



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΟΠΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ. ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΖΗΣΗΣ Α.Μ. 65

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΑΤΕΛΟΥΖΟΣ

ΑΙΓΙΟ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2012

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε για το Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πάτρας και συγκεκριμένα για το τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας της Σχολής Επαγγελμάτων Υγείας και Πρόνοιας.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα διάφορα είδη τηλεσκοπίων, τα οποία διακρίνονται ανάλογα με την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που εξετάζουν, ο τρόπος λειτουργίας τους και η συμβολή τους στην αστρονομική έρευνα. Στόχος της εργασίας είναι να αναδείξει τη προσφορά της επιστήμης της οπτικής στην αλματώδη ανάπτυξη που γνώρισε ο τομέας της αστρονομίας, από την εποχή του Γαλιλαίου έως της μέρες μας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον εποπτεύοντα καθηγητή μου Δρ. Αναστάσιο Κατελούζο, ο οποίος υποστήριξε την προσπάθειά μου καθ' όλη τη διάρκειά της.

Περίληψη

Η επιστήμη της Οπτικής έχει συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη της Αστρονομικής επιστήμης, η οποία με την αλματώδη πρόοδο που έχει σημειώσει έχει αυξήσει τις γνώσεις των ανθρώπων για το σύμπαν σε τεράστιο βαθμό. Για τους αρχαίους πολιτισμούς, το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου θα αποτελούσε σίγουρα μεγάλη καινοτομία. Από την εποχή του Γαλιλαίου μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα είχε σημειωθεί μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα της αστρονομίας. Το μεγάλο άλμα όμως έγινε μετά το τέλος του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου. Νέες επαναστατικές τεχνολογίες υπερνίκησαν τους περιορισμούς της γήινης ατμόσφαιρας και συνέλλεξαν δεδομένα υψηλής ακρίβειας από όλο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η εργασία απαρτίζεται από έξι κεφάλαια και ασχολείται με την παρουσίαση των τύπων των τηλεσκοπίων και των νέων τεχνολογιών, που άλλαξαν τα δεδομένα στην παρατήρηση των αστρονομικών φαινομένων. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται γενική αναφορά στην αστρονομική επιστήμη και στους τομείς που την απαρτίζουν, καθώς και εκτεταμένη ιστορική αναδρομή.

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με την πρισματική δίοπτρα (κιάλια), η οποία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της οπτικής και της αστρονομίας.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στα οπτικού τύπου τηλεσκόπια και είναι και το πιο εκτενές, δεδομένου ότι για αρκετούς αιώνες ο μοναδικός κλάδος της αστρονομίας ήταν ο οπτικός.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο ραδιοτηλεσκόπιο. Η ραδιοαστρονομία είναι ο αρχαιότερος από τους νέους κλάδους της αστρονομίας που αναπτύχθηκαν τον 20^ο αιώνα.

Το πέμπτο κεφάλαιο ασχολείται με τα τηλεσκόπια υπέρυθρου τύπου. Οι υπέρυθρες αστρονομικές παρατηρήσεις διεξάγονται μόνο κατά ένα μικρό μέρος από επίγεια τηλεσκόπια, εξαιτίας της αδιαφάνειας που παρουσιάζει η γήινη ατμόσφαιρα σε αυτό το μήκος κύματος και η οποία οφείλεται στους υδρατμούς και στο διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχουν σε αυτή.

Το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρεται στα τηλεσκόπια ακτινών X και γ. Η έρευνα σε αυτό τον κλάδο της αστρονομίας διεξάγεται μόνο από το διάστημα, καθώς η γήινη ατμόσφαιρα παρουσιάζει πλήρη αδιαφάνεια σε αυτά τα μήκη κύματος.

Abstract

The science of Optics has contributed significantly in the growth of astronomical science, which made huge progress and increased people's knowledge about the Universe. Since the Galilean Telescope and up to the beginning of the 20th century the sector of astronomy made remarkable growth. However, the big jump was made after the end of the World War 2. New revolutionary technologies overcame the earth's restrictions and collected high precision data through all the electromagnetic spectrum.

This thesis is consisted of six chapters and it deals with the presentation of telescope types and new technologies that changed people's way to observe astronomical phenomena. The first chapter refers to the astronomical science in general and the sectors that constitute it, as well as extensive historical retrospection.

The second chapter deals with the prismatic binoculars, which is an integral piece of Optics and Astronomy.

The third chapter is an extensive report in the optical telescope, since it was for centuries the only tool of astronomy.

The fourth chapter describes the radio telescope. Radio astronomy is the oldest of the new fields of astronomy that were developed during the 20th century.

The fifth chapter deals with infrared telescopes. Only a small percentage of the infrared observations is carried out by ground telescopes, due to the earth's atmospheric opacity in these wavelengths, which is a result of water vapors and carbon dioxide.

The sixth and last chapter presents the X- ray and gamma ray telescopes. Research in this field of astronomy, is carried out only by space observatories, due to the total earth's atmospheric opacity in these wavelengths.

Περιεχόμενα

Πρόλογος – Ευχαριστίες	i
Περίληψη	ii
Abstract.....	iii
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στην Αστρονομία	2
1.1 Γενικά.....	2
1.2 Παρατηρησιακή αστρονομία.....	2
1.2.1 Ραδιοαστρονομία	3
1.2.2 Υπέρυθρη Αστρονομία.....	3
1.2.3 Οπτική Αστρονομία	4
1.2.4 Υπεριώδης Αστρονομία	4
1.2.5 Αστρονομία ακτινών Χ	4
1.2.6 Αστρονομία ακτινών γ	5
1.3 Ιστορική Αναδρομή	6
1.3.1 Αρχαία Ελληνική και Ελληνιστική Αστρονομία.....	6
1.3.2 Αρχαιοαστρονομία	10
1.3.3 Μνημεία αρχαιοαστρονομικού ενδιαφέροντος	11
Κεφάλαιο 2. Πρισματικές Διόπτρες (Κιάλια)	14
2.1 Γενικά.....	14
2.2 Αστρονομικά κιάλια	14
Κεφάλαιο 3. Οπτικό Τηλεσκόπιο	16
3.1 Γενικά.....	16
3.2 Ιστορική αναδρομή	16
3.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη τηλεσκοπίου	18
3.4 Οπτικά Σφάλματα	19
3.5 Στήριξη και προσανατολισμός τηλεσκοπίων	22
3.5.1 Αλταζιμουθιακή στήριξη.....	22
3.5.2 Ισημερινή στήριξη	23
3.6 Τύποι οπτικών τηλεσκοπίων	23
3.6.1 Διοπτρικό τηλεσκόπιο	23
3.6.2 Ανακλαστικό ή κατοπτρικό τηλεσκόπιο	24

3.6.3 Καταδιοπτρικό τηλεσκόπιο.....	27
3.7 Διάσημα Οπτικά τηλεσκόπια.....	29
Κεφάλαιο 4. Ραδιοτηλεσκόπιο	33
4.1 Γενικά.....	33
4.2 Ιστορική αναδρομή	33
4.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	35
4.4 Γωνιακή διακριτική ικανότητα	36
4.5 Ραδιοσυμβολομετρία.....	36
4.6 Μεγάλα Ραδιοτηλεσκόπια	37
4.7 Αστρονομικές ραδιοπηγές	40
4.7.1 Γαλαξιακές Ραδιοπηγές	40
4.7.2 Εξωγαλαξιακές Ραδιοπηγές	42
Κεφάλαιο 5. Τηλεσκόπιο Υπερύθρου	43
5.1 Ιστορική Αναδρομή	43
5.2 Γενικά στοιχεία	44
5.3 Υπέρυθρη Τεχνολογία	46
5.4 Χρήσεις τηλεσκοπίων υπερύθρου	47
Κεφάλαιο 6. Τηλεσκόπια Ακτινών Χ και γ	49
6.1 Αστρονομία ακτινών Χ και γ	49
6.2 Ιστορική αναδρομή	50
6.3 Ανακλαστικά τηλεσκόπια ακτινών Χ και γ	52
6.4 Παρατηρητήρια ακτινών Χ και γ σε τροχιά	54
6.5 Αστρονομικές πηγές ακτινών Χ και γ	56
Συζήτηση	60
Ένθετο	61
European Extremely Large Telescope	61
Βιβλιογραφικές Παραπομπές	63

Εισαγωγή

Από τότε που ο Γαλιλαίος έστρεψε το πρώτο τηλεσκόπιο στον ουρανό, η ανάπτυξη που έχει γνωρίσει η επιστήμη της αστρονομίας είναι πολύ μεγάλη. Σε αυτή την εργασία θα τονιστεί η συμβολή της επιστήμης της Οπτικής στην εξέλιξη της αστρονομίας. Λαμβάνοντας ως δεδομένο πως ο μοναδικός κλάδος της αστρονομίας ήταν για αιώνες ο οπτικός, δεν μπορεί παρά να αποτέλεσε τη βάση για την εμφάνιση και την εξέλιξη και όλων των νεότερων κλάδων.

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται από έξι κεφάλαια, σε καθένα από τα οποία περιγράφονται οι διάφοροι κλάδοι της αστρονομικής επιστήμης και είναι τοποθετημένοι με χρονολογική σειρά, από τον αρχαιότερο στο νεότερο.

Το συγκεκριμένο θέμα αποτελεί σημείο αναφοράς για την επιστήμη της Οπτικής, καθώς με βάση αυτή έχουν βελτιωθεί σημαντικά οι γνώσεις του ανθρωπίνου είδους για το σύμπαν, για τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε αυτό και για το ρόλο που αυτά διαδραματίζουν στην καθημερινότητά μας.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στην Αστρονομία

1.1 Γενικά

Η αστρονομία είναι η φυσική επιστήμη που ερευνά και εξετάζει τα ουράνια αντικείμενα (όπως αστέρια, πλανήτες, κομήτες, νεφελώματα, αστρικά σμήνη και γαλαξίες) και τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα (όπως την κοσμική ή μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου). Ασχολείται με την εξέλιξη, τη φυσική, τη χημεία, τη μετεωρολογία, τη κίνηση των ουράνιων σωμάτων, καθώς και με το σχηματισμό και την εξέλιξη του σύμπαντος.

Η αστρονομία είναι μία από τις αρχαιότερες επιστήμες. Προϊστορικοί πολιτισμοί άφησαν ως κληρονομιά αστρονομικά τεχνουργήματα, όπως τις Αιγυπτιακές πυραμίδες και το Stonehenge. Νεότεροι πολιτισμοί, όπως οι Βαβυλώνιοι, οι Έλληνες, οι Κινέζοι, οι Ινδοί και οι Μάγια παρατηρούσαν μεθοδικά τον ουρανό κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, ο τομέας της επαγγελματικής αστρονομίας χωρίζεται στον παρατηρησιακό και τον θεωρητικό κλάδο. Η παρατηρησιακή αστρονομία επικεντρώνεται στην απόκτηση δεδομένων από τις παρατηρήσεις των ουράνιων αντικειμένων, τα οποία στη συνέχεια αναλύονται με τις βασικές αρχές της φυσικής. Η θεωρητική αστρονομία είναι προσανατολισμένη προς την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ή αναλυτικών μοντέλων για να περιγράψει αστρονομικά αντικείμενα και φαινόμενα. Οι δύο τομείς συμπληρώνουν ο ένας τον άλλον, με τη θεωρητική αστρονομία να επιδιώκει να εξηγήσει τα παρατηρησιακά αποτελέσματα, ενώ η παρατηρησιακή αστρονομία με τη σειρά της επιβεβαιώνει τα θεωρητικά μοντέλα.

Η αστρονομία είναι μία από τις λίγες επιστήμες, που οι ερασιτέχνες έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξή της. Οι ερασιτέχνες αστρονόμοι έχουν συμβάλει σε πολλές σημαντικές αστρονομικές ανακαλύψεις και εξακολουθούν να έχουν ενεργό ρόλο, κυρίως στην παρατήρηση παροδικών φαινομένων.

1.2 Παρατηρησιακή αστρονομία

Στην αστρονομία, η κύρια πηγή πληροφοριών για τα ουράνια σώματα και άλλα αντικείμενα, είναι το ορατό φως ή γενικότερα η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η παρατηρησιακή αστρονομία διαιρείται σε υποκατηγορίες, σύμφωνα με την παρατηρηθείσα περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μερικά μέρη του φάσματος μπορούν να παρατηρηθούν από την επιφάνεια της Γης, ενώ άλλα είναι παρατηρήσιμα είτε από μεγάλα υψόμετρα είτε από το διάστημα.

1.2.1 Ραδιοαστρονομία

Η Ραδιοαστρονομία μελετά ακτινοβολίες με μήκη κύματος μεγαλύτερα από ένα περίπου χιλιοστό και μας επιτρέπει να παρατηρήσουμε αντικείμενα που δεν είναι ανιχνεύσιμα με την οπτική αστρονομία (NASA, 2010).

Η ραδιοαστρονομία διαφέρει από τις περισσότερες άλλες μορφές παρατηρησιακής αστρονομίας, διότι τα παρατηρούμενα ραδιοκύματα μπορούμε να τα χειριστούμε ως κύματα και όχι ως διακριτά φωτόνια. Ως εκ τούτου, είναι σχετικά πιο εύκολο να μετρηθούν τόσο το πλάτος όσο και η φάση των ραδιοκυμάτων, πράγμα το οποίο είναι δυσκολότερο να γίνει σε μικρότερα μήκη κύματος (Cox, 2000).

Η αρχική ανίχνευση ραδιοκυμάτων από ένα αστρονομικό αντικείμενο έγινε στη δεκαετία του 1930, όταν ο Karl Jansky παρατήρησε την ακτινοβολία που προέρχεται από το Γαλαξία μας.

Η ραδιοαστρονομία έχει συμβάλλει στην αύξηση των αστρονομικών γνώσεων, ιδίως με την ανακάλυψη νέων αντικείμενων, όπως τα πάλσαρ, τα κβάζαρ και οι ραδιογαλαξίες. Τα εν λόγω αντικείμενα αποτελούν μερικές από τις πιο ακραίες και ενεργητικές διεργασίες στο σύμπαν.

Επίσης, με τη βοήθεια της ραδιοαστρονομίας ανιχνεύθηκε και η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου, η οποία μάλιστα αποτελεί αδιάσειστο στοιχείο επιβεβαίωσης της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης (Big Bang).

1.2.2 Υπέρυθρη Αστρονομία

Η υπέρυθρη αστρονομία ασχολείται με την ανίχνευση και την ανάλυση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (μήκη κύματος μεγαλύτερα από το κόκκινο φως). Με εξαίρεση τα μήκη κύματος κοντά στο ορατό φως, η υπέρυθρη ακτινοβολία σε μεγάλο βαθμό απορροφάται από την ατμόσφαιρα, η οποία με τη σειρά της παράγει σημαντικές υπέρυθρες εκπομπές.

Συνεπώς, τα υπέρυθρα παρατηρητήρια θα πρέπει να βρίσκονται είτε σε ξηρά σημεία με μεγάλο υψόμετρο, είτε στο διάστημα. Το φάσμα υπέρυθρου είναι χρήσιμο για τη μελέτη αντικειμένων που βρίσκονται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία και αδυνατούν να ακτινοβολήσουν ορατό φως, όπως οι πλανήτες και οι περιαστρικοί δίσκοι (circumstellar disks).

Μεγαλύτερα υπέρυθρα μήκη κύματος, μπορούν να διεισδύουν σε σύννεφα σκόνης που εμποδίζουν το ορατό φως, επιτρέποντας έτσι την παρατήρηση νέων αστέρων σε μοριακά νέφη και γαλαξιακούς πυρήνες (ESA, 2003). Μερικά μόρια ακτινοβολούν έντονα στο υπέρυθρο, γεγονός που τα καθιστά πολύ χρήσιμα στη μελέτη της χημείας του διαστήματος, όπως στην ανίχνευση νερού.

1.2.3 Οπτική Αστρονομία

Η οπτική αστρονομία ή αστρονομία ορατού φωτός, είναι η αρχαιότερη μορφή αστρονομίας (Moore, 1997). Αρχικά, οι εικόνες του ουρανού σχεδιάζονταν με το χέρι, ενώ στα τέλη του 19^{ου} και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα η αποτύπωση των εικόνων άρχισε να γίνεται με τη χρήση φωτογραφικού εξοπλισμού.

Στις μέρες μας, για την αποτύπωση των εικόνων χρησιμοποιούνται ψηφιακοί ανιχνευτές συζευγμένου φορτίου (Charge Coupled Devices – CCD). Παρόλο που το μήκος κύματος του ορατού φωτός κυμαίνεται μεταξύ 400 nm και 700 nm, οι ίδιοι ανιχνευτές χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση ακτινοβολιών με μήκη κύματος κοντά στην περιοχή του υπεριώδους ή του υπερύθρου.

1.2.4 Υπεριώδης Αστρονομία

Η υπεριώδης αστρονομία χρησιμοποιείται για παρατηρήσεις σε υπεριώδη μήκη κύματος, που κυμαίνονται μεταξύ 10 nm και 320 nm (Cox, 2000). Το φως σε αυτά τα μήκη κύματος απορροφάται από την ατμόσφαιρα της γης, έτσι οι παρατηρήσεις πρέπει να εκτελούνται από την ανώτερη ατμόσφαιρα ή το διάστημα.

Η υπεριώδης αστρονομία είναι η καταλληλότερη για τη μελέτη της θερμικής ακτινοβολίας και των φασματικών γραμμών εκπομπής από τους κυανούς γίγαντες, οι οποίοι είναι αστέρες με φασματικό τύπο O ή B (OB stars). Οι κυανοί γίγαντες είναι εξαιρετικά λαμπροί και η επιφανειακή τους θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή (>20.000 K), ώστε σημαντικό τμήμα της ακτινοβολούμενης ενέργειας να εκπέμπεται ως υπεριώδες φως, αόρατο στο ανθρώπινο μάτι.

Άλλα σώματα που παρατηρούνται στο υπεριώδες φως, περιλαμβάνουν πλανητικά νεφελώματα, υπολείμματα υπερκαινοφανών αστερών (supernova) και ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες (Cox, 2000).

Ωστόσο, επειδή το υπεριώδες φως απορροφάται εύκολα από την ενδοαστρική σκόνη (interstellar dust), απαιτείται κατάλληλη προσαρμογή των υπεριωδών μετρήσεων.

1.2.5 Αστρονομία ακτινών X

Η αστρονομία ακτινών X είναι η μελέτη αστρονομικών αντικειμένων σε μήκη κύματος ακτινών X που κυμαίνονται μεταξύ 0.01 nm και 10 nm. Τα αντικείμενα αυτά εκπέμπουν την ακτινοβολία ακτινών X ως ακτινοβολία σύγχροτρον (synchrotron emission), κατά την οποία ρελατιβίστικα σωματίδια που κινούνται μέσα σε μαγνητικό πεδίο χάνουν ενέργεια με εκπομπή ακτινοβολίας.

Δεδομένου ότι οι ακτίνες X απορροφώνται από την ατμόσφαιρα της γης, όλες οι παρατηρήσεις αυτού του τύπου θα πρέπει να γίνονται από πυραύλους, διαστημόπλοια ή αερόστατα μεγάλου υψομέτρου, τα οποία απελευθερώνονται στη στρατόσφαιρα και μπορούν να φτάσουν έως και τα 120.000 πόδια (37 km) ύψος.

Αξιοσημείωτες πηγές ακτινών X αποτελούν οι δυαδικοί αστέρες ακτινών X (X-ray binaries), οι αστέρες νετρονίων (pulsars), τα υπολείμματα υπερκαινοφανών αστέρων (supernova remnants), οι ελλειπτικοί γαλαξίες, τα σμήνη γαλαξιών και οι ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες (AGN, Active Galactic Nuclei) (Cox, 2000).

Σύμφωνα με τη NASA, οι ακτίνες X παρατηρήθηκαν και τεκμηριώθηκαν για πρώτη φορά το 1895 από το Wilhelm Conrad Röntgen, ένα Γερμανό επιστήμονα ο οποίος τις βρήκε τυχαία κατά τη διάρκεια ενός πειράματος με σωλήνες κενού (vacuum tubes).

Μέσω μίας σειράς πειραμάτων, συμπεριλαμβανομένης και της περίφημης ακτινογραφίας του χεριού της συζύγου του φορώντας το γαμήλιο δακτυλίδι της (Εικόνα 1), ο Röntgen ήταν σε θέση να διατυπώσει την αρχή της συγκεκριμένης ακτινοβολίας. Το «X», στην πραγματικότητα, αποτελεί δείγμα της ανικανότητας του Γερμανού να προσδιορίσει ακριβώς ποιος τύπος ακτινοβολίας ήταν.



Εικόνα 1

Επιπλέον, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι σε μερικές γερμανόφωνες χώρες οι ακτινογραφίες αποκαλούνται ακόμα ως ακτίνες Röntgen, προς τιμήν του ανθρώπου που τις ανακάλυψε.

1.2.6 Αστρονομία ακτινών γ

Η αστρονομία ακτινών γ είναι η μελέτη των αστρονομικών αντικειμένων στα μικρότερα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (<10 pm). Οι ακτίνες γ μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα από δορυφόρους, όπως το παρατηρητήριο ακτινών γ Compton, ή από εξειδικευμένα τηλεσκόπια, αποκαλούμενα ατμοσφαιρικά τηλεσκόπια Cherenkov (Cox, 2000). Τα τηλεσκόπια αυτά είναι ικανά να ανιχνεύουν την ακτινοβολία Cherenkov, η οποία εμφανίζεται όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται μέσα στην ύλη πιο γρήγορα από το φως. Αυτό το φαινόμενο είναι το οπτικό αντίστοιχο του ακουστικού κρότου, που δημιουργείται για παράδειγμα, όταν ένα αεροσκάφος σπάει το φράγμα της ταχύτητας του ήχου και κινείται γρηγορότερα από αυτόν.

Τα τηλεσκόπια αυτά, στην πραγματικότητα, δεν ανιχνεύουν τις ακτίνες γ άμεσα, αλλά ανιχνεύουν τις λάμπειες του ορατού φωτός που δημιουργούνται, όταν οι ακτίνες γ απορροφώνται από την ατμόσφαιρα της Γης.

Οι περισσότερες πηγές ακτινών γ, είναι ουσιαστικά εκρήξεις αντικειμένων, οι οποίες παράγουν ακτινοβολία γ από μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου έως μερικές χιλιάδες δευτερόλεπτα προτού εξασθενίσουν. Μόνο το 10% των πηγών ακτινοβολίας γ είναι μη παροδικές. Αυτές οι μόνιμες πηγές περιλαμβάνουν αστέρες νετρονίων και ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες (Cox, 2000).

1.3 Ιστορική Αναδρομή

Οι αρχαίοι πολιτισμοί ταύτιζαν τα ουράνια αντικείμενα με θεούς και πνεύματα και συσχέτιζαν τις κινήσεις τους με φαινόμενα, όπως η βροχή, η ξηρασία, οι εποχές και οι παλίρροιες (Krupp, 2003). Πιστεύεται, ότι οι πρώτοι «επαγγελματίες» αστρονόμοι ήταν ιερείς και η αντίληψη που είχαν για τους «ουρανούς» ήταν θεόσταλη. Αρχαίες κατασκευές με πιθανές αστρονομικές ευθυγραμμίσεις (όπως το Stonehenge), πιθανότατα είχαν και αστρονομικό αλλά και θρησκευτικό χαρακτήρα.

Τα ημερολόγια ήταν κατασκευασμένα με βάση τον ήλιο και τη σελήνη (μετρώντας ημέρα, μήνα και χρόνο) και είχαν μεγάλη σημασία για αγροτικούς πολιτισμούς, για τους οποίους η καλή συγκομιδή είχε άμεση σχέση με την κατάλληλη εποχή σποράς. Το πιο κοινό σύγχρονο ημερολόγιο είναι βασισμένο στο Ρωμαϊκό ημερολόγιο, το οποίο χώριζε το χρόνο σε δώδεκα μήνες με 30 και 31 μέρες ο καθένας εναλλάξ. Το 46 π.Χ. ο Ιούλιος Καίσαρας υιοθέτησε ένα ημερολόγιο αποτελούμενο από 365 και $\frac{1}{4}$ ημέρες, το οποίο είχε προταθεί από τον αρχαίο Έλληνα αστρονόμο Κάλλιππο τον 4^ο αιώνα π.Χ.

Λόγω του ότι κάθε έτος διαρκεί περίπου 6 ώρες παραπάνω από 365 ημέρες, δηλαδή $\frac{1}{4}$ της ημέρας, κάθε τέσσερα έτη δημιουργείται ένα σφάλμα της τάξεως της μίας πλήρους ημέρας. Έτσι έχει καθιερωθεί κάθε τέσσερα χρόνια το δίσεκτο έτος, στο οποίο προσμετράμε μία παραπάνω ημέρα για τη διόρθωση αυτού του σφάλματος.

