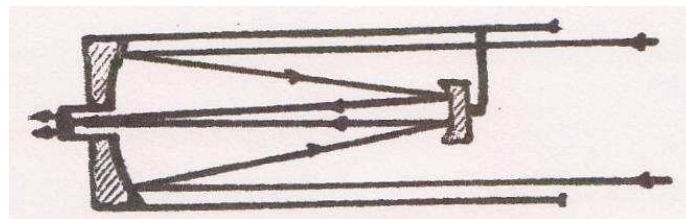
- Να παρατηρήσουμε στην εστία Νεύτωνα, (Σχήμα 2.3). Εδώ το δευτερεύον κάτοπτρο είναι **επίπεδο** υπό γωνία  $45^\circ$  ως προς τον κεντρικό άξονα του τηλεσκοπίου.
- Να παρατηρήσουμε **πίσω** από το κύριο κάτοπτρο, στην εστία Cassegrain, (Σχήμα 2.4). Εδώ το δευτερεύον κάτοπτρο είναι **κυρτό** και τοποθετείται σε απόσταση  $d=F-f$  από το κύριο κάτοπτρο.
- Να παρατηρήσουμε **πίσω** από το κύριο κάτοπτρο στην εστία Gregory, (Σχήμα 2.5). Εδώ το δευτερεύον κάτοπτρο είναι **κοίλο** και τοποθετείται σε απόσταση  $d > F+f$ .



Σχήμα 2.3

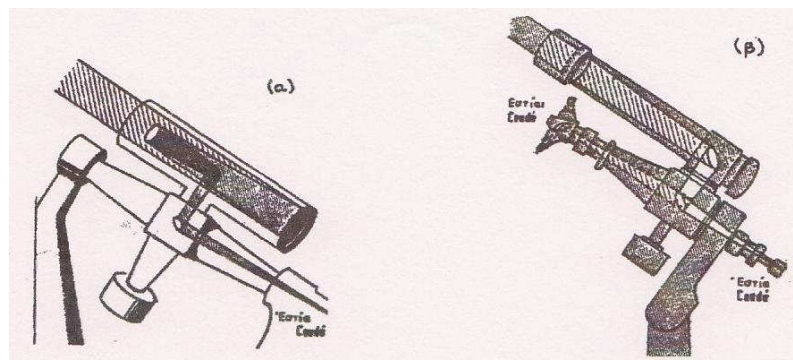


Σχήμα 2.4



Σχήμα 2.5

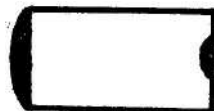
Μπορούμε επίσης με την βοήθεια περισσότερων βοηθητικών κατόπτρων να πετύχουμε την εκτροπή της φωτεινής δέσμης σε τέτοια θέση ώστε τελικά να παραμένει ακίνητη και ανεξάρτητη από τις κινήσεις του τηλεσκοπίου. Η εστίαση σε σταθερή θέση είναι γνωστή ως **εστία Coudé** και μπορεί να επιτευχθεί και σε κατοπτρικά και σε διοπτρικά τηλεσκόπια, (Σχήματα 2.6).



Σχήμα 2.6: Εστία Coudé

### 2.1.4 Προσοφθάλμιοι Φακοί

Σχεδόν όλοι οι προσοφθάλμιοι φακοί αποτελούνται από δύο ή περισσότερους φακούς. Εάν έχουμε ένα προσοφθάλμιο με δύο φακούς, (Σχήμα 2.7) ο προς τον αντικειμενικό λέγεται **φακός πεδίου** (*field lens*), ενώ ο προς τον οφθαλμό του παρατηρητή **οφθαλμικός φακός** (*eye lens*). Ο πιο κοινός τύπος προσοφθάλμιου με δύο φακούς είναι ο *Huygens*.

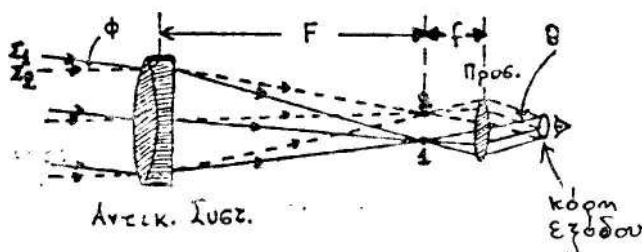


Σχήμα 2.7: Προσοφθάλμιος με δύο φακούς

Ανάλογα με το είδος της παρατήρησης χρησιμοποιούμε και κατάλληλο προσοφθάλμιο (π.χ. *αχρωματικό*, *Ramsden*, *Kellner*, *ορθοσκοπικό*, *μονοκεντρικό* κ.λπ.).

### 2.1.5 Μεγέθυνση Τηλεσκοπίου και άλλα χαρακτηριστικά τηλεσκοπίου

Έστω  $\phi$  η γωνιώδης απόσταση δύο αστέρων  $\Sigma_1, \Sigma_2$  που παρατηρούνται με ένα τηλεσκόπιο διαμέτρου  $D$  και εστιακής απόστασης  $F$ , (Σχήμα 2.8). Οι φωτεινές δέσμες μετά την διέλευσή τους από τον αντικειμενικό φακό του τηλεσκοπίου συγκεντρώνονται σε δύο σημεία (2 και 1, αντίστοιχα) και μπορούν να παρατηρηθούν με την βοήθεια του προσοφθάλμιου. Σωστή εστίαση έχουμε όταν το εστιακό επίπεδο του αντικειμενικού ταυτίζεται με αυτό του προσοφθάλμιου οπότε η φωτεινή δέσμη κάθε αστέρα που εξέρχεται από τον προσοφθάλμιο είναι παράλληλη. Οι δύο αυτές δέσμες τέμνονται υπό γωνία, έστω  $\theta$ , όπου  $\theta \gg \phi$ , σε κάποια απόσταση από τον προσοφθάλμιο.



Σχήμα 2.8: Μεγέθυνση τηλεσκοπίου

Η τομή είναι κυκλική και ονομάζεται **κύκλος του Ramsden**, **κέρη εξόδου** ή **προσοφθάλμιος δακτύλιος** και δεν είναι τίποτε άλλο παρά το είδωλο της περιμέτρου του αντικειμενικού φακού (ή της **κόρης εισόδου**, όπως αλλιώς ονομάζεται). Σωστή παρατήρηση γίνεται όταν η κόρη του ματιού του παρατηρητή βρίσκεται στην θέση της κόρης εξόδου.

Ονομάζουμε **μεγέθυνση**,  $M$ , του τηλεσκοπίου τον λόγο των δύο γωνιών  $\theta$  και  $\phi$ . Είναι δηλαδή:

$$M = \frac{\theta}{\phi}, \quad (2.5)$$

και αποδεικνύεται εύκολα ότι:

$$M = \frac{F}{f} = \frac{D}{d}, \quad (2.6)$$

όπου  $f$  και  $d$  η εστιακή απόσταση και η διάμετρος, αντίστοιχα, του προσοφθάλμιου. Όπως είναι προφανές από τη σχέση (2.6) αλλαγή της μεγέθυνσης επιτυγχάνεται με αλλαγή του προσοφθάλμιου φακού.

