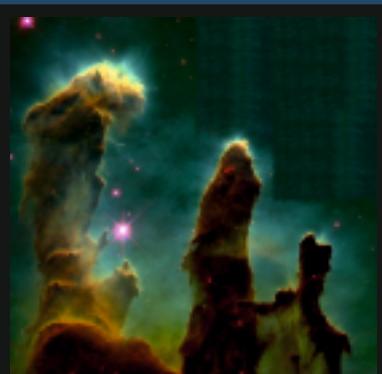


# Στοιχεία Αστρονομίας & Διαστημικής

Β' ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

Επιλογής



# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ & ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ

Β' Τάξη Γενικού Λυκείου

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

### ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

**Κων/vos Γαβρίλης**, καθηγητής Μαθηματικών Β/θμιας Εκπαίδευσης  
**Μαργαρίτα Μεταξά**, Δρ. Αστροφυσικής, καθηγήτρια Φυσικής του Τοσιτσείου-Αρακείου Λυκείου Εκάλης  
**Παναγιώτης Νιάρχος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Αστροφυσικής, Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών  
**Κων/vos Παπαμιχάλης**, Δρ. Φυσικής, καθηγητής Φυσικής Β/θμιας Εκπαίδευσης

### ΔΑΚΤΥΛΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΧΕΙΡΟΓΡΑΦΩΝ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΆΛΛΟΥ ΕΠΟΠΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

### ΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ

**Σπύρος Σιάκας**, γραφίστας animator και εκπαιδευτικός

**Ευστράτιος Θεοδοσίου**, Επίκουρος Καθηγητής Αστροφυσικής, Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών

**Ανδρέας Σβέρκος**, καθηγητής Μαθηματικών Β/θμιας Εκπαίδευσης, Σχολικός Σύμβουλος Απόστολος Φέρτης, καθηγητής Φυσικής Β/θμιας Εκπαίδευσης

### ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

**Κωστούλη Φορτούνη**, Φιλόλογος, καθηγήτρια Β/θμιας Εκπαίδευσης

**ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ Π.Ι.**

**Δημήτριος Καραγεώργος**, Δρ., Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΑΚΕΤΑΣ,  
ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ:

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ / Ι.Τ.Υ.Ε. «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Κ. ΓΑΒΡΙΛΗΣ, Μ. ΜΕΤΑΞΑ, Π. ΝΙΑΡΧΟΣ, Κ. ΠΑΠΑΜΙΧΑΛΗΣ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ  
ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ  
& ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ

Β' Τάξη Γενικού Λυκείου

### **Εικόνα εξωφύλλου:**

**Μεγάλη εικόνα:** Επεξεργασμένη εικόνα μιας περιοχής του νεφελώματος M16 που πάρθηκε από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble. Δείχνονται φάσεις από τη δημιουργία νέων αστέρων. Τα τεράστια «κουκούλια» που φαίνονται αποτελούν εκκολαπτήρια νέων αστέρων.

**Εικόνα στο μεγάλο κύκλο:** Καλλιτεχνική αναπαράσταση της παρατήρησης ενός Κβάζαρ από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble.

**Εικόνα στο μικρό κύκλο:** Ο Sojourner εξερευνώντας την επιφάνεια του Άρη.

# | ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ |

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>		
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>		
1.1 Ιστορική επισκόπηση	10	
1.2 Σκοπός και περιεχόμενο της Αστρονομίας	13	
1.3 Τα μεγάλα σύγχρονα αστρονομικά προβλήματα	14	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ</b>		
2.1 Παρατήρηση και θεωρία	18	
2.2 Αστρονομικές παρατηρήσεις	19	
2.3 Παρατηρήσεις του ουρανού από έναν παρατηρητή που βρίσκεται στη Γη	23	
2.4 Παρατηρήσεις στην ορατή και αόρατη περιοχή του πλεκτρομαγνητικού φάσματος	29	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ</b>		
3.1 Τα μέλη του ηλιακού μας συστήματος	40	
3.2 Φαινόμενες κινήσεις και φάσεις των πλανητών	41	
3.3 Οι "πραγματικές" κινήσεις των πλανητών	43	
3.4 Το σύστημα Γη – Σελήνη	47	
3.5 Οι γήινοι πλανήτες	55	
3.6 Οι πλανήτες της οικογένειας του Δία	60	
3.7 Κομήτες, μετέωρα και μεσοπλανητικός χώρος	65	
3.8 Δημιουργία και εξέλιξη του ηλιακού μας συστήματος	67	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ο Ήλιος</b>		
4.1 Γενικά	74	
4.2 Πηγές ενέργειας του Ήλιου	74	
4.3 Η δομή του Ήλιου	76	
4.4 Η ηλιακή δραστηριότητα	79	
4.5 Η ηλιακή ακτινοβολία	81	
4.6 Επιδράσεις του Ήλιου στη Γη	83	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ</b>		
5.1 Οι αστερισμοί	90	
5.2 Φυσικά χαρακτηριστικά των αστέρων	90	
5.3 Το διάγραμμα H – R	92	
5.4 Δημιουργία και εξέλιξη των αστέρων	96	
5.5 Αστρικά συστήματα	106	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ</b>		
6.1 Ο Γαλαξίας	112	
6.2 Εξωγαλαξιακά αντικείμενα	115	
6.3 Ομάδες και σμήνη γαλαξιών	117	
6.4 Ειδικού τύπου γαλαξίες	120	
6.5 Σχηματισμός και εξέλιξη των γαλαξιών	124	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ</b>		
7.1 Κοσμολογικές Υποθέσεις	132	
7.2 Η διαστολή του Σύμπαντος και η ακτινοβολία υποβάθρου	134	
7.3 Το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης	136	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ</b>		
8.1 Γενικά	146	
8.2 Διαστημικές συσκευές και προγράμματα	146	
8.3 Οι τροχιές των πυραύλων και των διαστημοπλοίων	148	
8.4 Δορυφόροι, διαστημόπλοια και διαστημικοί σταθμοί	149	
8.5 Διαστημικές αποικίες – Γεωπλασία	152	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΚΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΟΣ</b>		
9.1 Η ζωή στο Σύμπαν	156	
9.2 Το μέλλον του ανθρώπινου είδους	159	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>		
		163
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΟΙ ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΙ</b>		
		164
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: ΟΙ 20 ΛΑΜΠΡΟΤΕΡΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ</b>		
		166
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΧΑΡΤΕΣ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ</b>		
		167
<b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ</b>		
		173
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>		
		191



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

**Η**Αστρονομία είναι ένας απ' τους πλέον συναρπαστικούς και ταχύτατα εξελισσόμενους κλάδους της επιστήμης. Ανέκαθεν, όχι μόνον επιστήμονες και οπουδαστές, αλλά και γενικότερα άνθρωποι με ανίσυχο νου έδειχναν και εξακολουθούν να δείχνουν τεράστιο ενδιαφέρον για τα επιτεύγματα και τις προόδους της επιστήμης αυτής. Τα συναρπαστικά θέματα, με τα οποία ασχολείται η Αστρονομία, αποτελούν πρόκληση για εκείνον που αρχίζει να τη γνωρίζει.

Το Σύμπαν, που είναι το αντικείμενο μελέτης της Αστρονομίας, είναι ένας τεράστιος χώρος γεμάτος από αντικείμενα και διαδικασίες που δεν έχουν αντίστοιχα στη Γη. Είναι από κάθε άποψη εξαιρετικά ενδιαφέρον αλλά και χρήσιμο για το σύγχρονο άνθρωπο να γνωρίσει το φυσικό κόσμο που τον περιβάλλει και να γίνει κοινωνός του θαυμαστού κόσμου του Σύμπαντος.

Το βιβλίο αυτό γράφτηκε για το μάθημα «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ», που διδάσκεται στη Β' τάξη του Ενιαίου Λυκείου, σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου. Η ύλη του μαθήματος έχει χωριστεί σε εννέα κεφάλαια, καθένα από τα οποία είναι και μια αυτοδύναμη ενότητα. Η διάταξη των κεφαλαίων έγινε κατά τέτοιον τρόπο, ώστε η παρεχόμενη γνώση και πληροφορία να βαίνει από τα απλούστερα προς τα πιο σύνθετα θέματα και από το κοντινό διάστημα προς το μακρινό Σύμπαν.

Στο τέλος κάθε ενότητας γίνεται ανακεφαλαίωση, δίνονται ερωτήσεις και ασκήσεις και προτείνονται δραστηριότητες για την καλύτερη εμπέδωση της ύλης. Σε κάθε κεφάλαιο υπάρχουν ένθετα, όπου αναπτύσσονται ειδικά θέματα που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση ορισμένων αστρονομικών φαινομένων, εξηγούν τη λειτουργία αστρονομικών οργάνων ή παρέχουν πρόσθετες γνώσεις και πληροφορίες. Η μελέτη τους είναι υποβοηθητική και όχι προαπαιτούμενη για την επίτευξη των διδακτικών στόχων του βιβλίου. Οι εικόνες που περιλαμβάνονται είναι άρρηκτα συνυφασμένες με το περιεχόμενο της αντίστοιχης παραγράφου και βασικός συντελεστής αποσαφήνισης πολλών σημείων του κειμένου. Γι' αυτό προτείνεται η συστηματική τους παρατήρηση και η προσεκτική ανάγνωση του σχετικού υπότιτλου που επισυνάπτεται σ' αυτές.

Στο τέλος του βιβλίου δίνονται:

- α) Πίνακες με χρήσιμα αστρονομικά δεδομένα.
- β) Αστρονομικοί χάρτες.
- γ) Ένα εκτεταμένο γλωσσάρι που περιέχει σύντομη ερμηνεία των αστρονομικών όρων και εννοιών που χρησιμοποιούνται μέσα στο κείμενο.

Ελπίζουμε ότι το βιβλίο αυτό θα είναι χρήσιμο βοήθημα για εισαγωγή στην επιστήμη της Αστρονομίας. Πιστεύουμε ακόμη ότι θα αποτελέσει, όχι μόνο για το μαθητή, αλλά και για κάθε ενδιαφερόμενο, έναν ευχάριστο σύντροφο στις ελεύθερες ώρες του. Για μας η μεγαλύτερη ικανοποίηση θα είναι αν, μέσω της διδακτικής διαδικασίας, επιτευχθούν οι στόχοι της συγγραφής του βιβλίου.

Αθήνα, Δεκέμβριος 1998

Οι συγγραφείς



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ



«Πιστεύω ότι η μελέτη του Σύμπαντος  
πρέπει να τοποθετηθεί στην πρώτη θέση  
ανάμεσα σε όλα τα φυσικά φαινόμενα  
που μπορούν να κατανοηθούν, γιατί έρχεται πριν  
απ' όλα τ' άλλα σε μεγαλείο,  
εξαιτίας του παγκόσμιου χαρακτήρα της,  
και πρέπει επίσης να βρίσκεται πάνω απ' όλα  
σαν η αρχή και το στήριγμά της»

Από την αφιέρωση στο βιβλίο του Γαλιλαίου  
«Διάλογοι γύρω από τα Κύρια Συστήματα  
του Κόσμου» Φλωρεντία, 1632.

## 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η δίψα του ανθρώπου για την κατανόση του Σύμπαντος είναι ίσως τόσο παλαιά, όσο και η παρουσία του πάνω στη Γη. Ο άνθρωπος από την αρχή της εμφάνισής του στη Γη παρατηρούσε συνέχεια τον ουρανό. Η ανατολή και η δύση του Ήλιου, οι φάσεις της Σελήνης, η εναλλαγή των εποχών, η εμφάνιση των κομπτών, οι εκλείψεις του Ήλιου και της Σελήνης, η κίνηση των πλανητών στον έναστρο ουρανό υπέρξαν μερικά από τα φαινόμενα που ώθησαν τον άνθρωπο στη συστηματική παρατήρηση του ουρανού. Υπέρξαν ακόμη και άλλα φαινόμενα στο άμεσο φυσικό περιβάλλον του, όπως π.χ. η ανάπτυξη των φυτών και των δένδρων κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι και η λανθάνουσα κατάστασή τους το φθινόπωρο και το χειμώνα, που κίνησαν το ενδιαφέρον του. Πολύ γρήγορα διαπίστωσε την ανάγκη καθιέρωσης ενός είδους ημερολογίου για την εξυπηρέτηση καθαρά πρακτικών αναγκών. Έτσι έγινε η αρχή για τη γένεση της Αστρονομίας, η οποία άρχισε σιγά σιγά να αναπτύσσεται, για να εξελιχθεί αργότερα σε επιστήμη που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των ουρανίων σωμάτων και φαινομένων.

Η Αστρονομία γεννημένη από την ανικανοποίητη ανάγκη του ανθρώπου για την κατανόση του Σύμπαντος προσπαθούσε πάντοτε να δώσει απαντήσεις σε ερωτήματα που υπερέβαιναν τις εκάστοτε δυνατότητες της ανθρώπινης τεχνικής και διανόσης. Ας μη ξενάμε ότι είμαστε εφήμερα όντα ενός μικροσκοπικού πλανήτη γύρω από ένα κοινό άστρο στα περίχωρα ενός κοινού γαλαξία, που είναι μέλος ενός κοινού σμήνους γαλαξιών κάπου μέσα στην απεραντοσύνη του Σύμπαντος.

Η Αστρονομία είναι η αρχαιότερη απ' όλες τις επιστήμες. Εμφανίστηκε την 4η χιλιετρίδα π.Χ. με την ανάπτυξη των αρχαίων πολιτισμών στη Μεσοποταμία, την Αίγυπτο, την Ινδία και την Κίνα. Όλοι αυτοί οι πολιτισμοί είχαν δημιουργήσει ημερολόγια, ήξεραν να ξεχωρίζουν τους αστερισμούς, παρατηρούσαν τις εκλείψεις του Ήλιου και της Σελήνης και έδιναν κοσμολογικές εξηγήσεις στις παρατηρήσεις τους. Στην Αμερική οι πολιτισμοί των Τνκας, των Μάγιας και των Αζτέκων είχαν επίσης δημιουργήσει σημαντικά επιτεύγματα, όπως, για παράδειγμα, το ημερολόγιο των Μάγιας που, αν και σπριζόταν σε πολύ πρωτόγονες μεθόδους, είχε σημαντική ακρίβεια. Τα πιο παλαιά όμως και πιο γνωστά μνημεία αστρονομικού ενδιαφέροντος, πλικίας περίπου 5.000 ετών, είναι οι πυραμίδες της Αιγύπτου και το Στόουνχεντζ (Stonehenge) στην Αγγλία. Είναι μνημεία, των οποίων ο προσανατολισμός σχετίζεται άμεσα με αστρονομικά φαινόμενα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρώτες παρατηρήσεις του ουρανού ερμηνεύονταν αστρολογικά. Η Αστρολογία (από το άστρο + λόγος) βασίζεται πάνω στην ιδέα (πίστη) ότι τα διάφορα ουράνια σώματα και φαινόμενα έχουν σημαντική επίδραση σε γεγονότα πάνω στη Γη (πόλεμοι, πλημμύρες, σεισμοί, επιδημίες), ακόμη

και στη ζωή και το πεπρωμένο των ανθρώπων. Με την πάροδο των ετών, οι αστρονομικές παρατηρήσεις έγιναν ακριβέστερες και οδήγησαν σε μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας με αξιοσημείωτη πρόοδο στην κατανόηση των αστρονομικών φαινομένων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον πλήρη διαχωρισμό της επιστήμης της Αστρονομίας από την Αστρολογία. Η τελευταία δε χρησιμοποιεί επιστημονικές μεθόδους, για να ερμηνεύσει τα «φαινόμενα» που διατείνεται ότι μελετά.

Η ανάπτυξη όμως της Αστρονομίας ως επιστήμης άρχισε στην αρχαία Ελλάδα από την εποχή του Θαλή, το 600 π.Χ. περίπου. Οι αρχαίοι Έλληνες δεν ήταν επιστήμονες με τη σύγχρονη έννοια του όρου. Η έρευνά τους αφορούσε μόνο τη διατύπωση ιδεών και νόμων για την ερμηνεία των παρατηρούμενων αστρονομικών φαινομένων. Από τους πιο σημαντικούς αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους, που η σκέψη τους διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της Αστρονομίας ως επιστήμης, αναφέρουμε τον Πλάτωνα (427-347 π.Χ.), τον Αριστοτέλη (384-322 π.Χ.), τον Ηρακλείδη (375-310 π.Χ.) και τον Πυθαγόρα (πέθανε το 497 π.Χ.). Πραγματική πρόοδος όμως στην Αστρονομία έγινε μετά τον Αριστοτέλη με τη συμβολή των μεγάλων αστρονόμων της Ελληνιστικής αρχαιότητας, του Αρίσταρχου (310-230 π.Χ.), του Ερατοσθένη (276-195 π.Χ.), του Ιππαρχου (2ος αιώνας π.Χ.) και αργότερα του Πτολεμαίου (2ος αιώνας μ.Χ.). Οι δύο τελευταίοι θεωρούνται οι σπουδαιότεροι αστρονόμοι της Ελληνιστικής περιόδου.

Οι θεωρίες που διατυπώθηκαν από τους αρχαίους Έλληνες για το μέχρι τότε γνωστό Σύμπαν ήταν δύο: Η πλιοκεντρική θεωρία του Αρίσταρχου, που θεωρούσε ότι ο Ήλιος είναι στο κέντρο του Σύμπαντος, και η γεωκεντρική του Ιππαρχου και του Πτολεμαίου, που θεωρούσε ότι η Γη ήταν στο κέντρο του Σύμπαντος και ίσχυσε μέχρι το 17ο αιώνα. Η θεωρία του Πτολεμαίου διασώθηκε ως «Πτολεμαϊκό σύστημα» στο μνημειώδες έργο του «Μεγάλη Μαθηματική Σύνταξη» (Αλμαγέστ). Η πλιοκεντρική θεωρία ξαναβγήκε στην επιφάνεια τον 16ο αιώνα από τον Πολωνό αστρονόμο Κοπέρνικο.

Στους επόμενους 13 αιώνες μετά τον Πτολεμαίο αξιοσημείωτη ήταν η συμβολή των Αράβων και των Ινδών. Οι Ινδοί έκαναν αξιόπιστες παρατηρήσεις για τον προσδιορισμό της απόστασης της Σελήνης από τη Γη και της ακτίνας της Γης. Οι Αραβες βοήθησαν να υπάρξει συνέχεια από την Αστρονομία των αρχαίων Ελλήνων στη σύγχρονη αστρονομική σκέψη της Αναγέννησης.

Η μεγάλη επανάσταση στην Αστρονομία έγινε το 16ο αιώνα στην Ευρώπη από τον Κοπέρνικο (1473- 1543). Στην εργασία του *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Περί της περιφοράς των ουρανίων σωμάτων), που δημοσιεύτηκε το 1543, επαναδιατύπωσε τη θεωρία του πλιοκεντρικού συστήματος. Σύμφωνα με αυτή, ο Ήλιος βρίσκεται στο κέντρο του πλιακού συστήματος, που αποτελούσε και το μέχρι τότε γνωστό Σύμπαν. Για να ερμηνεύσει

τις κινήσεις των πλανητών διατήρησε πολλά από τα στοιχεία του Πτολεμαϊκού συστήματος.

Μετά τον Κοπέρνικο, ο Δανός αστρονόμος Τύχο Μπραχέ (Tycho Brahe) (1546-1601) ήταν ο πρώτος αστρονόμος που έκανε αστρονομικές παρατηρήσεις χρονιμοποιώντας όργανα που κατασκεύασε ο ίδιος. Έκανε ακριβείς παρατηρήσεις των θέσεων των πλανητών και ορισμένων αστέρων. Στις παρατηρήσεις του Tycho Brahe σπρίχθηκε ο Κέπλερ (Johannes Kepler) (1571-1630), για να διατυπώσει εμπειρικά τους νόμους της κίνησης των πλανητών γύρω από τον Ήλιο.

Η ανακάλυψη του τηλεσκοπίου στην Ολλανδία στις αρχές του 17ου αιώνα και η χρονιμοποίησή του στην Ιταλία το 1609 είχε σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη της Αστρονομίας. Ο Γαλιλαίος (1564-1642) ήταν εκείνος που χρονιμοποίησε πρώτος το αστρονομικό τηλεσκόπιο, με το οποίο παρατήρησε αντικείμενα που δεν ήταν ορατά με γυμνό μάτι. Παρατήρησε τον Ήλιο, τη Σελήνη, τους δορυφόρους του Δία και τις φάσεις της Αφροδίτης. Αργότερα, με τη χρονιμοποίηση ισχυρότερων τηλεσκοπίων, έγινε δυνατό να καθοριστούν με ακρίβεια οι θέσεις των πλανητών και κομητών. Τέτοιες παρατηρήσεις οδήγησαν τους μαθηματικούς αστρονόμους να μελετήσουν τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων και να διατυπώσουν τους θεμελιώδεις νόμους των κινήσεων αυτών. Ο πλέον σημαντικός είναι ο Νεύτων (Isaac Newton) (1642-1727), ο οποίος με το νόμο της παγκόσμιας έλξης έδωσε τη θεωρητική ερμηνεία των νόμων του Κέπλερ και θεμελίωσε την Ουράνια Μηχανική.

Κατά τη διάρκεια του 18ου και 19ου αιώνα οι παρατηρήσεις συνεχίστηκαν με οπτικά τηλεσκόπια και ήταν κατά κύριο λόγο αφιερωμένες στα μέλη του πλιακού συστήματος. Ήδη από τα μέσα του 19ου αιώνα χρονιμοποιήθηκαν μαζί με τα τηλεσκόπια και άλλα βοηθητικά όργανα και εφαρμόστηκαν άλλες μέθοδοι παρατήρησης (όπως φωτογραφική και φωτοπλεκτρική). Έτσι, δόθηκε η δυνατότητα να γίνουν παρατηρήσεις όχι μόνο των θέσεων και κινήσεων των ουρανίων σωμάτων, αλλά και της ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Οι παρατηρήσεις στην οπτική περιοχή του φάσματος (περιοχή ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού) ήταν οι μόνες παρατηρήσεις μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα. Τότε άρχισαν να γίνονται και παρατηρήσεις στα ραδιοκύματα με τη βοήθεια των ραδιοτηλεσκοπίων που κατασκευάστηκαν μετά το 2ο παγκόσμιο πόλεμο.

Με την επινόηση και κατασκευή νέων συσκευών και ανιχνευτών και την τοποθέτηση δορυφόρων σε τροχιά γύρω από τη Γη άρχισε μια νέα εποχή για την Αστρονομία. Με τη βοήθεια τέτοιων δορυφόρων, εφοδιασμένων με σύγχρονα τηλεσκόπια και ανιχνευτές, είναι δυνατό να κάνουμε παρατηρήσεις σε όλες τις περιοχές του πλειρομαγνητικού φάσματος, από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες X και γ. Έτσι, μπορούμε να έχουμε πλήρη εικόνα των παρατηρούμενων ουράνιων αντικειμένων και να ει-

σχωρούμε χάρη στα ισχυρά τηλεσκόπια στα απότερα σημεία του Σύμπαντος. Πρέπει ακόμη να αναφέρουμε ότι η Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν μας έδωσε τη δυνατότητα να δούμε μέσα από νέο πρίσμα τη δομή και εξέλιξη του Σύμπαντος. Προς την ίδια κατεύθυνση κινούνται και οι νεότερες θεωρίες που αποβλέπουν στην ενοποίηση των δυνάμεων της Φύσεως.

## 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ

Αστρονομία είναι γενικά η επιστήμη που μελετά το Σύμπαν. Ένας αυστηρότερος ορισμός καθορίζει ότι Αστρονομία είναι η επιστήμη που μελετά τα αντικείμενα πέρα από τη γήινη ατμόσφαιρα καθώς και τις διαδικασίες αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει και την κατανομή της ύλης και της ενέργειας στο Σύμπαν με σκοπό την κατανόηση της φύσης του, της προέλευσης και της εξέλιξής του. Ο αστρονόμος, από ανάγκη, εξετάζει τα ουράνια αντικείμενα από μακριά και προσπαθεί να «φέρει» ολόκληρο τον κόσμο στο εργαστήριό του. Εκτός από ορισμένες περιπτώσεις, όπως η έρευνα της Σελήνης και των γειτονικών στη Γη πλανητών που έγινε χάρη στη διαστημική τεχνολογία, ο αστρονόμος δεν έχει άμεση επαφή με τα αντικείμενα της έρευνάς του. Η μόνη πηγή πληροφοριών που υπάρχει για τα ουράνια σώματα πέρα από το πλιακό μας σύστημα είναι οι κάθε είδους ακτινοβολίες που εκπέμπονται από αυτά. Οι ακτινοβολίες αυτές μετά από ταξίδι χιλιάδων, εκατομμυρίων ή και δισεκατομμυρίων ετών φθάνουν στην επιφάνεια της Γης, όπου συλλέγονται και μελετώνται παρέχοντας πλήθος πληροφοριών τόσο για τις πηγές απ' όπου προήλθαν, όσο και για το μεσοαστρικό χώρο απ' όπου πέρασαν.

Για τη μελέτη αυτή η Αστρονομία συνεργάζεται με άλλες επιστήμες, όπως η Φυσική, τα Μαθηματικά, η Χημεία, η Βιολογία και η Πληροφορική. Οι επιστήμες αυτές συνέβαλαν ουσιαστικά στην επίλυση ορισμένων θεωρητικών προβλημάτων της Αστρονομίας και στη χρησιμοποίηση νέων οργάνων και μεθόδων για τη μελέτη της αστρικής ακτινοβολίας. Τα μικρά βήματα στην εξερεύνηση του Διαστήματος έχουν γίνει χάρη στη νέα τεχνολογία και την ανάπτυξη της Διαστημικής επιστήμης.

Η Αστρονομία, αν λάβουμε υπόψη τον τρόπο μελέτης που εφαρμόζει, μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικούς κλάδους: Την **Παρατηρησιακή Αστρονομία**, που έχει αντικείμενο την παρατήρηση των ουράνιων σωμάτων και φαινομένων και χρησιμοποιεί ως βασικά όργανα τα κάθε είδους τηλεσκόπια και τις αντίστοιχες βοηθητικές συσκευές. Τη **Θεωρητική Αστρονομία**, που ασχολείται με τη θεωρητική ερμηνεία των αστροφυσικών φαινομένων κατασκευάζοντας αντίστοιχα θεωρητικά μοντέλα και χρησιμοποιώντας μόνο πλεκτρονικούς υπολογιστές. Με τη χρήση οργά-

νων (όπως φωτόμετρα, φασματογράφοι, κ.ά.) για την ανάλυση και μελέτη της ακτινοβολίας των ουράνιων σωμάτων, άρχισε να χρησιμοποιείται ένας καινούργιος όρος για τον κλάδο της Αστρονομίας, στο πλαίσιο του οποίου γίνονται τέτοιες μελέτες. Ο κλάδος αυτός ονομάζεται **Αστροφυσική** και αντικείμενό της είναι η μελέτη της φυσικοχημικής δομής των αστέρων και αστρικών συστημάτων σε αντιδιαστολή με τη (**Μαθηματική**) **Αστρονομία**, που έχει αντικείμενό της τη μελέτη της θέσης, της κίνησης και της κατανομής των αστέρων και άλλων αντικειμένων στο Σύμπαν. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι η διάκριση μεταξύ Αστρονομίας και Αστροφυσικής δεν είναι σαφής και πολλοί αστρονόμοι είναι και αστροφυσικοί, και αντιστρόφως.

Μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα οι παρατηρήσεις των ουράνιων σωμάτων γίνονταν μόνο στην οπτική περιοχή του πλεκτρομαγνητικού φάσματος. Με την κατασκευή των ραδιοτηλεσκοπίων οι παρατηρήσεις επεκτάθηκαν και στην περιοχή των ραδιοκυμάτων. Σήμερα, με τη ραγδαία ανάπτυξη της διαστημικής τεχνολογίας και την τοποθέτηση δορυφόρων και διαστημικών συσκευών στο διάστημα, είναι δυνατή η παρατήρηση και στις άλλες περιοχές του πλεκτρομαγνητικού φάσματος. Έτσι, ανάλογα με τη φασματική περιοχή όπου γίνονται οι παρατηρήσεις, αναπτύχθηκαν σε αυτοδύναμους κλάδους η **Ραδιοαστρονομία**, η **Αστρονομία του Υπερύθρου**, η **Αστρονομία του Υπεριώδους** και η **Αστρονομία των ακτίνων X και γ**. Τέλος, ένας ιδιαίτερος κλάδος της Αστρονομίας, που ασχολείται με τη μελέτη της δομής και εξέλιξης του Σύμπαντος, είναι η **Κοσμολογία**.

### 1.3 ΤΑ ΜΕΓΑΛΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Η Αστρονομία, αν και θεωρείται από πολλούς η αρχαιότερη από τις επιστήμες, εντούτοις σήμερα είναι ένα από τα πιο συναρπαστικά και ταχέως αναπτυσσόμενα πεδία της γνώσης. Σε κάθε περιοχή του Σύμπαντος, από το δικό μας πλιακό σύστημα και το Γαλαξία, έως τα πιο μακρινά σημεία του, έχουμε συλλέξει αρκετές πληροφορίες και έχουμε ανάλογα πετύχει μερική κατανόηση της φύσης τους. Όπως όμως συμβαίνει πάντα στην επιστήμη, από κάθε απάντηση που δίνουμε σε ένα συγκεκριμένο ερώτημα προκύπτει ένα πλήθος νέων ερωτημάτων. Είναι γεγονός ότι γνωρίζουμε αρκετά πράγματα για τον κόσμο που μας περιβάλλει, είναι όμως πολύ περισσότερα τα ερωτήματα εκείνα που μένουν ακόμα αναπάντητα. Για παράδειγμα, μερικά κεντρικά και θεμελιώδη ερωτήματα που απασχολούν σήμερα την Αστρονομία-Αστροφυσική είναι και τα ακόλουθα:

- Πώς δημιουργήθηκε και εξελίχτηκε το Σύμπαν στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου; Ποιο είναι το μέλλον του Σύμπαντος;

- Πώς σχηματίστηκαν οι γαλαξίες και τα σημήνια γαλαξιών και πώς εξελίχθηκαν στις σημερινές τους μορφές;
- Θα χρειαστούμε νέους νόμους της Φυσικής για την εξήγηση των παραπρούμενων αστρονομικών φαινομένων;
- Πώς καταρρέουν τα άστρα με μεγάλες μάζες ή οι γαλαξίες, για να σχηματίστούν μελανές οπές, ελευθερώνοντας τεράστια ποσά ενέργειας;
- Πώς γεννιούνται και πώς πεθαίνουν τα άστρα και πώς αλληλεπιδρούν με τη μεσοαστρική ύλη; Τι είναι η λεγόμενη σκοτεινή ύλη του Σύμπαντος;
- Πώς σχηματίζονται τα πλανητικά συστήματα; Τι ποσοστό αστέρων έχουν πλανητικά συστήματα και τι ποσοστό είναι φιλόξενο στην ανάπτυξη ζωής;
- Υπάρχουν πολιτισμοί άλλου στο Σύμπαν;

Σε αυτά και άλλα ερωτήματα καλούνται να δώσουν απαντήσεις οι αστρονόμοι σε συνεργασία με συναδέλφους τους από άλλες επιστήμες. Σήμερα, στη διαστημική εποχή που ζούμε, διαθέτουμε τα μέσα και τις μεθόδους έρευνας, ώστε να ελπίζουμε ότι αργά ή γρήγορα θα δοθούν οι απαντήσεις σε πολλά από τα ερωτήματα που αναφέραμε πιο πάνω.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ



«Αυτός είναι ο κόσμος  
Ο ευρέτες των ζωδιακών  
Στην άκρη της εκλειπτικής»

Η φωτογραφία (δεξιά) δείχνει το γαλαξία της Ανδρομέδας.  
Απέχει από τη Γη 2,2 εκατομμύρια έτη φωτός, διλαδή  $2,09 \times 10^{19}$  Km.

Με ποια τεχνικά μέσα φωτογραφήθηκε ο γαλαξίας αυτός;  
Πώς υπολογίστηκε η απόστασή του;  
Πώς κατάφεραν να περιγράψουν τη δομή και τις ιδιότητές του;

Πώς εξήγησαν το σχηματισμό του;  
Οι αστρονομικές παρατηρήσεις και η ερμηνεία τους είναι το κεντρικό θέμα αυτού του κεφαλαίου.

Θα μελετήσουμε πώς διεξάγονται σήμερα οι αστρονομικές παρατηρήσεις και με ποια διαδικασία ερμηνεύονται τα αποτελέσματά τους.

Δηλαδή, θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε σε δύο βασικά ερωτήματα:

α) Πώς προβλέπονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα των αστρονομικών παρατηρήσεων με τη βοήθεια ενός θεωρητικού μοντέλου;

β) Τι παρατηρούμε και πώς; Ποια όργανα χρησιμοποιούνται σήμερα για τη διεξαγωγή των αστρονομικών παρατηρήσεων;



## 2.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑ

### ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΝΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Από την αρχή της εμφάνισής του στη Γη ο άνθρωπος παρατηρούσε και βίωνε τις μεταβολές του φυσικού περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο αγωνιζόταν να επιβιώσει. Με το νου του ανέλυε και ταξινομούσε καθετί που κατέγραφαν οι αισθήσεις του.

Έτσι δεν άργησε να διαπιστώσει ότι πολλά φαινόμενα επαναλαμβάνονται περιοδικά, όπως, για παράδειγμα, η εναλλαγή ημέρας και νύχτας, οι διαδοχικές αλλαγές των εποχών και οι κινήσεις των άστρων. Άλλα πάλι φαινόμενα διαπίστωσε ότι έχουν σχέση αιτίας - αποτελέσματος: Όταν φυσάει ο άνεμος, τα φύλλα και τα κλαδιά των δέντρων κινούνται, τα ιστιοφόρα πλοία ταξιδεύουν. Όταν πάλι το νερό θερμαίνεται για αρκετό χρόνο, μετατρέπεται από υγρό σε ατμό. Τελικά έφτασε σε ένα σπουδαίο συμπέρασμα:

Τα φυσικά γεγονότα δε συμβαίνουν στην τύχη. **Ένα οποιοδήποτε φυσικό γεγονός επαναλαμβάνεται, κάθε φορά που συντρέχουν παρόμοιες συνθήκες και προϋποθέσεις.** Ο κόσμος, δηλαδή, «λειτουργεί» με βάση κάποιους συγκεκριμένους και αναλλοίωτους νόμους.

Από τότε ξεκινά η συναρπαστική περιπέτεια της κατανόσης και ερμηνείας του κόσμου, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Βέβαια οι νόμοι και οι μπχανισμοί των άπειρων μεταβολών που συμβαίνουν γύρω μας είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι, για να χωρέσουν στον ανθρώπινο νου. Για να μπορέσουμε να περιγράψουμε και να αναλύσουμε τα φυσικά γεγονότα, είμαστε αναγκασμένοι να κατασκευάζουμε και να μελετάμε **θεωρητικά πρότυπα ή μοντέλα.** Δηλαδή, να κατασκευάζουμε με το νου μας αναπαραστάσεις του πραγματικού κόσμου, να τις μελετάμε και να προσπαθούμε μέσω αυτών να καταλήγουμε σε συμπεράσματα για τα αντίστοιχα πραγματικά φαινόμενα.

Τα αρχαία και τα παλαιότερα μοντέλα ερμηνείας του κόσμου στηρίζονταν στους μύθους και στη μεταφυσική. Τα σύγχρονα θεμελιώνονται πάνω σε έννοιες και σε βασικές υποθέσεις που προέρχονται από τα Μαθηματικά και από την καθημερινή μας εμπειρία.

Ας θυμηθούμε, για παράδειγμα, τον τρόπο που οικοδομείται ένα θεωρητικό μοντέλο γνωστό μας από την προηγούμενη τάξη, η Νευτώνεια Μηχανική.

- Ξεκινάει από τις έννοιες του χώρου και του χρόνου, που ανήκουν στην εμπειρία κάθε ανθρώπου.
- Με τη βοήθεια των μαθηματικών ορίζονται νέες ποσότητες: ταχύτητα, επιτάχυνση, ορμή κτλ.
- Διατυπώνονται βασικές υποθέσεις: Οι τρεις νόμοι του Νεύτωνα.
- Με αφετηρία τα παραπάνω κατασκευάζεται όλο το υπόλοιπο οικοδόμημα: Νόμοι, προτάσεις, συμπεράσματα, προβλέψεις κτλ.

Οστόσο ένα θεωρητικό μοντέλο ερμπνείας του κόσμου αποκτά αξιοπιστία, εφόσον οι προβλέψεις του συμφωνούν με την «πραγματικότητα». Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο πρέπει να περάσει από σκληρή δοκιμασία, που γίνεται με την **παρατήρηση** και το **πείραμα**. Αν όλα τα πειραματικά δεδομένα ή τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων επαληθεύουν τις θεωρητικές προβλέψεις, το μοντέλο επικυρώνεται και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται. Σε αντίθετη περίπτωση, διαψεύδεται. Τότε προσπαθούμε να τροποποιήσουμε τις βασικές του υποθέσεις και να το ανασυγκροτήσουμε έτσι, ώστε να μπορέσει να ενσωματώσει όλα τα παλαιότερα και νεότερα δεδομένα.

Βλέπουμε ότι η γνώση κατακτάται μέσα από ένα παιχνίδι που παίζει ο άνθρωπος με τη φύση. Σχηματικά μπορούμε να το παραστήσουμε με το σχ. 2.1.

Τα επιστημονικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της δομής και εξέλιξης του Σύμπαντος τα ονομάζουμε «κοσμολογικά».

Τα κοσμολογικά μοντέλα κατασκευάζονται και αυτά με τους κανόνες που περιγράψαμε. Ωστόσο πρέπει να πληρούν τις παρακάτω δύο προϋποθέσεις:

1) Οι υποθέσεις ενός κοσμολογικού μοντέλου πρέπει να είναι συμβιβαστές με γενικότερες θεωρίες της Φυσικής.

2) Ο έλεγχος των κοσμολογικών μοντέλων γίνεται μόνο μέσω της αστρονομικής παρατήρησης.

Είναι φανερό ότι δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί πείραμα στις ασύλληπτες διαστάσεις των αστρονομικών φαινομένων.

## 2.2 ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Είδαμε ότι η Αστρονομία διαφέρει από τις άλλες φυσικές επιστήμες. Ο έλεγχος και η εξέλιξη των κοσμολογικών μοντέλων επιτυγχάνεται μόνο με την παρατήρηση. Δεν είναι εφικτή η οργάνωση και η εκτέλεση πειραμάτων.

**Στην Αστρονομία οι πληροφορίες και τα δεδομένα αντλούνται από τις ακτινοβολίες που φτάνουν στη Γη από τα ου-**

Σχήμα 2.1



## ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΔΥΟ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΔΙΑΡΚΩΣ ΕΞΕΛΙΣΣΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Οι αρχαίοι Έλληνες, για να ερμηνεύσουν τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων, επινόσαν δυο διαφορετικά κοσμολογικά μοντέλα:

- Ένα γεωκεντρικό (Αριστοτέλης, Ιππαρχος, Πτολεμαίος κτλ.) και - ένα πλιοκεντρικό (Αρίσταρχος).
- Θα δούμε συνοπτικά:
- Τις βασικές υποθέσεις του κάθε μοντέλου.
  - Μερικές σημαντικές ερμηνείες και προβλέψεις τους.
  - Πώς αξιολογήθηκαν με βάση το παρατηρησιακό υλικό που είχε συγκεντρωθεί εκείνη την εποχή.

### ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ:

**Υποθέτει ότι:**

α) Η Γη είναι σφαιρική και βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος.

β) Τα ουράνια σώματα -Ηλιος, Σελήνη, αστέρες, πλανήτες - βρίσκονται σε σφαιρικούς φλοιούς που περιβάλλουν τη Γη. Κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από αυτήν.

**Ερμηνεύει:**

α) Την ημερήσια κίνηση των ουράνιων σωμάτων γύρω από τη Γη.

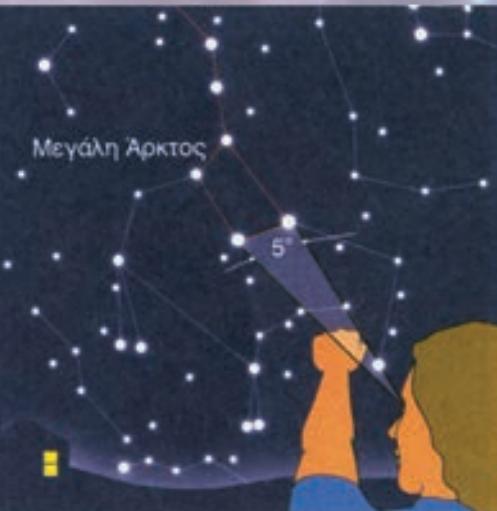
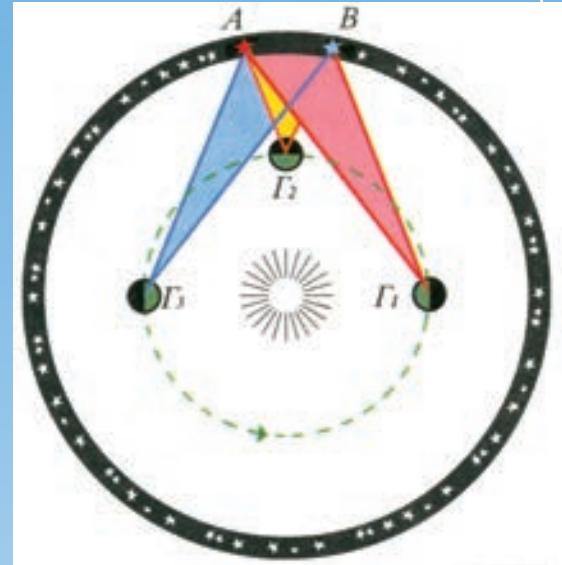
β) Την ετήσια κίνηση του Ήλιου ως προς τους αστέρες στο ζωδιακό κύκλο.

γ) Την καμπυλωμένη σκιά της Γης πάνω στη Σελήνη.

**Προβλέπει ότι:**

Η γωνιακή απόσταση δύο αστέρων κατά τη διάρκεια ενός έτους παραμένει σταθερή (σχ. 2.2.).

**Σχήμα 2.3: Μεταβολή της γωνιακής απόστασης δύο αστέρων στο πλιοκεντρικό μοντέλο. Η γωνιακή απόσταση των αστέρων A και B, όπως τη μετράει ένας παρατηρητής που βρίσκεται πάνω στη Γη, μεταβάλλεται κατά την κίνησή της γύρω από τον Ήλιο. Π.χ. η γωνία  $A\Gamma_2B$  είναι μεγαλύτερη από την  $A\Gamma_3B$ .**



### ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ:

**Υποθέτει ότι:**

α) Ο Ήλιος βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος.

β) Οι αστέρες είναι ακίνητοι πάνω σε ένα λεπτό σφαιρικό φλοιό που περιβάλλει τον Ήλιο.

γ) Η Γη είναι σφαιρική, περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο.

**Ερμηνεύει:**

α) Την ημερήσια κίνηση όλων των ουράνιων σωμάτων γύρω από τη Γη.

β) Την ετήσια κίνηση του Ήλιου ως προς τους αστέρες στο ζωδιακό κύκλο.

γ) Την καμπυλωμένη σκιά της Γης στη Σελήνη.

**Προβλέπει ότι:**

Η γωνιακή απόσταση δύο αστέρων κατά τη διάρκεια ενός έτους μεταβάλλεται (σχ. 2.3).

Βλέπουμε ότι οι προβλέψεις των δύο μοντέλων σχετικά με τη μεταβολή της γωνιακής απόστασης είναι αντίθετες: Σύμφωνα με το πλιοκεντρικό, θα έπρεπε να παρατηρείται, ενώ, σύμφωνα με το γεωκεντρικό, όχι.

Κανένας αρχαίος αστρονόμος δεν είχε καταφέρει να παρατηρήσει τέτοιες μεταβολές στις γωνιακές αποστάσεις μεταξύ των αστέρων κατά τη διάρκεια ενός έτους. Τα υπάρχοντα παρατηρησιακά δεδομένα φαινόταν ότι διέψευδαν την πλιοκεντρική άποψη.

Οστόσο μεταβολή στη γωνιακή απόσταση υπάρχει. Είναι όμως τόσο μικρή, που δε μπορεί να γίνει αντιληπτή με γυμνό μάτι. Η ανίχνευσή της απαιτεί τηλεσκόπια, τα οποία δε διέθεταν οι αρχαίοι Έλληνες.

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι κάθε μοντέλο περιέχει τους σπόρους της διάφευσης και της αλλαγής του. Έχει συμβεί πολλές φορές στην Ιστορία της Επιστήμης καινούργιες ή ακριβέστερες παρατηρήσεις να οδηγήσουν στην ανατροπή παγιωμένων και φαινομενικά ακλόνητων αντιλήψεων.

**Σχήμα 2.2: Μπορούμε να μετρήσουμε γωνιακές αποστάσεις στον ουρανό εύκολα, με τη βοήθεια του τεντωμένου χεριού μας.**  
Η γωνία υπό την οποία βλέπουμε τη γροθιά μας είναι περίπου  $10^\circ$ . Η γωνιακή απόσταση μεταξύ των δύο αστέρων της Μεγάλης Άρκτου, που δείχνονται στο σχήμα, είναι ίση με τη γωνία που βλέπουμε τη μισή γροθιά μας, δηλαδή  $5^\circ$ .

**ράνια σώματα.** Έτσι με τον όρο «αστρονομική παρατήρηση» εννοούμε τη διαδικασία που περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

(1) Συγκέντρωση, (2) καταγραφή, (3) επεξεργασία και (4) ανάλυση της ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη.

Η διεξαγωγή της αστρονομικής παρατήρησης προϋποθέτει βέβαια τη χρήση μιας σειράς οργάνων. Ανάλογα με τη λειτουργία τους, ταξινομούνται σε:

-Συλλέκτες ακτινοβολίας: Οπτικά τηλεσκόπια, ραδιοτηλεσκόπια, τηλεσκόπια ακτίνων X κτλ.

-Αναλύτες: Φίλτρα ακτινοβολίας, φασματογράφοι, μαγνητογράφοι κτλ.

-Δέκτες: Μάτι, φωτογραφική πλάκα, φωτοκύτταρα, ραδιοδέκτες, στοιχεία συζευγμένου φορτίου (CCDs) κτλ.

-Μετρητικά όργανα: Μικρόμετρα, καταγραφείς, ταινίες, μαγνητοταινίες, φωτόμετρα κτλ. Τα δεδομένα που προκύπτουν από τις μετρήσεις κωδικοποιούνται και ακολουθεί επεξεργασία τους με τη χρήση πλεκτρονικών υπολογιστών.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία και ανάλυση των αστρονομικών παρατηρήσεων, σε συνδυασμό με τους νόμους της Φυσικής, μας δίνουν πληροφορίες:

1) Για τα ουράνια σώματα από τα οποία εκπέμπονται οι αντίστοιχες ακτινοβολίες.

2) Για το μεσοαστρικό χώρο που διέσχισαν, μέχρι να φτάσουν στη Γη.

Οι πληροφορίες αυτές συνάγονται κυρίως από το φάσμα της ακτινοβολίας που συλλέγεται.

Φάσμα μιας ακτινοβολίας ονομάζεται το σύνολο των απλών ακτινοβολιών στις οποίες μπορούμε να την αναλύσουμε. Για παράδειγμα, όταν το πλιακό φως περνάει μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα αναλύεται σε πολλές έγχρωμες ακτινοβολίες (σχ. 2.4). Καθεμιά από αυτές δεν μπορεί να αναλυθεί σε απλούστερες. Αν ξαναπεράσουμε, π.χ., την πράσινη ακτίνα μέσα από ένα άλλο πρίσμα, θα δούμε ότι διαθλάται, χωρίς να αναλύεται.

Κάθε απλή ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από την εντελώς συγκεκριμένη τιμή του μήκους κύματος και της συχνότητάς της. Έτσι, η κίτρινη ακτίνα του ορατού φάσματος έχει μικρότερο μήκος κύματος από την κόκκινη, οι ακτίνες γ διαφέρουν από τα ραδιοκύματα στο ότι έχουν πολύ μικρότερα μήκη κύματος από αυτά. Ένα ουράνιο σώμα μπορεί να εκπέμπει ακτινοβολίες κάθε είδους: Ραδιοκύματα, υπέρυθρες, ορατές, υπεριώδεις, ακτίνες X και ακτίνες γ. Ωστόσο, όλες αυτές δεν φτάνουν μέχρι το έδαφος της Γης. Η γνίνη απρόσφαιρα είναι διαφανής μόνο για τις ακτινοβολίες που ανήκουν στην οπτική περιοχή του φάσματος, σε ένα μέρος της περιοχής του υπερύθρου και στα ραδιοκύματα. Οι περιοχές αυτές του φάσματος ονομάζονται «αστρονομικά παράθυρα».

Με την υψηλή τεχνολογία που διαθέτουμε σήμερα είναι δυ-



**Σχήμα 2.4:** Όταν μια δέσμη ακτίνων πλιακού φωτός περάσει μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα αναλύεται σε έγχρωμες ακτινοβολίες, που διατάσσονται από το ιώδες μέχρι το κόκκινο. Καθεμιά από αυτές δεν μπορεί να αναλυθεί σε απλούστερες. Αν ξαναπεράσουμε μέσα από γυάλινο πρίσμα παραμένουν αναλλοίωτες (Πείραμα του Νεύτωνα).

### ΓΩΝΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΟΥΡΑΝΙΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ:

Δύο ουρανιών σωμάτων: είναι η γωνία που σχηματίζουν οι οπτικές ακτίνες που ενώνουν τα δύο σώματα με το μάτι του παρατηρητή (βλέπε και παρ. 2.3)

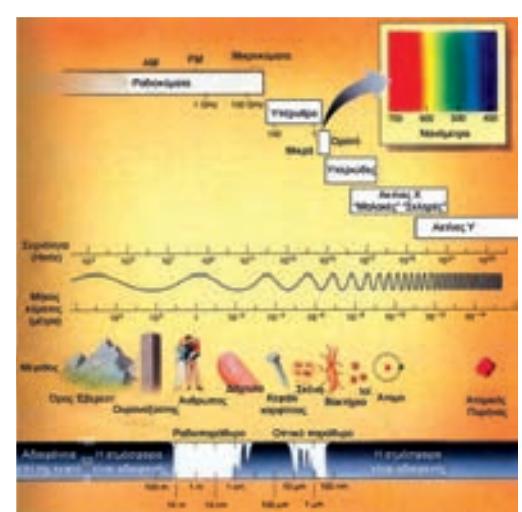
**ΦΩΤΟΝΙΑ:** Είναι τα πανομοιότυπα «σωματίδια» από τα οποία αποτελείται μια απλή ακτινοβολία.

Κάθε φωτόνιο κινείται με την ταχύτητα του φωτός ( $c=300.000 \text{ Km/s}$ ) και μεταφέρει ένα ποσό ενέργειας ( $E$ ), ανάλογο προ τη συχνότητα ν της αντίστοιχης ακτινοβολίας:

$$E=h \cdot v$$

Το  $h$  είναι μια παγκόσμια σταθερά. Ονομάζεται σταθερά του Planck και ισούται με:

$$h=6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$



**Εικόνα 2.5:** Το πλεκτρομαγνητικό φάσμα.

### ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η πλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Η/Μ) παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην αστρονομική παρατήρηση. Είναι, επομένως, αναγκαίο να γνωρίσουμε λίγα πράγματα γι' αυτήν:

- Ποια είναι η φύση της.
- Πώς παράγεται.
- Πώς συνδέονται οι ιδιότητες ενός σώματος με τις ιδιότητες της Η/Μ ακτινοβολίας που εκπέμπει.

#### • Ποια είναι η φύση της Η/Μ ακτινοβολίας;

Η μελέτη και η ερμηνεία φαινομένων, στα οποία παρατηρείται εκπομπή, απορρόφηση, διάδοση ή ανάλυση ακτινοβολίας ξεκινάει από την εποχή του Νεύτωνα. Ωστόσο ο προσδιορισμός της φύσης της Η/Μ ακτινοβολίας με τη βοήθεια εννοιών που μας είναι οικείες από την κλασική Φυσική παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Η Η/Μ ακτινοβολία εμφανίζει παράξενη συμπεριφορά:

- Μια μεγάλη ομάδα φαινομένων (ανάκλαση, διάθλαση, συμβολή, περίθλαση κ.ά.) ερμηνεύεται, αν δεχθούμε ότι αποτελείται από πλεκτρομαγνητικά κύματα.

- Αντίθετα, η ερμηνεία πολλών άλλων φαινομένων (το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, τα γραμμικά φάσματα κ.ά.) απαιτεί να υποθέσουμε ότι αποτελείται από σωματίδια, τα αποκαλούμενα φωτόνια.

**Ωστε η Η/Μ ακτινοβολία εμφανίζει ένα διύσμό: Σε ορισμένα φαινόμενα η συμπεριφορά της είναι κυματική και σε κάποια άλλα σωματιδιακή.** Το Η/Μ κύμα και το φωτόνιο -δύο έννοιες φαινομενικά αντιφατικές- χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά για την κατανόηση της φύσης της Η/Μ ακτινοβολίας. Ας δούμε μερικές βασικές τους ιδιότητες:

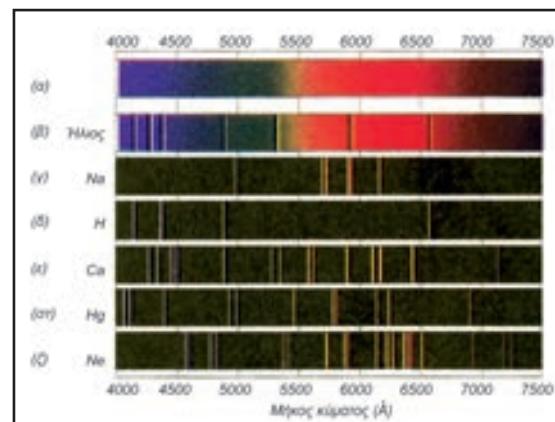
**Η/Μ κύμα** ονομάζεται ένα πλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο που διαδίδονται μαζί στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός ( $c=300.000 \text{ Km/s}$ ).

