

Ἐξ ὧν τεκμαιρομένοις οὐ μόνον σφαιροειδῆ τὸν ὄγκον ἀναγκαῖον εἶναι τῆς γῆς, ἀλλὰ καὶ μὴ μέγαν πρὸς τὸ τῶν ἄλλων ἀστρων μέγεθος.

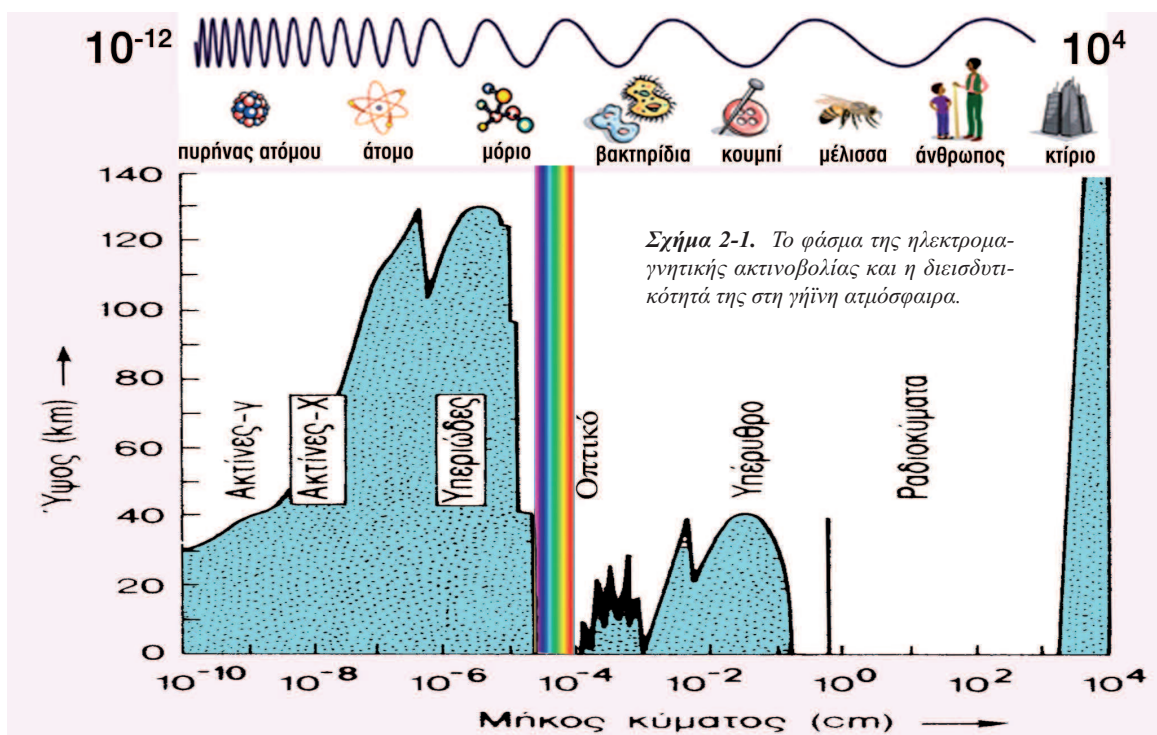
Ἀριστοτέλης

(384-323 π.Χ.)

2.1. Γενικά

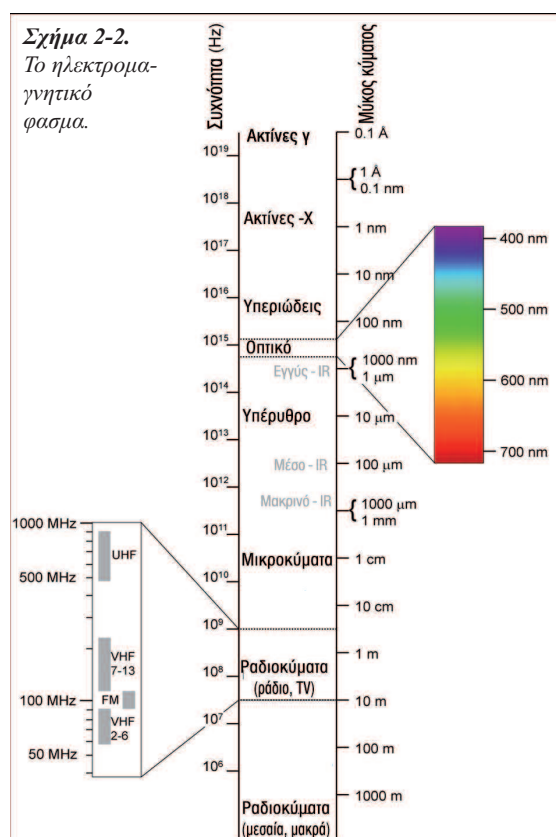
Για τη μελέτη του Σύμπαντος η μόνη σχεδόν πηγή πληροφοριών που διαθέτουμε είναι οι κάθε μορφής ακτινοβολίες που εκπέμπουν τα διάφορα ουράνια σώ-

ματα. Οι ακτινοβολίες αυτές ύστερα από ταξίδι διάρκειας λίγων λεπτών μέχρι και δισεκατομμυρίων ετών φθάνουν στη Γη κουβαλώντας μαζί τους πολύτιμες πληροφορίες τόσο για τις πηγές από τις οποίες προέρχονται όσο και για το μεσοαστρικό χώρο όπου ταξιδεύ-



ψαν.

Ένα τελικά σοβαρό εμπόδιο που συναντούν αυτές οι ακτινοβολίες, πριν φθάσουν στην επιφάνεια της Γης, είναι η γήινη ατμόσφαιρα. Η γήινη ατμόσφαιρα δεν επιτρέπει να περάσει το μεγαλύτερο μέρος των ακτινοβολιών αυτών και έτσι στέκεται εμπόδιο στη μελέτη του σύμπαντος, προστατεύοντας όμως τη ζωή πάνω στη Γη (Σχήμα 2-1). Ένα «παράθυρο» που αφήνει η γήινη ατμόσφαιρα, είναι το οπτικό παράθυρο. Από το παράθυρο αυτό περνούν οι ακτινοβολίες που προσβάλλουν τον οφθαλμό και τη φωτογραφική πλάκα και για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε πρώτα η **οπτική αστρονομία** (Σχήμα 2-2).



Σχετικά πρόσφατα (1931) ανακαλύφθηκε ένα δεύτερο «παράθυρο» στην περιοχή των ραδιοκυμάτων και έτσι αναπτύχθηκε η **ραδιοαστρονομία**, που έφερε πραγματική επανάσταση στις γνώσεις μας για το Σύμπαν (Σχήμα 2-2).

Τέλος, μετά από το 1961, με την εφεύρεση του βολομέτρου γερμανίου επιχρισμένου με γάλλιο καθώς και με την ανάπτυξη αισθητήρων ευαίσθητων στα μεγάλα μήκη κύματος άνοιξε στην περιοχή του υπέρυθρου και ένα τρίτο «παράθυρο» στη γήινη ατμόσφαιρα και έτσι αναπτύχθηκε η **αστρονομία του υπέρυθρου**, που σήμερα γνωρίζει ιδιαίτερη άνθιση με τη βοήθεια δορυφόρων. Ιδιαίτερος πρέπει να αναφερθούν τα διαστημικά τηλεσκόπια Spitzer (εκτοξεύθηκε στις 25 Αυγούστου 2003) και Herschel (14 Μαΐου 2009), τα οποία άνοιξαν νέους ορίζοντες στη μελέτη γαλαξιών, νεφελωμάτων και γένεσης αστερών (Σχήμα 2-3).

Αξίζει όμως να σημειώσουμε ότι με την ανάπτυξη των αστρονομικών δορυφόρων (Ιππαρχος, Exosat, COS-B, Einstein, κλπ.) έγινε δυνατή η εκτέλεση παρατηρήσεων έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων κλάδων, όπως είναι η **αστρονομία του υπεριώδους**, η **αστρονομία των ακτίνων-X** και η **αστρονομία των ακτίνων-γ**. Τα διαστημικά τηλεσκόπια ακτίνων-x, Chandra (εκτοξεύθηκε στις 23 Ιουνίου 1999) και ακτίνων-γ, Fermi (11 Ιουνίου 2008), των οποίων η συμβολή στη μελέτη των μελανών οπών, αστερών νετρονίων, ενεργών γαλαξιακών πυρήνων, σκοτεινής ύλης και, γενικά, φαινομένων υψηλής ενέργειας είναι πολύ σημαντική (Σχήμα 2-4).

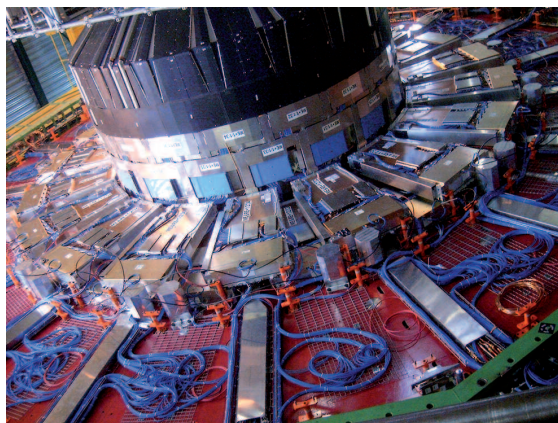
Δεν πρέπει φυσικά να παραλείψουμε να αναφέρουμε και την **αστρονομία κοσμικών ακτίνων**, που στα τελευταία τριάντα χρόνια της εβδομηντάχρονης περίπου ζωής της γνώρισε ιδιαίτερη άνθιση, καθώς και την πολύ νεώτερη **αστρονομία κυμάτων Βαρύτητας**, από την οποία αναμένονται πολλά, λόγω των πειραμά-

των GEO 600, VIRGO, LIGO (Σχήμα 2-5), LISA και του μεγάλου επιταχυντή αδρονίων (LHC) στο CERN (Σχήμα 2-6).

2.2. Οπτικά τηλεσκόπια

Για όλους τους κλάδους της Παρατηρησιακής Αστρονομίας, που αναφέραμε, βασικό όργανο είναι ένας συλλέκτης ακτινοβολίας, που συνοδεύεται από διάφορα βοηθητικά όργανα για την ανάλυση και τη μελέτη της.

Προκειμένου για την οπτική αστρονομία το βασικό όργανο είναι το οπτικό τηλεσκόπιο. Υπάρχουν δυο είδη οπτικών τηλεσκοπίων, τα **Διοπτρικά** ή **Δια-**



Σχήμα 2-6. Ο μεγάλος ευρωπαϊκός επιταχυντής αδρονίων, Large Hadron Collider (LHC), στο CERN.

Σχήμα 2-5. Ένας από τους δύο ανιχνευτές κυμάτων βαρύτητας του πειράματος LIGO, που βρίσκεται στο Livingston της Πολιτείας Washington, Η.Π.Α.



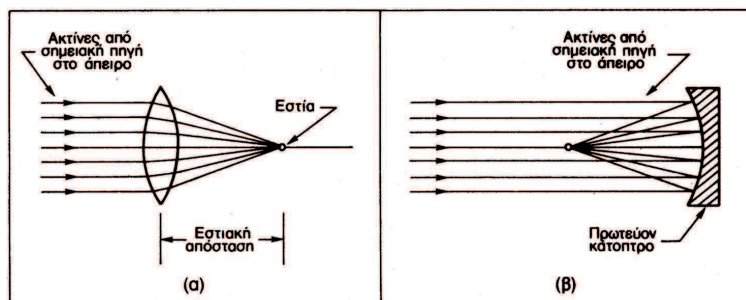




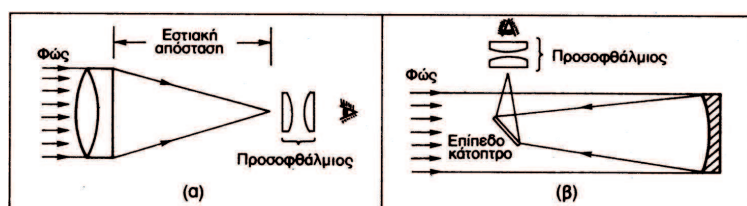
Σχήμα 2-3. Τα μεγάλα δια-
στημικά τηλεσκόπια Υπερύ-
θρων α) *Spitzer*
β) *Herschel*.
(Αριστερά)

Σχήμα 2-4. α) Το διαστημικό
τηλεσκόπιο *Fermi* ακτίνων-γ
και β) Το διαστημικό τηλε-
σκόπιο *Chandra* ακτίνων-Χ.
(Δεξιά)

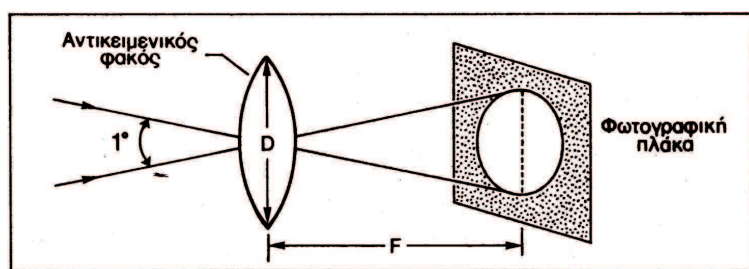




Σχήμα 2-7. Εστίαση α) με φακό και β) με κάτοπτρο.