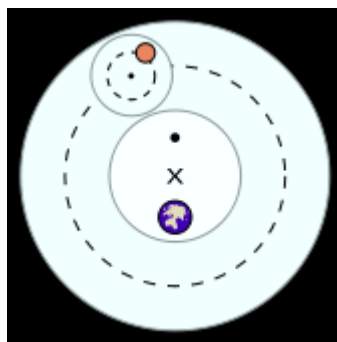
1.3.1 Αρχαία Ελληνική και Ελληνιστική Αστρονομία

Οι Αρχαίοι Έλληνες ανέπτυξαν την αστρονομία, την οποία αντιμετώπισαν ως κλάδο των μαθηματικών, σε ένα ιδιαίτερα εξελιγμένο επίπεδο. Τα πρώτα γεωμετρικά, τρισδιάστατα πρότυπα για την εξήγηση της κίνησης των πλανητών αναπτύχθηκαν τον 4^ο αιώνα π.Χ. από τον Εύδοξο τον Κνίδιο και τον Κάλλιππο τον Κυζικηνό. Τα πρότυπά τους βασίστηκαν σε ομόκεντρες σφαίρες κεντροθετημένες πάνω στη Γη. Ο νεότερος Ηρακλείδης ο

Ποντικός διατύπωσε την άποψη πως η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της.

Μία διαφορετική προσέγγιση στα ουράνια φαινόμενα υιοθετήθηκε από τους φυσικούς φιλοσόφους Πλάτωνα και Αριστοτέλη, οι οποίοι δεν ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη μαθηματικών προγνωστικών προτύπων, αλλά με τη διατύπωση μιας εξήγησης για τους λόγους για τους οποίους κινείται το σύμπαν. Στο έργο του «*Τιμαίος*», ο Πλάτωνας περιέγραψε το σύμπαν ως σφαιρικό σώμα διαιρεμένο σε κύκλους, που φέρει τους πλανήτες και κυβερνάται από μία «παγκόσμια ψυχή». Ο Αριστοτέλης, ο οποίος επεξεργάστηκε το μαθηματικό πρότυπο του Εύδοξου, διατύπωσε, πως το σύμπαν αποτελείται από ένα πολύπλοκο σύστημα ομόκεντρων σφαιρών, των οποίων οι περιστροφικές κινήσεις είναι έτσι συνδυασμένες, ώστε να φέρουν τους πλανήτες γύρω από τη Γη. Αυτό το κοσμολογικό μοντέλο επικράτησε με διάφορες παραλλαγές μέχρι και τον 16^ο αιώνα μ.Χ.

Η ελληνική γεωμετρική αστρονομία συνέχισε να αναπτύσσεται μακριά από το πρότυπο των ομόκεντρων σφαιρών, για να διατυπώσει πιο σύνθετα πρότυπα, σύμφωνα με τα οποία ένας έκκεντρος κύκλος φέρει γύρω του ένα μικρότερο κύκλο, που ονομάζεται επίκυκλος, ο οποίος με τη σειρά του φέρει γύρω του ένα πλανήτη (Εικόνα 2).



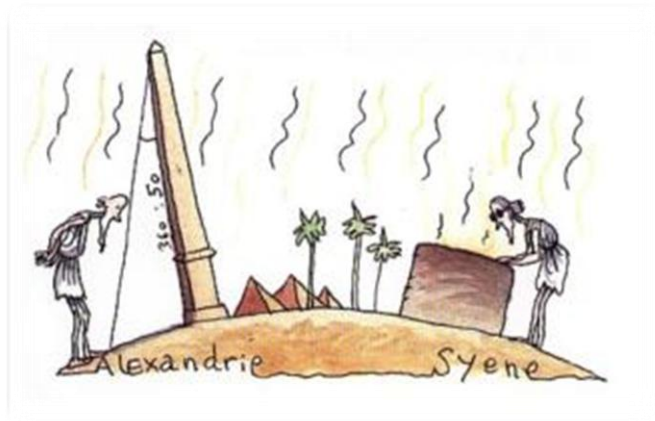
Εικόνα 2

Το πρώτο πρότυπο τέτοιου τύπου πιστώνεται στον Απολλώνιο τον Περγαίο, ενώ το ανέπτυξε περαιτέρω ο Ίππαρχος ο Ρόδιος κατά το 2^ο αιώνα π.Χ. Ο Ίππαρχος συνεισέφερε επιπλέον στην αστρονομία, μετρώντας για πρώτη φορά τη μετάπτωση της Γης και συντάσσοντας τον πρώτο αστρικό κατάλογο στον οποίο μάλιστα διατύπωσε και την έννοια του φαινομένου μεγέθους (apparent magnitude) που χρησιμοποιούμε έως σήμερα. Σύμφωνα με τον Ίππαρχο, το φαινόμενο μέγεθος είναι ο αριθμός που καθορίζει πόσο λαμπρό είναι ένα ουράνιο σώμα, όπως αυτό φαίνεται από τη Γη. Όσο πιο λαμπρό είναι ένα σώμα, τόσο μικρότερη είναι η αριθμητική τιμή του μεγέθους του.

Η μελέτη της αστρονομίας από τους Αρχαίους Έλληνες δεν περιορίστηκε μόνο στα σύνορα της Ελλάδας, αλλά αναπτύχθηκε περαιτέρω κατά τον 3^ο και 2^ο αιώνα π.Χ. στα Ελληνιστικά κράτη και ιδιαίτερα στην Αλεξάνδρεια. Τον 3^ο

αιώνα π.Χ. ο Αρίσταρχος ο Σάμιος ήταν ο πρώτος που έγραψε για το ηλιοκεντρικό σύστημα, δυστυχώς όμως μόνο αποσπασματικές περιγραφές της ιδέας του διασώζονται μέχρι σήμερα (Pedersen, 1993). Ο Ερατοσθένης ήταν ο πρώτος που διατύπωσε τον όρο «Γεωγραφία» καθώς και αυτούς του γεωμετρικού μήκους και γεωμετρικού πλάτους. Ήταν επίσης ο πρώτος που υπολόγισε με μεγάλη ακρίβεια την κλίση του άξονα της Γης και την περιφέρειά της, ενώ πιθανολογείται ότι είχε υπολογίσει και την απόστασή της από τον Ήλιο.

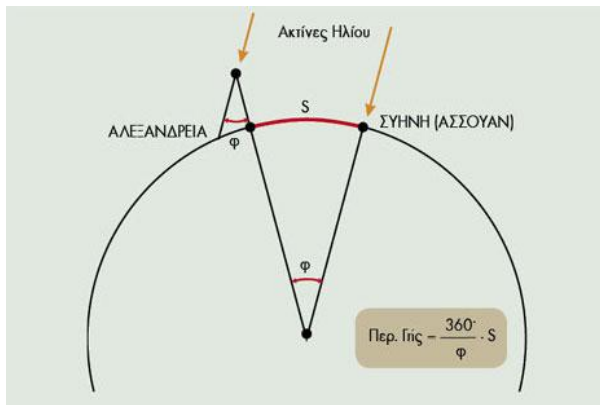
Όταν ο Ερατοσθένης εργαζόταν στη βιβλιοθήκη της Αλεξάνδρειας, γύρω στο 230 π. Χ., διάβασε σε ένα πάπυρο κάτι που τράβηξε την προσοχή του. Στη Σήνη (σημερινό Ασσουάν), το μεσημέρι της μέρας του θερινού ηλιοστασίου (21 Ιουνίου, η μεγαλύτερη ημέρα του έτους στο βόρειο ημισφαίριο) οι ακτίνες του ήλιου έπεφταν κάθετα σε ένα πηγάδι, το οποίο φωτιζόταν ολόκληρο μέχρι τον πυθμένα του.



Εικόνα 3. Σατιρικό σκίτσο του περίφημου πειράματος του Ερατοσθένη

Με τη βοήθεια του βασιλιά Πτολεμαίου, ο οποίος διέθεσε το αναγκαίο σώμα βηματιστών, υπολογίστηκε ότι η απόσταση Σήνης – Αλεξάνδρειας ήταν 5.000 στάδια. Μετά μέτρησε τη γωνία που σχηματίζεται στην Αλεξάνδρεια από την κατακόρυφο του τόπου και των ακτινών του ήλιου, την οποία βρήκε ίση με το πεντηκοστό της περιφέρειας κύκλου και λίγο παραπάνω. Με τον παρακάτω τύπο υπολόγισε το μήκος της περιμέτρου της Γης ίσο με 252.000 στάδια.

Το στάδιο, που ήταν μονάδα μέτρησης του μήκους κατά την ελληνιστική εποχή, ισούται με 157,5 μέτρα. Τα 252.000 στάδια δηλαδή είναι ίσα με 39.690 χιλιόμετρα. Από σημερινές δορυφορικές μετρήσεις προκύπτει, ότι η περιφέρεια της Γης είναι 40.048 χιλιόμετρα.

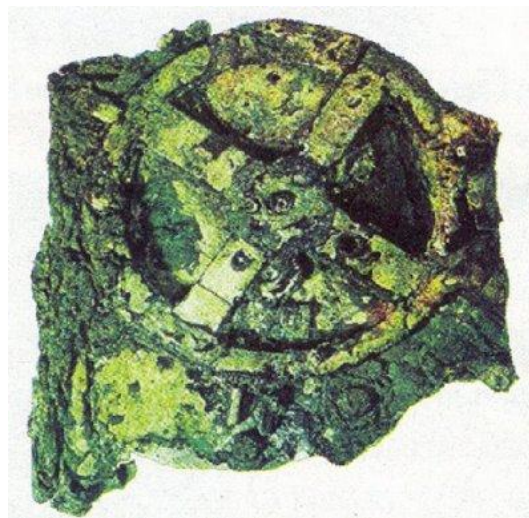


$$\frac{\varphi}{S} = \frac{360^\circ}{\text{Πεφ. Γής}} \Rightarrow \text{Πεφ. Γής} = \frac{360^\circ}{\varphi} \cdot S$$

Εικόνα 4. Ο Υπολογισμός της περιμέτρου της Γης από τον Ερατοσθένη

Στους Αρχαίους Έλληνες πιστώνεται και ο περίφημος μηχανισμός των Αντικυθήρων, μία αστρονομική συσκευή που υπολόγιζε τις μετακινήσεις του Ήλιου, της Σελήνης και πιθανότατα των πλανητών. Με βάση τη μορφή των ελληνικών επιγραφών που φέρει, χρονολογείται μεταξύ 150 – 100 π.Χ. και ανακαλύφθηκε σε ένα αρχαίο ναυάγιο ανοιχτά των Αντικυθήρων, μεταξύ Κυθήρων και Κρήτης.

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός είναι η αρχαιότερη σωζόμενη διάταξη με γρανάζια φτιαγμένα από μπρούτζο και έδινε, κατά την επικρατέστερη άποψη, τη θέση του ήλιου και της σελήνης καθώς και τις φάσεις της σελήνης. Μπορούσε επίσης να εμφανίσει τις εκλείψεις ηλίου και σελήνης βασισμένος στο βαβυλωνιακό κύκλο του Σάρου. Τα καντράν του απεικόνιζαν τουλάχιστον δύο ημερολόγια, ένα ελληνικό βασισμένο στο Μετωνικό κύκλο και ένα αιγυπτιακό, που ήταν και το κοινό «επιστημονικό» ημερολόγιο της ελληνιστικής εποχής.



Εικόνα 5. Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων

Η «Αλμαγέστη» αποτελεί το μεγαλύτερο και σημαντικότερο αστρονομικό σύγγραμμα της αρχαιότητας, η αυθεντία του οποίου διατηρήθηκε μέχρι το 16^ο αιώνα. Αποτελεί την κύρια πηγή στην οποία ανατρέχουν οι αστρονόμοι μέχρι

και σήμερα για ιστορικά δεδομένα, καθώς υπήρξε ο βασικός αστρονομικός οδηγός για περίπου μιάμιση χιλιετία.

Ο αρχικός τίτλος του έργου ήταν «Μαθηματική Σύνταξις» και γράφτηκε από τον Κλαύδιο τον Πτολεμαίο, έναν από τους σημαντικότερους αστρονόμους της Ρωμαϊκής εποχής, περί το 140 μ.Χ. Το έργο αποτελείται από 13 βιβλία που φέρουν ελληνική αρίθμηση με κεφαλαία γράμματα, από Α' μέχρι ΙΓ'.

Τα βιβλία αναφέρονται κυρίως στις κινήσεις και τις παραλλάξεις του ήλιου και της σελήνης και στο φαινόμενο της μετάπτωσης. Επίσης συμπεριλαμβάνεται και ο κατάλογος των αστερών, ο οποίος βασίζεται στις παρατηρήσεις που έκαναν ο Ίππαρχος και ο Κλαύδιος Πτολεμαίος. Τέλος, αναφορά γίνεται στους πλανήτες και στα αστρονομικά όργανα της εποχής του συγγραφέα.

1.3.2 Αρχαιοαστρονομία

Η αρχαιοαστρονομία είναι η μελέτη του πως οι άνθρωποι στο παρελθόν αντιλαμβάνονταν τα ουράνια φαινόμενα, πως τα χρησιμοποιούσαν και τι επίδραση είχαν στους πολιτισμούς τους. Ουσιαστικά, μελετά τις αστρονομικές πρακτικές, την ουράνια γνώση, τις μυθολογίες, τις θρησκείες και τις κοσμολογικές πεποιθήσεις όλων των αρχαίων πολιτισμών.

Η αρχαιοαστρονομία συχνά συνδέεται με την εθνοαστρονομία, που είναι η μελέτη των σύγχρονων γηγενών αστρονομικών δοξασιών και την ιστορική αστρονομία, που αποτελεί τη χρήση των ιστορικών αρχείων διαφόρων ουρανίων γεγονότων, για να απαντήσει σε αστρονομικά προβλήματα.

Η αρχαιοαστρονομία χρησιμοποιεί ποικίλες μεθόδους για να αποκαλύψει στοιχεία προηγούμενων πρακτικών, συμπεριλαμβανομένης της αρχαιολογίας, της ανθρωπολογίας, της αστρονομίας, της ιστορίας, της στατιστικής και των πιθανοτήτων. Επειδή αυτές οι μέθοδοι είναι διαφορετικές και χρησιμοποιούν στοιχεία από πολλές διαφορετικές πηγές, το μόνιμο πρόβλημα για τους αρχαιοαστρονόμους είναι η ενσωμάτωσή τους σε μια συνεκτική επιχειρηματολογία.

1.3.3 Μνημεία αρχαιοαστρονομικού ενδιαφέροντος

Newgrange

Το Newgrange είναι ένα προϊστορικό μνημείο στην ανατολική Ιρλανδία, το οποίο κτίστηκε μεταξύ 2900 – 3100 π.Χ. κατά τη Νεολιθική περίοδο. Δεν έχει προσδιοριστεί η ακριβής χρήση του, αλλά πιθανολογείται ότι είχε θρησκευτική



Εικόνα 6. Newgrange

σημασία για τους Ιρλανδούς, καθώς είναι ευθυγραμμισμένο με την ανατολή του ηλίου και για μερικές ημέρες κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο το φως λάμπει κατά μήκος του κεντρικού διαδρόμου του κτίσματος.

Αυτό που καθιστά το συγκεκριμένο γεγονός ξεχωριστό είναι, ότι το φως δεν εισέρχεται στο χώρο μέσω της κυρίας εισόδου, αλλά μέσω ενός κοίλου παραθύρου πάνω από την κεντρική είσοδο. Το εύρημα αυτό αποδεικνύει ότι το συγκεκριμένο μνημείο εκτός από θρησκευτικό, είχε και αστρονομικό συμβολισμό.

Πυραμίδες της Γκίζας

Το σύμπλεγμα των πυραμίδων της Γκίζας βρίσκεται στην Αίγυπτο και είναι το αρχαιότερο από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου, ενώ παράλληλα αποτελεί και το μοναδικό που σώζεται ως σήμερα. Πιθανολογείται, ότι οι πυραμίδες χρησιμοποιούνταν για τον ενταφιασμό των Φαραώ και κατασκευάστηκαν από την τέταρτη δυναστεία των Αιγυπτίων μεταξύ 2584 και 2561 π.Χ. Το σύμπλεγμα αποτελείται από την πυραμίδα του Χέοπα, γνωστή και ως «Μεγάλη Πυραμίδα», τη λίγο μικρότερη πυραμίδα του Χεφρήνου και τη σχετικά μετρίου μεγέθους πυραμίδα του Μυκερίνου (Βέργος, 2007).



Εικόνα 7. Οι Πυραμίδες της Γκίζας

Κάτι που πολύ εύκολα διαπιστώνεται είναι, ότι τα συγκεκριμένα κτίσματα είναι τέλεια προσανατολισμένα προς τα τέσσερα σημεία του ορίζοντα. Έχει αποδειχθεί ότι οι τέσσερις πλευρές τους «κοιτάζουν» με τεράστια ακρίβεια προς Ανατολή, Δύση, Βορρά, Νότο, ενώ και το περίφημο άγαλμα της Σφίγγας είναι τέλεια ευθυγραμμισμένο προς την Ανατολή (Βέργος, 2007).

Η εξερεύνηση της Μεγάλης Πυραμίδας έδειξε την ύπαρξη δύο μεγάλων δωματίων, ένα του βασιλιά Φαραώ και ένα της βασίλισσας, τα οποία διαθέτουν πλάγια φρεάτια που φτάνουν μέχρι την επιφάνεια της πυραμίδας και θυμίζουν ανοίγματα εξαερισμού. Μία έρευνα της δεκαετίας του 1970 έδειξε, ότι δύο από τα ανοίγματα αυτά δείχνουν δύο πολύ σημαντικά άστρα για τους Αιγυπτίους: Τον Alnitak, αστέρα της ζώνης του Ωρίωνα και το Σείριο. Σύμφωνα με την αιγυπτιακή μυθολογία ο αστερισμός του Ωρίωνα συμβόλιζε το θεό Όσιρι και ο Σείριος τη θεά Ίσιδα, οι οποίες θεότητες αποτελούσαν και το πρώτο βασιλικό ζεύγος των Αιγυπτίων (Βέργος, 2007).

Μια πιο πρόσφατη έρευνα διαπιστώνει, ότι ο σχηματισμός των τριών πυραμίδων στο έδαφος συμβολίζει τους τρεις αστέρες του Ωρίωνα, των οποίων το μέγεθος μάλιστα αντικατοπτρίζει και τη σχετική λαμπρότητά τους. Η μικρότερη από τις τρεις πυραμίδες αντιστοιχεί στο αμυδρότερο άστρο του αστερισμού και βρίσκεται εκτός της ευθείας που ορίζουν οι άλλες δύο, όπως ακριβώς και το συγκεκριμένο άστρο σε σχέση με τα υπόλοιπα δύο του αστερισμού (Βέργος, 2007).

Stonehenge

Το Στοουνχετζ είναι ένα μεγαλιθικό μνημείο της νεολιθικής εποχής, που βρίσκεται στην Αγγλία, περίπου 13 χλμ βορειοδυτικά της πόλης Σόλσμπερι. Πρόκειται για ένα κύκλο μεγαλίθων και οι αρχαιολόγοι τοποθετούν την κατασκευή του στο διάστημα μεταξύ 2500 – 2000 π.Χ.

Οι αρχαιοαστρονόμοι πιστεύουν, ότι το Στοουνχετζ χρησίμευε μεταξύ άλλων και ως αστρονομικό παρατηρητήριο. Κατά το θερινό ηλιοστάσιο ο ήλιος ευθυγραμμίζεται με το βράχο Heel και ανατέλλει πάνω από αυτόν δημιουργώντας μια σκιά που εκτείνεται μέχρι το κέντρο του μνημείου. Η ευθυγράμμιση αυτή πιθανότατα υποδηλώνει ένα τελετουργικό συσχετισμό με τη λατρεία του ήλιου. Το σίγουρο είναι, πως αυτοί που έκτισαν το Στόουνχετζ είχαν ακριβή αστρονομική γνώση της τροχιάς του ήλιου.



Εικόνα 8. Stonehenge

El Castillo

Το El Castillo («Το Κάστρο»), γνωστό και ως «Πυραμίδα του Kukulcan», είναι μία πυραμίδα μεσοαμερικανικής αρχιτεκτονικής κτισμένη στον αρχαιολογικό τόπο Chichen Itza, στην περιοχή Γιουκατάν του σημερινού Μεξικού.



Εικόνα 9. El Castillo, Βόρεια πλευρά

Κατασκευάστηκε από τους Μάγια και χρησιμοποιούταν ως ναός για τη λατρεία του θεού Kukulcan. Η χρονολογία ανέγερσής του τοποθετείται στο διάστημα μεταξύ 9^{ου} και 12^{ου} αιώνα μ.Χ. Αποτελείται από μία σειρά τετράγωνων επιπέδων, με κλιμακοστάσιο σε καθεμία από τις τέσσερις πλευρές του κτίσματος. Κάθε κλιμακοστάσιο αποτελείται από 91 σκαλοπάτια. Μαζί με το πρόσθετο σκαλοπάτι της κορυφής, το οποίο είναι και το τελευταίο πριν την είσοδο στο ναό που βρίσκεται σε αυτήν, προκύπτει ένα άθροισμα 365 σκαλοπατιών, το οποίο ενδεχομένως συμβολίζει τις ημέρες του έτους ή τον αριθμό των σεληνιακών τροχιών σε 10.000 περιστροφές (365,01).

Κατά τη διάρκεια της εαρινής και της φθινοπωρινής ισημερίας, ο απογευματινός ήλιος φωτίζει τη βορειοδυτική γωνία της πυραμίδας και δημιουργείται μία σειρά σκιών από το βορειοδυτικό κιγκλίδωμα του κλιμακοστασίου, που μοιάζει με φίδι που έρπεται καθοδικά κατά μήκος του κλιμακοστασίου, έχοντας το κεφάλι του στο φως.

Επιπλέον, από τη δυτική πλευρά του μνημείου, φαίνεται το ηλιοβασίλεμα της 25^{ης} Μαΐου, που παραδοσιακά είναι η ημερομηνία που συμβολίζει τη μετάβαση από την ξηρασία στην περίοδο των βροχών (Krupp, 1997a.).

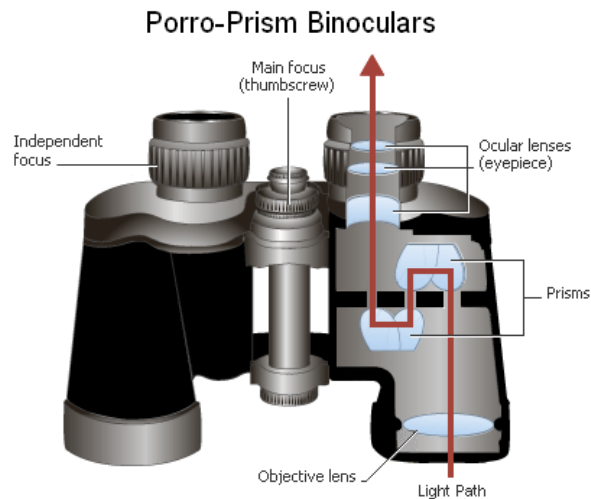


Εικόνα 10. Τεχνητή αναπαράσταση της οπτικής ψευδαίσθησης του ερπετού

Κεφάλαιο 2. Πρισματικές Διόπτρες (Κιάλια)

2.1 Γενικά

Οι διόπτρες ή διόφθαλμα τηλεσκόπια, είναι ένα ζεύγος πανομοιότυπων κατοπτρικών τηλεσκοπίων, τοποθετημένων συμμετρικά και ευθυγραμμισμένων με ακρίβεια προς την ίδια κατεύθυνση, επιτρέποντας έτσι στο χρήστη να χρησιμοποιεί και τα δύο του μάτια (διόφθαλμη όραση), όταν παρατηρεί αντικείμενα σε μακρινές αποστάσεις.



Εικόνα 11. Κιάλια

Σε αντίθεση με τα τηλεσκόπια, που η παρατήρηση είναι μονόφθαλμη, τα κιάλια παρέχουν στους χρήστες μία τρισδιάστατη εικόνα. Οι δύο εικόνες, που παρουσιάζονται σε καθένα από τους οφθαλμούς του θεατή, παράγουν μία τελική συγχωνευμένη εικόνα με την αίσθηση του βάθους. Έτσι, δεν είναι αναγκαίο να εμποδισθεί η όραση του ενός οφθαλμού, για να αποφευχθεί η σύγχυση, όπως συμβαίνει με τα κοινά μονόφθαλμα τηλεσκόπια. Η χρήση των δύο οφθαλμών αυξάνει επίσης σημαντικά την ανάλυση ακόμη και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, στις οποίες η αντίληψη του βάθους δεν είναι αισθητή.

2.2 Αστρονομικά κιάλια

Η εφαρμογή των πρισματικών διοπτρών ποικίλλει. Χρησιμοποιούνται από την όπερα και το θέατρο, που είναι και η απλούστερη μορφή τους, έως το στρατό και την αστρονομία, που είναι και η πιο σύνθετη μορφή που μπορεί κανείς να συναντήσει.