Παράγεται από ένα σημειακό φορτίο, π.χ. από ένα πλεκτρόνιο

**Σχήμα 2.6: a)**

Συνεχές φάσμα.  
Τέτοιο είναι το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως. β) Το φάσμα απορρόφησης του Ήλιου -φαίνονται μόνο οι πιο έντονες σκοτεινές γραμμές. γ), δ), ε), στ), ζ) Τα φάσματα εκπομπής των στοιχείων Na, H, Ca, Hg και Ne αντίστοιχα.

Παρατηρήστε ότι οι φασματικές γραμμές ορισμένων στοιχείων ευθυγραμμίζονται με τις σκοτεινές γραμμές του πλιακού φάσματος, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη των στοιχείων αυτών στην πλιακή ατμόσφαιρα.



ποσό ενέργειας που προσδιορίζεται αποκλειστικά από τη συχνότητα του κύματος.

Ένα φωτόνιο **εκπέμπεται**, όταν κάποιο πλεκτρόνιο ενός ατόμου μεταποδίζει από μια τροχιά υψηλότερης ενέργειας σε μιαν άλλη χαμηλότερης (αποδιέγερση του ατόμου). Μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο: Κάποιο πλεκτρόνιο ενός ατόμου να **απορροφήσει** ένα φωτόνιο ορισμένης ενέργειας και να μεταποδίζει σε τροχιά υψηλότερης ενέργειας ή ακόμα και να διαφύγει μακριά από το άτομο. Τα φαινόμενα αυτά ονομάζονται διέγερση και ιονισμός του ατόμου, αντίστοιχα.

#### • Πώς σχετίζεται το φάσμα μιας ακτινοβολίας με τις ιδιότητες της πηγής από την οποία προέρχεται;

Το φάσμα μιας ακτινοβολίας είναι το σύνολο των απλών ακτινοβολιών στις οποίες αυτήν αναλύεται. Κάθε απλή ακτινοβολία είναι ένα Η/Μ κύμα ορισμένης συχνότητας, επομένως αποτελείται από έναν αριθμό φωτονίων ίδιας ενέργειας. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φωτονίων που περιλαμβάνει τόσο ισχυρότερη θα είναι και η παρουσία της στο φάσμα. Ωστε η μορφή του φάσματος μιας ακτινοβολίας εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται ο συνολικός αριθμός των φωτονίων της στις διάφορες απλές ακτινοβολίες που περιέχει.

Έτσι, ένα διάπυρο αέριο σε υψηλή πίεση, ένα διάπυρο στερεό ή υγρό σώμα εκπέμπει ακτινοβολία στην

που ταλαντώνεται αρμονικά με κάποια συχνότητα  $v$ . Μέσα σε χρόνο μιας περιόδου ( $T$ ) της ταλάντωσης το κύμα, αφού κινείται με ταχύτητα  $c$ , διανύει απόσταση

$$\lambda=c \cdot T \text{ ή } \lambda=c/v \quad (1)$$

(δεδομένου ότι η περίοδος και η συχνότητα είναι αντίστροφα μεγέθη  $T=1/v$ ).

Το μέγεθος  $\lambda$  ονομάζεται μήκος κύματος. Η συχνότητα και το μήκος κύματος είναι τα δύο θεμελιώδη χαρακτηριστικά ενός κύματος. Βέβαια, αν γνωρίζουμε το ένα, μπορούμε από τη σχέση (1) να υπολογίσουμε και το άλλο.

**Φωτόνιο:** Ένα Η/Μ κύμα ορισμένης συχνότητας  $v$  εμφανίζει σε πολλά φαινόμενα ιδιότητες που εξηγούνται μόνον, αν δεχθούμε ότι αποτελείται από πανομοιότυπα σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά έχουν όλα την ίδια καθορισμένη ενέργεια και ονομάζονται φωτόνια. Μπορούμε, δηλαδή, να πούμε ότι τα φωτόνια συμπεριφέρονται σαν ενεργειακά πακέτα - κράντα ενέργειας. Καθένα μεταφέρει ένα

οποία ανιχνεύονται φωτόνια κάθε συχνότητας, σε διαφορετικά ωστόσο ποσοστά. Π.χ. το 15% των φωτονίων μπορεί να είναι στην περιοχή του ερυθρού, το 10% στην περιοχή του κίτρινου κ.λπ.

Ένα τέτοιο φάσμα ονομάζεται συνεχές (σχ. 2.6α). Το ιδανικό αδιαφανές σώμα που εκπέμπει ακτινοβολία συνεχούς φάσματος είναι γνωστό ως **μελανό σώμα**.

Όσο μεγαλύτερο είναι η θερμοκρασία της πηγής που εκπέμπει ακτινοβολία με συνεχές φάσμα τόσο πιο πολλά φωτόνια με μεγάλες συχνότητες παρατηρούνται σ' αυτό. Λέμε τότε ότι το φάσμα «μετατοπίζεται» προς τις μεγάλες συχνότητες (ή μικρά μήκη κύματος).

Αντίθετα, αν αναλύσουμε την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα διάπυρο αέριο υπό χαμηλή πίεση, θα δούμε ότι περιέχει φωτόνια εντελώς ορισμένων συχνοτήτων (σχ. 2.6 γ, δ, ε, στ, ζ). Τα φάσματα αυτά ονομάζονται **γραμμικά φάσματα εκπομπής**. Οι συχνότητες των φωτονίων που παρατηρούνται σ' αυτά εξαρτώνται στενά από τη χημική σύσταση του αερίου.

As υποθέσουμε τώρα ότι «φωτίζουμε» ένα αέριο υπό χαμηλή θερμοκρασία και πίεση με μια ακτινοβολία συνεχούς φάσματος και αναλύσουμε την ακτινοβολία που διέρχεται τελικά μέσα από αυτό. Στο φάσμα της θα βρούμε φωτόνια κάθε συχνότητας εκτός εκείνων που αντιστοιχούν στο φάσμα εκπομπής του αερίου. Το αέριο έχει απορροφήσει τα φωτόνια της προσπίπουσας ακτινοβολίας που έχουν τις δικές του συχνότητες (σχ. 2.6 β). Έτσι παίρνουμε ένα **φάσμα απορρόφησης**.

Τα φάσματα των ακτινοβολιών που έρχονται από τον Ήλιο και τους άλλους αστέρες είναι φάσματα απορρόφησης. (Προσπάθησε να εξηγήσεις γιατί!)

-Ποιες ιδιότητες ενός φωτεινού σώματος μας αποκαλύπτονται από την επεξεργασία του φάσματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει, σύμφωνα με το προηγούμενο κείμενο;

νατό να αναλύουμε οποιεσδήποτε ακτινοβολίες, ακόμα και τις πλέον ασθενείς. Από τη μορφή του φάσματος που προκύπτει, δηλαδή από το πλήθος, την ένταση και την ενέργεια των απλών ακτινοβολιών που περιέχει, καταλήγουμε σε συμπεράσματα για την πηγή που τις εκπέμπει, όπως:

- Την ενέργεια που ακτινοβολείται από αυτήν.
- Τη θερμοκρασία της.
- Τη χημική της σύσταση.
- Το μαγνητικό της πεδίο.
- Την απόστασή της από τη Γη και την κίνησή της ως προς αυτήν.
- Τη φύση και τη σύσταση του «μεσοαστρικού χώρου» που διανύει η ακτινοβολία, για να φτάσει από την πηγή στη Γη.

## 2.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ ΑΠΟ ΕΝΑΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗ ΓΗ

### ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΟΥΡΑΝΙΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Ο Ήλιος την ημέρα, η Σελήνη και οι αστέρες τη νύχτα είναι τα φωτεινά αντικείμενα που αιώνες τώρα βλέπουν οι άνθρωποι στον ουρανό.

Μια γρήγορη ματιά στο νυχτερινό έναστρο ουρανό μας δημιουργεί την αίσθηση του χάους. Ωστόσο η συστηματική παρατήρηση ανατρέπει την αρχική μας εντύπωση και μας οδηγεί στην ανακάλυψη μιας παγκόσμιας τάξης και αρμονίας.

Όλα τα ουράνια σώματα φαίνονται σαν να βρίσκονται στην εσωτερική επιφάνεια μιας γιγάντιας σφαίρας, στο κέντρο της οποίας βρίσκεται η Γη. Η εντύπωση αυτή είναι τόσο έντονη, ώστε οδήγησε τους αρχαίους αστρονόμους στην υπόθεση ότι η Γη βρίσκεται στο κέντρο του Σύμπαντος. Η φανταστική αυτή σφαίρα έχει ακτίνα απροσδιόριστη και ονομάζεται **ουράνια σφαίρα**.

Η ουράνια σφαίρα μαζί με όλα τα ουράνια σώματα που βλέπουμε σ' αυτήν φαίνεται σαν να περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, με κατεύθυνση από την Ανατολή προς τη Δύση. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην αντίθετη περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της. Ο άξονας της ουράνιας σφαίρας είναι προέκταση του άξονα περιστροφής της Γης. Ο χρόνος μιας πλήρους περιστροφής της (24 ώρες) είναι ίσος με την περίοδο περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της.

Έτσι, ένας παρατηρητής βλέπει από τη Γη όλα τα ουράνια σώματα να διαγράφουν μέσα σε 24 ώρες παράλληλες κυκλικές τροχιές με τα επίπεδά τους κάθετα στον άξονα της ουράνιας σφαίρας και τα κέντρα τους πάνω σ' αυτόν (εικ. 2.7).

Φανταστείτε ότι ταξιδεύουμε στην ανοιχτή θάλασσα και παρατηρούμε μακριά αντικείμενα γύρω μας, χωρίς να παρεμβάλλονται βουνά ή άλλα εμπόδια. Η ουράνια σφαίρα και η Γη μοιάζει



**Εικόνα 2.7:** Φωτογραφία του ουρανού του βόρειου ημισφαίριου. Το φίλμ έχει εκτεθεί για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα προς το βόρειο πόλο της ουράνιας σφαίρας. Οι αστέρες φαίνονται διάτοπα κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τον άξονα της ουράνιας σφαίρας.

Οι ακτίνες τους μεγαλώνουν με την απόσταση του αστέρα από το βόρειο πόλο.

Ο πολικός αστέρας ταυτίζεται σχεδόν με το βόρειο πόλο και έτσι διαγράφει κυκλική τροχιά ελάχιστης ακτίνας.

να συναντιούνται σε ένα μεγάλο φανταστικό κύκλο με κέντρο τον εαυτό μας. Ο κύκλος αυτός ονομάζεται **ορίζοντας** του τόπου που βρισκόμαστε (σχ. 2.8). Ο ορίζοντας δημιουργεί την αίσθηση του «πάνω» και του «κάτω»: Ό,τι βρίσκεται πάνω από το οριζόντιο επίπεδο μπορούμε να το δούμε, ενώ ό,τι είναι κάτω από αυτό, όχι.

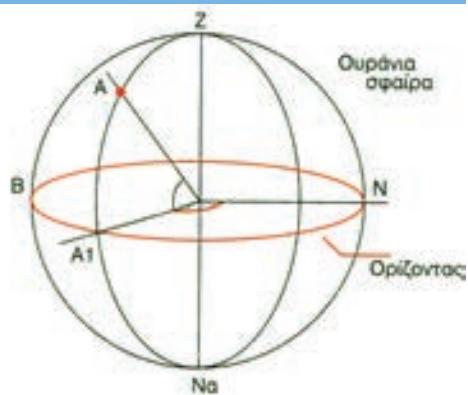
Με τον ορίζοντα και το οριζόντιο επίπεδο συνδέεται και η έννοια της **κατακόρυφης** ενός τόπου. Πρόκειται για την ευθεία που περνάει από τον τόπο που βρισκόμαστε και είναι κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο.

Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι οι κυκλικές τροχιές ορισμένων ουρανίων σωμάτων συναντούν τον ορίζοντα ενός τόπου. Άλλων βρίσκονται ολόκληρες πάνω απ' αυτόν και άλλων κάτω απ' αυτόν (σχ.2.9).

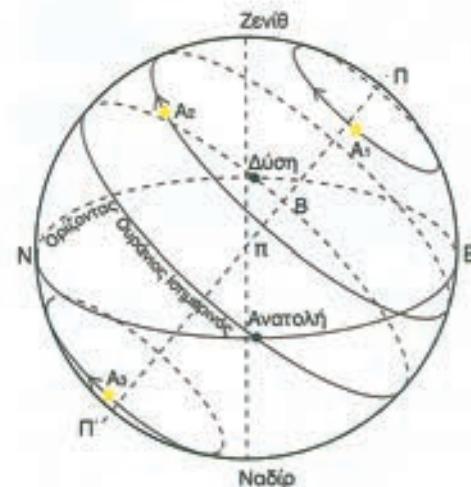
Ένας παρατηρητής που βρίσκεται στο συγκεκριμένο τόπο, στην πρώτη περίπτωση βλέπει το ουράνιο σώμα να ανατέλλει και να δύει. Μόνο ένα μέρος της τροχιάς του είναι ορατό από αυτόν. Στη δεύτερη περίπτωση ολόκληρη η τροχιά του είναι ορατή, ενώ στην τρίτη κανένα μέρος της δεν είναι παρατηρήσιμο. Παράδειγμα: Ένας παρατηρητής από οποιονδήποτε τόπο της Ελλάδας βλέπει τον Ήλιο να ανατέλλει και να δύει. Από ένα μέρος όμως κοντά στο βόρειο πόλο, τον Ιούλιο τον βλέπει πάνω από τον ορίζοντα ολόκληρο το εικοσιτετράωρο, ενώ το Δεκέμβριο δεν τον βλέπει καθόλου.

### ΓΩΝΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΟΥΡΑΝΙΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ. ΑΠΛΑΝΕΙΣ ΑΣΤΕΡΕΣ ΚΑΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ

Η μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ των ουράνιων σωμάτων δεν είναι τόσο εύκολη υπόθεση. Στηρίζεται σε φυσικούς νόμους που αφορούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από κινούμενη πηγή και απαιτεί σημαντικό εργαστηριακό εξοπλισμό.



**Σχήμα 2.8:** Κάθε επίπεδο που περιέχει την κατακόρυφη ονομάζεται κατακόρυφο επίπεδο. Η κατακόρυφη ενός τόπου συναντά την ουράνια σφαίρα σε δύο υποθετικά σημεία, που ονομάζονται **Ζενίθ** (Z) και **Ναδίρ** (Na). Ο κατακόρυφος κύκλος που περνά από το Ζενίθ, το Ναδίρ και κάποιον αστέρα Α ονομάζεται **κατακόρυφος του αστέρα**. Τα τόξα AA<sub>1</sub> και A<sub>1</sub>N, που μετρώνται στον κατακόρυφο κύκλο του αστέρα Α και στον ορίζοντα του τόπου, λέγονται αντίστοιχα **ύψος** και **αζμούθιο** του αστέρα. Η γνώση των δύο αυτών τόξων αρκεί για να προσδιορίσουμε τη θέση του αστέρα στην ουράνια σφαίρα. Το ύψος και το αζμούθιο αποτελούν τις **οριζόντιες συντεταγμένες** του αστέρα. Το N είναι το νότιο σημείο του ορίζοντα και το B το βόρειο σημείο του.



Οι αρχαίοι αστρονόμοι είχαν κάνει πολλές μετρήσεις γωνιακών αποστάσεων μεταξύ των ουράνιων σωμάτων (βλ. σχετικά παρ. 2.2). Διαπίστωσαν ότι για τα περισσότερα από αυτά οι σχετικές γωνιακές αποστάσεις τους δε μεταβάλλονται με το χρόνο. Φαίνονται σαν να μην κινούνται το ένα ως προς το άλλο. Αυτά τα σώματα τα ονόμασαν **απλανείς αστέρες ή απλώς αστέρες**.

Αν παρατηρήσουμε για αρκετή ώρα τον έναστρο ουρανό, θα μας δημιουργήσει η εντύπωση ότι οι αστέρες ομαδοποιούνται σε αμετάβλητους γεωμετρικούς σχηματισμούς. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν αναγνωρίσει σ' αυτούς με τη φαντασία τους μυθικές ή ιστορικές μορφές και τους είχαν δώσει ανάλογα ονόματα (σχ. 2.10).

Όλοι οι γνωστοί από την αρχαιότητα ουράνιοι σχηματισμοί αστέρων, καθώς και άλλοι που προστέθηκαν αργότερα, ονομάζονται **αστερισμοί** (βλ. χάρτες του ουρανού στο τέλος του βιβλίου).

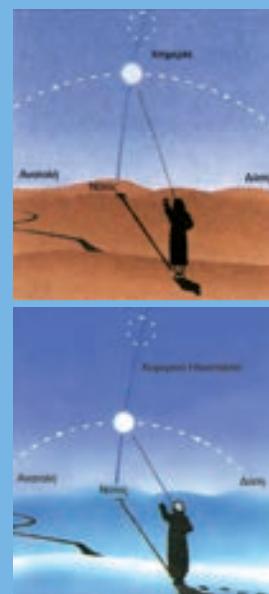
Ο Ήλιος και η Σελήνη κινούνται σε σχέση με τους απλανείς αστέρες, δηλαδή οι γωνιακές αποστάσεις από αυτούς μεταβάλλονται.

Με επιμονή και προσεκτική παρατήρηση μπορούμε να διακρίνουμε με γυμνό μάτι πέντε ακόμα ουράνια σώματα που κινούνται σε σχέση με τους αστέρες. Τα πέντε αυτά σώματα, που φαίνονται σαν να πλανώνται στον ουρανό, οι αρχαίοι τα ονόμασαν **πλανήτες**. Πρόκειται για τους πέντε από τους εννέα πλανήτες του πλιακού μας συστήματος, που μπορούμε να δούμε χωρίς τηλεσκόπιο: Τον Ερμή, την Αφροδίτη, τον Άρη, το Δία και τον Κρόνο. Οι υπόλοιποι τρεις, ο Ποσειδώνας, ο Ουρανός και ο Πλούτωνας δεν είναι ορατοί χωρίς όργανα παρατήρησης.

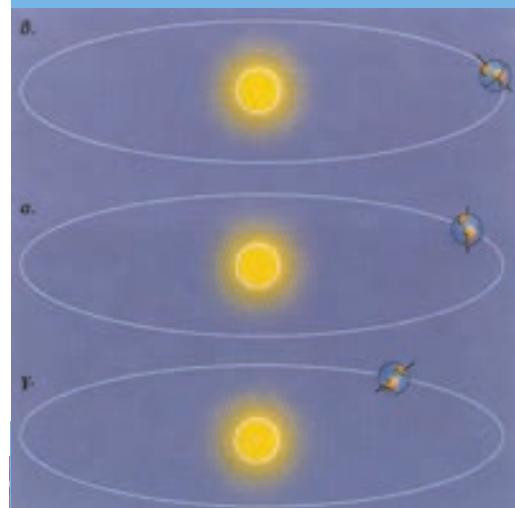
Ωστε από τα 5.000 περίπου φωτεινά αντικείμενα που διακρίνουμε με γυμνό μάτι στο νυκτερινό ουρανό, μόνο πέντε είναι οι πλανήτες και μοιάζουν λίγο πολύ με τη Γη. Όλα τα υπόλοιπα είναι αστέρες και έχουν χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του Ήλιου. Ο Ήλιος, λοιπόν, είναι ένας αστέρας, η Γη ένας πλανήτης, και η Σελήνη είναι ο μοναδικός φυσικός δορυφόρος της Γης.



**Εικόνα 2.10:** Οι αποστάσεις μεταξύ των αστέρων φαίνονται αμετάβλητες από έναν επίγειο παρατηρητή. Πρόκειται για μια ακόμα ψευδαίσθηση. Οι σχετικές τους ταχύτητες είναι πολύ μεγάλες. Επειδή, όμως οι αποστάσεις τους από τη Γη είναι τεράστιες, η γωνιακή τους μετατόπιση μέσα σε μια ανθρώπινη ζωή είναι αδύνατο να γίνει αισθητή.



**Σχήμα 2.11:** Το μεσημέρι οι σκιές γίνονται ελάχιστες και η γωνιακή απόσταση του Ήλιου από τον ορίζοντα μεγιστεύει. Αν τότε στραφούμε προς τον Ήλιο, προσδιορίζουμε το σημείο του νότου στον ορίζοντα.



**Σχήμα 2.12 α, β, γ.: α)** Ο άξονας της Γης κάθετος στην τροχιά της β) Πάνω στο επίπεδο της τροχιάς της γ) Σε πλάγια θέση.

**Υψος ενός αστέρα** είναι η γωνιακή απόσταση του αστέρα από το σημείο τομής του ορίζοντα με τον κατακόρυφο κύκλο που περνάει από αυτόν (βλ. σχήμα 2.8).



**Σχήμα 2.14:** Καθώς η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο, ο επίγειος παραπρήτης βλέπει την προβολή του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα να κινείται σε σχέση με τους απλανείς αστέρες.

Κατά τη διάρκεια του έτους, ο Ήλιος φαίνεται να περνά διαδοχικά κοντά από δώδεκα αστερισμούς. Το σύνολο των αστερισμών αυτών είναι γνωστό ως ζωδιακός κύκλος.



**Σχήμα 2.13:** Η Γη όπως φωτίζεται από τον Ήλιο κατά το ξειμερινό και θερινό πλιοστάσιο.

### Η ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΕΝΑΝ ΕΠΙΓΕΙΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗ

Κάθε μέρα βλέπουμε τον Ήλιο να ανατέλλει σε κάποιο σημείο του ορίζοντα, διαγράφει ένα κυκλικό τόξο γύρω από τον άξονα της ουράνιας σφαίρας και δύει σε κάποιο άλλο σημείο του ορίζοντα. Κάθε ουράνιο σώμα κάνει σε 24 ώρες κίνησην παρόμοια με αυτή του Ήλιου: Διαγράφει έναν κύκλο στην ουράνια σφαίρα, από την ανατολή προς τη δύση, το επίπεδο του οποίου είναι κάθετο στον άξονά της. Οι κινήσεις αυτές είναι φαινόμενες. Είναι συνέπεια της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της κατά την αντίθετη φορά, από τη δύση προς την ανατολή.

Ας παρακολουθήσουμε τον Ήλιο στην καθημερινή τροχιά του από ένα επίπεδο μέρος, όπου δεν υπάρχουν βουνά ή άλλα εμπόδια στον ορίζοντα. Τη στιγμή που ανατέλλει, η γωνιακή του απόσταση από τον ορίζοντα, δηλαδή το ύψος του, είναι μηδενική. Με την πάροδο του χρόνου το ύψος του αυξάνεται μέχρι το μεσημέρι. Το μεσημέρι το ύψος του Ήλιου είναι μέγιστο (σχ. 2.11). Στη συνέχεια μειώνεται, μέχρις ότου μηδενιστεί, τη στιγμή που ο Ήλιος δύει στον ορίζοντα.

Παρατηρούμε ότι το ορατό τόξο της ημερήσιας τροχιάς του Ήλιου προσδιορίζεται από τρία στοιχεία: Τα σημεία της ανατολής και της δύσης και το μέγιστο ύψος του.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι καταγράφουμε καθημερινά, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και τα τρία στοιχεία, δηλαδή, σημειώνουμε από πού ανατέλλει, πού δύει και μετράμε σε μοίρες το μέγιστο

**Σχήμα 2.15:** Η εικόνα δείχνει την κίνηση του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα ως προς τους απλανείς αστέρες. Η τροχιά του Ήλιου είναι ένας μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας και ονομάζεται εκλειπτική. Ο Ήλιος κινείται από τη δύση προς την ανατολή (αριστερό προς δεξιό μέρος του σχήματος). Περνά διαδοχικά κοντά από τους αστερισμούς που φαίνονται στο σχήμα και επιστρέφει στο ίδιο σημείο της εκλειπτικής σε ένα έτος.





ύψος του Ήλιου κάθε μεσημέρι. Θα παρατηρήσουμε ότι μεταβάλλονται διαρκώς.

Παράλληλα, και σε συνάρτηση με αυτά, μεταβάλλεται και η διάρκεια της ημέρας ως προς τη νύχτα. Συνοψίζουμε τα σημαντικότερα συμπεράσματα των παρατηρήσεών μας:

-Στις 22 Ιουνίου:

- Το μέγιστο ύψος του Ήλιου έχει τη μεγαλύτερη τιμή από όλες τις άλλες ημέρες του έτους.
- Η ημέρα έχει τη μέγιστη διάρκειά της και η γωνιακή απόσταση των σημείων της ανατολής και της δύσης από το σημείο του βορρά στον ορίζοντα έχει την ελάχιστη τιμή της.
- Την ημέρα αυτή λέμε ότι ο Ήλιος βρίσκεται στο **θερινό πλιοστάσιο**.

-Στις 22 Δεκεμβρίου:

- Το μέγιστο ύψος του Ήλιου έχει την ελάχιστη ετήσια τιμή του, η ημέρα την ελάχιστη διάρκειά της και η γωνιακή απόσταση της ανατολής και της δύσης από το σημείο του βορρά στον ορίζοντα είναι η μέγιστη δυνατή.
- Ο Ήλιος την ημέρα αυτή βρίσκεται στο **χειμερινό πλιοστάσιο**. Στα πλιοστάσια ο Ήλιος φαίνεται να παραμένει στην ίδια θέση για μερικές ημέρες, γι' αυτό και ονομάστηκαν έτσι.

-Τέλος υπάρχουν δύο ημέρες του έτους, η 21η Μαρτίου και η 23η Σεπτεμβρίου, που ονομάζονται **εαρινή** και **φθινοπωρινή ισημερία**, αντίστοιχα. Στις ισημερίες παρατηρούμε ότι:

- Τα σημεία της ανατολής και της δύσης του Ήλιου ταυτίζονται με τα αντίστοιχα γεωγραφικά σημεία του ορίζοντα.
- Το μεσημεριανό ύψος του Ήλιου έχει ενδιάμεση τιμή μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης που αντιστοιχούν στα πλιοστάσια.
- Η διάρκεια της ημέρας είναι ίση με τη διάρκεια της νύχτας.

**Σχήμα 2.16:** Στα τρία σχήματα φαίνονται, σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες, εικόνες του ουρανού μετά τη δύση του Ήλιου, τη στιγμή που αρχίζουν να διακρίνονται οι αστερισμοί. Παρατηρήστε τη διαρκή μετατόπιση του Ήλιου ως προς αυτούς.

## ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΉΛΙΟΥ

Πώς μπορούν να εξηγηθούν οι παρατηρήσεις που προαναφέραμε; Γιατί μεταβάλλεται περιοδικά η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας και το μέγιστο ύψος του Ήλιου; Γιατί μετατοπίζονται τα σημεία της ανατολής και της δύσης του;

Οι απαντήσεις μπορούν να δοθούν, αν συνδυάσουμε τις δύο

βασικές κινήσεις που κάνει η Γη, την περιστροφική γύρω από τον άξονά της και την ελλειπτική -σχεδόν κυκλική- περιφορά της γύρω από τον Ήλιο:

Η κατεύθυνση του άξονα περιστροφής της Γης μέσα σε ένα έτος διατηρείται πρακτικά σταθερή<sup>1</sup>.

Ποια είναι όμως η κατεύθυνση αυτή σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο; Μπορούμε να κάνουμε τις εξής δύο σκέψεις:

α) Αν ο άξονας περιστροφής της Γης είναι κάθετος ή παράλληλος με το επίπεδο της τροχιάς της, κανένα από τα προηγούμενα φαινόμενα δε θα μπορούσε να παρατηρηθεί.

β) Αν ο άξονας περιστροφής της Γης σχηματίζει μια σταθερή οξεία γωνία<sup>2</sup> με το επίπεδο της τροχιάς της, τότε και τα τρία φαινόμενα μπορούν να εξηγηθούν.

## ΕΤΗΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΠΛΑΝΕΙΣ ΑΣΤΕΡΕΣ

Το πλιοκεντρικό μοντέλο προβλέπει ότι ένας επίγειος παρατηρητής πρέπει να βλέπει τον Ήλιο να μεταβάλλει τη θέση του κατά τη διάρκεια του έτους, σε σχέση με τους αστέρες και τους αστερισμούς.

Πραγματικά, μπορεί κανείς να διαπιστώσει εύκολα με τη βοήθεια του σχήματος 2.13 ότι η φαινόμενη αυτή κίνηση του Ηλίου προκύπτει από την περιστροφή της Γης γύρω από αυτόν.

Από κάθε σημείο της τροχιάς της Γης ο παρατηρητής βλέπει τον Ήλιο να προβάλλεται σε διαφορετικά σημεία της ουράνιας σφαίρας. Έτσι κατά τη διάρκεια κάθε έτους ο Ήλιος φαίνεται να περνά περιοδικά κοντά από συγκεκριμένους αστερισμούς. Οι δώδεκα γνωστότεροι από αυτούς ορίζουν το λεγόμενο **ΖΩΔΙΑΚΟ ΚΥΚΛΟ** (σχ. 2.14 και πίνακας 2.1).

Πώς όμως μπορεί να παρατηρηθεί η κίνηση του Ηλίου ως προς τους αστερισμούς, αφού κατά τη διάρκεια της ημέρας αυτοί δε διακρίνονται;

Για να το πετύχουμε, αρκεί να κάνουμε συστηματική καταγραφή των αστερισμών που μπορούμε να δούμε κοντά στον Ήλιο, όταν το φως του δεν είναι πολύ δυνατό, δηλαδή αμέσως μετά τη δύση του (σχ. 2.16).

Η επίσια κίνηση του Ηλίου ως προς τους απλανείς αστέρες προσδιορίζει στην ουράνια σφαίρα έναν κύκλο με κέντρο τη Γη, που ονομάζεται **ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΗ**. Η εκλειπτική, όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.14, δεν είναι παρά η προβολή της τροχιάς της Γης πάνω στην ουράνια σφαίρα.

<sup>1</sup> Ο άξονας περιστροφής της Γης υφίσταται μετάπτωση. Δηλαδή διαγράφει μια κωνική επιφάνεια μέσα σε 26.000 χρόνια περίπου. Είναι φανερό ότι σε ένα χρόνο η αλλαγή της κατεύθυνσής του είναι ασήμαντη.

<sup>2</sup> Η γωνία αυτή έχει μετρηθεί και βρέθηκε ίση με 23° 27'.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΟΙ ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΖΩΔΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Διεθνής ονομασία	Ελληνική ονομασία	Ημερομηνία κατά την οποία ο Ήλιος προβάλλεται στον αντίστοιχο αστερισμό
Aries	Κριός	30 Απριλίου
Taurus	Ταύρος	30 Μαΐου
Gemini	Δίδυμοι	5 Ιουλίου
Cancer	Καρκίνος	30 Ιουλίου
Leo	Λέων	1 Σεπτεμβρίου
Virgo	Παρθένος	11 Οκτωβρίου
Libra	Ζυγός	9 Νοεμβρίου
Scorpius	Σκορπίος	3 Δεκεμβρίου
Sagittarius	Τοξότης	7 Ιανουαρίου
Capricornus	Αιγόκερος	8 Φεβρουαρίου
Aquarius	Υδροχόος	25 Φεβρουαρίου
Pisces	Ιχθύες	27 Μαρτίου

## 2.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΡΑΤΗ ΚΑΙ ΑΟΡΑΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ Η/Μ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

### ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΩΝ

Με γυμνό μάτι μπορούμε να δούμε στον ασέλνο και χωρίς σύννεφα νυχτερινό ουρανό περίπου 5.000 αστέρες. Άλλοι φαίνονται λαμπροί, άλλοι αμυδροί και άλλοι συγχέονται μεταξύ τους. Στον ανίσυχο νου του παραπρητή αναδύονται αμέσως δύο προβλήματα:

- Πώς θα μπορούσε να παραπρήσει καλύτερα τα ουράνια σώματα που μόλις διακρίνει με το αβούθπτο μάτι του;
- Μήπως υπάρχουν και άλλα ουράνια αντικείμενα τόσο απομακρυσμένα και αμυδρά, που δεν μπορεί να τα δει;

Για να παραπρήσουμε καλύτερα τα ουράνια αντικείμενα χρησιμοποιούμε τα τηλεσκόπια. Πώς όμως το επιτυγχάνουμε αυτό;

Για να δούμε ένα αντικείμενο, πρέπει να φτάσουν στο μάτι μας φωτόνια που εκπέμπονται από αυτό. Όσα περισσότερα φτάνουν τόσο λαμπρότερο και καθαρότερο το βλέπουμε. Αντίθετα, αν ο αριθμός των φωτονίων που συλλέγουμε είναι μικρός, το διακρίνουμε αμυδρά ή και καθόλου.

Κάθε αστέρας εκπέμπει ανά δευτερόλεπτο έναν πολύ μεγάλο αριθμό φωτονίων, που διασκορπίζονται με την ίδια πιθανότητα προς κάθε κατεύθυνση του χώρου.

Οστόσο η απόσταση που χωρίζει τη Γη, ακόμα και από τον κοντινότερο από αυτούς, είναι εξαιρετικά μεγάλη. Το αποτέλεσμα είναι να φτάνει στη Γη ένα πολύ μικρό ποσοστό του αρχικού αριθμού φωτονίων<sup>1</sup>. Επομένως, για να μπορέσουμε να διακρίνουμε τον αστέρα καλύτερα, πρέπει να συλλέξουμε όσο το δυνατόν περισσότερα από αυτά τα λίγα φωτόνια που φτάνουν στη Γη.

Η κόρη του ματιού μας έχει στο σκοτάδι διάμετρο περίπου 8 mm. Είναι φανερό ότι πάνω της πέφτουν πολύ λιγότερα φωτό-

<sup>1</sup> Ας υποθέσουμε ότι μια σημειακή φωτεινή πηγή εκπέμπει ομοιόμορφα προς κάθε κατεύθυνση φωτόνια. Τότε ο αριθμός των φωτονίων ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας που διέρχονται από μικρή επίπεδη επιφάνεια τοποθετημένη σε ένα σημείο του χώρου, κάθετα στη διεύθυνση της κίνησής τους, είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το τετράγωνο της απόστασης του σημείου από την πηγή.

Η μεγαλοφυΐα του Γαλιλαίου άνοιξε το δρόμο για την αστρονομική παρατήρηση με τη χρησιμοποίηση για πρώτη φορά τηλεσκοπίου στην αστρονομική παρατήρηση. Το ιστορικό αυτό γεγονός πυροδότησε την αρχή μιας νέας εποχής για την Αστρονομία. Από το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου μέχρι τα μεγάλα σύγχρονα τηλεσκόπια που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη, καθώς και την πολύπλοκη τεχνολογία που τα υποστηρίζει, η πρόοδος που έχει συντελεστεί είναι εκπληκτική. Το ίδιο εκπληκτική είναι και η ποσότητα των πληροφοριών και των γνώσεων που έχει συσσωρευτεί.

νια απ' ότι σπν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια ενός φακού ή κατόπτρου διαμέτρου, π.χ. 500 mm, που τον έχουμε στρέψει προς το ίδιο ουράνιο σώμα. Αν λοιπόν συγκεντρώσουμε τα φωτόνια αυτά και τα διοχετεύσουμε με κατάλληλο τρόπο στο μάτι μας, η εικόνα που θα σχηματιστεί θα είναι λαμπρότερη και διαυγέστερη από αυτή που βλέπουμε με γυμνό μάτι. Ή, ακόμα, είναι πιθανό να διακρίνουμε αντικείμενα τόσο αμυδρά που δεν μπορούν να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι μόνο. Στη λογική αυτή στηρίζεται η κατασκευή των τηλεσκοπίων κάθε είδους. Πρέπει εδώ να τονιστεί ένα συμπέρασμα που προκύπτει από την προηγούμενη ανάλυση:

**Η κυριότερη λειτουργία ενός τηλεσκοπίου είναι η συγκέντρωση όσο το δυνατόν περισσότερων φωτονίων από την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα ουράνιο σώμα.**

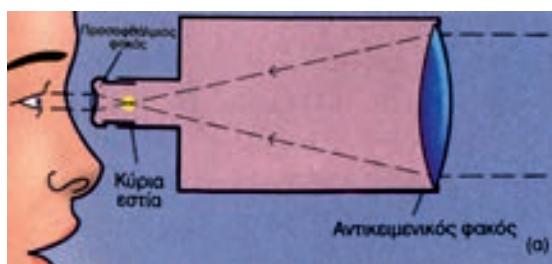
Εκτός από την ικανότητα συγκέντρωσης της ακτινοβολίας, ένα τηλεσκόπιο χαρακτηρίζεται και από άλλες δύο ιδιότητες:

-Τη διακριτική του ικανότητα και

-Τη μεγεθυντική του ισχύ.

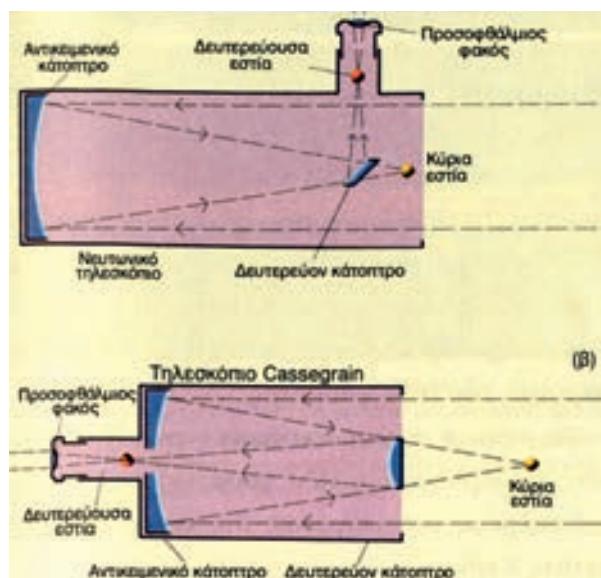
Η διακριτική ικανότητα εκφράζει τη δυνατότητα που μας δίνει ένα τηλεσκόπιο να δούμε ξεχωριστά δύο αντικείμενα που φαίνονται συγκεκυμένα με γυμνό μάτι, λόγω της μικρής γωνιακής τους απόστασης.

Μεγεθυντική ισχύς ή απλά μεγέθυνση ονομάζεται η φαινόμενη αύξηση του μεγέθους<sup>1</sup> (διαστάσεων) του παρατηρούμενου (με το τηλεσκόπιο) αντικειμένου ως προς το ορατό-με γυμνό μάτι-



**Σχήμα 2.17α:** Αρχή λειτουργίας ενός διοπτρικού τηλεσκοπίου: Ο αντικειμενικός φακός εστιάζει την ακτινοβολία που δέχεται από έναν αστέρα στην κύρια εστία του. Η θέση του προσοφθάλμιου ρυθμίζεται έτσι, ώστε οι κύριες εστίες των δύο φακών να ταυτίζονται.

**Σχήμα 2.17β:** Αρχή λειτουργίας κατοπτρικών τηλεσκοπίων: Το φως του αστέρα συλλέγεται από το πρωτεύον κάτοπτρο. Οι ανακλώμενες ακτίνες συγκλίνουν προς την κύρια εστία του κατόπτρου. Πριν όμως φτάσουν σ' αυτήν, ανακλώνται από το δευτερεύον κάτοπτρο και οδηγούνται προς τον προσοφθάλμιο φακό.



<sup>1</sup> Η μεγέθυνση είναι ίση με το λόγο της εστιακής απόστασης του αντικειμενικού φακού προς την εστιακή απόσταση του προσοφθάλμιου φακού.

μέγεθός του. Η μεγεθυντική ισχύς είναι σημαντική μόνο για παραπρήσεις των ουράνιων σωμάτων του πλιακού μας συστήματος. Η μεγέθυνση έχει μικρή αξία, αν δε συνδυάζεται με μεγάλη διακριτική ικανότητα.

- **Τα οπτικά τηλεσκόπια λειτουργούν στην ορατή περιοχή του φάσματος.** Δηλαδή, συγκεντρώνουν φωτόνια ορατής ακτινοβολίας.

Τα οπτικά τηλεσκόπια που χρησιμοποιούν για συλλέκτη της ακτινοβολίας ένα φακό ονομάζονται **διοπτρικά**, ενώ αυτά που χρησιμοποιούν κάτοπτρο, **κατοπτρικά**.

Στα σχήματα 2.17 α και β φαίνεται η αρχή λειτουργίας των διοπτρικών και των κατοπτρικών τηλεσκοπίων. Το τηλεσκόπιο που είχε χρησιμοποιήσει ο Γαλιλαίος ήταν διοπτρικό. Ο Νεύτωνας αντίθετα κατασκεύασε ένα κατοπτρικό τηλεσκόπιο (σχ. 2.19).

- **Αστρονομικές παραπρήσεις σε μη ορατές περιοχές του Η/Μ φάσματος.**

Τα ουράνια σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία σε όλες τις περιοχές του Η/Μ φάσματος, δηλαδή στα ραδιοκύματα, στο υπέρυθρο, στο υπεριώδες, στις ακτίνες X και γ.

Τα τηλεσκόπια που συλλέγουν ραδιοκύματα ονομάζονται **ραδιοτηλεσκόπια**.

Η αρχή λειτουργίας τους μοιάζει με αυτή των οπτικών κατοπτρικών τηλεσκοπίων. Τα ραδιοκύματα συλλέγονται από μια ίπερισσότερες κεραίες σχήματος πιάτου και εστιάζονται σε έναν ραδιοδέκτη (εικ. 2.20). Ο ραδιοδέκτης μετατρέπει το Η/Μ κύμα, με το οποίο είναι συντονισμένος, σε πλεκτρική τάση η οποία με τη σειρά της, αφού ενισχυθεί, μπορεί να μετρηθεί και να καταγραφεί. Ακολουθεί επεξεργασία των δεδομένων με τη βοήθεια Η/Υ (εικ. 2.21).

Τα τηλεσκόπια υπερύθρου είναι κατοπτρικά τηλεσκόπια, στα οποία χρησιμοποιούνται ειδικοί ανιχνευτές υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η λειτουργία των ανιχνευτών στηρίζεται συνήθως στις θερμικές ιδιότητες της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Παραπρήσεις στην περιοχή των υπέρυθρων ακτινοβολιών γίνονται τόσο από επίγεια όσο και από τροχιακά τηλεσκόπια. Ένα από τα πλέον επιτυχημένα τηλεσκόπια υπερύθρου σε τροχιά ήταν το IRAS (Infrared Astronomical Satellite), προϊόν της διεθνούς συνεργασίας των ΗΠΑ, Βρετανίας και Ολλανδίας.

Στα τηλεσκόπια υπεριώδους η συλλογή και η ανίχνευση της υπεριώδους ακτινοβολίας γίνεται με μέσα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για την ορατή. Στην περιοχή αυτή του Η/Μ φάσματος οι παραπρήσεις γίνονται αποκλειστικά από το διάστημα. Το τροχιακό τηλεσκόπιο IUE (International Ultraviolet Explorer), που εκτοξεύτηκε το 1978, είναι από τα πιο γνωστά και επιτυχημένα εγχειρήματα σε αυτόν τον τομέα αστρονομικών παραπρήσεων.



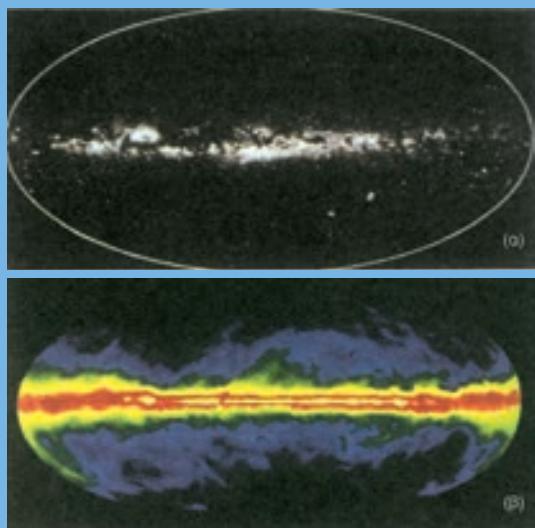
**Εικόνα 2.18:** Το διοπτρικό τηλεσκόπιο του Harvard College Observatory. Κατασκευάστηκε στα μέσα του 19ου αιώνα.



**Εικόνα 2.19:** Το κατοπτρικό τηλεσκόπιο του Νεύτωνα. Οι ακτίνες του φωτός συλλέγονται από ένα κοίλο πρωτεύον κάτοπτρο. Συγκλίνουν προς την κύρια εστία του και κατευθύνονται από ένα επίπεδο δευτερεύον κάτοπτρο προς τον προσοφθάλμιο φακό.



**Εικόνα 2.20:** Εικόνες παραβολικών ραδιοτηλεσκοπίων. α: κινητό διάμετρου 100 μέτρων (Γερμανία). β: Κεραία ραδιοτηλεσκοπίου με διάμετρο 300 m που βρίσκεται στο Πουέρτο Ρίκο.



**Εικόνα 2.21:** Εικόνες της ίδιας περιοχής του Γαλαξία. α: Σε ορατό φως. β: Εικόνα που σχηματίστηκε με βάση την εκπομπή, από το Γαλαξία, ραδιοκυμάτων μήκους κύματος 21cm. Τα ψευδο-χρώματα σχετίζονται με την ένταση της ακτινοβολίας. Η εκπομπή είναι ισχυρότερη στο κεντρικό επίπεδο του Γαλαξία.

Το HST (Hubble Space Telescope) μεταφέρθηκε και τοποθετήθηκε σε τροχιά τον Απρίλιο του 1990 με το διαστημικό λεωφορείο Discovery (σχήμα 2.22). Οι προδιαγραφές του HST και οι προσδοκίες των επιστημόνων ήταν ανάλογες του κόστους του προγράμματος. Ωστόσο μετά την ενεργοποίησή του διαπιστώθηκαν κατασκευαστικά σφάλματα στο πρωτεύον κάτοπτρο, που περιόρισαν τους αρχικούς στόχους και σχέδια. Ακολούθησαν επισκευές και εγκατάσταση βοηθητικών συστημάτων που έγιναν από μεταγενέστερες αποστολές διαστημικών λεωφορείων. Σήμερα οι συνέπεις των κατασκευαστικών λαθών έχουν αντισταθμιστεί σε μεγάλο βαθμό και οι πληροφορίες που λαμβάνονται από το HST είναι εξαιρετικά σημαντικές.

Επίσης υπάρχουν σε λειτουργία **τηλεσκόπια ακτινών X και γ**, που βρίσκονται πάνω σε αστρονομικούς δορυφόρους τοποθετημένους σε τροχιά γύρω από τη Γη.

### Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΙΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ

Οι ακτινοβολίες που εκπέμπονται από τα ουράνια σώματα και πλησιάζουν προς τη Γη, πρέπει να διαπεράσουν την ατμόσφαιρα της για να φτάσουν στο έδαφος. Γνωρίσαμε ήδη (στην παράγραφο 2.2) ότι οι περισσότερες από αυτές απορροφούνται από την ατμόσφαιρα:

- Οι ακτίνες X και γ από τα άτομα και τα μόρια του αζώτου και του οξυγόνου.
- Οι υπεριώδεις από το οζόν.
- Οι υπέρυθρες από τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα.

- Τα ραδιοκύματα μεγάλου μήκους κύματος ανακλώνται από το ανώτερο ιονισμένο τμήμα της ατμόσφαιρας, που ονομάζεται **ιονόσφαιρα**.

Έτσι λοιπόν στο έδαφος φτάνουν μόνον ακτινοβολίες που ανήκουν στην ορατή περιοχή και σε ένα μέρος της περιοχής του υπερύθρου και των ραδιοκυμάτων. Δεν είναι, επομένως, δυνατές αστρονομικές παρατηρήσεις από επίγεια τηλεσκόπια στην περιοχή του υπεριώδους, και στις ακτίνες X και γ.

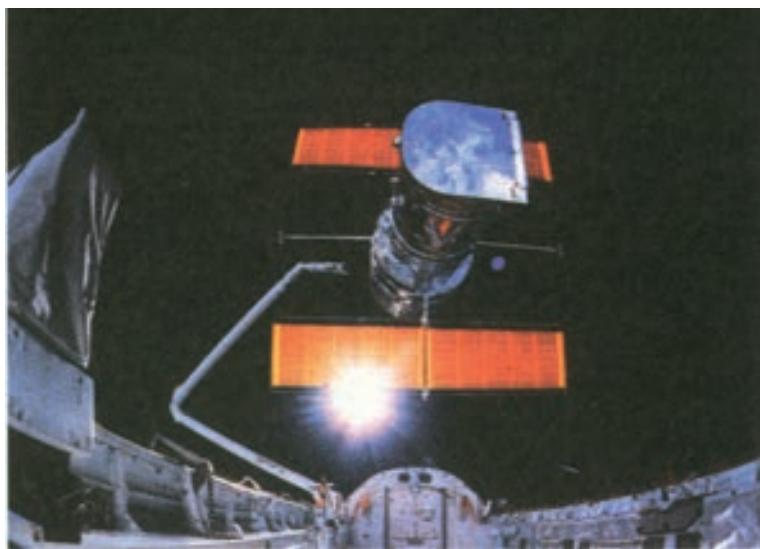
Ωστόσο, ακόμα και οι παρατηρήσεις που γίνονται με επίγεια οπικά τηλεσκόπια, επηρεάζονται σημαντικά από την ατμόσφαιρα. Η βασική αιτία αυτής της επίδρασης είναι η διαρκής και απρόβλεπτη μεταβολή της πυκνότητας των στρωμάτων του αέρα, μέσα από τα οποία διέρχεται η συλλεγόμενη ακτινοβολία.

Το αποτέλεσμα της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην παρατήρηση ενός ουράνιου αντικειμένου, είναι η συνεχής μετατόπιση του ειδώλου του και η αυξομείωση της λαμπρότητάς του.

Την τελευταία μπορούμε να την πιστοποιήσουμε και με γυμνό μάτι. Πρόκειται για το τρεμόσβητημα των αστέρων που παρατηρούμε, όταν κοιτάζουμε το νυχτερινό ουρανό.

Για να περιοριστούν αυτές οι ανεπιθύμητες παρεμβολές της ατμόσφαιρας στις αστρονομικές παρατηρήσεις, τα τηλεσκόπια εγκαθίστανται σε προσεκτικά επιλεγμένες τοποθεσίες. Επιλέγονται θέσεις σε μεγάλα υψόμετρα, με μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύκτας, με διαφανή ατμόσφαιρα, μικρή νέφωση και λίγους ανέμους.

Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων στις αστρονομικές παρατηρήσεις, που προέρχονται από την ατμόσφαιρα είναι η τοποθέτηση των τηλεσκοπίων έξω από αυτήν στο διάστημα. Πραγματικά, σήμερα υπάρχουν σε τροχιά γύρω από τη Γη τηλεσκόπια υπερύθρου, υπεριώδους, ακτίνων X και γ, καθώς και το γνωστό μας διαστημικό τηλεσκόπιο HST (εικ. 2.22).



**Εικόνα 2.22:** Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble. Στην εικόνα φαίνεται και μέρος του διαστημοπλοίου Discovery, με το οποίο μεταφέρθηκε και τέθηκε σε τροχιά γύρω από τη Γη.

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

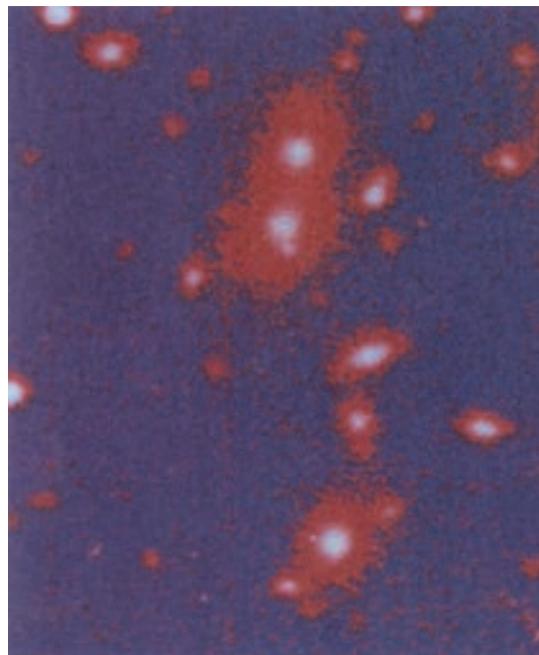
Η επεξεργασία των δεδομένων των αστρονομικών παρατηρήσεων γίνεται σήμερα με τη βοήθεια πλεκτρονικού υπολογιστή. Αυτό επιτυγχάνεται με την κωδικοποίηση των πληροφοριών που συλλέγονται από τα επίγεια ή τα τροχιακά τηλεσκόπια σε ψηφιακή (digital) μορφή.

Η μορφή αυτή προκύπτει κατευθείαν από τους πλεκτρονικούς ανιχνευτές ακτινοβολίας, όπως είναι οι μετρητές φωτονίων, οι φωτοβολταϊκές διατάξεις, τα στοιχεία συζευγμένου φορτίου CCDs (Charge Coupled Devices) κ.ά.

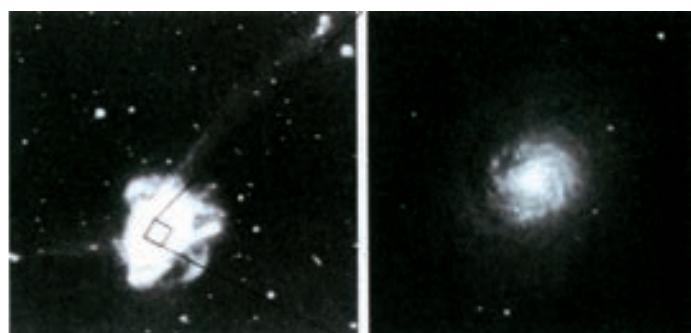
Η λογική των διατάξεων αυτών είναι η μετατροπή της λαμβανόμενης ακτινοβολίας σε αντίστοιχο πλεκτρικό σύμα. Το πλεκτρικό σύμα μετατρέπεται στη συνέχεια από τον υπολογιστή σε εικόνα.

Η εικόνα μορφοποιείται με διάφορους τρόπους. Μπορεί, για παράδειγμα, ο υπολογιστής να χρησιμοποιήσει ενδεικτικά χρώματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές της έντασης της αρχικής ακτινοβολίας (false-color map) (εικ. 2.21β και 2.23).

**Εικόνα 2.23:** Εικόνα μιας ομάδας γαλαξιών που έχει ληφθεί με CCD κάμερα. Τα χρώματα που φαίνονται έχουν προστεθεί κατά την επεξεργασία της εικόνας από τον Η/Υ. Το λευκό αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και το μπλε στην ελάχιστη.