**Φαινόμενο γωνιακό πεδίο,  $\alpha$ ,** (*apparent field of view*) ονομάζεται η γωνιώδης διάμετρος του προσοφθάλμιου δακτυλίου όπως φαίνεται από τον παρατηρητή. Το  $\alpha$  κυμαίνεται από  $30^\circ$ - $45^\circ$ , ανάλογα με τον προσοφθάλμιο, με μια μέση τιμή  $\sim 40^\circ$ . Το φαινόμενο γωνιακό πεδίο προς τη μεγέθυνση, ορίζει το **αληθές γωνιακό πεδίο,  $r$ .**

### 2.1.6 Σύγκριση διοπτρικών και κατοπτρικών τηλεσκοπίων

Τόσο τα διοπτρικά όσο και τα κατοπτρικά τηλεσκόπια έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Έτσι επιλέγουμε το ένα ή το άλλο είδος ανάλογα με το είδος της παρατήρησης που θέλουμε να κάνουμε: Τα διοπτρικά π.χ. χρησιμοποιούνται κυρίως για παρατηρήσεις του Ήλιου, της Σελήνης, των πλανητών κλπ. Τα κατοπτρικά για φωτογραφικές (στην κύρια εστία ή την εστία Νεύτωνα), φασματοσκοπικές (σε όλες τις εστίες) και φωτοηλεκτρικές παρατηρήσεις (κυρίως στην εστία Cassegrain). Επιπλέον:

#### Στα διοπτρικά:

- Υπάρχει πιο μεγάλη ανεξαρτησία από τις μεταβολές της θερμοκρασίας, οπότε έχουμε πιο σταθερά είδωλα.
- Τα οπτικά τους συστήματα είναι πιο σταθερά.

#### Στα κατοπτρικά:

- Δεν έχουμε χρωματική αποπλάνηση.
- Αποδίδουν σε μεγαλύτερη περιοχή μηκών κύματος.
- Η κατασκευή του οπτικού του συστήματος είναι πιο εύκολη και πιο οικονομική.

#### Αλλά στα κατοπτρικά:

- Δημιουργούνται φαινόμενα περίθλασης από τα στηρίγματα των δευτερευόντων κατόπτρων και
- Χρειάζονται συχνή *επιμετάλλωση*.

Όλα τα μεγάλα σύγχρονα τηλεσκόπια είναι κατοπτρικά.

## 2.2 Αστρογράφοι ή αστρογραφικά τηλεσκόπια

Αστρογράφοι ονομάζονται τα τηλεσκόπια που χρησιμοποιούνται για τις φωτογραφικές παρατηρήσεις. Η φωτογραφική πλάκα έχει την ιδιότητα να προσθέτει το φως που πέφτει πάνω της κατά τη διάρκεια της εκθέσεως έτσι το φωτογραφικό είδωλο γίνεται λαμπρότερο όσο αυξάνει ο χρόνος εκθέσεως. Η φωτογραφική πλάκα είναι ευαίσθητη στην κυανή ακτινοβολία, ενώ το ανθρώπινο μάτι στην πρασινοκίτρινη. Ανάλογα με το οπτικό τους σύστημα οι αστρογράφοι χωρίζονται σε:

- διοπτρικούς ή διαθλαστικούς
- κατοπτρικούς ή ανακλαστικούς, και
- μεικτούς.

### 2.2.1 Διοπτρικοί ή διαθλαστικοί αστρογράφοι

Σ' αυτούς με κατάλληλο συνδυασμό φακών επιτυγχάνεται η εξάλειψη των διαφόρων αποπλάνησεων των φακών και κυρίως της χρωματικής αποπλάνησης και του σφάλματος της κόμης. Έτσι έχουμε:

- Αστρογράφο με *διπλούς φακούς* (doublet): 2 ζεύγη φακών με  $\sim 10^\circ$  πεδίο και  $\sim N/7$ .
- Αστρογράφο με *τριπλό φακό Cooke*: 3 φακοί με  $\sim N/5 - N/7$ .
- Αστρογράφο με *σύστημα φακών Ross*: 4 απλοί φακοί, με  $\sim 20^\circ$  πεδίο και  $\sim N/7$  και μικρότερο.
- Αστρογράφο *Biotar Zeiss*: με  $\sim 30^\circ$  πεδίο και πολύ μικρό εστιακό λόγο  $N$ .

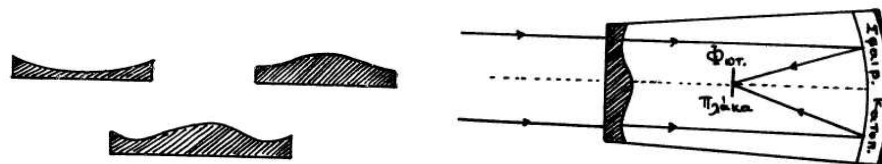
### 2.2.2 Κατοπτρικοί ή ανακλαστικοί αστρογράφοι

Σ' αυτούς ανήκουν:

- Ο ανακλαστήρας *Schwarzschild*, που έχει κυρίως κάτοπτρο χωρίς σφαιρική αποπλάνηση και σφάλμα κόμης, αλλά το δευτερεύον που χρησιμοποιεί είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να χάνεται το 1/4 περίπου του προσπίπτοντος φωτός.
- Το τηλεσκόπιο *Ritchey-Chretien*. Αυτό έχει κυρίως κάτοπτρο από σφαίρα ελαφρώς πεπιεσμένη στους πόλους και δευτερεύον ένα ελλειπτικό-κυρτό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η εξάλειψη του σφάλματος της κόμης.

### 2.2.3 Μεικτά αστρογραφικά τηλεσκόπια

Σ' αυτά το κύριο οπτικό σύστημα είναι ένα σφαιρικό κάτοπτρο που συνδυαζόμενο με ένα κατάλληλου σχήματος φακό (Σχήμα 2.9, αριστερά) — που δρα αλλού ως συγκλίνων και αλλού ως αποκλίνων — επιτυγχάνεται η *επιπεδοποίηση* του εστιακού του επιπέδου.



Σχήμα 2.9, αριστερά: Διάφορα είδη φακών τύπου Schmidt  
Σχήμα 2.9, δεξιά: Ένα τηλεσκόπιο τύπου Schmidt

Μεικτά αστρογραφικά τηλεσκόπια είναι τα:

**Τηλεσκόπια Schmidt.** Αυτά έχουν ένα σφαιρικό κάτοπτρο και ένα διορθωτικό φακό ασφαιρικής επιφάνειας που είναι τοποθετημένος στο κέντρο καμπυλότητας του σφαιρικού κατόπτρου, (Σχήμα 2.9, δεξιά). Κάθε τηλεσκόπιο *Schmidt* αναφέρεται με δύο *ανοίγματα* που αναφέρονται στις διαμέτρους του φακού και του κατόπτρου αντίστοιχα. Το τηλεσκόπιο *Schmidt* του όρους *Palomar* π.χ. αναφέρεται ως 122/183.

