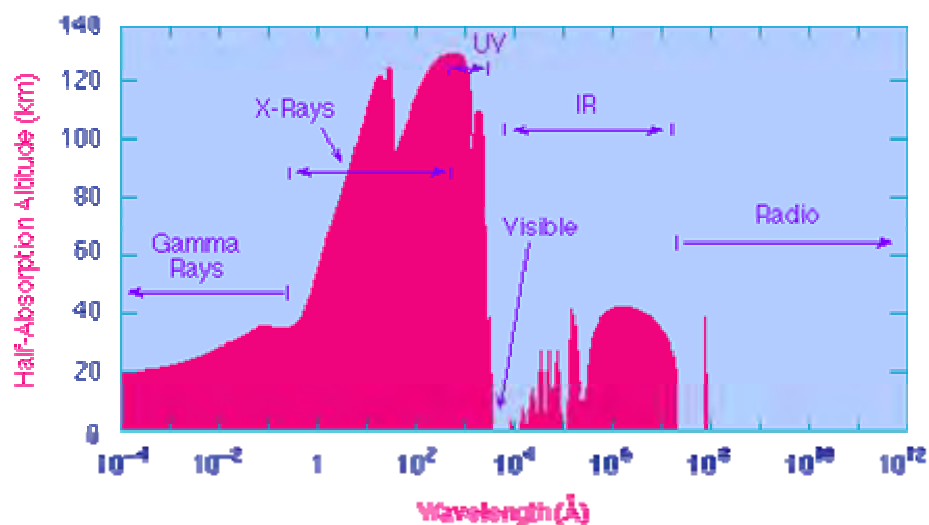


# Τηλεσκοπία

## 4.1 Εισαγωγή

Η γήινη ατμόσφαιρα είναι αδιαφανής σε ορισμένα μήκη κύματος όπως φαίνεται από το σχήμα που παριστάνει την ικανότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων να διατρήσουν τη γήινη ατμόσφαιρα, εκτός από το οπτικό και ορισμένα «παράθυρα» στο ραδιοφωνικό και στο υπέρυθρο. Αυτό σημαίνει ότι από τη Γη μπορεί να ανιχνευθεί η ραδιοφωνική ακτινοβολία, μέρος της μικροκυματικής, η οπτική και μέρος της υπέρυθρης και της υπεριώδους ενώ στις υπόλοιπες περιοχές η παρατήρηση των αστρικών αντικειμένων γίνεται με διαστημικά τηλεσκόπια σε τροχιά. Έτσι η υπέρυθρη ακτινοβολία



απορροφάται από τους υδρατμούς των κατωτέρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, για αυτό και τα υπέρυθρα τηλεσκόπια βρίσκονται στο διάστημα (Infrared Space Observatory, 1994) ή σε πολύ μεγάλο υψόμετρο όπως στο Mauna Kea (Χαβάη). Το ίδιο ισχύει και για την υπεριώδη ακτινοβολία που απορροφάται από το στρώμα του όζοντος, καθώς και για ακτινοβολία των ακτίνων X (αστεροσκοπείο Chandra, 1999) και την ακτινοβολία ακτίνων γ (αστεροσκοπείο ακτίνων γ). Επίσης μελετούμε τη σωματιδιακή ροή που παράγουν οι αστρικές πηγές (Solar Neutrino Experiment) και σχεδιάζονται πειράματα για τη βαρυτική ακτινοβολία που εκπέμπουν οι πιο συμπαγείς .

## 4.2 Γενικά χαρακτηριστικά

Τα τηλεσκόπια εξυπηρετούν δύο βασικούς σκοπούς

1. την ανίχνευση και συλλογή του φωτός από αμυδρά αντικείμενα
2. την ικανότητα να διακρίνουν τις λεπτομέρειές τους

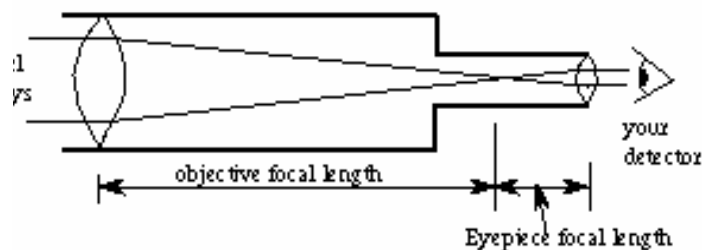
Κατά δεύτερο λόγο εξυπηρετούν την μεταφορά του φωτός σε καταγραφικές διατάξεις όπως η φωτογραφική πλάκα ή ο φασματογράφος για την καταγραφή του φάσματος και τη μεγέθυνση των αντικειμένων.

Τα κύρια οπτικά στοιχεία ενός τηλεσκοπίου είναι

1. Η **διάμετρος** (άνοιγμα) (**D**) του κύριου συλλεκτικού οπτικού του στοιχείου (φακού ή κατόπτρου) η οποία αποτελεί και το σημαντικότερο στοιχείο αφού καθορίζει τη συλλεκτική ικανότητα φωτός του τηλεσκοπίου που είναι ανάλογη του  $D^2$ . Η διάμετρος συνήθως εκφράζεται σε ίντσες (1 ίντσα = 2.54 cm)

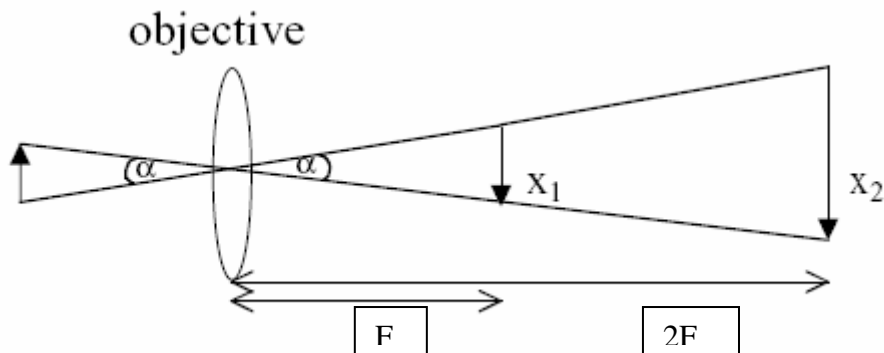


2. Το εστιακό μήκος ή **εστιακή απόσταση F**. Είναι η απόσταση πίσω από τον αντικειμενικό φακό ή το κάτοπτρο στην οποία συγκεντρώνονται οι παράλληλες δέσμες φωτός από ένα μακρινό αντικείμενο στην κύρια εστία του φακού ή του κατόπτρου, όπου σχηματίζεται και το είδωλο του αντικειμένου (πραγματικό και ανεστραμμένο). Δεν θα πρέπει να συγχέεται με το μήκος του σωλήνα του τηλεσκοπίου γιατί τα σύγχρονα συμπαγή τηλεσκόπια αν και έχουν μικρό μήκος σωλήνα έχουν μεγάλη εστιακή απόσταση.