**Εικόνα 2.24:** Σύγκρουση γαλαξιών: Εικόνα από επίγειο τηλεσκόπιο και μέρος της εικόνας, όπως καταγράφηκε από το HST. Λόγω της έλλειψης της παρεμβολής της ατμόσφαιρας, το HST μπορεί να αναλύσει αντικείμενα που φαίνονται συγκεκυμένα από τα επίγεια τηλεσκόπια.



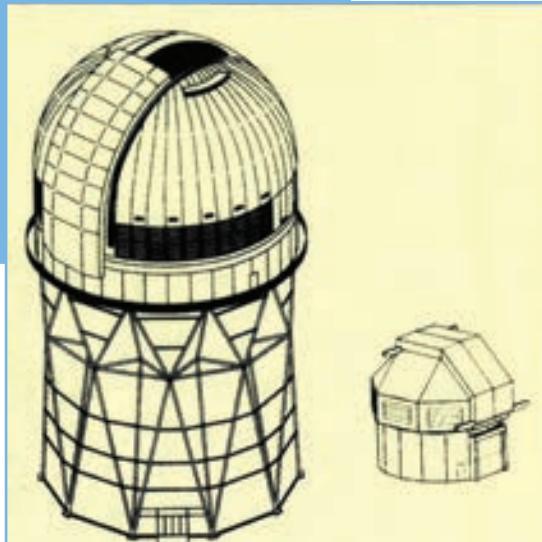
### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (CCDs)

Στα CCDs τα φωτόνια της ακτινοβολίας που έχει συλλέξει το τηλεσκόπιο προσπίπτουν πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένη επιφάνεια, που έχει χωριστεί σε μικρές περιοχές (pixels). Σε κάθε pixel ελευθερώνεται από τα φωτόνια ένας αριθμός πλεκτρονίων, ανάλογος προς τον αριθμό των φωτονίων που προσπίπτουν σε αυτό. Ακολουθεί μέτρηση και απομάκρυνση του φορτίου από κάθε pixel και καταχώριση των δεδομένων σε έναν υπολογιστή.

### ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΑ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ

Η δεκαετία του 1990 ήταν η εποχή που έδωσε μεγάλη ώθηση στην Αστρονομία με την κατασκευή και τοποθέτηση σε τροχιά του HST. Όμως και πολλά άλλα επίγεια τηλεσκόπια κατασκευάστηκαν με πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες από τα ήδη υπάρχοντα. Τα νέα αυτά τηλεσκόπια έχουν κάτοπτρα με διαμέτρους πολύ μεγαλύτερες, είναι ελαφρύτερα και μικρότερων διαστάσεων. Στην κατηγορία αυτή των τηλεσκοπίων ανήκουν, για παράδειγμα, τα δίδυμα τηλεσκόπια KeckI, KeckII (με διάμετρο 10 m) στην Χαβάη και το VLT στην Χιλή (τέσσερα τηλεσκόπια των 8 m το καθένα). Η διακριτική τους ικανότητα μπορεί να συγκριθεί με αυτή του HST.

**Σχήμα 2.25:** Σύγκριση των διαστάσεων ενός παλαιού τύπου θόλου αστεροσκοπείου με ένα θόλο αστεροσκοπείου νέας γενιάς.



### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ

Στα πλαίσια της Γεωμετρικής Οπτικής μελετάμε τα φαινόμενα της ανάκλασης και διάθλασης του φωτός χρησιμοποιώντας την έννοια **της φωτεινής ακτίνας**. Γενικά, ακτίνα ενός Η/Μ κύματος ορίζουμε κάθε διεύθυνση διάδοσης της ορμής και της ενέργειας του κύματος. Όταν το κύμα διαδίδεται μέσα σε ένα ομογενές και ισότροπο μέσο, οι ακτίνες είναι ευθείες γραμμές.

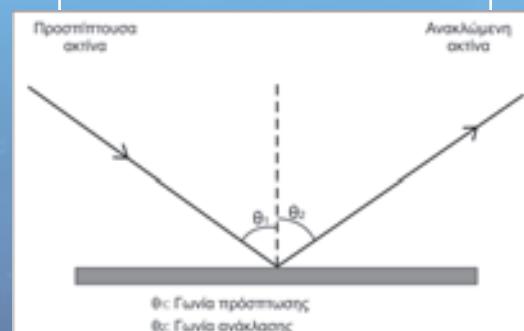
**ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ.** Μια ακτίνα φωτός που διαδίδεται στον αέρα προσπίπτει πάνω στη γυαλιστερή επιφάνεια ενός επαργυρωμένου μετάλλου. Τότε το φως αλλάζει απότομα διεύθυνση διάδοσης συνεχίζοντας να κινείται στον αέρα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκλαση.

Η διεύθυνση της ανακλώμενης ακτίνας δεν είναι τυχαία. Μπορεί να προβλεφτεί με βάση τους νόμους της ανάκλασης:

- 1) Η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα βρίσκονται πάνω σ' ένα επίπεδο που είναι κάθετο στην επιφάνεια ανάκλασης.

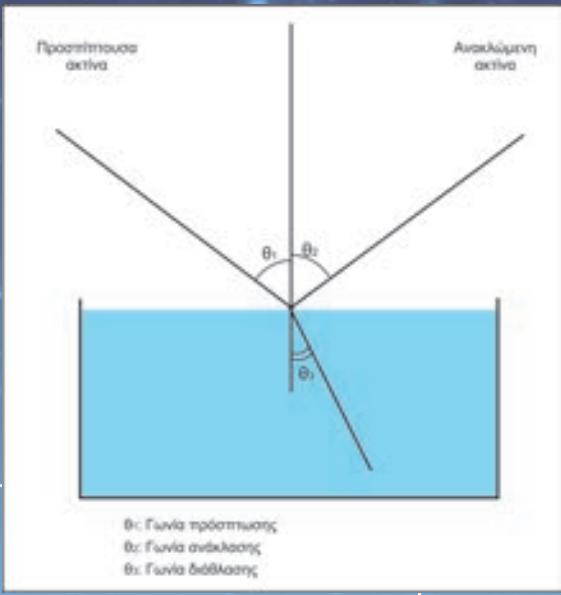
- 2) Οι γωνίες, που σχηματίζουν η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης είναι ίσες (σχ. 2.26):

$$\theta_1 = \theta_2$$



**Σχήμα 2.26**

**ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ.** Μια ακτίνα φωτός προσπίπτει πάνω στην επίπεδη επιφάνεια νερού που ισορροπεί μέσα σε ένα δοχείο. Τότε παρατηρούμε ότι σχηματίζονται δύο ακτίνες: Μια ανακλώμενη, σύμφωνα με τα όσα ήδη είπαμε για την ανάκλαση, και μια δεύτερη που διαδίδεται μέσα στο νερό (σχ. 2.27). Δηλαδή, ένα μέρος του φωτός που προ-



**Σχήμα 2.27**

σπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων -π.χ. αέρα και νερού- εισχωρεί από το ένα στο άλλο αλλάζοντας διεύθυνση διάδοσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάθλαση. Η διεύθυνση της διαθλώμενης ακτίνας ικανοποιεί τους νόμους της διάθλασης:

1) Η διαθλώμενη ακτίνα βρίσκεται πάνω στο ίδιο επίπεδο με την προσπίπτουσα και την ανακλώμενη.

2) Ο λόγος των ημιτόνων της γωνίας πρόσπτωσης και της γωνίας διάθλασης είναι σταθερός:

$$\eta \mu \theta_1 / \eta \mu \theta_3 = n_{A-N}$$

Η σταθερά  $n_{A-N}$  ονομάζεται σχετικός δείκτης διάθλασης του νερού ως προς τον αέρα. Εξαρτάται από τις ιδιότητες των δύο μέσων και από τη συχνότητα του προσπίπτοντος Η/Μ κύματος.

**ΚΑΤΟΠΤΡΑ - ΦΑΚΟΙ.** Στους νόμους της ανάκλασης και της διάθλασης στηρίζεται η κατασκευή των κατόπτρων και των φακών, αντίστοιχα. Το σχήμα και η υφή των επιφάνειών τους προσδιορίζει τις προδιαγραφές και τους σκοπούς της κατασκευής τους. Συνήθως είναι επιφάνειες συμμετρικές, κυρτές ή κοίλες. Θεωρητικά παράγονται κατά την περιστροφή μιας καμπύλης γύρω από τον άξονα συμμετρίας της, που ονομάζεται και «κύριος άξονας» του κατόπτρου ή

**Γωνία διάθλασης:** είναι η γωνία που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια.

του φακού. Έτσι έχουμε φακούς και κάτοπτρα επίπεδα, σφαιρικά, παραβολοειδή, ελλειψοειδή, υπερβολοειδή κ.ά.

Βασικό χαρακτηριστικό των κατόπτρων και των φακών είναι οι «κύριες εστίες» τους.

Κύρια εστία ενός κατόπτρου είναι το σημείο του κύριου άξονα στο οποίο συγκλίνουν οι ανακλώμενες ακτίνες -ή οι προεκτάσεις τους- που προέρχονται από προσπίπτουσα δέσμην παράλληλη στον κύριο άξονα του κατόπτρου. Αντίστοιχα, κύρια εστία ενός φακού είναι το σημείο του κύριου άξονα, στο οποίο συγκλίνουν οι ακτίνες -ή οι προεκτάσεις τους- φωτεινής δέσμης παράλληλη στον κύριο άξονα του φακού, μετά τη διέλευσή τους από αυτόν (βλ. σχήμα 2.28).

Τα πρωτεύοντα κάτοπτρα που χρησιμοποιούνται στα οπτικά τηλεσκόπια πρέπει να πληρούν δύο βασικές προϋποθέσεις:

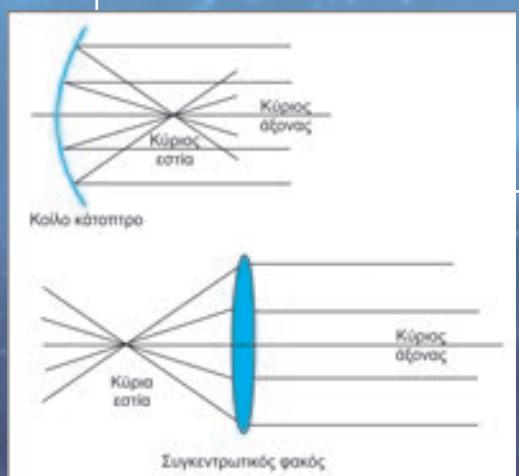
a) Να έχουν μεγάλη διάμετρο, ώστε να συλλέγουν όσο το δυνατόν περισσότερα φωτόνια.

b) Να εστιάζουν τις φωτεινές ακτίνες που εκπέμπονται από τους μακρινούς αστέρες σε μια σχεδόν σημειακή περιοχή.

Αποδεικνύεται ότι ένα παραβολοειδές κάτοπτρο με μεγάλη διάμετρο ικανοποιεί τις απαιτήσεις αυτές. Ωστόσο η κατασκευή του είναι εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή. Οι τεχνικές δυσκολίες και το κόστος της κατασκευής αυξάνονται θεαματικά με το μέγεθος του κατόπτρου.

**Παραβολοειδής επιφάνεια:** είναι η επιφάνεια που προκύπτει, αν περιστρέψουμε μια παραβολή γύρω από τον άξονα συμμετρίας της.

**Σχήμα 2.28**



## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Η ερμηνεία και κατανόηση των φυσικών φαινομένων γίνεται με τη βοήθεια θεωρητικών μοντέλων. Η κατασκευή των μοντέλων στηρίζεται πάνω σε κατάλληλες έννοιες και σχέσεις που απορρέουν από τη λογική και τα μαθηματικά. Η διαμόρφωση, ο έλεγχος και η εξέλιξη τους γίνεται μέσω της παρατήρησης και του πειράματος.
- Η επιβεβαίωση ή η διάψευση των θεωρητικών μοντέλων της Αστρονομίας γίνεται κυρίως μέσω των αστρονομικών παρατηρήσεων. Τα παρατηρησιακά δεδομένα αναδύονται από την επεξεργασία των ακτινοβολιών που φτάνουν στη Γη και συλλέγονται από τα τηλεσκόπια.
- Λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της, μας δημιουργείται η ψευδαίσθηση ότι όλα τα ουράνια σώματα διαγράφουν κύκλους γύρω από τον άξονα βορείου- νοτίου πόλου της ουράνιας σφαίρας.
- Το διάστημα που διανύουν στο χώρο οι απλανείς αστέρες μέσα σε μια ανθρώπινη ζωή είναι ασήμαντο σε σχέση με τις μεταξύ τους αποστάσεις. Γι' αυτό οι γωνιακές αποστάσεις μεταξύ των απλανών αστέρων φαίνονται αμετάβλητες από έναν επίγειο παρατηρητή. Έτσι, μπορούμε να παρατηρήσουμε στον ουρανό σταθερούς σχηματισμούς αστέρων, που τους ονομάζουμε αστερισμούς.
- Κάθε επίγειος παρατηρητής μπορεί να διαπιστώσει ότι οι πλανήτες, ο Ήλιος και ο Σελήνη κινούνται σε σχέση με τους απλανείς αστέρες.
- Η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, καθώς και το μέγιστο ύψος του Ήλιου μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης ως προς το επίπεδο της τροχιάς της.
- Ο Ήλιος φαίνεται από έναν επίγειο παρατηρητή ότι κινείται ως προς τους απλανείς αστέρες. Μέσα σε ένα έτος διαγράφει ένα μέγιστο κύκλο της ουράνιας σφαίρας, που ονομάζεται εκλειπτική. Η φαινόμενη αυτή κίνηση του Ήλιου οφείλεται στην κίνηση της Γης γύρω απ' αυτόν.
- Η συγκέντρωση φωτονίων, η διάκριση κοντινών αντικειμένων και η μεγέθυνση της εικόνας είναι οι βασικές λειτουργίες ενός τηλεσκοπίου. Εκτός από τα οπτικά τηλεσκόπια που λειτουργούν στην ορατή περιοχή του Η/Μ φάσματος, υπάρχουν και τηλεσκόπια που συλλέγουν ακτινοβολίες από τις μη ορατές περιοχές -ραδιοκύματα, υπέρυθρες, υπεριώδεις, ακτινοβολίες X και γ.
- Η ατμόσφαιρα της Γης προκαλεί σοβαρά προβλήματα στις αστρονομικές παρατηρήσεις που γίνονται από το έδαφος. Με τα τηλεσκόπια εξουδετερώθηκαν οι ατμοσφαιρικές παρεμβολές και άνοιξαν νέοι ορίζοντες για την αστρονομική παρατήρηση.
- Οι ψηφιακοί ανιχνευτές ακτινοβολίας και η επεξεργασία των παρατηρησιακών δεδομένων με τους Η/Υ έχουν αυξήσει σημαντικά τον όγκο και την ποιότητα των πληροφοριών που μπορούμε να αντλήσουμε σήμερα από τις αστρονομικές παρατηρήσεις.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ-ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου που χρησιμοποιεί: (α) η Φυσική, (β) η Αστρονομία, (γ) τα Μαθηματικά; Προσπάθησε να εντοπίσεις τις ομοιότητες και τις διαφορές τους.
2. Προσπάθησε να εξηγήσεις το βασικό επιχείρημα εναντίον του πλιοκεντρικού μοντέλου κατά την αρχαιότητα χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο σχήμα.
3. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της αστρονομικής παρατήρησης; Πώς γίνεται η επεξεργασία των παρατηρησιακών δεδομένων;
4. A) Το σύρμα ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία όταν:
  - α) φαίνεται ερυθρό.
  - β) φαίνεται ανοιχτό γαλάζιο.B) Μπορούμε να παρατηρήσουμε στον ουρανό αστέρες που φαίνονται ερυθρωποί και άλλους που φαίνονται φωτεινοί γαλάζιοι. Τι συμπέρασμα συνάγουμε για τη θερμοκρασία τους;  
Αιτιολόγησε τις απαντήσεις σου.
5. Σε ποια σημεία του ορίζοντα ανατέλλει και δύει ο Ήλιος κατά την εαρινή ισημερία;  
Πώς μετακινούνται τα σημεία της ανατολής και της δύσης στο χρονικό διάστημα μεταξύ της εαρινής ισημερίας και του θερινού πλιοστασίου;
6. Στις 22 Ιουνίου βρίσκεσαι ακριβώς στο βόρειο πόλο. Κάνε μια περιγραφή της ημερήσιας κίνησης του Ήλιου που θα παρατηρήσεις.
7. Βρίσκεσαι ακριβώς στο βόρειο πόλο και στερεώνεις σε σταθερό σημείο ένα εκκρεμές.
  - α) Αν το εκκρεμές ισορροπεί, ποιον αστέρα θα συναντήσει στην ουράνια σφαίρα η πρόεκταση του νήματός του;
  - β) Εκτρέπεις το εκκρεμές από τη θέση της ισορροπίας του και το αφήνεις ελεύθερο. Το σφαιρίδιο θα ταλαντωθεί πάνω σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Πώς θα κινηθεί το επίπεδο αυτό μέσα σε 24 ώρες  
β1) σε σχέση με το έδαφος.  
β2) σε σχέση με τους απλανείς αστέρες;Προσπάθησε να στηρίξεις την άποψή σου.
8. a) Γιατί επιδιώκεται να κατασκευάζονται τα τηλεσκόπια με όσο το δυνατό μεγαλύτερο πρωτεύον κάτοπτρο;  
β) Γιατί στην ανακλαστική επιφάνεια του πρωτεύοντος κατόπτρου ενός τηλεσκοπίου δίνεται σχήμα παραβολοειδές;  
γ) Ποιος είναι ο ρόλος του προσοφθάλμιου φακού;
9. Για ποιο λόγο τοποθετούνται τηλεσκόπιο σε τροχιά γύρω από τη Γη, παρά το μεγάλο τους κόστος;



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

«Και με τον Ήλιο, Κρόνος , Άρης, Γη, Αφροδίτη,  
σέρνονται, φεύγουν, τρέχουνε κυνηγημένοι  
προς τον Ήρακλή το μεγαλόκοσμο μαγνήτη...»

*Κωστής Παλαμάς, Ο έναστρος Ουρανός  
(Από την Ασάλευτη Ζωή)*



Από τη καθημερινή εμπειρία αλλά και από αστρονομικές παρατηρήσεις έχει βρεθεί ότι στο κοντινό Διάστημα υπάρχουν ουράνια σώματα που κινούνται κοντά στη Γη: Πλανήτες, δορυφόροι, κομήτες, μετέωρα και μετεωρίτες. Όμως:

- Τι γνωρίζουμε γι' αυτά;
- Πώς κινούνται;
- Από τι αποτελούνται;
- Πώς δημιουργήθηκαν;



Εικόνα 3.1: Η φωτογραφία δείχνει ένα κομήτη στο νυχτερινό ουρανό.

### 3.1 ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΜΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο Ήλιος είναι ένας κοινός αστέρας του Γαλαξία και βρίσκεται στο κέντρο του πλιακού συστήματος. Γύρω από αυτόν περιφέρονται:

- οι εννέα γνωστοί πλανήτες με τους δορυφόρους τους.
- οι αστεροειδείς ή μικροί πλανήτες που κινούνται ανάμεσα στον Άρη και το Δία.
- κομήτες (αγνώστου αριθμού).
- απειράριθμα μετέωρα και μεσοπλανητική ύλη.

Οι εννέα πλανήτες με τους δορυφόρους τους καθώς και οι αστεροειδείς περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο, ανάλογα με την απόστασή τους από αυτόν, με την εξής σειρά (σχ. 3.3): Ερμής, Αφροδίτη, Γη, Άρης, αστεροειδείς, Δίας, Κρόνος, Ουρανός, Ποσειδώνας και Πλούτωνας.

Οι πλανήτες διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: Ανάλογα με τη θέση τους ως προς τη Γη, σε **εσωτερικούς**, που είναι ο Ερμής και η Αφροδίτη, και σε **εξωτερικούς**, που είναι οι πέρα από τη Γη.

Ανάλογα με τη σύσταση και την πυκνότητά τους διακρίνονται, σε **γύνινους** πλανήτες, που είναι οι Ερμής, Αφροδίτη, Γη και Άρης, και σε **δίνιους** που είναι οι υπόλοιποι πλανήτες, εκτός από τον Πλούτωνα.

Οι περισσότεροι πλανήτες έχουν δορυφόρους οι οποίοι περιφέρονται γύρω από αυτούς, όπως ακριβώς οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.2, τους πιο πολλούς δορυφόρους έχει ο Κρόνος: μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί 22. Ωστόσο το πιο χαρακτηριστικό σύστημα πλανήτη - δορυφόρου είναι αυτό της Γης - Σελήνης. Λόγω του μεγέθους της Σελήνης σε σχέση με τη Γη, το σύστημα αυτό παρουσιάζει ξεχωριστό ενδιαφέρον και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα σύστημα διπλού πλανήτη.

Οι αστεροειδείς ή μικροί πλανήτες είναι σώματα διάφορων διαστάσεων που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε τροχιές ανάμεσα σ' αυτές του Άρη και του Δία.

Οι κομήτες είναι επίσης μικρά σώματα με ακαθόριστο σχήμα, των οποίων οι τροχιές περνούν πολύ κοντά από τον Ήλιο και κάνονται βαθιά μέσα στο διάστημα, συχνά πέρα από τον Πλούτωνα.

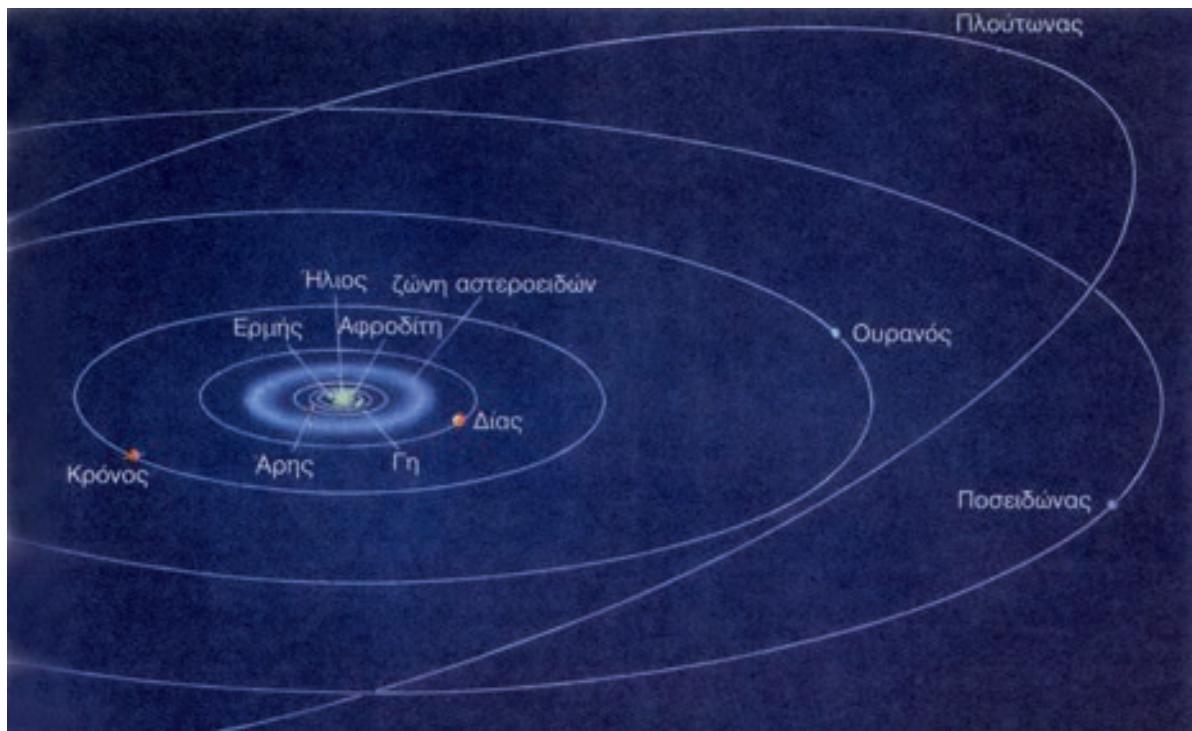
Ο χώρος ανάμεσα στους πλανήτες και τα άλλα μέλη του πλιακού συστήματος περιέχει ύλη, γνωστή ως μεσοπλανητική ύλη. Αυτή αποτελείται από στερεά σωμάτια, λεπτότατη σκόνη και πλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Ο Ήλιος σε σχέση με τους πλανήτες έχει τεράστιο μέγεθος. Η **μάζα** του, για παράδειγμα, είναι περίπου 740 φορές μεγαλύτερη από τη συνολική μάζα όλων των πλανητών μαζί. Ο πίνακας 3.5 δείχνει την κατανομή της μάζας των μελών του πλιακού συστήματος. Για να μετρηθούν οι τεράστιες αυτές μάζες, πολλές φορές συγκρίνονται με τη μάζα της Γης, η οποία στην περίπτωση

**Οι αρχαίοι Έλληνες ονόμαζαν πλανήτες τα επερόφωτα ουράνια σώματα που κινούνταν και άλλαζαν συνεχώς θέση ανάμεσα στα άλλα άστρα στον ουράνιο θόλο. Κατ' αυτούς πλανήτες ήταν ο Ήλιος, η Σελήνη, ο Ερμής, ο Αφροδίτη, ο Άρης, ο Δίας και ο Κρόνος. Ο Στοβαίος (γραμματικός του 5ου μ.Χ. αιώνα) γράφει σχετικά: Επτά πλανήτες αστέρες οδεύουσι τας τρίβους του θείου Ολύμπου και μετ' αυτών υφαίνεται η ανθρωπότης η Σελήνη η λάμπουσα την νύκτα ο πένθιμος Κρόνος, ο γλυκύς Ήλιος, η Παφία Αφροδίτη, προστάτης του Υμεναίου, ο θαρραλέος Άρης, ο γόνιμος Ερμής και ο Ζευς, εξ ου πάσα πνοή, πηγή αυτός πάσης φυσικής ζωής...**

**Πίνακας 3.2: Οι πλανήτες και οι δορυφόροι τους.**

Πλανήτες	Αριθμός δορυφόρων μέχρι σήμερα
Ερμής	0
Αφροδίτη	0
Γη	1
Άρης	2
Δίας	16
Κρόνος	22
Ουρανός	17
Ποσειδώνας	8
Πλούτωνας	1



**Σχήμα 3.3:** Σχηματική αναπαράσταση των τροχιών των πλανητών γύρω από τον Ήλιο. Βρίσκονται όλες σχεδόν στο ίδιο επίπεδο εκτός της τροχιάς του Πλούτωνα.

αυτί λαμβάνεται ως μονάδα μέτρησης. Έτσι, για παράδειγμα, η μάζα του Δία είναι 318 γήινες μάζες.

Οι αποστάσεις μέσα στο πλιακό σύστημα είναι πολύ μεγάλες για να μετρώνται με μονάδα μέτρησης το μέτρο και το χιλιόμετρο. Οι αστρονόμοι καθιέρωσαν ως μονάδα μέτρησης των αποστάσεων μέσα στο πλιακό σύστημα την Αστρονομική Μονάδα (A.U., Astronomical Unit), η οποία είναι ίση με τη μέση απόσταση Γης - Ήλιου και ισούται με 149.600.000 Km περίπου. Κατά προσέγγιση γράφουμε:

$$1 \text{ A.U.} = 150.000.000 \text{ Km}$$

Οι αποστάσεις όλων των πλανητών από τον Ήλιο παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4.

**Πίνακας 3.4:** Οι αποστάσεις των πλανητών από τον Ήλιο σε A.U.

Πλανήτες	Απόσταση από τον Ήλιο σε A.U.
Ερμής	0,39
Αφροδίτη	0,72
Γη	1,0
Άρης	1,5
Δίας	5,2
Κρόνος	9,5
Ουρανός	19,2
Ποσειδώνας	30,1
Πλούτωνας	39,5

## 3.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

### Η ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Από τους πλανήτες του πλιακού μας συστήματος παρατηρούνται με γυμνό μάτι από τη Γη μόνο ο Ερμής, ο Αφροδίτη, ο Άρης, ο Δίας και ο Κρόνος. Ο Ουρανός, ο Ποσειδώνας και ο Πλούτωνας παρατηρούνται μόνο με τη βοήθεια τηλεσκοπίου. Με γυμνό μάτι οι πλανήτες ξεχωρίζουν από τους αστέρες από το γεγονός ότι αλλάζουν θέσεις (πλανώνται) στην ουράνια σφαίρα σε σχέση με αυτούς. Οι πλανήτες ακολουθούν μια ιδιόμορφη τροχιά ανάμεσα στους αστέρες του ουρανού.

Ήλιος	99,85%
Πλανήτες	0,135%
Κομήτες	
Δορυφόροι	
Αστεροειδείς	0,015%
Μετέωρα - Μετεωρίτες	
Μεσοπλανητική ύλη	

**Πίνακας 3.5:** Η κατανομή της μάζας στο πλιακό σύστημα.

Στην Αστρονομία μονάδα μέτρησης των αποστάσεων είναι και το έτος φωτός (1 ε.φ.), που είναι η απόσταση που διανύει σε ένα έτος το φως με την ταχύτητα των 300.000 Km/sec. Ένα λεπτό φωτός είναι η απόσταση που διανύει το φως σε 1 min. Μπορείτε με βάση αυτή τη μονάδα να βρείτε τις αποστάσεις των πλανητών από τον Ήλιο (σε ε.φ.):



Σχήμα 3.6: Η φαινόμενη κίνηση του Ήρων.

Πλανήτες	διάρκεια βρόχου (ημέρες)	χρόνος μεταξύ διαδοχικών εμφανίσεων βρόχων (ημέρες)
Ερμής	34	116
Αφροδίτη	43	584
Άρης	83	780
Δίας	118	399
Ουρανός	139	378

Αν παρατηρήσουμε τον Άρη κάθε νύχτα για μερικούς μήνες την εποχή που αυτός φαίνεται πιο λαμπρός, θα διαπιστώσουμε τα εξής: Στην αρχή κινείται αργά προς ανατολάς, μέσα στο ζωδιακό κύκλο και κοντά στην εκλειπτική. Αργότερα η ταχύτητά του ελαττώνεται και ο πλανήτης μοιάζει να σταματά για λίγο. Μετά, και για τρεις μήνες, αρχίζει να κινείται προς δυσμάς. Σιγά σιγά η ταχύτητα της προς δυσμάς κίνησή του μειώνεται και φαίνεται να σταματά για λίγο. Μετά ξαναρχίζει πάλι να κινείται προς ανατολάς (σχ. 3.6).

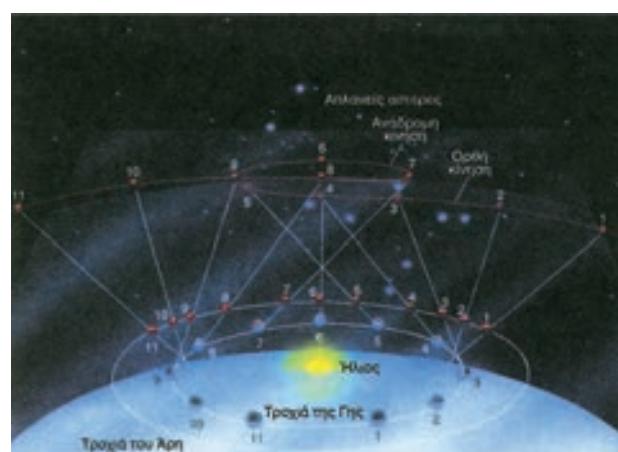
Η κίνηση λοιπόν του Ήρων για την περίοδο αυτή βλέπουμε να δημιουργεί έναν βρόχο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Όλοι οι πλανήτες δημιουργούν τέτοιους βρόχους κατά την κίνησή τους κοντά στην εκλειπτική, δεν έχουν όμως όλοι την ίδια διάρκεια (πίνακας 3.7).

Η κίνηση αυτή των πλανητών, όπως την παρατηρεί ο επίγειος παρατηρητής, ονομάζεται **φαινόμενη κίνηση του πλανήτη** και οφείλεται στο συνδυασμό της κίνησης του πλανήτη και της Γης γύρω από τον Ήλιο. Η εξήγηση της κίνησης αυτής δίνεται στο σχήμα 3.8.

### ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Κατά την περιφορά του γύρω από τον Ήλιο ένας εσωτερικός πλανήτης δείχνει προς τη Γη άλλοτε ολόκληρο (γεμάτο) το φωτιζόμενο δίσκο του, άλλοτε ένα μέρος του και άλλοτε χάνεται τελείως.

Είσι ο πλανήτης παρουσιάζεται στον επίγειο παρατηρητή σε διάφορες φάσεις, όπως ακριβώς και η Σελήνη. Στο σχήμα 3.9 παρουσιάζονται οι διάφορες φάσεις της Αφροδίτης κατά την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο καθώς και η εξήγησή τους.



Σχήμα 3.8: Η εξήγηση της φαινόμενης κίνησης των πλανητών. Η Γη και ο Άρης, καθώς κινούνται γύρω από τον Ήλιο, βρίσκονται κάθε χρονική στιγμή σε διαφορετικές σχετικές θέσεις. Π.χ. στις θέσεις 1,2,3 κτλ. Η προβολή κάθε φορά της θέσης του Άρη στον ουρανό δημιουργεί στον επίγειο παρατηρητή τη φαινόμενη κίνησή του.



**Σχήμα 3.9:** Η εξήγηση των φάσεων της Αφροδίτης: Ο παραπροπτής ανάλογα με τη θέση του ως προς την Αφροδίτη βλέπει ή ολόκληρο το φωτιζόμενο δίσκο της ή ένα μέρος του ή δεν το βλέπει καθόλου.

### 3.3 ΟΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, η φαινόμενη κίνηση κάθε πλανήτη παρουσιάζει ιδιομορφίες (βρόχους), που αρχικά εξηγήθηκαν με τη βοήθεια του Πτολεμαϊκού μοντέλου. Ωστόσο η αδυναμία του μοντέλου αυτού να εξηγήσει τις κινήσεις όλων των πλανητών και κυρίως του Ερμή, έστρεψε την προσοχή των παραπροπτών προς την ιδέα του πλιοκεντρικού συστήματος. Η ιδέα αυτή, ότι, δηλαδή, ο Ήλιος κατέχει το κέντρο των τροχιών όλων των πλανητών, είχε προταθεί από τους αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους και κυρίως από τον Αρίσταρχο το Σάμιο (310-250 π.Χ.). Περίου 1.800 χρόνια μετά τον Αρίσταρχο η ίδια ιδέα επανήλθε στο προσκήνιο από τον Πολωνό αστρονόμο Νικόλαο Κοπέρνικο.

Η εξέλιξη ήταν γρήγορη. Ο Δανός αστρονόμος Τύχο Μπραχέ παρατίρησε και κατέγραψε συστηματικά τις κινήσεις των πλανητών για περισσότερα από 20 χρόνια. Ο Γιόχαν Κέπλερ (1571-1630) μελέτησε τα δεδομένα των παραπροπτών αυτών και διατύπωσε τους τρεις περίφημους νόμους του.

#### ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΚΕΠΛΕΡ

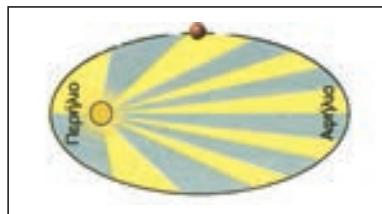
##### Πρώτος νόμος:

Οι τροχιές των πλανητών είναι ελλείψεις, στη μια εστία των οποίων βρίσκεται ο Ήλιος.



##### Δεύτερος νόμος:

Η ακτίνα που συνδέει τον Ήλιο με τον πλανήτη κατά την κίνησή του γύρω απ' αυτόν διαγράφει σε ίσους χρόνους επιφάνειες με ίσα εμβαδά.



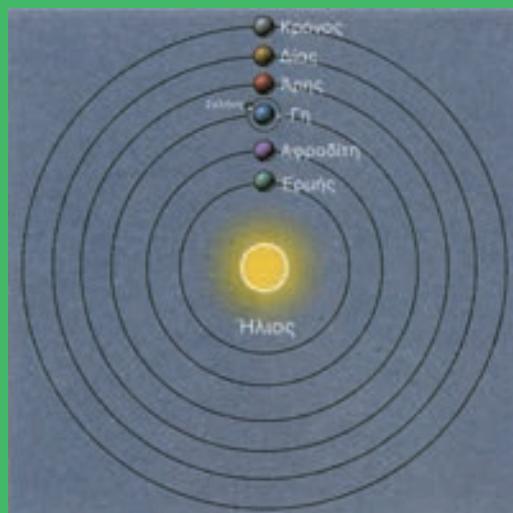
Η προς ανατολάς κίνηση των πλανητών ονομάζεται **ορθή**, ενώ η προς δυσμάς ονομάζεται **ανάδρομη**.

Ο Ήλιος και η Σελήνη κινούνται πάντοτε προς ανατολάς.

Η προσπάθεια να ερμηνευτεί στο πλαίσιο του γεωκεντρικού συστήματος από τους αρχαίους Έλληνες αστρονόμους το φαινόμενο των βρόχων κατά την κίνηση των πλανητών κορυφώθηκε με τη δημοσίευση από τον Κλαύδιο Πτολεμαίο (2ο αιώνας μ.Χ.) του βιβλίου του «Μεγάλη Μαθηματική Σύνταξη», γνωστή ως Μεγίστη. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό (σχ. 3.10), γνωστό ως Πτολεμαϊκό, οι πλανήτες κάνουν δύο κινήσεις. Διαγράφουν κυκλικές τροχιές, τους **επίκυκλους**, τα κέντρα των οποίων κινούνται σε κυκλικές τροχιές γύρω από τη Γη. Το Πτολεμαϊκό μοντέλο επικράτησε για πολλούς αιώνες.



**Σχήμα 3.10:** Το Πτολεμαϊκό μοντέλο: Η Γη είναι ακίνητη στο κέντρο του Σύμπαντος. Οι πλανήτες και ο Ήλιος κινούνται γύρω από αυτήν σε κυκλικές τροχιές και ταυτόχρονα καθένας τους κινείται σε ένα κύκλο, τον επίκυκλο.



**Σχήμα 3.11: Το Κοπερνίκειο σύστημα.**

Ο Ήλιος είναι στο κέντρο του κόσμου.

Όλοι οι πλανήτες (6 τον αριθμό) περιφέρονται σε κυκλικές τροχιές γύρω από αυτόν. Εξαιρεστικά αποτελεί η Σελήνη που περιφέρεται γύρω από τη Γη. Η απόσταση της Γης από τους αστέρες είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της Γης από τον Ήλιο.



Γιόχαν Κέπλερ (1571-1630)

### Τρίτος νόμος:

Ο λόγος του τετραγώνου του χρόνου περιφοράς ενός πλανήτη γύρω από τον Ήλιο προς τον κύβο του μεγάλου ημιάξονα της τροχιάς του (μέσον ακτίνα) είναι σταθερός.<sup>1</sup>

$$\frac{T^2}{A^3} = \text{σταθερό}$$

T= χρόνος περιφοράς

A = μήκος του μεγάλου ημιάξονα της τροχιάς

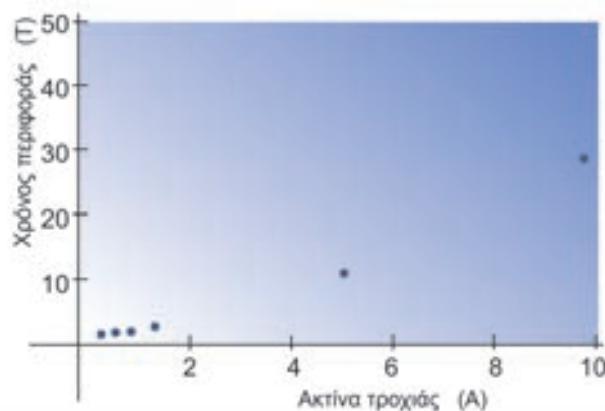
Οι νόμοι του Κέπλερ παρ' ότι προσδιορίστηκαν εμπειρικά, έδωσαν απάντηση στα ερωτήματα για τις κινήσεις των πλανητών. Όμως η διατύπωση των νόμων αυτών γέννησε καινούργια ερωτήματα:

- Γιατί οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο και μάλιστα σε ελλειπτικές τροχιές;
- Γιατί η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη και όχι γύρω από τον Ήλιο;
- Γιατί ισχύουν οι νόμοι του Κέπλερ;

Την ίδια εποχή περίπου που ο Κέπλερ διατυπώνει τους νόμους του κάνει την εμφάνισή του το τηλεσκόπιο. Ο Γαλιλαίος (1564-1642) παρατηρώντας το Δία τη νύκτα της 7ης Ιανουαρίου του 1610 ανακαλύπτει τέσσερις από τους δορυφόρους του. Ο Κέπλερ αντιλαμβάνεται ότι πρόκειται για μικρογραφία του πλιακού συστήματος, η οποία επαληθεύεται τους νόμους του και κυρίως τον τρίτο. Αυτή είναι μια πρώτη επιβεβαίωση των ισχυρισμών του.

Η πλήρης εξήγηση των τριών νόμων του Κέπλερ έρχεται αργότερα από το Νεύτωνα (1642-1727). Το 1687 στο κλασικό του βιβλίο Principia (Οι Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας)

**Σχήμα 3.12: Γραφική παράσταση των σημείων (A,T) του πίνακα για 3ο νόμο του Κέπλερ. Έτσι επιβεβαιώνεται ότι αυτά επαληθεύουν το νόμο αυτό.**



<sup>1</sup> Μια άλλη έκφραση του 3ου νόμου του Κέπλερ δίνεται από τη σχέση  $\frac{4\pi^2 A^3}{T^2} = G(M_H + M_{Pl})$  όπου  $M_H$  είναι ο μάζα του Ήλιου,  $M_{Pl}$  η μάζα του πλανήτη,  $G$  η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας και  $\pi=3,14159....$

Θέτει τα θεμέλια της Νευτώνειας μηχανικής, διατυπώνοντας τους τρεις νόμους για τις κινήσεις των σωμάτων καθώς και το νόμο της παγκόσμιας έλξης (βαρύτητας).

Οι νόμοι του Κέπλερ αποκτούν τώρα θεωρητική βάση και πλέον εξηγούνται με τους νόμους της Μηχανικής.

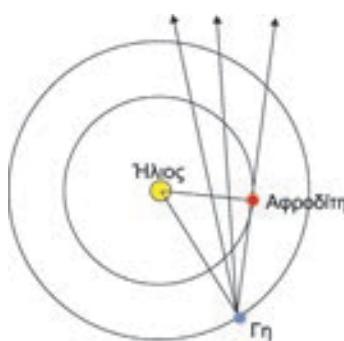
### ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΟΠΕΡΝΙΚΟ ΣΤΟΝ ΚΕΠΛΕΡ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΝΕΥΤΩΝΑ

Ένα σημαντικό πρόβλημα που απασχολούσε τους αρχαίους Έλληνες αστρονόμους και αυτούς της Αλεξανδρινής περιόδου [Αρίσταρχο το Σάμιο (310-250 π.Χ.), Ερατοσθένη τον Κυρηναίο (275-194 π.Χ.), Ιππαρχο (190- 120 π.Χ.) κ.ά.] ήταν η μέτρηση των αποστάσεων και γενικότερα των διαστάσεων των μελών του πλιακού συστήματος. Τελικά ο υπολογισμός των αποστάσεων των πλανητών από τον Ήλιο έγινε δυνατός, όταν διατυπώθηκε από τον Κοπέρνικο (1473-1543 μ.Χ.) η θεωρία του για τις τροχιές των πλανητών. Σύμφωνα με αυτήν, ο Ήλιος κατέχει το κέντρο του πλιακού συστήματος και οι πλανήτες κινούνται γύρω απ' αυτόν σε κυκλικές τροχιές. Έτσι άρχισε ο υπολογισμός των ακτίνων των τροχιών των πλανητών.

Ο ίδιος ο Κοπέρνικος υπολόγισε το λόγο της ακτίνας της τροχιάς της Γης προς την ακτίνα της τροχιάς της Αφροδίτης, βασιζόμενος στην παρατήρηση ότι η τροχιά της Αφροδίτης βρίσκεται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο με την τροχιά της Γης και, όταν την παρα-

τηρούμε από τη Γη, φαίνεται απλώς να κινείται μπροστά - πίσω σε σχέση με τον Ήλιο. Η Αφροδίτη εμφανίζεται στην ανατολή πριν από τον Ήλιο με μέγιστη αποχή  $46^\circ$  ή στη δύση μετά από αυτόν, επίσης με μέγιστη αποχή  $46^\circ$ . Χρησιμοποιώντας την Τριγωνομετρία υπολόγισε ότι:

$$\eta \mu 46^\circ = \frac{R_A}{R_\Gamma} = 0,72$$



*Η γωνία  $\Gamma$  - Ήλιος - Αφροδίτη ονομάζεται αποχή της Αφροδίτης*

όπου  $R_A$ ,  $R_\Gamma$  οι ακτίνες τροχιάς της Αφροδίτης και της Γης, αντίστοιχα.

Έτσι, υπολόγισε ότι η ακτίνα της τροχιάς της Αφροδίτης πρέπει να είναι το 72% της ακτίνας της τροχιάς της Γης. Γνωρίζοντας το μήκος της ακτίνας της τροχιάς της Γης, οπως

την είχαν εκτιμήσει οι αρχαίοι Έλληνες (Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος είχε υπολογίσει την απόσταση Γη- Ήλιου κατά 20 φορές μικρότερη από την πραγματική), υπολόγισε το μήκος της ακτίνας της τροχιάς της Αφροδίτης. Ανάλογα υπολόγισε και τις ακτίνες των τροχιών των άλλων πλανητών. Βασιζόμενος στους υπολογισμούς του και στην παραδοχή ότι οι τροχιές των πλανητών είναι κυκλικές, προσπάθησε να προβλέψει τη θέση τους στις επόμενες χρονικές στιγμές. Αυτό όμως δεν έγινε δυνατό και έτσι αποφάσισε να τροποποιήσει το μοντέλο του, ώστε να πετύχει μια καλύτερη συμφωνία μεταξύ των παρατηρήσεων και των υπολογισμών του. Δεν τα κατάφερε και αυτή η ασυμφωνία έκανε πολλούς να αμφισβητήσουν τη θεωρία του.

Αντίθετα με τον Κοπέρνικο, ο Τύχο Μπραχέ άρχισε να παρατηρεί (χωρίς τηλεσκόπιο) συστηματικά τις θέσεις όλων των πλανητών (τότε ήταν μόνο πέντε γνωστοί) και να τηρεί ένα αρχείο των παρατηρήσεών του, με σκοπό να προσδιορίσει το μοντέλο του πλιακού συστήματος. Κατέγραψε τις θέσεις τους για είκοσι και πλέον χρόνια και με ακρίβεια μεγαλύτερη του  $1/60$  της μοίρας. Έτσι, οποιαδήποτε θεωρία για το πλιακό σύστημα, για να γίνει αποδεκτή, έπρεπε να συμφωνεί με αυτές τις παρατηρήσεις. Αυτές οι παρατηρήσεις αποτέλεσαν τη βάση

*Ο παρακάτω πίνακας επιβεβαιώνει τον τρίτο νόμο του Κέπλερ.*

Πλανήτης	Ακτίνα τροχιάς $A$ (Μονάδα μέτρησης ή ακτίνα τροχιάς της Γης)	Χρόνος περιφοράς $T$ (Μονάδα μέτρησης το έτος της Γης)	$A^3$	$T^2$	$\frac{T^2}{A^3}$
Ερμής	0,39	0,24	0,059	0,058	0,98
Αφροδίτη	0,72	0,62	0,37	0,384	1,03
Γη	1,00	1,00	1,00	1,000	1
Άρης	1,52	1,88	3,51	3,534	1,006
Δίας	5,20	11,86	140,6	140,66	1
Κρόνος	9,54	29,46	868,2	867,89	0,999

των ερευνών του Κέπλερ, που ήταν μαθητής και συνεργάτης του Μπραχέ.

Ο Κέπλερ μελετώντας τα στοιχεία της τροχιάς του Άρη προσπάθησε να τα επαληθεύσει, υποθέτοντας ότι η τροχιά του είναι κυκλική με κέντρο διαφορετικό από αυτό του Ήλιου. Διαπιστώνοντας ότι δεν υπήρχε συμφωνία, σχεδίασε σημείο προς σημείο της θέσεις του Άρη και διαπίστωσε το «*ωοειδές*» σχήμα της τροχιάς του. Πέρασαν αρκετά χρόνια για να καταλάβει ότι αυτό το σχήμα ήταν έλλειψη, με τον Ήλιο στη μία εστία της. Δοκιμάζοντας αυτήν την ιδέα και στους άλλους πλανήτες, κατέληξε στον **πρώτο νόμο**. Χρησιμοποιώντας το σχέδιο της τροχιάς του Άρη και τα σημεία που αντιστοιχούσαν σε ίσα χρονικά διαστήματα, διαπίστωσε ότι ο πλανήτης δεν κινείται πάντοτε με την ίδια ταχύτητα. Αναζητώντας μια σταθερή σχέση σε αυτή την ακανόνιστη κίνηση, κατέληξε στη διατύπωση του **δεύτερου νόμου**. Παρατηρώντας προσεκτικά τα στοιχεία των παρατηρήσεων του Μπραχέ είχε να λύσει ένα ακόμα μυστήριο, τη σχέση ανάμεσα στο χρόνο της περιφοράς του πλανήτη γύρω από τον Ήλιο και στην ακτίνα της τροχιάς του. Κατασκευάζοντας έναν πίνακα με τις ακτίνες των τροχιών των πλανητών και τον χρόνο περιφοράς τους, κατέληξε στη διατύπωση του **τρίτου νόμου**.

Ο Γαλιλαίος (1564 - 1642) έχοντας στα χέρια του, για πρώτη φορά στην ιστορία της επιστήμης, ένα μικρό τηλεσκόπιο, που έδειχνε τα αντικείμενα μόλις τρεις φορές μεγαλύτερα, το έστρεψε στον ουρανό. Βλέπει για πρώτη φορά τους πλανήτες σαν φωτεινούς δίσκους. Τα αστέρια παραμένουν φωτεινά σημεία, αλλά είναι πολύ περισσότερα και πιο μακριά το ένα από το άλλο. Παρατηρεί ανωμαλίες στην επιφάνεια της Σελήνης και κηλίδες στην, κατά τα άλλα, τέλεια επιφάνεια του Ήλιου. Παρατηρεί τις φάσεις της Αφροδίτης και διαπιστώνει ότι αυτές ταιριάζουν καλύτερα στο μοντέλο του Κοπέρνικου, παρά σε αυτό του Πτολεμαίου, αρκεί να θεωρηθεί ότι η τροχιά της βρίσκεται στο εσωτερικό της τροχιάς της Γης. Η ανακάλυψη των τεσσάρων δορυφόρων του Δία τον ενθουσιάζει και γράφει σχετικά μ' αυτό στον Κέπλερ: «*Μπορώ να αποδείξω ότι είναι ευκολότερο να εξηγήσεις τη φαινόμενη κίνηση του Ήλιου, της Σελήνης και των πλανητών με την Κοπερνίκεια υπόθεση, απ' ότι με τη θεωρία του*

*Πτολεμαίου. Οι δορυφόροι του Δία, ο δακτύλιος του Κρόνου, το δρεπάνι της Αφροδίτης και πολλά άλλα φαινόμενα που ανακάλυψα ενισχύουν τη θεωρία του Κοπέρνικου*» (Alfred Renyi, διάλογοι για τα Μαθηματικά). Τα βιβλία του «*Διάλογοι για τα δύο παγκόσμια συστήματα*» (1661) και «*Ομιλίες που αφορούν δυο νέες επιστήμες*» (1662-1665) ανοίγουν το δρόμο στο Νεύτωνα να διατυπώσει τη θεωρία του για τις κινήσεις των σωμάτων και την παγκόσμια έλεγχο.

«Γιατί τα μήλα πέφτουν στο έδαφος;» «Γιατί ο Σελήνης δεν πέφτει στη Γη;» «Γιατί κινούνται τα αντικείμενα;» Στα ερωτήματα αυτά προσπάθησαν πολλοί ερευνητές να δώσουν απάντηση. Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι (1452-1519), ο Κοπέρνικος, ο Τύχο Μπραχέ, ο Κέπλερ, ο Γαλιλαίος, ο Καρτέσιος (1596-1650) είναι μερικοί από αυτούς. Όλοι συνεισέφεραν, άλλοι με τις παρατηρήσεις τους, άλλοι με τις εκτιμήσεις τους και τις υποθέσεις τους. Την οριστική και πλήρη απάντηση, το τέλος αυτής της περιπέτειας και την αρχή μίας νέας εποχής έδωσε ο Νεύτωνας με το βιβλίο του «*Οι Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας*», που δημοσίευσε το 1687. Εκεί διατυπώνει τους τρεις νόμους του για τις κινήσεις καθώς και το νόμο της παγκόσμιας έλεγχος.

## ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

### 1ος νόμος:

Κάθε σώμα, στο οποίο δεν ασκείται καμία δύναμη ή η συνισταμένη όλων των δυνάμεων είναι μηδέν, παραμένει ακίνητο ή κινείται με σταθερή ταχύτητα.

### 2ος νόμος:

Κάθε σώμα στο οποίο ασκείται μία εξωτερική δύναμη Φ αποκτά επιτάχυνση  $\alpha$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$$

### 3ος νόμος:

Όταν δύο σώματα αλληλεπιδρούν χωρίς στο σύστημά τους να ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις, η δύναμη που ασκείται από το πρώτο στο δεύτερο είναι αντίθετη προς τη δύναμη που ασκείται από το δεύτερο στο πρώτο.