Οι διόπτρες χρησιμοποιούνται ευρέως από τους ερασιτέχνες αστρονόμους, καθώς το ευρύ οπτικό τους πεδίο, τις καθιστά χρήσιμες στην γενική παρατήρηση του ουρανού (φορητές διόπτρες), όπως επίσης και στην αναζήτηση κομητών και υπερκαινοφανών αστερών (γιγαντιαίες διόπτρες).

Τα πραγματικά αστρονομικά κιάλια (διάμετρος φακών άνω των 90mm) είναι εξοπλισμένα με αφαιρούμενους προσοφθάλμιους φακούς, ώστε να εναλλάσσεται η μεγέθυνση, ενώ δεν είναι ανθεκτικά στο νερό ή τη σκληρή χρήση.



Εικόνα 12. Miyuchi 20x100 "Galaxy"

Ο νάνος πλανήτης Δήμητρα (Ceres), ο Ποσειδώνας, ο αστεροειδής Παλλάς, ο Τιτάνας, που είναι ο μεγαλύτερος φυσικός δορυφόρος του Κρόνου και οι τέσσερις μεγαλύτεροι δορυφόροι του Δία (δορυφόροι του Γαλιλαίου) είναι άορατοι στο γυμνό μάτι, αλλά μπορούν εύκολα να παρατηρηθούν με αστρονομικές διόπτρες.

Ο πλανήτης Ουρανός και ο αστεροειδής Εστία, παρόλο που είναι ορατοί με γυμνό μάτι σε μη ρυπασμένο ουρανό, εντούτοις συνίσταται η χρήση διόπτρων για πιο εύκολη παρατήρηση. Η παρατήρηση με κοινά κιάλια (με διάμετρο φακών 50mm) περιορίζεται σε ουράνια σώματα με φαινόμενο μέγεθος μέχρι 10 περίπου, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και την εμπειρία του παρατηρητή. Οι αστεροειδείς Ιντεράμνια, Νταβίντα, Ευρώπη και Υγιεία είναι πολύ εξασθενημένοι και είναι αδύνατο να παρατηρηθούν με κοινά κιάλια. Το ίδιο ισχύει και για τους πλανητικούς δορυφόρους, εκτός από τους δορυφόρους του Γαλιλαίου, τον Τιτάνα και τους νάνους πλανήτες Πλούτωνα και Έριδα. Μεταξύ των αντικειμένων βαθέως ουρανού, με αστρονομικά κιάλια μπορούν να παρατηρηθούν ανοικτά αστρικά σμήνη (open clusters), όπως το λαμπρό διπλό αστρικό σμήνος (NGC 869 και NGC 884) στον αστερισμό του Περσέα, και σφαιρικά σμήνη, όπως το M13 στον αστερισμό του Ηρακλή. Μεταξύ νεφελωμάτων, είναι εύκολο να παρατηρηθούν το M17 στον αστερισμό του Τοξότη και το Βορειοαμερικανικό νεφέλωμα (NGC 7000 ή Caldwell 20) στον αστερισμό του Κύκνου.

Κεφάλαιο 3. Οπτικό Τηλεσκόπιο

3.1 Γενικά

Το οπτικό τηλεσκόπιο είναι μία οπτική διάταξη που χρησιμοποιείται για τη συλλογή και την εστίαση της ορατής ακτινοβολίας, μέσω της οποίας επιχειρείται η παρατήρηση μακρινών αντικειμένων και κυρίως ουρανίων σωμάτων.

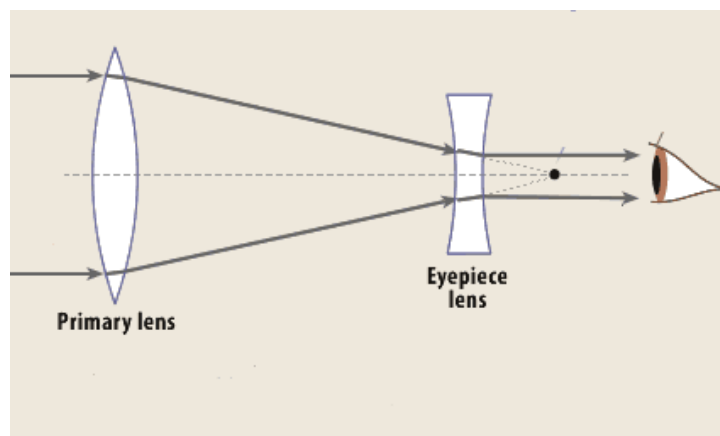
Το οπτικό σύστημα ενός τηλεσκοπίου αποτελείται από τον αντικειμενικό φακό ή κοίλο κάτοπτρο και τον προσοφθάλμιο φακό. Ο αντικειμενικός φακός συλλαμβάνει το φως από τα μακρινά αντικείμενα και διαμορφώνει ένα πραγματικό είδωλο. Το είδωλο αυτό αποτελεί ουσιαστικά το αντικείμενο του δεύτερου φακού, του προσοφθάλμιου, ο οποίος επιτρέπει τη διεύρυνση του ειδώλου αυτού πάνω στον αμφιβληστροειδή του παρατηρητή.

Ο αντικειμενικός φακός μπορεί να είναι ένα απλό κοίλο κάτοπτρο ή να αποτελείται από περισσότερα κάτοπτρα ή φακούς, ή από ένα συνδυασμό και των δύο. Το είδωλο που δημιουργεί ο αντικειμενικός φακός είναι άμεσα παρατηρήσιμο, όχι όμως στο σύνολο του, καθώς ο οφθαλμός λαμβάνει μόνο ένα μικρό μέρος του φωτός που προέρχεται από αυτό. Ο προσοφθάλμιος έχει την ικανότητα να κατευθύνει όλο το φως του ειδώλου στον οφθαλμό, ενώ παράλληλα προσθέτει και ένα σημαντικό ποσό μεγέθυνσης στο τελικό είδωλο που αποτυπώνεται στον αμφιβληστροειδή του παρατηρητή.

Η «καρδιά» του οπτικού συστήματος του τηλεσκοπίου είναι ο αντικειμενικός φακός. Η διάμετρός του ονομάζεται άνοιγμα του τηλεσκοπίου και καθορίζει κατά ένα μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ενός τηλεσκοπίου στη συλλογή ακτινοβολίας, στην ανάλυση και, κατά συνέπεια, στη μεγέθυνση. Σε αντίθεση με τον αντικειμενικό, ο προσοφθάλμιος φακός, δεν έχει κάποια αξιοσημείωτη προσφορά στη συλλογή ακτινοβολίας ή στην ανάλυση και η λειτουργία του περιορίζεται αμιγώς στην ενίσχυση του παραγόμενου από τον αντικειμενικό φακό ειδώλου. Επομένως, οι κύριες οπτικές παράμετροι ενός τηλεσκοπίου, όπως η **διάμετρος του ανοίγματος D** , το **εστιακό μήκος f** και ο **εστιακός λόγος f/D** αφορούν αποκλειστικά τον αντικειμενικό φακό.

3.2 Ιστορική αναδρομή

Το πρώτο γνωστό οπτικό τηλεσκόπιο έκανε την εμφάνισή του το 1608 στην Ολλανδία και πιστώνεται στους κατασκευαστές γυαλιών οράσεως Hans Lippershey, Zacharias Janssen και Jacob Metius. Επρόκειτο για ένα διαθλαστικό τηλεσκόπιο, του οποίου ο σχεδιασμός περιελάμβανε ένα κυρτό αντικειμενικό φακό και ένα κοίλο προσοφθάλμιο (King, 1955).



Εικόνα 13. Σχηματική αναπαράσταση του τηλεσκοπίου των Ολλανδών, που στη συνέχεια πιστώθηκε στο Γαλιλαίο

Το επόμενο έτος, ο Γαλιλαίος ξεκινά να επεξεργάζεται και να βελτιώνει το τηλεσκόπιο των Ολλανδών και πιστώνεται σε αυτόν η πρώτη χρήση τηλεσκοπίου με σκοπό την αστρονομική παρατήρηση. Χωρίς να υπάρχουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στο σχεδιασμό του τηλεσκοπίου, ο τύπος αυτός τηλεσκοπίου καλείται μέχρι και τις μέρες μας *τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου*.



Εικόνα 14. Το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου

Το 1611, ο Johannes Kepler διατυπώνει, ότι ένα τηλεσκόπιο μπορεί να είναι αποδοτικότερο όταν και οι δύο φακοί του είναι κυρτοί και μέχρι το 1655 οι αστρονόμοι, με πρωτεργάτη τον Christiaan Huygens, κατασκευάζουν τέτοιου είδους πανίσχυρα, αλλά δύσχρηστα τηλεσκόπια, με σύνθετους προσοφθάλμιους φακούς (King, 1955).

Μετά την εφεύρεση του διαθλαστικού τηλεσκοπίου από το Γαλιλαίο, πολλοί επιστήμονες της εποχής διατύπωσαν την άποψη, πως τα κυρτά κάτοπτρα είχαν παρόμοιες οπτικές ιδιότητες με τους φακούς και άρχισαν να σκέφτονται

τη δημιουργία ενός τηλεσκοπίου, που για τη δημιουργία ειδώλου, θα χρησιμοποιούσε ένα κάτοπτρο αντί για φακό. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης παραβολικών κατόπτρων (η εξάλειψη της χρωματικής εκτροπής θα απέφερε και μείωση της σφαιρικής) οδήγησαν στη επινόηση πολλών σχεδιασμών, κανένας όμως δεν ήταν λειτουργικός.

Στο Νεύτωνα πιστώνεται η κατασκευή του πρώτου «αποδοτικού» ανακλαστικού τηλεσκοπίου, το οποίο έκανε την εμφάνισή του το 1668 και περιελάμβανε ένα μικρό επίπεδο κάτοπτρο, που ανακλούσε τις φωτεινές ακτίνες σε μία από τις πλευρές του οργάνου, όπου ήταν τοποθετημένος ένας προσοφθάλμιος φακός. Το 1672, ο Laurent Cassegrain επινόησε ένα καινοτόμο σχέδιο ανακλαστικού τηλεσκοπίου, το οποίο περιείχε ένα δευτερεύον κυρτό κάτοπτρο, που ανακλούσε τις φωτεινές ακτίνες στον προσοφθάλμιο φακό, μέσω μίας οπής που βρισκόταν στο κέντρο του πρωτεύοντος κατόπτρου.

Το επόμενο μεγάλο βήμα για την εξέλιξη του διαθλαστικού τηλεσκοπίου έγινε στις αρχές του 18^{ου} αιώνα, με την ανακάλυψη των αχρωματικών φακών, οι οποίοι εξάλειψαν τη χρωματική εκτροπή και επέτρεψαν τη δημιουργία αποδοτικότερων και πιο βραχύσωμων οργάνων με μεγαλύτερους αντικειμενικούς φακούς. Την ίδια περίοδο, σημειώνεται μεγάλη πρόοδος στην κατασκευή κατόπτρων, με αποτέλεσμα τη σταδιακή διάδοση του ανακλαστικού τηλεσκοπίου, το οποίο είναι και ο δημοφιλέστερος τύπος οπτικού τηλεσκοπίου μέχρι και τις μέρες μας.

3.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη τηλεσκοπίου

Η **διάμετρος D** του αντικειμενικού φακού καθορίζει τη διακριτική ικανότητα του τηλεσκοπίου, καθώς επίσης και τον αριθμό των φωτονίων που συλλέγει το όργανο, ο οποίος είναι ανάλογος της επιφάνειας του αντικειμενικού φακού D^2 .

Ο αντικειμενικός και ο προσοφθάλμιος φακός ενός τηλεσκοπίου έχουν τον ίδιο άξονα. Ο αντικειμενικός φακός ορίζει το σημείο εστίασης των κυμάτων, το οποίο είναι το σημείο σύγκλισης των ακτινών ή της ενέργειας των κυμάτων και καθορίζει το εστιακό μήκος του τηλεσκοπίου. Ως **εστιακό μήκος** ορίζεται η απόσταση του αντικειμενικού φακού από το σημείο εστίασης της παράλληλης ακτινοβολίας.

Ο **εστιακός λόγος f/D** είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος, καθώς από αυτόν εξαρτάται η ανάλυση της εικόνας που μας δίνει το τηλεσκόπιο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο εστιακός λόγος του τηλεσκοπίου, τόσο πιο ευκρινείς είναι οι εικόνες που λαμβάνουμε.

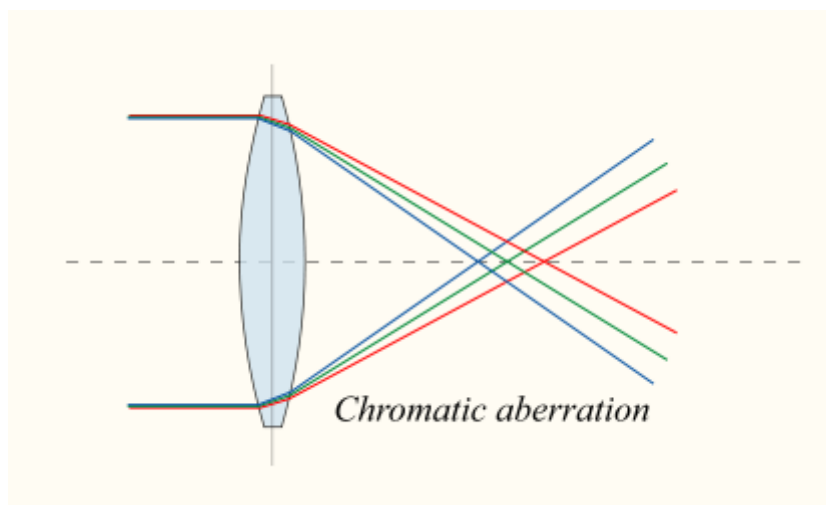
Μεγέθυνση τηλεσκοπίου ονομάζεται η δυνατότητα που έχει ένα τηλεσκόπιο, να παρουσιάζει το παρατηρούμενο αντικείμενο μεγαλύτερο, συγκριτικά με το μέγεθος που έχει, όταν παρατηρείται με γυμνό μάτι. Η μεγέθυνση είναι ο λόγος της εστιακής απόστασης του αντικειμενικού φακού προς την αντίστοιχη του προσοφθάλμιου f_o/f_e .

Διακριτική ικανότητα ενός τηλεσκοπίου, ονομάζεται η ικανότητά του να αναγνωρίζει ως διαφορετικά, δύο αντικείμενα που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους (π.χ. αστέρες). Η διακριτική ικανότητα δίνεται από το λόγο λ/D , όπου λ είναι το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και D η διάμετρος του αντικειμενικού φακού ή του κατόπτρου. Μονάδα μέτρησής της είναι τα δευτερόλεπτα της μοίρας. Σαν μέσο μήκος κύματος της ακτινοβολίας για ένα οπτικό τηλεσκόπιο, ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε θεωρητικά την διακριτική του ικανότητα, παίρνουμε την τιμή $5,6 \times 10^{-5}$ cm.

3.4 Οπτικά Σφάλματα

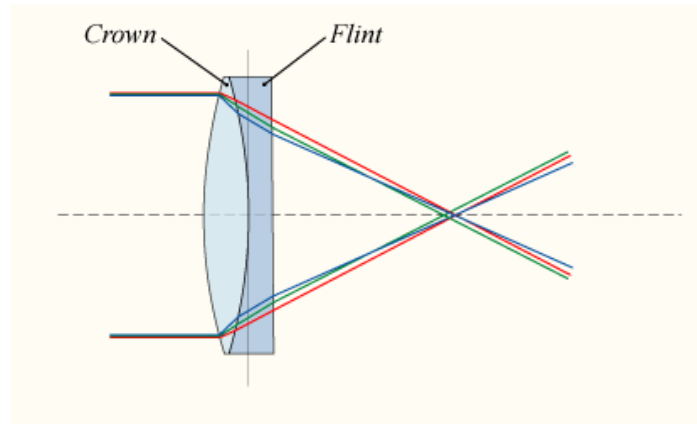
Κάθε ερευνητική εργασία με τηλεσκόπιο απαιτεί λεπτομερή γνώση των οπτικών σφαλμάτων που εισάγει το όργανο και πως αυτά επιδρούν στην ποιότητα της σχηματιζόμενης εικόνας. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που αλλοιώνουν την ποιότητα του ειδώλου και είναι γνωστοί ως «αποκλίσεις» (aberrations) ή πιο απλά, σφάλματα φακών. Τα σφάλματα αυτά αλλοιώνουν τα είδωλα, είτε αυτά παράγονται από κάτοπτρα, είτε από φακούς, με εξαίρεση τη χρωματική εκτροπή, που αφορά αποκλειστικά τους φακούς.

1) Χρωματική εκτροπή. Όταν ακτινοβολία που αποτελείται από διαφορετικά μήκη κύματος περνά μέσα από φακό, τα άκρα της εικόνας που σχηματίζεται από το φακό εμφανίζονται έγχρωμα εξαιτίας του φαινομένου της διασποράς. Οι φακοί έχουν διαφορετική εστία για κάθε μήκος κύματος, επειδή η εστιακή τους απόσταση εξαρτάται από το δείκτη διάθλασης του υλικού τους, ο οποίος με τη σειρά του εξαρτάται από το μήκος κύματος.



Εικόνα 15. Χρωματική εκτροπή

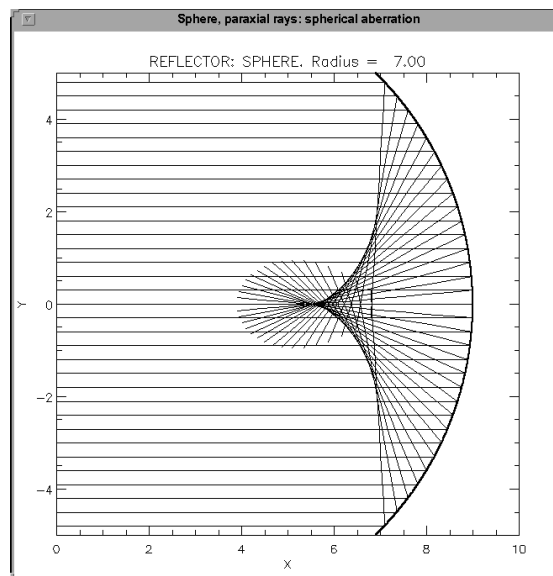
Ο συνδυασμός δύο φακών από διαφορετικό υλικό συνίσταται για τη μείωση της χρωματικής εκτροπής. Στα αστρονομικά διαθλαστικά τηλεσκόπια χρησιμοποιείται συνήθως ένας αμφίκυρτος φακός τύπου crown σε σύνδεση με έναν επιπεδόκυκλο φακό τύπου flint, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αχρωματικού φακού, όπως φαίνεται στην εικόνα 16.



Εικόνα 16. Πορεία ακτίνων μέσω αχρωματικού φακού

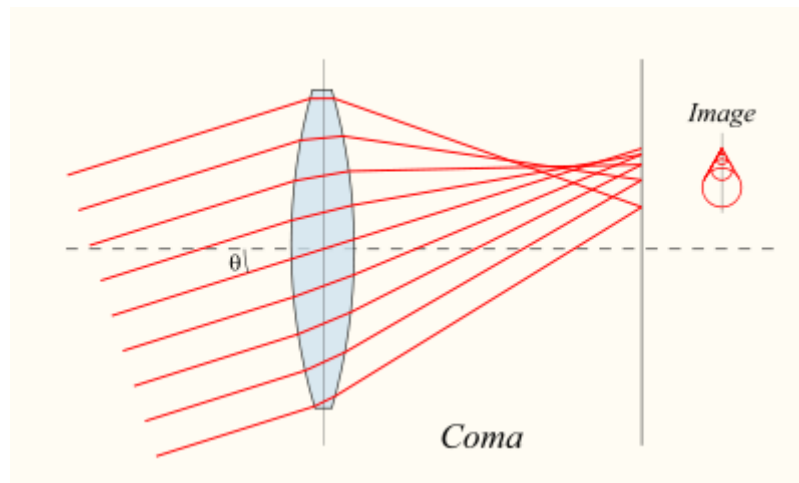
2) Σφαιρική εκτροπή. Το σφάλμα αυτό οφείλεται στο ότι οι δακτύλιοι διαφορετικής ακτίνας των σφαιρικών επιφανειών ενός κατόπτρου έχουν διαφορετικό εστιακό μήκος.

Για την εξάλειψη αυτού του φαινομένου μπορούμε να αντικαταστήσουμε το σφαιρικό κάτοπτρο με ένα παραβολικό. Λόγω των ιδιοτήτων της παραβολής, ένα παραβολικό κάτοπτρο δεν εμφανίζει σφαιρική εκτροπή για ακτίνες παράλληλες στον οπτικό του άξονα, οι οποίες αναγκαστικά περνούν από την εστία της παραβολής.



Εικόνα 17. Σφαιρική εκτροπή

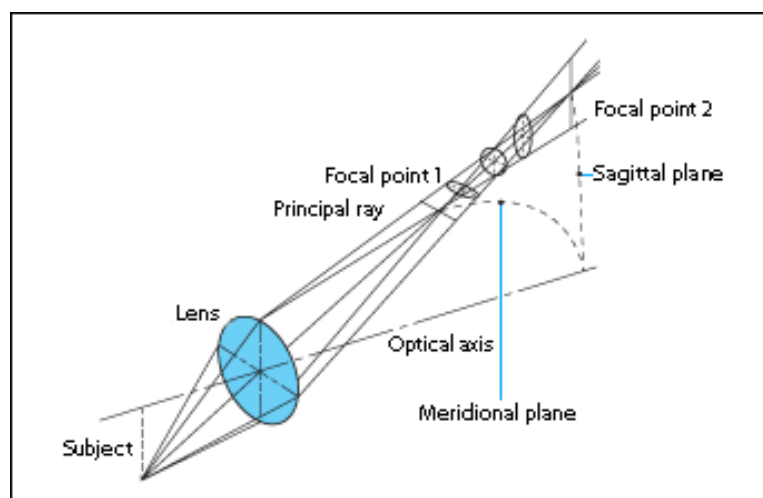
3) Κόμη. Η αντικατάσταση ενός σφαιρικού κατόπτρου με ένα παραβολικό για την εξάλειψη της σφαιρικής εκτροπής, δυστυχώς φέρνει στο φως μία άλλη απόκλιση, η οποία καλείται σφάλμα κόμης. Είναι ένα οπτικό σφάλμα, που εμφανίζει την εικόνα μιας σημειακής πηγής που βρίσκεται μακριά από τον οπτικό άξονα, να αποτελείται από μία σειρά κύκλων, οι οποίοι αντιστοιχούν στις διάφορες δακτυλιοειδείς ζώνες του κατόπτρου ή του φακού. Κάθε δίσκος αυξάνει σε μέγεθος και μειώνεται σε λαμπρότητα όσο απομακρύνεται από τον οπτικό άξονα.



Εικόνα 18. Πορεία ακτινών σε φακό με σφάλμα κόμης

Σε ένα παραβολικό κάτοπτρο η κόμη μπορεί να εξαλειφθεί προσθέτοντας λεπτούς διορθωτικούς φακούς πριν ή μετά από αυτό. Για τη διόρθωση της κόμης σε ένα φακό, χρησιμοποιούμε ένα σύστημα φακών, που καλείται απλανητικός φακός.

4) Αστιγματισμός. Είναι το σφάλμα κατά το οποίο η εστιακή απόσταση των ακτινών, που βρίσκονται στο επίπεδο που ορίζει ο οπτικός άξονας διαφέρει από την αντίστοιχη των ακτινών, που βρίσκονται σε επίπεδο κάθετο με το πρώτο. Ο αστιγματισμός είναι δυνατό να διορθωθεί, με την εισαγωγή όμως ενός ακόμη σφάλματος, αυτό της **καμπύλωσης πεδίου**. Αυτό σημαίνει, πως η επιφάνεια που θα περιέχει τη διορθωμένη εικόνα δεν θα είναι πλέον επίπεδη, αλλά καμπύλη.



Εικόνα 19. Αστιγματισμός

3.5 Στήριξη και προσανατολισμός τηλεσκοπίων

Η σωστή στήριξη ενός τηλεσκοπίου είναι πολύ σημαντική για την παρατήρηση, καθώς κρατά τα οπτικά στοιχεία του οργάνου στη θέση που πρέπει να έχουν, κατευθύνει τον οπτικό του άξονα προς το αντικείμενο παρατήρησης και το κρατά μέσα στο οπτικό πεδίο καθ' όλη τη διάρκεια αυτής. Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί πολλά είδη υποστηριγμάτων, με σκοπό να μπορεί το τηλεσκόπιο να ακολουθεί την κίνηση των αστεριών εξουδετερώνοντας την περιστροφική κίνηση της γης. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι στήριξης είναι η υψοαζιμουθιακή ή αλταζιμουθιακή (altazimuth) και η ισημερινή (Ράμμος, 2010).