3. **Εστιακός λόγος (αριθμός f/)** που εκφράζεται ως ο λόγος της εστιακής απόστασης του αντικειμενικού φακού ή κατόπτρου δια της διαμέτρου του ( $f = F/D$ ). Ο εστιακός λόγος αποτελεί μία σημαντική παράμετρο του γιατί από αυτήν εξαρτάται η ανάλυση των λεπτομερειών μιας εκτεταμένης αστρονομικής πηγής δηλαδή. Εάν θεωρήσουμε δύο διάκριτα σημεία μιας τέτοιας πηγής, το ένα επί του οπτικού άξονα του φακού  $D$  και το άλλο υπό γωνία  $\theta$ , τότε εάν τα είδωλά τους σχηματίζονται σε πέτασμα τοποθετημένο στο εστιακό επίπεδο του φακού θα απέχουν μεταξύ τους  $x_1 = F \tan\theta$  ή για μικρές γωνίες  $\theta$ ,

$$x_1 \cong F \cdot \theta_{\text{rad}}$$



Τα ίδια σημεία παρατηρούμενα μέσα από φακό της ίδιας διαμέτρου  $D$  αλλά διπλάσιας εστιακής απόστασεως  $2F$  θα σχηματίζαν τα είδωλά τους σε απόσταση το ένα από το άλλο  $x_2 = 2F \cdot \theta = 2 x_1$  και άρα η αποτύπωσή τους σε μία φωτογραφική πλάκα τοποθετημένη στο εστιακό του επίπεδο θα υπερέχει από απόψεως ευκρίνειας λεπτομέρειας. Στην πρώτη περίπτωση αν υποθέσουμε ότι  $D = F$ , ο εστιακός λόγος του τηλεσκοπίου είναι  $f/1$  ενώ στη δεύτερη  $f/2$ . Αυξανόμενου δηλαδή του εστιακού λόγου ενός τηλεσκοπίου επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευκρίνεια στην καταγραφή λεπτομερειών.

Με τον τρόπο όμως αυτό η φωτογραφική πλάκα στην δεύτερη περίπτωση δέχεται λιγότερη φωτεινή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου εκθέσεως  $t_{\text{εκ}\theta}$  για την επίτευξη της καταγραφής της πληροφορίας ( $t_{\text{εκ}\theta} \sim f^2$  όπως και στις φωτογραφικές μηχανές). Μία χρήσιμη παράμετρος είναι η **κλίμακα της πλάκας** η οποία εκφράζει το πόσα δεύτερα λεπτά του τόξου στον ουράνιο θόλο αντιστοιχούν σε 1mm της φωτογραφικής πλάκας. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι

$$x \cong F \cdot \theta_{\text{rad}} = F(\theta''/206265)$$

κι άρα  $x / \theta'' = F / 206265$  αλλά συνήθως εκφράζεται στην αντίστροφη μορφή ως γωνία/απόσταση οπότε  $\theta''/x = 206265/F$

και αποτελεί πληροφορία απαραίτητη για την μέτρηση των γωνιωδών αποστάσεων μεταξύ των αστρικών αντικειμένων που απεικονίζονται σ' αυτήν.

**Παράδειγμα:** Ένα εκπαιδευτικό τηλεσκόπιο με αντικειμενικό φακό  $D = 14$  ιντσών κι εστιακό λόγο  $f/11$  δηλαδή  $F=3910$  mm έχει κλίμακα:

$$\frac{206265''}{3910\text{mm}} = 52.7''/\text{mm}$$

δηλαδή το είδωλο του Ήλιου ο οποίος έχει γωνιακό μέγεθος 31' θα καταλαμβάνει

$$\frac{31' \times 60'' /'}{52.7'' / \text{mm}} = 35.3 \text{ mm}$$

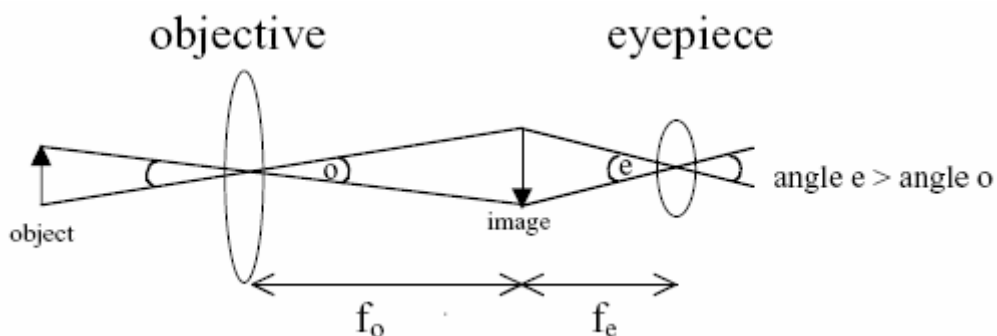
Η παραπάνω ανάλυση γεννά αυτόματα το ερώτημα σχετικά με την ελάχιστη γωνία  $\theta$  υπό την οποία δύο σημεία του ουράνιου θόλου μπορούν να απεικονίζονται ως δύο σημεία μέσα από την παρατήρησή τους με ένα συγκεκριμένο τηλεσκόπιο, χωρίς να συγχέονται τα είδωλά τους. Η εν λόγω γωνία δίδεται από την έκφραση

$$\theta'' = 1.22 \frac{\lambda}{D} \times 206\,265 \quad \text{ή} \quad \theta'' \cong 2.5 \times 10^5 \frac{\lambda}{D} \quad (5.1)$$

και αποτελεί μία από τις χαρακτηριστικότερες παραμέτρους ενός τηλεσκοπίου που ονομάζεται **διακριτική ικανότητα**. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διακριτική ικανότητα ενός τηλεσκοπίου εξαρτάται εκτός από το μέγεθος του τηλεσκοπίου από την ποιότητα των οπτικών του στοιχείων και τις συνθήκες παρατήρησης. Γενικά το ιδανικό όριο (όριο Dawes) είναι  $116'' (\text{mm})/D$  ή  $4.46'' (\text{inches})/D$ . Η διακριτική ικανότητα ενός τηλεσκοπίου  $D = 14$  ιντσών είναι  $4.46''/14 = 0''.3$ .

4. Ο **προσοφθάλμιος** φακός ο οποίος βρίσκεται πίσω από την εστία του αντικειμενικού. Ο προσοφθάλμιος είναι ένας μικρός φακός που μεγενθύνει το πραγματικό είδωλο του αντικειμένου που σχηματίζεται ανεστραμμένο στην εστία του και κάνει παράλληλες πάλι τις ακτίνες, επιτρέποντας στον παρατηρητή (ανθρώπινο οφθαλμό) να σχηματίσει μία οξεία εικόνα (είδωλο-εικόνα μεγενθυμένο και φανταστικό). Όλα τα αστρονομικά τηλεσκόπια αναστρέφουν τις εικόνες πάνω-κάτω και από δεξιά στα αριστερά.