Σχήμα 2-8. Αρχή λειτουργίας α) διοπτρικού τηλεσκοπίου και β) κατοπτρικού τηλεσκοπίου.



Σχήμα 2-9. Ορισμός της κλίμακας ειδώλων.

Θλαστικά και τα Κατοπτρικά. Στα διοπτρικά το φως συλλέγεται από ένα φακό (ή ένα σύστημα φακών), που λέγεται **αντικειμενικός**, ενώ στα κατοπτρικά από ένα παραβολοειδές κάτοπτρο, που λέγεται **πρωτεύον κάτοπτρο**.

Το είδωλο που σχηματίζεται στην εστία του συλλέκτη είναι πραγματικό (Σχήμα 2-7α και 2-7β). Το είδωλο αυτό μπορούμε να το φωτογραφίσουμε ή να το φωτομετρήσουμε ή να πάρουμε το φάσμα του είτε να το εξετάσουμε αφού προηγουμένως το μεγεθύνουμε με ένα μεγθυντικό φακό, που λέγεται **προσοφθάλμιος** (Σχήματα 2-8α και 2-8β). Τελικά το είδωλο που σχηματίζει ο προσοφθάλμιος εξαρτάται τόσο από το είδος του όσο και από τη θέση του ως προς το εστιακό επίπεδο του αντικειμενικού ή του πρωτεύοντος κατόπτρου.

2.3. Χαρακτηριστικά στοιχεία ενός τηλεσκοπίου

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός τηλεσκοπίου είναι:

1. **Ο τύπος:** Διοπτρικό ή Κατοπτρικό.
2. **Το είδος στήριξης:** Αλταζιμουθιακή, Ισημερινή, Μεσημβρινή.
3. **Η διάμετρος, D,** του αντικειμενικού φακού ή του πρωτεύοντος κατόπτρου.
4. **Η εστιακή απόσταση, F,** του αντικειμενικού φακού ή του πρωτεύοντος κατόπτρου.
5. **Ο εστιακός λόγος, f/,** που ισούται με F/D . Για παράδειγμα, αν π.χ. $D = 20 \text{ cm}$ και $F = 300 \text{ cm}$ τότε ο εστιακός λόγος γράφεται $f/15$.
6. **Η κλίμακα του ειδώλου,** που καθορίζει πόσα δεύτερα λεπτά τόξου στον ουρανό αντιστοι-

χούν σε 1 mm πάνω στο εστιακό επίπεδο ή στη φωτογραφική πλάκα (Σχήμα 2-9).

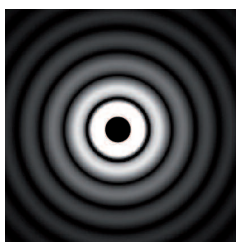
7. Η μεγέθυνση, M . Αυτή ισούται με το λόγο της γωνίας με την οποία βλέπουμε το αντικείμενο, με τη βοήθεια του τηλεσκοπίου, προς τη γωνία με την οποία βλέπουμε το αντικείμενο χωρίς τηλεσκόπιο. Η μεγέθυνση M δίνεται από τη σχέση:

$$M = F/f,$$

όπου f είναι η εστιακή απόσταση του προσοφθάλμιου φακού. Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση η μεγέθυνση ενός τηλεσκοπίου μεταβάλλεται εύκολα αλλάζοντας προσοφθάλμιους φακούς.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι η αύξηση της μεγέθυνσης έχει ως αποτέλεσμα τη σμίκρυνση του οπτικού πεδίου και την ελάττωση της λαμπρότητας του ειδώλου, μια και η σταθερή ποσότητα φωτός του ουρανού σώματος, που συγκεντρώνεται από το κύριο κάτοπτρο, κατανέμεται σε επιφάνεια μεγαλύτερης έκτασης. Η λαμπρότητα βέβαια του ειδώλου, εκτός από την περίπτωση του σημειακού εστιακού ειδώλου, εξαρτάται και από την εστιακή απόσταση του αντικειμενικού φακού ή του πρωτεύοντος κατόπτρου του τηλεσκοπίου.

8) Η διακριτική ικανότητα, ω . Το είδωλο ενός αστέρα, που μας δίνει ο αντικειμενικός φακός ή το πρωτεύον κάτοπτρο ενός τηλεσκοπίου, δεν είναι σημείο, αλλά ένας δίσκος (δίσκος του Airy) που αποτελείται από κυκλικούς, ομόκεντρους, εναλλασσόμενους σκοτεινούς και φωτεινούς, κροσσούς περίθλασης (Σχήμα 2-10). Η περίθλαση αυτή οφείλεται στο δακτύλιο που συγκρατεί τον αντικειμενικό φακό ή το πρωτεύον κάτοπτρο. Η ελάχιστη γωνιακή



Σχήμα 2-10. Δίσκος του Airy.

Η ελάχιστη γωνιακή

απόσταση ω δυο αστέρων, που μπορούν να παρατηρηθούν σαν ξεχωριστά σημεία, εξαρτάται από το αν το τηλεσκόπιο μπορεί να ξεχωρίσει καθαρά τους πυρήνες των δυο δίσκων του Airy. Η ελάχιστη αυτή απόσταση λέγεται **διαχωριστική ή διακριτική ικανότητα** και εξαρτάται από το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας και από τη διάμετρο D του τηλεσκοπίου. Δίνεται δε από τη σχέση:

$$\omega'' = 206\,265 \times 1.22 \lambda/D$$

9) Η οπτική ισχύς, I , που είναι το αντίστροφο της διακριτικής ικανότητας, δηλαδή $I = 1/\omega$.

10) Το φαινόμενο μέγεθος, $m_{\max}$ του αμυδρότερου αστέρα που μπορούμε να παρατηρήσουμε. Αυτό δίνεται από τη σχέση:

$$m_{\max} = 6.5 + 5 \log D \text{ (cm)}$$

11) Το οπτικό πεδίο, θ , που είναι η γωνιώδης διάμετρος της περιοχής του ουρανού, που βλέπει ο παρατηρητής με το τηλεσκόπιο. Το οπτικό πεδίο είναι αντιστρόφως ανάλογο της μεγέθυνσης. Δίνεται δε από τη σχέση:

$$\theta = \alpha/M,$$

όπου M η μεγέθυνση και α το οπτικό πεδίο του προσοφθάλμιου φακού, που όπως θα αναφέρουμε παρακάτω εξαρτάται από τον τύπο του. Οι πιο συνηθισμένοι προσοφθάλμιοι φακοί έχουν οπτικό πεδίο περίπου 40 μοίρες. Όταν γνωρίζουμε το οπτικό πεδίο του προσοφθάλμιου φακού και την εστιακή απόσταση των κατόπτρων μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το οπτικό πεδίο ενός τηλεσκοπίου. Για παράδειγμα, το τηλεσκόπιο του Εργαστηρίου Αστρονομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ($D=20$ cm, $F = 300$ cm) με προσοφθάλμιο φακό εστιακής απόστασης $f = 4$ cm, έχει οπτικό πεδίο $\theta = 40^\circ/(300/4) = 32'$, δηλαδή μόλις που χωράει ολόκληρο το δίσκο της Σελήνης.

Πίνακας 2-1

Μερικά από τα σπουδαιότερα οπτικά τηλεσκόπια

Αστεροσκοπείο	Τοποθεσία	Υψόμετρο [m]	Διάμετρος [cm]	Παρατηρήσεις
Gran Telescopio Canarias, Observatorio del Roque de los Muchachos	La Palma, Canary Islands, Ισπανία	2400	1040	Μεγαλύτερο του κόσμου αποτελούμενο από επί μέρους κάτοπτρα
Keck και Keck II	Mauna Kea, Χαβάη	4123	2 × 1000	Δύο τηλεσκόπια. Συνεργάζονται και ως συμβολόμετρο. Αποτελείται από επί μέρους κάτοπτρα
SALT, South African Astronomical Observatory	SAAO, Sutherland, Νότια Αφρική	1759	~1000	Κινείται μόνο κατά αξιμούθιο. Αποτελείται από επί μέρους κάτοπτρα
Hobby-Eberly Telescope (HET)	Mt. Fowlkes, Texas	2072	920	Κινείται μόνο κατά αξιμούθιο. Αποτελείται από επί μέρους κάτοπτρα. Χρήση: Μόνο φασματοσκοπία
Large Binocular Telescope	Mt. Graham, Arizona	3170	2 × 840	Αποτελείται από δύο μονολιθικά τηλεσκόπια. Μεγαλύτερα κάτοπτρα στο κόσμο
Subaru (Πλειάδες), National Astronomical Observatory of Japan	Mauna Kea, Χαβάη	4200	820	Μονολιθικό τηλεσκόπιο
Very Large Telescope (VLT)	Cerro Paranal, Χιλή	2365	4 × 820	Τέσσερα μονολιθικά τηλεσκόπια. Συνεργάζονται και ως συμβολόμετρο
Gemini North (Gillett)	Mauna Kea, Χαβάη	4100	810	
Gemini South	Cerro Pachon, Χιλή	2737	810	
Multi Mirror Telescope (MMT)	Mt. Hopkins, Αριζόνα	2600	650	Αρχικά αποτελείτο από 6 από μέρους κάτοπτρα, τα οποία αντικαταστάθηκαν από ένα.
Walter Baade Telescope και Landon Clay Telescope	La Serena, Χιλή	2282	2 × 650	Δύο τηλεσκόπια. Ονομάζονται επίσης <i>Magellan I</i> και <i>Magellan II</i>
Bolshoi Telescope, Academy of Science Astrophysical Observatory	Zelenchukskaya (Καύκασος) Ρωσία	2 070	600	
Large Zenith Telescope (LZT)	British Columbia, Καναδάς	395	600	Ρευστό κάτοπτρο. Παρατήρηση μόνο στο ζενίθ
Hale, Telescope, Palomar	Mt. Palomar Καλιφόρνια, Η.Π.Α.	1 706	508	Έναρξη λειτουργίας: 1949

William Herschel Telescope (WHT), Observatorio del Roque de los Muchachos	La Palma, Canary Islands, Ισπανία	2400	420	
Southern Astrophysical Research Telescope (SOAR)	Cerro Pachon, Χιλή	2738	420	Βραζιλία – Η.Π.Α., Cerro Tololo Inter-American Observatory.
Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST), Beijing Astronomical Observatory	Xinglong Station, Κίνα	950	420	Ευρέως πεδίου φασματοσκοπία
Victor Blanco Telescope	Cerro Tololo, Χιλή	2200	400	Cerro Tololo Inter-American Observatory.
Kitt Peak, (KPNO)	Tucson, Αριζόνα Η.Π.Α.	2 120	400	Τηλεσκόπιο Mayall
Anglo-Australian Observatory	Siding Springs, NSW, Αυστραλία	1 164	390	
UKIRT, Royal Observatory, Edinburgh	Mauna Kea, Χαβάη	4215	380	Αποκλειστικά για παρατηρήσεις στο υπέρυθρο
Mayall, NOAO	Kitt Peak, Αριζόνα, Η.Π.Α.	2100	380	
Canada-French-Hawai	Mauna Kea, Χαβάη	4215	360	
ESO	La Silla, Χιλή	2 400	357	
Max-Planck-Institut Heidelberg	Calar Alto, Ισπανία	2 168	350	
NASA-Infrared Observatory	Mauna Kea, Χαβάη	4215	320	Για το υπέρυθρο
Lick Observatory	Mt Hamilton, Η.Π.Α.	1 290	305	
Mc Donald, Observatory	Mt Locke, Τέξας, Η.Π.Α.	2 075	273	
Crimean Astrophysical Observatory	Simferopol, Ουκρανία	676	264	
Buvarakan Astrophysical Observatory	Mt. Aragatz, Ρωσία	1 500	260	
Hubble Space Telescope	(Διάστημα)	560 000	240	Διαστημικό τηλεσκόπιο
Αρίσταρχος	Όρος Χελμός, Αχαΐα	2300	230	Το μεγαλύτερο Ελληνικό τηλεσκόπιο
Karl-Schwarzschild Observatory	Tauntenburg Av. Γερμανία	331	200	Το μεγαλύτερο στον κόσμο τύπου Schmidt
Yerkes Observatory	Williams Bay, Η.Π.Α.	334	102	Το μεγαλύτερο διοπτρικό στον κόσμο