Με το τηλεσκόπιο *Schmidt* του όρους *Palomar* έχει γίνει φωτογράφιση του βόρειου ημισφαιρίου του ουρανού (sky survey) σε δύο χρώματα, μπλε (**B**), και ερυθρό (**R**), με τη βοήθεια αντίστοιχων φίλτρων.

Ένα όμοιο τηλεσκόπιο *Schmidt* υπάρχει στην Αυστραλία για φωτογράφιση του νότιου ημισφαιρίου.

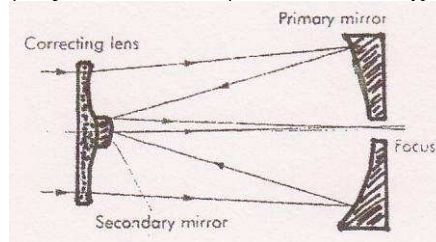
Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του τηλεσκοπίου *Schmidt*, όπως είναι:

- **Το συμπαγές τηλεσκόπιο Schmidt** (Solid Schmidt)
- **Το τηλεσκόπιο Maskutov-Bowers.**

Υπάρχουν τέλος οι λεγόμενοι **δίδυμοι αστρογράφοι** που αποτελούνται από έναν αστρογράφο και ένα οπτικό τηλεσκόπιο με τον οπτικό του άξονα παράλληλο προς αυτόν του αστρογράφου. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα σύγχρονης οπτικής παρατήρησης για έλεγχο.

### 2.3 Το τηλεσκόπιο Schmidt-Cassegrain

Επειδή το τηλεσκόπιο Schmidt χρησιμοποιείται μόνο ως φωτογραφικό, έγινε ένας κατάλληλος σχεδιασμός ώστε να είναι δυνατή η χρήση του και για οπτικές παρατηρήσεις. Έτσι δημιουργήθηκε το τηλεσκόπιο που είναι γνωστό ως *Schmidt-Cassegrain*, η αρχή λειτουργίας του οποίου φαίνεται στο σχήμα (2.10).



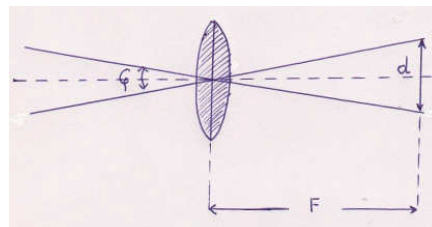
Σχήμα 2.10: Τηλεσκόπιο Schmidt-Cassegrain

#### 2.3.1 Κλίμακα φωτογραφικής πλάκας

Κλίμακα, **K**, μιας φωτογραφικής πλάκας είναι ο λόγος της γωνιακής απόστασης,  $\varphi$ , δύο ουρανίων σωμάτων προς στη γραμμική τους απόσταση, **d**, όπως αποτυπώνονται πάνω στη φωτογραφική πλάκα. Δηλαδή είναι:

$$K = \varphi / d \quad (2.7)$$

Όπως είναι φανερό από την σχέση (2.7) η κλίμακα της πλάκας μετριέται σε δευτερόλεπτα τόξου ανά χιλιοστό, "/mm.



Σχήμα 2.11: Κλίμακα φωτογραφικής πλάκας

Επιπλέον, από το σχήμα 2.11 και επειδή η γωνία  $\varphi$  είναι συνήθως πολύ μικρή, έχουμε ότι:

$$\varphi = d / F \quad \text{σε rad} \quad (2.8)$$

όπου **F** η εστιακή απόσταση του τηλεσκοπίου.

### 2.4 Τηλεσκόπια πολλαπλών κατόπτρων (multi-mirror telescopes)

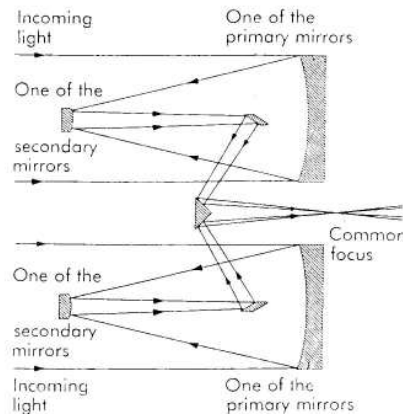
Ο παλιός τρόπος σχεδιασμού των τηλεσκοπίων έδειξε ότι παρουσιάζουν κάποια όρια είτε ως προς το μέγεθος ή ως προς την ποιότητα των ειδώλων και φυσικά καθοριστικός παράγων είναι και το κόστος κατασκευής. Έτσι ξεκίνησε μια



διαδικασία αλλαγής σχεδίων, κυρίως όσον αφορά το μέγεθος λόγω των γνωστών προβλημάτων στην κατασκευή μεγάλων φακών και κατόπτρων. Με τη σημερινή τεχνολογία το όριο κατασκευής κατόπτρων είναι τα 8 μέτρα. Θέλοντας να το υπερβούμε, αλλά και να έχουμε καλύτερη ποιότητα ειδώλων ή μικρότερο κόστος καταφεύγουμε στα τηλεσκόπια πολλαπλών κατόπτρων.

Ένα από τα πρώτα τηλεσκόπια αυτού του τύπου ήταν αυτό στο *Mount Hopkins* που χρησιμοποιεί έξι (6) πρωτεύοντα κάτοπτρα με διάμετρο **1,8 m** το καθένα και με διάφορα δευτερεύοντα κάτοπτρα τοποθετημένα σε κατάλληλες θέσεις, επιτυγχάνεται κοινή εστίαση. Έτσι είναι σαν να έχουμε ένα τηλεσκόπιο **4,4 m**.

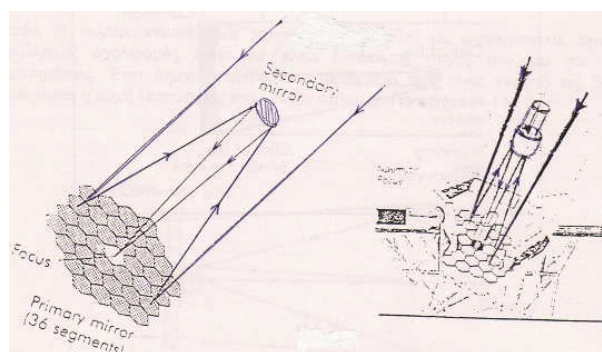
Στο σχήμα (2.12) φαίνεται ο τρόπος κοινής λειτουργίας των δύο μόνο από τα έξι τηλεσκόπια.



Σχήμα 2.12

Στο Ευρωπαϊκό Νότιο Παρατηρητήριο (European Southern Observatory, ESO) χρησιμοποιούνται 4 μεγάλα τηλεσκόπια των **8m** το καθένα. Αυτά έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν αφ' ενός μεν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, αλλά και να συνδέονται μεταξύ τους με κατάλληλη οπτική διάταξη ώστε η απόδοσή τους να είναι σαν να έχουμε σε λειτουργία ένα τεράστιο κάτοπτρο των **16m**.

Ένα άλλο τηλεσκόπιο πολλαπλών κατόπτρων είναι το τηλεσκόπιο **Keck** των **10m**. Αυτό χρησιμοποιεί **36** κάτοπτρα εξαγωνικής μορφής, τα οποία είναι τοποθετημένα όπως στο σχήμα (2.13).