### Ο νόμος της παγκόσμιας έλεγχος:

Κάθε σώμα έλκει κάθε άλλο με μια δύναμη που έχει τη διεύθυνση της ευθείας που διέρχεται από τα κέντρα των δύο σωμάτων, είναι ανάλογη προς το γινόμενο των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασής τους.

$$\mathbf{F} = G \frac{\mathbf{m}_1 \mathbf{m}_2}{r^2}$$

όπου  $G$  η παγκόσμια σταθερά της βαρύτητας:

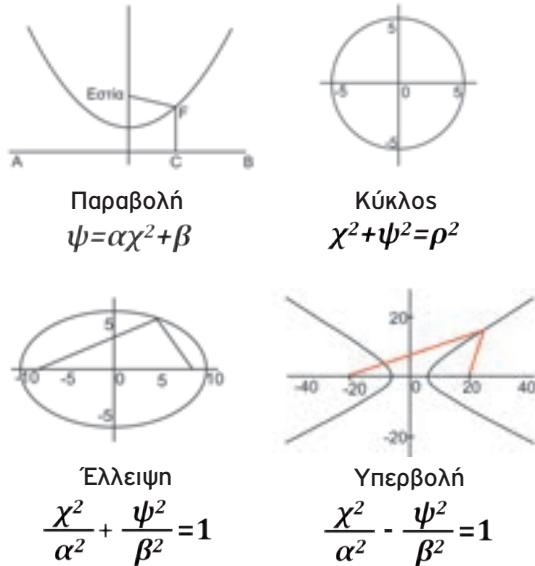
$$G=6,67 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

### ΟΙ ΚΩΝΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ

Η έλλειψη που, όπως είδαμε, είναι η τροχιά της κίνησης κάθε πλανήτη γύρω από τον Ήλιο, είναι μια από τις τέσσερις κωνικές τομές. Οι άλλες είναι ο κύκλος, η παραβολή και η υπερβολή.

Οι κωνικές τομές διότι προκύπτουν από την ίδια σχήματα της παραβολής, της έλλειψης και της υπερβολής καθώς και οι αναλυτικές εξισώσεις τους είναι τα εξής:

Όσον αφορά την έλλειψη που είναι η τροχιά των πλανητών, ισχύουν τα εξής:

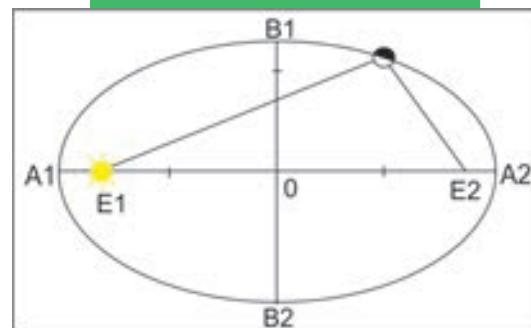


Η απόσταση  $A_1A_2=2a$  ονομάζεται μεγάλος άξονας και η απόσταση  $B_1B_2=2b$  μικρός άξονας. Η απόσταση  $E_1E_2=2c$  των δύο εστιών ονομάζεται εστιακή απόσταση. Επίσης ένα χαρακτηριστικό μέγεθος της έλλειψης είναι η εκκεντρότητα,

$$\epsilon = \frac{c}{a}$$

που δηλώνει πόσο αυτή προσεγγίζει τον κύκλο.

Στην περίπτωση που η εστία της έλλειψης είναι ο Ήλιος, το πλησιέστερο σημείο προς αυτόν, το  $A_1$  ονομάζεται περιήλιο και το πιο απομακρυσμένο, το  $A_2$  ονομάζεται αφήλιο. Η απόσταση του περιηλίου είναι:  $A_1E_1=a - \epsilon = a - ae = a(1-\epsilon)$ , ενώ του αφηλίου  $A_2E_1=a(1+\epsilon)$ .



### 3.4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΗ - ΣΕΛΗΝΗ

Το σύστημα Γη - Σελήνη ήταν ανέκαθεν το κεντρικό σημείο στη μελέτη των φαινομένων του διαστήματος. Ως ένα δυναμικό σύστημα, που κινείται γύρω από τον Ήλιο κάτω από την επίδραση δυνάμεων της βαρύτητας, παρουσίαζε και εξακολουθεί να παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Φαινόμενα, όπως οι φάσεις της Σελήνης, οι εκλείψεις, οι παλίρροιες κ.ά., οφείλονται σ' αυτό ακριβώς το σύστημα. Η μελέτη του θα μας επιτρέψει να κατανοήσουμε καλύτερα τα φαινόμενα του ουρανού.

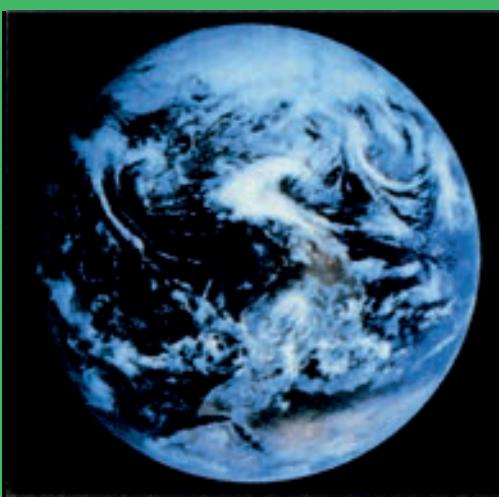
### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

Πολλοί επιστημονικοί κλάδοι, όπως η Γεωλογία, η Μετεωρολογία, η Σεισμολογία, η Ωκεανογραφία, ασχολούνται ο καθένας



**Εικόνα 3.13:** Η Γη και η Σελήνη, όπως φωτογραφήθηκαν από το διαστημόπλοιο Γαλιλαίος στις 16-12-1990 από απόσταση 2,6 εκατομμύρια χιλιόμετρα.

Το όνομα Γη προέρχεται από το αρχαϊκό Γέα (Γαία) και έλκει την καταγωγή του από τους μύθους των αρχαίων Ελλήνων για την καταγωγή του κόσμου. Λέγει ο Ήσιόδος στη «Θεογονία»: «Πριν από κάθε άλλο ήταν το Χάος. Ύστερα δε από αυτό η Γαία η ευρύστερνος, αιώνιον και ακλόνητον στήριγμα παντός πράγματος, και ο Έρως, ο πλέον ωραίος από τους αθάνατους, που ευφραίνει με την γλυκύπτα του και τους θεούς και τους ανθρώπους».



**Εικόνα 3.14:** Η Γη είναι πεπλατυσμένη στους πόλους και εξογκωμένη στον ισημερινό. Για την ακρίβεια, η διάμετρος της στον ισημερινό είναι περίπου 12.756 Km, ενώ στους πόλους περίπου 12.714 Km.

και με ένα ιδιαίτερο αντικείμενο που αφορά τη Γη και τη ζωή πάνω σε αυτή.

Για την Αστρονομία το ενδιαφέρον εστιάζεται στα καθαρά φυσικά χαρακτηριστικά της Γης, όπως στο μέγεθός της, στο σχήμα της, στη δομή της, στην αιμόσφαιρά της, στις κινήσεις της και σε όσα άλλα στοιχεία χαρακτηρίζουν έναν πλανήτη. Η γνώση τους θα βοηθήσει, εκτός των άλλων, να μελετήσουμε καλύτερα και τους υπόλοιπους πλανήτες του πλιακού μας συστήματος.

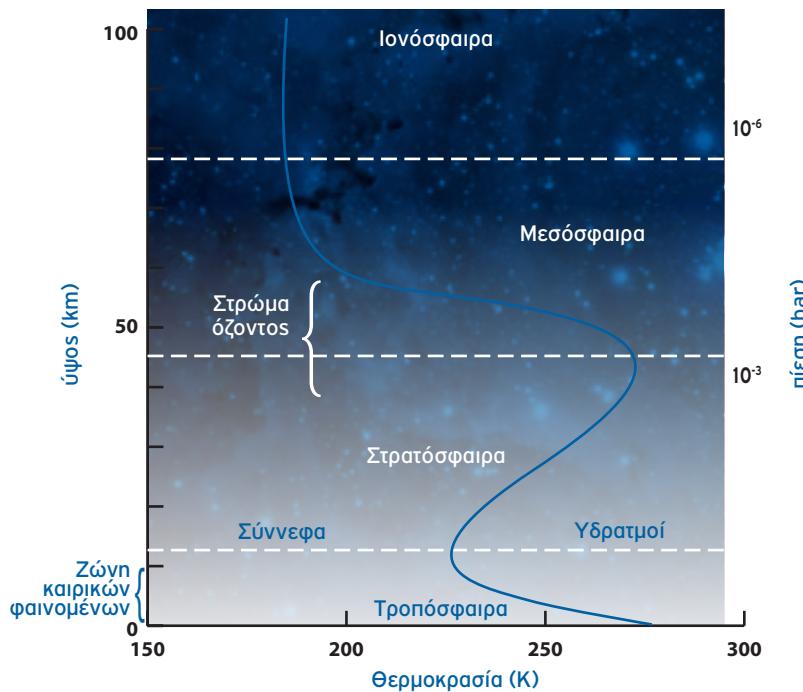
Η Γη είναι ο τρίτος στη σειρά πλανήτης του πλιακού μας συστήματος και ο πέμπτος σε μέγεθος. Η μέση απόστασή της από τον Ήλιο είναι 149.600.000 Km.

**Η Γη κινείται**, αφού συμμετέχει στην κίνηση του πλιακού μας συστήματος προς τον αστερισμό του Ήρακλή, καθώς και στην κίνηση του Γαλαξία μας προς τον αστερισμό του Λέοντος. Επίσης περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτική τροχιά και συμπληρώνει μια πλήρη περιφορά σε 365,256 ημέρες (ένα έτος). Τέλος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και συμπληρώνει μια περιστροφή σε 23,93 ώρες.

Το σχήμα της Γης δεν είναι σφαιρικό. Εξαιτίας της περιστροφής γύρω από τον άξονά της, έχει σχήμα πεπλατυσμένο στους πόλους και εξογκωμένο στον ισημερινό. Το σχήμα αυτό ονομάζεται γεωειδές εκ περιστροφής (εικ. 3.14).

Η ακτίνα της στον Ισημερινό είναι 6.378 Km.

Η μάζα της Γης είναι  $5,97 \times 10^{24}$  Kg και η πυκνότητά της περίπου  $5.520 \text{ Kg/m}^3$ .



**Σχήμα. 3.15:** Διάγραμμα της ατμόσφαιρας της Γης. Η μπλε γραμμή δείχνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με το ύψος. Επίσης φαίνεται και η μεταβολή της πίεσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το ύψος.



**Εικόνα 3.16:**  
Το πολικό σέλας εμφανίζεται κοντά στους πόλους της Γης. Ρεύματα με φορτισμένα σωμάτια φτάνουν από τον Ήλιο και συγκεντρώνονται στους πόλους, εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου της. Εκεί βομβαρδίζουν και διεγείρουν τα άτομα της ατμόσφαιρας, που με τη σειρά τους παράγουν φως.

**Σχήμα 3.17:**  
Μαγνητικό πεδίο της Γης και ζώνες Van Allen. Στις 31 Ιανουαρίου 1958 ο αμερικανικός δορυφόρος Explorer 1 ανακάλυψε μια ζώνη που περιέχει φορτισμένα σωμάτια. Αργότερα ο καθηγητής Van Allen ανακάλυψε δύο τέτοιες ζώνες.



Η ατμόσφαιρα της Γης αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο, σε αναλογία 78% άζωτο και 21% οξυγόνο. Το υπόλοιπο 1% αποτελείται από διάφορα άλλα αέρια. Η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε ζώνες που έχουν διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους (σχ. 3.15).

Κινούμενοι από το έδαφος πρός τα επάνω συναντάμε διαδοχικά τις ακόλουθες ζώνες:

α) τροπόσφαιρα, β) στρατόσφαιρα, γ) μεσόσφαιρα και δ) ιονόσφαιρα.

Τα φαινόμενα που παρατηρούνται σε κάθε ζώνη εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, δηλαδή τη θερμοκρασία, την πυκνότητα, την πίεσην και τη χημική της σύστασην (σχ. 3.15).

Η Γη έχει μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό (σχ. 3.17) είναι όμοιο με αυτό που δημιουργεί ένας ευθύγραμμος μαγνήτης, του οποίου ο βόρειος πόλος βρίσκεται σε πλάτος  $+70^\circ$  (βόρεια) και σε μήκος  $73^\circ$  δυτικά. Οι μαγνητικές γραμμές ξεκινούν από το νότιο μαγνητικό πόλο και καταλήγουν στο Βόρειο μαγνητικό πόλο. Το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι υπεύθυνο για μια σειρά φαινομένων, που παρατηρούνται κυρίως στους πόλους της, όπως το πολικό σέλας (εικ. 3.16).

Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης είναι περίπου 15°C. Η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα, όσο αυξάνει το ύψος

Η περιοχή της ατμόσφαιρας από την επιφάνεια της Γης και μέχρι 15 Km ύψος ονομάζεται **τροπόσφαιρα**. Στην περιοχή αυτή πραγματοποιούνται όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Δημιουργούνται ανοδικά ρεύματα μεταφοράς θερμού αέρα από την επιφάνεια και καθοδικά ρεύματα ψυχρού αέρα.

Η επόμενη ζώνη είναι η **στρατόσφαιρα**, που εκτείνεται μέχρι 40 έως 50 Km.

Η ζώνη μεταξύ 50 και 80 Km είναι η **μεσόσφαιρα**.

Η περιοχή μετά τα 80 Km ονομάζεται **ιονόσφαιρα**.

Στο τμήμα της ατμόσφαιρας μεταξύ στρατόσφαιρας και μεσόσφαιρας οι συνθήκες είναι κατάλληλες για το σχηματισμό οζόντος ( $O_3$ ). Αυτή η περιοχή ονομάζεται οζονόσφαιρα και η ύπαρχη στην θεωρείται σημαντική για τη ζωή στον πλανήτη μας. Είναι η προστασία της Γης, γιατί δεν επιτρέπει να εισέλθουν στην ατμόσφαιρά της οι θανατηφόρες για τον άνθρωπο και τα ζώα υπεριώδεις ακτινοβολίες που πρόερχονται από τον Ήλιο. Η καταστροφή του οζόντος ισοδυναμεί με καταστροφή της ζωής στον πλανήτη μας. Ο κίνδυνος της καταστροφής του δεν προέρχεται από το διάστημα. Δυστυχώς η ανεξέλεγκτη χρήση χημικών ουσιών από τον άνθρωπο έχει δημιουργήσει τον υπαρκτό πλέον εφιάλτη της «τρύπας του οζόντος». Η προστασία της ζώνης του οζόντος πρέπει να αποτελέσει την πρώτη προτεραιότητα στις μελλοντικές εξελίξεις στον πλανήτη μας. Είναι καθήκον του πλανήτη της Γης να ευαισθητοποιηθεί προς αυτήν την κατεύθυνση.

Η ατμόσφαιρα της Γης μπορεί να θεωρηθεί ότι επεκτείνεται και πέρα από την ιονόσφαιρα. Υπάρχουν δύο ζώνες ακτινοβολίας, γνωστές ως ζώνες Van Allen. Περιβάλλουν τη Γη και περιέχουν φορτισμένα πλεκτρικά σωμάτια, τα οποία έχουν παγιδευτεί από το μαγνητικό πεδίο της. Τα σωμάτια αυτά είτε δημιουργούνται από το βομβαρδισμό της περιοχής με υψηλής ενέργειας ακτινοβολία είτε προέρχονται από τον Ήλιο και φτάνουν στη Γη υπό μορφή πλιακού ανέμου.

της, πέφτει και αυτό γίνεται μέχρι τη στρατόσφαιρα. Στη μεσόσφαιρα παρουσιάζει στην αρχή αύξηση, αλλά μετά ξαναπέφτει, για να αρχίσει να ανεβαίνει μετά τη μεσόσφαιρα και να φτάσει μέχρι και 2.500 C.

Τα **χημικά στοιχεία** από τα οποία αποτελείται η Γη είναι πολλά. Τα σημαντικότερα είναι ο σίδηρος σε ποσοστό 40%, το οξυγόνο σε ποσοστό 28%, το πυρίτιο σε ποσοστό 14,5% και το μαγνήσιο σε ποσοστό 8,7%.

Η δομή του **εσωτερικού** της Γης παρουσιάζει την εξής εικόνα. Αποτελείται από τρία σαφώς διακεκριμένα μέρη, το φλοιό, το μανδύα και τον πυρήνα. Ο πυρήνας βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση και χωρίζεται σε δύο μέρη, στον εξωτερικό και στον εσωτερικό (σχ. 3.18).

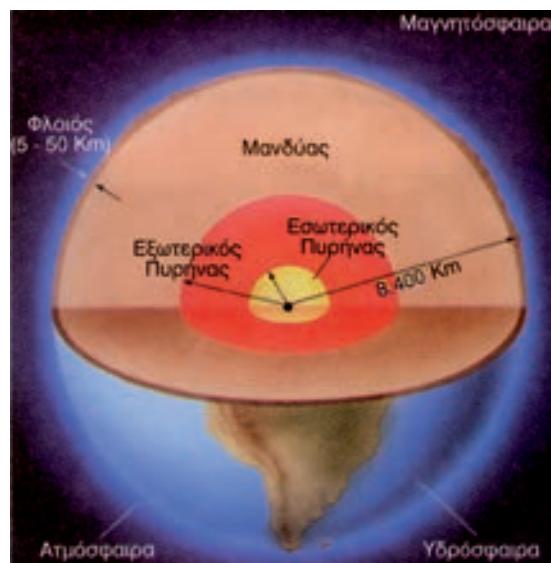
### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ

Η Σελήνη είναι ο μοναδικός φυσικός δορυφόρος της Γης. Ανέκαθεν αντιπροσώπευε το άπιαστο όνειρο, πρόκληση για ένα ταξίδι σε αυτή. Από τον Ιούλιο Βερν, που πρώτος είχε την ιδέα να την «επισκεφτεί» με το μυθιστόρημά του «Από τη Γη στη Σελήνη», μέχρι τη NASA, που τον Ιούλιο του 1969 με το πρόγραμμα Απόλλων πέτυχε να κάνει αυτό το ταξίδι πραγματικότητα, η πρόκληση αυτή έθρεψε τη φαντασία πολλών κατοίκων της Γης. Η επανδρωμένη αποστολή στη Σελήνη με το πρόγραμμα Απόλλων έδωσε οριστική απάντηση στις διάφορες αιτιάσεις για τα χαρακτηριστικά της.

- Οι **βασικές κινήσεις** της Σελήνης είναι δύο. Κινείται γύρω από τη Γη σε ελλειπτική τροχιά και συμπληρώνει μια περιφορά γύρω απ' αυτήν σε 27,3217 ημέρες. Επίσης περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και συμπληρώνει μια περιστροφή σε 27,3217 ημέρες. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται **αστρικός μήνας**. Το αποτέλεσμα των δύο αυτών κινήσεων είναι η Σε-

**Η Σελήνη κατέχει σημαντική θέση στους μύθους και στις παραδόσεις της αρχαίας Ελλάδας. Το πρώτο συνθετικό του ονόματός της δείχνει το λαμπρό φως (σέλας) και το δεύτερο τις περιοδικές φάσεις της (μνη). Ο Όμηρος την ονομάζει «κόρον του βασιλέως Πάλλοντος, υιού του Μεγαμήδους». Οι πολλές μεταμορφώσεις της, από ωχρό δρεπάνι σε ολόφωτη πανσέληνο, και οι ποικίλες σχέσεις της με τη Γη και τον Ήλιο έδωσε στους αρχαίους λαούς υλικό για μύθους και περιπέτειες. Προς τιμή της οι αρχαίοι Έλληνες ονόμαζαν τη Δευτέρα πρέμα της Σελήνης, οι Λατίνοι Dies Luna, οι Γάλλοι Lundi και οι Άγγλοι Monday.**

**Σχήμα 3.18:** Η δομή της Γης. Στον πυρήνα επικρατούν πιέσεις της τάξης των 1.400.000 atmόσφαιρών και θερμοκρασίες 4.000 C - 5.000 C.



λίνη να δείχνει σε μας πάντοτε την ίδια πλευρά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **σύγχρονη περιστροφή** της Σελήνης και οφείλεται σπου εξίσωση των χρόνων της περιφοράς της γύρω από τη Γη και της περιστροφής γύρω από τον άξονά της. Η αόρατη πλευρά της Σελήνης φωτογραφήθηκε για πρώτη φορά το 1959 από το Σοβιετικό δορυφόρο Lunik 3.

Η έλλειψη ατμόσφαιρας επέτρεψε στους αστρονόμους να κάνουν «καθαρές» παρατηρήσεις και να προσδιορίσουν έτσι τη **μορφολογία του εδάφους** της με αρκετή ακρίβεια (εικ. 3.19). Με γυμνό μάτι και όταν έχουμε πανσέληνο, παρατηρούμε στο δίσκο της Σελήνης φωτεινές και λιγότερο φωτεινές περιοχές.

Οι τελευταίες ονομάστηκαν από το Γαλιλαίο, που πρώτος παρατήρησε τη Σελήνη με τηλεσκόπιο το 1610, «θάλασσες». Όπως αποδείχτηκε, οι «θάλασσες» είναι επίπεδες περιοχές, όπως οι γήινες πεδιάδες. Ο ίδιος αλλά και άλλοι μετέπειτα παρατηρητές έδωσαν ονόματα στις «θάλασσες» και στις κατά αντιδιαστολή «ππείρους». Ακόμα σπου επιφάνειά της μπορεί κανείς να παρατηρήσει όρη και κρατήρες. Το έδαφος καλύπτεται από σκόνη, που εικάζεται ότι έχει δημιουργηθεί με τον ίδιο τρόπο που δημιουργήθηκαν και οι κρατήρες, δηλαδή από την πρόσκρουση μετεωριτών στο έδαφός της. Πρόσφατα διαπιστώθηκε ότι στο υπέδαφος της Σελήνης υπάρχει αρκετό νερό σε μορφή κρυστάλλων ενωμένο με άλλα στοιχεία.

Η **δομή της Σελήνης** μοιάζει με αυτή της Γης, αν εξαιρέσει κανείς την έλλειψη ατμόσφαιρας.

Ο **πυρήνας** της έχει ακτίνα περίπου 200 Km και ο **μανδύας** περίπου 1.600 Km. Ο **φλοιός** της παρουσιάζει την εξής ιδιομορφία: Το πάχος του σπου πλευρά που είναι στραμμένη προς τη Γη είναι 60 Km, ενώ σπου αντίθετη πλευρά είναι 150 Km.

Η **επιφάνεια της Σελήνης** αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια, που αποτελούν τη σεληνιακή σκόνη (εικ. 3.21), και από



Εικόνα 3.19: Η Σελήνη, όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημόπλοιο Απόλλων 16.

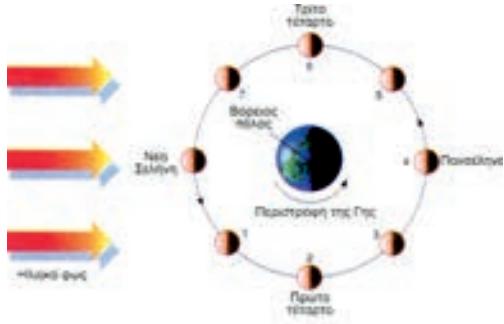


Εικόνα 3.20: Κρατήρες στη Σελήνη, όπως φάνηκαν από το διαστημόπλοιο Απόλλων 8.



Εικόνα 3.21: Το πρώτο ανθρώπινο ίχνος στην επιφάνεια της Σελήνης.

Η ΣΕΛΗΝΗ	
Διάμετρος	3.476 Km
Μάζα (γήινες μονάδες)	1/81
Μέση πυκνότητα	3,34 gr/cm <sup>3</sup>
Ταχύτητα διαφυγής	2,38 Km/s
Επιτάχυνση της βαρύτητας	1,63 m/s <sup>2</sup>
Μέση θερμοκρασία ημέρας	107 C
Μέση θερμοκρασία νύχτας	-153 C
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τη Γη	1,03 Km/h
Μέση απόσταση από τη Γη	384.400 Km
Χρόνοι περιφοράς γύρω από τη Γη (ημέρες)	29,530589



**Σχήμα 3.22:** Οι φάσεις της Σελήνης.

Ανάλογα με τη σχετική θέση της Σελήνης, του Ήλιου και τη θέση του παρατηρητή στη Γη, αυτός βλέπει πανσέληνο, πρώτο τέταρτο, τελευταίο τέταρτο ή νέα Σελήνη.



**Εικόνα 3.23:** Κατά την έκλεψη της Σελήνης το μέρος της που καλύπτεται από τη σκιά της Γης δεν εξαφανίζεται, αλλά παίρνει μια θαμπή κόκκινη απόχρωση.

**Σχήμα 3.24:** Οι διαδοχικές φάσεις μιας ολικής έκλεψης Ήλιου.

πετρώματα, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: το σκουρόχρωμο **βασάλτη** όμοιο με τον αντίστοιχο γήινο, το προερχόμενο από λάβα ορυκτό **ανορθωσίτη** (αλουμίνιο- ασβέστιο) και σκληρά συμπαγή πετρώματα ανακατεμένα με ορυκτά.

### ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ

Η Σελήνη, όπως και όλα τα άλλα μέλη του πλιακού συστήματος, είναι ετερόφωτο σώμα και το φως που εκπέμπει είναι του Ήλιου, που ανακλάται στην επιφάνειά της. Όμως στη διάρκεια της περιφοράς της γύρω από τη Γη παρουσιάζεται στο γήινο παρατηρητή σε διάφορες φάσεις (σχ. 3.22). Άλλοτε φαίνεται ολόκληρος ο δίσκος της (πανσέληνος), άλλοτε ένα μέρος του (τέταρτο) και άλλοτε χάνεται τελείως (νέα Σελήνη). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη σχετική θέση που έχουν κάθε φορά ο Ήλιος, η Σελήνη και η Γη. Η Σελήνη, για να περάσει από όλες τις φάσεις της, χρειάζεται ένα **συνοδικό μήνα**, δηλαδή 29,53 ημέρες.

### ΟΙ ΕΚΛΕΙΨΕΙΣ ΤΟΥ ΉΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ

Ένα άλλο φαινόμενο που οφείλεται στις σχετικές θέσεις του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης είναι οι εκλείψεις. Το φαινόμενο αυτό είναι σχετικά σπάνιο, συμβαίνει το πολύ επτά φορές το χρόνο. Είναι εντυπωσιακό και παρέχει πολλές πληροφορίες στους αστρονόμους.

Έχουμε δυο ειδών εκλείψεις. Τις εκλείψεις της Σελήνης και τις εκλείψεις του Ήλιου.

#### Οι εκλείψεις της Σελήνης

Καθώς ο Ήλιος φωτίζει τη Γη, δημιουργεί τη σκιά της η οποία έχει μορφή κώνου.

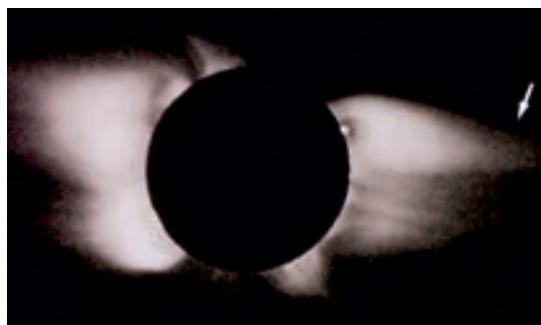
Όταν η Σελήνη, καθώς περιφέρεται γύρω από τη Γη, μπει στον κώνο της σκιάς της Γης, ένα μέρος ή και ολόκληρος ο φωτεινός της δίσκος καλύπτεται από αυτήν. Τότε έχουμε έκλειψη Σελήνης. Σε περίπτωση που η Σελήνη μπει ολόκληρη στη σκιά της Γης, έχουμε ολική έκλειψη Σελήνης. Άλλοτε πάλι, όταν η ευθυγράμμιση των τριών ουράνιων σωμάτων δεν είναι πλήρης, έχουμε μερική έκλειψη Σελήνης, μια και καλύπτεται μόνο ένα μέρος του φωτεινού της δίσκου, (εικ. 3.23). Έκλειψη Σελήνης έχουμε, όταν αυτή είναι στη φάση της πανσέληνου.

#### Οι εκλείψεις του Ήλιου

Έκλειψη Ήλιου έχουμε, όταν η Σελήνη είναι στη φάση της νέας Σελήνης και μπει ανάμεσα στον Ήλιο και στη Γη. Τότε οι περιοχές μιας ζώνης της Γης, που έχει πλάτος το πολύ 300 Km, σαρώ-



**Εικόνα 3.25:** Ολική έκλειψη Ήλιου: Παραπρούμε την εξώτατη ατμόσφαιρα του Ήλιου, το στέμμα του.



νονται από τη σκιά και την παρασκιά της Σελήνης. Η έκλειψη θα είναι ολική ή δακτυλιοειδής, ανάλογα με το αν η περιοχή σαρώνεται από τον κώνο της σκιάς ή την προέκτασή του αντίστοιχα. Αυτό εξαρτάται από την απόσταση Γης-Σελήνης εκείνη τη στιγμή. Επίσης μπορεί σε μια περιοχή να έχουμε μερική έκλειψη Ήλιου, αν αυτή σαρώνεται από την παρασκιά της Σελήνης. Στο σχήμα 3.26 υπάρχει η γεωμετρική αναπαράσταση της έκλειψης του Ήλιου, που εξηγεί όλες τις περιπτώσεις.

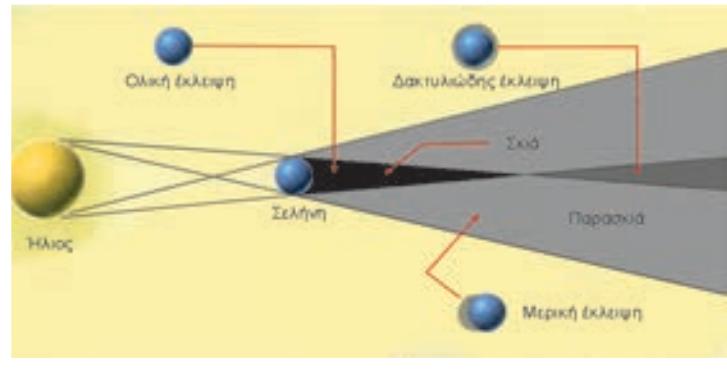
Η ολική έκλειψη του Ήλιου συνοδεύεται από πλήρη συσκότιση της περιοχής, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται στον ουρανό ακόμα και οι αστέρες.

Για τους αστρονόμους οι εκλειψεις αποτελούν ένα ενδιαφέρον φαινόμενο, διότι πολλά αστρονομικά προβλήματα μπορούν να διερευνηθούν κατά τη διάρκειά τους. Για παράδειγμα, κατά την ολική έκλειψη του Ήλιου εμφανίζεται το πλιακό στέμμα (η εξώτατη διπλαδή περιοχή της πλιακής ατμόσφαιρας) και οι επιστήμονες έχουν την ευκαιρία να το μελετήσουν (εικ. 3.25).

### ΠΑΛΙΡΡΟΪΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Ένα από τα πιο μυστηριώδη και εντυπωσιακά φαινόμενα που παραπρούμε στη Γη είναι οι παλίρροιες, δηλαδή το φαινόμενο όπου η στάθμη των νερών στις λίμνες και στις θάλασσες ανεβαίνει (πλημμυρίδα) και κατεβαίνει (άμπωτη) περιοδικά. Στους ωκεανούς η άνοδος αυτή φτάνει μέχρι και το ένα μέτρο, ενώ σε

**Σχήμα 3.26:** Η γεωμετρική ερμηνεία των εκλειψεων του Ήλιου. Διακρίνεται η σκιά και η παρασκιά της Σελήνης καθώς και οι περιοχές που έχουμε ολική, μερική και δακτυλιοειδή έκλειψη Ήλιου. Το μήκος της σκιάς της Σελήνης κυμαίνεται από 367.000 έως 379.800 Km, ενώ η απόσταση Γης-Σελήνης από 357.300 έως 407.100 Km. Έτσι, μόνο μια περιοχή της Γης καλύπτεται από τον κώνο της σκιάς της Σελήνης.



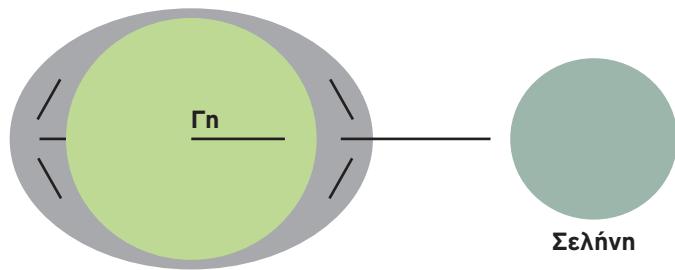
**Πίνακας 3.27:** Εκλειψεις Ήλιου και Σελήνης από το 1999 -2000

Ημερομηνία	Τύπος έκλειψης	Διάρκεια	Τόπος παρατήρησης
31-12-1999	Σεληνιακή, Παρασκιά		Ασία, Αυστραλία, Χαβάη, Αλάσκα
16-2-1999	Ηλιακή, Δακτυλιοειδής		Νότια Αφρική, Ανταρκτική, Αυστραλία
28-7-1999	Σεληνιακή, Μερική		Αυστραλία, Χαβάη, Νότιος Αμερική
11-8-1999	Ηλιακή, Ολική	2 min 23 s	Ευρώπη, Νότια Αφρική, Μέση Ανατολή
20-1-2000	Σεληνιακή, Ολική	1 h 18 min	Αμερική
5-2-2000	Ηλιακή, Μερική		Ανταρκτική
1-7-2000	Ηλιακή, Μερική		Νότιος Ειρηνικός
16-7-2000	Ολική	1 h 48 min	Ασία, Αυστραλία, Χαβάη, Αλάσκα
30-7-2000	Ηλιακή, Μερική		Σιβηρία, Αλάσκα
25-12-2000	Ηλιακή, Μερική		Νότια Αμερική

**Σχήμα 3.28:** Η δύναμη της βαρύτητας που ασκεί η Σελήνη στη Γη έχει αποτέλεσμα το φαινόμενο της παλίρροιας.

Το πλησιέστερο προς τη Σελήνη σημείο απέχει 12.756 Km (διάμετρος της Γης) λιγότερο από το αντιδιαμετρικό σημείο.

Έτσι, οι δυνάμεις που ασκεί η Σελήνη στα δύο αυτά σημεία και στο κέντρο της Γης είναι διαφορετικές. Η διαφορά αυτή είναι η αιτία που δημιουργεί το φαινόμενο της παλίρροιας. Στα αντιδιαμετρικά αυτά σημεία εμφανίζεται ανύψωση της στάθμης, ενώ στα σημεία που σχηματίζουν γωνία 90° παρατηρείται πλησιέστερη στάθμη.



**Η μετάπτωση και η κλόνηση του άξονα της Γης** είναι ένα ακόμα φαινόμενο που οφείλεται στην έλξη που ασκούν σε αυτήν ο Ήλιος και η Σελήνη (σχ. 3.30).

Οι δυνάμεις αυτές σε συνδυασμό με το σχήμα της Γης και τη λόξωση της εκλειπτικής, τη γωνία, δηλαδή, που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής της Γης με το επίπεδο της εκλειπτικής ( $23^{\circ} 27'$ ), εξαναγκάζουν τον άξονα να περιστρέψεται, όπως ο άξονας μιας σβούρας. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται μετάπτωση του άξονα περιστροφής της Γης. Ταυτόχρονα, λόγω της αλλαγής θέσης της Σελήνης σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της Γης, προκαλείται η περιοδική κλόνηση του άξονα περιστροφής της που οποία επαναλαμβάνεται κάθε 19 περίπου έτη.

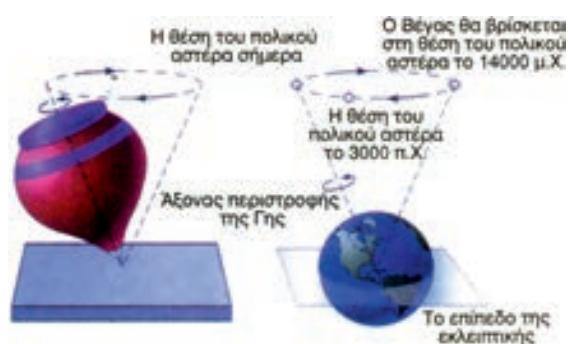
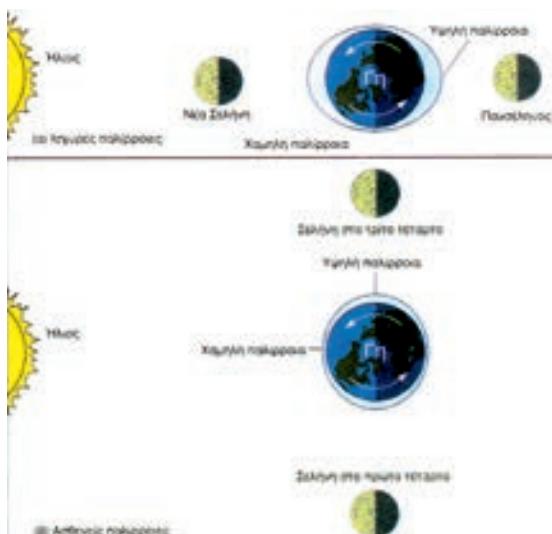
Οι δυνάμεις που ασκεί η Σελήνη στη Γη και ο Ήλιος στη Γη είναι ακόμα διαφορετικές περιοχές της Γης και εξαρτάται από τη διαμόρφωση των ακτών. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό από την αρχαιότητα, ερμηνεύτηκε από το Νεύτωνα. Οφείλεται στη βαρυτική έλξη που ασκεί η Σελήνη και ο Ήλιος στους ωκεανούς της Γης. Η βασική ιδέα είναι ότι η φερόμενη δύναμη είναι η εξής (σχ. 3.28, 3.29):

Η Σελήνη και ο Ήλιος έλκουν ισχυρότερα τους ωκεανούς που βρίσκονται πιο κοντά τους, λιγότερο ισχυρά το κέντρο της Γης και ακόμα λιγότερο τους ωκεανούς της απομακρυσμένης πλευράς. Με αυτόν τον τρόπο οι ωκεανοί τείνουν να διογκώνονται στην πλησιέστερη πλευρά, επειδή το νερό έλκεται περισσότερο και τείνει να απομακρυνθεί από τη Γη. Επίσης εξογκώνονται και τα νερά που βρίσκονται στην απομακρυσμένη πλευρά της, διότι η Γη έλκεται ισχυρότερα απ' ότι τα νερά αυτής της πλευράς, και τείνει έτσι να απομακρυνθεί από αυτά.

Η διαφορά στη δύναμη που ασκείται στις δύο αντιδιαμετρικές πλευρές ονομάζεται παλιρροϊκή δύναμη.

Η παραμόρφωση αυτή των ωκεανών μετατοπίζεται περιοδικά, λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της. Έτσι, αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής από τις μετακινούμενες υδάτινες μάζες που τείνουν να επιβραδύνουν την περιστροφή της Γης. Η

**Σχήμα 3.30:** Ένα άλλο φαινόμενο που οφείλεται στην παλιρροιογένες δυνάμεις της Σελήνης και του Ήλιου είναι η μετάπτωση και κλόνηση του άξονα περιστροφής της Γης. Η κίνηση αυτή του άξονα ολοκληρώνει μια περιστροφή σε 25.800 έτη.



**Σχήμα 3.29:** Η παλιρροϊκή δύναμη έχει σχέση με τις διάφορες θέσεις των τριών ουράνιων σωμάτων. Η δύναμη αυτή είναι μεγαλύτερη, όταν τα τρία ουράνια σώματα είναι σε ευθεία και μικρότερη, όταν σχηματίζουν ορθή γωνία.

περίοδος περιστροφής της Γης αυξάνεται κατά 0,002 s ανά αιώνα. Έτσι, πριν 450 εκατομμύρια χρόνια η μέρα στη Γη διαρκούσε 22 ώρες, ενώ μετά από 145 δισεκατομμύρια χρόνια αυτή θα διαρκεί 27 ημέρες, όσο, δηλαδή, και η περιστροφή της Σελήνης.

Ανάλογη παλιρροϊκή δύναμη ασκεί και η Γη στη Σελήνη. Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε σε δύο φαινόμενα τα οποία οφείλονται στη δύναμη αυτή, δηλαδή το φαινόμενο της σύγχρονης περιστροφής της Σελήνης και τη μετακίνηση του μανδύα της προς την πλευρά την πλησιέστερη στη Γη.

### 3.5 ΟΙ ΓΗΝΟΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ

Ο Ερμής, η Αφροδίτη και ο Άρης έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με τη Γη, γι' αυτό και όλοι μαζί χαρακτηρίζονται ως γήινοι πλανήτες. Οι πλανήτες αυτοί είναι οι πλησιέστεροι προς τη Γη και μπορούν να παρατηρηθούν ορισμένες εποχές του έτους με απλά μέσα (κιάλια ή μικρά τηλεσκόπια). Συνήθως ο Ερμής και η Αφροδίτη παρατηρούνται καλύτερα λίγο πριν από την ανατολή του Ήλιου ή λίγο μετά τη δύση του και στις περιοχές του ουρανού όπου ανατέλλει και δύει ο Ήλιος, αφού όπως όλοι οι πλανήτες, εκτός από τον Πλούτωνα, κινούνται κοντά στο ζωδιακό κύκλο. Ο Ερμής είναι πιο δύσκολο να παρατηρηθεί, αλλά η λαμπρή Αφροδίτη και ο κοκκινωπός Άρης είναι πολύ πιο εύκολο.

Τα φυσικά τους χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Παρατηρούμε ότι έχουν κοινή χημική σύσταση και περίπου την ίδια πυκνότητα. Φυσικά υπάρχουν και διαφορές, όπως αυτή της επιφανειακής μέσης θερμοκρασίας, η οποία προφανώς οφείλεται στην απόσταση κάθε πλανήτη από τον Ήλιο. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κινήσεις τους και ιδιαίτερα η περιστροφή γύρω από τον άξονά τους. Συγκεκριμένα, ενώ οι περισσότεροι πλανήτες περιστρέφονται από τη δύση προς την ανατολή, η Αφροδίτη περιστρέφεται από την ανατολή προς τη δύση, δηλαδή κατά την ανάδρομη φορά.

Ο Ερμής και ο Άρης έχουν αραιά **ατμόσφαιρα** σε σχέση με την πολύ πυκνή της Αφροδίτης. Στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης και του Άρη κυριαρχεί το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%, ενώ ελάχιστο είναι το οξυγόνο. Στον Ερμή το οξυγόνο όπως και το ήλιο ( $\text{He}$ ) υπάρχουν σε αρκετά

#### Η ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ

- 12-9-1959: Πρώτη πρόσκρουση διαστημοπλοίου στη Σελήνη (Lunik 2).
- 4-10-1959: Πρώτη φωτογράφηση από διαστημόπλοιο της αόρατης πλευράς της Σελήνης (Lunik 3).
- 3-2-1966: Πρώτη προσεδάφιση διαστημοπλοίου επί της Σελήνης (Luna 9).
- 21-9-1967: Πρώτη επιστροφή διαστημοπλοίου από τη Σελήνη (Zond 5).
- 21-12-1968: Πρώτη επανδρωμένη πτήση προς τη Σελήνη (Απόλλων 8).
- 21-7-1969: Πρώτος περίπατος αστροναυτών στη Σελήνη (Απόλλων 11).



**Εικόνα 3.31:** Η παρουσία αστροναυτών και οχημάτων στη Σελήνη συγκλόνισε όλη την ανθρωπότητα και άνοιξε νέους ορίζοντες στην εξερεύνηση του διαστήματος.

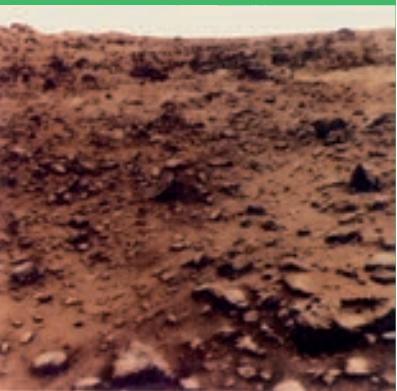


**Εικόνα 3.32:** Ο πρώτος αστροναύτης στο έδαφος της Σελήνης.



**Εικόνα 3.33:** Αποψη της επιφάνειας της Σελήνης.

**Εικόνα 3.34:**  
Αποψη της επιφάνειας του Ερμή. Διακρίνεται το ανάγλυφο της επιφάνειας του με τους κρατήρες, τα όρη, τις πεδιάδες και τις οροσειρές.



**Εικόνα 3.35:** Αποψη της επιφάνειας του Άρη.

Ένα σημαντικό ζήτημα που αφορά την κίνηση του Ερμή είναι αυτό της μετάθεσης του περιπλίσιου του. Δηλαδή, όπως προκύπτει από τις παρατηρήσεις, το περιήλιο μετακινείται προς ανατολάς κατά 574" ανά αιώνα. Όμως συνυπολογίζοντας τις παρέλξεις των γνωστών πλανητών δικαιολογείται μια τέτοια μετάθεση, αλλά κατά 532" ανά αιώνα. Για να δικαιολογηθεί αυτή η διαφορά των 42", έγιναν διάφορες υποθέσεις, μεταξύ των οποίων και η ύπαρξη ενός άγνωστου πλανήτη που κινείται πιο κοντά στον Ήλιο. Μάλιστα ο πλανήτης αυτός ονομάστηκε Ήφαιστος και υπολογίστηκαν τα στοιχεία της τροχιάς του. Ωστόσο σύντομα αποδείχτηκε ότι δεν υπάρχει τέτοιος πλανήτης. Η ερμηνεία για την παρατηρούμενη διαφορά της μετάθεσης του περιπλίσιου δόθηκε από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, σύμφωνα με την οποία ο νόμος της παγκόσμιας έλξης, όπως διατυπώθηκε από το Νεύτωνα, δεν είναι απολύτως ακριβής και πρέπει να διορθωθεί.

μεγάλο ποσοστό, περίπου 40% το καθένα. Ισχυρές ανεμοθύελλες σκόνης καλύπτουν ολόκληρο τον Άρη για μήνες. Τα πυκνά νέφη της Αφροδίτης που αποτελούνται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα και θεϊκό οξύ λειτουργούν ως θερμοκόπιο και είναι υπεύθυνα για τις υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται στην επιφάνειά της (450 με 500 C).

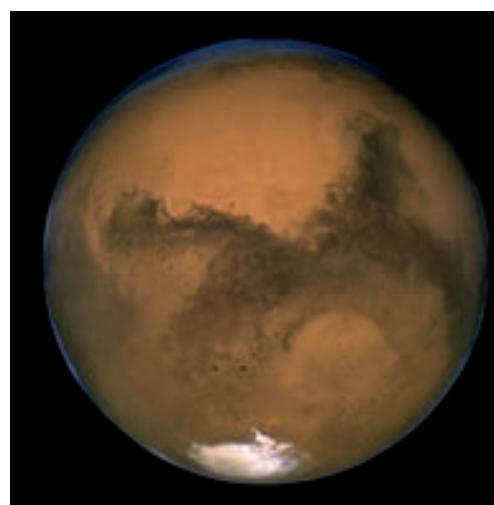
Η **επιφάνεια** και των τριών πλανητών είναι γεμάτη από κρατήρες, όρη, οροσειρές και πεδιάδες. Στην επιφάνεια της Αφροδίτης υπάρχουν εκτεταμένες πεδιάδες και όρη που φτάνουν σε ύψος 6.000 m. Παρατηρούνται επίσης χαράδρες βάθους μέχρι και 4.000 m. Το ανάγλυφο και των τριών πλανητών είναι αποτέλεσμα έντονης πηλιστειακής και σεισμικής δραστηριότητας ή και πρόσκρουσης μετεωριτών στην επιφάνειά τους.

Αν παρατηρήσει κανείς την επιφάνεια του Άρη με τηλεσκόπιο, θα παρατηρήσει μια λευκή κηλίδα στους πόλους του, η οποία αποτελείται από έντονο πάγο (στερεοποιημένο διοξείδιο του άνθρακα) και εμφανίζεται περιοδικά κατά το χειμώνα. Επίσης, θα παρατηρήσει σκοτεινές και πορτοκαλί περιοχές κυρίως στο νότιο πιμισφάριο. Οι σκοτεινές περιοχές που αποτελούν τα 3/8 της επιφάνειας του είναι ανώμαλες ορεινές περιοχές, ενώ οι πορτοκαλί είναι επίπεδες έρημοι από τις οποίες σπάνιονται τα σύννεφα της σκόνης κατά τις ανεμοθύελλες.

Το **εσωτερικό** των τριών πλανητών έχει δομή όμοια με αυτή της Γης. Αποτελείται, δηλαδή, από τον πυρήνα, ο οποίος περιέχει ενώσεις βαρέων μετάλλων (σίδηρο, νικέλιο κτλ), το μανδύα, που περιέχει ορυκτά πετρώματα, και το φλοιό. Ο Ερμής και ο Άρης έχουν αδύναμο **μαγνητικό πεδίο** που οφείλεται στο στερεό πυρήνα τους. Η Αφροδίτη, λόγω της αργής περιστροφής της γύρω από τον άξονά της, δεν έχει μαγνητικό πεδίο.

Από τους τρεις πλανήτες ο Ερμής και η Αφροδίτη δεν έχουν δο-

**Εικόνα 3.36:** Η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης: Πυκνά σύννεφα καλύπτουν όλο τον πλανήτη και κινούνται από τον ισημερινό προς τους πόλους.



**Εικόνα 3.37:** Ο κόκκινος πλανήτης με τη λευκή κηλίδα στον ένα πόλο του.

**ρυφόρους.** Ο Άρης έχει δύο μικρούς, τον Φόβο και τον Δείμο, οι οποίοι ανακαλύφτηκαν το 1887.

Η εξερεύνηση των γήινων πλανητών ξεκινάει πολύ πριν τους επισκεφτούν τα διαστημόπλοια. Πολλοί αστρονόμοι προσπάθησαν να χαρτογραφήσουν την επιφάνειά τους, με πιο γνωστούς το Σιαπαρέλλι, το Λόουελ και τον Έλλονα Ευγένιο Αντωνιάδην.

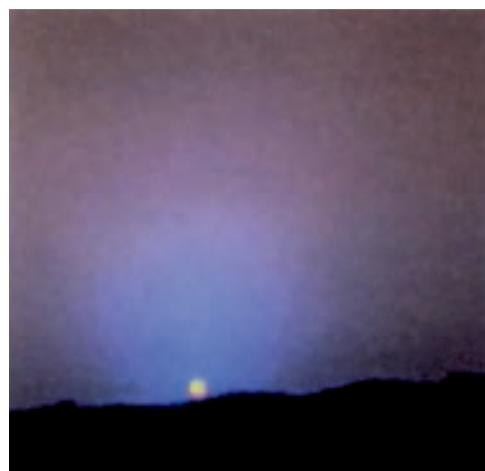
Όμως η ουσιαστική εξερεύνηση αρχίζει με την επίσκεψη των διαστημόπλοιών. Το πρόγραμμα «Μάρινερ» που άρχισε στις αρχές της δεκαετίας 1960, τα «Βίκιγκ», τα «Πάιονπρ» 1 και 2, τα Σοβιετικά «Βενέρα», ο «Μαγγελάνος» και τελευταία ο «Ιχνηλάτης» προσέφεραν πολλά στην εξερεύνηση των τριών πλανητών. Η εξερεύνηση αυτή θα συνεχιστεί και στο μέλλον με νέα προγράμματα που καταρτίζονται από τους ερευνητές, προκειμένου να δοθούν απαντήσεις σε σημαντικά ερωτήματα.



Εικόνα 3.38: Ο Sojourner που επισκέφτηκε τον Άρη (Ιούλιος 1997).



Εικόνα 3.39: Οι δορυφόροι του Άρη, Φόβος και Δείμος.



Εικόνα 3.40: Η δύση του Ήλιου στον Άρη.

Οι αρχαίοι λαοί και ιδιαίτερα οι αρχαίοι Έλληνες συνέδεσαν τους τρεις γήινους πλανήτες με τη ζωή τους και τις ανησυχίες τους.

Στον Ερμή δόθηκε το όνομα του αγγελιοφόρου των θεών του Ολύμπου για τη γρήγορη κίνησή του στον ουρανό. «Γεννημένος την αυγή εφεύρε κατά τη διάρκεια της ημέρας και έπαιξε τη λύρα· και το βράδυ έκλεψε τα βόδια του Απόλλωνος» λέγει ο ομηρικός ύμνος.

Στη λαμπερή Αφροδίτη έδωσαν το όνομα της θεάς της ομορφιάς και του έρωτα. Τη συνέδεσαν έτσι με την πιο όμορφη εποχή του έτους, την άνοιξη, τότε που, πριν ανατέλει ο Ήλιος, πρώτη αυτή έφερνε το φως της μέρας. Ακόμα και σήμερα την ονομάζουμε Έσπερο, καθώς τη βλέπουμε να εμφανίζεται μετά τη δύση του Ήλιου. Αδελφές του Έσπερου ήταν οι Εσπερίδες και πατέρας του ο Άτλας. Πούλια ή Εωσφόρο ή Φωσφόρο την ονόμαζαν, μια και αυτή έφερνε το φως της μέρας. Ο Εωσφόρος ήταν γιος του Αστράιου και της Αυγής.

Στον κοκκινωπό Άρη έδωσαν το όνομα του θεού του πολέμου που, λόγω της εμφάνισής του, ταίριαζε περισσότερο. Ο Αριστοτέλης αναφέρει απόκρυψή του από τη Σελήνη: «Τήν γαρ Σελήνη ἐωράκαμεν διχοτόμον μενοῦσαν, ὑπελθοῦσαν δέ τὸν ἀστέρα τοῦ Ήρεως καὶ ἀποκρυφθέντα μὲν κατά τὸ μέλαν αὐτῆς, ἔξελθόντα δε κατά το φαιόν, λαμπρόν».

Οι Ρωμαίοι ονόμασαν τον Ερμή Mercury που, σύμφωνα με τη μυθολογία τους, ήταν ο θεός του εμπορίου των ταξιδιών και των κλοπών. Λάτρεψαν την Αφροδίτη με το όνομα Venus και τη θεωρούσαν μητέρα του Έρωτα και του Αινεία. Στον Άρη, που τον ονόμαζαν Mars, είχαν αφιερώσει την τρίτη ημέρα της εβδομάδας (dies Martes) καθώς και τον πρώτο μήνα του έτους τους, το Μάρτιο.