Εάν  $F_e$  είναι η εστιακή απόσταση του προσοφθάλμιου και  $F$  του αντικειμενικού φακού, η μεγέθυνση δίνεται από την έκφραση



$$M = \frac{D}{d} = \frac{F}{F_e}$$

κι άρα δεν είναι ιδιότητα που έχει το τηλεσκόπιο από την κατασκευή του αλλά εξαρτάται από τον προσοφθάλμιο που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

**Παράδειγμα:** Ένα εκπαιδευτικό τηλεσκόπιο με αντικειμενικό φακό  $D = 60 \text{ mm}$  και εστιακό λόγο  $f/12$  είναι εφοδιασμένο με δύο προσοφθάλμιους που χαρακτηρίζονται από τον κατασκευαστή ως  $9\text{mm}$  και  $25\text{mm}$  αντίστοιχα. Οι αριθμοί 9 και 25 αναφέρονται συμβατικά στην εστιακή τους απόσταση και ως εκ τούτου η χρήση του πρώτου μας διασφαλίζει μεγέθυνση σε σχέση με αυτό που βλέπουμε δια γυμνού οφθαλμού ίση με  $M = \frac{60 \times 12}{9} = \frac{720}{9} = 80$  ενώ η χρήση του δευτέρου  $M = \frac{720}{25} = 28.8$

**Πεδίο του ουρανού:** Επιπλέον ο ρόλος του προσοφθάλμιου είναι ο καθορισμός του πεδίου οράσεως του τηλεσκοπίου. Το πεδίο του ουρανού (φαινόμενο) σε μοίρες είναι αυτό που φαίνεται από τον προσοφθάλμιο μόνο του ( $45^\circ$ - $80^\circ$ ) και το πραγματικό αυτό που φαίνεται από τον προσοφθάλμιο πάνω στο τηλεσκόπιο (φαινόμενο πεδίο/μεγένθυση). **Παράδειγμα:** ένας προσοφθάλμιος εστιακού μήκους  $15 \text{ mm}$  με πεδίο  $52^\circ$  και μεγένθυση  $53 \times$  δίνει πεδίο  $52^\circ/53 = 0^\circ 58' 52''$  δηλαδή λίγο μικρότερο από  $1^\circ$

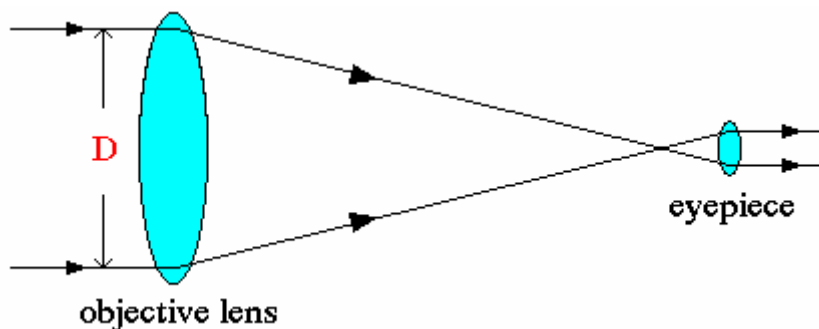
### 4.3 Είδη οπτικών τηλεσκοπίων

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες οπτικών τηλεσκοπίων

- Τα διοπτρικά (διαθλαστικά) όπου το φως συλλέγεται από φακούς
- Τα κατοπτρικά όπου το φως συλλέγεται από κάτοπτρα
- Τα κατοδιοπτρικά που αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω

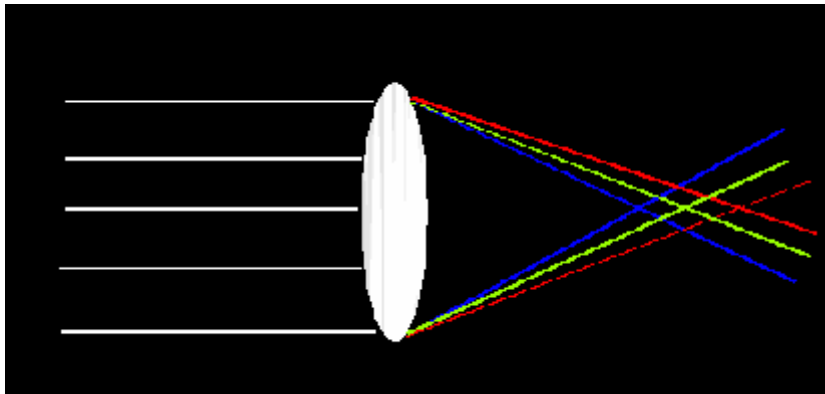
#### 4.3.1 Διαθλαστικά ή διοπτρικά τηλεσκόπια (refractors)

Όπως μαρτυρεί και το όνομά του ένα διαθλαστικό τηλεσκόπιο χρησιμοποιεί το φαινόμενο της διάθλασης της κάμψης δηλαδή του φωτός κατά τη διάδοσή του από το ένα οπτικό μέσο σε ένα άλλο διαφορετικής πυκνότητας π. χ από τον αέρα στο γυαλί. Τα πρώτα τηλεσκόπια χρησιμοποίησαν ένα φακό για τη συλλογή του φωτός δηλαδή ήταν διαθλαστικά.



Ο Γαλιλαίος ήταν ο πρώτος<sup>1</sup> που χρησιμοποίησε ένα τέτοιο τηλεσκόπιο (μόνο 1-2 ίντσες) για αστρονομική χρήση, για να παρατηρήσει τις φάσεις της Αφροδίτης και τους δορυφόρους του Δία. Το σύγχρονο διαθλαστικό τηλεσκόπιο αποτελείται από ένα σύστημα φακών (κοίλων, κυρτών ή επίπεδων) μέσα σε ένα σωλήνα. γύρω από τον αντικειμενικό και από ένα κάτοπτρο κοντά στον σύνθετο προσοφθάλμιο που επιτρέπει την αναστροφή του ειδώλου για πιο άνετη θέση παρατήρησης.

Το μειονέκτημα των διαθλαστικών τηλεσκοπίων έγκειται στην δυσκολία κατασκευής φακών μεγάλης διαμέτρου που καμπυλώνουν κάτω από το ίδιο το βάρος τους, στη δυσκολία στήριξής τους, στην απορρόφηση και σκέδαση του φωτός από το γυαλί αλλά και στη χρωματική εκτροπή (ή χρωματικό σφάλμα των φακών) που οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος του προσπίπτοντος και διαθλόμενου φωτός που προσδίδει πολλές φορές γύρω από το σχηματιζόμενο είδωλο μία άλω ουράνιου τόξου.



Γι αυτό το λόγο το μεγαλύτερο διαθλαστικό τηλεσκόπιο περιορίζεται σε διάμετρο 102 cm (1.02 m) στο αστεροσκοπείο Yerkes στο Wisconsin (1897). Το χρωματικό σφάλμα συνήθως διορθώνεται εν μέρει ή ολικώς από αχρωματικούς ή αποχρωματικούς φακούς (δύο φακούς με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης), μεγαλύτερου όμως κόστους.

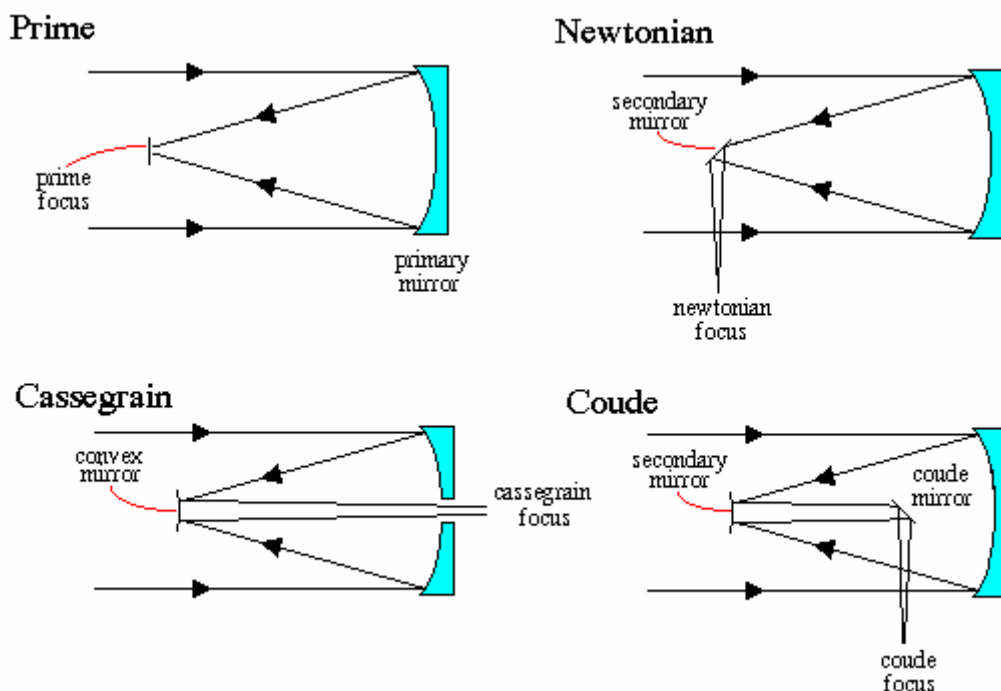
### 4.3.2 Κατοπτρικά ή ανακλαστικά τηλεσκόπια (reflectors)