Σχήμα 2.13

Οι **36** εξαγωνικές κυψελίδες ενώνονται κατάλληλα μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν μια υπερβολική επιφάνεια. Κάθε μια από τις κυψελίδες έχει μήκος **1,8 m** (κατά τη μεγαλύτερη της διάμετρο), ενώ δεν υπάρχει κυψελίδα στο κέντρο ώστε να διέρχεται από κει το φως το ανακλώμενο στο δευτερεύον κάτοπτρο και να συγκεντρώνεται στην εστία Cassegrain που βρίσκεται κάτω από το πρωτεύον.

Η θέση των κατόπτρων διευθετείται με την βοήθεια Η/Υ και επιτυγχάνεται ακρίβεια στην μεταξύ τους απόσταση της τάξεως των **50nm**.  
 Στη Χαβάη είναι τοποθετημένα τα 2 δεκάμετρα τηλεσκόπια **Keck 1** και **Keck 2**.

## 2.5 Στήριξη Τηλεσκοπίων

Ένα τηλεσκόπιο είναι δυνατό να *στηριχθεί* κατά τρεις διαφορετικούς τρόπους.

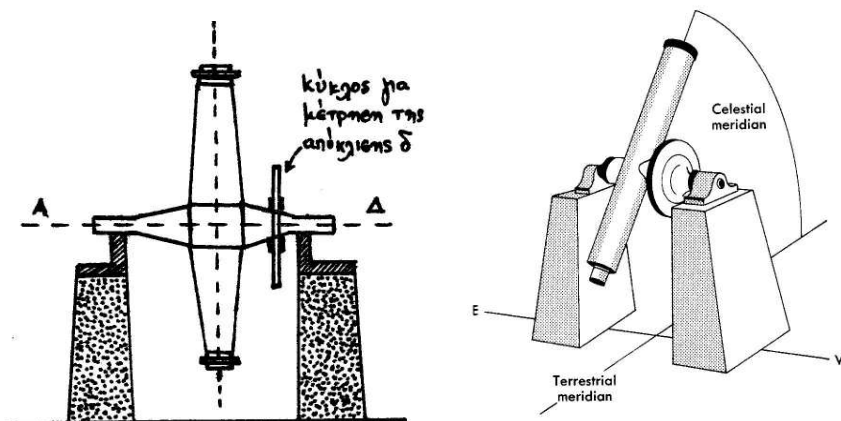
Έτσι έχουμε:

- το μεσημβρινό
- το αλταζιμουθιακό &
- το ισημερινό στήριγμα.

### 2.5.1 Μεσημβρινή στήριξη

Η στήριξη σ' αυτή την περίπτωση γίνεται έτσι, ώστε ο οπτικός άξονας του τηλεσκοπίου να διαγράφει τον μεσημβρινό του τόπου. Η κίνηση του τηλεσκοπίου γίνεται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα κάθετο στον οπτικό άξονα του τηλεσκοπίου, (Σχήματα 2.14), που ταυτίζεται με τον άξονα του μεσημβρινού. Έχει δηλαδή τη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης. Για να παρατηρηθεί ένας αστέρας με τηλεσκόπιο με τέτοια στήριξη πρέπει να μεσουρανεί στον τόπο αυτό. Γι' αυτό λέγεται **όργανο διαβάσεων**.

Οπότε  $t = \alpha$ , για την άνω μεσουράνηση και  $t = \alpha + 12^h$  για την κάτω, αν αυτή συμβαίνει πάνω από τον ορίζοντα του τόπου για να είναι δυνατόν να παρατηρηθεί και τότε ο αστέρας. Τα  $t$  και  $\alpha$  συμβολίζουν τον τοπικό αστρικό χρόνο και την ορθή αναφορά του αστέρα. Υπάρχει κύκλος με υποδιαιρέσεις για τη μέτρηση της απόκλισης  $\delta$ .



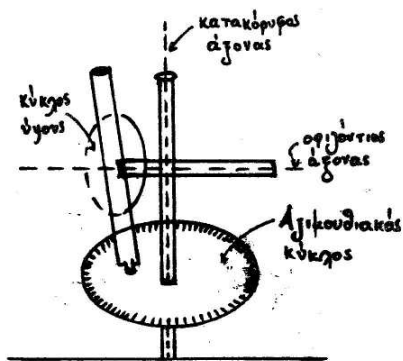
Σχήμα 2.14: Μεσημβρινό στήριγμα τηλεσκοπίου

### 2.5.2 Αλταζιμουθιακό ή υψοαζιμουθιακό στήριγμα

Με τον τρόπο αυτό της στήριξης το τηλεσκόπιο έχει τη δυνατότητα να εκτελεί δύο κινήσεις: καθ' ύψος και καθ' αζιμούθιο. Αυτό επιτυγχάνεται με κίνηση γύρω από δύο άξονες: έναν κατακόρυφο και ένα οριζόντιο, (Σχήμα 2.15).

Υπάρχουν και δύο κύκλοι με υποδιαιρέσεις. Ένας οριζόντιος από  $0^\circ$  μέχρι  $360^\circ$  που λέγεται **αζιμουθιακός** και με τη βοήθειά του μετράμε το αζιμούθιο  $A$  και ένας κατακόρυφος από  $0^\circ$  μέχρι  $90^\circ$  που λέγεται **κύκλος ύψους** και με τη βοήθεια του μετράμε το ύψος  $\nu$ .

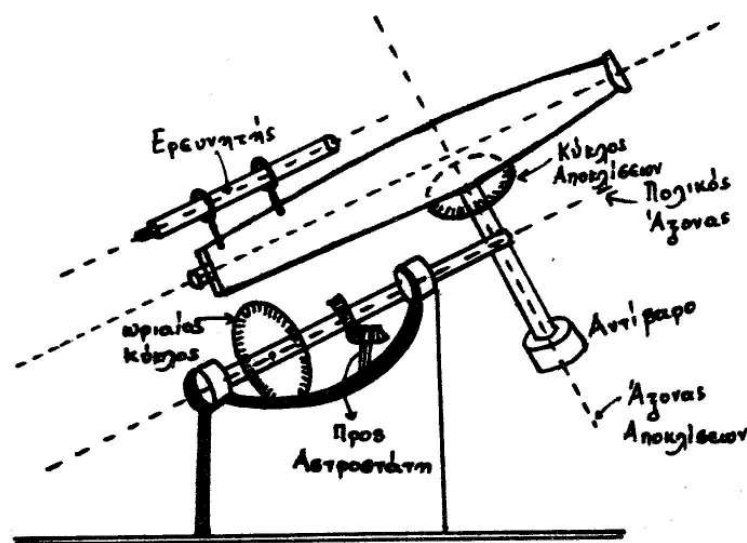
Επειδή οι οριζόντιες συντεταγμένες ( $A$  και  $\nu$ ) ενός αστέρα μεταβάλλονται μετά του χρόνου το τηλεσκόπιο με αλταζιμουθιακή στήριξη πρέπει να κινείται συνεχώς ώστε να παρακολουθεί κάποιο ουράνιο σώμα κατά την φαινόμενη ημερήσια κίνησή του. Το είδος αυτό της στήριξης χρησιμοποιείται στον θεοδόλιχο, σε διάφορα μικρά οπτικά τηλεσκόπια και σε πολλά ραδιοτηλεσκόπια.