Πίνακας 2-II

Μερικά από τα σπουδαιότερα ραδιοτηλεσκόπια

Αστεροσκοπείο	Τοποθεσία	Συλλεκτική επιφάνεια [m ²]	Διάμετρος ή μέγιστο μήκος [m]	Παρατηρήσεις
Arecibo, Cornell University	Πόρτο Ρίκο, Καραϊβική	80 000	305	Ακίνητο, σφαιρικό, το μεγαλύτερο του κόσμου
Atacama Large Millimeter Array (ALMA)	Οροπέδιο (h = 5000 m) Atacama, Χιλή	$>50 \times 113 = >5655$	16 000	Συμβολομετρικό, 50 – 64 παραβολικές κεραίες, κατασκευή μέχρι το 2012
Square Kilometer Array (SKA)	Αυστραλία ή Ν. Αφρική		3 000 000	Συμβολομετρικό, κατασκευή μέχρι το 2022
LOFAR	Ολλανδία με επέκταση στην Ευρώπη			Συμβολομετρικό, επεκτάσιμο. Απαιτείται οπτική ίνα
Allen Telescope	Καλιφόρνια, Η.Π.Α.	$350 \times 28.3 = 9896$	900	Συμβολομετρικό, 350 κάτοπτρα με έκκεντρες εστίες
Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT)	Pune, Ινδία	$30 \times 45 = 4770$	25 000	Συμβολομετρικό, 30 παραβολικά κάτοπτρα
Green Bank Telescope (GBT)	Δυτική Βιργινία, Η.Π.Α.	8639	110	100×110 m, το μεγαλύτερο στον κόσμο, κινητό προς όλες τις κατευθύνσεις
Northern Cross	Μπολόνια, Ιταλία	26 800	400 N/S	Συμβολομετρικό
Molonglo, Observatory	Sydney, Αυστραλία	18 068	1600 E/W	Συμβολομετρικό
Ooty, Radiotelescope	Bangalore, Ινδία	17 865	4 700	Συμβολομετρικό
V L A	New Mexico, Η.Π.Α.	13 200	21 000	Συμβολομετρικό
Culgoora, Radioheliograph	CSIRO, Αυστραλία	12 742	3 000	Συμβολομετρικό
RATAN-600, Zelenchukskaya	Κάσκαος, Ρωσία	12 600	600	Ακίνητο, δακτυλιοειδές με κινητή εστία
Effelsberg	Βόννη, Δ. Γερμανία	7 850	100	Από τα μεγαλύτερα στον κόσμο κινητό προς όλες τις κατευθύνσεις
Nancay	Γαλλία	7 500	300	Συμβολομετρικό με μεσημβρινή κίνηση
Westerbork	Ολλανδία	6 872	2 800 E/W	Συμβολομετρικό
NRAO, Green Bank	Virginia, Η.Π.Α.	6 600	92	Μεσημβρινή κίνηση
MERLIN	Αγγλία	6 362	134 000	Συμβολομετρικό
Australia Telescope	Αυστραλία	5 800	300 000 ή 6 000 E/W	Συμβολομετρικό
MKIA	Manchester			Κινητό προς όλες τις κατευθύνσεις

Jodrell Bank	Αγγλία	4 500	76	»
Parkes	Sydney, Αυστραλία	3 200	64	»
Goldstone	Καλιφόρνια, Η.Π.Α.	3 200	61	»
Tidbinbilla	Τασμανία, Αυστραλία	3 200	64	»
Fleurs, Synthesis	Sydney, Αυστραλία	2 700	1 600 E/W 800 N/S	Συμβολομετρικό
Owens Valley, Caltech	Καλιφόρνια, Η.Π.Α.	2 401	1 200 E/W 500 N/S	Συμβολομετρικό
5 km Telescope	Cambridge, Αγγλία	2 000	5 000 E/W	
Algonquin	Καναδάς	2 000	50	Κινητό προς όλες τις κατευθύνσεις
Green Bank, Interferometer	Virginia, Η.Π.Α.	1 750	35 000	Συμβολομετρικό
Haystack	Massachusetts, Η.Π.Α.	1 050	37	Κινητό προς όλες τις κατευθύνσεις
Veimilion	Illinois, Η.Π.Α.	1 050	37	»
Mk II, Jodrell Bank	Manchester, Αγγλία	800	38x26	»

2.4. Τύποι οπτικών τηλεσκοπίων

Τα πιο γνωστά τηλεσκόπια στον κόσμο (κατοπτρικά και διοπτρικά) αναγράφονται στον Πίνακα 2-Ι.

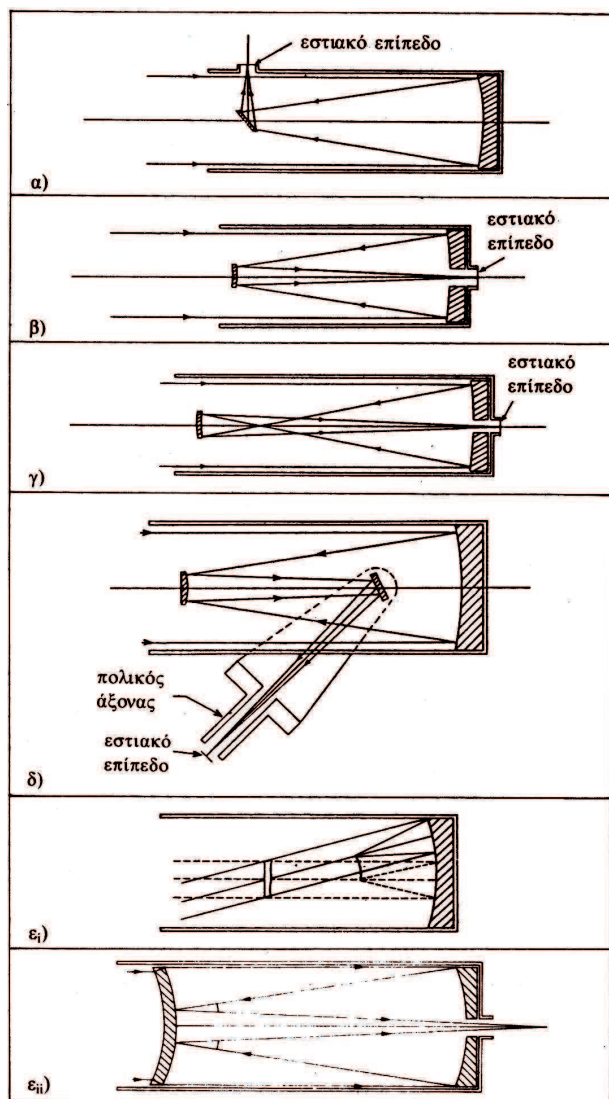
α) Τα **διοπτρικά τηλεσκόπια**, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιούν για συλλέκτη του φωτός ένα φακό ή ένα σύστημα φακών. Έχουν μικρό οπτικό πεδίο και εστιακό λόγο μεταξύ $f/12$ και $f/20$. Τα διοπτρικά τηλεσκόπια είναι συνήθως αχρωματικά είτε στην περιοχή των 5600 Å, οπότε και λέγονται οφθαλμοσκοπικά, είτε στην περιοχή των 4300 Å οπότε και λέγονται φωτογραφικά.

Για τη σύνταξη καταλόγων και χαρτών αστέρων, δηλαδή για ερευνητικές εργασίες που έχουν στόχο την ακριβή αποτύπωση της θέσης των αστέρων, συνήθως χρησιμοποιούμε διοπτρικά τηλεσκόπια που έχουν οπτικό πεδίο 5 μοίρες. Σ' αυτά τα τηλεσκόπια, που ονο-

μάζονται **αστρογράφοι**, ο αντικειμενικός φακός αποτελείται από σύστημα τριών ή τεσσάρων φακών. Σήμερα πια δεν κατασκευάζονται μεγάλα διοπτρικά τηλεσκόπια. Το μεγαλύτερο που υπάρχει είναι του Αστεροσκοπείου του Yerkes με $D = 102$ cm και $F = 1940$ cm.

β) Τα **κατοπτρικά τηλεσκόπια**, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιούν για συλλέκτη του φωτός ένα παραβολοειδές κάτοπτρο. Απαραίτητο είναι και ένα δεύτερο κάτοπτρο, που λέγεται **δευτερεύον**, η θέση του και το είδος του καθορίζουν τους διαφόρους τύπους κατοπτρικών τηλεσκοπίων.

1) *Τηλεσκόπιο Newton*: Το δευτερεύον κάτοπτρο (που λέγεται και Νευτώνειο) τοποθετείται πάνω στον οπτικό άξονα του πρωτεύοντος κατόπτρου υπό γωνία 45 μοιρών ως προς αυτόν, έτσι ώστε να κατευθύνει τη φωτεινή δέσμη έξω από το σωλήνα του τηλεσκοπίου,

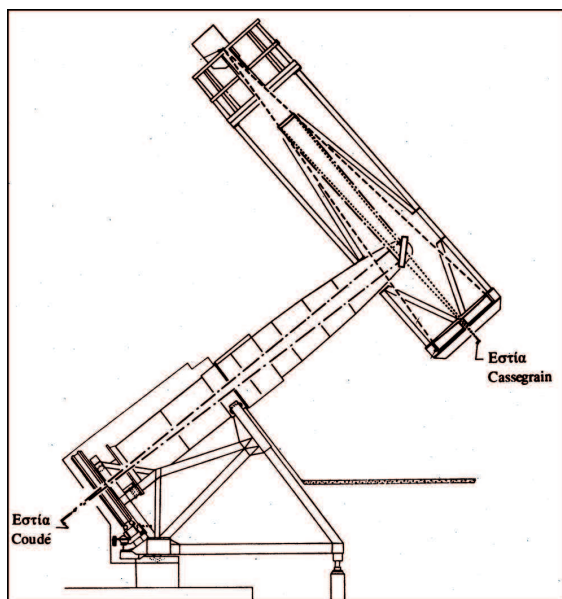


πλευρικά, στο σημείο που είναι τοποθετημένος ο προσοφθάλμιος φακός. Το μέγεθος του κατόπτρου είναι τέτοιο ώστε να μην αποκόπτει μεγάλο ποσοστό από το φως που προσπίπτει στο πρωτεύον κάτοπτρο (Σχήμα 2-11α).

2) *Τηλεσκόπιο Cassegrain*: Το δευτερεύον κάτοπτρο είναι κυρτό υπερβολοειδές και τοποθετείται κάθετα στον οπτικό άξονα του πρωτεύοντος κατόπτρου και πριν από την εστία του. Η φωτεινή δέσμη του αστέρα τελικά βγαίνει από μια οπή που βρίσκεται στο κέντρο του πρωτεύοντος (Σχήμα 2-11β). Στον τύπο αυτόν ανήκει το τηλεσκόπιο των 76 cm (30 ιντσών) του Αστεροσκοπείου Στεφανίου Κορινθίας. Αν το δευτερεύον κάτοπτρο τοποθετηθεί μετά την εστία του πρωτεύοντος κατόπτρου και είναι παραβολοειδές, το τηλεσκόπιο λέγεται *Gregorian* (Σχήμα 2-11γ). Παρ' όλο που η κατασκευή ενός παραβολοειδούς κατόπτρου είναι πιο εύκολη από ενός υπερβολοειδούς, τα τηλεσκόπια αυτού του τύπου σπάνια κατασκευάζονται επειδή απαιτούν σωλήνα μεγαλύτερου μήκους και κατά συνέπεια έχουν μεγαλύτερο ολικό κόστος.