Χαρακτηριστικά	Ερμής	Αφροδίτη	Άρης
Ακτίνα στον Ισημερινό	2.439,7 Km	6.051,8 Km	3.397 Km
Μάζα	$3.303 \cdot 10^{23}$ Kg	$4.869 \cdot 10^{24}$ Kg	$6.421 \cdot 10^{23}$ Kg
Μέση πυκνότητα	5,42 gr/cm <sup>3</sup>	5,25 gr/cm <sup>3</sup>	3,940 gr/cm <sup>3</sup>
Ταχύτητα διαφυγής	4,25 Km/sec	10,36 Km/sec	5,0 km/sec
Επιτάχυνση της βαρύτητας	2,78 m/sec <sup>2</sup>	8,87 m/sec <sup>2</sup>	3,72 m/sec <sup>2</sup>
Μέση απόσταση απ' τον Ήλιο	57.910.000 Km	108.200.000 Km	227.940.000 Km
Μέση θερμοκρασία	179 C	482 C	-35 C (-87 έως 17 C)
Ατμοσφαιρική πίεση	:	92 στρόβαριες	0,007 στρόβαριες
Περιήλιο	46.000.000 Km	107.000.000 Km	206.600.000 Km
Αφήλιο	69.800.000 Km	108.900.000 Km	249.200.000 Km
Περίοδος περιστροφής γύρω από τον άξονά του	58,6462 γήινες ημέρες	243,02 γήινες ημέρες (κατά την ανάδρομη φορά)	24,6 ώρες
Περίοδος περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	87,969 γήινες ημέρες	224,701 γήινες ημέρες	1,88 γήινα έτη (687 ημέρες)
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	47,88 Km/sec	35,02 Km/sec	24,14 Km/sec

Πίνακας 3.41: Τα φυσικά χαρακτηριστικά των γήινων πλανητών.

#### Οι δορυφόροι του Άρη

	Απόσταση από τον Άρη	Διάμετρος	Μάζα X 10 <sup>16</sup> kg	Χρόνος περιφοράς γύρω από τον Άρη	Ανακάλυψη	
Φόβος	9378 Km	22,2 Km	1,08	7 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	1877	Η περίοδος περιφοράς του Φόβου είναι μικρότερη από την περιστροφή του Άρη. Άρα, αυτός ανατέλλει από τη δύση και δύει στην ανατολή του Άρη.
Δείμος	23.459 Km	12,6 Km	1,8	30 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	1877	

Η ιδέα της ύπαρξης ζωής στον Άρη αρχίζει από την εποχή που οι Σιαπαρέλλι και Λόδουελ ανακοίνωσαν πως στον Άρη παρατήρησαν ένα σύστημα από λεπτές γραμμές, τις οποίες ονόμασαν κανάλια. Υπέθεσαν μάλιστα ότι αυτά είναι προϊόντα κατασκευών από νοήμονα όντα. Αργότερα, λεπτομερέστερες έρευνες που έγιναν με μεγαλύτερα τηλεσκόπια έδειξαν ότι τέτοιοι σχηματισμοί δεν υπάρχουν. Ωστόσο η ιδέα της ύπαρξης ζωής σε έναν πλανήτη που έχει πολύ μεγάλες ομοιότητες με τη Γη εξακολουθεί ακόμα και σήμερα να απασχολεί τους ερευνητές. Και ένα από τα βασικά στοιχεία που αναζητούνται είναι η ύπαρξη νερού.

Μερικοί γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στο νότιο ημισφαίριο, τα δίκτυα κοιλάδων, μας κάνουν να πιστεύουμε ότι σχηματίστηκαν με τη ροή νερού στην επιφάνεια του πλανήτη. Το νερό αυτό πρέπει να προήλθε από το λιώσιμο υπόγειων πάγων. Σε άλλες περιοχές, όπως αυτή στην οποία προσγειώθηκε ο «Ιλνηλάτης», φαίνεται ότι έχει γίνει σε τεράστιο μέγεθος κατακλυσμική και σύντομη ροή επιφανειακών υδάτων. Πού όμως βρέθηκε στο παρελθόν τόσο πολύ νερό; Οι σημερινές συνθήκες απαγορεύουν τη δημιουργία τέτοιων καταστάσεων. Ωστό-

σο στο παρελθόν ο Άρης είχε μεγαλύτερης πυκνότητας ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα το οξυγόνο της να ενωθεί με ορυκτά της επιφάνειάς της και από τις σχισμές που σχηματίστηκαν να περάσει στο εσωτερικό του πλανήτη. Το ανώτερο τμήμα του πάγωσε και έτσι προστάτεψε τα βαθύτερα τμήματα. Στα μετέπειτα χρόνια η έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα πίεσε τρομακτικά το νερό, το οποίο μέσα από άλλα φαράγγια μεταφέρθηκε με εκρηκτικό τρόπο στην επιφάνεια και δημιούργησε αυτές τις τεράστιες και σύντομες πλημμύρες. Το νερό αυτό στην επιφάνεια πλέον είτε έβρασε και διασπάστηκε λόγω της χαμηλής πίεσης είτε επέστρεψε στο εσωτερικό του πλανήτη.

Παρ' όλη την υπόθεση της ύπαρξης νερού κατά το παρελθόν στον Άρη, οι τωρινές φυσικές συνθήκες αλλά και αυτές του παρελθόντος αποκλείουν την πιθανότητα της ύπαρξης κάποιας ανώτερης μορφής ζωής. Ούτε καν πολυκύτταροι οργανισμοί δεν πρέπει να υπήρξαν. Αν υπάρχει ζωή, αυτή θα είναι σε επίπεδο μονοκύτταρων βακτηριδίων. Οι έρευνες σε μετεωρίτες που προέρχονται από τον Άρη σε γήινα εργαστήρια έφεραν τις πρώτες ενδείξεις για την ύπαρξη τους. Μένει αυτό να επιβεβαιωθεί επιτόπου στον πλανήτη.

## Η ΖΩΝΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΩΝ

Σε απόσταση 2,8 Α.U. από τον Ήλιο βρίσκεται η ζώνη των αστεροειδών ή μικρών πλανητών. Σε αυτή τη ζώνη υπάρχει ένα τεράστιο πλήθος από μικρά σώματα. Τα χιλιάδες μικρά αυτά σώματα έχουν διάμετρο από 1-940 Km και η συνολική τους μάζα είναι 1.000 φορές μικρότερη από τη μάζα της Γης. Φυσικά, λόγω της μικρής μάζας που έχει το καθένα, έχουν μικρή ελκτική ικανότητα και έτσι δεν μπορούν να συγκρατήσουν κάποια ατμόσφαιρα. Το σχήμα των αστεροειδών είναι ακανόνιστο και τους περισσότερους μπορούμε να τους θεωρήσουμε μεγάλους βράχους που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτικές τροχιές.

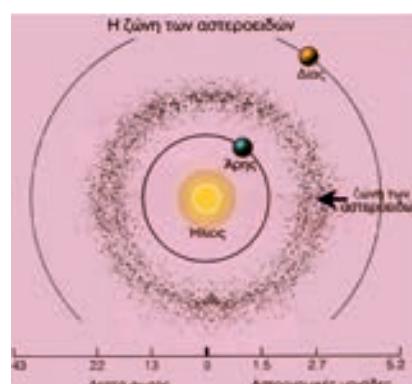
Οι αστεροειδείς αποτελούνται από πυριτικά άλατα, σίδηρο, νικέλιο, άνθρακα και το υπόλοιπο από άλλα υλικά.

Οι αστεροειδείς είναι σώματα που σχηματίστηκαν από την εποχή της δημιουργίας του πλιακού συστήματος. Έτσι η μελέτη τους έχει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί δίνει πληροφορίες για εκείνη την περίοδο. Πριν από το 1991 οι μόνες πληροφορίες προέρχονταν από την παρατήρησή τους από τη Γη. Από τον Οκτώβριο του 1991, που το διαστημόπλοιο Galileo πλησίασε και φωτογράφισε τον αστεροειδή 951 Gaspra, άνοιξε μια νέα σελίδα στην εξερεύνηση των αστεροειδών.



Εικόνα 3.42: Ο αστεροειδής 951 Gaspra, όπως τον φωτογράφισε το διαστημόπλοιο Galileo.

Σχήμα 3.43: Η θέση των αστεροειδών στο πλιακό σύστημα.



Εικόνα 3.44: Το διαστημόπλοιο Galileo φωτογράφισε τον Αύγουστο του 1993 τον αστεροειδή 243 Ida.

Στα 1766 ο Γερμανός μαθηματικός Τίτιους ανακάλυψε έναν εμπειρικό νόμο με τον οποίο υπολογίζονταν οι αποστάσεις των πλανητών. Ο νόμος αυτός το 1772 δημοσιεύτηκε από τον επίσης Γερμανό αστρονόμο Μπόντε. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, αν στους όρους της γεωμετρικής προόδου  $O, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, 768$  προσθέσουμε τον αριθμό 4 και το αποτέλεσμα το διαιρέσουμε με το 10, θα έχουμε σε A.U. την απόσταση των πλανητών. Όταν το 1781 ανακαλύφτηκε ο πλανήτης Ουρανός στην απόσταση των 19 A.U. και επιβεβαιώθηκε έτσι ο νόμος των Μπόντε - Τίτιους, όλοι πίστεψαν ότι στην απόσταση των 2,8 A.U. βρίσκεται επίσης ένας άλλος πλανήτης. Αμέσως άρχισε η αναζήτησή του με τα τότε τηλεσκόπια. Την πρωτοχρονιά του 1801 ο Ιταλός αστρονόμος Πιάτσι ανακάλυψε έναν αστέρα 7ου μεγέθους. Ο Μπόντε που πληροφορήθηκε την ανακάλυψη αυτή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για το ζητούμενο πλανήτη. Όμως την περίοδο αυτή ο ανακαλυφθείς αστέρας ξάθικε από τα τηλεσκόπια και έτσι ανάγκασε τον Μπόντε να ζητήσει τον υπολογισμό της τροχιάς του από το νεαρό τότε μαθηματικό Γκάους. Ο Γκάους γνωρίζοντας μόνο τρεις θέσεις του κατάφερε να υπολογίσει την τροχιά του και τη θέση που θα είχε την 1η Ιανουαρίου 1802. Η επιβεβαίωση ήρθε στην ώρα της και η όλη προσπάθεια ήταν ένας θρίαμβος για τα Μαθηματικά, την Αστρονομία και τη συνεργασία των δύο επιστημών. Ο αστεροειδής Ceres (Δήμητρα) είχε ανακαλυφθεί με αυτόν τον τρόπο.

## ΟΙ ΠΙΟ ΓΝΩΣΤΟΙ ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΕΙΣ

Όνομα	Ακτίνα (Km)	Απόσταση από τον Ήλιο (Km)
951-Gaspra	17x10	205.000.000
243-Ida	58x23	270.000.000
Εστία	262,5	353.400.000
Δήμητρα	457	413.900.000

### 3.6 ΟΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΑ

Ο Δίας, ο Κρόνος, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας αποτελούν τη δεύτερη ομάδα πλανητών με κοινά χαρακτηριστικά. Ονομάζονται δίοι πλανήτες από το όνομα του μεγαλύτερου πλανήτη του πλιακού μας συστήματος, του Διά.

**Παρατηρούνται** με τη βοήθεια τηλεσκοπίου, εκτός από το Δία και τον Κρόνο που φαίνονται και με γυμνό μάτι να κινούνται αργά ανάμεσα στους απλανείς. Ο Δίας είναι το πιο λαμπρό ουράνιο σώμα μετά την Αφροδίτη και έχει κιτρινωπό χρώμα. Ο Δίας κατέχει κεντρική θέση στην ιστορία της Αστρονομίας, γιατί παρατηρώντας τον ο Γαλιλαίος για πρώτη φορά το 1610 μ.Χ. επιβεβαίωσε τη θεωρία του Κοπέρνικου.

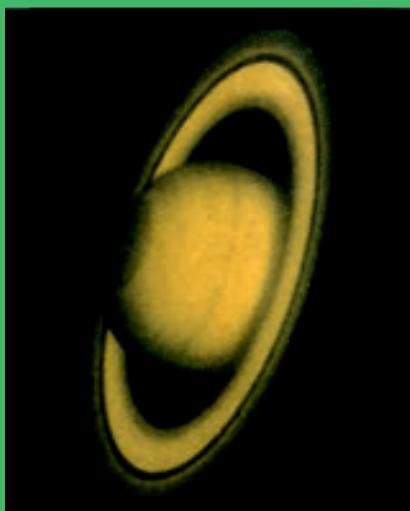
Αν παρατήρηση του Δία επιβεβαίωσε την Κοπερνίκεια θεωρία, η παρατήρηση του Ποσειδώνα αποτέλεσε τη μεγάλη συνεισφορά των Μαθηματικών και της Νευτώνειας Μηχανικής στην επιστήμη της Αστρονομίας. Ο Ποσειδώνας παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις 23 Σεπτεμβρίου 1846 (εικ. 3.50). Τα στοιχεία της τροχιάς του και το σημείο στο οποίο θα βρισκόταν τη συγκεκριμένη ημερομηνία υπολογίστηκαν από τις ανωμαλίες που προκαλούσε στην κίνηση του Ουρανού (ο Ουρανός παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις 13 Μαρτίου 1781 από τον Χέρσελ).

Τα **χαρακτηριστικά** των πλανητών αυτών δίνονται στον πίνακα 3.53. Έχει ενδιαφέρον μια σύγκριση αυτών μεταξύ τους καθώς και με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των γήινων πλανητών, στον πίνακα 3.41.

Η **ατμόσφαιρα** και των τεσσάρων πλανητών αποτελείται από υδρογόνο σε μεγάλες ποσότητες, που ξεπερνούν το 80%, ήλιο, μεθάνιο και ίχνη άλλων στοιχείων. Το μεθάνιο είναι υπεύθυνο για το γαλάζιο χρώμα του Ουρανού και το μπλε του Ποσειδώνα (εικ. 3.49, 3.50). Συνήθως η ατμόσφαιρα των πλανητών αυτών αποτελείται από δύο στρώματα. Το ανώτερο στρώμα είναι διαφανές στο εξωτερικό του μέρος και πυκνώνει όσο κατεβαίνουμε προς την επιφάνεια (εικ. 3.45). Το δεύτερο στρώμα αποτελείται από πυκνά νέφη μοριακού υδρογόνου. Τα νέφη αυτά κινούνται με διάφορες ταχύτητες και είναι υπεύθυνα για πολλά από τα φαινόμενα που παρατηρούνται στους δίοις πλανήτες. Ένα τέτοιο φαινόμενο είναι η **ερυθρά κπλίδα** (εικ. 3.47) που παρατηρείται στο Δία. Είναι ένας τεράστιος στρόβιλος σε σχήμα έλλειψης με μεγάλο άξονα 40.000 Km και μικρό 12.000 Km, που κινείται με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού και συμπληρώνει μια περιστροφή κάθε επτά ημέρες. Είναι τόσο μεγάλη, που συγκρίνεται με τις διαστάσεις της Γης. Ανάλογα φαινόμενα, αλλά σε μικρότερη έκταση, παρατηρούνται και στον Ποσειδώνα. Στον Κρόνο και στον Ουρανό τα νέφη διατάσσονται σε ζώνες παραλληλες προς τον ισημερινό τους, εξαιτίας της διαφορικής κίνησης αυτών. Σε ορισμένους πλανήτες, όπως στο Δια, κάτω από



**Εικόνα 3.45:** Ο Δίας και η εξωτερική όψη της ατμόσφαιράς του. Διακρίνονται οι παράλληλες προς τον ισημερινό ζώνες, που οφείλονται στη διαφορική κίνηση της ατμόσφαιρας και στη δημιουργία στροβίλων.



**Εικόνα 3.46:** Ο Κρόνος και το σύστημα των δακτυλίων του. Διακρίνεται το χώρισμα Κασίνι ανάμεσα στους λαμπρούς δακτυλίους του.

**ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ:** Η περιστροφή ενός σώματος κατά την οποία διαφορετικά τμήματά του έχουν διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες περιστροφής (και επομένως διαφορετικές περιόδους περιστροφής).

την επιφάνεια των νεφών πιθανόν να επιπλέει στρώμα με υγρό υδρογόνο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σαφή όρια μεταξύ της ατμόσφαιρας και της επιφάνειάς του.

Το **εσωτερικό** των δίιων πλανητών αποτελείται κυρίως από βραχώδη υλικά και έχει την εξής δομή: Υπάρχει ένας μικρός πετρώδης πυρήνας και ακολουθεί ένας συνήθως παγωμένος μανδύας από πετρώματα, κρυσταλλική αμμωνία, μεθάνιο και σε ορισμένες περιπτώσεις νερό.

Ο Δίας, ο Ποσειδώνας και ο Ουρανός έχουν ισχυρό **μαγνητικό** πεδίο, σε αντίθεση με το πολύ ασθενές του Κρόνου. Το μαγνητικό πεδίο του Δία είναι 10 φορές ισχυρότερο από εκείνο της Γης και εκτείνεται σε μεγάλη απόσταση απ' αυτόν.

Ο Δίας και ο Κρόνος εκπέμπουν περισσότερη ενέργεια (σχεδόν διπλάσια) απ' όσο δέχονται από τον Ήλιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πλανήτες αυτοί διαρκώς συστέλλονται, με αποτέλεσμα να παράγουν θερμότητα. Η **συστολή** αυτή έχει αποτέλεσμα να ακτίνα του Δία να μειώνεται λιγότερο από 1mm κατ' έτος.

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά φαινόμενα των δίιων πλανητών είναι οι **δακτύλιοι** τους. Οι δακτύλιοι είναι πολύ λεπτοί, με πάχος μερικές εκατοντάδες μέτρα και με πλάτος που σε μερικές περιπτώσεις φτάνει και τα 200.000 Km. Εντυπωσιακότεροι από όλους είναι οι δακτύλιοι του Κρόνου (εικ. 3.46 και 3.48).

Οι δίιοι πλανήτες έχουν πολλούς **δορυφόρους**. Ο Δίας έχει 16, ο Κρόνος περισσότερους από 18, ο Ουρανός 17 και ο Ποσειδώνας 8. Τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στους πίνακες 3.54 - 3.57. Από αυτούς ο Γανυμήδης του Δία είναι ο μεγαλύτερος δορυφόρος του πλιακού συστήματος, μεγαλύτερος από τον Ερμή και τον Πλούτωνα.

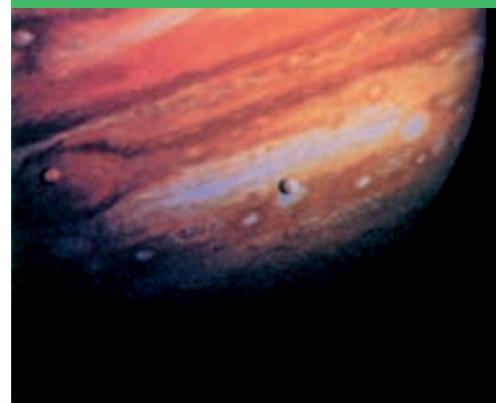
Η **εξερεύνηση** των δίιων πλανητών από διαστημόπλοια έγινε δυνατή στις δεκαετίες του 1970 και 1980. Η επίσκεψη των «Πάιονηρ» 10 και 11 καθώς και των «Βόγιατζερ» 1 και 2 είχε αποτέλεσμα να ανακαλυφτούν, εκτός των άλλων, νέοι δορυφόροι των πλανητών. Επίσης μελετήθηκαν τα μαγνητικά τους πεδία, η ατμόσφαιρά τους και οι δακτύλιοι τους.

## ΠΛΟΥΤΩΝΑΣ

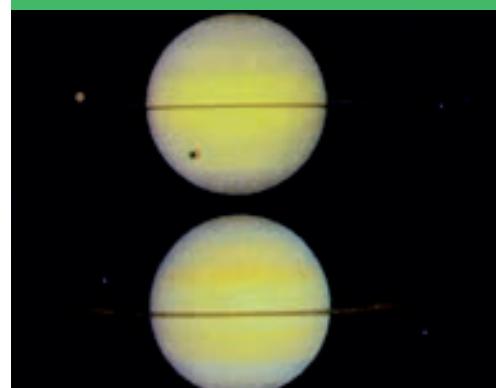
Ο τελευταίος πλανήτης του πλιακού μας συστήματος, ο Πλούτωνας, μοιάζει πιο πολύ με τους γήινους παρά με τους δίιους πλανήτες. Γ' αυτό και αναφέρεται ξεχωριστά.

Ο Πλούτωνας (εικ. 3.51, 3.52) είναι τόσο μακριά από τη Γη, που το φως του κάνει περίπου 330 λεπτά για να φτάσει σ' αυτή. Η **διάμετρός** του είναι μόλις το 0,18 της διαμέτρου της Γης και η **μάζα** του το 0,003 της μάζας της Γης<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Εξαιτίας του μικρού του μεγέθους σε σχέση με τους άλλους πλανήτες καθώς και των υπολοίπων φυσικών χαρακτηριστικών, πολλοί επιστήμονες σήμερα αναρωτιώνται αν ανήκει στην οικογένεια των πλανητών.



**Εικόνα 3.47:** Η ερυθρά κηλίδα του Δία. Ένας τεράστιος στρόβιλος που κινείται προς την αντίθετη πλευρά των δεικτών του ρολογιού και συμπληρώνει μια περιστροφή κάθε 7 ημέρες. Το κοκκινωπό χρώμα της οφείλεται στα χημικά συστατικά των νεφών της.



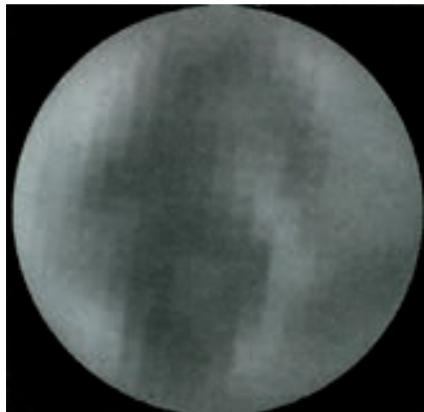
**Εικόνα 3.48:** Ο Κρόνος, όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημικό τηλεσκόπιο Χαμπλ στις 22 Μαΐου 1995. Κάθε 15 χρόνια η Γη βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με αυτό των δακτυλίων του Κρόνου και έτσι είναι δυνατόν να ανακαλυφτούν πιθανοί νέοι δορυφόροι.



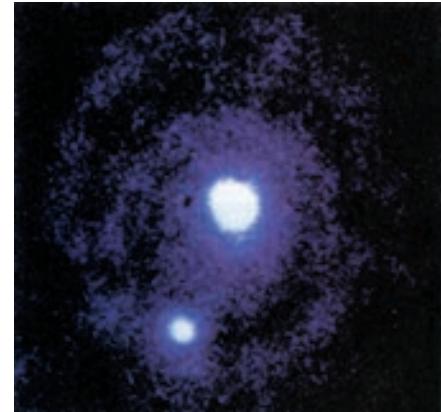
**Εικόνα 3.49:** Ο πλανήτης Ουρανός. Το γαλάζιο χρώμα του οφείλεται στην παρουσία μεθανίου στην ατμόσφαιρά του.



**Εικόνα 3.50:** Ο άλλος γαλάζιος πλανήτης, ο Ποσειδώνας. Διακρίνεται η μεγάλη σκοτεινή κηλίδα του, ένδειξη της έντονης δραστηριότητας που πραγματοποιείται στην ατμόσφαιρά του. Η κηλίδα αυτή έχει μόνο 30.000 Km και κινείται αντίθετα από την κίνηση των δεικτών του ρολογιού.



**Εικόνα 3.51:** Η πλήρης εξήγηση των ανωμαλιών (παρέλξεων) της τροχιάς του Ουρανού, η οποία οδήγησε τους επιστήμονες να ανακαλύψουν τον Ποσειδώνα, ήταν η αιτία για να ανακαλυφτεί και ο ένατος πλανήτης του πλιακού μας συστήματος, ο Πλούτωνας. Πράγματι στις 18 Φεβρουαρίου 1930 βρέθηκε ο νέος πλανήτης επιβεβαιώνοντας τη σχετική υπόθεση για τις επιπλέον ανωμαλίες της τροχιάς του Ουρανού από τον αστρονόμο Π. Λόουελ.



**Εικόνα 3.52:** Ο Πλούτωνας και ο Χάροντας.

### ΟΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΑ

Οι αρχαίοι Έλληνες έδωσαν το όνομα του πιο σπουδαίου θεού τους στον πλανήτη Δία. Σύμφωνα με τη μυθολογία, ο Δίας είναι γιος του Κρόνου. Γεννήθηκε κρυφά από τον πατέρα του σε μια σπηλιά και μεγάλωσε με τις φροντίδες των Νυμφών του όρου Δίκτυος ή κατ' άλλους από τις κόρες του βασιλιά της Κρήτης Μελίσσου, Αδράστεια και Μέλισσα. Επίσης ότι τράφηκε με το γάλα της κατσίκας Αμάλθειας. Οι Ρωμαίοι τον ονόμαζαν Jupiter, που σημαίνει (λάμπων) πατήρ. Αυτό είναι και το όνομα του πλανήτη διεθνώς.

Το όνομα Κρόνος κατά τους Ορφικούς και Στωικούς παράγεται από το Χρόνος, ο οποίος καταβροχθίζει ό,τι ο ίδιος γεννά, όπως ακριβώς έκανε και ο θεός Κρόνος που κατάπιε τα παιδιά του. Οι Ρωμαίοι τον ονόμασαν Saturnus από το ρήμα Satum= σπέρνω. Οι δορυφόροι του έχουν ονόματα Τιτάνων και Γιγάντων, παιδιών του Ουρανού και της Γαίας, όπως ήταν και ο ίδιος ο Κρόνος: Μίμας, Τηθύς, Τιτάν Υπερίων, Ιαπετός, Φοίβη κτλ.

Ο Ουρανός, άγνωστος μέχρι το 1781, πήρε το όνομα του θεού Ουρανού, γιου και συζύγου της Γαίας. Σύμφωνα με τη μυθολογία, αυτοί γεννούν αδιάκοπα το καλό και το

κακό, τους θεούς και τους Τιτάνες. Η Γη είναι η καθολική μπτέρα η οποία παράγει και τρέφει όλα τα όντα. Ο Ουρανός θέλει να σταματήσει τη δημιουργία και γι' αυτό βυθίζει τα παιδιά του, νέφο και βροχή, στα έγκατα της Γης. Ο γιος τους Κρόνος κτυπά και απομακρύνει τον πατέρα Ουρανό. Γ' αυτό ο πέρα από τον Κρόνο πλανήτης ονομάστηκε από τους σύγχρονους αστρονόμους Ουρανός. Οι δορυφόροι του παίρνουν ονόματα από έργα του Σαιξηπορ, Τιτάνας, Θύερον, Μιράντα, Αριπήλ κτλ.

Στον όγδοο πλανήτη δόθηκε το όνομα Ποσειδών, που είναι συνέχεια των ονομάτων των άλλων θεών που δόθηκαν στους προηγούμενους πλανήτες. Είναι ο θεός της θάλασσας και λατρευόταν σε όλη την Ελλάδα και την Ιταλία. Οι δορυφόροι του, Τρίτων και Νηρούς, κατά τη μυθολογία ήταν θαλάσσιοι θεοί, από τη μέσην και πάνω άνδρες και από τη μέσην και κάτω τέρατα.

Ο πιο μακρινός πλανήτης, ο αιώνια τυλιγμένος στο σκοτάδι, ήταν επόμενο να πάρει το όνομα του θεού του Κάτω Κόσμου. Πλούτωνας είναι το σύγχρονο όνομα του Άδη. Και ο μοναδικός του δορυφόρος ήταν φυσικό να ονομαστεί Χάροντας.

Χαρακτηριστικά	Δίας	Κρόνος	Ουρανός	Ποσειδώνας	Πλούτωνας
Ακτίνα στον Ισημερινό	71.492 Km	60.266 Km	25.559 Km	24.746 Km	1.160 Km
Μάζα	$1.9 \times 10^{27}$ Kg	$5.688 \times 10^{26}$ Kg	$8.686 \times 10^{25}$ Kg	$1.024 \times 10^{26}$ Kg	$1.29 \times 10^{22}$ Kg
Μέση πυκνότητα	1,33 gr/cm <sup>3</sup>	0,69 gr/cm <sup>3</sup>	1,29 gr/cm <sup>3</sup>	1,64 gr/cm <sup>3</sup>	2,05 gr/cm <sup>3</sup>
Ταχύτητα διαφυγής Επιτάχυνσης βαρύτητας	59,56 Km/s 22,88 m/s <sup>2</sup>	35,49 Km/s 9,05 m/s <sup>2</sup>	21,30 Km/s 7,77 m/s <sup>2</sup>	23,50 Km/s 11,0 m/s <sup>2</sup>	1,22 Km/s 0,4 m/s <sup>2</sup>
Μέση απόστασην από τον 'Ηλιο'	778.330.000 Km	1.429.400.000 Km	2.870.990.000 Km	4.504.300.000 Km	5.900.100.000 Km
Μέση θερμοκρασία	-121°C έως 17°C	-125°C	-193°C	-218°C	-223°C έως -233°C
Περιήλιο	740.600.000 Km	1.349.900.000 Km	2.739.300.000 Km	4.465.600.000 Km	4.425.100.000 Km
Αφήλιο	816.000.000 Km	1.508.900.000 Km	3.010.700.000 Km	4.546.100.000 Km	7.375.600.000 Km
Περίοδος περιστροφής γύρω από τον άξονά του	9,8 ώρες	10,233 ώρες	17,24 ώρες	16,1 ώρες	6,3872 ημέρες
Περίοδος περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	11,86 γήινα έτη	29,458 έτη	84,01 έτη	164,79 έτη	248,54 έτη
Μέση ταχύτητα περιφοράς γύρω από τον Ήλιο	13,07 Km/s	9,67 Km/s	6,81 Km/s	5,45 Km/s	0,23 Km/s

Πίνακας 3.53: Τα φυσικά χαρακτηριστικά των δύων πλανητών.

Ακτίνα (Km)	Μάζα (Kg)	Απόσταση (Km)	Ανακάλυψη
Naiad	29	;	48.000
Thalassa	40	;	50.000
Despoina	74	;	52.500
Galatea	79	;	62.000
Larissa	104X89	;	73.600
Proteus	200	;	117.600
Triton	1.350	$2,14 \times 10^{22}$	354.800
Nereid	170	;	5.513.40
Charon	635	$1,77 \times 10^{21}$	19.640

Πίνακας 3.54: Οι δορυφόροι του Ποσειδώνα και του Πλούτωνα.

Ακτίνα (Km)	Μάζα (Kg)	Απόσταση (Km)	Ανακάλυψη
Cordelia	13	;	49.750
Ophelia	16	;	53.760
Bianca	22	;	59.160
Cressida	33	;	61.770
Desdemona	29	;	62.660
Juliet	42	;	64.360
Portia	55	;	66.100
Rosalind	27	;	69.930
Belinda	34	;	75.260
Puck	77	;	86.010
Miranda	235,8	$6,33 \times 10^{19}$	129.780
Ariel	578,9	$1,27 \times 10^{21}$	191.240
Umbriel	584,7	$1,27 \times 10^{21}$	265.970
Titania	788,9	$3,49 \times 10^{21}$	435.840
Oberon	761,4	$3,03 \times 10^{21}$	582.600

Πίνακας 3.55: Οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Ουρανού.

	Ακτίνα (Km)	Μάζα (Kg)	Απόσταση (Km)	Ανακάλυψη
Pan	9.655	;	133.583	M.Showalter, 1990
Atlas	20X15	;	137.640	R. Terrile, 1980
Prometheus	72,5X42,5X32,5	$2,7 \times 10^{17}$	139.350	S. Collins, 1980
Pandora	57X42X31	$2,2 \times 10^{17}$	141.700	S. Collins, 1980
Epimetheus	72X54X49	$5,6 \times 10^{17}$	151.422	R. Walker, 1966
Janus	98X96X75	$2,01 \times 10^{18}$	151.472	A. Dollfus, 1966
Mimas	196	$3,80 \times 10^{19}$	185.520	W. Herschel, 1789
Enceladus	250	$8,40 \times 10^{19}$	238.020	W. Herschel, 1789
Tethys	530	$7,55 \times 10^{20}$	294.660	G. Cassini, 1684
Telesto	17X14X13	;	294.660	B. Smith, 1980
Calypso	17X11X11	;	294.660	B. Smith, 1980
Dione	560	$1,05 \times 10^{21}$	377.400	G. Cassini, 1684
Helene	18X16X15	;	377.400	Laques-Lecacheux, 1980
Rhea	765	$2,49 \times 10^{21}$	527.040	G. Cassini, 1672
Titan	2,575	$1,35 \times 10^{23}$	1.221.850	C. Huygens, 1655
Hyperion	205X130X110	$1,77 \times 10^{19}$	1.481.000	W. Bond, 1848
Iapetus	730	$1,88 \times 10^{21}$	3.561.300	G. Cassini, 1671
Phoebe	110	$4,0 \times 10^{18}$	12.952.000	W. Pickering, 1898

Πίνακας 3.56: Οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Κρόνου.

	Ακτίνα (Km)	Μάζα (Kg)	Απόσταση (Km)	Ανακάλυψη
Metis	20	$9,56 \times 10^{16}$	127.969	S. Synnott, 1979
Adrastea	12,5X10X7,5	$1,91 \times 10^{16}$	128.971	Jewitt-Danielson, 1979
Amalthea	135X84X75	$7,17 \times 10^{18}$	181.300	E. Brnard, 1892
Thebe	55X45	$7,77 \times 10^{17}$	221.895	S. Synnott, 1979
Io	1,815	$8,94 \times 10^{22}$	421.600	Marius-Galileo, 1610
Europa	1,569	$4,80 \times 10^{22}$	670.900	Marius-Galileo, 1610
Ganymede	2,631	$1,48 \times 10^{23}$	1.070.000	Marius-Galileo, 1610
Callisto	2,400	$1,08 \times 10^{23}$	1.883.000	Marius-Galileo, 1610
Leda	8	$5,68 \times 10^{10}$	11.094.000	C. Kowal, 1974
Himalia	93	$9,56 \times 10^{18}$	11.480.000	C. Perrine, 1904
Lysithea	18	$7,77 \times 10^{16}$	11.720.000	S. Nicholson, 1938
Elara	38	$7,77 \times 10^{17}$	11.737.000	C. Perrine, 1905
Ananke	15	$3,82 \times 10^{16}$	21.200.000	S. Nicholson, 1951
Carme	20	$9,56 \times 10^{16}$	22.600.000	S. Nicholson, 1938
Pasiphae	25	$1,91 \times 10^{17}$	23.500.000	P. Melotte, 1908
Sinope	18	$7,77 \times 10^{16}$	23.700.000	S. Nicholson, 1914

Πίνακας 3.57: Οι δορυφόροι του Δία.

### 3.7 ΚΟΜΗΤΕΣ ΜΕΤΕΩΡΑ ΚΑΙ ΜΕΣΟΠΛΑΝΗΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ

#### ΟΙ ΚΟΜΗΤΕΣ

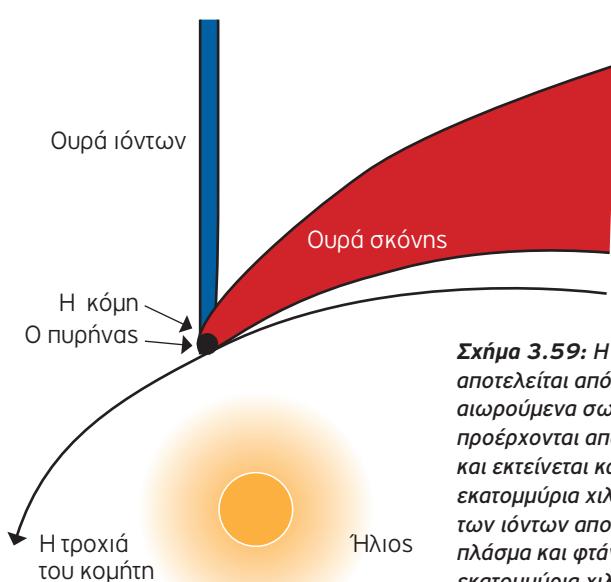
Οι κομήτες είναι μικρά ακανόνιστα ουράνια σώματα, από τα οπία άλλα περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτικές τροχιές και άλλα περνούν μια φορά κοντά απ' αυτόν και εξαφανίζονται στο διάστημα. Οι κομήτες που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο ονομάζονται **περιοδικοί**. Οι τροχιές τους είναι ελλειπτικές, με περιήλιο κοντά στην τροχιά της Γης και αφήλιο πολύ μακριά στο διάστημα, πέρα από τον Πλούτωνα.

Όσο πλοσιάζουν προς τον Ήλιο αρχίζουν να είναι ορατοί με το τηλεσκόπιο. Στην αρχή εμφανίζονται ως μικρά ουράνια σώματα. Όσο πλοσιάζουν προς τον Ήλιο εξαχνώνονται, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας τους, και αποκτούν ένα αεριώδες περιβλήμα, την **κόμη**. Η κόμη τις περισσότερες φορές επεκτείνεται και σχηματίζει την **ουρά** του κομήτη, που κατευθύνεται πάντοτε αντίθετα από τον Ήλιο.

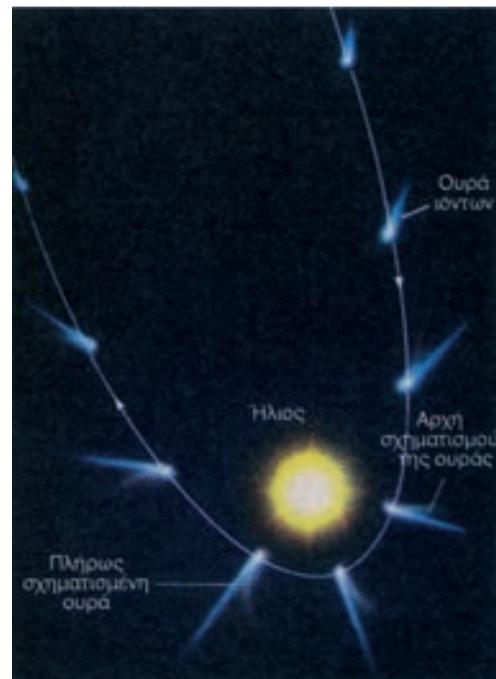
Η κόμη περιβάλλει τον **πυρήνα** των κομητών και αποτελεί το κύριο μέρος τους. Ο πυρήνας τους, που η διάμετρός του φτάνει μέχρι και το  $1/3$  της διαμέτρου της Γης, αποτελείται κυρίως από αέρια, σκόνη και άλλα στερεά υλικά σε μορφή πάγου (εικ. 3.59, 3.60).

Η κόμη τους αποτελείται από νέφη νερού, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια τα οποία προκύπτουν από την εξάχνωση του πυρήνα. Η ουρά τους αποτελείται συνήθως από δύο μέρη. Το ένα μέρος αποτελείται από σκόνη και το άλλο από ιόντα (πλάσμα).

Σχετικά με την προέλευση των κομητών η επικρατέστερη θεωρία είναι αυτή του Ολλανδού αστρονόμου Οόρτ. Σύμφωνα με αυτή, οι κομήτες είναι μέλη του πλιακού μας συστήματος που



**Σχήμα 3.59:** Η ουρά σκόνης αποτελείται από μικρά αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από τον πυρήνα και εκτείνεται και μέχρι 10 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Η ουρά των ιόντων αποτελείται από πλάσμα και φτάνει μέχρι και 100 εκατομμύρια χιλιόμετρα.



**Σχήμα 3.58:** Η ελλειπτική τροχιά ενός κομήτη και η μεταβολή του σχήματός του καθώς πλοσιάζει τον Ήλιο.

Οι αρχαίοι Έλληνες, όταν έβλεπαν τους κομήτες στον ουρανό, ένιωθαν φόβο, γιατί τους θεωρούσαν κακούς οιωνούς που προμηνούσαν συμφρορές.

Το 1195 π.Χ. είδαν έναν κομήτη κοντά στις Πλειάδες. Τον θεώροσαν προάγγελο της καταστροφής της Τροίας.

Το 480 π.Χ. εμφανίστηκε ένας άλλος πάνω από τη Σαλαμίνα, αλλά, παρά το φόβο τους, νίκησαν τους Πέρσες.

Ο Πλούταρχος αναφέρει τον κομήτη που εμφανίστηκε το 44 π.Χ. στον αστερισμό της Μεγάλης Άρκτου τις πημέρες που δολοφονήθηκε ο Ιούλιος Καίσαρ.

#### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΟΜΗΤΗ ΤΟΥ ΧΑΛΕΥ

Απόσταση περιπλίου	0,587 A.U.
Εκκεντρότητα τροχιάς	0,967
Περίοδος περιφοράς	76 έτη
Έτος επόμενου περιπλίου	2061
Διαστάσεις πυρήνα	16x8x8 Km



**Εικόνα 3.60:** Ο κομήτης West το Μάρτιο 1976.

**ΠΛΑΣΜΑ:** Κατάσταση της ύλης. Στην κατάσταση του πλάσματος η ύλη αποτελείται από ιόντα και ηλεκτρόνια που κινούνται ελεύθερα, όπως τα μόρια σε ένα αέριο. Πλήρως ιονισμός της ύλης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες ή από την αλληλεπίδρασή της με ακτινοβολίες υψηλών συχνοτήτων.



**Εικόνα 3.61:** Ο Δίας μετά τη σύγκρουση με τον κομήτη Shoemaker-Levy 9. Η σύγκρουση δημιούργησε στην ατμόσφαιρα του πλανήτη θύσανους καπνού ύψους εκατοντάδων χιλιομέτρων και άφησε καυτές «φούσκες» από αέρια και μεγάλες σκοτεινές «ουλές» που κράτησαν αρκετούς μήνες. Το μεγαλύτερο κομμάτι είχε διάμετρο περίπου 2 χιλιόμετρα.

δημιουργήθηκαν μαζί με αυτό και κινούνται σε τροχιές πέρα από τον Ήλιούτωνα. Το πλήθος τους είναι τεράστιο, περίπου 100 δισεκατομμύρια. Οι αποστάσεις τους από τον Ήλιο είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι θερμοκρασίες τους είναι κοντά στο απόλυτο μηδέν (-273 C). Όταν μερικοί απ' αυτούς πλησιάσουν τους εξωτερικούς πλανήτες, κυρίως το Δία και τον Κρόνο, οι τροχιές τους μεταβάλλονται και είναι δυνατό να κινηθούν έτσι, ώστε να πλησιάσουν τον Ήλιο. Γίνονται ορατοί, όταν πλησιάσουν τον Ήλιο σε απόστασην περίπου 1 A.U.

Κάθε κομήτης παίρνει το όνομα αυτού που θα τον παρατηρήσει πρώτος. Ο πιο ονομαστός είναι ο κομήτης του Χάλεϋ, γνωστός από το 240 π.Χ., και ο οποίος αναστάτωσε τη Γη το 1910, όταν πέρασε πολύ κοντά της. Το 1986, όταν ξαναπέρασε κοντά από την Γη, εξερευνήθηκε από διαστημόπλοια που εκτοξεύθηκαν γι' αυτό το σκοπό.

Ένα φαντασμαγορικό και σπάνιο θέαμα παρακολούθησαν οι επιστήμονες στο διάστημα 16-22 Ιουλίου 1994, όταν ο κομήτης Shoemaker-Levy 9 συγκρούστηκε με το Δία (εικ. 3.61). Τουλάχιστον 20 μεγάλα κομμάτια του συγκρούστηκαν με τον πλανήτη με ταχύτητες που ξεπερνούσαν τα 60 Km/sec.

## ΜΕΤΕΩΡΑ - ΜΕΤΕΩΡΙΤΕΣ

Πολλές φορές τις ασέληνες και χωρίς σύννεφα νύχτες είμαστε μάρτυρες ενός φαινομένου, κατά το οποίο ένα φωτεινό ουράνιο σώμα διατρέχει γρήγορα τον ουρανό και χάνεται μέσα σε δευτερόλεπτα.

Είναι τα γνωστά «αστέρια που πέφτουν». Πρόκειται για αντικείμενα μικρών διαστάσεων που περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο και που, όταν πλησιάσουν κοντά στη Γη, έλκονται από αυτήν. Τότε συγκρούονται με την ατμόσφαιρά της, υπερθερμαίνονται, λιώνουν και εξαερώνονται.

Τα αντικείμενα αυτά ονομάζονται **μετέωρα** και διαιρούνται σε δύο κατηγορίες, στους διάττοντες αστέρες, που έχουν μικρή σχετικά μάζα και λαμπρότητα, και στις **βολίδες**, που είναι μεγαλύτερα, εντυπωσιακότερα και πιο σπάνια φαινόμενα.

Όταν αυτά είναι αρκετά μεγάλα, δεν εξαερώνονται εντελώς και φτάνουν στη Γη προκαλώντας κρατήρες. Αυτά τα αντικείμενα ονομάζονται **μετεωρίτες**.

Τα **μετέωρα** εμφανίζονται είτε σποραδικά είτε με τη μορφή βροχής, που είναι γνωστή ως **βροχή μετεώρων**. Η βροχή αυτή προέρχεται από ένα μετεωρικό ρεύμα το οποίο περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο και δημιουργείται από την αποσύνθεση κάποιου κομήτη. Οι βροχές αυτές παίρνουν το όνομα του αστερισμού ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή του ουρανού στην οποία εκδηλώνονται. Έτσι έχουμε τους Περσείδες, τους Ωριονίδες κτλ. Κάθε 33 χρόνια η Γη διέρχεται από μια περιοχή πυκνή σε μετεωρίτες, η οποία προκαλεί μετεωρική βροχή, τις γνωστές Λεοντίδες. Η τελευταία τέτοιου είδους βροχή έγινε το Νοέμβριο του 1998.

Οι μετεωρίτες έχουν μεγάλη μάζα που δεν προλαβαίνει κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα να καεί. Έτοιμοι απομένει φτάνει στην επιφάνεια και δημιουργεί κρατήρες. Η πτώση τους συνοδεύεται από λάμψη και δυνατό κρότο. Με τον τρόπο αυτό έχει σηματιστεί και ο γνωστός κρατήρας της Αριζόνα.

### Ο ΜΕΣΟΠΛΑΝΗΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ

Η εξερεύνηση του διαστημικού χώρου μεταξύ των πλανητών με σύγχρονα μέσα και κυρίως με διαστημόπλοια έδειξε ότι ο χώρος αυτός δεν είναι κενός. Περιέχει πλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, πλάσμα (πλεκτρόνια, πρωτόνια και άλλα ιόντα), κοσμικές ακτίνες, μικροσκοπικά σωματίδια σκόνης και μαγνητικό πεδίο που προέρχεται κυρίως από τον Ήλιο.

Η πυκνότητά του είναι περίπου 5 σωματίδια /cm<sup>3</sup> κοντά στη Γη και ελαττώνεται αντίστροφα της απόστασης από τον Ήλιο. Ωστόσο, αυτή έχει μεγάλες μεταβολές και μπορεί να φτάσει μέχρι και 100 σωματίδια /cm<sup>3</sup>.

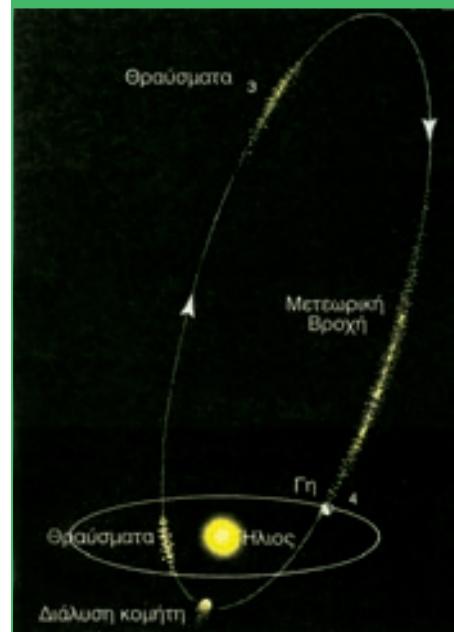
Σε ασέληνες και σκοτεινές νύχτες ένας καλός παρατηρητής θα διακρίνει εύκολα ένα αμυδρό φως να εμφανίζεται, κατά την άνοιξη μετά τη δύση του Ήλιου στο δυτικό ουρανό και κατά το φθινόπωρο πριν από την ανατολή του Ήλιου στον ανατολικό ουρανό. Το φως αυτό ονομάζεται **Ζωδιακό φως** και οφείλεται στη διάχυση των πλιακών ακτίνων στη μεσοπλανητική σκόνη. Ένα αντίστοιχο, αλλά αμυδρότερο φως, παρατηρείται στην αντίθετη με τον Ήλιο θέση. Ονομάζεται **αντιζωδιακό φως** και οφείλεται στον ίδιο λόγο.

### 3.8 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που είχαν και εξακολουθούν να έχουν οι επιστήμονες είναι αυτό της προέλευσης του πλιακού μας συστήματος. Ερωτήματα, όπως

πώς δημιουργήθηκε το πλιακό σύστημα,  
πότε δημιουργήθηκε,  
ποια ήταν η αρχική, η πρώτη ύλη,  
είναι πολύ σημαντικά για την επιστημονική έρευνα.

Οι πρώτες συστηματικές θεωρίες, πέρα από το μύθο και τις δο-



Εικόνα 3.62: Μετεωρικό ρεύμα.



Εικόνα 3.63: Ο μετεωρίτης ALH84001. Έχει πλικά 4,5 εκατομμυρίων χρόνων και έπεσε στην Ανταρκτική πριν 13.000 χρόνια.

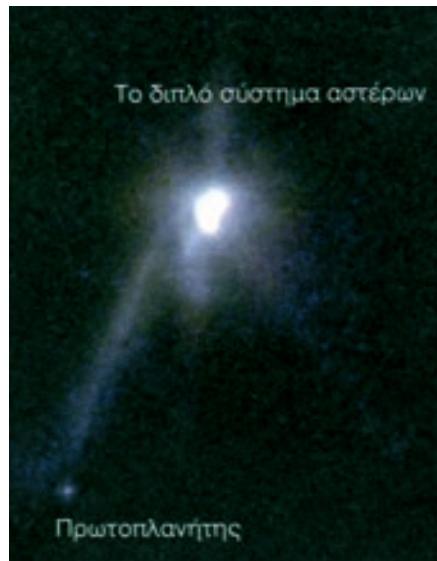


Εικόνα 3.64: Ο κρατήρας της Αριζόνα με διάμετρο 1,2 Km και βάθος 0,2 Km, ο οποίος δημιουργήθηκε πριν 25.000 χρόνια από πρόσκρουση μετεωρίτη. Ο μετεωρίτης υπολογίζεται ότι έχει μήκος 50 μέτρα και ζύγιζε περίπου 200.000 τόνους.

Ο μετεωρίτης ALH84001 πιστεύεται ότι προέρχεται από την επιφάνεια του Άρη. Δημιουργήθηκε από θραύσμα, όταν στην επιφάνεια του Άρη προσέκρουσε με μεγάλη δύναμη άλλος μετεωρίτης και εκτίναξε κομμάτια της επιφανείας του. Η πρόσκρουση αυτή πιθανολογείται ότι έγινε πριν 16 εκατομμύρια χρόνια. Ο μετεωρίτης αυτός περιέχει απολιθώματα, τα οποία πιθανώς να αποδεικνύουν την ύπαρξη αρχέγονης ζωής στον Άρη. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί το μεγάλο ενδιαφέρον των επιστημόνων για τους μετεωρίτες, αφού μεταφέρουν πληροφορίες από το διάστημα.

**Εικόνα 3.65:** Στις 28 Μαΐου 1998 το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble φωτογράφισε στον αστερισμό του Ταύρου, το εικονιζόμενο νεφέλωμα. Στο κέντρο του παρατηρείται ένα διπλό σύστημα πρωτοαστέρων (Ηλίων) με όνομα TMR-1 και γύρω του απλώνεται νέφος από αέρια και σκόνη. Στο άκρο του μεγάλου νήματος, μήκους περίου 200 δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων διακρίνεται ένα συμπύκνωμα, που πιθανόν να είναι ένας νέος πλανήτης.

Απόσταση από τη Γη 450 έτη φωτός.

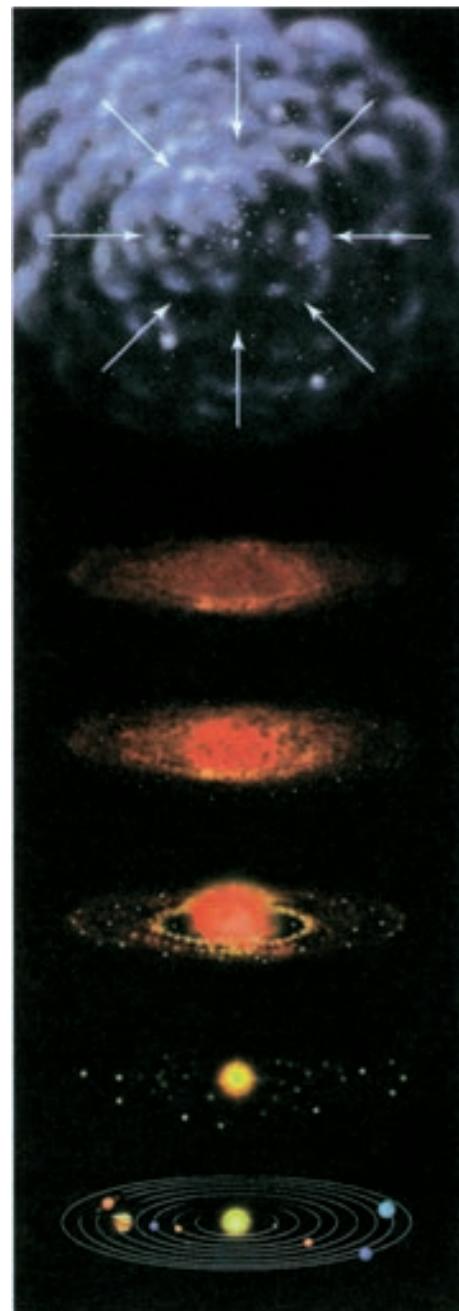


Για τους αρχαίους λαούς και κυρίως για τους αρχαίους Έλληνες το πρόβλημα της προέλευσης του κόσμου είναι στενά συνδεδεμένο με όσα παρατηρούσαν να διαδραματίζονται στον ξάστερο ουρανό. Το ερώτημα πώς δημιουργήθηκε ο Κόσμος και πώς οι θεοί των κυβερνούν ήταν εναγώνιο και ζωτικής σημασίας για όλους τους αρχαίους λαούς. Γι' αυτό στους μύθους και στις παραδόσεις τους, συναντάμε πολλές αναφορές για το σχετικό ζήτημα. Από την αρχαία Ελλάδα τέτοιου είδους αναφορές έχουν διασωθεί στη Θεογονία του Ήσιοδου, στα ποιήματα του Ομήρου και στους Ύμνους του Ορφέα, τα Ορφικά.