Σχήμα 2.15: Αλταζιμουθιακή στήριξη τηλεσκοπίου

#### 4.5.3 Ισημερινή στήριξη

Με τον τρόπο αυτό της στήριξης το τηλεσκόπιο έχει την δυνατότητα να παρακολουθεί συνεχώς το υπό παρατήρηση ουράνιο σώμα, καθώς η αρχή λειτουργία του βασίζεται στο σύστημα των ισημερινών συντεταγμένων  $H$  και  $\delta$ ). Έτσι το τηλεσκόπιο στην περίπτωση αυτή μπορεί να κάνει κινήσεις γύρω από δύο άξονες κάθετους: τον Πολικό και τον άξονα αποκλίσεων, (Σχήμα 2.16).



Σχήμα 2.16: Ισημερινό στήριγμα

Ο πολικός άξονας έχει τη διεύθυνση του άξονα του κόσμου  $\Pi\Pi'$ . Σχηματίζει δηλαδή με τον ορίζοντα γωνία ίση προς το γεωγραφικό πλάτος  $\varphi$  του τόπου. Κάθετα στον πολικό άξονα υπάρχει κύκλος με υποδιαίρεσεις από  $0^\circ$  μέχρι  $360^\circ$  ή  $0^h$  μέχρι  $24^h$  για τη μέτρηση των ωριαίων γωνιών (ωριαίος κύκλος). Κάθετα στον άξονα αποκλίσεων υπάρχει κύκλος με υποδιαίρεσεις από  $0^\circ$  μέχρι  $\pm 90^\circ$  ή  $0^\circ$  μέχρι  $180^\circ$  για τη μέτρηση των αποκλίσεων ή των πολικών αποστάσεων (κύκλος αποκλίσεων).

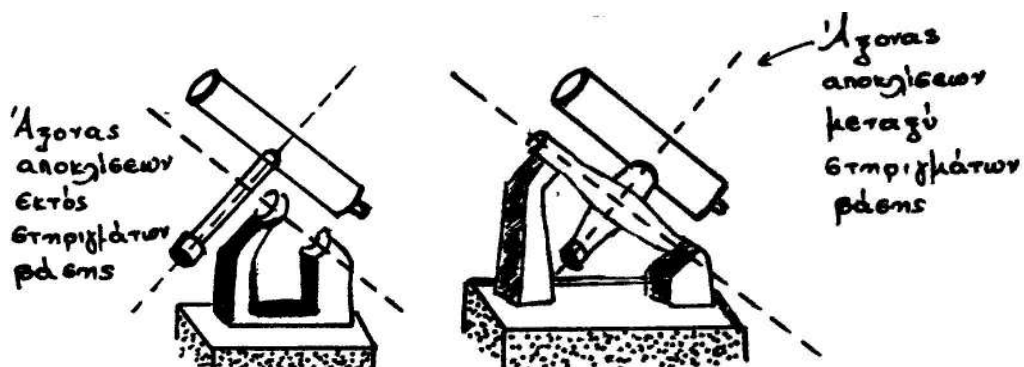
Για βοήθεια στη σκόπευση χρησιμοποιείται ένα ή περισσότερα μικρά τηλεσκόπια, **ερευνητές** ή **οδηγοί**, με τους οπτικούς τους άξονες παράλληλους προς τον οπτικό άξονα του κυρίως τηλεσκοπίου. Μετά τη σκόπευση και αφού το προς παρατήρηση

ουράνιο σώμα έλθει στο σταυρόνημα μπορεί να παρατηρείται συνεχώς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός ωρολογιακού μηχανισμού (*αστροστάτης*) που με σύστημα ατέρμονων κοχλιών δίνει στο τηλεσκόπιο συνεχή κίνηση γύρω από τον πολικό άξονα με την ίδια ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται η Γη γύρω από τον άξονά της αλλά με αντίθετη φορά. Το είδος αυτό της στήριξης χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα οπτικά τηλεσκόπια, σε όλα τα αστρογραφικά και στα σχετικώς ραδιοτηλεσκόπια.

**Παραλλαγές ισημερινού στηρίγματος.** Δύο είναι οι βασικοί τύποι ισημερινής στήριξης:

- ο Γερμανικός ή τύπος *Fraunhofer*, στον οποίο ο πολικός άξονας στηρίζεται στο ένα άκρο του ως προς τον άξονα αποκλίσεων, (Σχήμα 2.17α)
- ο Αγγλικός, που χρησιμοποιείται για πιο βαριά τηλεσκόπια, και ο πολικός άξονας στηρίζεται και στα δύο άκρα του, (Σχήμα 2.17β).

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές των δύο βασικών τύπων ισημερινής στήριξης.



Σχήμα 2.17α: Γερμανικός τρόπος

Σχήμα 2.17β: Αγγλικός τρόπος  
ισημερινής στήριξης

## 2.6 Ραδιοτηλεσκόπια

### 2.6.1 Γενικά

Μετά την ανακάλυψη από τον Jansky (1931) των ραδιο-σημάτων από το διάστημα άρχισε η ανάπτυξη της Ραδιοαστρονομίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η γήινη ατμόσφαιρα είναι εντελώς διαφανής στην ακτινοβολία με μήκος κύματος μεταξύ  $10\text{mm}$  και  $10\text{m}$ . Η απορρόφηση της ακτινοβολίας είναι σχεδόν ολική γύρω στα  $0,5\text{mm}$ , ενώ μεταξύ  $(0,5 \text{ \& } 10)\text{mm}$  η απορρόφηση οφείλεται στο οξυγόνο και τους υδρατμούς. Τέλος, ακτινοβολία με μήκος κύματος  $\lambda > 50\text{m}$  δεν κατορθώνει να φθάσει στο έδαφος γιατί ανακλάται από την ιονόσφαιρα.