3) *Τηλεσκόπιο Coudé*: Στα τηλεσκόπια αυτά, που είναι βασικά τύπου Cassegrain, η φωτεινή δέσμη, μετά την ανάκλαση της από το δευτερεύον κάτοπτρο, κατευθύνεται με τη βοήθεια δύο επιπέδων κατόπτρων προς μια σταθερή εστία ακολουθώντας τη διεύθυνση του πολικού άξονα. Η εστία αυτή λέγεται εστία Coudé (Σχήμα 2-11δ). Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα, διότι έτσι μπορούμε να τοποθετήσουμε στην εστία Coudé βοηθητικά όργανα με-

Σχήμα 2-11. Οι κυριότεροι τύποι κατοπτρικών τηλεσκοπίων: α) Newton, β) Cassegrain, γ) Gregorian, δ) Coudé και ε) (i) Schmidt, (ii) Maksutov.



Σχήμα 2-12. Στήριξη τηλεσκοπίου με εστία Cassegrain και Coudé.

γάλου βάρους και όγκου, όπως π.χ. φασματοσκόπια, φωτόμετρα κλπ.

4) **Τηλεσκόπια Schmidt και Maksutov:** Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του τηλεσκοπίου τύπου Cassegrain. Οι πιο γνωστές είναι τα τηλεσκόπια τύπου Schmidt και Maksutov. Στα τηλεσκόπια αυτά, με τη βοήθεια κατάλληλων διορθωτικών φακών και κατόπτρων (Σχήμα 2-11ε), πετυχαίνουμε μεγάλο και χωρίς σφάλματα οπτικό πεδίο.

Τα σύγχρονα κατοπτρικά τηλεσκόπια (Σχήμα 2-12) συνήθως έχουν τη

δυνατότητα να πετυχαίνουν και τις τρεις εστίες (Newton, Cassegrain, Coudé). Το τηλεσκόπιο 1.2 m

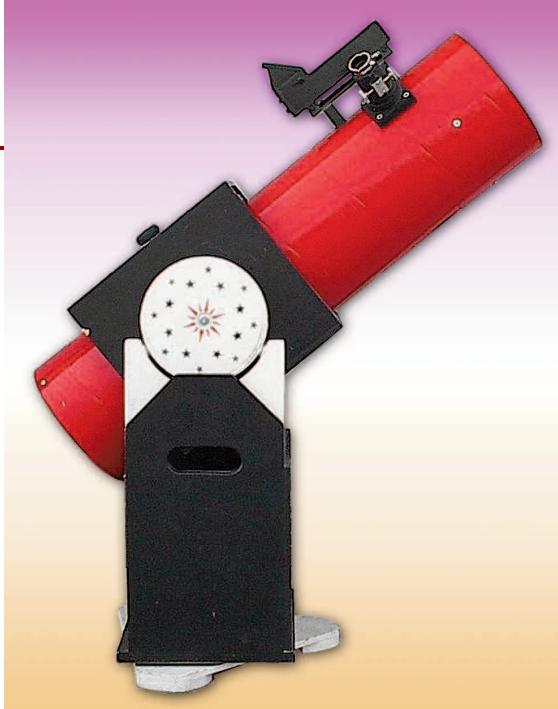
του Εθνικού Αστεροσκοπείου του Κρυονερίου διαθέτει εστίες Cassegrain και Coudé.

2.5. Στήριξη τηλεσκοπίων

Τα κυριότερα είδη στήριξης ενός τηλεσκοπίου είναι τρία, ανάλογα με τις κατευθύνσεις των αξόνων περιστροφής:

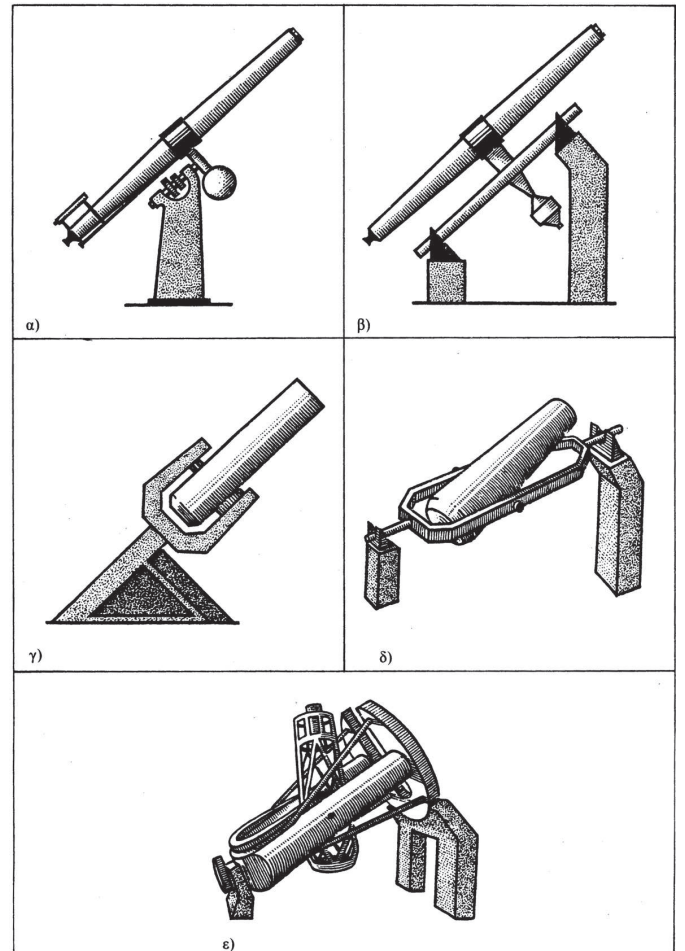
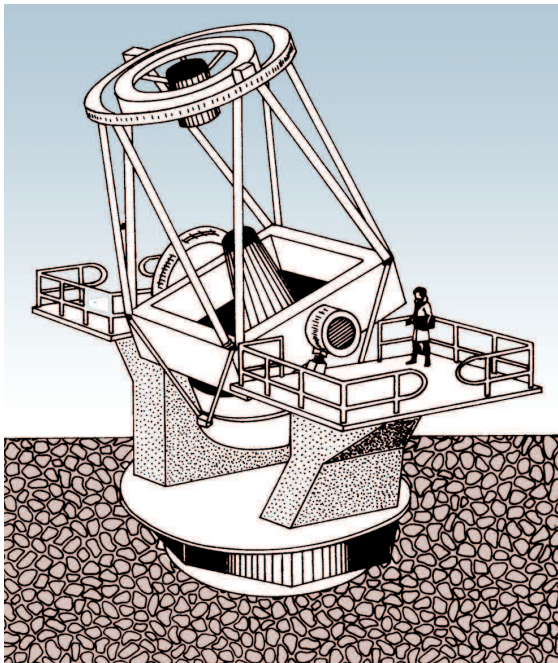
α) **Αλταζιμουθιακή:** Σ' αυτή τη στήριξη ο ένας άξονας είναι κατακόρυφος και ο άλλος οριζόντιος (Σχήματα 2-13α και β). Η στήριξη αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε βαριά τηλεσκόπια και στα ραδιοτηλεσκόπια. Έχει το μειονέκτημα ότι στην παρακολούθηση ενός αστερά χρειάζεται πολύπλοκος μηχανισμός που να πετυχαίνει την περιστροφή του τηλεσκοπίου γύρω από δύο άξονες. Εάν ο κατακόρυφος άξονας σταθεροποιηθεί ώστε η κίνηση του τηλεσκοπίου να επιτρέπεται μόνο περί τον οριζόντιο άξονα (το τηλεσκόπιο κινείται μόνο καθ' ύψος), το τηλεσκόπιο ονομάζεται **μεσημβρινό τηλεσκόπιο**. Τα μεσημβρινά τηλεσκόπια χρησιμοποιείται κυρίως για πολύ ακριβείς υπολογισμούς των ουρανογραφικών συντεταγμένων των αστερών.

β) **Ισημερινή:** Είναι η πιο συνηθισμένη στήριξη. Σ' αυτή τη στήριξη ο ένας άξονας είναι παράλληλος προς τον άξονα περιστροφής της Γης και ο άλλος κάθετος στον πρώτο. Είναι πολύ απλός ο μηχανισμός για την παρακολούθηση ενός αστερά, διότι χρειάζεται περιστροφή μόνο γύρω από τον πολικό άξονα με σταθερή γωνιακή ταχύτητα (αντίθετη προς την ταχύτητα περιστροφής της Γης). Υπάρχουν πολλοί τύποι ισημερινής στήριξης, όπως ο **Γερμανικός**, ο **Αγγλικός**, ο **τροποποιημένος Αγγλικός** ή διπλού ζυγού, ο **διχαλωτός** και ο **πεταλοειδής** (Σχήματα 2-14 και 15). Το διοπτρικό τηλεσκόπιο του Εργαστηρίου Αστρονομίας του Αρι-

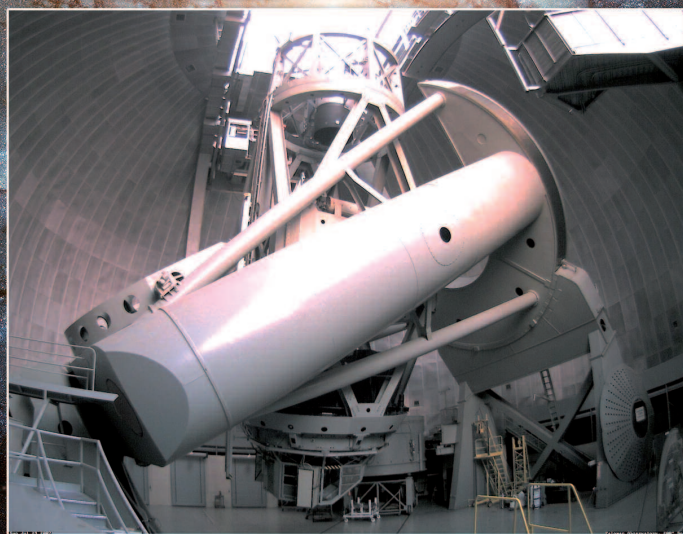
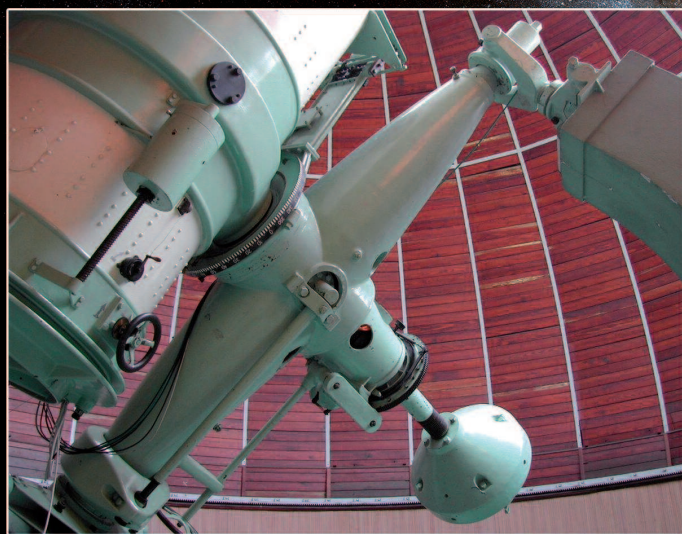
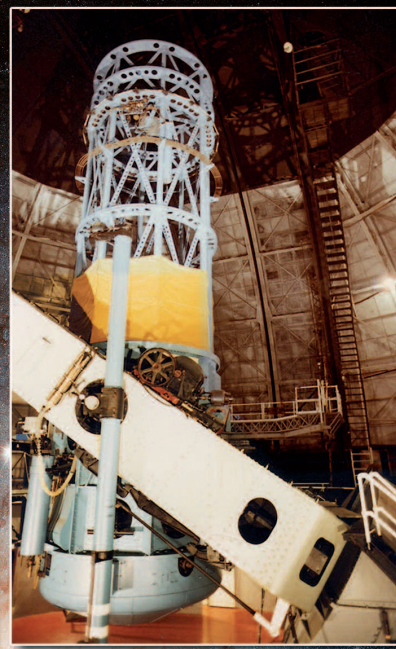


Σχήμα 2-13α. Αλταζιμουθιακή στήριξη.