Οι ύμνοι του Ορφέα, γιού του βασιλιά της Θράκης Οιάρου, αναφέρονται στη Θεογονία και στην κοσμογονία: «Ο κόσμος γεννήθηκε από την νύκτα, μέσα στο χάος και στο σκότος υπήρχε ο Αιθέρας. Από αυτόν δημιουργήθηκε ο Χρόνος, το κοσμικό αυγό, απ' το οποίο εκκολάπτεται ο Φάντης, πρώτη μορφή του Διονύσου, που δημιουργεί τα πάντα, Ουρανό, Γη, Ήλιο, Σελήνη, αστέρες. Η Νύκτα με τον Φάνη, γεννά τους Τιτάνες απ' τους οποίους έλκει το γένος ο Ζευς...»

Οι σύγχρονες παραδόσεις των λαών και ιδιαίτερα των πρωτόγονων περιέχουν άφθονα κοσμογονικά στοιχεία.

**Σχήμα 3.66:** Η νεφελική θεωρία για τη δημιουργία του πλιακού συστήματος:  
Συμπύκνωση και κατάρρευση των εξωτερικών περιοχών, Συρρίκνωση, Ανάπτυξη φυγόκεντρης δύναμης, Δημιουργία πεπλατυσμένου δίσκου.



Ξασίες, για τη δημιουργία του πλιακού συστήματος εμφανίζονται το 18ο αιώνα κυρίως, με τις θεωρίες του Καντ και του Λαπλάς.

Ο Γερμανός φιλόσοφος Εμμάνουελ Καντ το 1755 πρότεινε για πρώτη φορά τη θεωρία ότι οι πλανήτες προέκυψαν από τη συμπύκνωση ενός τεράστιου νέφους αερίων και σκόνης. Στη συνέχεια και άλλοι επιστήμονες, όπως ο Λαπλάς (Laplace), ο Κόιπερ (Kuiper) και ο Χόιλ (Hoyle) επέκτειναν και συμπλήρωσαν τη θεωρία αυτή, γνωστή και ως **νεφελική θεωρία**. Σήμερα η θεωρία αυτή με αρκετές βελτιώσεις αποτελεί τη θεωρία της **νεφελικής συμπύκνωσης**.

Σύμφωνα με τη θεωρία της νεφελικής συμπύκνωσης, το αρχι-

κό νέφος συμπυκνώθηκε και συρρικνώθηκε με αργό ρυθμό κάτω από την επίδραση της βαρύτητάς του, ενώ ταυτόχρονα άρχισε να περιστρέφεται.

Όσο οι περιοχές του αρχικού νέφους κατέρρεαν, λόγω της βαρύτητάς, τόσο αυξανόταν η ταχύτητα περιστροφής τους. Το αποτέλεσμα της περιστροφής και της βαρυτικής κατάρρευσης ήταν το νέφος να αποκτήσει τη μορφή ενός πεπλατυσμένου δίσκου. Στο κέντρο του δίσκου σχηματίστηκε ένας πρωτοαστέρας από τον οποίο προέλθει ο Ήλιος. Στα εξωτερικά στρώματα του δίσκου δημιουργήθηκαν περιοχές με πιο συμπυκνωμένη ύλη από τις οποίες σχηματίστηκαν οι πρωτοπλανήτες και τελικά οι πλανήτες. Τα κομμάτια που απέμειναν αποτέλεσαν τους αστεροειδείς και τους κομήτες. Με ανάλογο τρόπο σχηματίστηκαν και οι δορυφόροι των πλανητών.

Η θεωρία αυτή τα τελευταία χρόνια τείνει να γίνει αποδεκτή, αφού οι επιστήμονες με τα σύγχρονα μέσα που διαθέτουν πλέον κατάφεραν να εντοπίσουν τέτοιους είδους πλανητικούς δίσκους πέρα από το πλιακό μας σύστημα (εικ. 3.65).

Παράλληλα, με τη βοήθεια πλεκτρονικών υπολογιστών κατάφεραν να κατασκευάσουν μοντέλα προσομοίωσης αυτού του φαινομένου και να μελετήσουν τον τρόπο συμπύκνωσης και σχηματισμού των πλανητών και των δορυφόρων τους (σχ. 3.66).

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Οι πλανήτες του πλιακού μας συστήματος **κινούνται** γύρω από τον Ήλιο κατά την αντίθετη φορά των δεικτών του ρολογιού σε ελλειπτικές τροχιές. Η τροχιά του Ερμή και αυτή του Πλούτωνα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη εκκεντρότητα. Οι αποστάσεις μεταξύ των πλανητών δεν είναι σταθερές, αλλά αυξάνονται καθώς απομακρυνόμαστε από τον Ήλιο.
- Μεταξύ των πλανητών οι Ερμής, Αφροδίτη, Γη και Άρης, δηλαδή οι καλούμενοι γήινοι, έχουν περίπου την ίδια **πυκνότητα** και γενικά είναι βραχώδεις. Αντίθετα, οι Δίας, Κρόνος, Ουρανός και Ποσειδώνας, οι επονομαζόμενοι δίοι, έχουν πολύ μικρότερη πυκνότητα και αποτελούνται κυρίως από αέριο ή υγροποιημένο υδρογόνο και ήλιο.
- Σχετικά με το **μέγεθος** των πλανητών και όσον αφορά τους γήινους πλανήτες, ο Ερμής είναι σχεδόν όμοιος με τη Σελήνη. Η Αφροδίτη έχει μάζα και ακτίνα όση και η Γη, ενώ ο Άρης είναι μικρότερος από αυτή. Οι δίοι πλανήτες χαρακτηρίζονται από την τεράστια μάζα και ακτίνα τους σε σχέση με τη Γη.
- Από τους γήινους πλανήτες ο Ερμής δεν έχει **ατμόσφαιρα**. Η ατμόσφαιρα των υπόλοιπων γήινων πλανητών, δηλαδή της Αφροδίτης και του Άρη, αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα. Η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης είναι εξαιρετικά θερμή και είναι 90 φορές πιο πυκνή από αυτή της Γης. Αντίθετα, η κρύα ατμόσφαιρα του Άρη είναι μόνο το 0,7% της πυκνότητας της Γης. Η ατμόσφαιρα των δίων πλανητών, όσο βυθιζόμαστε προς το εσωτερικό της, γίνεται θερμότερη και πυκνό-

τερη και τελικά εμφανίζεται υγροποιημένη. Η κόκκινη κηλίδα στο Δία και η σκοτεινή κηλίδα στον Ποσειδώνα δηλώνουν ότι στην ατμόσφαιρά τους εκδηλώνονται τεράστιες καταιγίδες.

- Η **επιφάνεια** των πλανητών παρουσιάζει αρκετές διαφορές. Η επιφάνεια των γήινων πλανητών έχει πολλούς κρατήρες και πηφαίστεια. Η επιφάνεια του Άρη, για παράδειγμα, έχει τεράστια μη ενεργά πηφαίστεια και ίχνη ύπαρξης νερού κατά το παρελθόν. Οι δίοι πλανήτες δεν έχουν στερεά επιφάνεια.
- Το **εσωτερικό** των γήινων πλανητών παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες. Όλοι έχουν θερμό και σε τήξη πυρήνα, ο οποίος περιβάλλεται από εκτεταμένο μανδύα. Αυτός καταλήγει στο στερεό φλοιό, που αποτελεί και την επιφάνεια των πλανητών. Η στερεά μάζα των δίιων πλανητών είναι συνήθως μία τεράστια μάζα από πάγο και πετρώματα πλούσια σε άνθρακα, και αποτελεί το εσωτερικό αυτών των πλανητών.
- Οι γήινοι πλανήτες, εκτός από τη Γη, έχουν πολύ ασθενές **μαγνητικό πεδίο**. Αντίθετα, οι δίοι πλανήτες και κυρίως ο Δίας έχουν ισχυρότατο μαγνητικό πεδίο.
- Ο Ερμής και η Αφροδίτη δεν έχουν **δορυφόρους**. Η Γη και ο Πλούτων έχουν από ένα μόνο, τη Σελήνη και το Χάροντα αντίστοιχα. Ο Άρης έχει δύο. Οι δίοι πλανήτες έχουν πολύ περισσότερους. Ο Δίας 16, ο Κρόνος 22, ο Ουρανός 17 και ο Ποσειδώνας 8. Οι δίοι πλανήτες, εκτός από τους δορυφόρους, περιβάλλονται και από σύστημα **δακτυλίων**.
- Ο Πλούτωνας μοιάζει περισσότερο με τους γήινους πλανήτες στα πιο πολλά χαρακτηριστικά του.
- Οι αστεροειδείς, οι κομήτες, τα μετέωρα και οι μετεωρίτες συμπληρώνουν μαζί με τη μεσοπλανητική ύλη το πλιακό σύστημα.
- Το πλιακό σύστημα δημιουργήθηκε από τη βαρυτική κατάρρευση, συμπύκνωση και περιστροφή ενός γιγαντιαίου αρχικού νέφους αερίων και σκόνης.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Περιγράψτε τρεις διαφορές μεταξύ των γήινων και δίιων πλανητών.
2. Να εξηγήσετε πώς η Σελήνη προκαλεί παλίρροιες στους ωκεανούς της Γης.
3. Γιατί η Αφροδίτη φαίνεται στο νυχτερινό ουρανό τόσο λαμπερή;
4. Να αναφέρετε δύο χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας της Αφροδίτης που κάνουν τον πλανήτη ακατάλληλο για τη γήινη ζωή.
5. Γιατί ο Άρης είναι κόκκινος;
6. Να συγκρίνετε την ατμόσφαιρα του Άρη, της Γης και της Αφροδίτης.
7. Πιστεύετε ότι είναι λογικός στόχος να αποσταλούν άνθρωποι στον Άρη στο εγγύς μέλλον; Ναι ή όχι και γιατί;
8. Πώς ανακαλύφθηκε ο Ουρανός;
9. Πώς ανακαλύφθηκε ο Πλούτωνας;
10. Ποια μορφή έχουν οι κομήτες, όταν βρίσκονται μακριά από τον Ήλιο; Τι συμβαίνει, όταν εισέλθουν στο εσωτερικό του πλιακού συστήματος;
11. Να ονομάσετε τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας κομήτης.
12. Να εξηγήσετε τη διαφορά μεταξύ μετεώρου και μετεωρίτη.
13. Ποια είναι προέλευση του πλιακού συστήματος;
14. Γιατί είναι σημαντική η μελέτη των μικρών σωμάτων του πλιακού συστήματος;

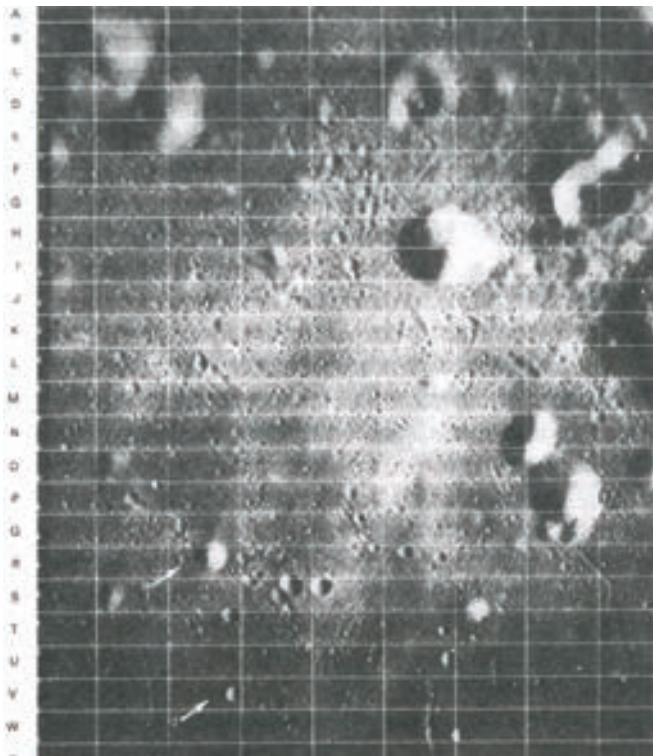
## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

- Πόσο χρόνο χρειάζεται το σήμα ραντάρ να ταξιδέψει από τη Γη στον Ερμή και να επιστρέψει πίσω, όταν βρίσκονται στην ελάχιστη μεταξύ τους απόσταση;
- Η ατμόσφαιρα της Αφροδίτης έχει πάχος περίπου 50 Km και ομοιόμορφη πυκνότητα 21 Kg/m<sup>3</sup>. Υπολογίστε τη συνολική της μάζα.
- Πόσο χρόνο χρειάζεται ένα διαστημόπλοιο να κάνει το ταξίδι Γη - Δίας με επιστροφή, όταν κινείται με ταχύτητα 20 Km/s;
- Υποθέστε ότι η μέση μάζα καθενός από τους 6.000 αστεροειδείς είναι 1.017 Kg. Συγκρίνετε τη συνολική τους μάζα με τη μάζα της Γης.

## ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

### 1. Λεπτομέρειες από την επιφάνεια της Σελήνης

Μετά το τέλος της δραστηριότητας αυτής θα μπορείτε να διαβάζετε τους χάρτες της Σελήνης, να αναγνωρίζετε και να αξιολογείτε τα διάφορα χαρακτηριστικά τους.



Η φωτογραφία (δίπλα) δείχνει μία περιοχή της Σελήνης 30 έως 40 Km που βρίσκεται στο σεληνιακό ισημερινό. Οι μικρότεροι κρατήρες που φαίνονται έχουν διάμετρο 30 m.

- Παρατηρώντας προσεκτικά τη φωτογραφία προσπαθήστε να καταλάβετε αν τα αριθμημένα σημεία με τους αριθμούς 1 ή 2 είναι υπερυψωμένα ή όχι, δικαιολογώντας την άποψή σας. Από ποια πλευρά πέφτει το πλιακό φως;
- Στη φωτογραφία επίσης είναι εμφανή κάποια χαρακτηριστικά της Σελήνης, όπως κρατήρες και όρη. Βρείτε το είδος καθενός απ' αυτά και προσδιορίστε τις συντεταγμένες του (π.χ. Η-6).

### 2. Δημιουργία μοντέλου του πλιακού συστήματος

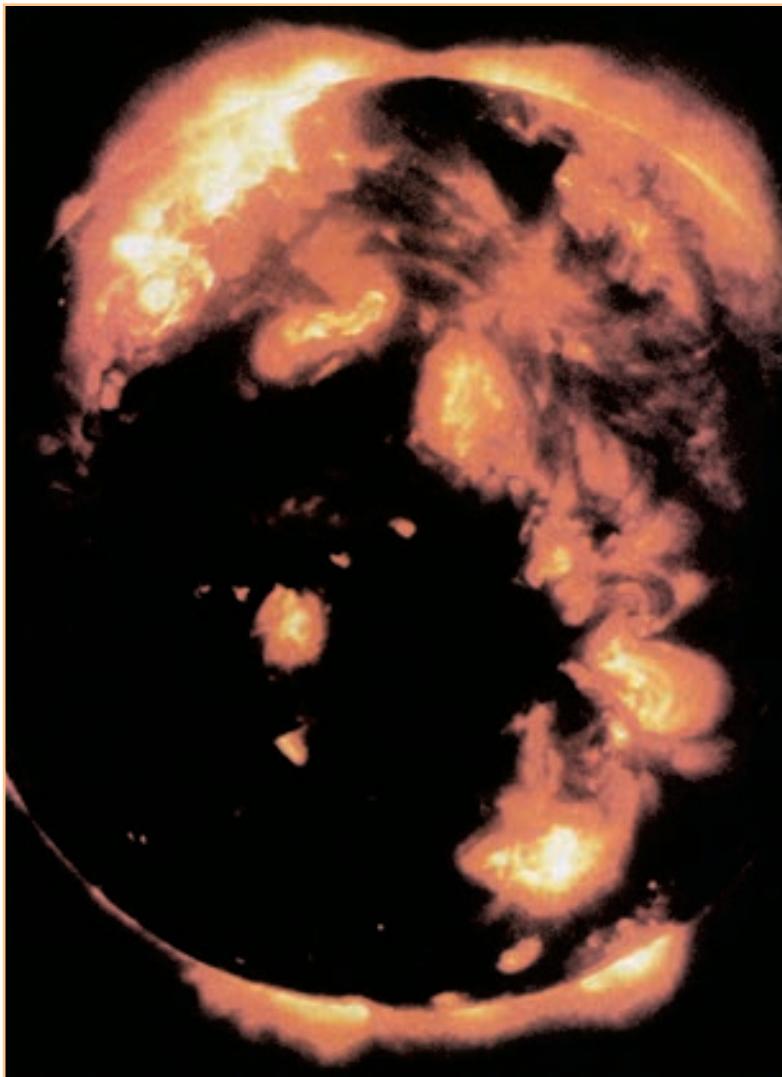
Χρησιμοποιήστε τους πίνακες των φυσικών χαρακτηριστικών των πλανητών και κατασκευάστε ένα μοντέλο του πλιακού συστήματος. Για να υπάρχει αναλογία στο μέγεθος των πλανητών καθώς και στις αποστάσεις τους από τον Ήλιο, αλλά και μεταξύ τους, κατασκευάστε το μοντέλο, αφού πρώτα επιλέξετε συγκεκριμένη κλίμακα. Για παράδειγμα, συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα και κατασκευάστε ένα μοντέλο του πλιακού συστήματος.

	Μέση πραγματική απόσταση από τον Ήλιο σε Α.Υ.	Μέση απόσταση στο μοντέλο	Διάμετρος σε Km	Διάμετρος στο μοντέλο σε mm
Ήλιος			1.392.000	1 m
Ερμής				
Αφροδίτη				
Γη	1,0	66 cm	12,8	9,2 mm
Άρης				
Δίας				
Κρόνος				
Ουρανός				
Ποσειδών				
Πλούτων				



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## Ο ΗΛΙΟΣ



«*Ἡλιε μου και κυρ Ἡλιε μου, κοσμοτριγνοιστί μου,  
εσύ που στα ψηλά γυρνάς και χαμπλ' αρμενίζεις.*»

*Δημοτικό*

Η θέα του Ήλιου κατέχει κορυφαία θέση στην ανθρώπινη εμπειρία. Η μοναδικότητα και το μεγαλείο του έχει καταγραφεί στις μυθολογίες, στις αρχαίες θρησκείες και στη λογοτεχνία όλων των λαών.

Η πλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη είναι η θεμελιώδης προϋπόθεση της ύπαρξης και συντήρησης της ζωής. Τα φαινόμενα που συμβαίνουν στον Ήλιο και οι μηχανισμοί μέσω των οποίων παράγεται η ζωογόνης ακτινοβολία του ήταν και είναι μια πρόκληση για την ανθρώπινη διάνοια.

Η μελέτη του Ήλιου που περιέχεται σ' αυτό το κεφάλαιο εστιάζεται στα εξής τρία ερωτήματα:

- Ποια φαινόμενα παρατηρούμε στον Ήλιο;
- Ποια είναι η πηγή της τεράστιας ενέργειας που εκπέμπει γύρω του;
- Ποια είναι η δομή του;

## 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τι είναι όμως ο Ήλιος;

Ουσιαστικά είναι μια θερμή σφαίρα αερίων, στο εσωτερικό της οποίας γίνονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Αποτέλεσμα των αντιδράσεων είναι η παραγωγή ενέργειας, η οποία ύστερα από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια φτάνει στην επιφάνεια του Ήλιου και στη συνέχεια μόλις σε 8,3 λεπτά φτάνει στη Γη.

Το μεγάλο ενδιαφέρον που παρουσιάζει η μελέτη του Ήλιου καθώς και οι ειδικές συνθήκες παρατήρησή του δημιούργησαν έναν ιδιαίτερο κλάδο της Αστρονομίας, την Ηλιακή Φυσική.

Βέβαια το γεγονός ότι ο Ήλιος βρίσκεται κοντά στη Γη μας κάνει πολλές φορές να ξεχνάμε ότι είναι και αυτός ένας αστέρας από τους εκατοντάδες του Γαλαξία μας που βλέπουμε με γυμνό μάτι στο νυχτερινό ουρανό. Είναι, δηλαδή, ο κοντινότερος στη Γη αστέρας. Παρατηρώντας τον Ήλιο είναι σαν να παρατηρούμε έναν οποιοδήποτε ίδιο με αυτόν αστέρα. Έτσι, τα συμπεράσματα από τη μελέτη του μπορούμε να τα γενικεύσουμε για ένα πολύ μεγάλο πλήθος αστέρων.

## 4.2 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Φωτεινότητα του Ήλιου ονομάζεται η ενέργεια που παράγει ο Ήλιος στη μονάδα του χρόνου. Η τιμή της, που είναι  $3,86 \times 10^{26}$  Watts, υπολογίστηκε όταν οι αστρονόμοι κατάφεραν να προσδιορίσουν την απόσταση Γης - Ήλιου. Η ενέργεια που φτάνει στη Γη ανά μονάδα επιφάνειας  $1m^2$  και ανά δευτερόλεπτο ονομάζεται **πλιακή σταθερά**. Ισοδυναμεί με την ισχύ που παράγεται από 14 λαμπτήρες των 100 Watts, ποσότητα αντικειμενικά πολύ μεγάλη για τα γήινα δεδομένα.

Η ενέργεια λοιπόν που παράγει ο Ήλιος είναι τεράστια. Οι αστρονόμοι του 19ου αιώνα υπολόγισαν ότι τέτοια ποσά ενέργειας ήταν αδύνατο να παράγονται για περισσότερο από μερικές χιλιάδες χρόνια με κημικές διαδικασίες. Την ίδια εποχή όμως οι γεωλόγοι γνώριζαν ότι η Γη είχε πλικά χιλιάδων χρόνων. Επομένως, κάποιος άλλος τρόπος παραγωγής ενέργειας, άγνωστος στους επιστήμονες της εποχής αυτής έπρεπε να συμβαίνει στον Ήλιο.

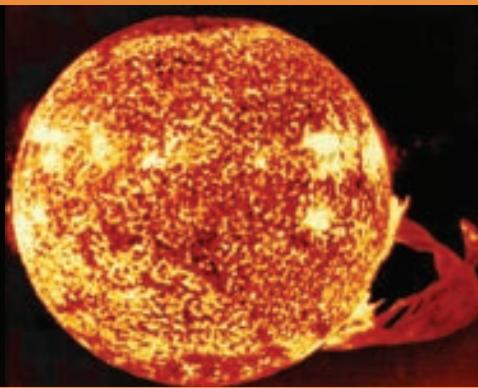
Ο Αϊνστάιν το 1905 διατύπωσε τη βασική ιδέα που εξηγούνσε την προέλευση της ενέργειας του Ήλιου.

Στην Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας ενέργεια και μάζα συνδέονται με τη σχέση:

$$E=mc^2$$

όπου **m** η μάζα στην οποία αντιστοιχεί η ενέργεια **E** και **c** η ταχύτητα του φωτός.

Επειδή η ποσότητα  **$c^2$**  είναι ιδιαίτερα μεγάλη ( $9 \times 10^{16} m^2/s^2$ ), σε ελάχιστη μάζα αντιστοιχεί τεράστια ποσότητα ενέργειας. Για παράδειγμα, 1.000 Kg ύλης αντιστοιχούν σε ενέργεια  $9 \times 10^{19} J$ ,



**Εικόνα 4.1:** Η εικόνα αυτή δείχνει μια έκρηξη στην ατμόσφαιρα του Ήλιου που φωτογραφήθηκε από το Skylab το 1973.

### Ο Ήλιος: Ένας τυπικός αστέρας

Απόσταση από τη Γη	1 A.U.
Ακτίνα	$6.966 \times 10^8$ m
Μάζα	$1.991 \times 10^{30}$ Kg
Μέση πυκνότητα	$1.419 \text{ Kg/m}^3$
Λαμπρότητα	$3.86 \times 10^{26}$ W
Ηλικία	4,5 δισεκατ. έτη

δηλαδή στη συνολική ενέργεια που καταναλώνουν οι Ενωμένες Πολιτείες σε ένα έτος!

Για να μπορέσει όμως να πραγματοποιηθεί η μετατροπή της ύλης σε ενέργεια, απαιτούνται ειδικές φυσικές συνθήκες πολύ υψηλής πυκνότητας και θερμοκρασίας. Οι συνθήκες αυτές επικρατούν στον πυρήνα του Ήλιου όπου η θερμοκρασία είναι της τάξεως των  $15 \times 10^6$  K και η πυκνότητα 150 φορές υψηλότερη από αυτή του νερού. Εκεί η κατάσταση της ύλης είναι διαφορετική από αυτές που γνωρίζουμε στη Γη (τη στερεά, την υγρή και την αέρια). Η κατάσταση αυτή λέγεται κατάσταση πλάσματος. Πρόκειται για ένα αέριο φορτισμένων σωματιδίων, δηλαδή πλεκτρόνια και πυρήνες ατόμων που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες και συμπεριφέρονται ως ελεύθερα σωματίδια.

Κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις γίνεται δυνατή η απελευθέρωση της ενέργειας που περιέχεται στους πυρήνες των ατόμων με δύο τρόπους:

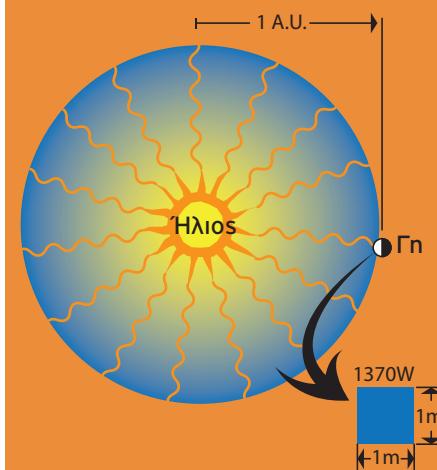
- την πυρηνική σχάση και
- την πυρηνική σύντηξη.

Στον Ήλιο και σ' όλους τους αστέρες η ενέργεια παράγεται με το δεύτερο τρόπο, την πυρηνική σύντηξη.

Στην τωρινή φάση της ζωής του Ήλιου από το υδρογόνο που υπάρχει στον πυρήνα του μέσω της πυρηνικής σύντηξης παράγεται ήλιο.

Η αντίδραση αυτή γίνεται καθώς πρωτόνια (δηλαδή οι πυρήνες του υδρογόνου) συγκρούονται και δημιουργούν πυρήνες πλίου, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται ενέργεια με τη μορφή ακτίνων γ και νετρίνων. Η συγκεκριμένη αντίδραση ονομάζεται αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου (p-p για συντομία) και απελευθερώνει περίπου  $4,2 \times 10^{-12} \text{J}$  για τη δημιουργία ενός πυρήνα ήλιου. Για να δικαιολογηθεί η φωτεινότητα του Ήλιου, θα πρέπει πλιακή μάζα ίση με 140 τρισεκατομμύρια τόνους να μετατρέπεται σε ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός χρόνου.

Με τη διαδικασία p-p (σχ.4.3) αυξάνεται η περιεκτικότητα του Ήλιου σε ήλιο και μειώνεται σε υδρογόνο. Ο Ήλιος έχει τεράστια αποθέματα υδρογόνου. Ωστόσο, μόνο το υδρογόνο που βρίσκεται κοντά και μέσα στον πυρήνα του Ήλιου χρησιμοποιείται, δηλαδή μόλις το 10% της ολικής του μάζας. Βέβαια κάποτε το υδρογόνο θα εξαντληθεί. Πότε θα συμβεί αυτό; Πόσα χρόνια μπορεί να ζήσει ακόμα ο Ήλιος; Οι αστροφυσικοί εκτιμούν ότι ο Ήλιος θα συνεχίσει να παράγει ενέργεια από τη σύντηξη υδρογόνου για 10 δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα. Όταν το υδρογόνο του πυρήνα τελειώσει, θα αρχίσει η σύντηξη του πλίου σε βαρύτερα στοιχεία. Τότε ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας θα αλλάξει και, όταν συμβεί αυτό, η διάμετρος, η θερμοκρασία και η λαμπρότητα του Ήλιου θα μεταβληθούν. Τα θέματα αυτά όμως θα μελετηθούν εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.



**Σχήμα 4.2:** Η πλιακή ενέργεια που φτάνει στη μονάδα επιφάνεια της Γης, ανά μονάδα χρόνου.

Απ' όλα τα ουράνια σώματα ο Ήλιος είχε την πιο μεγάλη επίδραση στη φαντασία του ανθρώπου. Οι αρχαίοι λαοί λάτρευαν τον Ήλιο και προ τιμή του είχαν καθιερώσει πλήθος τελετών.

Οι αρχαίοι Έλληνες λάτρευαν τον Ήλιο και φρόντιζαν οι ακτίνες του να φωτίζουν τους ναούς τους. Η λέξη Ήλιος, που προέρχεται από τις λέξεις Αβέλιος, αέλιος, πέλιος, σημαίνει κάτι που καίει. Ο θεός Ήλιος θεωρήθηκε γιός του Υπερίωνα και της Θείας ή της Ευρυφάεσσας (Πολύφωτης). Πολλές φορές ταυτίζοταν με τον πατέρα του και ονομαζόταν Ήλιος -Υπερίων.

Ο Ήλιος δοξάστηκε και λατρεύτηκε σε όλες τις περιόδους της ανθρωπότητας. Γράφει ο Πίνδαρος χαιρετίζοντας την επανεμφάνισή του μετά από μία έκλειψη.

«Ἀκτίς ἀελίου πολύσκοπε όμματων».

Δηλαδή: Ήλιαχτίδα συ, που τόσα βλέπεις, μάνα των ματιών.

Όστε η ενέργεια που ακτινοβολείται από τον Ήλιο, ένα μέρος της οποίας φτάνει στη Γη, προέρχεται από τον πυρήνα του.

Για να καταφέρει, ωστόσο, ένα φωτόνιο που γεννήθηκε στον πυρήνα του Ήλιου να φτάσει στην επιφάνειά του, απαιτείται πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι πλιακές ακτίνες που βλέπουμε σήμερα έχουν γεννηθεί πριν από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια.

**Στην πυρηνική σχάση ο πυρήνας του ατόμου ενός βαρύτερου στοιχείου (π.χ. ουράνιο ή πλουτώνιο) χωρίζεται σε ελαφρύτερους πυρήνες. Τότε το άθροισμα των μάζων των νέων πυρήνων είναι μικρότερο από τη μάζα του αρχικού πυρήνα.**

**Η διαφορά αυτή μετατρέπεται σε ισοδύναμο ποσό ενέργειας και ελευθερώνεται με τη μορφή ακτινοβολίας.**

**Στην πυρηνική σύντηξη πυρήνες ατόμων ελαφρύτερων στοιχείων συντίκονται, οπότε δημιουργούνται βαρύτεροι πυρήνες. Πάλι οι πυρήνες που προκύπτουν είναι μικρότερης μάζας από τους αρχικούς και η διαφορά τους μετατρέπεται σε ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας.**

### 4.3 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Το εσωτερικό του Ήλιου περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας του (σχ 4.3) και είναι το μέρος όπου παράγεται η ενέργεια του. Όλα τα χαρακτηριστικά του Ήλιου είναι αποτέλεσμα της ροής της ενέργειας από το εσωτερικό προς την επιφάνειά του και ερμηνεύονται με τη βοήθεια των νόμων της Φυσικής.

Ποια όμως είναι η δομή του Ήλιου;

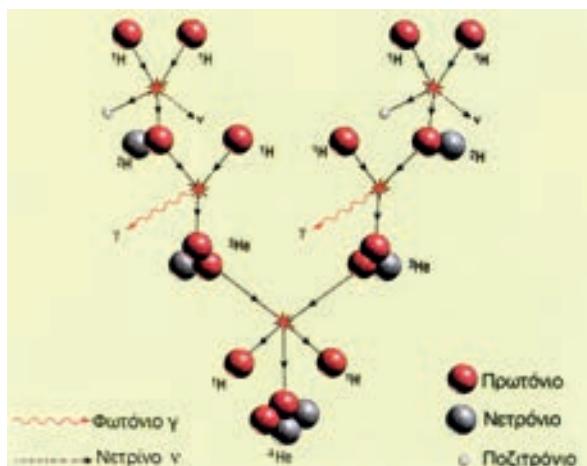
Σύμφωνα με τα θεωρητικά μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί για τον Ήλιο, μπορούμε να διακρίνουμε σ' αυτόν εσωτερικά και εξωτερικά τμήματα (σχ. 4.4).

#### Η ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

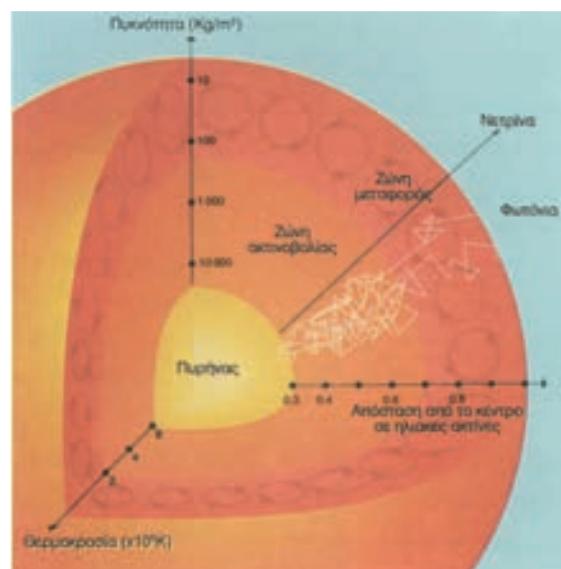
Για το εσωτερικό τμήμα του Ήλιου έχουμε μόνο έμμεσα στοιχεία, μια και η ακτινοβολία που δημιουργείται εκεί απορροφάται κατά τη διαδρομή της στα επόμενα στρώματα που το περιβάλλουν.

Τα πιο έγκυρα πλιακά μοντέλα χωρίζουν το εσωτερικό του Ήλιου σε τρεις ζώνες (σχ 4.4): α) στον πυρήνα, β) στην επιφάνεια και γ) στην ζώνη μεταφοράς.

Στον πυρήνα γίνονται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις και παράγεται η πλιακή ενέργεια από την «καύση» υδρογόνου ( $H$ ) σε πλιο ( $He$ ). Η θερμοκρασία του πυρήνα, όπως αναφέρθηκε, είναι



**Σχήμα 4.3:** Η αντίδραση της αλυσίδας  $p-p$ . Κατά την αντίδραση αυτή παράγονται πυρήνες πλιού και νετρίνα, και εκλύεται ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας.



**Σχήμα 4.4:** Η εσωτερική δομή του Ήλιου σε τρεις άξονες θερμοκρασίας, πυκνότητας και απόστασης.

$8\text{-}15 \times 10^6$  K και η ακτίνα του το 20% της πλιακής. Το 98% της ενέργειας που εκλύεται εκεί μεταφέρεται στην επόμενη ζώνη με φωτόνια ακτινοβολίας γ και με νετρίνα.

Ο πυρήνας περιβάλλεται από τη ζώνη ακτινοβολίας. Πρόκειται για ένα σφαιρικό φλοιό που έχει πάχος το 50% της πλιακής ακτίνας, θερμοκρασία  $2\text{X}10^6$  έως  $8\text{X}10^6$  K και αποτελείται από ιονισμένη ύλη.

Η ενέργεια που έχει παραχθεί στον πυρήνα μεταφέρεται από τις εσωτερικές προς τις εξωτερικές περιοχές της ζώνης αυτής με ακτινοβολία. Τα φωτόνια απορροφούνται και επανεκπέμπονται από τα ελεύθερα πλεκτρόνια και τα ιόντα της ζώνης ακτινοβολίας (σχ. 4.5).

Γύρω από τη ζώνη ακτινοβολίας εκτείνεται η ζώνη μεταφοράς με πάχος περίπου το 30% της πλιακής ακτίνας. Στην περιοχή αυτή επικρατούν χαμπλότερες θερμοκρασίες, της τάξεως των  $2\text{x}10^6$  K.

Η μικρή, σχετικά, θερμοκρασία και η αρκετά μεγάλη πυκνότητα της ύλης ευνοεί το σχηματισμό ουδέτερων ατόμων, τα οποία απορροφούν τα φωτόνια που φτάνουν εκεί από τη ζώνη ακτινοβολίας. Η μεταφορά της ενέργειας προς τα εξωτερικά στρώματα του Ήλιου γίνεται πλέον κυρίως μέσω ανοδικών ρευμάτων ύλης.

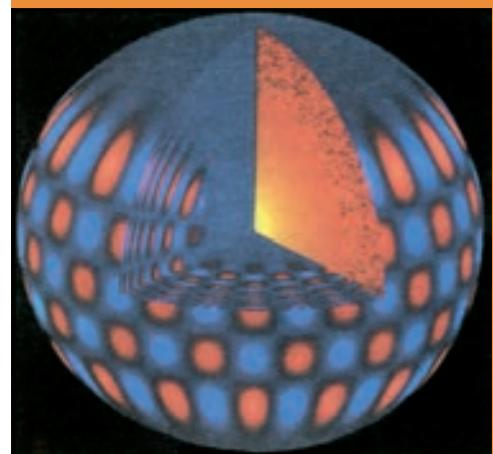
Στο τέλος της ζώνης μεταφοράς η πυκνότητα της ύλης του Ήλιου έχει μειωθεί σημαντικά. Τα άτομα και τα ιόντα συμπεριφέρονται ως ελεύθερα σωματίδια και μπορούν να επανεκπέμπουν φωτόνια. Η ενέργεια διαδίδεται προς την πλιακή επιφάνεια πάλι με ακτινοβολία. Τα φωτόνια που φτάνουν τελικά στην επιφάνεια του Ήλιου δεν έχουν βέβαια καμιά σχέση με τα αρχικά, που δημιουργήθηκαν στον πυρήνα του.

Αντίθετα, τα νετρίνα δεν αλληλεπιδρούν σχεδόν καθόλου με τα άλλα σωματίδια της ύλης και διασχίζουν ανενόχλητα όλη τη μάζα του Ήλιου περίπου σε 2 δευτερόλεπτα. Αν λοιπόν μπορούσαμε να τα καταμετρήσουμε, θα αντλούσαμε χρήσιμες πληροφορίες για τον πυρήνα του. Σχετικά πειράματα έχουν αρχίσει από το 1970 και περιγράφονται αναλυτικότερα στην παράγραφο των πλιακών παραπρήσεων.

Μια άλλη πηγή πληροφοριών για το εσωτερικό του Ήλιου έρχεται από τα νηπτικά κύματα. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στο εσωτερικό του και δημιουργούν φαινόμενα παρόμοια με τους σεισμούς της Γης, που εκδηλώνονται στην επιφάνειά του. Ο Ήλιος λοιπόν πάλλεται με διάφορες συχνότητες. Το γεγονός αυτό προκαλεί αλλοιώσεις στο πλιακό φάσμα, από τις οποίες μπορούμε να συνάγουμε αξιόλογα συμπεράσματα για τη μορφολογία του εσωτερικού του.

## Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Ο Ήλιος είναι ο μοναδικός αστέρας στον οποίο μπορούμε να παραπρήσουμε λεπτομέρειες της επιφάνειάς του και των αερίων που τον περιβάλλουν. Η δομή λοιπόν της ατμόσφαιράς του είναι γνωστή. Αποτελείται από τα εξής στρώματα:



- τη φωτόσφαιρα,
- τη χρωμόσφαιρα,
- το στέμμα και
- τον πλιακό άνεμο.

### Η ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑ

Η φωτόσφαιρα είναι το πρώτο στρώμα της πλιακής ατμόσφαιρας. Πρόκειται για τη λαμπρή ορατή επιφάνεια του Ήλιου (εικ. 4.7). Ακριβέστερα είναι το θερμό αδιαφανές κέλυφος, που παράγει το παραπρούμενο συνεχές φάσμα του Ήλιου και αρχίζει ακριβώς μετά τη ζώνη μεταφοράς. Η φωτόσφαιρα έχει κοκκώδη υφή, σαν την επιφάνεια ενός παχύρευστου υγρού που βράζει. Καθεμιά από τις φυσσαλίδες - κόκκους της φωτόσφαιρας έχει ακανόνιστο σχήμα με μέση διάσταση 2.000 Km.

Το φαινόμενο αυτό λέγεται φωτοσφαιρική κοκκίαση (εικ. 4.12) και οφείλεται σε ανοδικά ρεύματα ζεστών αερίων που σχηματίζονται στη βάση της φωτόσφαιρας.

### Η ΧΡΩΜΟΣΦΑΙΡΑ

Ακριβώς πριν και μετά τη στιγμή μιας ολικής έκλειψης του Ήλιου παραπρέεται μια λαμπρή κοκκινωπή λάμψη στο άκρο της φωτόσφαιρας. Αυτή είναι η χρωμόσφαιρα, δηλαδή το τμήμα της ατμόσφαιρας του Ήλιου ακριβώς πάνω από τη φωτόσφαιρα, που εκτείνεται μόλις 2.000 Km μετά από αυτήν (εικ. 4.8). Το κοκκινωπό της χρώμα προέρχεται από την εκπομπή ακτινοβολίας από τη γραμμή Ηα του ουδέτερου υδρογόνου. Η πυκνότητα της χρωμόσφαιρας είναι χίλιες φορές μικρότερη από αυτή της φωτόσφαιρας, και αυτός είναι ο λόγος που είναι διαφανής στο φως.

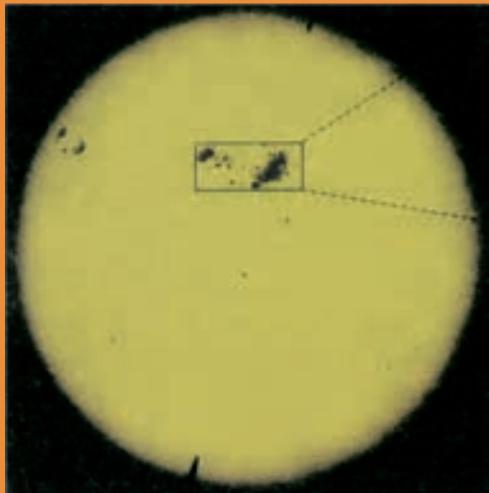
Η χρωμόσφαιρα μελετάται καλύτερα κατά την ολική έκλειψη του Ήλιου, όμως μπορεί να μελετηθεί καθημερινά και με ένα ειδικό όργανο, το στεμματογράφο, που δημιουργεί τεχνητή πλιακή έκλειψη.

### ΤΟ ΣΤΕΜΜΑ

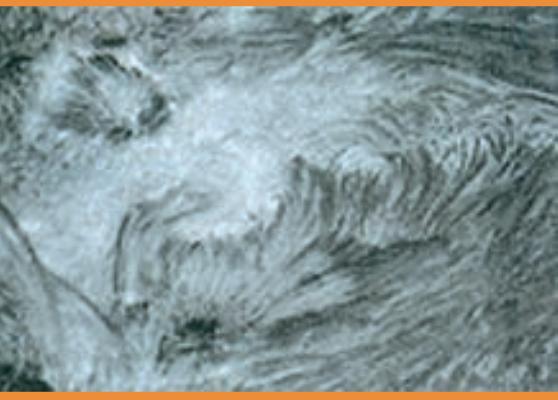
Πάνω από τη χρωμόσφαιρα βρίσκεται το εντυπωσιακό στέμμα που μπορούμε να δούμε ακριβώς τη στιγμή της ολικής πλιακής έκλειψης. Η λαμπρότητα του στέμματος είναι αντίστοιχη με αυτήν της πανσελήνου (εικ. 4.10).

Το φάσμα του στέμματος έχει κάποιες λαμπρές γραμμές που αποτελούσαν μυστήριο για πολλά χρόνια, μια και δεν μπορούσαν οι αστρονόμοι να καταλάβουν ποιο στοιχείο τις προκαλεί.

Τελικά αποδείχτηκε ότι προέρχονται από έντονα ιονισμένα άτομα στοιχείων, ο ιονισμός των οποίων οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία του στέμματος. Μια ακόμα συνέπεια της υψηλής θερμοκρασίας του στέμματος είναι η εκπομπή από αυτό ακτίνων X. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται και με το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου και την κίνηση των στεμματικών αερίων (εικ.



**Εικόνα 4.7:** Η φωτόσφαιρα του Ήλιου που βλέπουμε. Παραπρούμε ότι προς το κέντρο του Ήλιου το είδωλο του μαυρίζει. Αυτό οφείλεται στο ότι, όταν κοιτάζουμε στο κέντρο του πλιακού δίσκου, βλέπουμε βαθύτερα και θερμότερα στρώματα της πλιακής φωτόσφαιρας απ' ό,τι όταν κοιτάζουμε προς το κέντρο του δίσκου. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «αμαύρωση κείλους».



**Εικόνα 4.8:** Οι πίδακες είναι σχηματισμοί της χρωμόσφαιρας που αντιστοιχούν σε κινήσεις ανοδικών αερίων.

4.9). Η εκπομπή ακτίνων X από το στέμμα είναι ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα. Οι έρευνες για την πλήρη κατανόση του συνεχίζονται ακόμα και σήμερα.

### Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΝΕΜΟΣ

Οι πρώτοι δορυφόροι που εκτοξεύτηκαν στις αρχές του 1950 επιβεβαίωσαν την ύπαρξη του πλιακού ανέμου, μια υπόθεση που ήδη υπήρχε και βασιζόταν στην εκτροπή των ουρών των κομπιτών, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.7.

Ο πλιακός άνεμος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι προέκταση της ατμόσφαιρας του Ήλιου. Σχηματίζεται από την πλιακή ακτινοβολία μαζί με την έντονη ροή πρωτονίων, πλεκτρονίων και πυρήνων πλίου, που εκτοξεύονται από την ατμόσφαιρα του Ήλιου με ταχύτητες εκατοντάδων χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο. Τα σωματίδια αυτά ταξιδεύουν κατά μήκος των ανοικτών μαγνητικών γραμμών του στέμματος (σχ. 4.10).

Η ποσότητα της πλιακής μάζας που διαφεύγει με τον πλιακό άνεμο φτάνει τους ένα εκατομμύριο τόνους ανά δευτερόλεπτο. Παρ' όλα αυτά στα 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια που λειτουργεί ο μηχανισμός του πλιακού ανέμου, μόλις το 0,1% της αρχικής πλιακής μάζας έχει χαθεί μέσω αυτού.

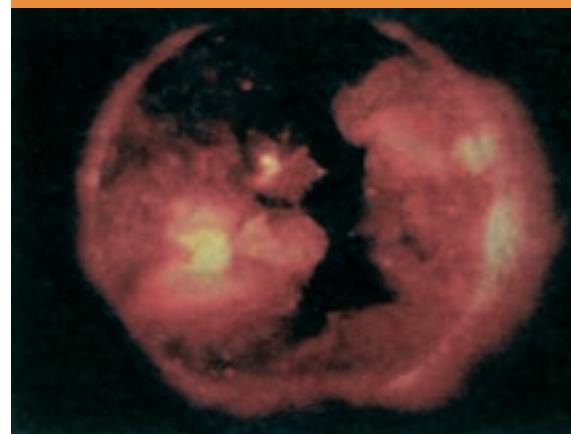
### 4.4 ΗΛΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Η φωτόσφαιρα, η χρωμόσφαιρα και το στέμμα αποτελούν τα εξωτερικά διαδοχικά στρώματα του Ήλιου. Τα στρώματα αυτά δεν είναι ομοιογενή και έχουν διαφορετική δομή μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την περιστροφή του Ήλιου και το μαγνητικό του πεδίο έχουν αποτέλεσμα να παρατηρούνται φαινόμενα μικρής χρονικής διάρκειας, εντοπισμένα σε περιοχές πάνω ή κοντά σε αυτά τα στρώματα. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται περιοχές δράσης (σχ. 4.11). Τα πιο σημαντικά από αυτά τα φαινόμενα είναι οι πλιακές κηλίδες, οι προεξοχές, οι εκλάμψεις και οι στεμματικές οπές και συμπυκνώσεις.

Όλα αυτά είναι συνδεδεμένα με τοπικά ισχυρά μαγνητικά πεδία. Τα φαινόμενα αυτά συνθέτουν την πλιακή δραστηριότητα.

### ΗΛΙΑΚΕΣ ΚΗΛΙΔΕΣ

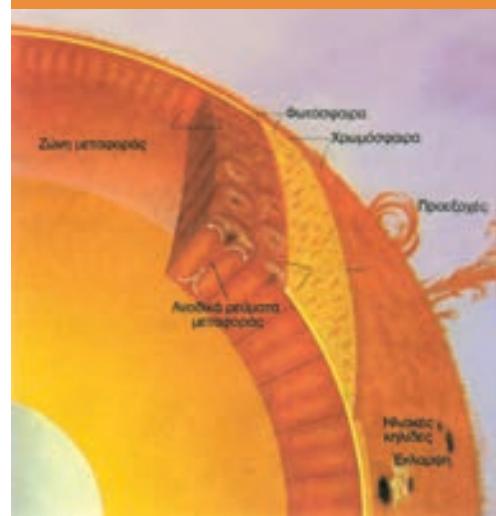
Ακόμα και με ένα μικρό τηλεσκόπιο, χρησιμοποιώντας πάντοτε κατάλληλο φίλτρο, μπορούμε να παρατηρήσουμε τις πλιακές κηλίδες σαν σκοτεινές περιοχές πάνω στον πλιακό δίσκο (σχ. 4.12). Ο λόγος που εμφανίζονται σκοτεινές είναι ότι η θερμοκρασία τους, αν και ανέρχεται στους 4.200 K, είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία της περιοχής που τις περιβάλλει, και η οποία φτάνει τους 6.400 K. Αν όμως μια πλιακή κηλίδα βρισκόταν απομονωμένη μακριά από τον Ήλιο, τότε θα τη βλέπαμε να λάμπει με έντονο κόκκινο χρώμα μέσα στο σκοτεινό Σύμπαν.



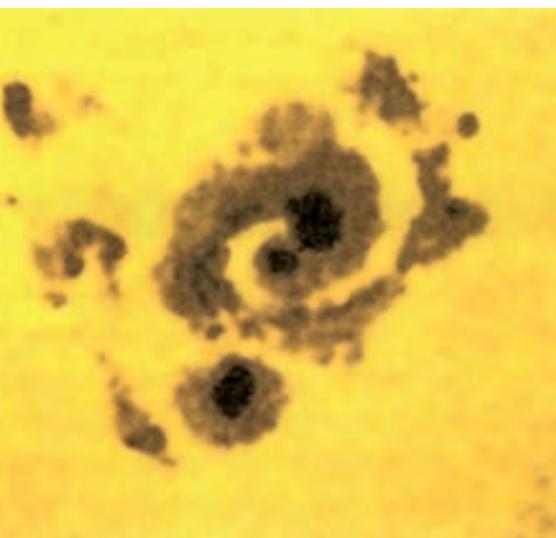
**Εικόνα 4.9:** Η ατμόσφαιρα του Ήλιου σε ακτίνες X. Οι λαμπρές περιοχές αντιστοιχούν σε θερμό πλάσμα, παγιδευμένο από το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου.



**Εικόνα 4.10:** Η εικόνα αυτή είναι συνδυασμός του ειδώλου του Ήλιου στο ορατό φως και σε ακτίνες X (κόκκινο είδωλο). Φαίνεται ο πλιακός άνεμος.



**Σχήμα 4.11:** Τομή του Ήλιου όπου φαίνονται διάφορες περιοχές δράσης.



**Εικόνα 4.12:** Μία ασυνήθιστη ομάδα κηλίδων παρατηρήθηκε το 1982. Η μεγάλη κηλίδα έχει σπειροειδές σχήμα.

Οι κηλίδες εμφανίζονται συνήθως κατά ομάδες. Δημιουργούνται στη φωτόσφαιρα, σε περιοχές δράσης ανάμεσα στους φωτοσφαιρικούς κόκκους.

Ο χρόνος ζωής τους κυμαίνεται από λίγες ώρες μέχρι μερικές ημέρες, σπάνια μήνες. Το μαγνητικό πεδίο των κηλίδων είναι πάρα πολύ ισχυρό, χιλιάδες φορές μεγαλύτερο από το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου.

Από τη μελέτη των κηλίδων φαίνεται ότι θερμό φωτοσφαιρικό υλικό αναβλύζει προς την κεντρική τους περιοχή, ψύχεται και πέφτει ξανά στον περίγυρο.

Οι πλιακές κηλίδες είναι ένα φαινόμενο περιοδικό:

Το πλήθος τους μεταβάλλεται περιοδικά, με περίοδο έντεκα έτη, από ένα μέγιστο αριθμό μέχρι σχεδόν την πλήρη εξαφάνισή τους από τον πλιακό δίσκο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ενδεκαετής κύκλος.

Στην αρχή του κύκλου οι κηλίδες εμφανίζονται σε μεγάλα πλάτη μακριά από τον πλιακό ισημερινό και, καθώς το φαινόμενο εξελίσσεται, αυτές συγκεντρώνονται προς τα μικρότερα πλιογραφικά πλάτη και φτάνουν στο μέγιστο πλήθος. Το φαινόμενο παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχ. 4.13, που είναι γνωστό ως διάγραμμα πεταλούδας.

## ΕΚΛΑΜΨΕΙΣ

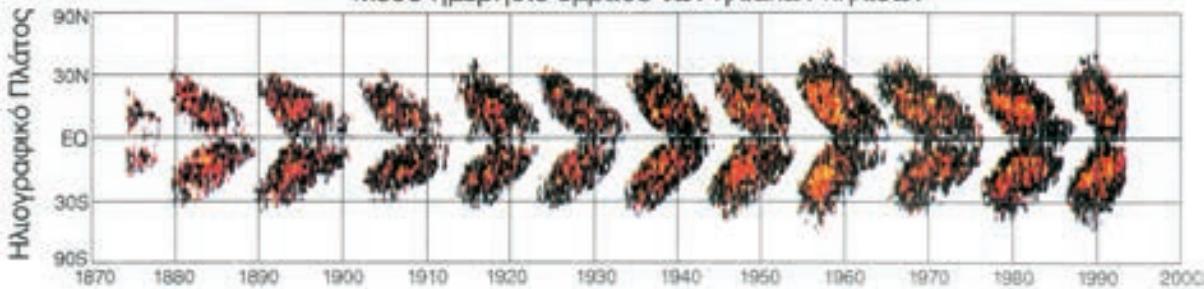
Οι κηλίδες δεν είναι απομονωμένα φαινόμενα. Συνδέονται και με άλλα φαινόμενα της πλιακής δραστηριότητας, όπως είναι οι εκλάμψεις και οι προεξοχές.