Με τα ραδιοτηλεσκόπια ανιχνεύεται ακτινοβολία με μήκος κύματος  $\lambda$  μεγαλύτερο από  $0,1\text{mm}$ . Δηλαδή ακτινοβολία που αντιστοιχεί σε συχνότητες μικρότερες από  $3 \times 10^{21} \text{ Hz}$  ή ενέργειες φωτονίων μικρότερες από  $2 \times 10^{-21} \text{ Jy}$  (ή  $0,01 \text{ eV}$ ). Η μονάδα έντασης που χρησιμοποιείται σ' αυτά τα μήκη κύματος είναι το *Jansky* (*Jy*). Ένα  $\text{Jy} = 10^{-26} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$  και η ένταση των ραδιοπηγών είναι συνήθως από  $10^{-3}$  έως  $10^6 \text{ Jy}$ . Η ακτινοβολία των περισσότερων ραδιο-πηγών είναι θερμική και το φάσμα τους ακολουθεί το νόμο των *Rayleigh-Jeans*:

$$F_\nu = (2\pi k/c^2) T\nu^2 \quad (2.9)$$

Μπορεί όμως να είναι και ακτινοβολία σύγχροτρο από ενεργητικά ηλεκτρόνια κινούμενα μέσα σε μαγνητικά πεδία. Στην περίπτωση αυτή το φάσμα τους είναι της

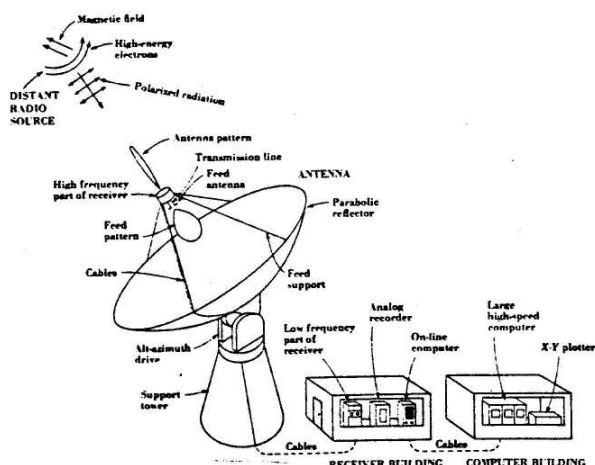
μορφής:  $F_\nu \propto \nu^{-\alpha}$  όπου  $F_\nu$  είναι η ροή ανά μονάδα συχνότητας, στη συχνότητα  $\nu$  και το  $\alpha$  ονομάζεται φασματικός δείκτης της πηγής και συνδέεται με την κατανομή ενέργειας των ηλεκτρονίων. Για πάρα πολλές πηγές το  $\alpha$  λαμβάνει τιμές μεταξύ 0,2 και 1,2. Είναι δηλαδή:  $0,2 \leq \alpha \leq 1,2$ . Οι ανιχνευτές που λειτουργούν στις ραδιοσυχνότητες, (ραδιο-ανιχνευτές), συνήθως δέχονται μια πολύ στενή περιοχή συχνοτήτων και μόνο ένα επίπεδο πόλωσης. Έτσι τα περισσότερα ραδιοτηλεσκόπια είναι επίσης και ραδιο-φασματοσκόπια (monochromators) και ραδιο-πολωσίμετρα.

Το πρώτο ραδιοτηλεσκόπιο κατασκευάστηκε από τον Reber το 1936 και με αυτό έγινε ο πρώτος ραδιοχάρτης του Γαλαξία μας, (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Το πρώτο ραδιοτηλεσκόπιο

Ένα ραδιοτηλεσκόπιο αποτελείται από τρία μέρη: την κεραία (antenna), το δέκτη (receiver) και την συσκευή, όπου γίνεται το φιλτράρισμα ή ενίσχυση και η καταγραφή του σήματος σε χαρτί ή μαγνητοταινία, (Σχήμα 2.17).



Σχήμα 2.17: Ένα τυπικό ραδιοτηλεσκόπιο

Η κεραία σε ένα ραδιοτηλεσκόπιο ενεργεί σαν συλλέκτης των ραδιοκυμάτων. Παίζει δηλαδή ένα ρόλο ανάλογα προς το φακό ή το κάτοπτρο στα οπτικά τηλεσκόπια, ενώ ο δέκτης παίζει το ρόλο κάποιου οργάνου, όπως π.χ. ενός φασματογράφου, ενός φωτομέτρου κ.λπ.. Η κεραία μπορεί να έχει σχήμα σφαιρικό ή παραβολοειδές ή να αποτελείται από διάφορα ξεχωριστά δίπολα.

Στο σχήμα 2.17 φαίνεται η αρχή λειτουργίας ενός παραβολοειδούς ραδιοτηλεσκοπίου. Το ραδιοκύμα (σήμα) μετά την ανάκλασή του έρχεται στο δέκτη που μπορεί να βρίσκεται ή στην κύρια εστία ή στην εστία Cassegrain.

Η περιοχή συχνοτήτων στις παραβολοειδείς κεραίες είναι μάλλον ευρεία. Στις υψηλές συχνότητες το όριο προσδιορίζεται από την ακρίβεια κατασκευής της επιφανείας τους, ενώ στις χαμηλές από τη διάμετρο του παραβολοειδούς δίσκου.

Οι κεραίες στα ραδιοτηλεσκόπια μπορεί να είναι:

- **κατευθυνόμενες** (μπορούν δηλαδή να κινούνται σε δύο διευθύνσεις και χρησιμοποιούνται σε σχετικά μικρά όργανα).
- **ημικατευθυνόμενες** (που έχουν δυνατότητα κίνησης σε μία μόνο διεύθυνση)
- **σταθερές** (για τα πολύ μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια).



*Εικόνες 2.2: Διάφορα ραδιοτηλεσκόπια*

## 2.6.2 Διαφορές Οπτικών Τηλεσκοπίων και Ραδιοτηλεσκοπίων

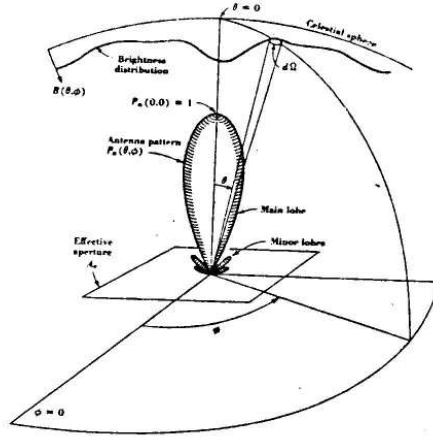
Τρεις είναι οι βασικές διαφορές ανάμεσα στα οπτικά τηλεσκόπια και στα ραδιοτηλεσκόπια:

- Με τα ραδιοτηλεσκόπια δεν βλέπουμε τα ουράνια σώματα, αλλά λαμβάνουμε εγγραφήματα στον καταγραφέα. Δηλαδή οι διάφορες πληροφορίες δεν έρχονται σαν εικόνες, αλλά ο δέκτης τις λαμβάνει ως τάση ρεύματος.
- Μπορούμε να κάνουμε παρατηρήσεις αφ' ενός μεν κατά τη διάρκεια της ημέρας και αφ' ετέρου με οποιοδήποτε καιρικές συνθήκες.
- Η κεραία-δίσκος σε ένα ραδιοτηλεσκόπιο δεν είναι ανάγκη να λειανθεί. Μπορεί επίσης να παρουσιάζει κενά, αλλά αυτά δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερα από το  $1/20$  του μήκους κύματος στο οποίο γίνεται η παρατήρηση.

## 2.6.3 Χαρακτηριστικά Κεραίας Ραδιοτηλεσκοπίου

Η κεραία ενός ραδιοτηλεσκοπίου διαθέτει έναν άξονα συμμετρίας και οποιαδήποτε διεύθυνση είναι δυνατόν να καθοριστεί από δύο γωνίες,  $\theta$  και  $\phi$ , σε σχέση με τον άξονα αυτό, (Σχήμα 2.18). Η διεύθυνση από την οποία λαμβάνουμε τη μεγαλύτερη ισχύ αποτελεί τον **κύριο άξονα** της κεραίας και σχεδόν πάντοτε συμπίπτει με τον άξονα συμμετρίας της.