3.5.1 Αλταζιμουθιακή στήριξη

Η αλταζιμουθιακή στήριξη επιτρέπει στο τηλεσκόπιο να κινηθεί σε δύο κάθετους άξονες: κατακόρυφα, δηλαδή πάνω και κάτω (altitude) και οριζόντια, δηλαδή αριστερά και δεξιά (azimuth).

Το βασικό μειονέκτημα αυτού του τρόπου στήριξης είναι, ότι το οπτικό πεδίο περιστρέφεται κατά την κίνηση του τηλεσκοπίου, επομένως απαιτεί συνεχή καθοδήγηση με μεταβλητή ταχύτητα και στους δύο άξονες, ώστε να μη χάνεται η πηγή που παρατηρείται. Λαμβάνοντας υπόψη, ότι η συγκεκριμένη στήριξη χρησιμοποιείται σε όλα τα σύγχρονα μεγάλα τηλεσκόπια, των οποίων η καθοδήγηση γίνεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, το παραπάνω μειονέκτημα θεωρείται αμελητέο.

Εκτός από την επαγγελματική αστρονομία, η αλταζιμουθιακή στήριξη είναι πολύ δημοφιλής και στην ερασιτεχνική αστρονομία, καθώς το κόστος της είναι πολύ χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο της ισημερινής, ενώ συνίσταται και για στήριξη τηλεσκοπίων με μεγάλο βάρος.



Εικόνα 20. Ερασιτεχνικό τηλεσκόπιο με αλταζιμουθιακή στήριξη

3.5.2 Ισημερινή στήριξη

Ο ισημερινός τρόπος στήριξης χαρακτηρίζεται από την ευθυγράμμιση του ενός άξονα του τηλεσκοπίου με τον άξονα περιστροφής της γης. Η πολική ευθυγράμμιση όπως λέγεται, καθώς ευθυγραμμίζεται με τον πολικό αστέρα στον βόρειο πόλο του ουρανού (στην προέκταση του γήινου άξονα περιστροφής), επιτρέπει στο τηλεσκόπιο να αντισταθμίζει την κίνηση της γης και να μπορεί να παρακολουθεί τον ουράνιο στόχο για μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθώς απαιτείται η οδήγηση ενός μόνο άξονα με σταθερή ταχύτητα (Ράμμος, 2010).



Εικόνα 21. Βάση τηλεσκοπίου με ισημερινή στήριξη

3.6 Τύποι οπτικών τηλεσκοπίων

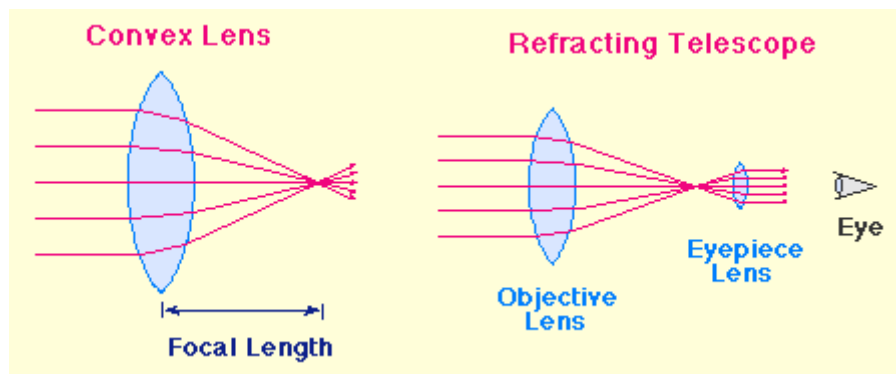
Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι οπτικών τηλεσκοπίων: Τα διοπτρικά τηλεσκόπια, τα οποία χρησιμοποιούν φακούς, τα ανακλαστικά τηλεσκόπια, τα οποία χρησιμοποιούν κάτοπτρα και τα καταδιοπτρικά τηλεσκόπια, τα οποία χρησιμοποιούν και κάτοπτρα και φακούς σε συνδυασμό.

3.6.1 Διοπτρικό τηλεσκόπιο

Η συλλογή της ακτινοβολίας σε ένα διοπτρικό τηλεσκόπιο δεν γίνεται από κάτοπτρο, αλλά από συγκλίνοντα φακό (αντικειμενικός φακός). Αν θεωρήσουμε ως f την εστιακή απόσταση του αντικειμενικού φακού και την αντίστοιχη του προσοφθάλμιου ως f' , η μεγέθυνση του οργάνου θα είναι $M = f/f'$. Αν λοιπόν θέλουμε να πετύχουμε μεγάλη μεγέθυνση, θα πρέπει η εστιακή απόσταση του αντικειμενικού φακού να είναι πολύ μεγάλη, ενώ η αντίστοιχη του προσοφθάλμιου πολύ μικρή. Πρακτικά, το μήκος ενός τηλεσκοπίου καθορίζεται από την εστιακή απόσταση του αντικειμενικού φακού.

Πέρα από το μεγάλο τους μήκος, τα διοπτρικά τηλεσκόπια έχουν και ένα δεύτερο μειονέκτημα έναντι των κατοπτρικών τηλεσκοπίων. Επειδή η ακτινοβολία συλλέγεται με φακό, τα είδωλα που σχηματίζονται εμφανίζουν χρωματική εκτροπή. Η χρωματική εκτροπή αντιμετωπίζεται με τη χρήση αχρωματικού συστήματος φακών. Έτσι έκαναν την εμφάνιση τους τα αχρωματικά τηλεσκόπια διάθλασης, των οποίων οι φακοί αποτελούνταν από ένα σύστημα δύο φακών, κατασκευασμένων από διαφορετικό υλικό και τοποθετημένων με τέτοιο τρόπο, ώστε η χρωματική εκτροπή του ενός να αναιρείται από τη χρωματική εκτροπή του άλλου.

Οι παραπάνω λόγοι έπαιξαν καταλυτικό ρόλο στην παύση της παραγωγής μεγάλων διοπτρικών τηλεσκοπίων, δεδομένου ότι τα μεγαλύτερα διοπτρικά τηλεσκόπια κατασκευάστηκαν μέχρι το τέλος του 19^{ου} αιώνα, ενώ έκτοτε σταμάτησε η παραγωγή τους. Στις μέρες μας διοπτρικά τηλεσκόπια προορίζονται για ερασιτεχνική χρήση ή χρησιμοποιούνται βοηθητικά σε μεγάλα κατοπτρικά τηλεσκόπια για εύρεση ουρανίων σωμάτων (guide telescopes).

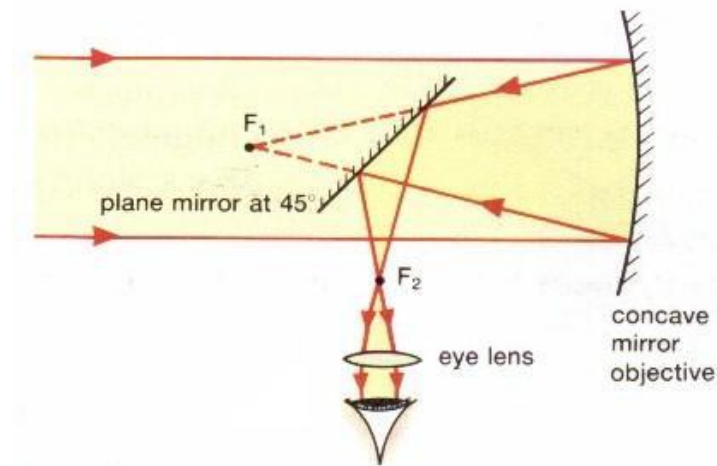


Εικόνα 22. Σχηματική αναπαράσταση διοπτρικού τηλεσκοπίου

3.6.2 Ανακλαστικό ή κατοπτρικό τηλεσκόπιο

Το ανακλαστικό τηλεσκόπιο χρησιμοποιεί ένα κοίλο κάτοπτρο ή συνδυασμό κατόπτρων, που ανακλά το φως και δημιουργεί μία εικόνα. Το ανακλαστικό τηλεσκόπιο εφευρέθηκε το 17^ο αιώνα ως αντικαταστάτης του διοπτρικού τηλεσκοπίου, το οποίο ως τότε παρουσίαζε σοβαρό πρόβλημα χρωματικής εκτροπής. Παρόλο που και τα ανακλαστικά τηλεσκόπια παρουσιάζουν οπτικά σφάλματα, εντούτοις επιτρέπουν τη χρήση αντικειμενικών μεγάλης διαμέτρου. Η συντριπτική πλειοψηφία των τηλεσκοπίων που χρησιμοποιούνται στην αστρονομία είναι ανακλαστικά.

Ο πιο απλός σχεδιασμός κατοπτρικού τηλεσκοπίου είναι το **νευτώνειο τηλεσκόπιο**. Οι φωτεινές ακτίνες αρχικά συναντούν το πρωτεύον κοίλο παραβολικό κάτοπτρο. Αμέσως μετά την πρωτεύουσα εστία (εστία πρωτεύοντος κατόπτρου) είναι τοποθετημένο με κλίση 45° ως προς τον οπτικό άξονα του πρωτεύοντος, το δευτερεύον κάτοπτρο το οποίο είναι επίπεδο (Εικόνα 23).

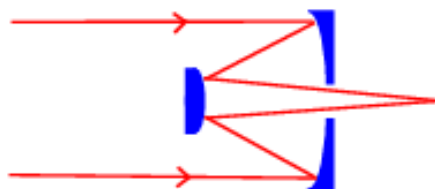


Εικόνα 23. Σχηματική αναπαράσταση νευτώνειου τηλεσκοπίου

Το πρωτεύον κάτοπτρο ανακλά το φως και το εστιάζει στο δευτερεύον κάτοπτρο. Το δευτερεύον κάτοπτρο με τη σειρά του ανακλά το φως προς τον εστιαστή φακό και στη συνέχεια στον προσοφθάλμιο, που βρίσκεται στο πάνω μέρος του οργάνου. Ο σχεδιασμός αυτός δεν εμφανίζει χρωματική εκτροπή, όμως λόγω του ότι η εικόνα σχηματίζεται μακριά από τον οπτικό άξονα, η ποιότητά της είναι σχετικά χαμηλή, γι' αυτό στις μέρες μας τα νευτώνεια τηλεσκόπια προορίζονται μόνο για ερασιτεχνική χρήση.

Πιο σύνθετος και αποδοτικός σχεδιασμός κατοπτρικού τηλεσκοπίου είναι ο *Cassegrain*. Το οπτικό σύστημα ενός τηλεσκοπίου τέτοιου σχεδιασμού είναι συνεπτυγμένο σε ένα βραχύσωμο σωλήνα και αποτελείται από δύο κάτοπτρα. Το φως συλλέγεται από το πρωτεύον κοίλο παραβολικό ή ελλειπτικό που βρίσκεται στο οπίσθιο μέρος του οπτικού σωλήνα. Το πρωτεύον κάτοπτρο ανακλά το φως στο δευτερεύον κάτοπτρο, που είναι κυρτό υπερβολοειδές ή σφαιροειδές και βρίσκεται στο εμπρόσθιο μέρος του σωλήνα. Αυτό με τη σειρά του ανακλά τις φωτεινές ακτίνες σε μία οπή που βρίσκεται στο κέντρο του πρωτεύοντος κατόπτρου και κατ' επέκταση στον προσοφθάλμιο φακό. Μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του σχεδιασμού είναι, ότι προσφέρει μεγάλο εστιακό μήκος σε βραχύ οπτικό σωλήνα.

Cassegrain Telescope



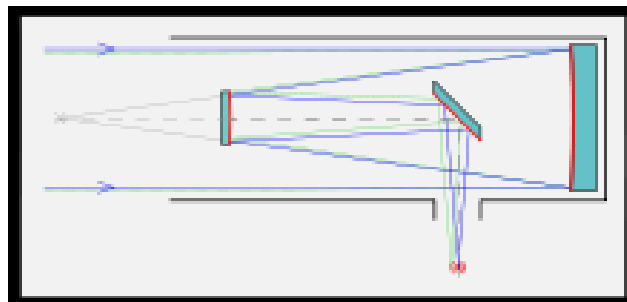
Εικόνα 24

Προηγμένο σχεδιασμό του τηλεσκοπίου Cassegrain αποτελεί το τηλεσκόπιο *Ritchey – Chrétien*, το οποίο είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να εκμηδενίζεται το σφάλμα κόμης και η σφαιρική εκτροπή, παρέχοντας έτσι μεγάλο οπτικό πεδίο. Ο αστιγματισμός επίσης κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Εφευρέθηκε το 1910 από τον Αμερικανό αστρονόμο George Willis Ritchey και το Γάλλο συνάδελφό του Henri Jacques Chrétien.

Η αρχή λειτουργίας αυτού του τηλεσκοπίου είναι ακριβώς ίδια με αυτή του Cassegrain, με τη μόνη διαφορά, ότι και τα δύο κάτοπτρα που χρησιμοποιεί είναι υπερβολοειδή. Το συγκεκριμένο τηλεσκόπιο παρουσιάζει μεγάλο σφάλμα καμπύλωσης πεδίου, το οποίο όμως αντιμετωπίζεται με τη χρήση ενός συστήματος φακών (field flattener lens), που βελτιώνουν τη ευκρίνεια.

Τα τηλεσκόπια Ritchey – Chretien έχουν υψηλό κόστος κατασκευής, κυρίως λόγω της δυσκολίας κατασκευής υπερβολοειδών κατόπτρων. Είναι πολύ διαδεδομένα στα μεγάλα αστεροσκοπεία καθώς δεν χρησιμοποιούν φακούς μεγάλης διαμέτρου, ενώ εξαλείφουν σφάλματα όπως η κόμη και η σφαιρική εκτροπή, πράγμα που ευνοεί την παρατήρηση επαγγελματικού επιπέδου.

Ένας ακόμη τύπος ανακλαστικού τηλεσκοπίου βασισμένος στον Cassegrain, είναι το τηλεσκόπιο *Naysmith*. Όπως συμβαίνει και στο τηλεσκόπιο Cassegrain, το φως προσπίπτει στο πρωτεύον κοίλο κάτοπτρο και στη συνέχεια στο δευτερεύον κυρτό κάτοπτρο. Η βασική διαφορά του Naysmith από το Cassegrain εντοπίζεται στο ότι δεν υπάρχει καμία οπή στο πρωτεύον κάτοπτρο, που να επιτρέπει την είσοδο του φωτός στον προσοφθάλμιο. Αντ' αυτού χρησιμοποιείται ένα μικρό επίπεδο κάτοπτρο, τοποθετημένο κατά μήκος του άξονα ύψους του τηλεσκοπίου, το οποίο εστιάζει το φως σε μία από τις πλευρές του οπτικού σωλήνα, στη λεγόμενη εστία Naysmith (Εικόνα 25). Επίσης, σε αντίθεση με το Cassegrain που απαιτεί ισημερινή στήριξη, το Naysmith είναι οπτική διάταξη κατασκευασμένη για αλταζιμουθιακή στήριξη. Αυτό σημαίνει, ότι καθώς το τηλεσκόπιο στρέφεται, προφανώς στρέφεται και η εστία Naysmith καθώς μεταβάλλεται το αζιμούθιο, μένει όμως αμετάβλητο το ύψος της, πράγμα που ευνοεί την φασματογραφία και την παρατήρηση μέσω ερευνητικών τηλεσκοπίων με μεγάλο βάρος.



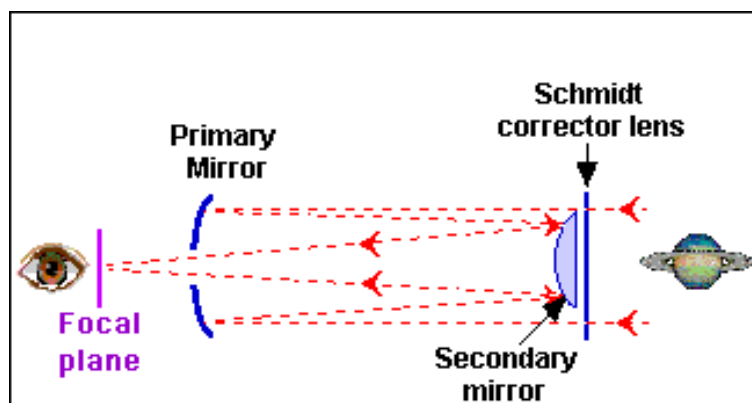
Εικόνα 25

3.6.3 Καταδιοπτρικό τηλεσκόπιο

Σε ένα καταδιοπτρικό οπτικό σύστημα λαμβάνουν χώρα τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης σε συνδυασμό, το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση φακών και κατόπτρων.

Τα καταδιοπτρικά τηλεσκόπια είναι οπτικά τηλεσκόπια, τα οποία συνδυάζουν ειδικά διαμορφωμένα κάτοπτρα και φακούς για να διαμορφώσουν εικόνα. Στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός διόρθωσης οπτικών σφαλμάτων, καθώς ο σχεδιασμός τους περιλαμβάνει ευρύ φάσμα μεταβλητών παραμέτρων.

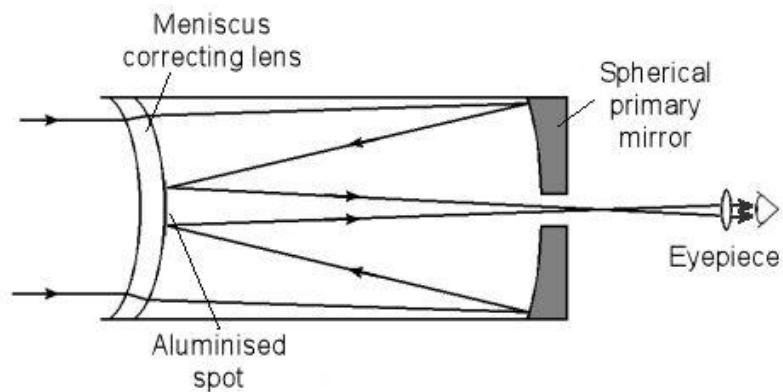
Το πιο διαδεδομένο μοντέλο καταδιοπτρικού τηλεσκοπίου είναι το **Schmidt – Cassegrain**. Το οπτικό του σύστημα είναι συνεπτυγμένο σε βραχύσωμο σωλήνα. Η συλλογή του φωτός πραγματοποιείται από το πρωτεύον κοίλο σφαιροειδές κάτοπτρο, το οποίο βρίσκεται στο οπίσθιο μέρος του οπτικού σωλήνα και ανακλά το φως στο δευτερεύον κυρτό μη σφαιροειδές κάτοπτρο. Αυτό με τη σειρά του ανακλά τις φωτεινές ακτίνες στην οπή που υπάρχει στο κέντρο του πρωτεύοντος κατόπτρου και κατ' επέκταση στον προσοφθάλμιο φακό. Το πρωτεύον κάτοπτρο, όντας σφαιρικό, είναι απαλλαγμένο από το σφάλμα κόμης, όχι όμως και από τη σφαιρική εκτροπή, η οποία εξαλείφεται με την τοποθέτηση ενός λεπτού διορθωτικού φακού μπροστά από το δευτερεύον κάτοπτρο. Είναι τοποθετημένος με τέτοιο τρόπο, ώστε ο οπτικός του άξονας να συμπίπτει με τον αντίστοιχο του πρωτεύοντος σφαιρικού κατόπτρου. Το μόνο σφάλμα που υπεισέρχεται στη συνέχεια στο σύστημα είναι αυτό της καμπύλωσης πεδίου, το οποίο εξαλείφεται με πρόσθετους διορθωτικούς φακούς.



Εικόνα 26. Σχηματική αναπαράσταση τηλεσκοπίου Schmidt - Cassegrain

Άλλο είδος καταδιοπτρικού τηλεσκοπίου αποτελεί το **Maksutov – Cassegrain**, το οποίο ουσιαστικά είναι μία παραλλαγή του Schmidt – Cassegrain. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια, με τη μόνη διαφορά ότι ο διορθωτικός φακός είναι μηνίσκος με μεγάλη καμπυλότητα, ώστε να εξουδετερώνονται τα οπτικά σφάλματά του, ενώ παράλληλα λειτουργεί και ως κάτοπτρο, καθώς δεν υπάρχει ξεχωριστό δευτερεύον κάτοπτρο. Αυτό

επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ανακλαστικής επιφάνειας στο κέντρο του φακού, γεγονός που του προσφέρει κατοπτρικές ιδιότητες.



Εικόνα 27. Σχηματική αναπαράσταση τηλεσκοπίου Maksutov - Cassegrain

Άξια αναφοράς είναι και τα προγενέστερου τύπου καταδιοπτρικά τηλεσκόπια *Schmidt - Newtonian* (Εικόνα 28) και *Maksutov - Newtonian* (Εικόνα 29). Ο σχεδιασμός τους είναι ίδιος με αυτόν των Schmidt - Cassegrain και Maksutov - Cassegrain, με την απουσία όμως οπής στο κέντρο του πρωτεύοντος κατόπτρου για την είσοδο των φωτεινών ακτινών στον προσοφθάλμιο. Αντ' αυτού, το δευτερεύον κάτοπτρο είναι τοποθετημένο με γωνία 45° και ανακλά το φως στον προσοφθάλμιο, που βρίσκεται στο πάνω μέρος του οργάνου, όπως ακριβώς συμβαίνει και στο νευτώνειο τηλεσκόπιο.



Εικόνα 28



Εικόνα 29

3.7 Διάσημα Οπτικά τηλεσκόπια

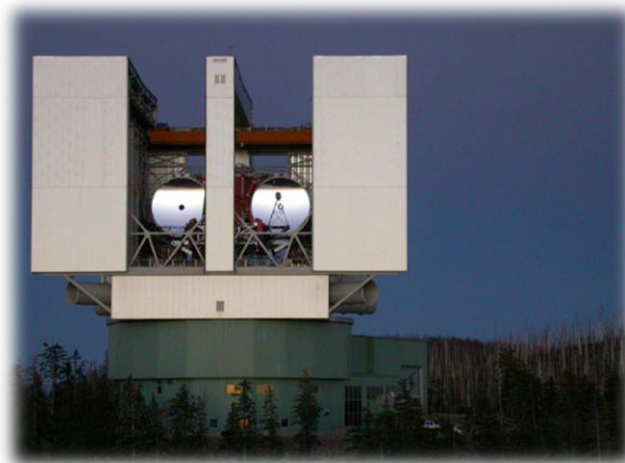
Το Gran Telescopio Canarias είναι το μεγαλύτερο οπτικό ανακλαστικό τηλεσκόπιο μονού κατόπτρου στον κόσμο, με κάτοπτρο διαμέτρου 10,4 m και κατασκευάστηκε το 2009 (Klotz, 2009). Έχει εστιακό μήκος 16,5 m και η στήριξή του



Εικόνα 30. Gran Telescopio Canarias

είναι αλταζιμουθιακή. Βρίσκεται στο νησί Λα Πάλμα του συμπλέγματος των Κανάριων νήσων της Ισπανίας και είναι τοποθετημένο σε υψόμετρο 2.267 μέτρων, στην κορυφή ενός ηφαιστείου. Η κατασκευή του διήρκησε επτά χρόνια (2002 – 2009), κόστισε 130 εκατομμύρια ευρώ και είναι αποτέλεσμα συνεργασίας μεταξύ του Ινστιτούτου Αστροφυσικής των Καναρίων νήσων (IAC), του Εθνικού Αυτόνομου Πανεπιστημίου του Μεξικού (UNAM) και του Πανεπιστημίου της Φλόριντα (Moreno, 2009).

Ως μεγαλύτερο επίσης, θα μπορούσε να θεωρηθεί το τηλεσκόπιο LBT (Large Binocular Telescope), το οποίο κατασκευάστηκε το 2005 και διαθέτει δύο κάτοπτρα με διάμετρο 8,4 m το καθένα και συνολική φωτοσυλλεκτική ισχύ, που ισοδυναμεί με αυτή ενός κατόπτρου 11,8 m. Έχει εστιακό μήκος 9,6 m και βρίσκεται σε υψόμετρο 3.300 m, στην κορυφή του όρους Graham στο νοτιοανατολικό τμήμα της Αριζόνα των ΗΠΑ.



Εικόνα 31. LBT

Το Gran Telescopio Canarias, πήρε τα σκήπτρα του μεγαλύτερου τηλεσκοπίου στον κόσμο από τα Keck I και Keck II, δύο πανομοιότυπα ανακλαστικά τηλεσκόπια, που μέχρι τότε ήταν τα μεγαλύτερα στον κόσμο.