Οι πλιακές κηλίδες μπορεί να θεωρηθούν ότι είναι πλεκτρομαγνητικές καταιγίδες. Όπως στις γήινες καταιγίδες απελευθερώνεται ενέργεια μέσω των πλεκτρικών εκκενώσεων, έτσι και στις πλιακές εκλύονται συγκριτικά τεράστια ποσά πλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή δημιουργεί τις εκλάμψεις. Το φαινόμενο αυτό διαρκεί συνήθως μερικά λεπτά και σπανιότερα μερικές ώρες (εικ. 4.14).

Ο ακριβής μπχανισμός της δημιουργίας των εκλάμψεων δεν είναι, ακόμα και σήμερα, απόλυτα γνωστός. Ωστόσο οι ποσότητες ενέργειας που τις συνοδεύουν είναι θεαματικές.

**Σχήμα 4.13:** Το διάγραμμα πεταλούδας που δείχνει τη χωρική διάταξη των κηλίδων στη διάρκεια των ετών από το 1600 έως το 2000.

Μέσο ημερήσιο εμβαδό των ηλιακών κηλίδων



Σε μερικές περιπτώσεις φτάνουν τα  $10^{25}$ J, ενέργεια που εκλύεται από βόμβα δύο εκατομμυρίων μεγατόνων TNT! Η ενέργεια αυτή κατανέμεται σε όλα τα μήκη κύματος του πλεκτρομαγνητικού φάσματος, ακτίνες X, υπεριώδες, ορατό κτλ., καθώς και σε υψηλής ταχύτητας πρωτόνια και πλεκτρόνια.

### ΠΡΟΕΞΟΧΕΣ

Οι προεξοχές είναι από τα πιο εντυπωσιακά φαινόμενα του Ήλιου. Είναι τεράστια νέφη ιονισμένου αερίου που εκτοξεύονται εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα πάνω από τη φωτόσφαιρα, μέσα στο στέμμα, με ταχύτητες που φτάνουν μέχρι και τα 100 Km/sec. Όταν προβάλλονται στο χείλος του Ήλιου, είναι εντυπωσιακοί λαμπροί σχηματισμοί, ενώ, όταν τις βλέπουμε πάνω στο δίσκο του, φαίνονται σαν σκοτεινά νήματα, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας που έχουν από την περιοχή όπου προβάλλονται (σχ. 4.15). Εμφανίζονται σχεδόν πάντα κοντά σε ομάδες κηλίδων.

### ΣΤΕΜΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΠΕΣ

Στο στέμμα η παρουσία των περιοχών δράσης εκδηλώνεται με συμπυκνώσεις της στεμματικής ύλης. Πρόκειται για περιοχές με μεγάλη πυκνότητα ύλης και θερμοκρασία, συνθήκες που ευνοούν τον ιονισμό των ατόμων, δηλαδή την απώλεια των πλεκτρονίων τους και τη δημιουργία πλάσματος. Οι περιοχές αυτές φαίνονται πολύ λαμπρές σε φωτογραφίες του Ήλιου που έχουν ληφθεί στην περιοχή των ακτίνων X (εικ. 4.16).

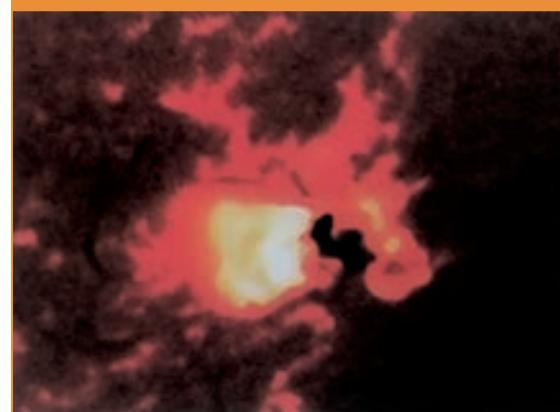
Οι υπόλοιπες περιοχές του στέμματος εμφανίζονται σκοτεινές, ειδικά αυτές που βρίσκονται κοντά στους πόλους και στον ισημερινό του Ήλιου, καθώς το στεμματικό αέριο που περιέχουν έχει μικρότερη θερμοκρασία και πυκνότητα. Πιστεύεται ότι οι στεμματικές οπές είναι η βασική πηγή του πλιακού ανέμου.

## 4.5 Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ο Ήλιος ακτινοβολεί ενέργεια από τα εξωτερικά του στρώματα προς το διάστημα, που κατανέμεται σε όλες τις περιοχές του πλεκτρομαγνητικού φάσματος. Εκπέμπει λοιπόν ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοκυμάτων, του υπερύθρου, του ορατού και του υπεριώδους, στις ακτίνες X και γ. Επιπλέον, ο Ήλιος εκπέμπει και σωματιδιακή ακτινοβολία μέσω του πλιακού ανέμου.

Καθεμιά από τις ακτινοβολίες αυτές μεταφέρει πληροφορίες οι οποίες αφορούν διαφορετικά φαινόμενα που συμβαίνουν σε διαφορετικά στρώματα του Ήλιου.

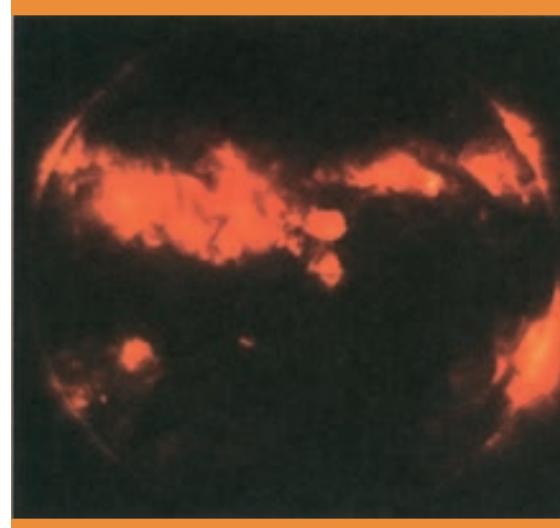
Το πλιακό φάσμα (σχ. 4.19) είναι σύνθετο, με αρκετά έντονο, συνεχές υπόβαθρο που διακόπτεται από χιλιάδες σκοτεινές και λίγες φωτεινές γραμμές διάφορων εντάσεων. Πρώτος το μελέτησε ο Φραουνχόφερ (Fraunhofer 1814) και αυτός είναι ο λόγος που φέρει το όνομά του. Από τη μελέτη του πλιακού φάσμα-



Εικόνα 4.14: Έκλαμψη που καταγράφηκε από το Skylab.



Εικόνα 4.15: Ηλιακή προεξοχή.



Εικόνα 4.16: Εικόνα του Ήλιου σε ακτίνες X, όπου φαίνονται οι στεμματικές συμπυκνώσεις και οπές.

## Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

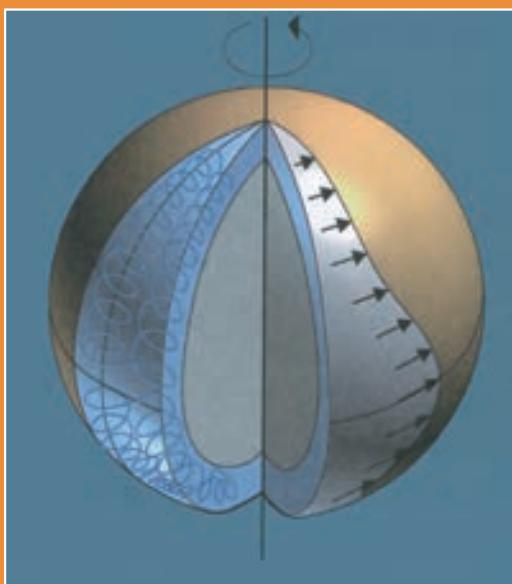
Οι πλιακές κπλίδες ανακαλύφθηκαν με το πρώτο τηλεσκόπιο από το Γαλιλαίο περίπου το 1613. Το 1843 ένας Γερμανός ερασιτέχνης αστρονόμος, ο Heinrich Schwabe, παρατήρησε την περιοδικότητα που εμφανίζουν.

Μέσα στον κύκλο αυτό, που είναι κατά προσέγγιση 11 ετής (μεταξύ 9 και 12,5 χρόνια) όλα τα φαινόμενα που αναλύσαμε και είναι συνδεδεμένα με την πλιακή δραστηριότητα μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον έχει παρατηρηθεί ότι περίπου κάθε έντεκα χρόνια το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου αλλάζει προσανατολισμό.

Το φαινόμενο αυτό εξηγείται ικανοποιητικά από το μοντέλο της «πλεκτρομαγνητικής γεννήτριας», που σε αδρές γραμμές μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

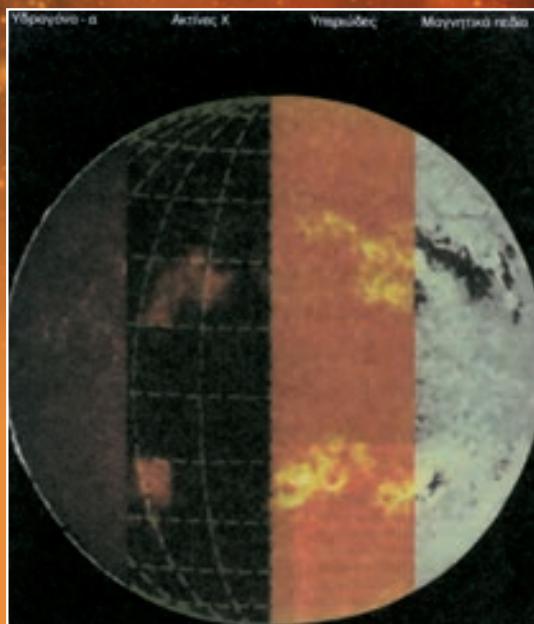
Η ζώνη μεταφοράς του Ήλιου συμπεριφέρεται όπως ένα περιστρεφόμενο ρευστό. Αυτό έχει συνέπεια οι περιοχές του Ήλιου που βρίσκονται κοντά στους πόλους του να περιστρέφονται με διαφορετική περίοδο από τις περιοχές που βρίσκονται κοντά στον ισημερινό<sup>1</sup>. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «διαφορική περιστροφή του Ήλιου». Λόγω λοιπόν της διαφορικής περιστροφής, οι δυναμικές γραμμές του πλιακού μαγνητικού πεδίου περιπλέκονται μεταξύ τους, όπως τα νήματα που στρίβουμε για να φτιάξουμε ένα σκοινί (σχ. 4.17).

Με τον τρόπο αυτό το μαγνητικό πεδίο γίνεται κατά τόπους πολύ ισχυρό. Άλλοπειδρά έντονα με τα ανερχόμενα ρεύματα ιονισμένς ύλης και προκαλεί εντυπωσιακά φαινόμενα που παρατηρούνται στις περιοχές δράσης.



Σχήμα 4.17: Η διαφορική περιστροφή του Ήλιου επιδρά στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού του πεδίου.

Εικόνα 4.18: Εικόνα τεσσάρων διαφορετικών περιοχών του Ήλιου σε διαφορετικές περιοχές του Η/Μ φάσματος, α) άνω φωτόσφαιρα και κάτω χρωμόσφαιρα β) στέμμα γ) άνω χρωμόσφαιρα και δ) περιοχές δράσης.



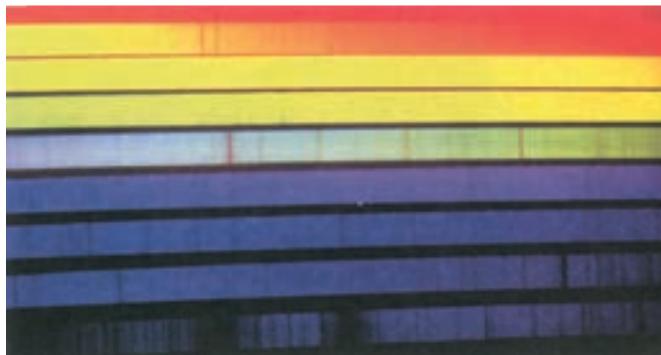
Ωστε ο Ήλιος, εξαιτίας της διαφορικής του περιστροφής και της ανοδικής κίνησης της ύλης στη ζώνη μεταφοράς, λειτουργεί κατά κάποιο τρόπο σαν μια πλεκτρομαγνητική γεννήτρια.

Οστόσο, πολλά ζητήματα παραμένουν ακόμα και μέχρι σήμερα ανοιχτά: Πώς ακριβώς η διαφορική περιστροφή του Ήλιου αλλοπλειδρά με το μαγνητικό του πεδίο; Η μορφή του μαγνητικού πεδίου επρεάζεται από τις κινήσεις της πλιακής ύλης; Υπάρχει σχέση μεταξύ του αριθμού των κπλίδων και της ταχύτητας περιστροφής του Ήλιου;

Για να απαντηθούν τα ερωτήματα αυτά, όπως και πολλά άλλα, χρειάζεται να γίνουν ακόμα πολλές συστηματικές παρατηρήσεις και μελέτες των κινήσεων της ύλης του Ήλιου, των μεταβολών του μαγνητικού του πεδίου, των επιφανειακών και ατμοσφαιρικών του σχηματισμών και βέβαια προσεκτική ανάλυση όλου του φάσματος της εκπεμπόμενης από αυτόν πλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Πρόσφατα παρατηρησιακά δεδομένα από το δορυφόρο SMM (Solar Maximum Mission) έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην πληρέστερη κατανόηση των μηχανισμών που κρύβονται πίσω από την πλιακή δραστηριότητα. Μηχανισμοί που φαίνεται ότι είναι πολύ πιο σύνθετοι και περίπλοκοι από την αρχική εικόνα που είχε δημιουργηθεί, όταν οι επιστήμονες ξεκίνησαν να μελετούν συστηματικά τον Ήλιο.

<sup>1</sup> Ένα σημείο του πλιακού ισημερινού εκτελεί μια πλήρη περιστροφή μέσα σε 25 ήμερες, ενώ ένα σημείο πολύ κοντά σε έναν από τους πλιακούς πόλους σε 31.



**Σχήμα 4.19:**  
Το φάσμα  
της πλιακής  
ακτινοβολίας.

τος ανιχνεύονται τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο Ήλιος καθώς και οι φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρά του. Το συνεχές υπόβαθρο του φάσματος προέρχεται από τη φωτόσφαιρα, ενώ οι γραμμές απορρόφησης από τα υπερκείμενα στρώματα, στα οποία οφείλονται και μερικές λαμπρές γραμμές εκπομπής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι γραμμές του πλιακού φάσματος, που αρχικά αποδόθηκαν στο υποθετικό στοιχείο «κορώνιο», αποδείχτηκε ότι ανήκαν σε γνωστά χημικά στοιχεία, που όμως βρίσκονταν στις ειδικές φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα του Ήλιου.

## 4.6 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΤΗ ΓΗ

Η Γη, όπως έχει ήδη αναφερθεί, βρίσκεται υπό τη συνεχή επίδραση της πλιακής ακτινοβολίας, τόσο της πλεκτρομαγνητικής όσο και της σωματιδιακής. Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας αυτής με τα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας προκαλεί ορισμένα πολύ ενδιαφέροντα και χαρακτηριστικά φαινόμενα.

Τα πιο εντυπωσιακά φαινόμενα συμβαίνουν στην ιονόσφαιρα της Γης. Είναι περισσότερο έντονα στο μέγιστο της πλιακής δραστηριότητας και σχετίζονται κυρίως με τις εκλάμψεις, κατά τις οποίες εκλύονται πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας και σωματίδια από τον Ήλιο. Θα εστιάσουμε την προσοχή μας σε τρία από αυτά, στις ιονοσφαιρικές καταιγίδες, στο πολικό σέλας και στη διαστολή της γήινης ατμόσφαιρας.

Ο μεγάλος αριθμός των φορτισμένων σωματιδίων και η ισχυρότατη H/M ακτινοβολία που εκπέμπονται κατά τις πλιακές εκλάμψεις επηρεάζουν τη σύσταση, την έκταση και το σχήμα της ιονόσφαιρας. Έτσι, είναι πιθανή η διαταραχή ή ακόμα και η διακοπή της επικοινωνίας μεταξύ απομακρυσμένων περιοχών του πλανήτη, που επικοινωνούν με ραδιοκύματα διερχόμενα μέσα από την ιονόσφαιρα.

Το Μάρτιο του 1989, εξ αιτίας μιας από τις ισχυρότερες πλιακές εκλάμψεις που έχουν καταγραφεί, διακόπηκαν εντελώς οι πλευρικοινωνίες με την περιοχή του Κεμπέκ του Καναδά, όπου κατοικούν 6 εκατομμύρια άνθρωποι.

### ΗΛΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Οι παρατηρήσεις του Ήλιου γίνονται σύμερα σε όλες τις περιοχές του πλεκτρομαγνητικού φάσματος τόσο από τη Γη όσο και από το διάστημα. Η σημασία των παρατηρήσεων αυτών είναι τεράστια, και γιατί ο Ήλιος είναι ένας τυπικός αστέρας, και γιατί υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της πλιακής δραστηριότητας και ορισμένων γήινων φαινομένων.

Πώς όμως γίνονται οι πλιακές παρατηρήσεις;

Για παρατηρήσεις από το έδαφος χρησιμοποιούνται οι πλιακοί πύργοι, οι ραδιολιογράφοι και οι στεμματογράφοι, που τοποθετούνται σε τοποθεσίες με προδιαγραφές ανάλογες με αυτές που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.

Στο εσωτερικό των πλιακών πύργων (εικ. 4.20) τοποθετούνται τα τηλεσκόπια και οι μετρητικές διατάξεις, ώστε να αποφεύγονται διαταραχές στις παρατηρήσεις που οφείλονται στη θέρμανση των οργάνων από την πλιακή ακτινοβολία.

Οι πλιακές ακτίνες που δεσμεύονται στην κορυφή του πύργου φτάνουν τελικά στη βάση του, όπου οδηγούνται σε ένα φασματογράφο, ή σχηματίζουν το είδωλο του πλιακού δίσκου.

Ο στεμματογράφος είναι ένα τηλεσκόπιο που δημιουργεί τεχνητή έκλειψη. Με δίσκο κατάλληλων διαστάσεων κρύβει το είδωλο του Ήλιου, ώστε να δίνεται η δυνατότητα καθημερινής μελέτης του στέμματος. Στεμματογράφο διαθέτουν δέκα αστεροσκοπεία στον κόσμο, εκ των οποίων το παλαιότερο είναι αυτό του Pic du Midi στα Πυρηναία. Με τους ραδιολιογράφους οι αστρονόμοι



**Εικόνα 4.20:** Ο πλιακός πύργος της Meudon.

συλλέγουν και επεξεργάζονται τα ραδιοκύματα που εκπέμπει ο Ήλιος.

Όμως η μελέτη του Ήλιου πρωθήθηκε ιδιαίτερα από τις διαστημικές αποστολές, με πρώτη αυτή του OSO-1 (Orbital Solar Observatory) το 1962. Από τότε πολλές άλλες διαστημικές αποστολές ακολούθησαν, από τις οποίες σημαντικότερες είναι οι εξής:

α) Του Skylab (εικ. 4.21). Η επανδρωμένη αυτή αποστολή έφερε στη Γη χιλιάδες φωτογραφίες της πλιακής ατμόσφαιρας (1973-1974).

β) Η SMM (Solar Maximum Mission) το 1980, με στόχο να μελετηθεί η συμπεριφορά του Ήλιου στο μέγιστο της πλιακής δραστηριότητάς του.

γ) Η αποστολή Ulysses το 1990. Η Ευρωπαϊκή αυτή αποστολή είχε ειδικό στόχο τη μελέτη των πλιακών πόλων.

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις αποστολές αυτές ήταν πολύ σημαντικά και μάλιστα κάποια από αυτά ξάφνιασαν τους αστρονόμους.

Όπως ήδη αναφέραμε, για να «δούμε» το εσωτερικό του Ήλιου, πρέπει να καταμετρήσουμε τα νετρίνα που παράγονται στον πυρήνα του. Πειράματα καταμέτρησης νετρίνων με ειδικά «τηλεσκόπια» είναι σε εξέλιξη στην Αμερική, την Ιαπωνία και άλλες χώρες. Πρώτοι το 1970 ο Davis και οι συνεργάτες του έφτιαξαν ένα περίεργο τηλεσκόπιο νετρίνων στην Αμερική. Πρόκειται για μια τεράστια δεξαμενή που βρίσκεται 1,6 Km κάτω από την επιφάνεια της Γης, σε ορυχείο της Νότιας Ντακότα και περιέχει 387.000 λίτρα διαλύματος μιας ένωσης του χλωρίου (εικ.4.22). Το διαλυμένο χλώριο απορροφά τα νετρίνα και μετατρέπεται σε αργό. Με πολύ περίτεχνες και λεπτές διαδικασίες μπορεί με τον τρόπο αυτό να γίνει



**Εικόνα 4.21:** Το διαστημόπλοιο *Skylab*.

η καταμέτρηση των νετρίνων.

Το πρώτο αυτό πείραμα μπόρεσε να δικαιολογήσει μόνο το 1/3 των νετρίνων που προβλέπονται θεωρητικά. Παρόμοια πειράματα βρίσκονται σε εξέλιξη και στον ευρωπαϊκό χώρο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πρόγραμμα NESTOR, που υλοποιείται στον υποθαλάσσιο χώρο της Πύλου με συμμετοχή Ελληνικών και ξένων ερευνητικών κέντρων.

Τα τελευταία 30 χρόνια ο συνδυασμός των παρατηρήσεων που έγιναν από το διάστημα και από τα επίγεια τηλεσκόπια επέτρεψαν στους αστρονόμους να φτάσουν σε ακριβή συμπεράσματα σχετικά με τη δομή όλων των στρωμάτων της πλιακής ατμόσφαιρας. Μπόρεσαν έτσι να ελέγχουν και να αξιολογήσουν τα πλιακά θεωρητικά μοντέλα. Πολλές από τις παρατηρήσεις αυτές έδωσαν απρόσμενα αποτελέσματα και έδειξαν ότι η πραγματική δομή του Ήλιου είναι ιδιαίτερα περίπλοκη.

**Εικόνα 4.22:**  
Παρατηρώντας  
τα πλιακά  
νετρίνα από το  
ορυχείο της  
Νότιας Ντακότα!



Το πολικό σέλας είναι ιδιαίτερα φωτεινό και εντυπωσιακό φαινόμενο του νυχτερινού ουρανού, που παρατηρείται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Παρουσιάζεται σε ποικίλα σχήματα, εντάσεις και χρώματα με διαφορετική σταθερότητα και διάρκεια. Δημιουργείται, όταν αλληλεπιδρούν άτομα και μόρια της ανώτερης ατμόσφαιρας με τη σωματιδιακή ακτινοβολία του Ήλιου. Τα φορτισμένα σωματίδια που έρχονται από τον Ήλιο κινούνται μέσα στο μαγνητικό πεδίο της Γης, συγκρούονται με άτομα ή μόρια της ατμόσφαιρας και τα διεγείρουν. Όταν τα τελευταία αποδιεγέρονται, εκπέμπουν ορατή ακτινοβολία που προκαλεί τους φωτεινούς σχηματισμούς του πολικού σέλαος.

Η πλιακή Η/Μ και σωματιδιακή ακτινοβολία επιταχύνει τα ιόντα και τα σωματίδια με τα οποία αλληλεπιδρά, με συνέπεια να αυξάνεται η κινητική τους ενέργεια. Έτσι, προκαλείται θέρμανση των εξωτερικών στρωμάτων της γήινης ατμόσφαιρας και διαστολή τους.

Η πτώση του διαστημικού σταθμού Skylab το 1979 συνέβη ακριβώς, λόγω της αφύσικα μεγάλης διαστολής της γήινης ατμόσφαιρας που σημειώθηκε τότε. Η αιτία του φαινομένου αυτού σχετίστηκε με το γεγονός ότι το 1980 ήταν το έτος του μεγίστου της πλιακής δραστηριότητας.

Τέλος, όσον αφορά τη σχέση του κλίματος της Γης με τους κύκλους της πλιακής δραστηριότητας, είναι παρακινδυνευμένη η διατύπωση οποιασδήποτε άποψης. Τα καταγραμμένα στοιχεία που υπάρχουν μέχρι στιγμής - από το 1860 έως σήμερα - δεν επαρκούν για τη θεμελίωση μιας αποδεκτής επιστημονικά άποψης.



**Εικόνα 4.23:** Εικόνα του πολικού σέλαος.

**ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ:** Είναι περιοχή της γήινης ατμοσφαίρας που εκτείνεται σε ύψος από 60 έως και άνω των 1000 Km από το έδαφος. Χαρακτηριστικό στοιχείο της ιονόσφαιρας είναι η μεγάλη συγκέντρωση των ιόντων και των ελεύθερων πλεκτρονίων που περιέχει. Τα ιόντα και τα ελεύθερα πλεκτρόνια σχηματίζονται στην περιοχή αυτή από τον ιονισμό των ουδετέρων ατόμων που προκαλείται από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες και τις ακτίνες X του Ήλιου.

Λόγω των φορτισμένων σωματιδίων που περιέχει, η ιονόσφαιρα αλληλεπιδρά έντονα με την πλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Μια σημαντική της ιδιότητα - που αφορά τις ραδιοεπικοινωνίες και τις ραδιοπαραπρόσεις - είναι ότι μπορεί να απορροφά, να διαθλά ή να ανακλά τα ραδιούματα, ανάλογα με τη συχνότητά τους.

## ΤΑ ΗΛΙΑΚΑ ΝΕΤΡΙΝΑ

Όπως ήδη γνωρίζουμε, κατά τη διάρκεια των πυρηνικών αντιδράσεων στο εσωτερικό του Ήλιου παράγονται νετρίνα, που περνούν με μεγάλη ευκολία όλα τα στρώματα του αστέρα και φτάνουν στη Γη. Είναι σημαντικό να ανιχνεύσουμε τα νετρίνα αυτά τα οποία θα μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες για τις πυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα του Ήλιου.

Τα πρώτα πειράματα άρχισαν το 1970 στην Αμερική όπου ανιχνεύονται τα νετρίνα στο βάθος ενός χρυσωρυχείου στο Homestake. Ο ανιχνευτής είναι μία δεξαμενή 600 τόνων τετραχλωράνθρακα. Όταν ένα νετρίνο συγκρουστεί με έναν πυρήνα χλωρίου του τετραχλωράνθρακα, αυτός μετασχηματίζεται σε ραδιενεργό αργό -37, ελευθερώνοντας ένα πλεκτρόνιο. Κάθε

δυο μήνες περίπου γίνεται επεξεργασία του υγρού της δεξαμενής και από τα αποτελέσματα που προκύπτουν υπολογίζεται ο αριθμός των νετρίνων που αλληλεπιδρασαν με τον τετραχλωράνθρακα. Από τότε που άρχισε το πείραμα, το 1970, μέχρι και σήμερα ο αριθμός των νετρίνων που καταμετρούνται είναι πολύ μικρότερος από τις θεωρητικές προβλέψεις. Το 1987 ο αντίστοιχος ιαπωνικός υπόγειος ανιχνευτής Kamiokande II επιβεβαίωσε το ίδιο απογοποευτικό αποτέλεσμα. Επίσης παρόμοια πειράματα που στηρίζονται σε διαφορετικές τεχνικές (ανιχνεύτες γαλλίου κτλ) καταλήγουν στο ίδιο συμπέρασμα.

Οι ερευνητές πιστεύουν ότι θα λύσουν το μυστήριο των «χαμένων» νετρίνων μέσα στα επόμενα χρόνια.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας, δηλαδή μία θερμότατη μάζα αερίων, στο εσωτερικό της οποίας συμβαίνουν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις.
- Ο Ήλιος, λόγω της μικρής σχετικά απόστασης που έχει από τη Γη, είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη της ζωής πάνω σ' αυτήν. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρατήρηση του Ήλιου βρίσκουν άμεση εφαρμογή σε θεωρητικά μοντέλα για όλους τους όμοιους με αυτόν αστέρες.
- Η ενέργεια του Ήλιου παράγεται στο εσωτερικό του από θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο. Μόνο εκεί οι τιμές της θερμοκρασίας και της πυκνότητας επιτρέπουν τέτοιου είδους αντιδράσεις που για δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα θα εξασφαλίζουν ροή ενέργειας από τον Ήλιο.
- Η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό του Ήλιου με τη μορφή ακτινοβολίας διαδίδεται προς τα εξωτερικά του στρώματα. Από την αλληλεπίδραση ύλης και ακτινοβολίας και από τη μεταφορά της ενέργειας διαμορφώνεται η δομή του Ήλιου. Το εσωτερικό του τμήμα διακρίνεται στον πυρήνα, τη ζώνη ακτινοβολίας και τη ζώνη μεταφοράς. Το εξωτερικό τμήμα, δηλαδή η ατμόσφαιρά του, διακρίνεται στη φωτόσφαιρα, τη χρωμόσφαιρα, το στέμμα και τον πλιακό άνεμο. Η δομή κάθε ζώνης είναι διαφορετική και διαφορετικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα σε κάθε τμήμα.
- Ο Ήλιος περνά περιόδους έντονης δραστηριότητας, κατά τις οποίες εμφανίζονται φαινόμενα μικρής χωρικής και χρονικής κλίμακας (κηλίδες, εκλάμψεις, προεξοχές, στεμματικές συμπυκνώσεις). Κατά την εξέλιξή τους εκλύονται μεγάλα ποσά ενέργειας. Τα φαινόμενα αυτά γενικά ακολουθούν έναν 11ετή κύκλο και είναι αποτέλεσμα της διαφορικής περιστροφής του Ήλιου και της τοπικής αύξησης των μαγνητικών του πεδίων.
- Η πλιακή δραστηριότητα προκαλεί διαταραχές της ιονόσφαιρας, εξαιτίας των οποίων εμφανίζονται αρκετά εντυπωσιακά φαινόμενα πάνω στη Γη. Οι ιονοσφαρικές καταιγίδες, το πολικό σέλας και η διαστολή της γήινης ατμόσφαιρας είναι από τα πλέον σημαντικά.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι η πηγή της πλιακής ενέργειας;
2. Ποια είναι η δομή του Ήλιου;
3. Τι είναι ο πλιακός άνεμος;
4. Με ποιες μεθόδους παίρνουμε πληροφορίες για το εσωτερικό του Ήλιου; Γιατί δεν είναι δυνατή η απ' ευθείας ανίχνευση των φωτονίων που δημιουργούνται στο εσωτερικό του;
5. Ποια είναι η αιτία της πλιακής δραστηριότητας και ποια φαινόμενα συνδέονται με αυτήν;
6. Τι εννοούμε με τον όρο «πλιακός κύκλος»;
7. Γιατί είναι σημαντικό να ανιχνεύσουμε τα πλιακά νετρίνα;
8. Ποιες πληροφορίες αντλούμε από την ανάλυση και επεξεργασία της πλιακής ακτινοβολίας;
9. Ποιος είναι ο μηχανισμός σχηματισμού του πολικού σέλαος;

## ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

**1.** Μετά το πέρας της δραστηριότητας αυτής θα μπορείτε:

- να παρατηρήσετε το φαινόμενο της «αμαύρωσης του χείλου».
- να προσδιορίσετε το ρυθμό περιστροφής του Ηλίου από παρατηρήσεις των πλιακών κηλίδων.

Στο σχ. 1 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο προβάλλουμε το είδωλο του Ήλιου σε ένα άσπρο πέτασμα. Η προβολή αυτή μπορεί να γίνει και με ένα μικρό τηλεσκόπιο ή κιάλια, αφήνοντας ελεύθερο τον ένα μόνο φακό, ώστε να εισέρχεται το φως μόνο από αυτόν.

Σταθεροποιούμε λοιπόν το τηλεσκόπιο σε κατάλληλο σημείο (πάνω σε ένα τρίποδο για μεγαλύτερη σταθερότητα), ώστε να έχουμε ευκρινές είδωλο του Ήλιου. Για καλύτερα αποτελέσματα μπορείτε να τοποθετήσετε το τηλεσκόπιο στο πλαίσιο ενός χαρτονιού, ώστε στο άσπρο πέτασμα να προβάλλεται μόνο το είδωλο του Ήλιου από το τηλεσκόπιο.

Το ευκρινές είδωλο μπορεί να επιτευχθεί αυξομοιώνοντας την απόσταση τηλεσκοπίου-πετάσματος.

Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεών σας θα χρειαστεί να αλλάζετε την κατεύθυνση του τηλεσκοπίου, ώστε να παρακολουθείτε έτσι την κίνηση του Ήλιου.

### 1η παρατήρηση

Να συγκρίνετε τη λαμπρότητα του κεντρικού τμήματος του ειδώλου του Ήλιου με αυτό του χείλους. Ποιο είναι πιο λαμπρό; Τι συμπεράσματα βγάζετε;

### 2η παρατήρηση

Βλέπετε κάποιες κηλίδες στην επιφάνεια του ειδώλου του Ήλιου. Αυτές τείνουν να σχηματίσουν ομάδες ή βρίσκονται ανεξάρτητα η μια από την άλλη;

Να σημειώσετε σε ένα χαρτί τον ολικό αριθμό των κηλίδων που εμφανίζονται και να συγκρίνετε τον αριθμό αυτό με τις παρατηρήσεις σας κάποιες ημέρες αργότερα. Να επαναλάβετε τις παρατηρήσεις σας καθημερινά καταγράφοντας πάντα σε ένα χαρτί τις μετρήσεις σας.

Πώς θα μπορούσατε από τις παρατηρήσεις αυτές να προσδιορίσετε το ρυθμό περιστροφής των κηλίδων; Τι συμπέρασμα βγάζετε από αυτό;

### 2. Στο τέλος της δραστηριότητας αυτής θα μπορείτε:

- να μετρήσετε τη διάμετρο του Ήλιου.
- να προσδιορίσετε την επίδραση των διαστάσεων της συσκευής στη μέτρηση.

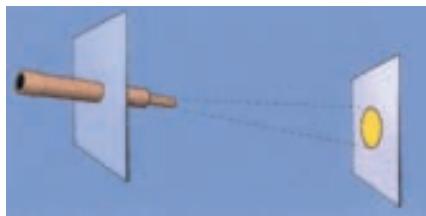
Κατασκευάστε ένα κουτί με μια μικρή τρύπα απ' όπου περνά το φως και σχηματίζει στο απέναντι τοίχωμα το είδωλο ενός φωτεινού αντικειμένου. Με τον τρόπο αυτό εύκολα μπορεί κανείς να μετρήσει τη διάμετρο του Ήλιου. Όσο πιο μεγάλη είναι η «κάμερα» τόσο πιο ακριβείς είναι οι μετρήσεις. Στο σχ.2 φαίνεται ο τρόπος κατασκευής μιας παρόμοιας συσκευής. Σ' αυτήν το ρόλο της τρύπας τον παίζει ο καθρέφτης.

Προβάλλοντας λοιπόν το είδωλο του Ήλιου στο πίσω μέρος ενός κιβωτίου, όπως στο σχήμα, μπορείτε να προχωρήσετε στις μετρήσεις σας.

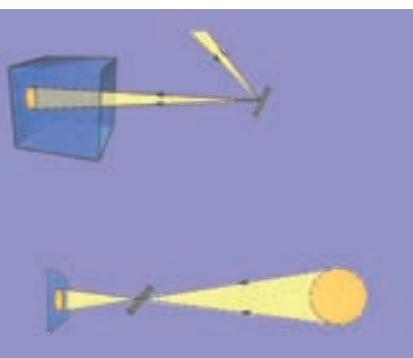
Από τη γεωμετρία του σχήματος είναι φανερό ότι

$$\frac{\text{διάμετρος Ήλιου}}{\text{απόσταση Ήλιου}} = \frac{\text{διάμετρος ειδώλου}}{\text{απόσταση ειδώλου}}$$

Με το δεδομένο ότι η μέση απόσταση του Ήλιου από τη Γη είναι 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα περίπου, μπορείτε να υπολογίσετε τη διάμετρο του Ήλιου.



Σχήμα 1



Σχήμα 2



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 |

## ΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ



«Ύπνος δεν έπεσε στα βλέφαρά του, αλλά κοιτούσε συνεχώς την Πούλια, τον Βουκόλο που δύει αργά, την Άρκτο που την λέν κι Αμάξι. Δεν φεύγει από τη θέση της γυρίζοντας, μόνο παραμονεύει τον Ωρίωνα, και μόνο αυτή δεν λέει να πέσει στα λουτρά του Ωκεανού.»

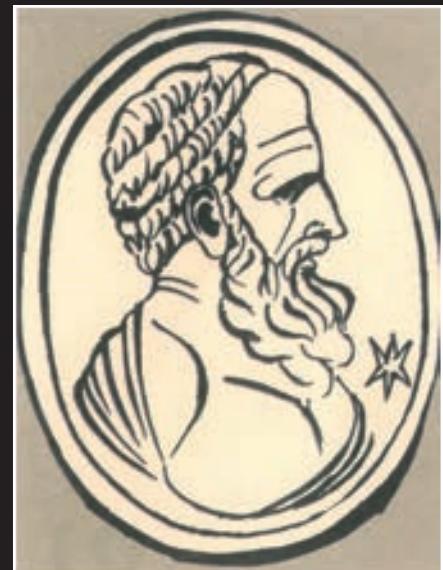
*Ομήρου Οδύσσεια, ραψωδία ε, στίχοι 271-275.  
Μετάφραση Δ. Μαρωνίτης*

Οι αστέρες που βλέπουμε με γυμνό μάτι στον ουρανό παρουσιάζουν ποικιλία ως προς τη λαμπρότητα και το χρώμα τους. Άλλοι είναι λαμπροί και άλλοι αμυδροί. Μερικοί φαίνονται ερυθροί και άλλοι κίτρινοι ή γαλάζιοι.

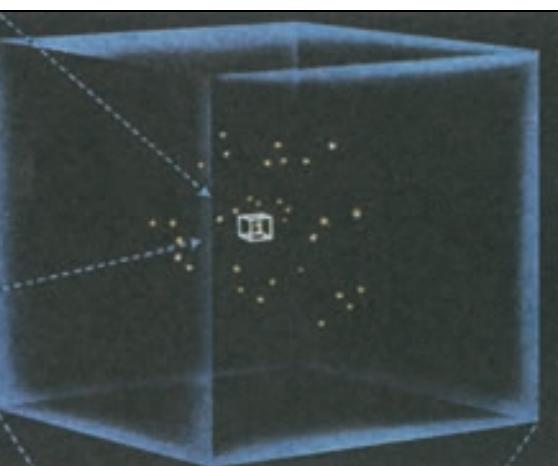
Η γένεση, η εξέλιξη και το τέλος των αστέρων συνδέονται με τα πιο εντυπωσιακά αστρονομικά φαινόμενα, όπως είναι οι λευκοί νάνοι, οι μαύρες τρύπες, οι εκρήξεις των υπερκαινοφανών αστέρων κ.ά.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την εξέλιξη και τα φυσικά χαρακτηριστικά των αστέρων, δίνοντας απαντήσεις στα ερωτήματα:

- Πόσο μακριά βρίσκονται οι αστέρες;
  - Ποια είναι τα φυσικά τους χαρακτηριστικά και πώς συνδέονται μεταξύ τους;
  - Πώς δημιουργούνται και πώς εξελίσσονται οι αστέρες;
- Στα περισσότερα από τα ερωτήματα που αφορούν τους αστέρες δόθηκαν απαντήσεις μόλις τα τελευταία 50 χρόνια.



*Ο Ιππαρχος, ο πατέρας της Αστρονομίας.*



**Σχήμα 5.1:** Στο κέντρο του κύβου αυτού βρίσκεται ο Ήλιος. Οι πλησιέστεροι αστέρες βρίσκονται σε απόστασην της τάξης  $7 \times 10^6$  A.U., δηλαδή 7 εκατομμύρια φορές απ' όσο απέχει η Γη απ' αυτόν.

Αν μπορούσαμε να παρατηρήσουμε τον Ήλιο από ένα από τους αστέρες, θα τον βλέπαμε σαν φωτεινό σημείο στον ουρανό. Είναι και αυτός ένας από τα δισεκατομμύρια των αστέρων του Γαλαξία μας.

(a) Πριν από 100.000 έτη



## 5.1 ΟΙ ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΙ

Στην παράγραφο 2.3 ονομάσαμε αστερισμούς τους φαινομενικά αμετάβλητους σχηματισμούς αστέρων που παρατηρούμε στον ουρανό. Ωστόσο, το σχήμα και η θέση των αστερισμών στον ουρανό αλλάζει αργά με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οφείλεται στην εξέλιξη των ίδιων των αστέρων -γένεση και θάνατο- αλλά και στις κινήσεις τους. Οι μεταβολές των αστερισμών δεν είναι άμεσα αντιληπτές, παρά μόνο σε πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα (σχ. 5.2).

Στα παραπόμπατα υπάρχουν χάρτες που αντιστοιχούν σε διάφορες εποχές του χρόνου. Οι αστερισμοί που είναι επίσημα αναγνωρισμένοι αναφέρονται με τη διεθνή λατινική τους ονομασία. Συντομευμένα συμβολίζονται με τα τρία πρώτα γράμματα του ονόματός τους. Έτσι, ο αστερισμός του Ταύρου γράφεται Taurus και συμβολίζεται Tau, του Ζυγού γράφεται Libra και συμβολίζεται Lib κ.λπ.

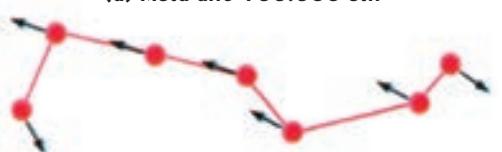
Οι αστέρες των αντίστοιχων αστερισμών αναφέρονται με ένα γράμμα του ελληνικού αλφαριθμητικού, που μπαίνει μπροστά από την ονομασία του αστερισμού όπου ανήκουν, ανάλογα με τη λαμπρότητά τους. Έτσι το πιο λαμπρό άστρο του αστερισμού του Ωρίωνα συμβολίζεται: α οrionis ή α Ori κ.ο.κ.

Οι αστέρες καταγράφονται σε ειδικούς αστρικούς καταλόγους, που δίνουν τις ουρανογραφικές τους συντεταγμένες (συντεταγμένες που καθορίζουν τη θέση τους πάνω στην ουράνια σφαίρα) ή δηλώνουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, για παράδειγμα αν πρόκειται για μεταβλητούς ή διπλούς αστέρες κ.ά.

## 5.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

### ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Αν παρατηρήσουμε μια νύχτα χωρίς Σελήνη και σύννεφα τους αστέρες, εύκολα συμπεραίνουμε ότι δεν έχουν όλοι την ίδια λαμπρότητα. Οι αρχαίοι αστρονόμοι προσπάθησαν να βρουν έναν τρόπο, για να ταξινομήσουν τους αστέρες ανάλογα με το πόσο λαμπροί φαίνονται, ή με σημερινή ορολογία -ανάλογα με το φαινόμενο μέγεθός τους, που το συμβολίζουμε διεθνώς με το γράμμα m.



**Σχήμα 5.2:** Η Μεγάλη Άρκτος όπως ήταν 100.000 χρόνια πριν, όπως είναι σήμερα και όπως θα είναι 100.000 χρόνια μετά, εξαιτίας των κινήσεων των αστέρων της.



**Σχήμα 5.3:** Γνωστά ουράνια σώματα κατανεμημένα ανάλογα με το φαινόμενο μέγεθός τους. Η κλίμακα αυξάνει προς τους αρνητικούς αριθμούς, δηλαδή τα λαμπρότερα σώματα έχουν αρνητικό μέγεθος. Ο πρώτος που εισήγαγε την έννοια του μεγέθους ήταν ο Ιππαρχος.

Το φαινόμενο μέγεθος<sup>1</sup> των αστέρων δεν εξαρτάται μόνο από την πραγματική τους λαμπρότητα ή φωτεινότητα (δηλαδή την ολική φωτεινή ενέργεια που εκπέμπει ο αστέρας στη μονάδα του χρόνου και σε όλα τα μίκη κύματος), αλλά και από την απόσταση του αστέρα από τον παρατηρητή. Για το λόγο αυτό οι αστρονόμοι προσδιορίζουν το φαινόμενο μέγεθος ενός αστέρα σε συγκεκριμένη απόσταση και το μέγεθος που βρίσκουν με τον τρόπο αυτό το ονομάζουν απόλυτο μέγεθος (M) του αστέρα. Η απόσταση αυτή έχει επιλεγεί αυθαίρετα και είναι ίση με 32,6 έτη φωτός.

Η σχέση μεταξύ φαινόμενου και απόλυτου μεγέθους είναι η εξής:

$$m - M = 5 \log r - 5$$

όπου  $r$  η απόσταση του αστέρα από τον παρατηρητή σε parsec (1 parsec=3,26 ε.φ.).

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ - ΧΡΩΜΑ

Η προσεκτική παρατήρηση των αστέρων μας οδηγεί και σε μια ακόμα διαπίστωση, ότι, δηλαδή, έχουν διαφορετικά χρώματα: Μπλε (Ρίγκελ), μπλε-λευκό (Σείριος), λευκό, λευκοκίτρινο (Ηλιος), κίτρινο, ερυθροκίτρινο και κόκκινο (Μπετελγκέζ). Η αιτία της διαβάθμισης των χρωμάτων τους είναι η διαφορετική θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κάθε αστέρα. Οι θερμότεροι έχουν χρώμα μπλε, ενώ οι ψυχρότεροι κόκκινο.

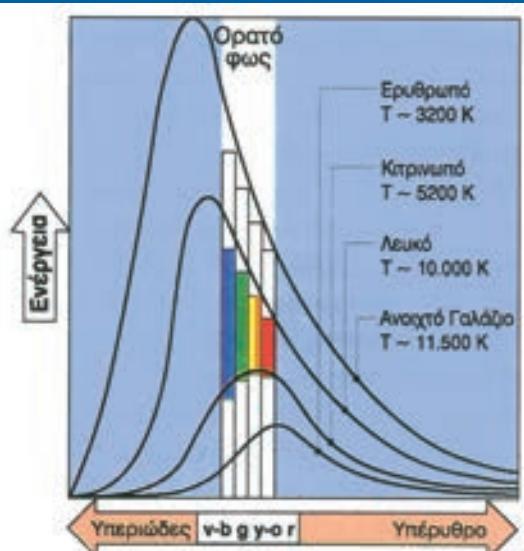
Η ακτινοβολία που εκπέμπει ένας, για παράδειγμα, κόκκινος αστέρας συνίσταται από φωτόνια με μίκη κύματος από όλη την περιοχή του ορατού φάσματος. Το μεγαλύτερο όμως ποσοστό της ενέργειας της ακτινοβολίας του μεταφέρεται από φωτόνια που έχουν μίκη κύματος στην περιοχή του ερυθρού (σχ.5.4), γεγονός που οφείλεται στην χαμπλή θερμοκρασία του αστέρα (βλ. και κεφάλαιο 2).

Εποι, τα φάσματα αστέρων διαφορετικής θερμοκρασίας είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι από το φάσμα ενός

Τον πρώτο κατάλογο αστερισμών συνέταξε ο μεγάλος Έλληνας αστρονόμος Ιππαρχος (2ος αιώνας π.Χ.) και περιείχε 1.022 ορατούς αστέρες. Βέβαια στον κατάλογο αυτόν, που δυστυχώς χάθηκε, περιλαμβάνονταν οι αστερισμοί μόνο του Βόρειου Ήμισφαιρίου που οι αρχαίοι Έλληνες μπορούσαν να δουν, λόγω της θέσης της χώρας μας. Τα ονόματα των αστερισμών αυτών ήταν ονόματα θεών και πρώων των αρχαίων Ελλήνων. Από τον 17ο αιώνα και μετά οι Ευρωπαίοι αστρονόμοι πρόσθεσαν διάφορους άλλους αστερισμούς καθώς και τους αστερισμούς του Νότιου Ήμισφαιρίου με ονόματα πρακτικά και γεωμετρικά, όπως Αντλία, Εξάντας, Γνώμονας κ.λπ.

Το 1922 οι αστρονόμοι στην πρώτη τους διεθνή συνάντηση στη Ρώμη αναγνώρισαν 88 αστερισμούς και έθεσαν τα ακριβή τους όρια. Στον κατάλογο αυτόν υπάρχουν και οι 48 αστερισμοί των αρχαίων Ελλήνων με τα ονόματα που τους είχαν δώσει οι ίδιοι.

**Σχήμα 5.4: Η κατανομή της ενέργειας που εκπέμπουν γνωστοί αστέρες διάφορων επιφανειακών θερμοκρασιών σε διεστις περιοχές του πλεκτρομαγνητικού φάσματος.**



**ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ**

- α) Η αστρονομική μονάδα (A.U.) είναι η μέσην απόσταση Γη-Ηλίου και ισχύει:  $1 \text{ A.U.} = 149.597.870 \text{ Km}$ , ή με προσέγγιση:  $1 \text{ A.U.} = 150.000.000 \text{ Km}$ .
- β) Το έτος φωτός (ε.φ.) είναι η απόσταση που διανύει το φως σε ένα έτος. Ισχύει  $1 \text{ ε.φ.} = 63.240 \text{ A.U.} = 9,46 \times 10^{12} \text{ Km}$ .
- γ) Το parsec (1pc) =  $3,26 \text{ ε.φ.} = 206.265 \text{ A.U.} = 30,9 \times 10^{12} \text{ Km}$ .

<sup>1</sup> Φαινόμενο μέγεθος ενός ουράνιου αντικειμένου είναι ένα μέτρο της φαινόμενης λαμπρότητάς του. Συμβολίζεται με το γράμμα  $m$  και συνδέεται με τη φαινόμενη λαμπρότητα 1 με τη σχέση  $m = 2,5 \log 1 + c$ , όπου  $c$  είναι μια σταθερά που εξαρτάται από το όργανο (ανιχνευτή) παρατήρησης.

αστέρα μπορούμε να υπολογίζουμε τη θερμοκρασία της ατμόσφαιράς του.

### ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ

Η μορφή των φασμάτων της ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι αστέρες είναι παρόμοια με αυτή του Ήλιου. Γνωρίσαμε όμως (κεφ.2) ότι τα φάσματα των αστέρων παρουσιάζουν και διαφορές που οφείλονται στη διαφορετική τους θερμοκρασία και χημική σύσταση. Έτσι, οι αστέρες έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπουν. Από τους θερμότερους (χρώματος μπλε) προς τους ψυχρότερους (χρώματος κόκκινου) κατατάσσονται στους εξής φασματικούς τύπους:

O - B - A - F - G - K - M

Οι αστρονόμοι διαίρεσαν περαιτέρω τους φασματικούς τύπους σε υποκατηγορίες -από τους θερμότερους στους ψυχρότερους από το 0 έως το 9. Ο Ήλιος μας είναι φασματικού τύπου G2.

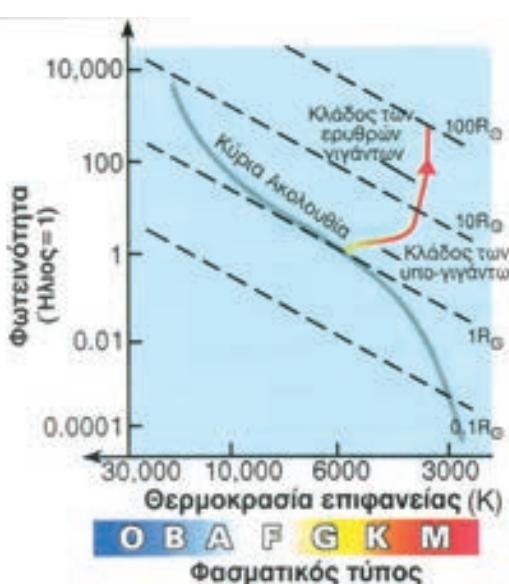
### 5.3 ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ H-R

Ένας αστέρας κατά τη διάρκεια της ζωής του εμφανίζει μεταβολές των φυσικών του χαρακτηριστικών. Πώς όμως μπορούμε να παρακολουθήσουμε την εξέλιξή του, αφού ο χρόνος ζωής του είναι δισεκατομμύρια χρόνια;

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με απλό τρόπο:

Αφού δεν μπορούμε να έχουμε στοιχεία για τα στάδια της ζωής ενός αστέρα, αρκεί να μελετήσουμε ένα πλήθος αστέρων, που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια εξέλιξης.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει, όταν μελετάμε μια μεγάλη τυχαία ομάδα ανθρώπων, όπου συναντάμε άτομα κάθε πλικίας.