Η απόδοση μιας κεραίας ως προς την ακτινοβολία που δέχεται, βρίσκεται από μια συνάρτηση  $P_n(\theta, \phi)$  που ονομάζεται **διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας**, (*antenna pattern*) και που περιγράφει την απόδοση της κεραίας σε σχέση με την διεύθυνση. Η συνάρτηση  $P_n(\theta, \phi)$  παριστάνει δηλαδή μια επιφάνεια που μας δίνει την διεύθυνση στην οποία έχουμε καλύτερη λήψη. Στο σχήμα (2.18) φαίνεται η τομή του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας, όπου εκτός από τον κύριο λοβό παρατηρούνται και δευτερεύοντες.



Σχήμα 2.18: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας ραδιοτηλεσκοπίου

Εάν  $P_n(\theta, \varphi)$  είναι το διάγραμμα της κεραίας και  $A_e$  η ενεργός επιφάνεια (ή ενεργό άνοιγμα) της κεραίας, τότε η ενέργεια  $dE_\nu$ , ή η ισχύς  $dW_\nu$ , που θα παίρνει από μια πηγή με λαμπρότητα  $B_n(\theta, \varphi)$  η κεραία ενός ραδιοτηλεσκοπίου σε χρόνο  $dt$  και για συχνότητες από  $\nu$  μέχρι  $\nu+d\nu$  θα είναι:

$$\frac{dE_\nu}{dt} d\nu \equiv dW_\nu d\nu = \frac{1}{2} A_e d\nu \iint_{\Omega} B_\nu(\vartheta, \phi) P_n(\vartheta, \varphi) d\Omega \quad (2.9)$$

όπου  $\theta$  η γωνία μεταξύ μιας δοσμένης διεύθυνσης και της διεύθυνσης του άξονα συμμετρίας της κεραίας, (δηλαδή της διεύθυνσης για την οποία  $P_n(0,0) = 1$ ).

Η ενεργός επιφάνεια  $A_e$  είναι το μέρος της επιφάνειας του μετώπου κύματος από το οποίο η κεραία συγκεντρώνει την ισχύ και είναι μικρότερη από την πραγματική επιφάνεια της κεραίας (Μεταξύ 0.5 και 0.9 της πραγματικής).

Στην περίπτωση σταθερής λαμπρότητας, δηλαδή ανεξάρτητης ως προς την διεύθυνση, ολοκληρώνοντας την σχέση (2.9) προς όλες τις διευθύνσεις έχουμε :

$$W_\nu d\nu = \frac{1}{2} A_e d\nu B_\nu \Omega_A \quad (2.10)$$

όπου το  $\Omega_A$  είναι:

$$\Omega_A \equiv \iint_{\Omega} P_n(\vartheta, \varphi) d\Omega \quad (2.11)$$

αποτελεί την **περιοχή ακτινοβολίας** της κεραίας (beam area) ή τη στερεά γωνία ακτινοβολίας της κεραίας και μετριέται σε sterad.

Η εξίσωση (2.10) χρησιμοποιείται όταν παρατηρούμε μια εκτεταμένη πηγή με ομοιόμορφη ακτινοβολία, που καταλαμβάνει δηλαδή έκταση  $\Omega_s$  μεγαλύτερη από το  $\Omega_A$ . Εάν έχουμε μια μικρή συγκεκριμένη πηγή με ομοιόμορφη ακτινοβολία στην κεντρική της περιοχή και μηδέν έξω από αυτήν - όταν δηλαδή  $\Omega_s \ll \Omega_A$ , τότε η εξίσωση (2.10) γράφεται ως:

$$W_\nu d\nu = \frac{1}{2} A_e d\nu B_\nu \Omega_s \quad (2.12)$$

Εάν  $B_{avg} = \bar{B}$  είναι η μέση λαμπρότητα της πηγής και  $B_o$  η φαινόμενη της, τότε:

$$B_o = \frac{\Omega_s}{\Omega_A} \bar{B} \quad (2.13)$$

#### 2.6.4 Κατευθυντικότητα, απολαβή και θερμοκρασία κεραίας ραδιοτηλεσκοπίου

Τα κύρια χαρακτηριστικά του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας μπορούν να περιγραφούν εάν θεωρήσουμε το γωνιακό εύρος του κύριου λοβού που σχηματίζεται από τις διευθύνσεις που ορίζονται από εκείνα τα σημεία του όπου η ισχύς είναι ίση με το μισό της πιο μεγάλης τιμής της. Αυτό είναι γνωστό ως: **HPBW** από τα αρχικά των λέξεων Half Power Beam Width.

Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας, εκτός από τη στερεά γωνία  $\Omega_A$ , μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί από την στερεά γωνία του κυρίως λοβού ή των δευτερευόντων λοβών. Στην πράξη η  $\Omega_A$  λαμβάνεται περίπου ίση με:

$$\Omega_A \approx (4/3) \vartheta_{HPBW} \phi_{HPBW} \quad (2.14)$$

Επιπλέον το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας χαρακτηρίζεται από την ικανότητα της κεραίας να λαμβάνει πιο πολύ ενέργεια από κάποιες συγκεκριμένες διευθύνσεις από ότι από άλλες. Η **κατευθυντικότητα** (*directivity*,  $d$ ) μιας κεραίας ορίζεται ως ο λόγος της μεγαλύτερης ισχύος που ακτινοβολείται από την κεραία στην διεύθυνση  $\mathbf{P}_n = \mathbf{I}$  προς τη μέση ισχύ (προς όλες τις διευθύνσεις).

Μεταξύ της κατευθυντικότητας,  $d$ , και της περιοχής ακτινοβολίας,  $\Omega_A$ , ισχύει η σχέση:

$$d = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad (2.15)$$

Μεταξύ της ενεργού επιφάνειας  $A_e$  και της κατευθυντικότητας  $d$  μιας κεραίας ισχύει η σχέση:

$$d = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e \quad (2.16)$$

ή αν λάβουμε υπόψη την (2.15),

$$A_e \Omega_A = \lambda^2 \quad (2.17)$$

Συχνά οι ιδιότητες μιας κεραίας προς στις διάφορες διευθύνσεις χαρακτηρίζονται από τη συνάρτηση  $G(\theta, \varphi)$  αντί της  $\mathbf{P}_n(\theta, \varphi)$ . Η  $G(\theta, \varphi)$  είναι γνωστή ως **απολαβή** (*directive gain*) της κεραίας και ορίζεται ως:

$$G(\vartheta, \varphi) = d \cdot P_n(\vartheta, \varphi) \quad (2.18)$$

Η ισχύς  $W$  που λαμβάνεται από μια κεραία συχνά εκφράζεται σε όρους της θερμοκρασίας της κεραίας  $T_A$  που ορίζεται ως:

$$d\nu k T_A = W \quad (2.19)$$

όπου  $k$  η σταθερά του **Boltzmann**.