Σχήμα 2-13β. Η στήριξη Dobson είναι μία χαρακτηριστική αλταζιμουθιακή στήριξη για μικρά, ερασιτεχνικά τηλεσκόπια.



Σχήμα 2-14. Διάφοροι τύποι ισημερινής στήριξης: α) Γερμανικός, β) Αγγλικός, γ) Διχαλωτός, δ) Τροποποιημένος Αγγλικός και ε) Πεταλοειδής.



Σχήμα 2-15. Διάφοροι τύποι ισχυρινής στήριξης: (α) Ερασιτεχνικό τηλεσκόπιο Maksutov Cassegrain σε στήριξη Γερμανικού τύπου, (β) Το τηλεσκόπιο διαμέτρου 1 m του αστεροσκοπείου Merate της Ιταλίας σε στήριξη Αγγλικού τύπου, (γ) Το τηλεσκόπιο διαμέτρου 1.3 m του αστεροσκοπείου Σκίνακα στον Ψηλορείτη της Κρήτης σε στήριξη διχαλωτού τύπου, (δ) Το τηλεσκόπιο διαμέτρου 2.5 m του αστεροσκοπείου Mt. Wilson, στο Los Angeles, ΗΠΑ, σε στήριξη τροποποιημένου Αγγλικού τύπου και (ε) Το τηλεσκόπιο διαμέτρου 5m του αστεροσκοπείου Palomar στην Καλιφόρνια, ΗΠΑ, σε στήριξη πεταλοειδούς τύπου.

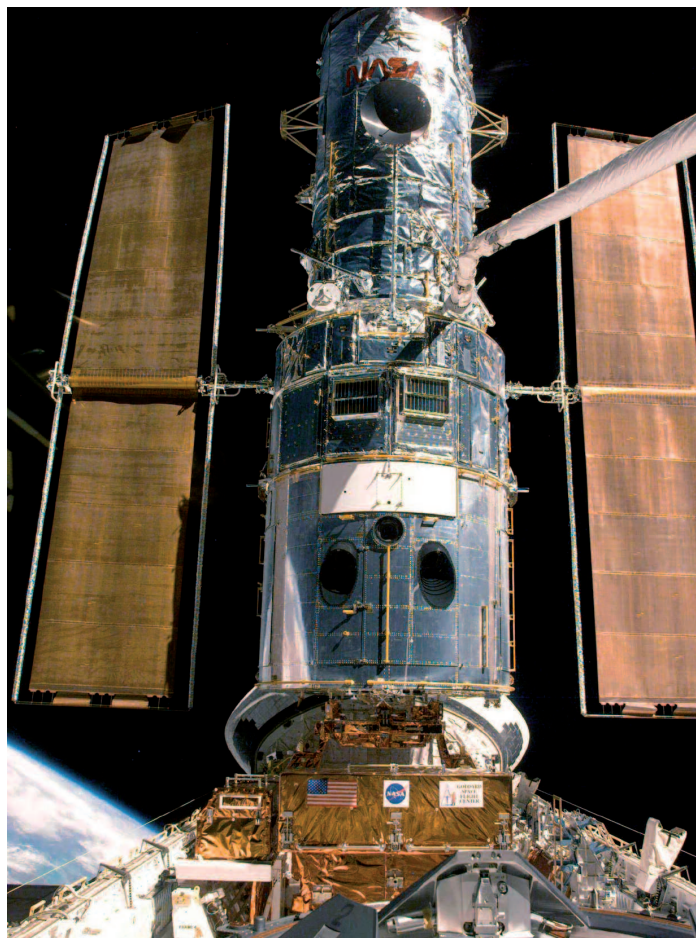


Σχήμα 2-16. Το διοπτρικό τηλεσκόπιο .20 cm, $f/15$ του Εργαστηρίου Αστρονομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

στοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα γερμανικού τύπου ισημερινής στήριξης (Σχήμα 2-16).

2.6. Εγκατάσταση τηλεσκοπίων

Η επίτευξη καλής **ποιότητας ειδώλων** (χωρίς διαταραχή, σπινθηρισμό κλπ.), που να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των σύγχρονων ερευνητικών προγραμμάτων, είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε σήμερα. Τα προβλήματα αυτά εξαρτώνται τόσο από την κατασκευή των οργάνων, όσο και από τη σωστή εγκατάστασή τους. Μια βασική απαίτηση είναι ο ακριβής προσανατολισμός του τηλε-



Σχήμα 2-17α. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble Space Telescope (HST). Ύψος τροχιάς: ~ 560 km, $D = 2.4$ m. Η φωτογραφία αυτή πάρθηκε τον Δεκέμβριο του 1999 κατά τη διάρκεια επισκευής του τηλεσκοπίου από την αποστολή STS-103 του διαστημικού λεωφορείου.

σκοπίου και η σταθερή και ανεξάρτητη από το κτίριο στήριξή του. Εκτός όμως απ' αυτό, ένας άλλος πολύ βασικός παράγοντας για την καλή ποιότητα των ειδώλων είναι η επίδραση του περιβάλλοντος και γενικότερα της ατμόσφαιρας. Οι επιδράσεις αυτές δεν είναι δυνατόν ποτέ να εξαλειφθούν τελείως, εκτός κι αν τοποθετήσουμε τα όργανα έξω από την ατμόσφαιρα της Γης. Σήμερα αυτό γίνεται σε μικρή κλίμακα, αλλά θα αποτελέσει ασφαλώς την οριστική λύση του μέλλοντος (Hubble Space Telescope - Σχήμα 2-17α).

Η ελαχιστοποίηση των επιδράσεων αυτών, προκειμένου να έχουμε ικανοποιητικά είδωλα, για όσο το δυνατόν μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, είναι αυτό

που μας ενδιαφέρει. Γενικά οι επιδράσεις αυτές μπορούν να ταξινομηθούν:

Στις μεταβολές της θερμοδυναμικής κατάστασης του αέρα μέσα στο σωλήνα του τηλεσκοπίου. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα κυρίως των κατοπτρικών τηλεσκοπίων, που έχουν ανοικτό σωλήνα.

Στις προερχόμενες από την ανταλλαγή θερμού και ψυχρού αέρα δια μέσου του παράθυρου του θόλου. Σε πολλά Αστεροσκοπεία (όπως π.χ. του Στεφανίου, Κορινθίας), για να μειωθεί αυτός ο παράγοντας, κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων, απομακρύνουμε όλη τη σκεπή πάνω σε σιδηροτροχιές.

Στις προερχόμενες από το ανάγλυφο του εδάφους

Σχήμα 2-17β. Το αστεροσκοπείο Cerro-Tololo στη Βόρεια Χιλή σε υψόμετρο 2200 μέτρα.



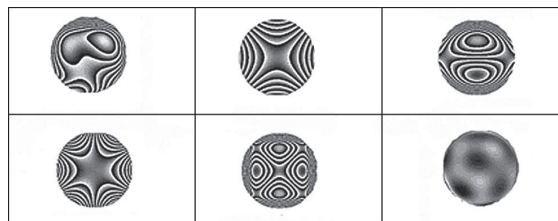
και του κτιρίου με τη δημιουργία γύρω απ' αυτό τυρβώδους ροής αερίων μαζών.

4) Στη γενική κατάσταση της ατμόσφαιρας της περιοχής, όπου είναι εγκατεστημένο το τηλεσκόπιο.

Για όλους αυτούς τους λόγους, πριν να εγκατασταθεί ένα τηλεσκόπιο, πρέπει πρώτα να διαλέξουμε έναν τόπο μακριά από κατοικημένες περιοχές (για να αποφύγουμε τη φωτορύπανση), με ικανοποιητικό υψόμετρο (για να αποφύγουμε όσο το δυνατόν τις ατμοσφαιρικές διαταραχές) και εύκολη πρόσβαση (Σχήμα 2-17β). Στη συνέχεια πρέπει να εκτελέσουμε μακροχρόνιες δοκιμαστικές παρατηρήσεις, τόσο μετεωρολογικές όσο και αστρονομικές. Οι παρατηρήσεις αυτές αποσκοπούν στον προσδιορισμό του ετήσιου ποσοστού της νέφωσης, της μέσης ισχύος και διεύθυνσης του άνεμου, του μέσου ποσοστού της υγρασίας, της σταθερότητας της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύκτας και τέλος της διαφάνειας της ατμόσφαιρας. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επιδρούν πάνω στη φωτεινή δέσμη κατά τη διαδρομή της στην ατμόσφαιρα μέχρι το εστιακό επίπεδο του τηλεσκοπίου και έχουν σαν αποτέλεσμα τις διάφορες παραμορφώσεις και αλλοιώσεις που παρατηρούνται στο είδωλο του αστερά.

2.7. Σφάλματα τηλεσκοπίων

Τα κυριότερα σφάλματα των φακών και των κατόπτρων είναι γνωστά από την Οπτική. Στα Σχήματα 2-18 και 2-19 φαίνονται οι επιδράσεις του χρωματικού σφάλματος, του σφάλματος σφαιρικής εκτροπής, του σφάλματος της κόμης, του αστιγματισμού, της καμπυλότητας του πεδίου και της παραμόρφωσης στο είδωλο ενός αστερά.



Σχήμα 2-19. Διάφορα άλλα σφάλματα φακών και κατόπτρων που δημιουργούν ποικιλία παραμορφώσεων του ειδώλου ενός αστερά.

2.8. Προσοφθαλμιοί φακοί

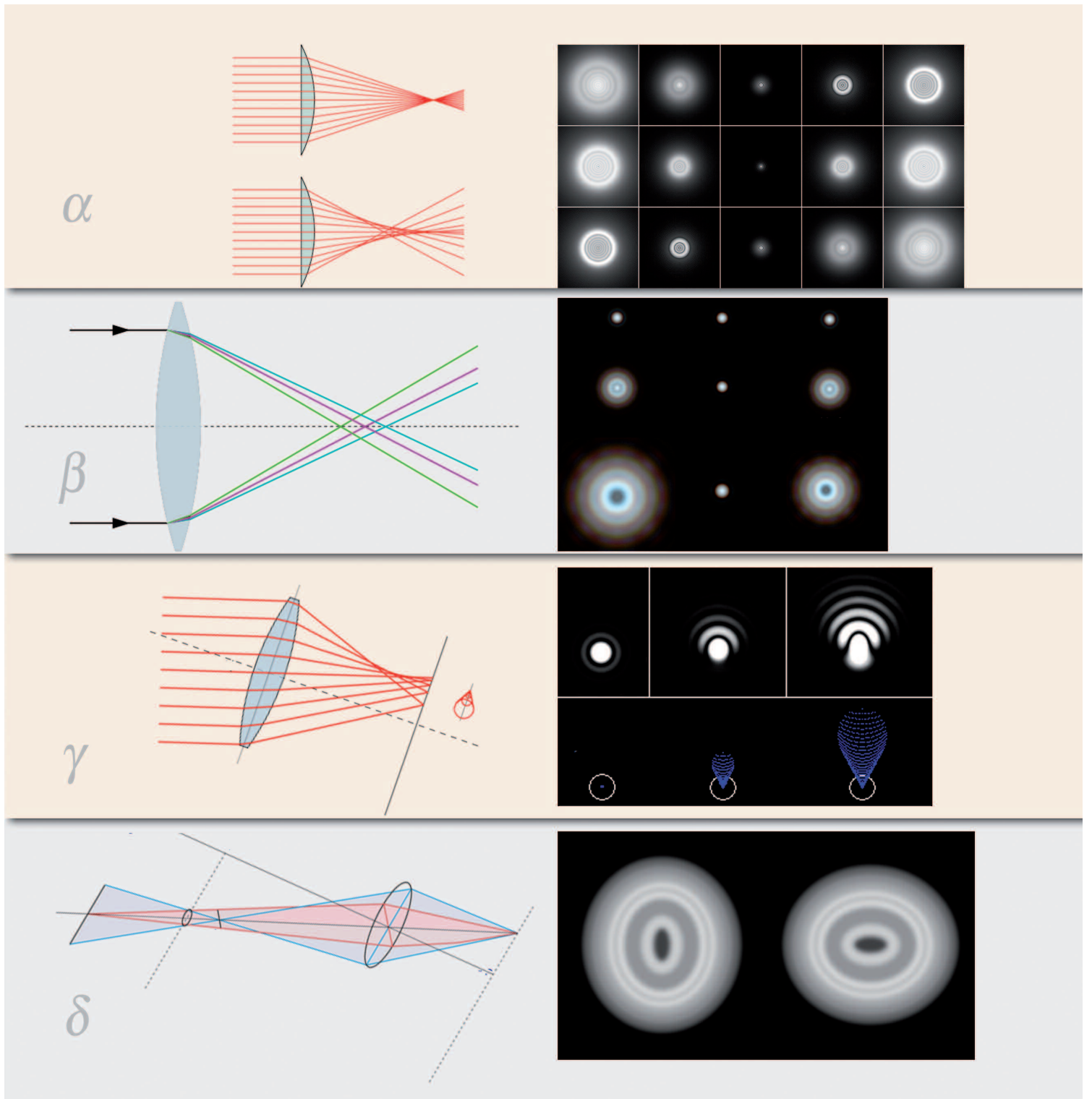
Ο προσοφθαλμιοί φακός, είτε είναι ένας απλός φακός, είτε ένα σύστημα φακών, παρουσιάζει και αυτός τα γνωστά σφάλματα. Επειδή όμως παίζει σπουδαίο ρόλο στην επίτευξη ενός καλού ειδώλου και κατάλληλης μεγέθυνσης, πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα τις ιδιότητες του.