Για την κατασκευή μεγαλύτερων τηλεσκοπίων με σκοπό τη συλλογή περισσότερου φωτός από αμυδρά αντικείμενα, τα περισσότερα οπτικά τηλεσκόπια είναι ανακλαστικά δηλαδή χρησιμοποιούν ένα κοίλο κάτοπτρο (κύριο ή πρωτεύον) που ανακλά τις προσπίπτουσες ακτίνες και σχηματίζει την εικόνα του αντικειμένου στην κύρια εστία (Σχ. α). Επειδή οι ακτίνες των αστρικών αντικειμένων είναι παράλληλες το κύριο κάτοπτρο είναι παραβολικό. Χρησιμοποιώντας παραβολικά κάτοπτρα περιορίζεται το σφάλμα της χρωματικής εκτροπής, αλλά παραμένουν τα υπόλοιπα (κόμη, αστιγματισμός και παραμόρφωση πεδίου) γι αυτό τα μεγάλα τηλεσκόπια χρησιμοποιούν ένα

<sup>1</sup> Η εφεύρεση του τηλεσκοπίου αποδίδεται στον Ολλανδό Hans Lippershey (1608) που κατασκεύασε ένα σωλήνα, με έναν κοίλο και έναν κυρτό φακό που μπορούσε να μεγενθύνει τα αντικείμενα έως 3-4 φορές. Ο Γαλιλαίος (1609) σχεδίασε και βελτίωσε το αρχικό σχέδιο και το χρησιμοποίησε στην αστρονομία

διορθωτικό σύστημα φακών σε μικρή απόσταση από την κύρια εστία (prime focus corrector). Τα περισσότερα τηλεσκόπια χρησιμοποιούν ένα σύστημα τριών φακών ενώ αυτά που χρησιμοποιούν κάτοπτρα υδραργύρου χρησιμοποιούν σύστημα τεσσάρων στοιχείων για να διορθώνουν την παραμόρφωση.

Ανάλογα με τη θέση της εστίας (παρατηρητής) υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι (Σχήμα ) οι οποίοι επιλέγονται ανάλογα με τη χρήση του τηλεσκοπίου. Έτσι στα μικρά τηλεσκόπια ο πρωτεύον τύπος (σχ.α) δεν είναι εύχρηστος γιατί ο παρατηρητής πρέπει να παρεμβάλλεται στην πορεία των ακτίνων κι άρα να χάνει μέρος της φωτεινής δέσμης. Στα Cassegrain (σχ.γ) η φωτεινή δέσμη ανακλάται σε μία οπή στον πρωτεύοντα και πίσω από αυτόν όπου μπορούν να τοποθετηθούν οι ανιχνευτές ή ο προσοφθάλμιος. Αυτό το σχεδιασμό ακολουθούν πολλά από τα μεγάλα τηλεσκόπια καθώς και το HST. Τα περισσότερα εμπορικά τηλεσκόπια είναι νευτώνεια (σχ.β) όπου παρεμβάλλεται ένα μικρό επίπεδο διαγώνιο κάτοπτρο το οποίο εκτρέπει τις ακτίνες σε ένα προσοφθάλμιο φακό στο πλαϊνό μέρος του τηλεσκοπίου. Ο Νευτώνιος τύπος επιλέγεται και για μεγάλα τηλεσκόπια (διάμετρος κατόπτρου μεγαλύτερη από 2 m) γιατί περιέχει το μικρότερο αριθμό οπτικών στοιχείων που παρεμβάλλονται στην πορεία του φωτός και μπορούν να επιφέρουν παραμορφώσεις.



Το μεγαλύτερο μονολιθικό ανακλαστικό τηλεσκόπιο είναι το LBT (8.4 m) και τα δύο Keck I και II των 10 m που αποτελούνται από 36 ανεξάρτητα εξαγωνικά κομμάτια .

Όταν για την ανίχνευση φωτός χρησιμοποιείται ένα βαρύ όργανο όπως μία κάμερα CCD αυτή τοποθετείται στην εστία Cassegrain και για ακόμα βαρύτερα όργανα το φως ανακλάται με βοηθητικά κάτοπτρα σε ξεχωριστούς χώρους κάτω από το τηλεσκόπιο (σχεδίαση Coude, σχ δ).

Η κατασκευή όμως πολύ μεγάλων κατόπτρων περιορίζεται από την παραμόρφωση του ίδιου του υλικού τους γι αυτό και τα ανακλαστικά

περιορίζονται σε διάμετρο πρωτεύοντος κατόπτρου 8 m. Τα δίδυμα τηλεσκόπια Keck αποτελούν τα μεγαλύτερα του κόσμου χρησιμοποιώντας τεχνολογία σύνθεσης (segmented) του πρωτεύοντος ώστε να συνιστούν ένα κάτοπτρο των 10 m.

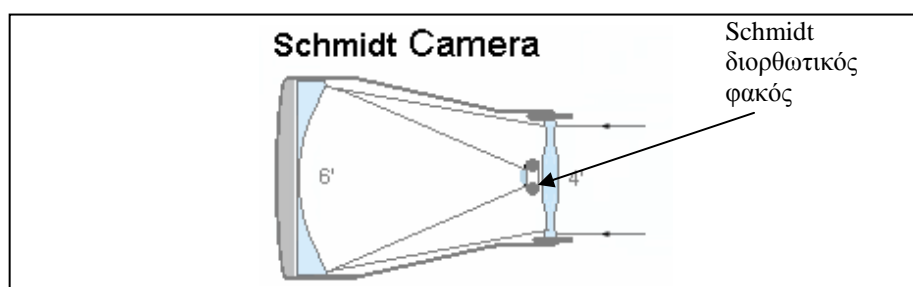
Αν και τα κάτοπτρα δεν εμφανίζουν χρωματική εκτροπή, εμφανίζουν άλλα σφάλματα που είναι