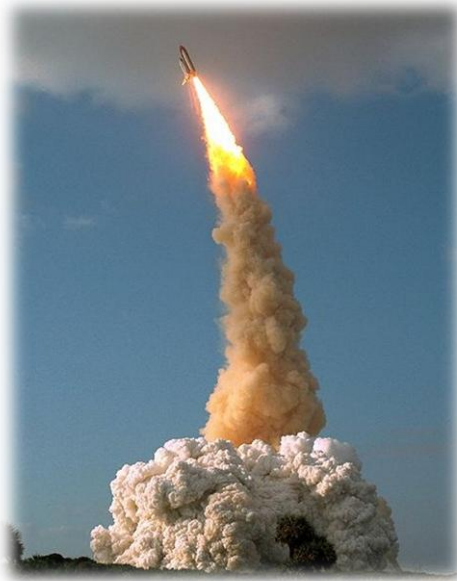
Είναι κατασκευασμένα με διαφορά τριών ετών (1993 και 1996 αντίστοιχα) και το καθένα διαθέτει κάτοπτρο διαμέτρου 10 m. Βρίσκονται σε υψόμετρο 4145 m, κοντά στην κορυφή του όρους Mauna Kea της Χαβάης. Έχουν αλταζιμουθιακή στήριξη και εστιακό μήκος 17,6 m. Μπορούν να λειτουργήσουν συνδυαστικά, σχηματίζοντας έτσι ένα αστρονομικό συμβολόμετρο.



Εικόνα 32. Τα τηλεσκόπια Keck κατά το ηλιοβασίλεμα

Το διασημότερο ίσως τηλεσκόπιο που έχει κατασκευάσει ποτέ ο άνθρωπος είναι το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble. Τέθηκε σε τροχιά από το διαστημικό λεωφορείο Discovery τον Απρίλιο του 1990 και έχει πάρει το όνομά του από τον αστρονόμο και εμπνευστή του, Edwin Hubble. Το συγκεκριμένο τηλεσκόπιο έχει βοηθήσει σημαντικά το αστρονομικό έργο, καθώς έχει συλλέξει εικόνες, οι οποίες θα ήταν αδύνατο να ληφθούν από οποιοδήποτε επίγειο τηλεσκόπιο. Εκτιμάται ότι η λειτουργία του θα εκπνεύσει το 2014. Αποτελεί αποτέλεσμα συνεργασίας μεταξύ NASA και ESA (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος) και αναπτύχθηκε κατά την εφαρμογή του προγράμματος μεγάλων παρατηρητηρίων, μαζί με το τηλεσκόπιο ακτινών γ Compton, το παρατηρητήριο ακτινών X Chandra και το διαστημικό τηλεσκόπιο Spitzer (NASA, 2008).

Το Hubble είναι ένας τεχνητός δορυφόρος κυλινδρικού σχήματος, με βάρος 11,25 τόνους, μήκος 13,2 m και διάμετρο 4,2 m. Βρίσκεται σε ύψος 560 χιλιομέτρων και περιφέρεται με ταχύτητα 27.000 χλμ/ώρα. Η περίοδος περιστροφής του διαρκεί 96 λεπτά, που σημαίνει ότι πραγματοποιεί 15 πλήρεις περιστροφές γύρω από τη γη κάθε 24ωρο. Είναι εξοπλισμένο με ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι φορτίζουν τις έξι μπαταρίες που διαθέτει και έχει αυτονομία περίπου 25 λεπτά, όταν βρίσκεται σε σημείο που δεν λαμβάνει ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 33. Το διαστημικό λεωφορείο Discovery, το οποίο φέρει το Hubble, κατά την εκτόξευσή του στις 24 Απριλίου 1990

Στο εσωτερικό του είναι εξοπλισμένο με ένα τηλεσκόπιο τύπου Ritchey – Chretien, το οποίο λειτουργεί κυρίως στο ορατό φως, ενώ μπορεί να λάβει και εικόνες για ορισμένα υπέρυθρα και υπεριώδη μήκη κύματος. Μέχρι σήμερα έχει δεχθεί πέντε επιδιορθώσεις από διαστημικές αποστολές, με σημαντικότερη την πρώτη, κατά την οποία επιδιορθώθηκε το οπτικό του σύστημα, καθώς λάμβανε θαμπές εικόνες με χαμηλή ευκρίνεια.



Εικόνα 34. Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble

Πίνακας 1. Τα 10 μεγαλύτερα επίγεια ανακλαστικά τηλεσκόπια

Όνομα	Διάμετρος κατόπτρου	Τοποθεσία	Έτος Κατασκευής
Large Binocular Telescope (LBT)	11.9 m (2 x 8.4 m)	Διεθνές Παρατηρητήριο Όρους Graham, Αριζόνα, ΗΠΑ	2004
Gran Telescopio Canarias	10.4 m	Παρατηρητήριο Roque de los Muchachos, Κανάρια νησιά, Ισπανία	2009
Keck I	10 m	Παρατηρητήριο Mauna Kea, Χαβάη, ΗΠΑ	1993
Keck II	10 m	Παρατηρητήριο Mauna Kea, Χαβάη, ΗΠΑ	1996
Southern African Large Telescope (SALT)	9.2 m	Νοτιοαφρικανικό Αστρονομικό Παρατηρητήριο, Νότια Αφρική	2005
Hobby – Eberly Telescope (HET)	9.2 m	Παρατηρητήριο McDonald, Τέξας, ΗΠΑ	1997
Subaru (JNL T)	8.2 m	Παρατηρητήριο Mauna Kea, Χαβάη, ΗΠΑ	1999
VLT UT1 (Antu)	8.2 m	Παρατηρητήριο Paranal, Χιλή	1998
VLT UT2 (Kueyen)	8.2 m	Παρατηρητήριο Paranal, Χιλή	1999
VLT UT3 (Melipal)	8.2 m	Παρατηρητήριο Paranal, Χιλή	2000

Κεφάλαιο 4. Ραδιοτηλεσκόπιο

4.1 Γενικά

Το ραδιοτηλεσκόπιο είναι μία μορφή κατευθυντικής ραδιοφωνικής κεραίας που χρησιμοποιείται στη ραδιοαστρονομία. Χρησιμοποιείται επίσης και στην παρακολούθηση και συλλογή δεδομένων από τεχνητούς δορυφόρους ή διαστημικά σκάφη.

Όσον αφορά την αστρονομία, η διαφορά τους με τα οπτικά τηλεσκόπια εντοπίζεται στο μήκος κύματος της ακτινοβολίας που συλλέγουν. Σε αντίθεση με τα οπτικά τηλεσκόπια, που ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ορατή στο ανθρώπινο μάτι με μήκος κύματος μεταξύ 380 nm και 760 nm και συχνότητα μεταξύ 400 THz και 790 THz, τα ραδιοτηλεσκόπια ειδικεύονται στην ανίχνευση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με πολύ υψηλότερα μήκη κύματος και χαμηλότερες συχνότητες (10m – 1mm, 30 MHz – 300 GHz), ώστε να μπορούν να ανιχνεύουν αστρονομικές ραδιοπηγές.

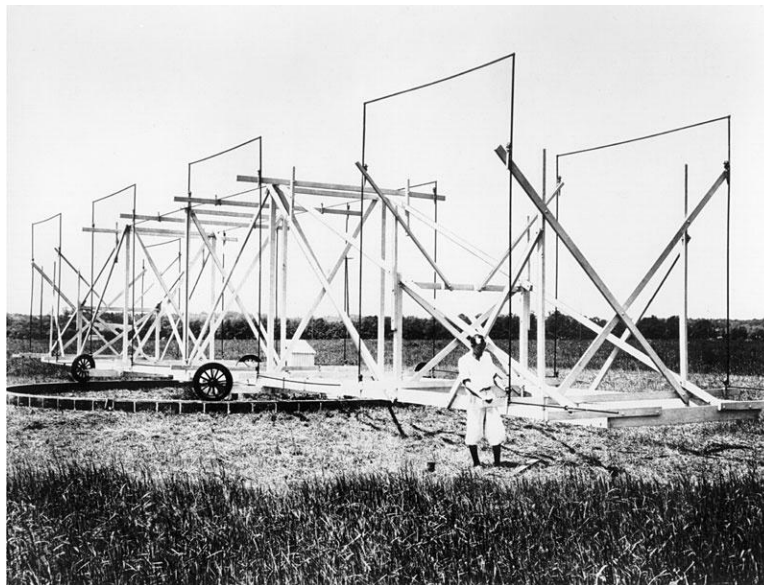
Τα ραδιοτηλεσκόπια είναι μεγάλες παραβολοειδείς κεραίες που χρησιμοποιούνται μεμονωμένα ή σε σειρά. Τα ραδιοαστεροσκοπεία βρίσκονται συνήθως σε ερημικές τοποθεσίες, μακριά από αστικά κέντρα, ώστε να αποφεύγονται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές από σήματα ραδιοφώνου, τηλεόρασης, ραντάρ, κινητής τηλεφωνίας. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τα οπτικά αστεροσκοπεία, τα οποία είναι απομονωμένα και σε μεγάλο υψόμετρο για την αποφυγή της φωτορύπανσης, που προκαλεί ο έντονος φωτισμός των πόλεων με αποτέλεσμα τη μειωμένη αντίθεση μεταξύ των αστερών και του φόντου του ουρανού. Σε αντίθεση όμως με τα οπτικά αστεροσκοπεία, τα ραδιοαστεροσκοπεία ευνοούνται από πεδινές εκτάσεις με μικρό υψόμετρο, για την επιπλέον θωράκισή τους από παρεμβολές.

4.2 Ιστορική αναδρομή

Ο Karl Guthe Jansky κατασκεύασε το 1931 την πρώτη ραδιοφωνική κεραία, με σκοπό την ανίχνευση της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από αστρονομικές πηγές ραδιοκυμάτων. Ο Jansky, που τότε εργαζόταν στη Bell Telephone, είχε οριστεί να προσδιορίσει τις πηγές ραδιοθορύβου που επηρέαζαν τις ραδιοτηλεφωνικές υπηρεσίες (*Barter, 2005*).

Η κεραία που κατασκεύασε ήταν σχεδιασμένη να λαμβάνει βραχέα κύματα με συχνότητα 20,5 MHz και μήκος κύματος περίπου 14,6 m και τοποθετημένη σε μία περιστρεφόμενη βάση, που της επέτρεπε να στρέφεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η διάταξη είχε 100 m διάμετρο και ύψος 6 m. Με την περιστροφή της κεραίας ήταν δυνατό να προσδιοριστεί η ακριβής τοποθεσία της πηγής που εξέπεμπε τα ραδιοκύματα. Δίπλα στην κεραία υπήρχε μία μικρή καλύβα, όπου στεγαζόταν ένα αναλογικό σύστημα καταγραφής. Μετά

από μήνες καταγραφών από όλες τις κατευθύνσεις, ο Jansky τελικά κατέληξε στον προσδιορισμό τριών πηγών ραδιοθορύβου. Η μία ήταν οι κοντινές καταιγίδες, η δεύτερη ήταν οι πιο μακρινές καταιγίδες, ενώ η τρίτη, της οποίας η παρεμβολή ήταν ένας ασθενής συνεχής συριγμός, ήταν άγνωστης προέλευσης. Ο Jansky τελικά καθόρισε ότι ο συγκεκριμένος ήχος επαναλαμβανόταν με ρυθμό 23 ωρών και 56 λεπτών. Αυτή η περίοδος αποτελεί το μήκος μιας αστρικής ημέρας και είναι ο χρόνος που χρειάζεται οποιοδήποτε σταθερό αντικείμενο, που βρίσκεται στην ουράνια σφαίρα, για να επιστρέψει στην ίδια θέση στον ουρανό. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των παρατηρήσεών του με τους οπτικούς αστρονομικούς χάρτες κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι η συγκεκριμένη ραδιοακτινοβολία προέρχεται από το Γαλαξία μας, η οποία μάλιστα ήταν η ισχυρότερη στην κατεύθυνση του κέντρου του Γαλαξία, στον αστερισμό του Τοξότη. Χωρίς ο Jansky να έχει σχέση με την αστρονομία, είχε τοποθετήσει γερές βάσεις για τη μετέπειτα εξέλιξη της ραδιοαστρονομίας.



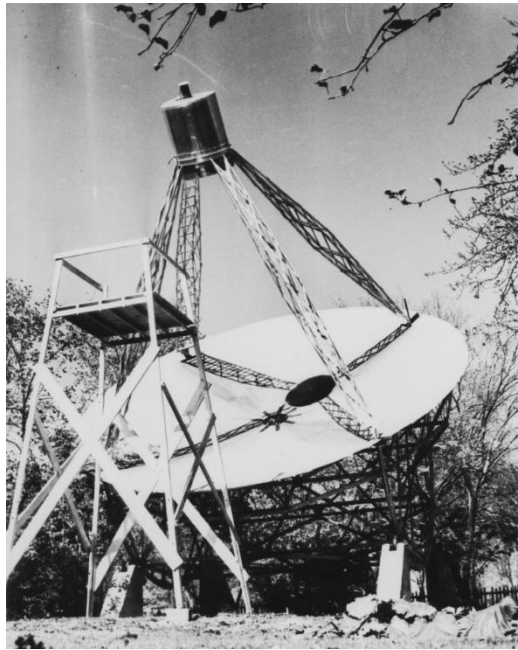
Εικόνα 35. Η ραδιοκεραία του Jansky

Ο Grote Reber, ένας ερασιτέχνης ραδιοχειριστής ήταν από τους πρωτοπόρους της ραδιοαστρονομίας, όταν εμπνευσμένος από την εφεύρεση του Jansky, κατασκεύασε το πρώτο παραβολικό ραδιοτηλεσκόπιο στην πίσω αυλή του σπιτιού του, στο Ιλινόις των ΗΠΑ το 1937 (Barter, 2005). Ήταν ένα «πιάτο» με διάμετρο 9 μέτρων.

Στους χάρτες που κατασκεύασε με βάση τα δεδομένα που λάμβανε, μπορεί κανείς να δει το κέντρο του Γαλαξία μας, αλλά και δύο άλλες ραδιοπηγές, που αργότερα ονομάστηκαν Κύκνος Α και Κασσιόπη Α, επειδή ήταν οι λαμπρότερες των αστερισμών του Κύκνου και της Κασσιόπης αντίστοιχα.

Λόγω του Β' Παγκοσμίου πολέμου που λάμβανε χώρα εκείνη την περίοδο, πολλοί επιστήμονες που ασχολούνταν με την έρευνα για

στρατιωτικούς σκοπούς ενδιαφέρθηκαν να εξελίξουν την εφεύρεση του Reber. Στο διάστημα 1940 – 1960 ο τομέας της ραδιοαστρονομίας γνώρισε μεγάλη άνθιση με την κατασκευή δικτύων μικρών ραδιοτηλεσκοπίων, που ονομάζονται ραδιοσυμβολόμετρα, καθώς βασίζονται στο φαινόμενο της συμβολής. Αποτέλεσμα των προσπαθειών που έγιναν από τους επιστήμονες, ήταν ο προσδιορισμός της θέσης διάφορων ραδιοπηγών με ακρίβεια 10 λεπτών της μοίρας. Έτσι ο τομέας της ραδιοαστρονομίας καθιερώθηκε ως ένα σημαντικό σημείο μελέτης, γεγονός που οδήγησε στην κατασκευή πολυπλοκότερων και ακριβέστερων διατάξεων μέχρι σήμερα.



Εικόνα 36. Το ραδιοτηλεσκόπιο του Reber, στην πίσω αυλή του σπιτιού του

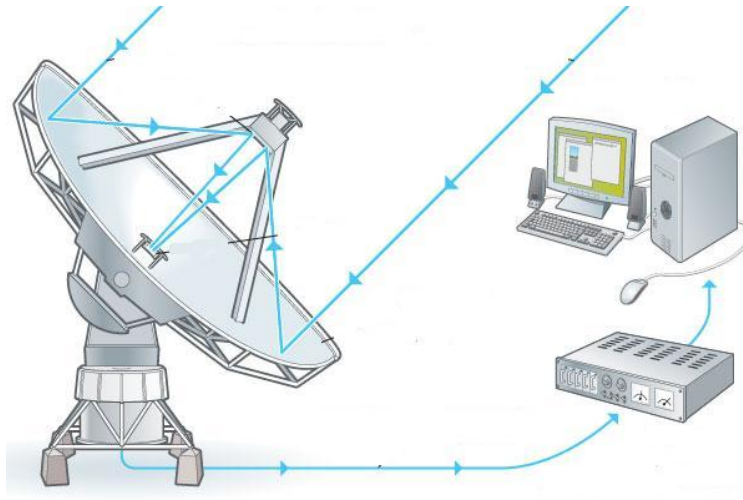
4.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Ένα ραδιοτηλεσκόπιο αποτελείται από την κεραία, η οποία είναι συνήθως ένας μεταλλικός δίσκος παραβολικού σχήματος (πιάτο), ένα δέκτη, έναν ενισχυτή σήματος και ένα σύστημα καταγραφής των δεδομένων.

Η κεραία συλλέγει τα ραδιοκύματα και τα ανακλά στο δέκτη, όπως ακριβώς λειτουργεί σε ένα οπτικό τηλεσκόπιο ο φακός ή το κάτοπτρο, που συγκεντρώνουν τις φωτεινές ακτίνες σε ένα σημείο. Επειδή τα σήματα είναι συνήθως πολύ ασθενή, αφού ανακλαστούν στο δέκτη, ενισχύονται από τον ενισχυτή ώστε να φτάσουν σε ένα μετρήσιμο σημείο (συχνότητα παρατήρησης). Οι ενισχυτές είναι πολύ ευαίσθητοι και ψύχονται σε χαμηλές θερμοκρασίες, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές που παράγονται από την κίνηση των ατόμων στο μέταλλο.

Στη συνέχεια το σήμα μεταφέρεται στο σύστημα καταγραφής, το οποίο κρατά αρχείο των λήψεων. Στα σύγχρονα τηλεσκόπια το σήμα μεταφέρεται

απευθείας σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και στη συνέχεια αναλύεται από τους αστρονόμους με τη βοήθεια ενός πολύπλοκου λογισμικού.



Εικόνα 37. Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός ραδιοτηλεσκοπίου

4.4 Γωνιακή διακριτική ικανότητα

Γωνιακή διακριτική ικανότητα, είναι η ικανότητα του ραδιοτηλεσκοπίου να διακρίνει ως διαφορετικές, δύο σημειακές ραδιοπηγές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Η σχέση που υπολογίζει τη γωνία ω , την οποία πρέπει να απέχουν οι δύο ραδιοπηγές για να τις δούμε σαν ξεχωριστές με ραδιοτηλεσκόπιο διαμέτρου D και παρατήρηση με μήκος κύματος λ δίνεται από τον τύπο: $\omega \geq 1,22 \lambda/D \text{ rad}$

Διακριτική ικανότητα ονομάζεται το ελάχιστο της γωνίας αυτής. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της γωνίας ω , τόσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα του ραδιοτηλεσκοπίου. Εξαιτίας όμως του μεγάλου μήκους κύματος που χαρακτηρίζει τα ραδιοκύματα, η διακριτική ικανότητα των ραδιοτηλεσκοπίων είναι περιορισμένη.

4.5 Ραδιοσυμβολομετρία

Η διακριτική ικανότητα ενός ραδιοτηλεσκοπίου καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διάμετρό του. Όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο αυξάνεται και η ανάλυσή του. Ωστόσο, παράλληλα με το μέγεθος του τηλεσκοπίου, αυξάνεται και το κόστος κατασκευής του. Ο σκοπός λοιπόν της αστρονομικής συμβολομετρίας, είναι η επίτευξη παρατηρήσεων υψηλής ποιότητας χρησιμοποιώντας ένα σύμπλεγμα μικρότερων ραδιοτηλεσκοπίων, πιο οικονομικό και πιο αποδοτικό από ένα μεμονωμένο τηλεσκόπιο. Η ραδιοσυμβολομετρία αναπτύχθηκε από το Βρετανό ραδιοαστρονόμο Martin Ryle και τους Αυστραλούς μηχανικούς, ραδιοφυσικούς και ραδιοαστρονόμους Joseph Lade Pawsey και Ruby Payne – Scott το 1946. Αξίζει να σημειωθεί, ότι

η Ruby Payne – Scott ήταν η πρώτη γυναίκα που ασχολήθηκε με τη ραδιοαστρονομία.

Τα αστρονομικά ραδιοσυμβολόμετρα αποτελούνται από διατάξεις ραδιοτηλεσκοπίων, τα οποία απέχουν μεταξύ τους από μερικά μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα και συνδέονται με ομοαξονικό καλώδιο, κυματοδηγό, οπτική ίνα ή άλλο μέσο υψηλής ποιότητας και πιστότητας μεταφοράς ηλεκτρικού σήματος. Η ραδιοσυμβολομετρία όχι μόνο αυξάνει την ισχύ του συνολικού συλλεγόμενου σήματος, αλλά μπορεί να πετύχει και πολύ υψηλή διακριτική ικανότητα με τη βοήθεια μίας μαθηματικής διαδικασίας, που ονομάζεται σύνθεση ανοιγμάτων (Aperture Synthesis).

Στην τεχνική της ραδιοσυμβολομετρίας γίνεται χρήση του φαινομένου της συμβολής, που ισχύει για όλα τα κύματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και κατ' επέκταση για τα ραδιοκύματα. Η βασική μονάδα της αστρονομικής συμβολομετρίας είναι ένα ζευγάρι τηλεσκοπίων (baseline), που το καθένα συλλαμβάνει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία συμβάλουν. Κάθε τηλεσκόπιο δηλαδή παίζει το ρόλο του τμήματος ενός γιγάντιου τηλεσκοπίου. Αν τα κύματα που συλλέγονται από τα δύο ραδιοτηλεσκόπια έχουν την ίδια φάση ενισχύονται (ενισχυτική συμβολή), ενώ αυτά που έχουν διαφορά φάσης αλληλοεξουδετερώνονται (αποσβεστική συμβολή). Για να παραχθεί μία εικόνα υψηλής ποιότητας απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών συνδυασμών των βασικών μονάδων μίας διάταξης. Όσο περισσότεροι είναι δηλαδή οι συνδυασμοί επικοινωνίας ανάμεσα στα τηλεσκόπια, τόσο καλύτερη εικόνα λαμβάνουμε. Για παράδειγμα, η διάταξη VLA (Very Large Array) στο Νέο Μεξικό των ΗΠΑ, η οποία αποτελείται από 27 τηλεσκόπια, μπορεί να δώσει 351 διαφορετικούς συνδυασμούς, επιτυγχάνοντας έτσι γωνιακή διακριτική ικανότητα 0,2 δευτερολέπτων της μοίρας σε μήκος κύματος 3 cm.



Εικόνα 38. Διάταξη VLA, Νέο Μεξικό, ΗΠΑ

4.6 Μεγάλα Ραδιοτηλεσκόπια

Το μεγαλύτερο ραδιοτηλεσκόπιο μονού δίσκου στον κόσμο είναι το Arecibo, το οποίο βρίσκεται στην ομώνυμη πόλη του Πουέρτο Ρίκο και ο

ανακλαστήρας του έχει διάμετρο 305 m. Ο ανακλαστήρας είναι σφαιρικός και όχι παραβολικός και είναι τοποθετημένος σε μία φυσική κοιλότητα του εδάφους. Η επιφάνειά του αποτελείται από 38.778 διάτρητα πλαίσια αλουμινίου (panels). Διαθέτει κινητή εστία, δίνοντας στο τηλεσκόπιο τη δυνατότητα παρατήρησης μέχρι και 20° από το ζενίθ. Η γεωγραφική θέση του Πουέρτο Ρίκο, που βρίσκεται κοντά στον ισημερινό, επιτρέπει στο ραδιοτηλεσκόπιο την παρατήρηση όλων των πλανητών του ηλιακού συστήματος.



Εικόνα 39. Ραδιοτηλεσκόπιο Arecibo

Πολλές σημαντικές αστρονομικές ανακαλύψεις έχουν γίνει από το τηλεσκόπιο Arecibo. Στις 7 Απριλίου 1964 η ομάδα του Gordon Pettengill ανακάλυψε, ότι ο ρυθμός περιστροφής του Ερμή δεν ήταν 88 ημέρες, αλλά μόνο 59 (Shostak, 2002). Το 1968, ο προσδιορισμός της περιοδικότητας του πάλσαρ Crab (33 χιλιοστά του δευτερολέπτου) από τον Lovelace και την ομάδα του απέδειξε ότι όντως υπάρχουν αστέρες νετρονίων. Το 1974 οι Hulse και Taylor ανακάλυψαν το πρώτο δυαδικό πάλσαρ PSR B1937+16, οι οποίοι μετέπειτα βραβεύτηκαν με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για αυτή την ανακάλυψη. Τον Αύγουστο του 1989, έγινε για πρώτη φορά στην ιστορία φωτογράφιση αστεροειδούς, ο οποίος αργότερα ονομάστηκε 4769 Castalia. Τον Ιανουάριο του 2008, ύστερα από φασμοτοσκοπικές μετρήσεις του ραδιοτηλεσκοπίου, ανιχνεύθηκαν μόρια μεθανιμίνης και υδροκυανίου στον απόμακρο γαλαξία A9p 220.