Οι πιο απλοί προσοφθαλμιοί είναι αυτοί που αποτελούνται από δυο απλούς φακούς, δηλαδή από το **φακό πεδίου** και από το **φακό οφθαλμού**. Η εστιακή απόσταση ενός τέτοιου προσοφθαλμίου συστήματος δίνεται από τη σχέση:

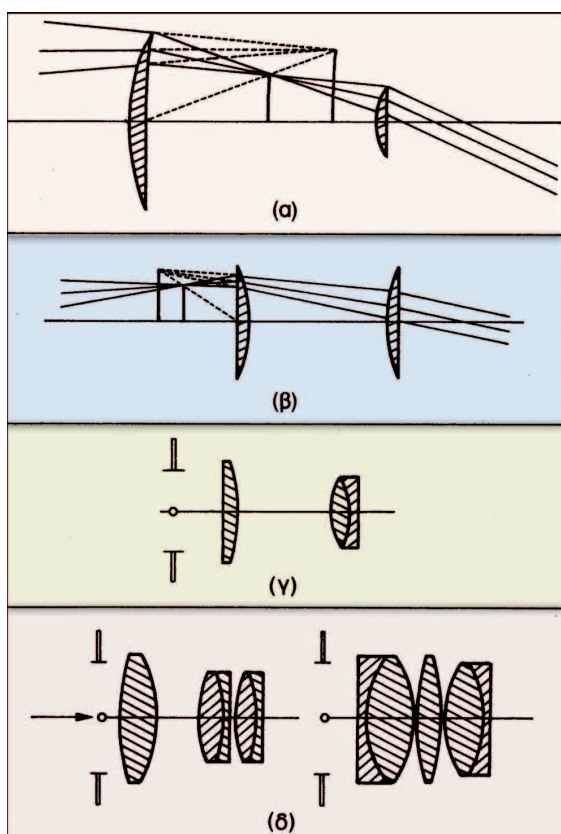
$$F = f_1 f_2 / (f_1 + f_2 - d)$$

όπου f_1 και f_2 είναι οι εστιακές αποστάσεις των δυο φακών και d η απόστασή τους. Υπάρχουν παραπάνω από 60 διαφορετικά είδη προσοφθαλμίων φακών (Σχήματα 2-20 και 2-21). Οι σπουδαιότεροι είναι:

Σχήμα 2-18. Τα κυριότερα σφάλματα φακών: α) Σφάλμα σφαιρικής εκτροπής, β) Χρωματικό σφάλμα, γ) Σφάλμα Κόμης και δ) Σφάλμα αστιγματισμού.



Τύπου Huygens. Αποτελείται από δυο επιπεδόκυρτους φακούς με άνισες ακτίνες καμπυλότητας και με τις κυρτές επιφάνειες προς τον αντικειμενικό. Ανάμεσα τους όμως παρεμβάλλεται ένα διάφραγμα. Είναι



Σχήμα 2-20. Διάφοροι τύποι προσοφθαλμίων: α) τύπου Huygens, β) τύπου Ramsden, γ) τύπου Kellner και δ) δύο παραλλαγές τύπου Erfle.

πολύ απλό σύστημα, έχει σχετικά ευρύ οπτικό πεδίο (περίπου 40°) και δεν παρουσιάζει παραμόρφωση και εσωτερικές ανακλάσεις. Χρησιμοποιείται κυρίως σε διοπτρικά τηλεσκόπια με εστιακό λόγο της τάξης $f/12$.

Τύπου Ramsden. Είναι εξίσου απλός προσοφθαλμικός, αποτελούμενος από δυο επιπεδόκυρτους με τις κυρτές τους επιφάνειες αντικριστά και χωρίς διάφραγμα μεταξύ τους. Δεν παρουσιάζει παραμορφώσεις αλλά μειονεκτεί λόγω πλευρικών ανακλάσεων, αφού δεν υπάρχει το διάφραγμα. Έχει οπτικό πεδίο περίπου 35° και χρησιμοποιείται σε τηλεσκόπια εστιακού λόγου $f/7$.

Τύπου Kellner. Συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του τύπου Ramsden με τη διόρθωση του χρωματικού σφάλματος, που επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση του φακού οφθαλμού μ' ένα διπλό αχρωματικό φακό. Έχει καλό οπτικό πεδίο μέχρι 45° και χρησιμοποιείται σε τηλεσκόπια με εστιακό λόγο $f/6$.

Ευρυγώνιοι. Είναι μια κατηγορία προσοφθαλμικών



Σχήμα 2-21. Διάφοροι τύποι προσοφθαλμίων φακών.

μιων φακών που κατασκευάζονται συνήθως από 5 ή και 6 στοιχεία, με τα οποία τελικά πετυχαίνουμε ένα πολύ καθαρό και ευρύ οπτικό πεδίο. Πιο γνωστός αυτής της κατηγορίας είναι ο προσοφθάλμιος του Erfle, που αποτελείται από τρία αχρωματικά ζεύγη και έχει πεδίο 70° . Ο προσοφθάλμιος του Erfle χρησιμοποιείται συνήθως σε τηλεσκόπια εστιακού λόγου $f/6$ για παρατηρήσεις κομητών, μεγάλων νεφελωμάτων και για σάρωση αστρικών πεδίων.

2.9. Σύγκριση κατοπτρικών και διοπτρικών τηλεσκοπίων

α) Πλεονεκτήματα των κατοπτρικών τηλεσκοπίων:

1) Το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης τους είναι μικρότερο από τα διοπτρικά της ίδιας διαμέτρου. Αυτό συμβαίνει διότι για την κατασκευή του κατόπτρου χρειάζεται να επεξεργασθούμε μια μόνο επιφάνεια για δε την εγκατάσταση του το μικρό μήκος του σωλήνα του συνεπάγεται μικρό χώρο στέγασης και κινητήρα μικρής ισχύος.

2) Δεν παρουσιάζουν χρωματικό σφάλμα.

3) Μπορούν να διακρίνουν (αν φυσικά η επαλουμινίωσή τους είναι πρόσφατη) περισσότερο αμυδρούς αστέρες από ένα διοπτρικό της ίδιας διαμέτρου.

4) Μπορούμε να κάνουμε παρατήρηση σε μεγαλύτερη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, διότι ο αντικειμενικός φακός των διοπτρικών τηλεσκοπίων ορισμένες ακτινοβολίες απορροφά και ορισμένες ανακλά.

β) Πλεονεκτήματα των διοπτρικών τηλεσκοπίων:

1) Έχουν σταθερότερα είδωλα, διότι είναι λιγό-

τερο ευάλωτα σε μεταβολές της θερμοκρασίας (λόγω του κλειστού σωλήνα τους) και επιπλέον δίνουν μεγαλύτερες μεγεθύνσεις από τα κατοπτρικά της ίδιας διαμέτρου.

2) Δεν χρειάζονται μεγάλη συντήρηση, ενώ τα κατοπτρικά, που είναι εκτεθειμένα στη σκόνη και στις καιρικές μεταβολές, χρειάζονται συχνά πλύσιμο ή επαλουμινίωσή του κατόπτρου τους, όταν μειώνεται η ανακλαστική τους ικανότητα.

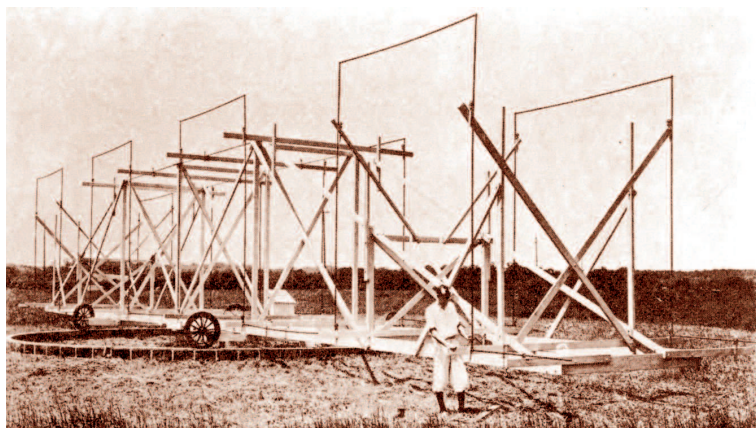
3) Δεν παρουσιάζουν τα φαινόμενα περίθλασης, που παρουσιάζουν τα κατοπτρικά εξαιτίας των στηριγμάτων του δευτερεύοντος κατόπτρου.

4) Τα διοπτρικά τηλεσκόπια έχουν μεγάλο εστιακό λόγο και είναι κατάλληλα για παρατηρήσεις επιφανειακών λεπτομερειών ουρανίων σωμάτων.

2.10. Ραδιοτηλεσκόπια

Η ανακάλυψη ραδιοκυμάτων από το κέντρο του Γαλαξία μας το 1931 πραγματοποιήθηκε μ' ένα πολύ απλό σύστημα κεραιών και ραδιοενισχυτών (Σχήμα 2-22). Σήμερα, σύγχρονα **ραδιοτηλεσκόπια** ανιχνεύουν τις πιο απόμερες γωνίες του Σύμπαντος, συλλαμβάνοντας τα ραδιοφωνικά κύματα που εκπέμπουν οι διάφορες **ραδιοπηγές** του ουρανού, είτε κοντινές (π.χ. ο Ήλιος μας, η Σελήνη, ο Δίας κλπ.), είτε μάκρυνες (απομακρυσμένοι ραδιογαλαξίες, quasars κλπ.). Το πλεονέκτημα των ραδιοφωνικών κυμάτων έναντι των οπτικών, είναι η μικρή τους απορρόφηση από τη μεσοαστρική σκόνη και η δυνατότητα τόσο νυχτερινών όσο και ημερήσιων παρατηρήσεων (τα ραδιόφωνα και οι τηλεοράσεις μας λειτουργούν εξ ίσου ικανοποιητικά κατά τη διάρκεια της ημέρας, ακόμα και με συννεφιά!).

Η βασική διεργασία που εκτελεί ένα ραδιοτηλε-



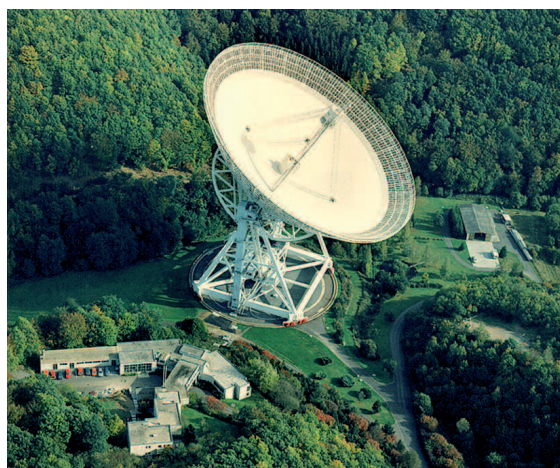
Σχήμα 2-22. Ο Karl Jansky και το πρώτο ραδιοτηλεσκόπιο.