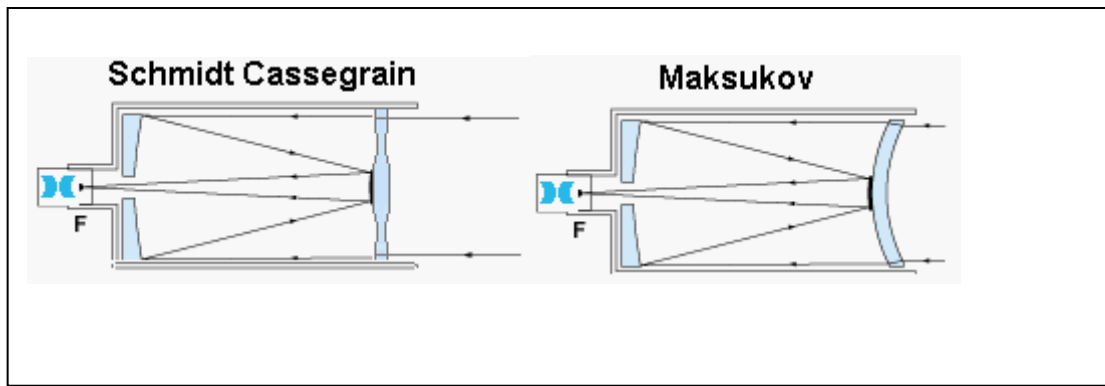
- **Σφαιρική εκτροπή (Spherical aberration)** όταν η φωτεινή δέσμη δεν εστιάζεται σε ένα σημείο λόγω της διαφορετικής εστίασης του ανακλώμενου φωτός από το κέντρο και τα άκρα του πρωτεύοντος. Αυτή οφείλεται στην απόκλιση του κατόπτρου ή φακού από την σωστή καμπυλότητά του. Από το σφάλμα της σφαιρικής εκτροπής διορθώθηκε και το HST (1993).
- **Αστιγματισμό** – όταν το κάτοπτρο δεν είναι συμμετρικό ως προς το κέντρο του π.χ ωειδές και το είδωλο εστιάζεται σε σταυρό παρά σε σημεία.
- **Κόμη** – οι αστέρες που βρίσκονται κοντά στην άκρη του πεδίου φαίνονται επιμηκυμένοι –όπως οι κομήτες- ενώ αυτοί στο κέντρο φαίνονται σαν φωτεινά σημεία..

Επιπλέον όλα τα ανακλαστικά τηλεσκόπια έχουν απώλειες λόγω της παρεμβολής του δευτερεύοντος κατόπτρου και λόγω ατελειών της ανακλαστικής επίστρωσής τους . Τα παραβολικά κάτοπτρα δεν παρουσιάζουν σφαιρική εκτροπή αλλά παρουσιάζουν το σφάλμα της κόμης και παράγουν καλές εικόνες μόνο για το κέντρο του πεδίου οράσεως.

#### 4.3.3 Καταδιοπτρικά ή συμπαγή τηλεσκόπια (catadioptric, compound)

Για μεγαλύτερα πεδία υπάρχουν τα καταδιοπτρικά τηλεσκόπια που συνδυάζουν σφαιρικά κάτοπτρα και φακούς (ή σύνθετο φακό από διαφορετικά υλικά) για να εστιάσουν το φως στο πρωτεύον κάτοπτρο το οποίο στη συνέχεια ανακλάται στο δευτερεύον και διορθώνεται από φακό. Χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες τα Schmidt, τα Schmidt-Cassegrain και τα Maksutov από το όνομα των σχεδιαστών τους. Τα πρώτα φέρουν το όνομα του κατασκευαστή τους και της φερώνυμης κάμερας που κατασκεύασε για το Palomar (1930) με την προσθήκη ενός διορθωτικού φακού (παχύτερου στο μέσο απ'ότι στην άκρη) στην είσοδο του σφαιρικού πρωτεύοντος κατόπτρου του τηλεσκοπίου για διορθώσει το σφάλμα της σφαιρικής εκτροπής και να καλύψει την ανάγκη ενός πολύ ευρέος οπτικού πεδίου. Το αποτέλεσμα θυμίζει ένα κλασικό Cassegrain εκτός από το γεγονός ότι ο διορθωτικός φακός έχει πολύ μεγάλη καμπυλότητα ώστε να αναγκάζει το κάτοπτρο πίσω του να είναι 1.5 φορές μεγαλύτερό του αλλά και δεν υπάρχει οπή στον πρωτεύοντα και ο δευτερεύον έχει αντικατασταθεί από φωτογραφική πλάκα (Σχήμα).





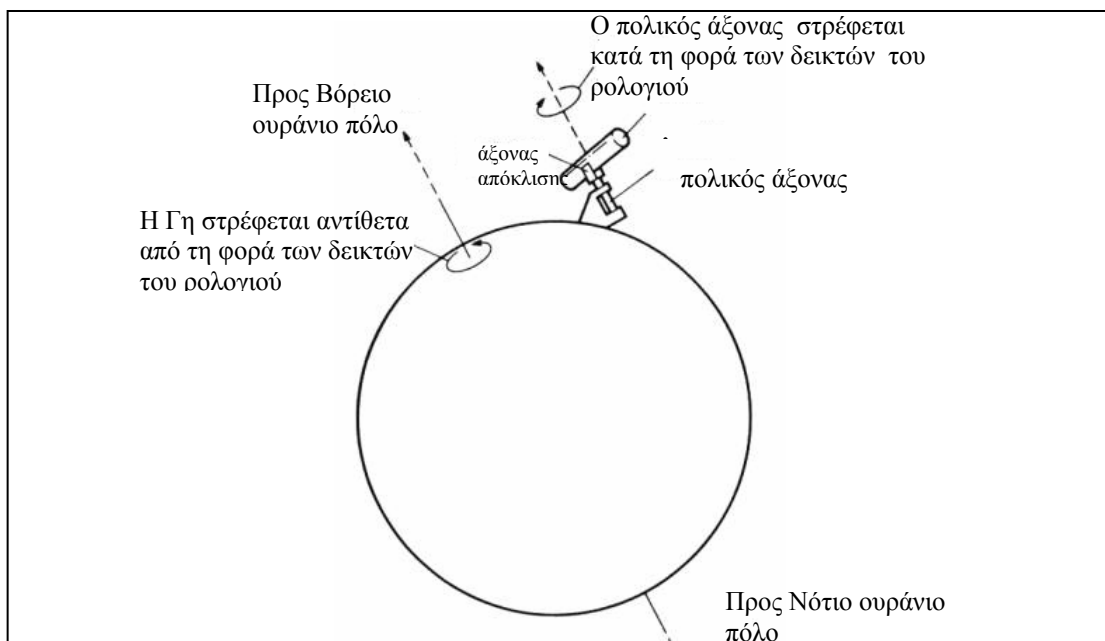
Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι 1) ο συμπαγής σχεδιασμός τους, διότι με τη συνεχή ανάκλαση των ακτίνων μέσα σε έναν οπτικό σωλήνα π.χ τέσσερις φορές μικρότερο από ένα κατοπτρικό ή διοπτρικό, μπορεί να επιτευχθεί η ίδια εστιακή απόσταση όσο και 2) το μεγάλο πεδίο οράσεως (πολλές τετραγωνικές μοίρες) σε σχέση με τα κατοπτρικά ή διοπτρικά που όσο μεγαλύτερα είναι τόσο περιορισμένο οπτικό πεδίο έχουν.

Μία παραλλαγή αποτελεί το Schmidt-Cassegrain, το οποίο χρησιμοποιεί ένα σφαιρικό πρωτεύον κάτοπτρο με διορθωτικό φακό Schmidt και στη συνέχεια ένα μικρότερο δευτερεύον κάτοπτρο στο μπροστινό μέρος που ανακλά το φως σε μία Cassegrain εστία. Τα Maksutov χρησιμοποιούν σφαιρικά πρωτεύοντα κάτοπτρα και δευτερεύοντα που πολλές φορές αποτελούν μέρος του διορθωτικού φακού που έχει το σχήμα μηνίσκου μεγάλης καμπυλότητας και δίνουν τη δυνατότητα ακόμη μεγαλύτερης συμπίεσης του οπτικού δρόμου.