Το μεγαλύτερο ραδιοτηλεσκόπιο της Ευρώπης είναι εδώ και χρόνια η κεραία των 100 m στο Effelsberg της Γερμανίας, που παράλληλα ήταν και το μεγαλύτερο πλήρως περιστρεφόμενο ραδιοτηλεσκόπιο στον κόσμο, έως ότου μοιραστεί τα σκήπτρα με το τηλεσκόπιο Green Bank, το οποίο έχει ίδιες διαστάσεις και μαζί αποτελούν τα μεγαλύτερα παραβολικά ραδιοτηλεσκόπια του κόσμου.

Η GMRT (Giant Metrewave Radio Telescope) αποτελεί τη μεγαλύτερη συμβολομετρική διάταξη ραδιοτηλεσκοπίων και βρίσκεται στην πόλη Pune της Ινδίας. Αποτελείται από 36 πλήρως περιστρεφόμενες κεραίες διαμέτρου 45 m η καθεμία και έχει γωνιακή διακριτική ικανότητα της τάξεως του 1 arcsec σε συχνότητα 1,4 GHz.

Πίνακας 2. Μερικά από τα σπουδαιότερα ραδιοτηλεσκόπια

Αστεροσκοπείο	Τοποθεσία	Συλλεκτική Επιφάνεια [m ²]	Διάμετρος ή Μέγιστο Μήκος [m]	Παρατηρήσεις (Μέγιστη συχνότητα παρατήρησης)
Square Kilometer Array (SKA)	Αυστραλία	1.000.000	1000	Υπό μελέτη
Giant Meterwave Radio Telescope (GMRT)	Pune, Ινδία	229.022	25.000	36 κεραίες × 45 m (1.4 GHz)
Arecibo (Cornell University)	Πόρτο Ρίκο, Καραϊβική	292.099	305	Σφαιρικό. Το μεγαλύτερο ακίνητο ραδιοτηλεσκόπιο του κόσμου (15 GHz)
Very Large Array (VLA)	New Mexico, Η.Π.Α.	132.299	21.000	27 κεραίες × 25m (25 GHz)
Culgoora	CSIRO, Australia	122.742	3.000	Ραδιοηλιογράφος
Effelsberg	Βόννη, Γερμανία	31.416	100	Το μεγαλύτερο παραβολικό P/T του κόσμου (80 GHz)
Green Bank	W. Virginia, Η.Π.Α.	31.416	100	Το μεγαλύτερο παραβολικό P/T του κόσμου (80 GHz)
Westerbork	Westerbork, Ολλανδία	27.489	4.000 E/W	12 κεραίες × 25m (5 GHz)
Northern Cross	Μπολόνια, Ιταλία	26.800	400 N/S	Συμβολομετρικό
Lovell, Jodrell Bank	Manchester, Αγγλία	18.145	76	(10 GHz)
Molonglo	Sydney, Αυστραλία	18.068	1.600 E/W	Συμβολόμετρο
Ooty	Bangalore, Ινδία	17.865	4.700	Συμβολομετρικό
Deep Space Network	Goldstone, Η.Π.Α. Robledo, Ισπανία Tidbinbilla, Αυστραλία	15.393	70	Για παρακολούθηση μακρινών διαστημικών αποστολών (8.3 GHz)

Parkes	Parkes, Αυστραλία	12.868	64	Το μεγαλύτερο P/T στο Ν. ημισφαίριο (5 GHz)
Ratan 600	Καύκασος, Ρωσία	12.600	600 × 3	Ακίνητο, δακτυλιοειδές
Nancay	Nancay, Γαλλία	7.500	300 x 35	Συμβολομετρικό
Algonquin	Ontario, Καναδάς	7.238	48	Αλταζιμουθιακό (15 GHz)
ALMA	Atacama, Χιλή, h = 5000 m	7.200	12	64 κεραίες × 64 m
Fleurs Radio Telescope	Fleurs, Αυστραλία	7.076	E/W	32 × 5.8 m + 6 × 14 m (1.4 GHz)
MERLIN	Αγγλία	6.362	134.000	Συμβολομετρικό
Nobeyama	Honshu, Ιαπωνία	6.361	45	Αλταζιμουθιακό, (300 GHz)
Australia Telescope	Αυστραλία	5.800	300.000 E/W	Συμβολομετρικό
Owens Valley	Καλιφόρνια, Η.Π.Α.	5.026	40	(42 GHz)
IRAM	Plateau de Bure, Γαλλία	4.241	400	6 κεραίες × 15 m (230 GHz)
Medicina	Medicina, Ιταλία	3.217	32	VLBI (23 GHz)
Noto	Noto, Σικελία	3.217	32	VLBI (23 GHz)
5 km Telescope	Cambridge, Αγγλία	2.512	5.000 E/W	8 κεραίες × 10m
IRAM	Pico Veleta, Ισπανία	2.827	30	(375 GHz)
JCMT	Χαβάη, Η.Π.Α.	707	15	(1000 GHz)

4.7 Αστρονομικές ραδιοπηγές

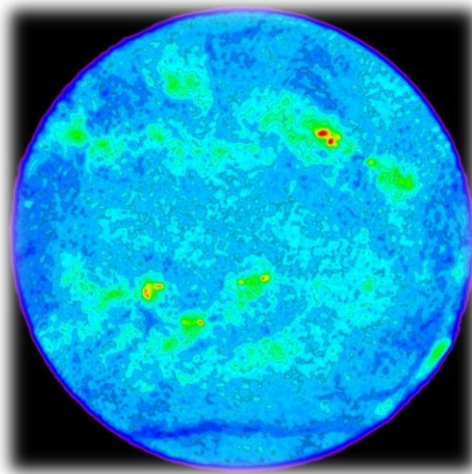
4.7.1 Γαλαξιακές Ραδιοπηγές

Οι ραδιοπηγές είναι αντικείμενα του διαστήματος, τα οποία εκπέμπουν ισχυρά ραδιοκύματα και ταξινομούνται σε γαλαξιακές και εξωγαλαξιακές. Αυτά τα αντικείμενα αντιπροσωπεύουν μερικές από τις πιο ακραίες και ενεργητικές διεργασίες του σύμπαντος.

Η πρώτη ραδιοπηγή που ανιχνεύθηκε είναι το κέντρο του Γαλαξία μας, η οποία περιέχει ένα σημαντικό αριθμό ραδιοπηγών, όπως τον αστερισμό του Τοξότη και την υπερμεγέθη μελανή οπή.

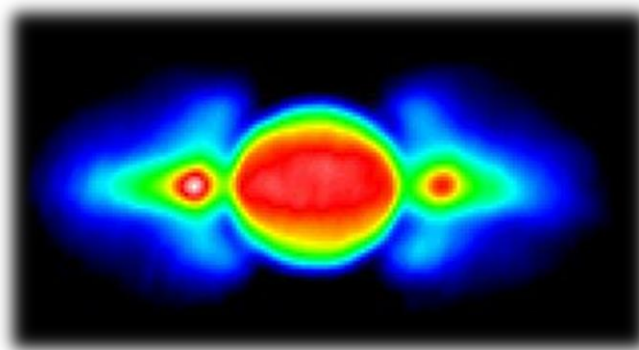
Περιοχές σχηματισμού αστέρων. Αποτελούν ισχυρή πηγή ραδιοκυμάτων, τα οποία εκπέμπονται από τα πυκνά νέφη αερίων που κυριαρχούν στις περιοχές αυτές. Τέτοια αέρια, όπως το υδρογόνο και το μονοξείδιο του άνθρακα, περιέχουν και οι σπειροειδείς γαλαξίες. Οι συχνότητες στις οποίες εκπέμπουν αυτά τα συμπλέγματα μορίων βοήθησαν σημαντικά στη χαρτογράφηση ενός μεγάλου μέρους του Γαλαξία μας (Gonzalez 2004).

Ήλιος. Ως το κοντινότερο αστέρι, ο Ήλιος είναι η ισχυρότερη γαλαξιακή πηγή ακτινοβολίας σε όλα τα ραδιοφωνικά μήκη κύματος. Η ραδιοακτινοβολία που εκπέμπει ταξινομείται σε δύο κατηγορίες. Εκπομπή από τον αδιατάρακτο Ήλιο κατά το ελάχιστο του ενδεκαετή κύκλου και εκπομπή όταν ο Ήλιος είναι διαταραγμένος, κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας των Ηλιακών κηλίδων.



Εικόνα 40. Στην εικόνα φαίνεται ο Ηλιακός Δίσκος στη συχνότητα των 4,6 GHz, η οποία ελήφθη από τη διάταξη ραδιοτηλεσκοπίων VLA στο Νέο Μεξικό των ΗΠΑ

Πλανήτες. Οι πλανήτες εκπέμπουν πολύ μικρά ποσά ραδιοακτινοβολίας, με εξαίρεση το Δία, ο οποίος εκπέμπει με τεράστια ισχύ στο ραδιοφωνικό φάσμα. Τέτοια εξαίρεση αποτελεί και ο Κρόνος, με μικρότερη ισχύ όμως.



Εικόνα 41. Η εικόνα του Δία και των δορυφόρων του στο ραδιοφωνικό φάσμα

Υπολείμματα υπερκαινοφανών αστέρων. Πρόκειται για υπολείμματα από την έκρηξη ασταθών αστέρων, η οποία παράγει νέφη αερίων που εκπέμπουν ραδιοκύματα με τη μορφή ακτινοβολίας σύγχροτρον. Γνωστά υπολείμματα υπερκαινοφανών αστέρων, που παρουσιάζουν διάχυτη ραδιοεκπομπή είναι το Νεφέλωμα του Καρκίνου και η Κασσιόπη Α, που είναι και η ισχυρότερη εξωηλιακή ραδιοπηγή του διαστήματος.

Πάλσαρ. Πρόκειται για πυκνούς, ταχύτατα περιστρεφόμενους αστέρες νετρονίων, στους οποίους επιταχυνόμενα φορτισμένα σωματίδια εκπέμπουν ραδιοκύματα με τη μορφή ακτινοβολίας σύγχροτρον. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο πάλσαρ του Καρκίνου, που είναι ο κεντρικός αστέρας του νεφελώματος του Καρκίνου και ο πρώτος πάλσαρ που ανακαλύφθηκε.

4.7.2 Εξωγαλαξιακές Ραδιοπηγές

Κανονικοί γαλαξίες. Η μέση ραδιοισχύς των γαλαξιών αυτών είναι 10^{31} Watts, $10^2 - 10^6$ φορές μικρότερη από την αντίστοιχη των ραδιογαλαξιών. Η ενέργειά τους παράγεται από ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια μέσα σε μαγνητικά πεδία (ακτινοβολία σύγχροτρον).

Ραδιογαλαξίες. Οι Ραδιογαλαξίες όπως ο Κένταυρος Α και ο Messier 87, είναι ισχυροί εκπομποί ραδιοκυμάτων. Πρόκειται για γιγάντιους γαλαξίες με μέση ισχύ 10^{37} Watts.

Ημιαστρικές ραδιοπηγές (quasars). Τα κβάζαρ (quasars) ήταν οι πρώτες σημειακές ραδιοπηγές που ανιχνεύθηκαν. Η ισχυρή ερυθρή μετατόπιση των κβάζαρ οδήγησε στο συμπέρασμα, ότι πρόκειται για απόμακρους ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες. Όπως οι πάλσαρ, έτσι και οι ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες εκπέμπουν ακτινοβολία σύγχροτρον. Παράδειγμα αποτελεί το 3C 273, το λαμπρότερο κβάζαρ του ουρανού. Τα κβάζαρ είναι συνήθως ισχυροί εκπομποί ακτινών X και υπερύθρων.

Κεφάλαιο 5. Τηλεσκόπιο Υπερύθρου

Η υπέρυθρη αστρονομία είναι ο κλάδος της αστρονομίας που εξετάζει αντικείμενα ορατά στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Το μήκος κύματος της ορατής ακτινοβολίας κυμαίνεται μεταξύ 400 nm και 700 nm, ενώ αυτό της υπέρυθρης είναι άνω των 700 nm, αόρατο στο ανθρώπινο μάτι.

5.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ανακάλυψη της υπέρυθρης ακτινοβολίας αποδίδεται στο William Herschel, ο οποίος εκτέλεσε ένα πείραμα, κατά το οποίο τοποθέτησε ένα θερμόμετρο μπροστά από ένα πρίσμα, το οποίο σχημάτιζε το φάσμα του ορατού φωτός από τον ήλιο. Παρατήρησε, ότι η αύξηση της θερμοκρασίας που προκάλεσε το ηλιακό φως στο θερμόμετρο, ήταν μεγαλύτερη έξω από το ορατό φάσμα, ακριβώς πάνω από το κόκκινο χρώμα. Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας στα υπέρυθρα μήκη κύματος οφειλόταν στο φασματικό δείκτη του πρίσματος και όχι στις ιδιότητες του ήλιου, αλλά το γεγονός ότι σημειώθηκε αύξηση της θερμοκρασίας, βοήθησε το Herschel να συμπεράνει, ότι υπάρχει αόρατη ηλιακή ακτινοβολία. Αποκάλεσε αυτή την ακτινοβολία «θερμικές ακτίνες» και απέδειξε, ότι μπορεί να ανακλαστεί, να μεταδοθεί και να απορροφηθεί ακριβώς όπως το ορατό φως.

Προσπάθειες για την ανίχνευση υπέρυθρης ακτινοβολίας και από άλλες αστρονομικές πηγές άρχισαν να καταβάλλονται το 1830 και συνεχίστηκαν μέχρι το τέλος του 19^{ου} αιώνα. Η υπέρυθρη ακτινοβολία της Σελήνης ανιχνεύθηκε για πρώτη φορά το 1873 από το William Parsons, ενώ ο Ernest Fox Nichols χρησιμοποίησε ένα τροποποιημένο ραδιόμετρο Crookes προσπαθώντας να ανιχνεύσει υπέρυθρη ακτινοβολία από τους αστέρες Αρκτούρο και Βέγα, έκρινε όμως τα αποτελέσματα ασαφή.

Ο τομέας της υπέρυθρης αστρονομίας συνέχισε να αναπτύσσεται με σταθερούς ρυθμούς μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, διάστημα στο οποίο ο Seth Barnes Nicholson και ο Edison Pettit ανέπτυξαν τη θερμοπύλη, ανιχνευτή ο οποίος μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική και είναι ικανός να υπολογίζει τα υπέρυθρα μήκη κύματος με ακρίβεια. Ο τομέας ωστόσο παραγκωνίστηκε από τους παραδοσιακούς αστρονόμους γύρω στο 1960 και απέμειναν μόνο ορισμένοι εκπαιδευμένοι φυσικοί να ασχολούνται με την υπέρυθρη αστρονομία. Η επιτυχία όμως της ραδιοαστρονομίας κατά τις δεκαετίες 1950 και 1960, που συνδυάστηκε και με την εξέλιξη των ανιχνευτών υπέρυθρης ακτινοβολίας, προέτρεψε πολλούς αστρονόμους να ασχοληθούν με αυτό τον τομέα και η υπέρυθρη αστρονομία καθιερώθηκε και επίσημα ως κλάδος της αστρονομίας (Rieke, 2009).

5.2 Γενικά στοιχεία

Η κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία, μήκη κύματος δηλαδή που βρίσκονται κοντά σε αυτά του ορατού φωτός, έχει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του ορατού φωτός και μπορεί να ανιχνευθεί με τα ίδια οπτικά συστήματα. Η κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία αντιμετωπίζεται από τους αστρονόμους ως τμήμα του οπτικού φάσματος. Γι' αυτό το λόγο, τα περισσότερα οπτικά τηλεσκόπια είναι σχεδιασμένα να ανιχνεύουν την κοντινή υπέρυθη, αλλά και την κοντινή υπεριώδη ακτινοβολία. Για την ανίχνευση της μακρινής υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται άλλα τηλεσκόπια, που έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν μήκη κύματος υποχιλιοστόμετρου, όπως το James Clerk Maxwell Telescope που βρίσκεται στο παρατηρητήριο Mauna Kea της Χαβάης.



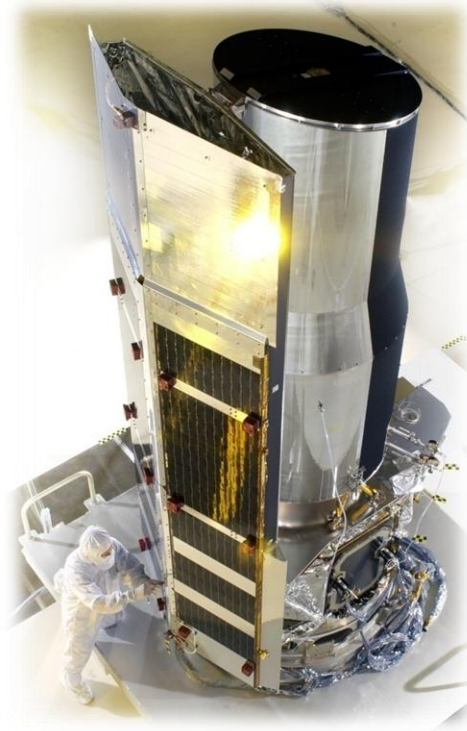
Εικόνα 42. Παρατηρητήριο Mauna Kea

Λαμβάνοντας υπόψη, ότι η υπέρυθη ακτινοβολία είναι κυρίως θερμική ακτινοβολία, τα υπέρυθρα τηλεσκόπια, μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται και μερικά από τα σημαντικότερα οπτικά τηλεσκόπια, πρέπει να ψύχονται με υγρό άζωτο, για να προστατευτούν από τις υψηλές θερμοκρασίες. Αν οι υπέρυθροι ανιχνευτές δεν ψύχονταν αποτελεσματικά, η θερμότητα του ανιχνευτή θα επισκίαζε σημαντικά τη λαμβανόμενη ακτινοβολία από το ουράνιο αντικείμενο και η διαμόρφωση εικόνων υψηλής ακρίβειας θα ήταν αδύνατη. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις περιοχές του φάσματος που αντιστοιχούν η μέση και η μακρινή υπέρυθη ακτινοβολία.

Η σημαντικότερη αιτία που περιορίζει την ανίχνευση υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα επίγεια τηλεσκόπια είναι οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας, οι οποίοι απορροφούν ένα σημαντικό μέρος της ακτινοβολίας. Γι' αυτό το λόγο, τα περισσότερα υπέρυθρα τηλεσκόπια είναι κατασκευασμένα σε ξηρές περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, ώστε να βρίσκονται πάνω από τον κύριο όγκο των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Το παρατηρητήριο Mauna Kea βρίσκεται σε υψόμετρο 4.205

μέτρων, το παρατηρητήριο ALMA στην έρημο Ατακάμα της Χιλής βρίσκεται σε υψόμετρο 5.000 μέτρων, ενώ το παρατηρητήριο στο Dome C της Ανταρκτικής είναι κατασκευασμένο σε υψόμετρο 3.233 μέτρων. Περιοχές απομονωμένες, όπως οι έρημοι ή οι απέραντοι παγετώνες της Ανταρκτικής, είναι ιδανικές για την κατασκευή παρατηρητηρίων λόγω του μεγάλου γεωγραφικού τους πλάτους.

Όπως όμως συμβαίνει για τα τηλεσκόπια ορατού φωτός, έτσι και για τα υπέρυθρα τηλεσκόπια η ιδανικότερη θέση για παρατήρηση είναι το διάστημα. Στο διάστημα, οι εικόνες που λαμβάνουν τα υπέρυθρα τηλεσκόπια έχουν μεγαλύτερη ανάλυση, καθώς είναι απαλλαγμένες από τυχόν παρεμβολές της γήινης ατμόσφαιρας ή από την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Για αυτό άλλωστε και τα περισσότερα οπτικά τηλεσκόπια που βρίσκονται σε τροχιά, όπως το Hubble, είναι καταλλήλως εξοπλισμένα για να εκτελούν υπέρυθρες παρατηρήσεις. Υπάρχουν βέβαια και διαστημικά τηλεσκόπια, τα οποία είναι αμιγώς υπέρυθρα, όπως το διαστημικό παρατηρητήριο Herschel, το διαστημικό τηλεσκόπιο Spitzer και ο ανιχνευτής μακρινής υπέρυθρης ακτινοβολίας WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer).



Εικόνα 43. Το τηλεσκόπιο Spitzer λίγο πριν την εκτόξευσή του

Δεδομένου ότι η τοποθέτηση ενός τηλεσκοπίου σε τροχιά έχει κόστος, έχουν υιοθετηθεί και άλλα μέσα για την παρατήρηση υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τέτοια μέσα είναι τα αερομεταφερόμενα παρατηρητήρια, τα οποία δίνουν εικόνες υψηλής ποιότητας, καθώς οι πτήσεις των κατάλληλα εξοπλισμένων αεροσκαφών γίνονται σε μεγάλα υψόμετρα (στρατόσφαιρα) και έτσι

εκμηδενίζεται το φαινόμενο απορρόφησης της ακτινοβολίας από τους υδρατμούς της γήινης ατμόσφαιρας.

Τέτοια αερομεταφερόμενα παρατηρητήρια είναι το SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) και το KAO (Kuiper Airborne Observatory).



Εικόνα 44. Το SOFIA σε πτήση

5.3 Υπέρυθρη Τεχνολογία

Οι πιο κοινές διατάξεις ανιχνευτών που χρησιμοποιούνται στα τηλεσκόπια για την ανίχνευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι οι HgCdTe, οι οποίες είναι αποτελεσματικές για μήκη κύματος μεταξύ 0,6 μm και 5 μm . Για παρατηρήσεις υψηλότερων μηκών κύματος απαιτούνται ανιχνευτές ημιαγωγών μικρού ενεργειακού χάσματος ή υπεραγώγιμες διατάξεις.

Διαστημικά τηλεσκόπια όπως το Spitzer και το Herschel, που είναι κατασκευασμένα αμιγώς για υπέρυθρες παρατηρήσεις, είναι ικανά να διεξάγουν έρευνες σε όλα τα μήκη κύματος του υπέρυθρου φάσματος. Ωστόσο, περιορίζονται σε ένα μικρό αριθμό παρατηρήσεων, καθώς η πλειοψηφία αυτών πραγματοποιείται από τα επίγεια τηλεσκόπια. Χρησιμεύουν κυρίως για παρατηρήσεις σε μήκη κύματος, τα οποία περιορίζονται από τη γήινη ατμόσφαιρα λόγω αδιαφάνειας. Τα μήκη κύματος παρατηρήσεων παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

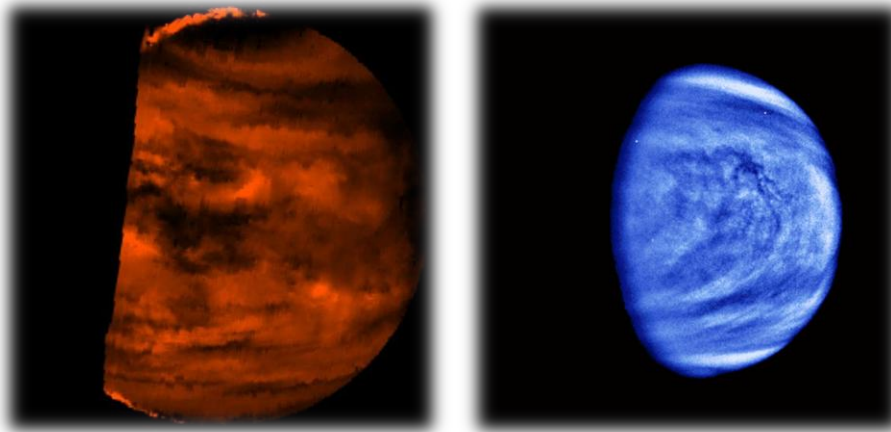
Πίνακας 3. Μήκη Κύματος Παρατηρήσεων

Μήκος Κύματος (μm)	Αστρονομικές Ζώνες	Τηλεσκόπια
0.65 – 1	R και I	Όλα τα μεγάλα οπτικά τηλεσκόπια
1.1 - 1.4	J	Τα περισσότερα μεγάλα οπτικά και τα περισσότερα αμιγώς υπέρυθρα τηλεσκόπια
1.5 - 1.8	H	»
2 - 2.4	K	»
3- 4	L	Τα περισσότερα αμιγώς υπέρυθρα τηλεσκόπια και μερικά μεγάλα οπτικά τηλεσκόπια
4.6 – 5	M	»
7.5 - 14.5	N	»
17 – 25	Q	Μερικά αμιγώς υπέρυθρα τηλεσκόπια και μερικά μεγάλα οπτικά τηλεσκόπια
28 – 40	Z	»
330 – 370		»
450	Ζώνη υποχιλιοστόμετρου	Τηλεσκόπια Υποχιλιοστόμετρου

5.4 Χρήσεις τηλεσκοπίων υπέρυθρου

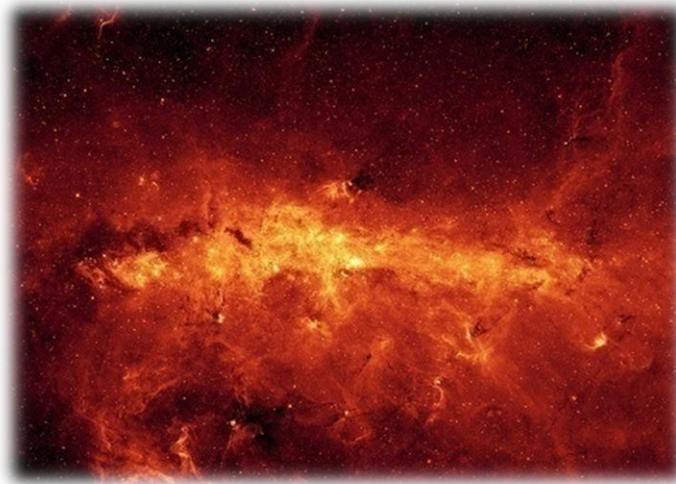
Όλοι οι πλανήτες και οι δορυφόροι τους εκπέμπουν ισχυρά στο υπέρυθρο φάσμα. Η υπέρυθρη αυτή ακτινοβολία πηγάζει από τα σημαντικά ποσά θερμότητας που υπάρχουν στις ατμόσφαιρες και τις επιφάνειες των πλανητών. Το μήκος κύματος αυτής της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας έχει μέγιστη τιμή μεταξύ μέσου και μακρινού υπέρυθρου (15 μm – 100 μm). Τα σώματα αυτά έχουν επίσης την ιδιότητα να ανακλούν την υπέρυθρη ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο.