σκόπιο είναι η συλλογή ραδιοκυμάτων (με μήκος κύματος από 1 περίπου χιλιοστό μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα). Συνήθως αποτελείται από την **κεραία**, το **ραδιοενισχυτή** και ένα **σύστημα καταγραφής** των δεδομένων. Τα πιο γνωστά ραδιοτηλεσκόπια, για παράδειγμα το ραδιοτηλεσκόπιο διαμέτρου 100 m της Βόννης (Σχήμα 2-23), χρησιμοποιούν μια μεγάλη παραβολοειδή επιφάνεια (κεραία) για τη συλλογή των ραδιοφωνικών

Η βασική διεργασία που εκτελεί ένα ραδιοτηλεσκόπιο είναι η συλλογή ραδιοκυμάτων (με μήκος κύματος από 1 περίπου χιλιοστό μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα). Συνήθως αποτελείται από την **κεραία**, το **ραδιοενισχυτή** και ένα **σύστημα καταγραφής** των δεδομένων. Τα πιο γνωστά ραδιοτηλεσκόπια, για παράδειγμα το ραδιοτηλεσκόπιο διαμέτρου 100 m της Βόννης (Σχήμα 2-23), χρησιμοποιούν μια μεγάλη παραβολοειδή επιφάνεια (κεραία) για τη συλλογή των ρα-

διοφωνικών κυμάτων. Τα κύματα αυτά ανακλώνται στην παραβολοειδή επιφάνεια και συγκεντρώνονται στην εστία του παραβολοειδούς. Εκεί είναι τοποθετημένο ένα **τροφοδοτικό σύστημα** (π.χ. ένα σύστημα δίπολων ή κυματοδηγών), που τα συλλέγει. Η συλλογή τους επιτυγχάνεται με τη μετατροπή της ενέργειας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ελάχιστη αυτή ενέργεια που συλλέγεται (πολλές φορές της τάξης των $10^{-29} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$), προενισχύεται με ευαίσθητους ενισχυτές, που βρίσκονται συνήθως στην εστία της παραβολοειδούς κεραίας. Στη συνέχεια μεταφέρεται με καλώδια στον κύριο δέκτη που βρίσκεται στο κτίριο των παρατηρήσεων, κοντά στο ραδιοτηλεσκόπιο. Εκεί γίνεται η τελική ενίσχυση και επεξεργασία που απαιτείται για την καταγραφή της σε μαγνητοταινίες ή άλλα καταγραφικά συστήματα με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Η κατευθυντικότητα της ικανότητας μετατροπής



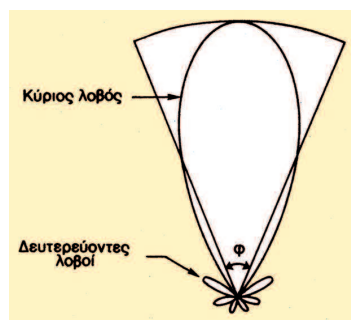
Σχήμα 2-23. Το ραδιοτηλεσκόπιο 100 m της Βόννης.

της ενέργειας των κυμάτων χώρου σε ηλεκτρική ενέργεια, ορίζεται από το **διάγραμμα ακτινοβολίας** του ραδιοτηλεσκοπίου. Η διεύθυνση από την οποία παίρνουμε την πιο μεγάλη ισχύ ονομάζεται **κύριος άξονας** της κεραίας και συμπίπτει με τον άξονα συμμετρίας του παραβολοειδούς κάτοπτρου. Στο Σχήμα 2-23 φαίνεται μια τομή του διαγράμματος ακτινοβολίας ενός ραδιοτηλεσκοπίου που περνά από τον κύριο άξονα. Σ' αυτό διακρίνουμε τον **κύριο λοβό**, με τον οποίο γίνεται η λήψη των ραδιοφωνικών κυμάτων και μερικούς **δευτερεύοντες λοβούς** που η αποδοτικότητά τους είναι συνήθως 10–20 dB χαμηλότερη απ' αυτήν του κύριου λοβού.

Το **εύρος δέσμης** (beam width) ενός ραδιοτηλεσκοπίου είναι η γωνία ϕ , που σχηματίζεται από τις διευθύνσεις που ορίζονται από τα σημεία του κύριου λοβού, όπου η ισχύς που παίρνουμε είναι το μισό της μέγιστης ισχύος (Σχήμα 2-24). Είναι φανερό ότι η δέσμη αυτή καθορίζει και τη διακριτική ικανότητα ενός ραδιοτηλεσκοπίου:

$$\phi = k (\lambda/D),$$

όπου λ είναι το μήκος κύματος (π.χ. 21 cm), D η διάμετρος του τηλεσκοπίου (π.χ. 100 m) και k ένας συντελεστής απόδοσης.



Σχήμα 2-24. Το διάγραμμα ακτινοβολίας ενός ραδιοτηλεσκοπίου.

Το μήκος των ραδιοφωνικών κυμάτων (λ) είναι πολύ μεγαλύτερο απ' αυτό των οπτικών κυμάτων και επομένως, όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, για να πετύχουμε συγκρίσιμη διακριτική ικανότητα με τα οπτικά τηλεσκόπια πρέπει να κατασκευάσουμε ραδιοτηλεσκόπια με πολύ μεγάλη διάμετρο D . Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την πολύ χαμηλή ενέργεια των ραδιοφωτονίων, έχει οδηγήσει στην κατασκευή μεγάλων ραδιοτηλεσκοπίων (Parkes, Αυστραλία: 64 m, Jodrell Bank, Αγγλία: 76 m, Bonn, Δ. Γερμανία: 100 m, Arecibo, Πόρτο Ρίκο: 305 m (βλ. Πίνακα 2-II).

Με τα τηλεσκόπια αυτά έχουν επιτευχθεί αρκετά ικανοποιητικές διακριτικές ικανότητες, ιδιαίτερα σε ψηλές ραδιοφωνικές συχνότητες ($\nu \sim 10^9$ Hz). Παρ' όλα αυτά οι διακριτικές αυτές ικανότητες απέχουν περίπου δυο τάξεις μεγέθους από τη διακριτική ικανότητα που πετυχαίνουμε με (μικρά ακόμα) οπτικά τηλεσκόπια.

Αυτό που δεν πετυχαίνουν τα απλά μεγάλα ραδιοτηλεσκόπια στη διακριτική ικανότητα, πετυχαίνεται με τη χρήση των **ραδιοσυμβολομέτρων** (radio interferometers). Την κατασκευή τους πρότεινε και τελειοποίησε πρώτος ο Sir Martin Ryle (βραβείο Nobel Φυσικής 1974) στο Cambridge της Αγγλίας. Σήμερα το πιο γνωστό ραδιοσυμβολόμετρο είναι το VLA (Very Large Array) στο New Mexico, Η.Π.Α., που αποτελείται από 27 παραβολοειδή τηλεσκόπια διαμέτρου 25 m (Σχήμα 2-25).

Τα τηλεσκόπια αυτά κινούνται σε σιδηροτροχιές σχήματος Y – Ύψιλον. Ο κάθε ένας από τους τρεις βραχίονες του Y έχει μήκος περίπου 21 km. Η διακριτική ικανότητα που έχει επιτευχθεί με το ραδιοσυμβολόμετρο αυτό είναι μικρότερη από 0", δηλαδή πολύ καλύτερη απ' ό,τι μπορεί να πετύχει ένα οπτικό τηλεσκόπιο, που βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης. Η δια-

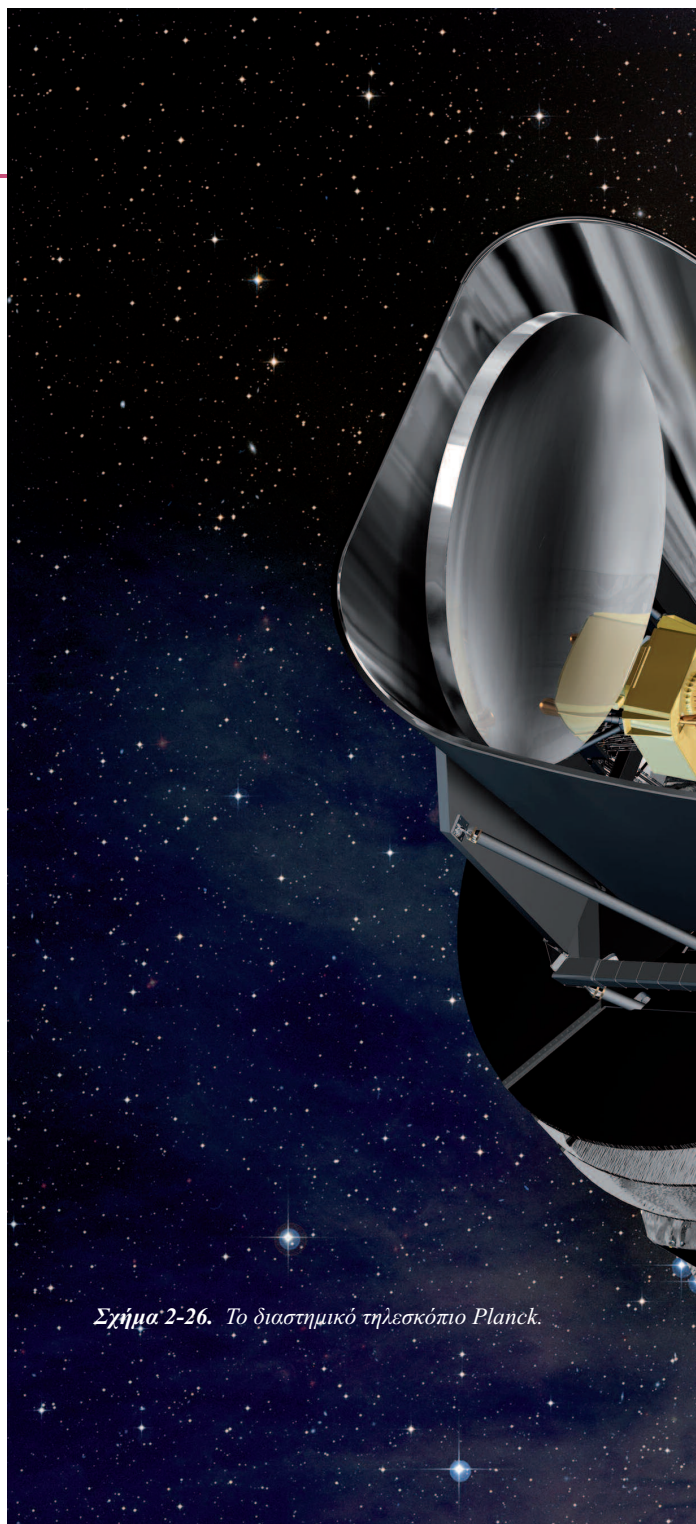
κριτική ικανότητα των ραδιοσυμβολομέτρων εξαρτάται πάλι από τον λόγο λ/D , όπου D είναι η απόσταση των ακραίων ραδιοτηλεσκοπίων.

Τελευταία, ιδιαίτερα μετά το 1975, διεξάγονται ραδιοαστρονομικές παρατηρήσεις με τηλεσκόπια που βρίσκονται σε διαφορετικά κράτη ή και διαφορετικές ηπείρους (VLBI). Η λήψη των δεδομένων γίνεται σε ξεχωριστές μαγνητοταινίες καταγράφοντας συγχρόνως και τον ακριβή χρόνο λήψης. Η ανάλυση γίνεται αργότερα με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών. Με το σύστημα αυτό έχουν επιτευχθεί διακριτικές ικανότητες της τάξης των μικροδευτερολέπτων της μοίρας.