#### 4.3.4 Στήριξη τηλεσκοπίων

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι στήριξης

- Αλταζιμουθιανή (Alt/Az) στήριξη: δυνατότητα κίνησης καθ' ύψος και οριζόντια (ένας κάθετος άξονας κι ένας οριζόντιος άξονας). Οικονομικότερη στήριξη αλλά χρειάζεται έλεγχος μέσω υπολογιστή για μεγαλύτερους στόχους αφού απαιτείται μετακίνηση σε δύο άξονες ταυτόχρονα για την παρακολούθηση της θέσης των αστερών
- Ισημερινή στήριξη: δυνατότητα κίνησης παράλληλα και κάθετα στον άξονα περιστροφής της Γης. Ο πολικός άξονας είναι κεκλιμένος παράλληλα με τον άξονα περιστροφής της Γης οπότε η κίνηση γύρω από αυτόν τον άξονα ακολουθεί την πορεία των αστερών. Δυσκολότερο σύστημα κατασκευαστικά αλλά πιο εύχρηστο. Τα περισσότερα τηλεσκόπια χρησιμοποιούν ισημερινή στήριξη αλλά τα μεγαλύτερα την αλταζιμουθιανή



#### 4.4 Ατμοσφαιρική διαταραχή

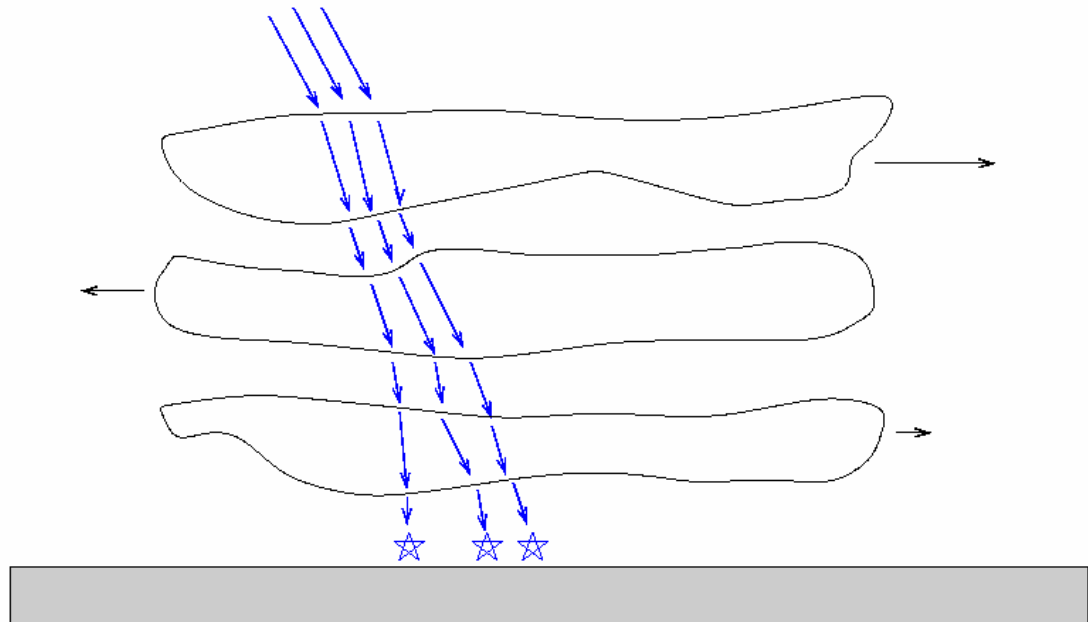
Η διακριτική ικανότητα των επίγειων τηλεσκοπίων περιορίζεται είτε λόγω της επιρροής εξωτερικών παραγόντων (κραδασμοί, άνεμοι, μεταβολή θερμοκρασίας) είτε λόγω της μεσολάβησης της ατμόσφαιρας στην πορεία των φωτεινών ακτίνων. Τα σύγχρονα μεγάλα τηλεσκόπια χρησιμοποιούν κάτοπτρα μικρού πάχους και μεγάλης διαμέτρου που τα κάνει εύκαμπτα κι άρα ευαίσθητα σε μεταβολές της καμπυλότητάς και της ευθυγράμμισής τους είτε λόγω του βάρους τους είτε λόγω φυσικών φαινομένων (μεταβολές θερμοκρασίας, άνεμοι). Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετώπιζαν οι κατασκευαστές ήταν ότι όσο μεγαλύτερο είναι το κάτοπτρο τόσο ισχυρότερη τάση έχει να παραμορφώνεται καθώς περιστρέφεται. Γι αυτό έχουν ενσωματωμένα συστήματα αισθητήρων που παρακολουθούν την παραμόρφωσή τους και τη διορθώνουν (**ενεργός οπτική**) φτάνοντας σε διακριτική ικανότητα έως και 0.2" υπό ιδανικές συνθήκες παρατήρησης .

Ακόμα όμως κι ένα μεγάλης διαμέτρου επίγειο τηλεσκόπιο τέλειο κατασκευαστικά δε θα μπορεί να έχει πολύ καλύτερη γωνιακή διακριτική ικανότητα από ένα μικρότερο λόγω ατμοσφαιρικής διαταραχής. Κάθε στρώμα της ατμόσφαιρας λόγω των διαφορετικών συνθηκών χαρακτηρίζεται από το δικό του δείκτη διάθλασης με αποτέλεσμα η φωτεινή δέσμη να κάμπτεται σε διαφορετικές γωνίες μέχρι να φτάσει στη Γη. Επιπλέον η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε διαρκή κίνηση (τυρβώδη) αφού κάθε στρώμα αέρα σε διαφορετικό ύψος κινείται με διαφορετική ταχύτητα οπότε και το ποσό διάθλασης της φωτεινής δέσμης σε κάθε στρώμα διαρκώς μεταβάλλεται. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η μετακίνηση του αστρικού ειδώλου. Το φαινόμενο εντείνεται όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της ατμόσφαιρας που παρεμβάλλεται, γι αυτό και τα οπτικά τηλεσκόπια βρίσκονται στις κορυφές υψηλών βουνών.

Η ποιότητα των αστρονομικών παρατηρήσεων που οφείλεται σ' αυτήν χαρακτηρίζεται από το αστρονομικό **seeing** της δεδομένης νύχτας και καθορίζει τον κύκλο μέσα στον οποίο διασπείρεται το φως μιας σημειακής πηγής. Χωρίς την εφαρμογή ιδιαίτερης τεχνικής το σύνηθες παρατηρησιακό όριο είναι 1 arcsec για μια καλή νύχτα και στις ατμοσφαιρικές συνθήκες της κορυφής βουνών οι οποίες επιλέγονται για τα σύγχρονα τηλεσκόπια όπως είναι το Ευρωπαϊκό Βόρειο Αστεροσκοπείο στις Άνδεις (Χιλή). Προς αποφυγή της ατμοσφαιρικής επίδρασης τοποθετήθηκε το 1990 το Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble των 2.4 m στο διάστημα επιτυγχάνοντας γωνιακή διακριτική ικανότητα 0.05 arcsec.