Η μελέτη της υπέρυθρης ακτινοβολίας των αντικειμένων του ηλιακού μας συστήματος έχει δώσει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη σύστασή τους. Όσον αφορά πλανήτες και δορυφόρους με ατμόσφαιρα, η μελέτη της υπέρυθρης ακτινοβολίας τους βοήθησε στον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των ατμοσφαιρικών αερίων, καθώς και στο γεγονός, ότι η θερμότητα των πλανητών ποικίλλει ανάλογα με το βάθος.



Εικόνα 45. Αριστερά: Η Αφροδίτη στο υπέρυθρο. Δεξιά: Η Αφροδίτη στο ορατό φάσμα

Η υπέρυθη αστρονομία έχει συμβάλλει σημαντικά και στη μελέτη του Γαλαξία μας. Επειδή η ακτινοβολία αυτού του είδους μπορεί να διέλθει εύκολα μέσω των αερίων και της σκόνης, οι υπέρυθρες εικόνες αποκαλύπτουν τη δομή του Γαλαξία μας με μεγαλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με τις αντίστοιχες του ορατού φάσματος. Το κέντρο του Γαλαξία μας είναι από τις φωτεινότερες υπέρυθρες πηγές του ουρανού και μπορεί να απεικονιστεί μόνο με χρήση υπέρυθρου τηλεσκοπίου, καθώς δεν είναι ορατό στα οπτικά μήκη κύματος εξαιτίας του ότι είναι καλυμμένο από νέφη αερίων και σκόνης. Οι υπέρυθρες παρατηρήσεις απέδειξαν, ότι το κέντρο αποτελείται από μία πολύ πυκνή συσσώρευση αστερών, οι οποίοι κινούνται σε τροχιά γύρω από μία περιοχή, η οποία πιθανολογείται πως είναι μία μαύρη τρύπα.



Εικόνα 46. Υπέρυθη απεικόνιση του κέντρου του Γαλαξία μας

Κεφάλαιο 6. Τηλεσκόπια Ακτινών X και γ

6.1 Αστρονομία ακτινών X και γ

Σε αντίθεση με τα πολύ χαμηλής ενέργειας ραδιοκύματα, οι ακτίνες X είναι πολύ υψηλής ενέργειας ακτινοβολία και ακολουθεί η ακόμα υψηλότερης ενέργειας ακτινοβολία γ, η οποία είναι και η ισχυρότερη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα μήκη κύματος αυτών των ακτινοβολιών είναι πολύ χαμηλά και όπως άλλωστε συμβαίνει και με το μεγαλύτερο κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, είναι αόρατες στο ανθρώπινο μάτι. Το μήκος κύματος των ακτινών X κυμαίνεται μεταξύ 1 nm και 100 nm (0,12 keV - 12 keV), ενώ το αντίστοιχο των ακτινών γ κυμαίνεται μεταξύ 0,1 nm και 0,001 nm (12 keV - 120 keV). Οι δύο αυτοί τύποι ακτινών, εκτός από την πολύ υψηλή ενέργεια και τα πολύ χαμηλά μήκη κύματος, χαρακτηρίζονται και από πολύ υψηλές θερμοκρασίες, καθώς προέρχονται από πολύ θερμές περιοχές, όπου τα άτομα βρίσκονται σε θερμοκρασίες εκατομμυρίων βαθμών. Η υψηλή θερμοκρασία των περιοχών αυτών είναι προϊόν τεράστιων εκρήξεων λόγω βίαιων συγκρούσεων μεταξύ των ατόμων.

Αυτά τα ακραία αστροφυσικά φαινόμενα δεν είναι δυνατό να μελετηθούν πλήρως από τα ορατά μήκη κύματος ή τα ραδιοκύματα που εκπέμπουν. Μελετώντας όμως τα τεράστια ποσά ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που εκπέμπουν (ακτίνες X και γ), μπορεί να προσδιοριστεί η προέλευσή τους και η χημική σύνθεση των αντικειμένων που τα παρήγαγε.

Δυστυχώς όμως, η ατμόσφαιρα έχει την τάση να απορροφά την ακτινοβολία X, ακόμα και αν αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλη ενέργεια. Για παράδειγμα, ακτίνες X υψηλής ενέργειας, της τάξης των 30 keV, απορροφώνται από την ατμόσφαιρα αφού διανύσουν μερικά μέτρα, ενώ ακτίνες ενέργειας 0,5 keV - 5 keV απορροφώνται ολοκληρωτικά πριν προλάβουν να διανύσουν 10 cm. Λόγω του ότι οι ακτίνες X δεν δύνανται να διαπεράσουν όλο τον όγκο της γήινης ατμόσφαιρας, για να υπάρξει αποτελεσματική αστρονομική παρατήρηση, θα πρέπει οι ανιχνευτές της ακτινοβολίας αυτής να βρίσκονται πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της ατμόσφαιρας. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με πτήσεις μπαλονιών σε μεγάλα ύψη, είτε με πτήσεις πυραύλων, ή με τον πλέον δημοφιλή στους επιστήμονες και αποδοτικό τρόπο, που είναι η τοποθέτηση τέτοιων ανιχνευτών σε δορυφόρους.

Στις πτήσεις πυραύλων, τοποθετείται ένας ανιχνευτής στο ανώτερο κωνικό τμήμα του πυραύλου, ο οποίος στη συνέχεια εκτοξεύεται πάνω από την ατμόσφαιρα. Η πρώτη επιτυχής χρήση αυτής της τεχνικής έγινε στις 28 Ιανουαρίου 1949, όταν από το κοσμοδρόμιο White Sands στο Νέο Μεξικό των ΗΠΑ, εκτοξεύθηκε ένας πύραυλος V-2, ο οποίος ανίχνευσε ακτίνες X από τον ήλιο. Η τεχνική αυτή όμως δεν ιδιαίτερα αποτελεσματική, καθώς η πτήση

διαρκεί για λίγα μόλις λεπτά έως ότου ο πύραυλος επιστρέψει στη Γη, ενώ παράλληλα έχουν και περιορισμένο οπτικό πεδίο.

Με τις πτήσεις μπαλονιών, οι ανιχνευτές μπορούν να φτάσουν σε ύψος ακόμα και τα 40 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ξεπερνώντας έτσι το 99,997 % της γήινης ατμόσφαιρας. Σε αντίθεση με τη σύντομη διάρκεια πτήσης των πυραύλων, τα μπαλόνια μπορούν να μείνουν σε μεγάλα υψόμετρα για πολύ περισσότερο χρόνο. Ωστόσο, ακόμα και σε τόσο μεγάλο ύψος, ένα μεγάλο μέρος του φάσματος των ακτινών X απορροφάται.

Στις παρατηρήσεις ακτινοβολίας X με δορυφόρους, τοποθετείται σε αυτούς ένας ανιχνευτής και στη συνέχεια τίθενται σε τροχιά, πάνω από τη γήινη ατμόσφαιρα. Σε αντίθεση με τα μπαλόνια, οι δορυφόροι είναι σε θέση να παρατηρούν όλο το φάσμα της ακτινοβολίας X, ενώ παράλληλα μπορούν να συλλέγουν δεδομένα για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο ανιχνευτής που είχε τοποθετηθεί στο δορυφόρο Vela 5B έμεινε ενεργός για πάνω από δέκα χρόνια.

Το μεγάλο μειονέκτημα ενός δορυφορικού παρατηρητηρίου είναι οι μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται. Γι' αυτό είναι εξοπλισμένο με φωτοβολταϊκά συστήματα, ώστε να αξιοποιεί την άφθονη ηλιακή ενέργεια, μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική. Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται όταν ένα δορυφορικό παρατηρητήριο βρίσκεται σε τροχιά είναι οι μεγάλες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας. Όταν αυτό είναι εκτεθειμένο στον ήλιο οι θερμοκρασίες που δέχεται είναι τεράστιες, ενώ όταν βρίσκεται σε μέρος που σκιάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία οι θερμοκρασίες είναι υπερβολικά χαμηλές. Και οι δύο αυτές καταστάσεις είναι απαγορευτικές για την λειτουργικότητα του δορυφόρου, γι' αυτό είναι εξοπλισμένος με συστήματα ψύξης και θέρμανσης, τα οποία λαμβάνουν την εξωτερική θερμοκρασία από ένα θερμοστάτη και πράττουν αναλόγως, ώστε να διατηρηθεί σταθερή η εσωτερική θερμοκρασία.

6.2 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη αναφορά στην αστρονομία ακτινών X γίνεται τη δεκαετία του 1920, όταν το Αμερικανικό Ναυτικό αναζητούσε τρόπους επικοινωνίας με βραχέα κύματα, γεγονός που οδήγησε στη μελέτη της ιονόσφαιρας. Το 1927, οι επιστήμονες του εργαστηρίου ερευνών του Αμερικανικού Ναυτικού εξέταζαν την πιθανότητα να εξοπλίσουν τους πυραύλους που είχε κατασκευάσει ο Αμερικανός φυσικός Robert Goddard, για να εξερευνήσουν την ανώτερη ατμόσφαιρα. Το 1929, ο επιστήμονας του Αμερικανικού Ναυτικού E.O. Hulbert πρότεινε το πειραματικό σχέδιο της εκτόξευσης των πυραύλων, κατά το οποίο οι πύραυλοι θα ήταν εξοπλισμένοι, ώστε να μπορούν να ανιχνεύσουν υπεριώδη ακτινοβολία και ακτίνες X στην ανώτερη ατμόσφαιρα (NRL, 1996).

Στο τέλος της δεκαετίας του 1930 αναφέρθηκε η ύπαρξη ενός στέμματος γύρω από τον ήλιο, που πιθανολογείτο ότι ήταν ακτίνες X. Το 1949 ο Herbert Friedman ξεκίνησε να μελετά ηλιακές ακτίνες X και επιβεβαίωσε την ύπαρξη του ηλιακού στέμματος, ανιχνεύοντας σε αυτό φωτόνια ακτινών X (Güdel, 2004).

Επειδή όμως η γήινη ατμόσφαιρα απορρόφα το μεγαλύτερο μέρος των ακτινών X, ήταν αναγκαίο οι πτήσεις πυραύλων να πετύχουν μεγαλύτερα ύψη. Από το 1960 και μετά οι ανιχνευτές έφταναν όλο και μεγαλύτερα υψόμετρα, λαμβάνοντας έτσι ακριβέστερα δεδομένα κοσμικής ακτινοβολίας X και γ.

Η πρώτη εξωηλιακή πηγή ακτινών X ανακαλύφθηκε το 1962. Ονομάστηκε Σκορπιός X-1, επειδή ανιχνεύθηκε στον αστερισμό του Σκορπιού και βρίσκεται κοντά στο κέντρο του γαλαξία μας. Μετά τον Ήλιο, είναι ο ισχυρότερος εκπομπός ακτινών X του διαστήματος, με ενέργειες που αγγίζουν τα 20 keV. Μέχρι το 1970 είχαν εντοπιστεί άλλες 20 γαλαξιακές πηγές ακτινών X και οι δύο πρώτες εξωγαλαξιακές. Επρόκειτο για τον ελλειπτικό γαλαξία M87 και το κβάζαρ 3C 273.

Σημαντική ώθηση σημειώθηκε το 1970, όταν τέθηκε σε τροχιά από τη NASA ο δορυφόρος Uhuru, το πρώτο δορυφορικό παρατηρητήριο ακτινών X. Στη διάρκεια της περιφοράς του γύρω από τη Γη, η οποία διήρκεσε 429 ημέρες, κατέγραψε πάνω από 200 διακριτές πηγές ακτινών X, γαλαξιακής και εξωγαλαξιακής προέλευσης. Ο Uhuru ήταν ο πρώτος από μια σειρά δορυφόρων, που ακολούθησαν και προέβησαν σε ανάλογες παρατηρήσεις κατά τη δεκαετία του 1970. Η σειρά αυτή περιελάμβανε τον ολλανδικό ANS, τους αμερικανικούς SAS-3, OSO-8 και Κοπέρνικο, το βρετανικό Ariel V, τον ιαπωνικό Hakucho και τελικά, το 1977, το πρώτο από τα Αστρονομικά Παρατηρητήρια Υψηλής Ενέργειας HEAO-1 (High Energy Astronomical Observatory). Από το 1980 και μετά, η τεχνολογία των ανιχνευτών άρχισε να ωριμάζει ακόμα περισσότερο, δίνοντας ακόμα περισσότερα δεδομένα, που βοήθησαν στην κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο σύμπαν.

Πολύ πριν μπορέσουν να ανιχνεύσουν πειραματικά τις ακτίνες γ που εκπέμπονται από κοσμικές πηγές, οι επιστήμονες ήδη γνώριζαν ότι το σύμπαν εκπέμπει τέτοια ακτινοβολία. Έρευνες από τους Eugene Feenberg και Henry Primakoff το 1948, Sachio Hayakawa και I.B. Hutchinson το 1952 και ιδιαίτερα από το Philip Morrison το 1958, οδήγησαν τους επιστήμονες στην πεποίθηση, ότι διάφορες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο σύμπαν έχουν ως αποτέλεσμα της εκπομπή ακτινοβολίας γ (Morrison, 1958). Αυτές οι διεργασίες περιελάμβαναν αλληλεπιδράσεις κοσμικών ακτινών με ενδοαστρικά αέρια, εκρήξεις υπερκαινοφανών αστέρων και αλληλεπιδράσεις ηλεκτρονίων με μαγνητικά πεδία. Ωστόσο, μέχρι το 1960 δεν ήταν δυνατή η ανίχνευση τέτοιων εκπομπών.

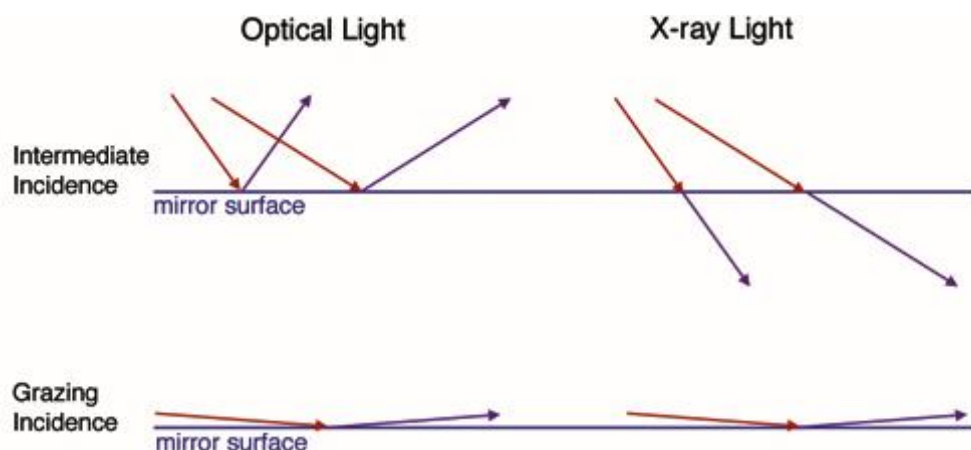
Οι περισσότερες ακτίνες γ που προέρχονται από το διάστημα απορροφώνται από τη γήινη ατμόσφαιρα, έτσι η αστρονομία ακτινών γ ήταν αδύνατο να αναπτυχθεί, έως ότου πραγματοποιηθεί η πρώτη μεταφορά ανιχνευτών πάνω από την ατμόσφαιρα, χρησιμοποιώντας μπαλόνια και διαστημικά λεωφορεία. Το πρώτο διαστημικό τηλεσκόπιο ακτινών γ ήταν προσαρτημένο στο δορυφόρο Explorer 11, ο οποίος τέθηκε σε τροχιά το 1961. Τα φωτόνια ακτινών γ που συνέλλεξε προέρχονταν από όλες τις κατευθύνσεις του σύμπαντος, πράγμα που συνεπάγεται την ύπαρξη κάποιου ομοιόμορφου «υποβάθρου ακτινών γ (gamma – ray background)». Ένα τέτοιο υπόβαθρο θα αναμενόταν από την αλληλεπίδραση κοσμικών ακτινών με ενδοαστρικά αέρια.

Οι πρώτες πραγματικές πηγές ακτινών γ που ανιχνεύθηκαν, ήταν ηλιακές εκρήξεις, οι οποίες παρήγαγαν ενέργεια της τάξης των 2,223 MeV. Η ενέργεια αυτή προέκυπτε από το σχηματισμό του δευτερίου (βαρύ υδρογόνο), μέσω της ένωσης ενός πρωτονίου και ενός νετρονίου. Οι παρατηρήσεις αυτές έγιναν από τους δορυφόρους OSO-3, OSO-7, SolarMax.

Το 1967, ο OSO-3 ανίχνευσε σημαντική εκπομπή ακτινών γ από το Γαλαξία μας, καταγράφοντας 621 συμβάντα που αποδίδονταν σε κοσμικές ακτίνες γ . Ωστόσο, η αστρονομία ακτινών γ γνώρισε μεγάλη ακμή με τους δορυφόρους SAS-2 (1972) και COS-B (1975 – 1982). Αυτοί οι δύο δορυφόροι παρείχαν σημαντικές εικόνες του σύμπαντος υψηλής ενέργειας (το οποίο επίσης αποκαλείται και «βίαιο σύμπαν», επειδή τα γεγονότα που παράγουν ακτινοβολία γ είναι ισχυρές συγκρούσεις και άλλες παρόμοιες διεργασίες). Οι έρευνες των δορυφόρων αυτών επιβεβαίωσαν την ύπαρξη υποβάθρου ακτινοβολίας γ και με τη βοήθειά τους κατασκευάστηκε ο πρώτος λεπτομερής χάρτης του ουρανού στα μήκη κύματος ακτινών γ . Ανίχνευσαν επίσης ένα σημαντικό αριθμό σημειακών πηγών, οι οποίες όμως ήταν αδύνατο να αναλυθούν περαιτέρω, λόγω της ανεπαρκούς ανάλυσης των εικόνων που παρείχαν τα όργανά τους.

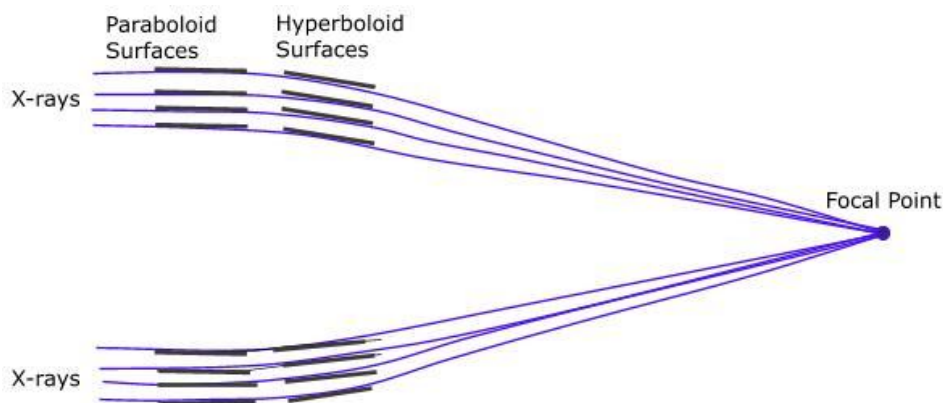
6.3 Ανακλαστικά τηλεσκόπια ακτινών X και γ

Για συνήθεις γωνίες ανάκλασης (π.χ. 90° ή μικρότερες), τα κάτοπτρα που ανακλούν πλήρως το ορατό φως, είναι εντελώς αναποτελεσματικά στις ακτίνες X, καθώς διαπερνούν πλήρως τις ανακλαστικές επιφάνειες. Όταν όμως η πρόσπτωση έχει πολύ μικρή γωνία (μέχρι 2°), είναι δηλαδή σχεδόν παράλληλη με το κάτοπτρο, τότε μπορεί να επιτευχθεί ανάκλαση των ακτινών X (Εικόνα 47).



Εικόνα 47

Κατά καιρούς έχουν κατασκευαστεί διάφορα τηλεσκόπια τέτοιου τύπου, το δημοφιλέστερο και αποδοτικότερο όμως είναι το Wolter, το οποίο επινοήθηκε το 1952 από το Hans Wolter. Στο συγκεκριμένο τηλεσκόπιο η γωνία πρόσπτωσης είναι πολύ μικρή (10 arcmins - 2°) και έτσι επιτυγχάνεται η δημιουργία ειδώλου. Το τηλεσκόπιο αυτό αποτελείται από ένα συνδυασμό δακτυλίων παραβολικού και υπερβολοειδούς σχήματος. Τηλεσκόπια τέτοιου τύπου είναι αποτελεσματικά για ενέργειες ακτινοβολίας μέχρι 1 keV. Για δημιουργία ειδώλων από ακτινοβολίες μεγαλύτερης ενέργειας, απαιτούνται πιο περίπλοκοι σχεδιασμοί, οι οποίοι όμως και πάλι είναι αποδοτικοί μέχρι μερικές δεκάδες keV. Αυτό σημαίνει ότι για πολύ υψηλές ενέργειες η ανάλυση μειώνεται, το οποίο συνεπάγεται χαμηλή ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης της αστρονομικής πηγής.



Εικόνα 48. Η πορεία των ακτινών X σε ένα ανακλαστικό τηλεσκόπιο Wolter

6.4 Παρατηρητήρια ακτινών X και γ σε τροχιά

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος της NASA «Αστρονομικά Παρατηρητήρια Υψηλής Ενέργειας», που τέθηκε σε εφαρμογή το 1977, ανακοινώθηκε η πρόθεσή της να κατασκευάσει ένα μεγάλο παρατηρητήριο ακτινών γ. Επρόκειτο για το παρατηρητήριο Compton, το οποίο σχεδιάστηκε με σκοπό να εκμεταλλευτεί την τεράστια πρόοδο που σημειώθηκε στους ανιχνευτές τη δεκαετία του 1980, και εκτοξεύθηκε το 1991. Το παρατηρητήριο έφερε τέσσερα σημαντικά όργανα, που βελτίωσαν σε μεγάλο βαθμό την ανάλυση των παρατηρήσεων και συνέλλεξε μεγάλο όγκο δεδομένων, που συνέβαλαν στην κατανόηση των διεργασιών υψηλής ενέργειας που συμβαίνουν στο σύμπαν. Το Compton έπαψε να λειτουργεί τον Ιούνιο του 2000, λόγω δυσλειτουργίας του συστήματος σταθεροποίησης.