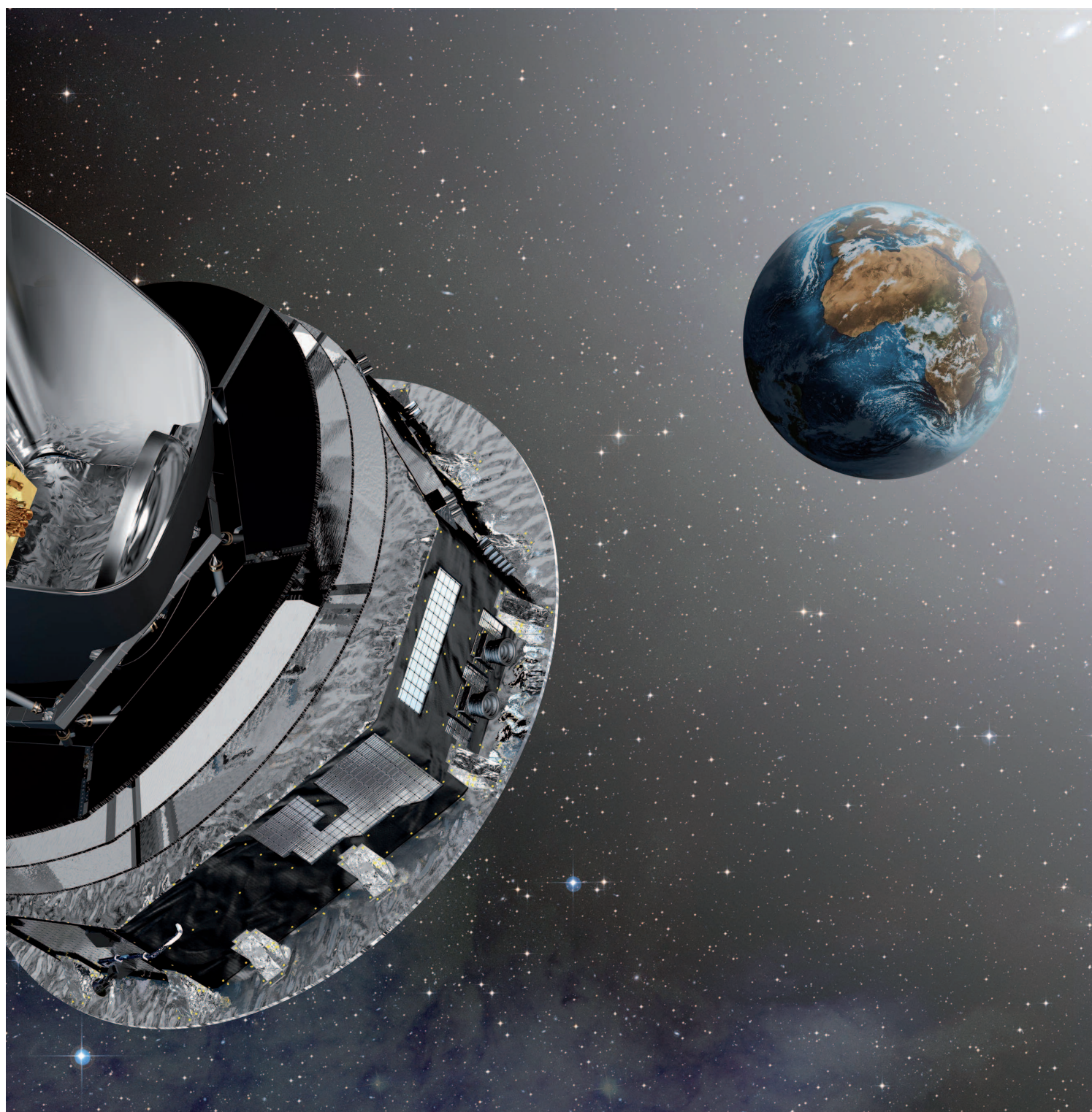
Εκτός από τα επίγεια τηλεσκόπια, στις 14 Μαΐου 2009 τέθηκε σε τροχιά στο δυναμικό Λαγκρανσιανό σημείο L2 το διαστημικό τηλεσκόπιο υψηλών συχνοτήτων (27 GHz – 1 THz) Planck (Σχήμα 2-26) από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA). Η αποστολή του τηλεσκοπίου αυτού έχει ως κύριο στόχο τη μελέτη της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου, προκειμένου να επεκτείνει και να ολοκληρώσει τα επιστημονικά αποτελέσματα δύο προηγούμενων επιτυχημένων διαστημικών αποστολών, των COBE και WMAP.



Σχήμα 2-25. Το ραδιοσυμβολόμετρο VLA.



Σχήμα 2-26. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Planck.



Ασκήσεις

1) Να γίνει λεπτομερειακή σύγκριση διοπτρικών και κατοπτρικών τηλεσκοπίων.

2) Ποια προετοιμασία πρέπει να γίνει προκειμένου να παρατηρήσετε αστέρες γνωστών ουρανογραφικών συντεταγμένων, μ' ένα ισημερινό τηλεσκόπιο;

3) Να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφόρων τύπων ισημερινής στήριξης τηλεσκοπίων ως προς:

i) Τη δυνατότητα σκόπευσης παραπόλιων αστερών.

ii) Τη δυνατότητα αποφυγής της αναστροφής του τηλεσκοπίου κατά τη διέλευση του από το μεσημβρινό επίπεδο,

iii) Την οικονομία σε χώρο στέγασης,

iv) Τη δυνατότητα στήριξης οργάνων μεγάλου βάρους.

v) Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης.

4) Να βρεθεί η «ωφέλιμη μεγέθυνση» ενός τηλεσκοπίου διαμέτρου D (cm) σε μήκος κύματος λ , αν γνωρίζουμε ότι η διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου οφθαλμού είναι Γ . Η μεγέθυνση αυτή είναι εκείνη με την οποία αξιοποιείται πλήρως η διακριτική ικανότητα του οργάνου. Να γίνει εφαρμογή του αποτελέσματος για το τηλεσκόπιο του Εργαστηρίου μας και για μήκος κύματος $\lambda = 5600 \text{ \AA}$.

5) Να μετρηθεί ο χρόνος που χρειάζεται ένας αστέρας, γνωστών ουρανογραφικών συντεταγμένων, για να διασχίσει το οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου του Εργαστηρίου μας για διάφορους προσοφθάλμιους φακούς. Στη συνέχεια να υπολογιστεί η φαινόμενη διάμετρος αυτών των οπτικών πεδίων.

6) Να βρεθεί η διακριτική ικανότητα του τηλε-

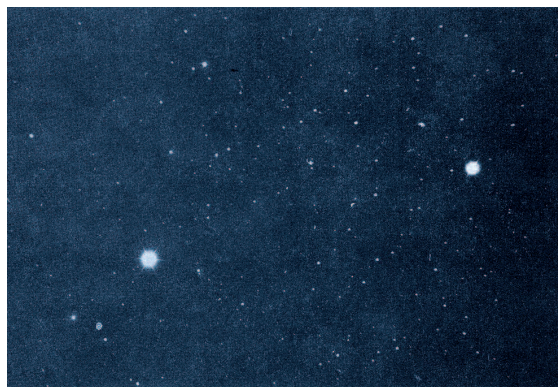
σκοπίου του Εργαστηρίου μας. Για μια παρατήρηση δυο γειτονικών σεληνιακών σχηματισμών, νομίζετε ότι, θα ήταν απαραίτητο να διαθέτουμε ένα τηλεσκόπιο καλύτερης διακριτικής ικανότητας;

7) Ποια από τα παρακάτω ζεύγη διπλών αστερών μπορούν να παρατηρηθούν με τηλεσκόπιο που έχει εστιακό λόγο $f/15$ και εστιακή απόσταση αντικειμενικού $F = 3 \text{ m}$;

Ζεύγος	Γωνιώδης	απόσταση	Φαινόμενα	Μεγέθη των μελών του
1	1",22	9	10	
2	0",30	7	8	
3	1",31	10	15	

8) Να υπολογισθεί η εστιακή απόσταση του τηλεσκοπίου με τη βοήθεια μιας φωτογραφίας ενός αστρικού πεδίου που θα πάρετε μ' αυτό. Αν η ποιότητα της φωτογραφίας σας δεν είναι ικανοποιητική, τότε μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το υλικό που σας δίνουμε, δηλαδή:

α) Μια φωτογραφία της περιοχής του ζ Ori, η



Σχήμα 2-27. Φωτογραφία της περιοχής του ζ Orionis.

οποία στη μια πλευρά της έχει αποτυπωμένη τη χιλιοστομετρική κλίμακα με την ίδια μεγέθυνση M που εκτυπώθηκε η φωτογραφία (Σχήμα 2-27).

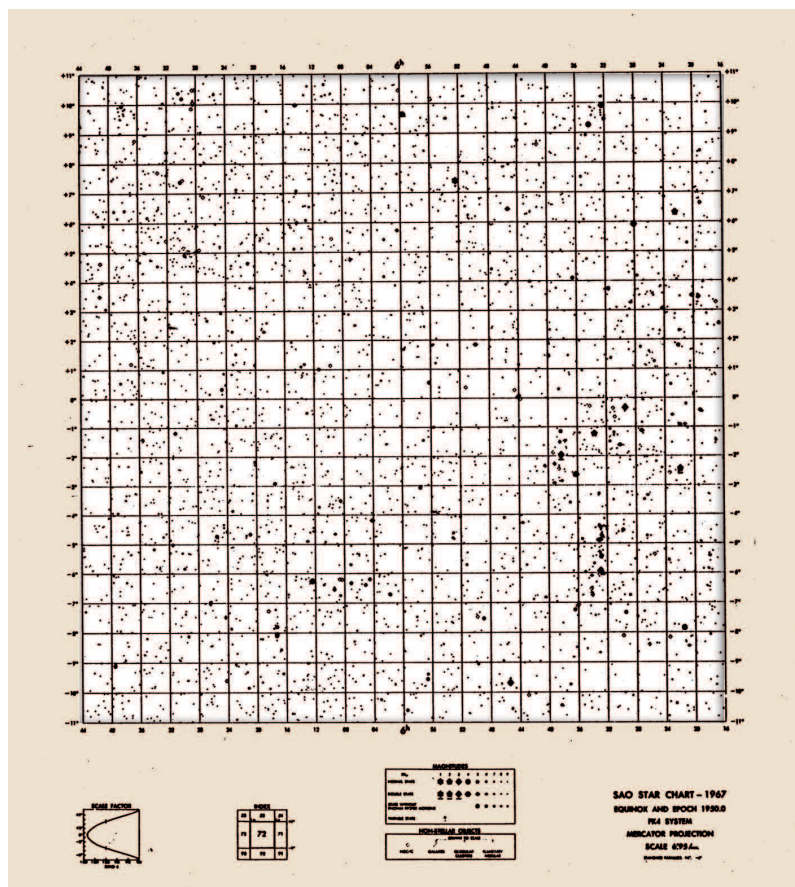
β) Ο χάρτης (Star Atlas του Smithsonian Astrophysical Observatory) της αντίστοιχης περιοχής του ουρανού (Σχήμα 2-28).

Για την εκτέλεση της άσκησης, να διαλέξετε στη φωτογραφία δύο αστέρες Σ_1, Σ_2 , και, με τη βοήθεια του χάρτη, να βρείτε τις ουρανογραφικές συντεταγμένες τους (α_1, δ_1), (α_2, δ_2), στη συνέχεια δε με τη βοήθεια του σφαιρικού τριγώνου $\Pi\Sigma_1\Sigma_2$ να υπολογίσετε τη γωνιώδη απόσταση ω των δύο αστέρων.

Μετρείστε την απόσταση S των αστέρων Σ_1 και Σ_2 πάνω στη φωτογραφία και από τη σχέση $k = \omega/(S/M)$ να βρείτε την κλίμακα του ειδώλου. Έχουμε $S = \omega \times F$ (ω σε ακτίνια) και επομένως:

$$F = 206265/K$$

9) Με τη βοήθεια της φωτογραφίας της Σελήνης που πήρατε στην εργαστηριακή άσκηση της Σελήνης να βρείτε τη φαινόμενη ημιδιάμετρο που παρουσίαζε η Σελήνη εκείνη τη βραδιά. Συγκρίνετε την τιμή που βρήκαμε με την τιμή της ημιδιαμέτρου, που δίνεται από την Αστρονομική Εφημερίδα για τη βραδιά αυτή.



Σχήμα 2-28. Χάρτης της περιοχής του ζ Orionis.