Με την είσοδο ενός μικρού ευμετάβλητου κατόπτρου στη διαδρομή του φωτός μέσα στο τηλεσκόπιο ή ξεχωριστά πίσω από την εστία του μετράται (με τη βοήθεια μικρών εμβόλων) η παραμόρφωση που επιφέρει η γήινη ατμόσφαιρα και εφαρμόζονται οι κατάλληλες διορθώσεις (αντίστροφη παραμόρφωση) ώστε να επιτυγχάνεται την καλύτερη δυνατή αποκατάσταση της αστρικής εικόνας.επανέρχεται στην ίδια κατάσταση (πληροφορία) που είχε το ηλεκτρομαγνητικό κύμα πριν την είσοδό του στην ατμόσφαιρα προσαρμοστική

οπτική). Για την ακρίβεια της μεθόδου απαιτείται η παρακολούθηση μιας φωτεινής πηγής κοντά στο παρατηρούμενο αντικείμενο κι επειδή αυτό δεν είναι πάντα εφικτό (για μικρά πεδία) χρησιμοποιούνται τεχνητές φωτεινές πηγές με laser (90 km πάνω από την επιφάνεια της Γης )



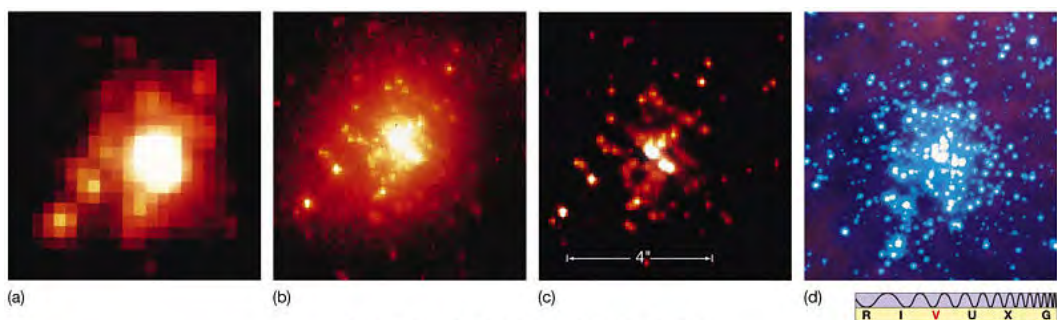
θα πρέπει να σημειωθεί ότι για να περιοριστεί η παραμόρφωση από το βάρος των μεγάλων κατόπτρων στα σύγχρονα τηλεσκόπια σχηματίζεται μία μεγάλη συλλεκτική επιφάνεια με τη χρήση μικρότερων επιμέρους κατόπτρων ενώ ακόμα πιο πρωτοποριακή υπήρξε η κατασκευή υγρών κατόπτρων από υδράργυρο.

#### 4.5 Καταγραφή εικόνας

Οι αστρονομικές παρατηρήσεις απαιτούν πάντα τη σύζευξη του τηλεσκοπίου με ένα κατάλληλο ανιχνευτικό σύστημα. Έτσι για άμεση οπτική παρατήρηση απαιτείται η σύζευξη τηλεσκοπίου-οφθαλμού, όπως φαίνεται από το σχέδιο του νεφελώματος Helix όπως φαίνεται στον προσοφθάλμιο ενώ για την καταγραφή της παρατηρούμενης εικόνας απαιτείται η σύζευξη τηλεσκοπίου-φωτογραφικής κάμερας ή κάμερας CCD η οποία έχει την καλύτερη δυνατή απόκριση σε σχέση με τους άλλους ανιχνευτές όπως φαίνεται στην εικόνα του ίδιου νεφελώματος (μετά από επιπρόσθεση πολλών εικόνων σε διαφορετικά φίλτρα).



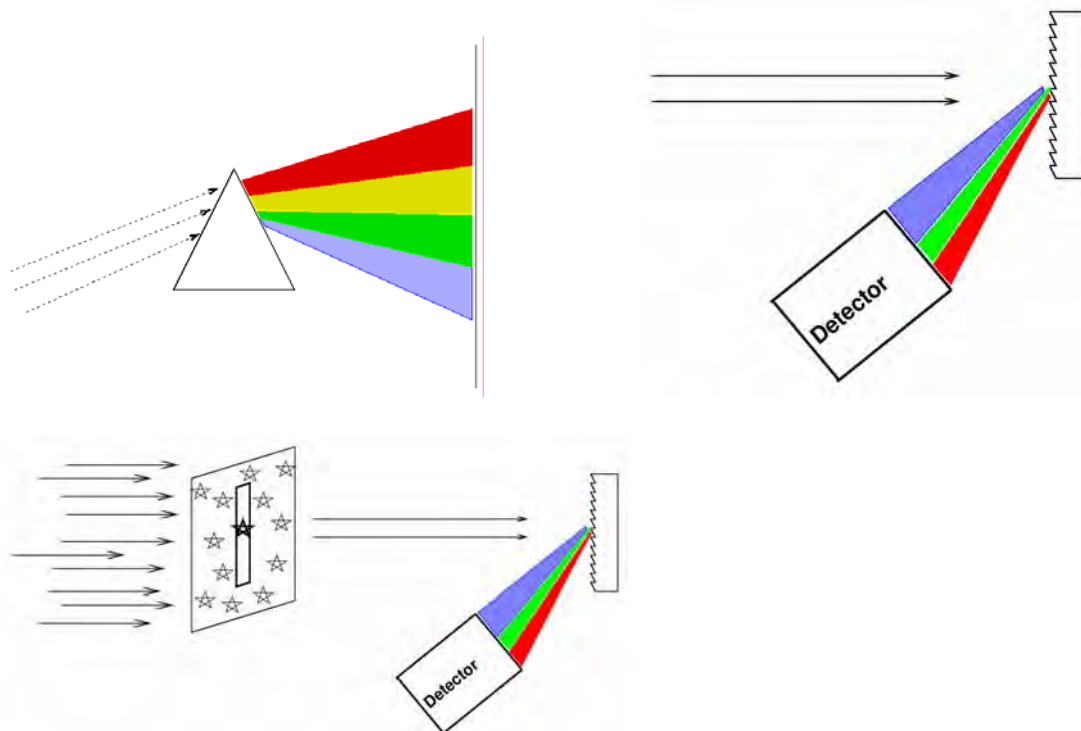
Πέρα από την κλασική μέθοδο της φωτογραφίας με την οποία καταγράφεται μόνο το 5% του φωτός, η πληροφορία (90%) ανιχνεύεται με CCD κάμερα που προσαρμόζεται στην έξοδο του τηλεσκοπίου και αναπαράγεται ηλεκτρονικά μέσω υπολογιστή. Μια κάμερα CCD είναι ένας ανιχνευτής συζευγμένου φορτίου που αποτελείται από διατεταγμένα στοιχεία ημιαγώγιμου υλικού ευαίσθητου στο φως (πυρίτιο) ώστε κάθε φορά που πέφτουν πάνω τους φωτόνια (από τη φωτεινή πηγή) απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (σε αναλογία με τα φωτόνια). Η σύγχρονη μέθοδος επεξεργασίας εικόνας (image processing) καθιστά δυνατή την ανάδειξη των επιμέρους χαρακτηριστικών των αστρονομικών αντικειμένων όπως φαίνεται συγκριτικά στην απεικόνιση του σμήνους R136 (α) από τη Γη, (β) από το HST πριν τη διόρθωσή του και χωρίς επεξεργασία εικόνας, (γ) από το HST με επεξεργασία εικόνας και (δ) μετά τη διόρθωσή του (1994)



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Για φωτομετρικές παρατηρήσεις (συνολική δηλαδή καταγραφή της ακτινοβολίας) απαιτείται η σύζευξη τηλεσκοπίου-φωτομέτρου το οποίο μετατρέπει μέσω της φωτοκαθόδου του φωτοπολλαπλασιαστή την οπτική ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Για φασματοσκοπικές παρατηρήσεις που στοχεύουν στη λήψη και την καταγραφή του φάσματος μιας αστρικής πηγής απαιτείται η σύζευξη τηλεσκοπίου-φασματογράφου.