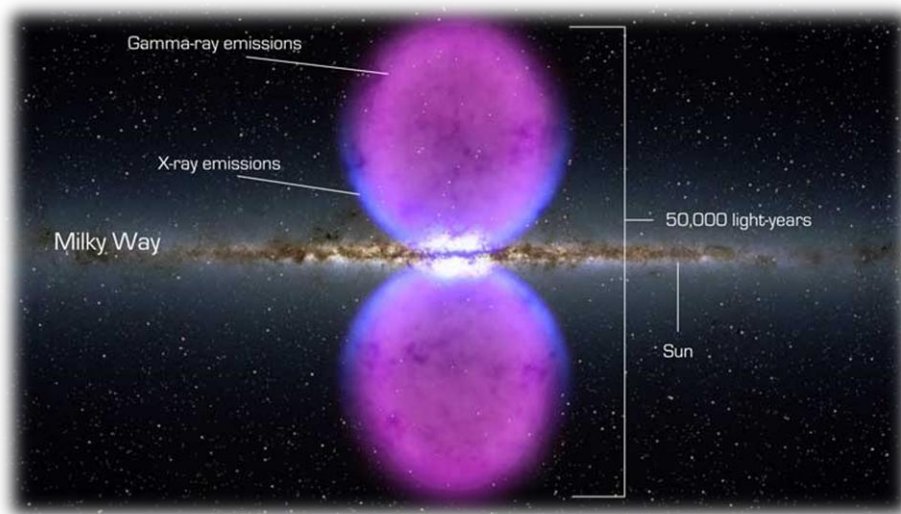


Εικόνα 49. Το παρατηρητήριο Compton

Το παρατηρητήριο BeppoSAX εκτοξεύθηκε το 1996 και τέθηκε εκτός τροχιάς το 2003. Κατά κύριο λόγο μελετούσε ακτίνες X, αλλά παρατηρούσε επίσης και εκρήξεις ακτινών γ. Το 1997 το BeppoSAX παρατήρησε ότι οι εκρήξεις ακτινών γ συνοδεύονταν από εκπομπή ακτινών X, γεγονός που έθεσε τις βάσεις για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης και την οπτική παρατήρηση των υπολειμμάτων τους σε απόμακρους γαλαξίες, καθώς τέτοιες εκρήξεις, αν λάβουν χώρα σε μικρή απόσταση από τη γη, μπορούν να αποβούν καταστροφικές για το οικοσύστημά μας.

Ο εξερευνητής υψηλής ενέργειας HETE-2 (High Energy Transient Explorer 2) τέθηκε σε τροχιά τον Οκτώβριο του 2000 με σκοπό να λαμβάνει δεδομένα για δύο χρόνια, παροπλίστηκε όμως το Μάρτιο του 2007. Το 2004 η NASA έθεσε σε τροχιά το παρατηρητήριο Swift, με σκοπό να παρατηρεί εκρήξεις ακτινών γ, ενώ είναι ικανό να λαμβάνει εικόνες και σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (ακτίνες X, υπεριώδες, ορατό φάσμα). Οι εικόνες που έχει λάβει το Swift, έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα, ότι οι εκλάμψεις ακτινών γ προέρχονται από εκρήξεις υπερκαινοφανών αστέρων (supernova και hypernova) σε απόμακρους γαλαξίες.

Τα κυριότερα διαστημικά παρατηρητήρια ακτινών γ που βρίσκονται αυτή τη στιγμή σε τροχιά είναι τα INTEGRAL (International Gamma Ray Astrophysics Laboratory) και Fermi. Το πρώτο εκτοξεύθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA) στις 17 Οκτωβρίου 2002, ενώ το δεύτερο στις 11 Ιουνίου 2008 από τη NASA. Το Fermi είναι εξοπλισμένο με το τηλεσκόπιο LAT (Large Area Telescope) και με το όργανο GBM (Gamma Ray Burst Monitor), που μελετά τις εκρήξεις ακτινών γ . Το Νοέμβριο του 2010, το Fermi ανίχνευσε δύο γιγαντιαίες πηγές ακτινών γ στο κέντρο του γαλαξία μας (Εικόνα 50). Πιθανολογείται ότι προέρχονται από μία τεράστια μαύρη τρύπα ή από διαδικασίες σχηματισμού άστρων.



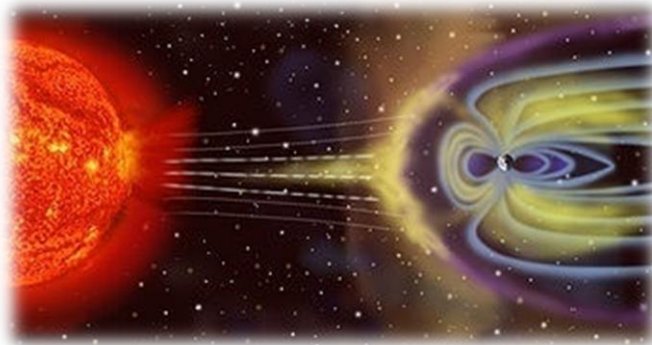
Εικόνα 50

Τα παραπάνω παρατηρητήρια ακτινών γ είναι ικανά να ανιχνεύουν και ακτίνες X υψηλής ενέργειας (άνω των 15 keV). Σε τροχιά υπάρχουν επίσης και παρατηρητήρια που ανιχνεύουν αμιγώς ακτινοβολία X (0,1 keV – 120 keV). Ο δορυφόρος ROSAT εκτοξεύθηκε το 1990 και η αποστολή του διήρκεσε 8 χρόνια. Με τη βοήθεια ενός τηλεσκοπίου ακτινών X, διαμέτρου 80 cm, με το οποίο ήταν εξοπλισμένος, προέβη μέχρι το 1992 στη μέχρι στιγμής πληρέστερη χαρτογράφηση του ουρανού στο μήκος κύματος των ακτινών X. Ο ουράνιος Άτλας, που βασίστηκε στα δεδομένα του ROSAT, περιέχει πάνω από 60.000 αστρονομικές πηγές ακτινών X, συμπεριλαμβανομένων και των πλέον απόμακρων, που πρόκειται για κβάζαρς σε απόσταση 10 δισεκατομμυρίων ετών φωτός από τη Γη. Το XMM – Newton εκτοξεύθηκε από τον Ευρωπαϊκό οργανισμό διαστήματος το Δεκέμβριο του 1999 και μπορεί να ανιχνεύσει ενέργειες μεταξύ 0,2 keV – 12 keV. Άλλα παρατηρητήρια ακτινών X που βρίσκονται σε τροχιά, είναι τα RXTE και Chandra. Το πρώτο είναι εξοπλισμένο με ανιχνευτές υψηλής ενέργειας και μπορεί να ανιχνεύσει ακτίνες X έως και 250 keV, των οποίων η ενέργεια πλησιάζει αυτή των ακτινών γ .

6.5 Αστρονομικές πηγές ακτινών X και γ

Ηλιακό Σύστημα. Το Ηλιακό στέμμα, δηλαδή η εξωτερική ατμόσφαιρα του ήλιου, που χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες της τάξεως των 2 εκατομμυρίων βαθμών Κελσίου, παράγει ακτίνες X. Για να μελετηθεί το ηλιακό φάσμα ακτινών X, εκτοξεύθηκε το 1991 ο δορυφόρος *Yohkoh*, εξοπλισμένος με ένα τηλεσκόπιο ειδικά σχεδιασμένο για τη μελέτη του Ηλιακού στέμματος. Η αποστολή του διήρκησε 10 χρόνια και μέχρι τον παροπλισμό του το Δεκέμβριο του 2001 είχε παράσχει σημαντικά δεδομένα υψηλής ακρίβειας.

Παρόλο που οι πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος δεν διακρίνονται από τις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για την παραγωγή ακτινών X, έχει αποδειχθεί ότι παράγουν τέτοια ακτινοβολία με άλλους τρόπους. Το διαστημικό παρατηρητήριο *Chandra* έχει ανιχνεύσει ακτινοβολία X από την εξωτερική ατμόσφαιρα της Γής (γήινο στέμμα). Αυτές οι ακτίνες X δημιουργούνται από τις συγκρούσεις των ατόμων υδρογόνου του γήινου στέμματος με τα ιόντα άνθρακα, οξυγόνου και νέου που απομακρύνονται από τον Ήλιο με τον Ηλιακό άνεμο. Οι παραγόμενες ακτίνες X, είναι αποτέλεσμα της μετάπτωσης των ηλεκτρονίων σε χαμηλότερες ενεργειακές στάθμες και η ενέργειά τους είναι ίση με τη διαφορά που διακρίνει τις ενεργειακές αυτές στάθμες.



Εικόνα 51. Αναπαράσταση της αλληλεπίδρασης του Ηλιακού ανέμου με το μαγνητικό πεδίο της Γής

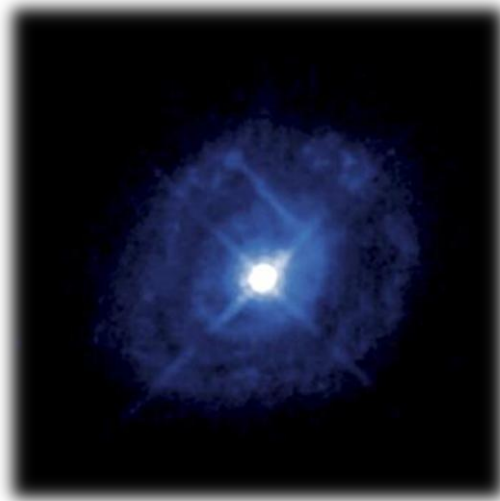
Κομήτες. Το ίδιο φαινόμενο ανταλλαγής φορτίων λαμβάνει χώρα και στους κομήτες, οι οποίοι έχουν εκτεταμένες ατμόσφαιρες. Οι κομήτες είναι σφαίρες με διάμετρο μερικών χιλιομέτρων, οι οποίες περιβάλλονται από νέφη αερίων και σκόνης. Παρατηρώντας τις ακτίνες X, που παράγονται λόγω της ανταλλαγής φορτίων, είναι δυνατή η μελέτη της δομής της ατμόσφαιράς τους, καθώς και ο προσδιορισμός της ταχύτητάς τους.

Αστέρες νετρονίων. Οι αστέρες νετρονίων είναι υπέρπυκνοι αστέρες με διάμετρο της τάξης των 10 km και αποτελούνται από νετρόνια. Η ύπαρξή τους είχε τοποθετηθεί σε θεωρητικό επίπεδο πολύ πριν την ανακάλυψη του πρώτου

από αυτούς, το 1967. Χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές γωνιακές ταχύτητες (μικρή περίοδος περιστροφής) και εκπέμπουν την ακτινοβολία τους μέσα σε ένα κώνο μικρής γωνίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να γίνονται ορατοί μόνο όταν αυτός ο κώνος σαρώνει τον παρατηρητή, γι' αυτό αρχικά είχαν ονομαστεί κοσμικοί φάροι. Αξίζει να σημειωθεί, πως μέχρι να διαπιστωθεί η χρονική ακρίβεια της περιστροφής τους, είχε υποθεθεί πως μπορεί να επρόκειτο ακόμη και για σήμα από εξωγήινο πολιτισμό. Η ακτινοβολία που ανιχνεύουμε από τους αστέρες νετρονίων είναι διακεκομμένη και παλμική, γι' αυτό ονομάζονται και pulsars (pulsating stars) . Ένας από τους νεότερους και ενεργητικότερους πάλσαρ, είναι αυτός του Νεφελώματος του Καρκίνου.

Μαύρες τρύπες. Οι μαύρες τρύπες δεν έχουν τη δυνατότητα να εκπέμψουν κανενός είδους φως ή άλλο στοιχείο, που να είναι αποδεικτικό της ύπαρξής τους. Ωστόσο, μπορούν να ανιχνευτούν μελετώντας διάφορα φαινόμενα που συμβαίνουν γύρω από αυτές, όπως η βαρυτική διάθλαση και η έκκεντρη κίνηση ουρανίων σωμάτων γύρω τους (π.χ. συνοδός αστέρας).

Εμφανή στοιχεία της ύπαρξης μίας μαύρης τρύπας μπορεί να προέρχονται από ύλη που τείνει να εισέλθει μέσα σε αυτή. Πριν εισέλθει, συγκεντρώνεται σε ένα ταχύτατα περιστρεφόμενο και εξαιρετικά θερμό δίσκο γύρω από τη μαύρη τρύπα, που ονομάζεται δίσκος επισώρευσης. Η τριβή της ύλης με το δίσκο έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσών θερμότητας, με συνέπεια την ακτινοβολία ακτινών X. Η θέρμανση είναι τόσο μεγάλη, που μπορεί να μετατρέψει ακόμα και το 50% της ενέργειας ενός σώματος σε ακτινοβολία.



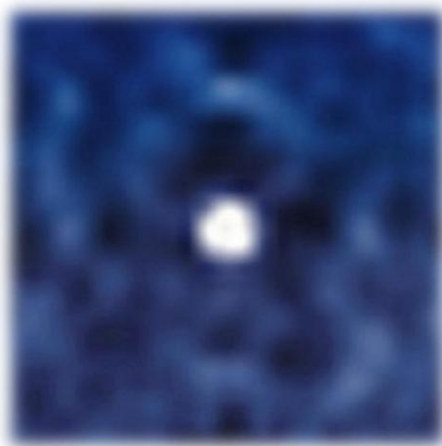
Εικόνα 52. Η μαύρη τρύπα Markarian 509, η οποία περιβάλλεται από ακτίνες X

Συνήθειες γαλαξίες. Στα κέντρα των περισσότερων γαλαξιών βρίσκονται υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες, με μάζες που μπορεί να είναι μερικά εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερες από τη μάζα του Ήλιου. Στους κανονικούς γαλαξίες, η υπερμεγέθης μαύρη τρύπα ανιχνεύεται από την βαρυτική της επίδραση στις κινήσεις των άστρων, αλλά και από ακτίνες X που

παράγονται από αέριο που θερμαίνεται καθώς αυτό εισέρχεται στη μαύρη τρύπα.

Ενεργοί γαλαξίες (Quasars). Τα κβάζαρ είναι εξαιρετικά ενεργητικοί απόμακροι γαλαξίες, με ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες. Αυτά τα αντικείμενα ακτινοβολούν τουλάχιστον τόση ενέργεια ανά δευτερόλεπτο, όση ακτινοβολούν 1.000 ή περισσότεροι γαλαξίες, από μια μία περιοχή που μπορεί να είναι ακόμη και 1.000.000 φορές μικρότερη από ένα γαλαξία. Τα κβάζαρ εκπέμπουν έντονα στο φάσμα των ακτινών X και του ορατού φωτός, μερικά από τα οποία είναι τόσο φωτεινά, που μπορούν να φανούν ακόμα και από αποστάσεις 12 δισεκατομμυρίων ετών φωτός. Η ισχύς ενός κβάζαρ εξαρτάται από τη μάζα της κεντρικής υπερμεγέθους μαύρης τρύπας και το ρυθμό με τον οποίο καταπίνει ύλη. Η περιοχή στην οποία βρίσκεται η μαύρη τρύπα ονομάζεται ενεργός γαλαξιακός πυρήνας.

Εκρήξεις ακτινών γ. Οι λάμπεις ακτινών γ είναι αποτέλεσμα των εξαιρετικά ενεργητικών εκρήξεων που έχουν παρατηρηθεί σε απόμακρους γαλαξίες και αποτελούν τα φωτεινότερα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα στο σύμπαν. Τέτοιες εκρήξεις μπορούν να διαρκέσουν από 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου έως μερικά λεπτά. Ωστόσο, η συνήθης διάρκεια των εκρήξεων αυτών κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40 δευτερολέπτων. Η αρχική έκρηξη συνήθως ακολουθείται από μακροβιότερες αναλαμπές που εκπέμπουν σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (ακτίνες X, υπεριώδες, ορατό, υπέρυθρο, ραδιοκύματα). Οι περισσότερες εκρήξεις που παρατηρούνται και διαρκούν μερικά δευτερόλεπτα πιστεύεται, ότι προέρχονται από την έντονη ακτινοβολία που απελευθερώνεται στη διάρκεια ενός συμβάντος υπερκαινοφανούς αστέρα, κατά το οποίο ένα ταχύτατα περιστρεφόμενο υπερμέγεθες αστέρι εκρήγνυται, διαμορφώνοντας ένα αστέρι νετρονίων ή μία μαύρη τρύπα. Εκρήξεις οι οποίες διαρκούν για κλάσματα του δευτερολέπτου, εκτιμάται ότι προέρχονται από τη συγχώνευση δύο αστέρων νετρονίων.



Εικόνα 53. Εικόνα μίας εκρήξης ακτινών γ, όπως ελήφθη από το διαστημικό παρατηρητήριο INTEGRAL

Οι περισσότερες πηγές εκρήξεων ακτινών γ βρίσκονται δισεκατομμύρια έτη φωτός μακριά από τη Γη και είναι εξαιρετικά ισχυρές (μία συνηθισμένη έκρηξη απελευθερώνει σε μερικά δευτερόλεπτα ίση ενέργεια με αυτή που έχει απελευθερώσει ο Ήλιος στα 10 δισεκατομμύρια χρόνια της ύπαρξής του) και εξαιρετικά σπάνιες. Όλες οι εκρήξεις που έχουν παρατηρηθεί, έχουν συμβεί έξω από το Γαλαξία μας. Εκτιμάται ότι μία έκρηξη ακτινών γ εντός του Γαλαξία μας με κατεύθυνση προς τη Γη, θα προκαλούσε ολική καταστροφή του πλανήτη μας.

Συζήτηση

Αδιαμφισβήτητα η επιστήμη της Οπτικής διαδραμάτισε σημαντικότερο ρόλο στην εξέλιξη της αστρονομίας, η οποία είναι μία από τις νεότερες επιστήμες.

Δεν είναι τυχαίο άλλωστε, πως τα πρώτα τηλεσκόπια που δημιουργήθηκαν ήταν οπτικά. Η μετέπειτα ανάπτυξη της αστρονομίας οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις νέες επαναστατικές τεχνολογίες που έκαναν την εμφάνιση τους (ανιχνευτές υπέρυθρου, ακτινών X και γ, ηλεκτρονικά συστήματα απεικόνισης κ. α), πάντα όμως είχαν ως βάση τα οπτικού τύπου τηλεσκόπια και τον τρόπο λειτουργίας τους.

Ένθετο

European Extremely Large Telescope

Το Ευρωπαϊκό Εξαιρετικά Μεγάλο Τηλεσκόπιο (E – ELT, European Extremely Large Telescope) είναι ένα τηλεσκόπιο μεγάλων διαστάσεων, του οποίου ο σχεδιασμός βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Πρόκειται για οπτικό τηλεσκόπιο ανακλαστικού τύπου με δυνατότητα παρατηρήσεων και στο μέσο υπέρυθρο φάσμα. Σχεδιάζεται από το Ευρωπαϊκό Νότιο Αστεροσκοπείο (ESO – European Southern Observatory), το οποίο είναι ένας διεθνής οργανισμός αστρονομικής έρευνας, στον οποίο συμμετέχουν 14 Ευρωπαϊκά κράτη και η Βραζιλία.

Μέχρι το 2011, τα τεχνικά του χαρακτηριστικά περιελάμβαναν ένα κύριο κάτοπτρο διαμέτρου 42 m και εμβαδού 1.300 m² και ένα δευτερεύον κάτοπτρο διαμέτρου 5,9 m. Ωστόσο, μέσα στο 2011 υποβλήθηκε νέα πρόταση, ώστε να μειωθεί το κόστος της κατασκευής του από τα 1,28 δισεκατομμύρια ευρώ στα 1,06 δισεκατομμύρια και να επιταχυνθεί η αποπεράτωσή του. Οι αλλαγές περιελάμβαναν τη μείωση του εμβαδού του κατόπτρου κατά 13% στα 978 m², με τη διάμετρο του πρωτεύοντος κατόπτρου να περιορίζεται στα 39,3 m και του δευτερεύοντος στα 4,2 m (*Schilling, 2011*). Αν ολοκληρωθεί, θα είναι το μεγαλύτερο της νέας γενιάς των εξαιρετικά μεγάλων τηλεσκοπίων.

Το «μάτι» του τηλεσκοπίου θα έχει διάμετρο που αντιστοιχεί σχεδόν στο μισό μήκος ενός ποδοσφαιρικού γηπέδου και 15 φορές μεγαλύτερη φωτοσυλλεκτική ικανότητα από το μεγαλύτερο εν ενεργεία οπτικό τηλεσκόπιο. Το τηλεσκόπιο αποτελείται από ένα καινοτόμο σχέδιο πέντε κατόπτρων που περιλαμβάνει προηγμένα προσαρμοστικά οπτικά συστήματα, για την εξάλειψη των ατμοσφαιρικών αλλοιώσεων, δίνοντας έτσι εξαιρετική ποιότητα εικόνας. Το κύριο κάτοπτρο θα διαμορφώνεται από 800 εξάγωνα τμήματα (*ESO, 2011*).

Τον Απρίλιο του 2010 ορίστηκε από το συμβούλιο του ESO η περιοχή Cerro Amazonas της Χιλής ως το σημείο κατασκευής του έργου και οι εργασίες αναμένεται να ξεκινήσουν στις αρχές της επόμενης δεκαετίας. Μεταξύ άλλων, απορρίφθηκαν περιοχές της Αργεντινής, του Μαρόκου και της Ανταρκτικής (*ESO, 2011*).

Το E-ELT είναι ένα επιστημονικό πρόγραμμα πρώτης γραμμής που θα επεκτείνει περαιτέρω τον ηγετικό ρόλο της Ευρώπης στα αστρονομικά δρώμενα και θα επιτρέψει στους ανθρώπους να αναζητήσουν απαντήσεις σε πολλά ζητήματα που αφορούν το σύμπαν. Θα βοηθήσει τους αστρονόμους να μελετήσουν τα αρχικά στάδια του σχηματισμού των πλανητικών συστημάτων και να ανιχνεύσουν την ύπαρξη νερού και οργανικών μορίων σε εξωηλιακούς πλανήτες. Με άλλα λόγια, πρόκειται για ένα τεχνολογικό επίτευγμα που θα μας

καταστήσει ικανούς να προσδιορίσουμε την ύπαρξη ζωής πέρα από το ηλιακό μας σύστημα (ESO, 2011).



Εικόνα 45. Εικόνα του E-ELT κατασκευασμένη μέσω Η/Υ

Οργανισμός	ESO
Τοποθεσία	Cerro Amazones, Χιλή
Υψόμετρο	3060 m
Μήκος Κύματος	Ορατό φάσμα, μέσο υπέρυθρο
Έτος Κατασκευής	Έναρξη εργασιών στις αρχές της επόμενης δεκαετίας
Τύπος τηλεσκοπίου	Ανακλαστικό
Διάμετρος	39,3 m
Εμβαδόν	978 m ²
Εστιακό Μήκος	420 – 840 m

Βιβλιογραφικές Παραπομπές

- [1] NASA. (03/02/2010). *Electromagnetic Spectrum: Measuring the electromagnetic spectrum*. www.nasa.gov
- [2] Cox, A.N., (2000). *Allen's Astrophysical Quantities*. New York: Springer – Verlag
- [3] ESA. (11/09/2003). *Why Infrared astronomy is a hot topic*. ESA.
- [4] Moore, P. (1997). *Philip's Atlas of Universe*. Great Britain: George Philip Limited.
- [5] Krupp, E.C. (2003). *Echoes of the Ancient Skies: The Astronomy of Lost Civilizations*. Courier Dover Publications.
- [6] Pedersen, O. (1993). *Early Physics and Astronomy: A Historical Introduction*, revised edition. Cambridge University Press.
- [7] Ιωάννης Βέργος, Φυσικός, Εταιρία Αστρονομίας και Διαστήματος Βόλου, *Η Αστρονομική Σχέση των Πυραμίδων*, 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ερασιτεχνικής Αστρονομίας 5 - 7 Οκτωβρίου 2007.
<http://www.astrosynedrio2007.gr/praktika/chapters/Vergos.pdf>
- [8] Krupp, E.C. (1997a.). *Skywatchers, Shamans and Kings*. John Wiley and Sons.
- [9] King, H. C. (1955). *The History of the Telescope*, London: Charles Griffin & Co. Ltd
- [10] Ράμμος, Κ.Κ. (Ιούλιος 2010). *Οπτικά Τηλεσκόπια και Στηρίξεις: Τα είδη των τηλεσκοπίων και οι στηρίξεις που τα συνοδεύουν*.
www.astronomy-astrophotography.gr
- [11] Klotz, I. (24/07/2009). *New telescope is world's largest... for now*. www.msnbc.com
- [12] Moreno, C. (25/07/2009). *Huge telescope opens in Spain's Canary Islands*. The Associated Press
- [13] NASA. (12/02/2004). *NASA's Great Observatories*. NASA
- [14] Barter, J. (2005). *Telescopes*. Thomson Gale
- [15] Shostak, S. (13/09/2002). *The Arecibo Diaries: The Biggest is Best*. www.space.com

- [16] Gonzalez, G., Ricahrds, J.W. (2004). *The Privileged Planet: How our Place in the Cosmos is designed for Discovery*. Regnery Publishing.
- [17] Rieke, George H. (2009). *History of Infrared Telescopes and Astronomy*. *Experimental Astronomy* 25 125:141
- [18] Naval Research Laboratory. (30/09/1996). *Spacelab 2 : NRL Looks at the Sun. Space Research: The Past*. Naval Research Laboratory. Web adaptation of NRL publication 78 – 2630 February 1988
- [19] Güdel, M. (2004). *X-Ray Astronomy of Stellar Coronae*. *The Astronomy and Astrophysics Review* 12: 71 – 237
- [20] Morrison, P. (16/03/1958). *On Gamma – Ray Astronomy*. *Il Nuovo Cimento*. 7:858 – 865
- [21] Schilling, G. (14/06/2011). *Europe Downscales Monster Telescope to Save Money*. www.sciencemag.org
- [22] ESO, (2011). *The European Extremely Large Telescope: The World's Biggest Eye on the Sky*. www.eso.org