Η θερμοκρασία της κεραίας  $T_A$  δεν συνδέεται ούτε με την θερμοκρασία του υλικού της κεραίας, ούτε του περιβάλλοντος μέσου αλλά εξαρτάται από τη **θερμοκρασία των ουρανίων σωμάτων** από τα οποία προέρχεται η ακτινοβολία εάν αυτή είναι **θερμική**.

#### 2.6.5 Ευαισθησία ραδιοτηλεσκοπίου



Η ευαισθησία ενός ραδιοτηλεσκοπίου ορίζεται ως η μικρότερη θερμοκρασία,  $\Delta T_{min}$ , που μπορεί να ανιχνευθεί με αυτό και δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta T_{min} = \frac{k_s T_{sys}}{\sqrt{\Delta \nu t n}} \quad (2.20)$$

Η μικρότερη λαμπρότητα,  $\Delta B_{min}$ , που μπορεί να ανιχνευθεί δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta B_{min} = \frac{2k}{\lambda^2} \frac{k_s T_{sys}}{\sqrt{\Delta \nu t n}} \quad (2.21)$$

Ενώ η μικρότερη πυκνότητα ροής,  $\Delta S_{min}$ , από την:

$$\Delta S_{min} = \frac{2k}{A_e} \frac{k_s T_{sys}}{\sqrt{\Delta \nu t n}} \quad (2.22)$$

όπου, σε όλες τις πιο πάνω σχέσεις τα σύμβολα έχουν ως εξής:

- $k_s$ : Συντελεστής ευαισθησίας (καθαρός αριθμός),
- $\Delta \nu$ : Περιοχή συχνοτήτων (cps),
- $t$ : Χρόνος ολοκλήρωσης (sec),
- $n$ : Αριθμός των παλμών, (καθαρός αριθμός),
- $T_{sys}$ : Θερμοκρασία θορύβου του συστήματος,
- $\lambda$ : Μήκος κύματος παρατήρησης,
- $A_e$ : Ενεργός επιφάνεια της κεραίας,
- $k$ : Σταθερά του Boltzmann.

## 2.6.6 Διακριτική Ικανότητα Ραδιοτηλεσκοπίου - Ραδιοσυμβολόμετρα

Η διακριτική ικανότητα ενός ραδιοτηλεσκοπίου, δηλαδή η ικανότητά του να ξεχωρίζει δύο πηγές που βρίσκονται πολύ κοντά η μια στην άλλη, δίνεται από τη σχέση:

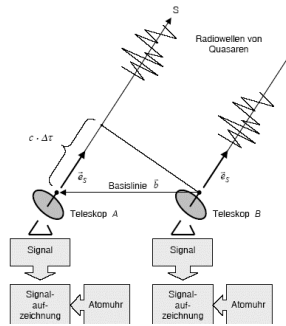
$$\mathcal{G}_{HPBW}^2 \approx \frac{\lambda^2}{D^2} \quad (2.23)$$

όπου  $\lambda$  το μήκος κύματος της παρατήρησης και  $D$  η διάμετρος της κεραίας του ραδιοτηλεσκοπίου.

Στην περιοχή λειτουργίας των ραδιοτηλεσκοπίων, όπου το  $\lambda$  είναι πολύ μεγάλο, για να πετύχουμε ικανοποιητικές τιμές διαχωριστικής ικανότητας πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τεράστιες κεραίες (με μήκος πολλά χιλιόμετρα).

Επειδή αυτό είναι πολύ δύσκολο ή αδύνατο, χρησιμοποιούμε τα **ραδιοσυμβολόμετρα**. Δηλαδή αντί να έχουμε μια κεραία με πολύ μεγάλη διάμετρο, χρησιμοποιούμε δύο ή περισσότερες κεραίες με μικρότερα ανοίγματα που τις συνδέουμε μεταξύ τους.

Στο σχήμα 2.19 δίνεται η αρχή λειτουργίας ενός απλού ραδιοσυμβολόμετρου που αποτελείται από δύο κεραίες. Γενικά η διάταξη των κεραιών στα διάφορα ραδιοσυμβολόμετρα ποικίλλει.



**Σχήμα 2.19**

Σήμερα με τη σύνδεση ραδιοτηλεσκοπίων που βρίσκονται σε τεράστιες μεταξύ τους αποστάσεις μεταξύ τους, έχουμε πετύχει διακριτικές ικανότητες της τάξης του 0",001 δηλαδή πολύ μικρότερες από εκείνες των οπτικών τηλεσκοπίων.

Επιπλέον, η απλή περίπτωση δύο ραδιοτηλεσκοπίων που λειτουργούν ως ραδιοσυμβολόμετρα μπορεί να γενικευθεί με τη χρήση **N** ραδιοτηλεσκοπίων, όπως π.χ. στην περίπτωση του **MERLIN** και του **VLA**, (Εικόνες 2.3 & 2.4).

Το **MERLIN** που αποτελεί συντομογραφία της Αγγλικής φράσης (*Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network*) έχει τον κεντρικό Σταθμό του στο **Jodrell Bank** (κοντά στο Manchester, Αγγλία) και αποτελείται από έξι, **6**, ραδιοτηλεσκοπία, τοποθετημένα σε καθορισμένες περιοχές της Αγγλίας.



**Εικόνα 2.3:** Οι θέσεις στην Αγγλία και τα **6** ραδιοτηλεσκοπία του ραδιοσυμβολομέτρου **MERLIN**.

Το **VLA** που βρίσκεται στο **Νέο Μεξικό** (ΗΠΑ), αποτελείται από είκοσι οκτώ, **28**, κεραιές, τοποθετημένες σε τρεις βραχίονες που ανά δύο σχηματίζουν γωνία **120°**, (Σχήμα 2.20). Ξεκίνησε να λειτουργεί μερικώς το **1977** ενώ από το **1981** είναι σε πλήρη λειτουργία.



**Εικόνες 2.4:** Το **VLA**

Κάθε κεραία έχει διάμετρο **25 m**, ενώ κάθε ένας από τους τρεις βραχίονες έχει μήκος περί τα **20 Km** και επομένως επιτυγχάνεται ένα μέγιστο μήκος περί τα **35 Km**. Επιπλέον, οι κεραίες έχουν τη δυνατότητα κίνησης σε σιδηροτροχιές ώστε να μεταβάλλεται εύκολα η μεταξύ τους απόσταση.

Το **VLA** έχει τη δυνατότητα λειτουργίας σε διάφορους σχηματισμούς (**A, B, C & D**).

Η διάταξη **A** είναι η πλέον εκτεταμένη –καθόσον σ’ αυτήν γίνεται χρήση όλου του μήκους των βραχιόνων– οπότε και επιτυγχάνεται η μεγίστη διαχωριστική ικανότητα.

Η **D** η πιο «μαζεμένη», με τη μικρότερη διαχωριστική ικανότητα, αλλά με μεγάλη ευαισθησία για εκτεταμένες πηγές. Οι **B & C** αποτελούν ενδιάμεσες διατάξεις.