Ένας φασματογράφος χαρακτηρίζεται από ένα στοιχείο διασποράς της ακτινοβολίας, συνήθως πρίσμα ή φράγμα περίθλασης, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η ανάλυση του φωτός.

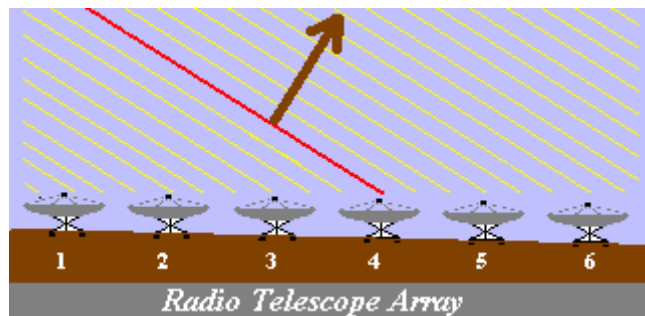


Το πρίσμα παρέχει εν γένει λαμπρότερα φάσματα απ' ότι το φράγμα, λόγω της διασποράς του φωτός από το τελευταίο σε κροσσούς συμβολής. Το φράγμα όμως υπερέχει λόγω του ότι η κλίμακα του μήκους κύματος στα παρατηρούμενα φάσματα είναι γραμμική και μεγαλύτερο μέρος του φωτός φτάνει στον ανιχνευτή και δεν χάνεται από απορροφήσεις και σκεδάσεις πάνω στο πρίσμα. Συνήθως τοποθετείται μία σχισμή στο εστιακό επίπεδο του τηλεσκοπίου με κέντρο το μελετούμενο αντικείμενο ώστε να φτάνει στο φράγμα ή στο πρίσμα μόνο το φως που περνά από τη σχισμή κι έτσι το παρατηρούμενο φάσμα να έχει τη χαρακτηριστική μορφή των κάθετων φασματικών γραμμών σε ένα οριζόντιο υπόβαθρο

#### 4.6 Ραδιοτηλεσκόπια

Τηλεσκόπια υπό την ευρύτερη έννοια υπάρχουν και για την παρατήρηση της ακτινοβολίας στα υπόλοιπα μέρη του φάσματος, ακόμα και για τη μελέτη εξωτικών μορφών ακτινοβολίας όπως είναι τα νετρίνα ή η βαρύτητα. Η ραδιοαστρονομία ξεκίνησε από την έρευνα του Karl Janskys το 1931 ο οποίος κατέγραψε το ραδιοφωνικό υπόβαθρο του κέντρου του Γαλαξία μας και αναπτύχθηκε ραγδαία μετά το Β Παγκόσμιο Πόλεμο. Επειδή τα ραδιοφωνικά κύματα ανακλώνται από τα μέταλλα, τα ραδιοτηλεσκόπια κατασκευάζονται από «πιάτα» από αλουμίνιο ή μείγμα ατσαλιού χωρίς περιορισμό διαμέτρου, τα οποία συλλέγουν και εστιάζουν τη ραδιοφωνική ακτινοβολία των αντικειμένων σε δέκτες. Λόγω του μεγαλύτερου μήκους κύματος (από mm έως km) για να

επιτύχουν την ίδια διακριτική ικανότητα με ένα οπτικό τηλεσκόπιο πρέπει να έχουν πολύ μεγάλη διάμετρο πρωτεύοντος .



Παράδειγμα: Ένα οπτικό τηλεσκόπιο των 100 cm για  $\lambda = 0.5 \mu$  έχει διακριτική ικανότητα  $0.25 \times 0.5/1 = 0.125 \text{ arcsec}$ , πολύ καλύτερη από ένα ραδιοτηλεσκόπιο των 25 m στο 1 m [ $0.25 \times (1 \times 10^{-6}) / 25 = 10.000 \text{ arc secs}$ ].

Για την επίτευξη καλύτερης διακριτικής ικανότητας χρησιμοποιείται το φαινόμενο της συμβολής όπου με τη χρήση πολλών κεραιών που λειτουργούν συγχρόνως, τη μέτρηση και το συνδυασμό των σχημάτων συμβολής από μακρινές πηγές (Σχήμα), κατασκευάζονται λεπτομερείς χάρτες της ραδιοφωνικής εκπομπής, όπως συμβαίνει με την Πολύ Μεγάλη Διάταξη (VLA) στο Νέο Μεξικό (Σχήμα) όπου τα ραδιοτηλεσκόπια βρίσκονται πάνω σε σιδηροδρομικές γραμμές για εύκολη αναδιάταξη.



Επέκταση της ίδιας τεχνικής αποτελεί η συμβολομετρική διάταξη 10 ραδιοτηλεσκοπίων μεγέθους 25 μέτρων που καλύπτουν μια έκταση 8600 m σε διαφορετικές ηπείρους (Very-long-baseline interferometry (VLBI) με την οποία επιτυγχάνεται διακριτική ικανότητα 0.001 arcsec (0.0002).

Η τεχνική της συμβολομετρίας χρησιμοποιείται και στα οπτικά τηλεσκόπια προκειμένου να αυξηθεί η γωνιακή διακριτική ικανότητα όπως στα δύο τηλεσκόπια των 10 μέτρων Keck I και II και στο Πολύ Μεγάλο Τηλεσκόπιο (VLT) που συνδυάζει 4 ανεξάρτητα τηλεσκόπια των 8 μέτρων στη Βόρεια Χιλή.

#### **4.7 Τηλεσκόπια ακτίνων Χ**

Τα τηλεσκόπια των ακτίνων Χ είναι διαφορετικά από τα οπτικά αφού τα φωτόνια των ακτίνων Χ δεν ανακλώνται όπως τα οπτικά αλλά λόγω της μεγάλης τους ενέργειας απορροφώνται όταν προσπέσουν στην επιφάνεια ενός κατόπτρου και τη διαπερνούν -όπως όταν μία σφαίρα εισχωρεί σε ένα τοίχο. Όπως όμως οι σφαίρες όταν χτυπήσουν τον τοίχο υπό γωνία αναπηδούν, έτσι και οι ακτίνες Χ αναπηδούν όταν προσπέσουν στο κάτοπτρο υπό μικρή γωνία. Γι αυτό το λόγο τα κάτοπτρα των σύγχρονων τηλεσκοπίων ακτίνων Χ (Chandra) μοιάζουν περισσότερο με γυάλινους κυλίνδρους (ώστε να είναι σχεδόν ευθυγραμμισμένα με τις προσπίπτουσες ακτίνες Χ) παρά σαν τα πιάτα των κλασικών οπτικών τηλεσκοπίων. Τα κάτοπτρα εστιάζουν τα φωτόνια Χ σε προηγμένους ανιχνευτές οι οποίοι καταγράφουν τη θέση, την ενέργεια των φωτονίων και μετά την ανάλυση των δεδομένων ανασυστήνονται οι εικόνες των ουράνιων αντικειμένων τα οποία τα εξέπεμψαν