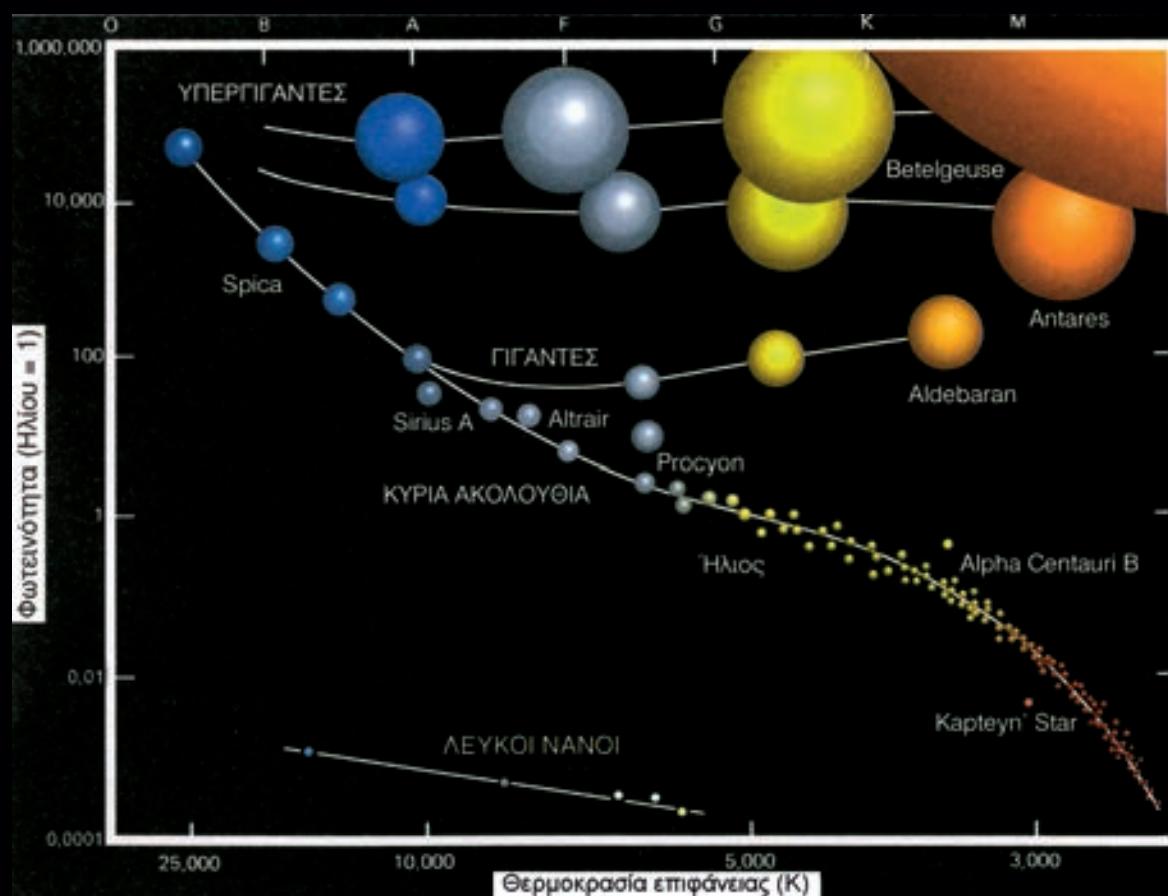
**Σχήμα 5.5:** Το διάγραμμα H-R ως συνάρτηση του φασματικού τύπου και της λαμπρότητας των αστέρων. Στο διάγραμμα αυτό επιπλέον υπάρχουν πλάγιες γραμμές που αντιστοιχούν σε αστέρες συγκεκριμένης ακτίνας. Είναι αξιοσημείωτο ότι αστέρες με ακτίνα ίση με 10 πλιακές ακτίνες και φασματικού τύπου O είναι νάνοι αστέρες, ενώ, όταν για την ίδια ακτίνα ο φασματικός τύπος είναι G, ο αστέρας ανήκει στην κατηγορία των γιγάντων.

Πρώτος ο Δανός αστρονόμος Χέρτζπρουνγκ (Hertzsprung) το 1911 και αργότερα ο Αμερικανός Ράσσελ (Russel) το 1913 εργάστηκαν με βάση αυτήν τη σκέψη. Διερεύνησαν λοιπόν, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, το ενδεχόμενο ύπαρξης κάποιας σχέσης μεταξύ της επιφανειακής θερμοκρασίας ή του φασματικού τύπου και της απόλυτης λαμπρότητας (ή φωτεινότητας) ή του απόλυτου μεγέθους των αστέρων. Σε ένα διάγραμμα με τετμημένες τις θερμοκρασίες των αστέρων και τεταγμένες τις λαμπρότητές τους τοποθέτησαν τα παραπροσιακά δεδομένα τους. Το διάγραμμα αυτό, γνωστό ως διάγραμμα θερμοκρασίας-φωτεινότητας ή συντομευμένα H-R (από τα αρχικά των ονομάτων των Hertzsprung και Russel), οδήγησε τους αστρονόμους σε πολύ σημαντικά συμπεράσματα και σηματοδότησε μια καινούργια εποχή για τη μελέτη των αστέρων (σχ. 5.5).

Αν εστιάσουμε λοιπόν την προσοχή μας στα διαγράμματα H-R των σχημάτων 5.5 και 5.6 θα διαπιστώσουμε τα εξής:

- Οι αστέρες δεν κατανέμονται ομοιόμορφα και τυχαία, αλλά ομαδοποιούνται σε τέσσερις βασικές περιοχές του διαγράμματος. Οι αστέρες κάθε ομάδας έχουν περίπου τις ίδιες μάζες και ακτίνες.
- Οι περισσότεροι αστέρες βρίσκονται κατά μήκος μιας ζώνης

**Σχήμα 5.6: Διάγραμμα H-R. Οι λευκές γραμμές δείχνουν τις διαφορετικές ομάδες γνωστών αστέρων του ουρανού. Στον οριζόντιο άξονα μετράμε τις θερμοκρασίες και στον κατακόρυφο τη φωτεινότητα. Οι διαστάσεις των αστέρων της ίδιας ομάδας είναι ανάλογες με τις πραγματικές, ενώ δεν ισχύει αυτό μεταξύ των αστέρων διαφορετικών ομάδων.**



Παρατηρώντας τη Σελήνη τη βλέπουμε όπως ήταν περίπου 1 και 1/4 δευτερόλεπτα πριν, τον Ήλιο όπως ήταν περίπου 8 λεπτά πριν, όσο χρόνο, δηλαδή, χρειάζεται το φως που εκπέμπουν για να φτάσει στη Γη. Τι συμβαίνει όμως με τους αστέρες; Το φως από τον κοντινότερο αστέρα χρειάζεται 4,3 χρόνια να φτάσει σε μας, ενώ από τα πιο μακρινά ουράνια αντικείμενα χρειάζεται εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια χρόνια!

Ο προσδιορισμός των αποστάσεων των αστέρων από τη Γη γίνεται με διάφορους τρόπους. Η μέθοδος που ακολουθείται κάθε φορά εξαρτάται από το μέγεθος της απόστασης που θέλουμε να υπολογίσουμε.

#### Πώς μετράμε τις αποστάσεις των αστέρων από τη Γη;

α) Για να βρούμε τις αποστάσεις αστέρων που βρίσκονται αρκετά κοντά στο πλιακό μας σύστημα -μέχρι 300 έτη φωτός- χρησιμοποιούμε την τριγωνομετρική μέθοδο.

Μετράμε, δηλαδή, τη γωνία με την οποία φαίνεται η ακτίνα της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο από έναν υποθετικό παρατηρητή που βρίσκεται στον αστέρα. Αυτό μπορεί να γίνει προσδιορίζοντας τις συντεταγμένες του αστέρα σε δύο ημερομηνίες που διαφέρουν μεταξύ

τους κατά έξι μήνες, οπότε βρίσκουμε την **πλιοκεντρική παράλλαξη**  $\pi$  του αστέρα (σχ. 5.7, 5.8).

Όταν ο παράλλαξη ενός αστέρα είναι 1'', τότε η απόστασή του από τη Γη είναι εξ ορισμού ένα παρσέκ (pc=parsec, από το parallax και second). Η απόσταση αυτή χρησιμοποιείται και ως μονάδα μέτρησης των αποστάσεων των αστέρων.

β) Για τους αστέρες που βρίσκονται σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 300 έτη φωτός χρησιμοποιείται η μέθοδος της **φασματοσκοπικής παράλλαξης**. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μέτρηση της έντασης ορισμένων γραμμών του φάσματος του αστέρα, από την οποία προσδιορίζεται το φαινόμενο και το απόλυτο μέγεθός του. Τότε με τη βοήθεια της γνωστής μας σχέσης

$$m - M = 5 \log r - 5$$

υπολογίζουμε την απόσταση  $r$  του αστέρα.

γ) Οι αποστάσεις των πλέον απομακρυσμένων αστέρων υπολογίζονται με συνδυασμό μεθόδων, που στηρίζονται κυρίως στη μέτρηση της φαινόμενης λαμπρότητας των μεταβλητών αστέρων (αστέρων, δηλαδή, που η λαμπρότητά τους μεταβάλλεται περιοδικά, εξαιτίας της περιοδικής μεταβολής των διαστάσεών τους και της θερμοκρασίας τους).

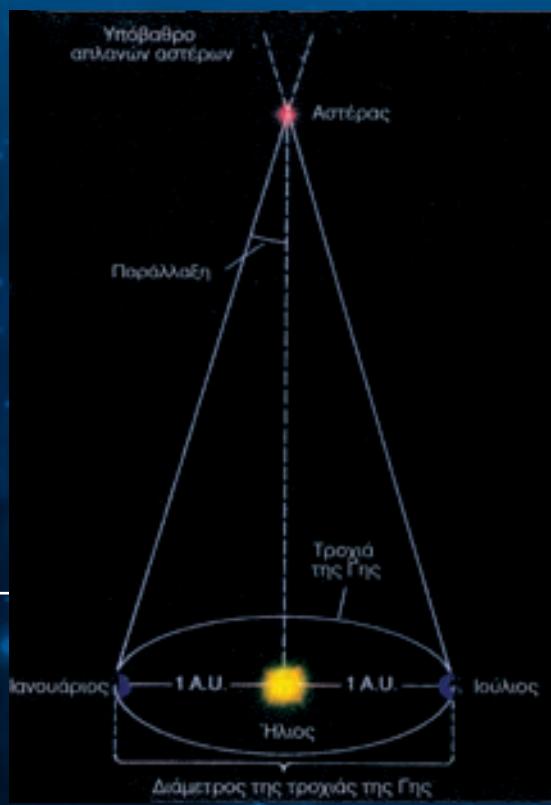
Το απόλυτο μέγεθος και κατ' επέκταση η απόσταση ενός μεταβλητού αστέρα από τη Γη σχετίζεται με την περίοδο της μεταβολής της λαμπρότητας του αστέρα και προσδιορίζεται μέσω αυτής.

Με στόχο την ακριβή μέτρηση της παράλλαξης πολλών αστέρων το 1989 τέθηκε σε τροχιά το τηλεσκόπιο HIPPARCHOS (High Precision Parallax Collecting Satellite). Από τα δεδομένα που συνέλεξε και έστειλε στη Γη οι επιστήμονες κατάφεραν να υπολογίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αποστάσεις 100.000 αστέρων από τη Γη.

Οι αστέρες φαίνονται ακίνητοι στον ουρανό. Γι' αυτό και ονομάστηκαν από τους αρχαίους αστρονόμους απλανείς σε αντιδιαστολή με τους πλανήτες. Στην πραγματικότητα όμως οι αστέρες κινούνται ο ένας σε σχέση με τον άλλον. Λόγω όμως των τεράστιων αποστάσεών τους από τη Γη, η κίνησή τους δεν είναι άμεσα αντίληπτη. Αν ωστόσο συγκρίνουμε δύο φωτογραφίες της ίδιας περιοχής του ουρανού που ελήφθησαν με χρονική απόσταση μερικών ετών, τότε είναι δυνατό να διακρίνουμε τη σχετική τους μετατόπιση.

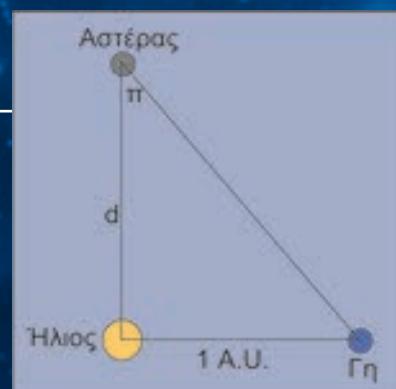
Για να μετρήσουμε την ταχύτητα ενός αστέρα, θα πρέπει να ορίσουμε ένα σύστημα αναφοράς. Ως σύστημα αναφοράς χρησιμοποιείται ο Ήλιος κατά τη φαινόμενη κίνησή του πάνω στην εκλειπτική.

Είναι το ίδιο σύστημα που πρώτος είχε χρησιμοποιήσει ο Ήππαρχος, για να



**Σχήμα 5.7:** Το τόξο που διαγράφει ένας αστέρας σε χρονικό διάστημα 6 μηνών δίνει την παράλλαξη του. Αστέρες που βρίσκονται σε απόσταση 1 pc έχουν παράλλαξη 1 δευτερόλεπτο τόξου.

**Σχήμα 5.8:** Από το σχήμα έχουμε:  $\epsilon_{\text{φ}} = 1 \text{ A.U./d}$ , και, επειδή η γωνία  $\pi$  είναι πολύ μικρή, ισχύει  $\epsilon_{\text{φ}} \approx \pi$  (σε ακτίνια). Επομένως η προηγούμενη σχέση γράφεται:  $\pi = 1 \text{ A.U./d}$  ή σε δευτερόλεπτα τόξου  $\pi'' = 206.265 \text{ A.U./d}$ , αφού 1 ακτίνιο =  $206.265''$ . Αν ορίσουμε  $1 \text{ pc} = 206.265 \text{ A.U.}$ , τότε έχουμε  $\pi'' = 1 \text{ pc/d}$  ή  $d = 1/\pi$ , όπου το  $d$  δίνεται σε παρσέκ και το  $\pi$  σε δευτερόλεπτα τόξου.



- Σχήμα 5.12:** (α) Το φάσμα της ακτινοβολίας φωτεινού σώματος  $\Sigma$  ως προς έναν παρατηρητή  $\Pi$  ακίντο ως προς αυτόν.  
 (β) Όταν το  $\Sigma$  απομακρύνεται από τον  $\Pi$ , οι φασματικές γραμμές μετατοπίζονται προς το ερυθρό.  
 (γ) Όταν το  $\Sigma$  πλησιάζει τον  $\Pi$ , οι φασματικές γραμμές μετατοπίζονται προς το ιώδες.

μελετήσει τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων (σχ. 5.10).

Με νέα διαστημικά προγράμματα επιδιώκεται η συνεχής βελτίωση των γνώσεών μας για τις κινήσεις των αστέρων. Γίνεται μάλιστα προσπάθεια να μελετηθούν οι κινήσεις αυτές με σύστημα αναφοράς εξωγαλαξιακά αντικείμενα, που είναι φαινομενικά ακίντα.

#### Πώς μετράμε την ακτινική ταχύτητα ενός αστέρα, γαλαξία, ή άλλου ουράνιου σώματος σε σχέση με τη Γη;

Η μέτρηση της ακτινικής ταχύτητας ενός ουράνιου σώματος σε σχέση με τη Γη γίνεται με βάση το **φαινόμενο Doppler**: Εάνας παρατηρητής που λαμβάνει κύματα από μια πηγή κυμάτων διαπιστώνει μεταβολή στο μήκος και τη συχνότητα του κύματος που λαμβάνει, όταν η πηγή βρίσκεται σε σχετική κίνηση ως προς αυτόν.

Ας υποθέσουμε ότι ένα φωτεινό σώμα  $\Sigma$  που είναι ακίντο ως προς έναν παρατηρητή  $\Pi$  εκπέμπει ακτινο-

βολία, της οποίας το φάσμα φαίνεται στο σχήμα 5.12 α. Αν το ίδιο σώμα κινείται ως προς τον παρατηρητή, τότε το φάσμα της ακτινοβολίας που φτάνει σε αυτόν είναι διαφορετικό (σχ. 5.12 β, γ):

Αν το  $\Sigma$  απομακρύνεται από τον  $\Pi$  οι φασματικές γραμμές είναι μετατοπισμένες από τις θέσεις που είχαν στην εικόνα 5.12 α προς μεγαλύτερα μήκη κύματος (σχ. 5.12 β) - μετατόπιση προς το ερυθρό άκρο του φάσματος.

Αν το  $\Sigma$  πλησιάζει τον  $\Pi$ , οι φασματικές γραμμές μετατοπίζονται αντίθετα, προς μικρότερα μήκη κύματος (σχ. 5.12 γ) - μετατόπιση προς το ιώδες.

Το μέγεθος της παρατηρούμενης μεταβολής του μήκους κύματος ( $\Delta\lambda$ ) είναι ανάλογο προς το μέτρο της ακτινικής

ταχύτητας  $V_R$  του σώματος ως προς τον παρατηρητή. Αποδεικνύεται ότι ισχύει η σχέση:

$$\Delta\lambda/\lambda_0 = V_R/c$$

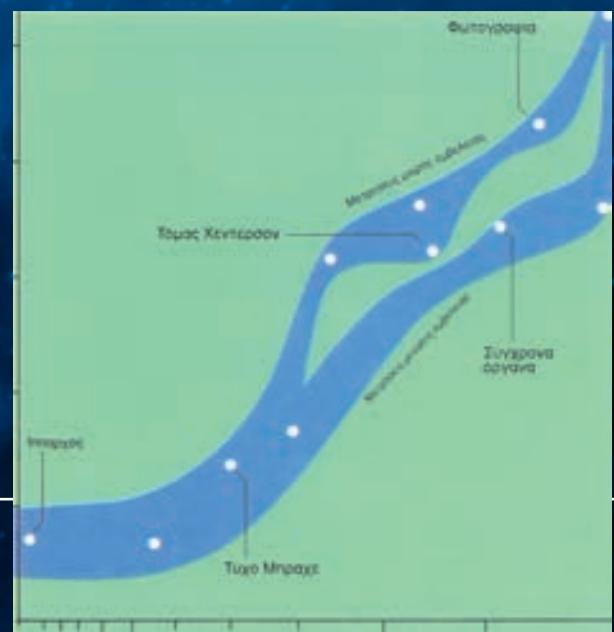
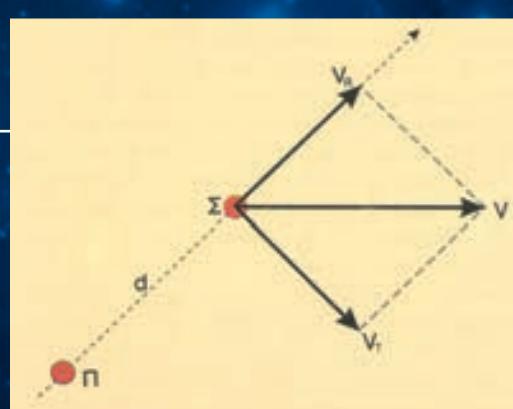
όπου  $\lambda_0$  είναι το μήκος κύματος της φασματικής γραμμής, όταν το σώμα και ο παρατηρητής βρίσκονται σε σχετική ακινησία και c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Από την προηγούμενη σχέση βλέπουμε ότι μετρώντας τη μεταβολή  $\Delta\lambda$  του μήκους κύματος  $\lambda_0$  μιας φασματικής γραμμής, μπορούμε να υπολογίσουμε την ακτινική ταχύτητα  $V_R$  του φωτεινού σώματος  $\Sigma$  ως προς τον παρατηρητή  $\Pi$ :

$$V_R = (\Delta\lambda/\lambda_0) \cdot c$$

**Εικόνα 5.10:** Εδώ παρουσιάζεται η ακρίβεια των μετρήσεων από την εποχή του Ιππαρχου.

**Σχήμα 5.9:** Οι τρόποι με τους οποίους υπολογίζονται οι αποστάσεις των αστέρων.



**Σχήμα 5.11:** Ακτινική ταχύτητα ενός αστέρα ως προς τη Γη είναι η ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται από αυτή ή πλησιάζει προς αυτή.  $V$ : η ταχύτητα του σώματος  $\Sigma$  ως προς τον παρατηρητή  $\Pi$ .  $V_R$ : η ακτινική ταχύτητα του  $\Sigma$  ως προς τον  $\Pi$ . Οι συνιστώσες  $V_R$  και  $V_T$  της  $V$  είναι κάθετες μεταξύ τους.

που διασχίζει διαγώνια το διάγραμμα και ονομάζεται **Κύρια Ακολουθία**. Οι αστέρες της Κύριας Ακολουθίας, ανάμεσα στους οποίους είναι και ο Ήλιος, ονομάζονται **νάνοι αστέρες**.

Στο κάτω δεξιό άκρο της Κύριας Ακολουθίας αντιστοιχούν αστέρες χαμπλής θερμοκρασίας (χρώματος κόκκινου), ενώ στο επάνω αριστερό άκρο αστέρες υψηλής θερμοκρασίας (χρώματος μπλε).

- Το 90% των αστέρων που βλέπουμε στον ουρανό ανήκουν στην Κύρια Ακολουθία. Είναι λοιπόν εύλογο να συμπεράνουμε ότι οι αστέρες περνούν τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους ως νάνοι αστέρες.
- Πάνω και δεξιά από την Κύρια Ακολουθία είναι κατά σειρά **οι γίγαντες και οι υπεργίγαντες αστέρες**. Ονομάζονται έτσι, επειδή οι διαστάσεις τους είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με τις διαστάσεις των αστέρων της Κύριας Ακολουθίας. Οι γίγαντες είναι πολύ περισσότεροι από τους υπεργίγαντες.
- Κάτω και αριστερά από την Κύρια Ακολουθία βρίσκονται οι **λευκοί νάνοι**. Οι λευκοί νάνοι, ενώ έχουν υψηλές θερμοκρασίες, όπως προκύπτει από το φάσμα τους είναι αμυδροί αστέρες, εξαιτίας των μικρών τους διαστάσεων.

**ΜΕΣΟΑΣΤΡΙΚΗ ΥΛΗ:** Η ύλη που υπάρχει στο διάστημα μεταξύ των αστέρων. Αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και σε μικρότερες αναλογίες από άλλα στοιχεία σε κάτασταση αερίων ή σκόνης.

## 5.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Η θεωρία για τη δημιουργία και την εξέλιξη των αστέρων κατέχει σημαντικότατη θέση ανάμεσα στα θαυμαστά επιτεύγματα της Αστρονομίας του 20ού αιώνα. Η γνώση μας για τις διάφορες φάσεις της ζωής ενός αστέρα από τη γένεσή του έως το τέλος του σπρίζεται σε θεωρητικά μοντέλα, οι προβλέψεις των οποίων έχουν γενικά επιβεβαιωθεί από τα παρατηρησιακά δεδομένα.

### Η ΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Σύμφωνα με το επικρατέστερο μοντέλο, οι αστέρες δημιουργούνται από τη βαρυτική κατάρρευση μεσοαστρικών νεφών που αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο. Το νέφος αρχίζει να συστέλλεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πυκνότητά του. Με την αύξηση της πυκνότητας, το νέφος καταρρέει λόγω της βαρύτητας προς το κέντρο της μάζας του και ταυτόχρονα αρχίζει να περιστρέφεται.

Η ταυτόχρονη συστολή και περιστροφή σε πολλές περιπτώσεις προκαλούν τη διάσπαση του νέφους σε κομμάτια. Καθένα από αυτά τα κομμάτια -οι πρωτοαστέρες, όπως λέγονται- συνεχίζουν να καταρρέουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Έτσι κάθε πρωτοαστέρας συστέλλεται διαρκώς. Η μάζα του συμπιέζεται σε όλο και μικρότερο χώρο, με αποτέλεσμα τη γρήγορη αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του. Αν η θερμοκρασία φτάσει τους  $10^6$  K, τότε αρχίζουν να πραγματοποιούνται στον πυρήνα του πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης υδρογόνου σε ήλιο. Η ενέργεια που ελευθερώνεται προκαλεί δραματική αύξηση της

**ΒΑΡΥΤΙΚΗ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ:** Η συστολή ενός σώματος πολύ μεγάλης μάζας που οφείλεται στις έλξεις μεταξύ των σωματιδίων που το απαρτίζουν. Η κίνηση της ύλης κατά τη βαρυτική κατάρρευση γίνεται προς το κέντρο της μάζας του σώματος που καταρρέει. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο ο σχηματισμός των γαλαξιών, των αστέρων και των πλανητικών συστημάτων. Ένα ωστικό κύμα που δημιουργείται από την έκρηξη ενός αστέρα μπορεί να πυροδοτήσει τη βαρυτική κατάρρευση ενός νέφους μεσοαστρικής ύλης. Καθώς το κύμα διαδίδεται συμπιέζει το νέφος και αυξάνει την πυκνότητά του.

εσωτερικής πίεσης του πρωτοαστέρα, που αντισταθμίζει τη βαρυτική του κατάρρευση.

Η συστολή του πρωτοαστέρα σταματάει και δημιουργείται κατάσταση δυναμικής ισορροπίας<sup>1</sup>. Τότε λέμε ότι γεννήθηκε ένας αστέρας.

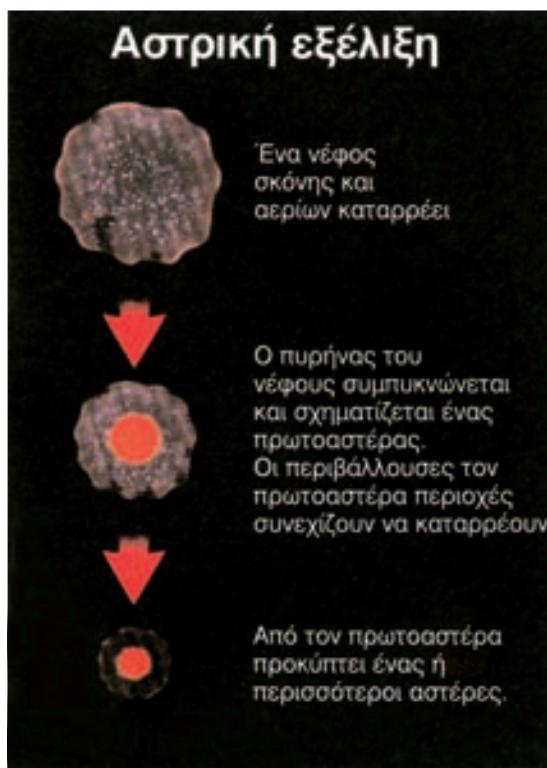
Χαρακτηριστική περιοχή γένεσης αστέρων είναι το Νεφέλωμα του Ωρίωνα, που βρίσκεται 1.500 έτη φωτός μακριά από τη Γη, στον ομώνυμο αστερισμό (εικ. 5.14).

### ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ

Μια θεμελιώδης φυσική παράμετρος των αστέρων είναι και η μάζα τους που εκφράζεται με μέτρο σύγκρισης την πλιακή μάζα. Έτοις υπάρχουν αστέρες 5 πλιακών μαζών ή αστέρες 0,3 πλιακών μαζών κ.ο.κ. Οι μεγαλύτεροι αστέρες που έχουν παρατηρηθεί φτάνουν τις 100 πλιακές μάζες, ενώ οι μικρότεροι έχουν μάζες ίσες με το 1/10 της πλιακής.

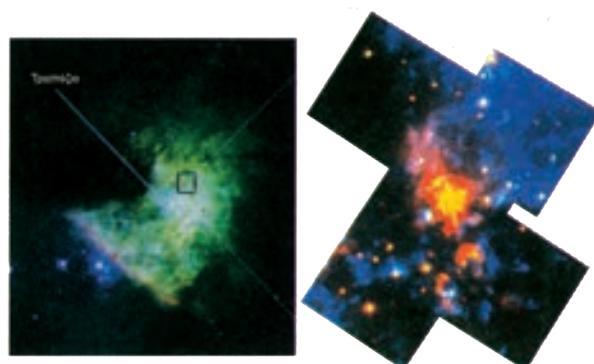
Εξέλιξη ενός αστέρα ονομάζουμε τις μεταβολές των φυσικών του χαρακτηριστικών σε συνάρτηση με το χρόνο. Αιτία των μεταβολών είναι οι αλλαγές του είδους των πυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό του.

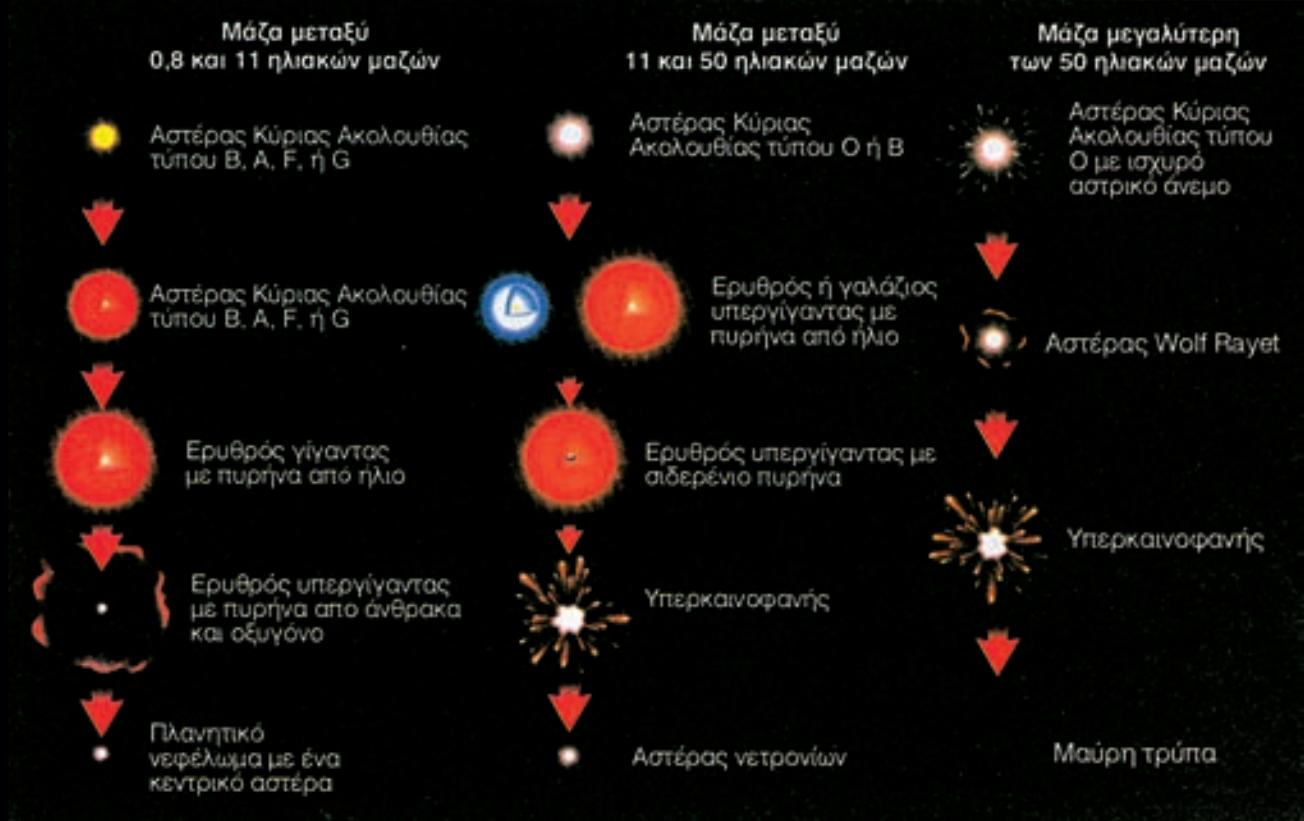
<sup>1</sup> Δυναμική ισορροπία: Κατάσταση ισορροπίας ενός συστήματος που επιτυγχάνεται από την αρμοιβαία εξουδετέρωση διαδικασιών που εξελίσσονται προς αντίθετες κατευθύνσεις. Για παράδειγμα, η ισορροπία ενός αστέρα συμβαίνει, όταν ο κατάρρευσης της ύλης του λόγω βαρύτητας αντισταθμιστεί από την ενέργεια που παράγουν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του.



Εικόνα 5.13: Η διαδικασία σχηματισμού ενός πρωτοαστέρα.

**Εικόνα 5.14:** Οι δύο φωτογραφίες δείχνουν το νεφέλωμα του Ωρίωνα που απέχει 1.500 ε.φ. από τη Γη και είναι το πλοσιέστερο νεφέλωμα στο οποίο παρατηρείται γένεση νέων αστέρων. Η αριστερή φωτογραφία αντιστοιχεί στα οπτικά μήκη κύματος. Η δεξιά φωτογραφία δίνει την επιλεγμένη περιοχή στα υπέρυθρα μήκη κύματος. Φαίνονται αρκετοί ερυθροί αστέρες.





**Σχήμα 5.15:** Η εξέλιξη αστέρων διαφορετικής μάζας.

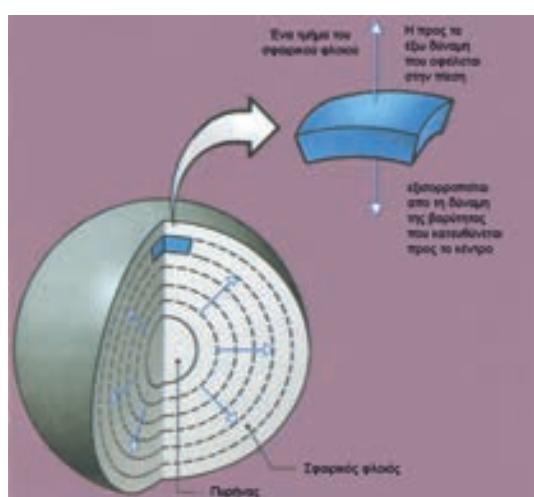
Η αρχική μάζα ενός αστέρα είναι καθοριστική για την εξέλιξή του. Οι αστέρες με μεγάλη μάζα ακολουθούν κύκλο ζωής εντελώς διαφορετικό από τους αστέρες με μικρή μάζα. Οι πρώτοι έχουν κύκλο ζωής που διαρκεί λίγες χιλιάδες χρόνια, με πολύ βίαιο τέλος, ενώ οι αστέρες μικρής μάζας παραμένουν σχεδόν «αμετάβλητοι» για εκατοντάδες εκατομμύρια ή δισεκατομμύρια χρόνια.

## ΣΤΑΔΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΝΟΣ ΑΣΤΕΡΑ

Το χρονικό διάστημα από τη γένεση του πρωτοαστέρα μέχρι την έναρξη των πυρηνικών αντιδράσεων στο εσωτερικό του (και επομένως την είσοδό του στην Κύρια Ακολουθία του διαγράμματος H-R) αποτελεί την πρώτη φάση της ζωής του.

Η δεύτερη φάση της ζωής ενός αστέρα ή φάση της Κύριας Ακολουθίας είναι η περίοδος της ζωής του που έχει τη μεγαλύτερη διάρκεια. Το χαρακτηριστικό της φάσης αυτής είναι η «καύση» του υδρογόνου σε ήλιο στον πυρήνα του αστέρα. Ο Ήλιος μας βρίσκεται στη φάση αυτή εδώ και 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ υπολογίζεται ότι θα παραμείνει σ' αυτή για άλλο τόσο χρονικό διάστημα.

Ένας αστέρας με 10 πλάσια μάζα από τη μάζα του Ήλιου παραμένει στην Κύρια Ακολουθία πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, περίπου 50 εκατομμύρια χρόνια.



**Σχήμα 5.16:** Οι δυνάμεις λόγω της βαρύτητας και της εσωτερικής πίεσης πρέπει να εξισορροπούνται σε κάθε στρώμα του αστέρα.

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής οι αστέρες εμφανίζουν μεγάλη σταθερόποτα ως προς τα διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

**Φάση μετά την Κύρια Ακολουθία.** Η τρίτη αυτή φάση αναφέρεται στην εξέλιξη του αστέρα μετά την Κύρια Ακολουθία και είναι το πιο σύντομο στάδιο της ζωής του.

Μετά την εξάντληση του υδρογόνου η ισορροπία του αστέρα καταστρέφεται. Ο πυρήνας του αρχίζει πάλι να συστέλλεται λόγω βαρύτητας, η θερμοκρασία του ανεβαίνει και, όταν φτάσει περίπου στους  $10^8$  K, αρχίζει η πυρηνική καύση του πλίου σε άνθρακα. Η έναρξη αυτής της καύσης συνοδεύεται από τρομερή έκλυση ενέργειας που προκαλεί δραματική διαστολή του αστέρα. Η διαστολή αυτή έχει αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του και τη μετατόπιση του φάσματος της ακτινοβολίας του προς το ερυθρό. Ο αστέρας τότε μετατρέπεται σε έναν **ερυθρό γίγαντα**.

Αυτή είναι η πορεία που θα ακολουθήσει και ο Ήλιος. Στη φάση αυτή η ακτίνα του Ήλιου θα γίνει περίπου ίση με 1,1 A.U. και η Γη θα περιστρέφεται στα όρια της εξωτερικής του ατμόσφαιρας. Τότε η ατμόσφαιρα της Γης θα διαλυθεί και τα εξωτερικά στρώματα του φλοιού της θα αρχίσουν να εξατμίζονται. Η ακτίνα περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο θα μειώνεται σταδιακά λόγω της τριβής και σε λιγότερο από 200 χρόνια θα συγχωνευτεί με τον πυρήνα του. Η αυξανόμενη λαμπρότητα του Ήλιου θα εξατμίσει και τους υπόλοιπους εσωτερικούς πλανήτες, ενώ οι εξωτερικοί θα χάσουν τα παγωμένα εξωτερικά τους στρώματα, ώσπου να εμφανιστούν οι πετρώδεις πυρήνες τους.

Αν ο αστέρας έχει μάζα πολύ μεγαλύτερη από τη μάζα του Ήλιου, τότε, μετά την εξάντληση του στοιχείου πλίου, ακολουθείται πάλι μια διαδικασία παρόμοια με την προηγούμενη: Ο πυρήνας συστέλλεται εκ νέου λόγω βαρύτητας, η θερμοκρασία του ανεβαί-



**Εικόνα 5.17:** Οι Πλειάδες ή Πούλια αποτελούνται από αστέρες νεαρής πλικίας.

### ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ

Οι δυνάμεις που αντιμάχονται στη διάρκεια της ζωής ενός αστέρα είναι δύο:

- α) Η δύναμη που αναπτύπτεται από το κέντρο του αστέρα την ύπο από την οποία αποτελείται.
- β) Η δύναμη που αναπτύσσεται από τις πυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα του, η οποία προέρχεται από την αύξηση της εσωτερικής πίεσης του αστέρα, λόγω της ενέργειας που ελευθερώνεται.

Αν υπήρχε μόνο η βαρύτητα, τότε ο αστέρας θα κατέρρεε μέσα σε λίγα λεπτά.

Αν υπήρχε μόνο η δύναμη από την εσωτερική του πίεση, αυτή θα προκαλούσε άμεση έκρηξη. Οι δύο αυτές δυνάμεις εξισορροπούνται μεταξύ τους στη διάρκεια του μεγαλύτερου τιμήματος της ζωής ενός αστέρα. Η ισορροπία έχει ως επακόλουθο τη σταθεροποίηση όλων των φυσικών χαρακτηριστικών του αστέρα, της πίεσης, της θερμοκρασίας, των διαστάσεών του κτλ. (σχ. 5.16).

Η ισορροπία του αστέρα παρουσιάζει μεγάλη ευστάθεια. Αν διαταραχτεί για οποιονδήποτε λόγο, οι τιμές των μεγεθών που την προσδιορίζουν (πίεση, θερμοκρασία, ακτίνα, ρυθμός των πυρηνικών αντιδράσεων κτλ.) μεταβάλλονται έτσι, ώστε ο αστέρας να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση. Για παράδειγμα, αν στο εσωτερικό του παράγεται πλεόνασμα ενέργειας, προκαλείται εξαιτίας του αύξηση της πίεσης και διαστολή του αστέρα, με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του. Η ελάττωση της θερμοκρασίας προκαλεί με τη σειρά της μείωση του ρυθμού των πυρηνικών αντιδράσεων και τελικά ελάττωση της παραγόμενης ενέργειας. Αν πάλι για κάποιους άλλους λόγους μειωθεί η παραγόμενη ενέργεια, τότε προκαλείται συστολή του αστέρα και ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία.

νει στους  $10^9$  K, οπότε αρχίζει η πυρηνική καύση του άνθρακα. Η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι τώρα ακόμα μεγαλύτερη. Ο αστέρας διαστέλλεται και παίρνει τρομακτικές διαστάσεις. Γίνεται ένας **ερυθρός υπεργίγαντας**.

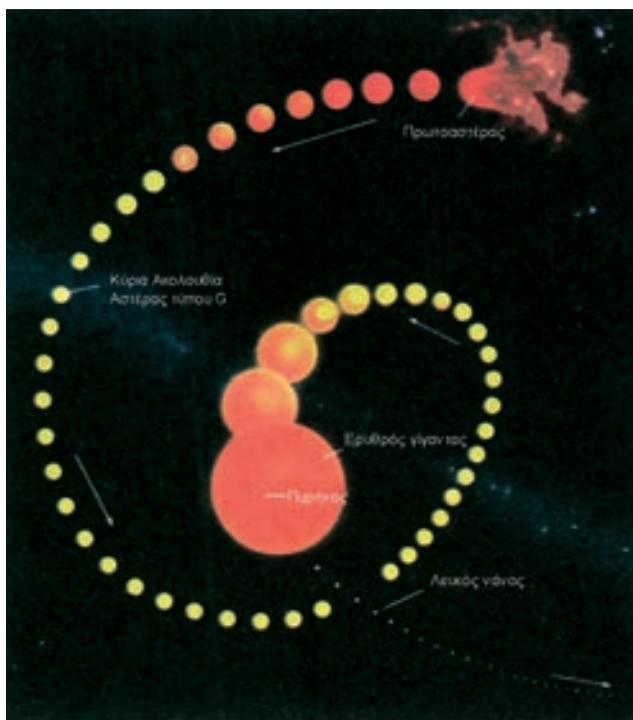
**Τελικά στάδια της εξέλιξης.** Το τελευταίο στάδιο της εξέλιξης ενός αστέρα είναι το πιο αβέβαιο. Η πορεία που θα ακολουθηθεί εξαρτάται από τη μάζα που έχει ο αστέρας.

### A. Λευκοί νάνοι

Οι αστέρες με μάζα περίπου ίση με τη μάζα του Ήλιου μετά το στάδιο του ερυθρού γίγαντα χάνουν σταδιακά μέσα σε 1.000 χρόνια περίπου το 10-20% της αρχικής τους μάζας, λόγω του πολύ ισχυρού αστρικού ανέμου που εκπέμπεται από την επιφάνεια του αστέρα.

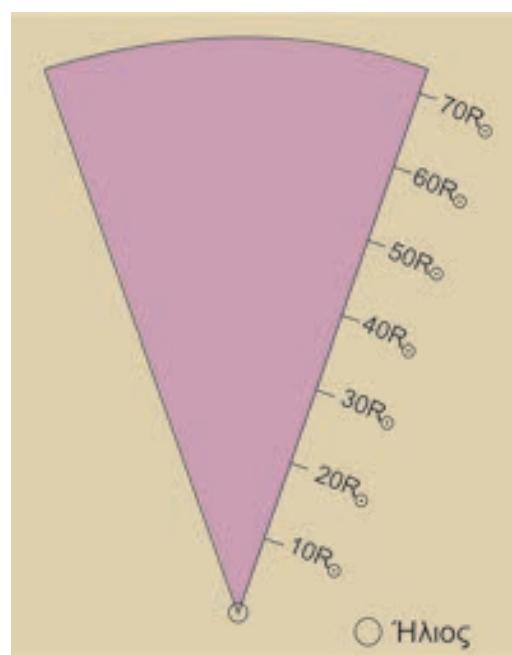
Η ύλη που μεταφέρεται από τον αστρικό άνεμο σχηματίζει ένα **πλανητικό νεφέλωμα** (εικ. 5.20).

Στα τέλη του 1920 ο περίφημος Ινδός αστροφυσικός Chandrasekhar ανέπτυξε τη θεωρία των λευκών νάνων: Όταν εξαντληθεί το ήλιο, ο πυρήνας του αστέρα, που αποτελείται τώρα από άνθρακα, συρρικνώνεται πάλι λόγω βαρύτητας. Η μάζα όμως



**Σχήμα 5.18:** Σχηματική αναπαράσταση της εξέλιξης του Ήλιου.  
Διακρίνονται: α) Ο σχηματισμός του πρωτοαστέρα από ένα μεσοαστρικό νέφος. β) Η είσοδος στη φάση της Κύριας Ακολουθίας με την έναρξη των πυρηνικών αντιδράσεων στον πυρήνα του. γ) Η μακρόχρονη διάρκεια της φάσης της Κύριας Ακολουθίας. δ) Η φάση μετά την Κύρια Ακολουθία. Η μετατροπή του σε ερυθρό γίγαντα και τέλος σε λευκό νάνο.

**Σχήμα 5.19:** Το σχετικό μέγεθος ενός ερυθρού γίγαντα 5 πλιακών μαζών και του Ήλιου.

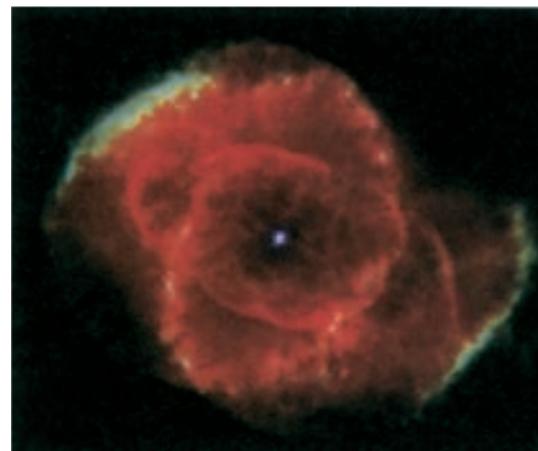


του αστέρα είναι σχετικά μικρή. Έτσι οι βαρυτικές δυνάμεις δεν είναι τόσο ισχυρές, ώστε η πίεση και η θερμοκρασία που προκαλούν να φτάσουν τις τιμές που απαιτούνται, για να ξεκινήσει η πυρνική καύση του άνθρακα. Τελικά ο πυρήνας φτάνει σε μια κατάσταση όπου η ύλη βρίσκεται σε πλήρη ιονισμό.

Τα ελεύθερα πλέον πλεκτρόνια σχηματίζουν ένα νέφος, που αναπτύσσει ισχυρή εσωτερική πίεση στον πυρήνα του αστέρα. Η πίεση του νέφους των πλεκτρονίων αντισταθμίζει τη βαρυτική συστολή και έτσι ο αστέρας ισορροπεί. Μετατρέπεται σε ένα λευκό νάνο.

Στο εσωτερικό του λευκού νάνου δε συμβαίνουν πια θερμοπυρνικές αντιδράσεις. Αυτός αποτελείται κυρίως από άνθρακα με κρυσταλλική δομή και συνεχίζει να εκπέμπει ακτινοβολία από την εσωτερική ενέργεια που περιέχει. Επειδή δεν έχει πηγές ενέργειας, ο λευκός νάνος σταδιακά ψύχεται, η ακτινοβολία που εκπέμπει μειώνεται και τελικά μετατρέπεται σε έναν καστανό και στη συνέχεια σε μαύρο νάνο.

Αυτή είναι η πορεία που θα ακολουθήσει και ο Ήλιος. Υπολογίζεται ότι χρειάζονται 10 δισεκατομμύρια χρόνια από τη διαδικασία σχηματισμού του μέχρι να γίνει λευκός νάνος. Υπολογίζε-



**Εικόνα 5.20:** Το πλανητικό νεφέλωμα Μάτι της Γάτας σε απόσταση 3.000 ετών φωτός στον αστερισμό του Δράκοντα. (Φωτογραφία από το HST).

#### Πώς ένας αστέρας με μάζα πενταπλάσια ή δεκαπλάσια της μάζας του Ήλιου καταλήγει σε αστέρα νετρονίων;

Στους πυρήνες των αστέρων αυτών η θερμοκρασία που αναπτύσσεται μετά την «καύση» του πλίου, λόγω της βαρυτικής συστολής, είναι εξαιρετικά υψηλή. Το γεγονός αυτό ευνοεί την πραγματοποίηση θερμοπυρνικών αντιδράσεων, κατά τις οποίες ο άνθρακας μετατρέπεται τελικά σε σίδηρο.

Ο σχηματισμός σιδήρου σηματοδοτεί το τέλος της παραγωγής ενέργειας μέσω πυρνικών αντιδράσεων. Για να πραγματοποιηθούν οι πυρνικές αντιδράσεις του σιδήρου, απαιτείται και δεν παράγεται ενέργεια. Έτσι οι πυρνικές αντιδράσεις σταματούν. Η πίεση του νέφους των πλεκτρονίων δεν είναι αρκετά ισχυρή για να ανακόψει τη βαρυτική συστολή. Η βαρύτητα χωρίς ανταγωνιστή προκαλεί κατάρρευση του πυρήνα σε κλάσμα του δευτερολέπτου, με ταχύτητες που φτάνουν το 15 - 30% της ταχύτητας του φωτός. Η πυκνότητα του πυρήνα αυξάνει υπερβολικά, καθώς οι διαστάσεις του μειώνονται εκπληκτικά. Για παράδειγμα, ένας υποθετικός αστέρας με διάμετρο αντίστοιχη της Γης θα κατέληγε σε αντικείμενο διαμέτρου μόλις 50 mm.

Όταν ο πυκνότητα του πυρήνα, γίνει πολύ μεγαλύτερη από αυτή του λευκού νάνου, τα πρωτόνια και τα νετρόνια απελευθερώνονται από τους πυρήνες των ατόμων. Τα πλεκτρόνια συγχωνεύονται με τα πρωτόνια και τα μετατρέπουν σε νετρόνια. Δημιουργείται έτσι ένα αέριο νετρονίων, του οποίου η πίεση είναι ικανή να σταματήσει απότομα την κατάρρευση του πυρήνα.

Το υλικό των ανώτερων στρωμάτων του αστέρα, που συνεχίζει να καταρρέει, συγκρούεται με τον πυρήνα και

αναπηδά. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί ένα ισχυρότατο ωστικό κύμα που προκαλεί φοβερή έκρηξη, γνωστή με τον όρο έκρηξη υπερκαινοφανούς τύπου II. (Άλλου τύπου έκρηξη υπερκαινοφανούς συμβαίνει σε συστήματα διπλών αστέρων με διαφορετικούς μηχανισμούς και είναι γνωστή ως έκρηξη τύπου I).

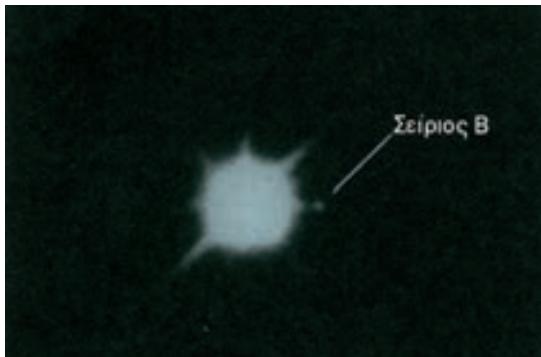
Η ενέργεια που εκλύεται κατά την έκρηξη υπερκαινοφανούς εκπέμπεται στο διάστημα με πλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και με τη μορφή νετρίνων. Μόνον η ενέργεια της Η/Μ ακτινοβολίας ισοδυναμεί με τη συνολική ενέργεια που εκπέμπει ο Ήλιος μας σε όλη τη διάρκεια της ζωής του. Η μέγιστη λαμπρότητα ενός υπερκαινοφανούς ισοδυναμεί με τη συνολική λαμπρότητα 10 δισεκατομμυρίων πλιών, ίδιων με το δικό μας Ήλιο.

Το υπόλειμμα της έκρηξης ενός αστέρα μεσαίας κατηγορίας είναι ο πυρήνας του, ο οποίος, όπως είδαμε, αποτελείται από νετρόνια. Έχει έτσι σχηματιστεί ένας αστέρας νετρονίων.

Συνήθως η μάζα ενός αστέρα νετρονίων είναι ίση με 1,5 - 2,0 πλιακές. Η διάμετρός του είναι 15 - 20 Km, δεν ξεπερνάει δηλαδή τη διάμετρο μιας μικρής πόλης!

Όταν οι αστέρες νετρονίων περιστρέφονται ονομάζονται πάλσαρς (pulsars) και εκπέμπουν περιοδικά ραδιοκύματα. Ο πρώτος pulsar παρατηρήθηκε από μια μεταπτυχιακή φοιτήτρια του Cambridge, η οποία τον Νοέμβριο του 1967 ανακάλυψε μία περίεργη περιοδική πηγή ραδιοκυμάτων. Στην αρχή φαντάστηκε ότι επρόκειτο για σήματα από εξωγήινο πολιτισμό. Σύντομα όμως ανιχνεύτηκαν τρεις ακόμα παρόμοιες ραδιοεκπομπής και έτσι έγινε φανερό ότι οι αιτίες της ραδιοεκπομπής ήταν φυσικές.

**Η πρόβλεψη της ύπαρξης και η έμμεση παρατήρηση των μελανών οπών θεωρείται ότι είναι ένα από τα πιο σύγχρονα επιτεύγματα της Κοσμολογίας. Παρ' όλα αυτά, πρώτος ο γάλλος μαθηματικός Λαπλάς το 1796 ανέφερε ότι, σύμφωνα με τη θεωρία της παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα, θα πρέπει αστέρες μεγάλης μάζας να καμπυλώνουν ισχυρά το φως και, επομένως, να μη μπορούμε να τους δούμε. Βέβαια μόνο στα πλαίσια της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Αϊνστάιν είναι δυνατή η ακριβής θεωρητική περιγραφή των αντικειμένων αυτών και των ιδιοτήτων τους.**



**Εικόνα 5.21:** Εικόνα του λευκού νάνου Σείριου Β.

ται επίσης ότι χρειάζεται το ίδιο χρονικό διάστημα, για να μετατραπεί από λευκός σε μαύρο νάνο. Όταν ο Ήλιος μας καταλήξει σε λευκό νάνο, θα έχει περίπου το μέγεθος της Γης και πυκνότητα  $10^9 \text{ Kg/m}^3$  (σημειώστε ότι η σημερινή πυκνότητα του Ήλιου είναι μόλις  $1.400 \text{ Kg/m}^3$  και της Γης  $5.500 \text{ Kg/m}^3$ !).

### B. Αστέρες νετρονίων

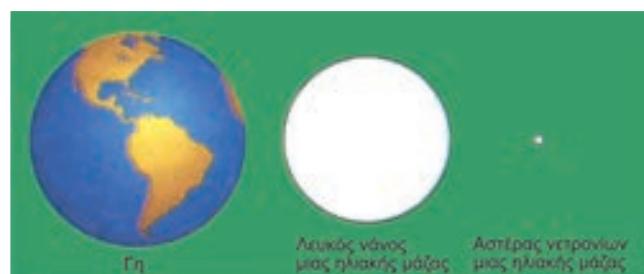
Οι αστέρες των οποίων οι μάζες κυμαίνονται από 5 έως 10 πλιακές μάζες περνούν από τη φάση του ερυθρού γίγαντα δύο φορές. Όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, αυτό γίνεται με τις διαδοχικές πυροδοτήσεις της πυρνικής καύσης του πλίου και του άνθρακα.

Μετά από μια βίαιη έκρηξη, που ονομάζεται έκρηξη υπερκαινοφανούς αστέρα, καταλήγουν σε αστέρες νετρονίων. Οι



**Εικόνα 5.22:** Ότι απέμεινε από την έκρηξη του υπερκαινοφανούς αστέρα SN1987A. Απόσταση 170.000 ε.φ.

Μάζα	1,1 πλιακές μάζες
Ακτίνα	0,008 πλιακές ακτίνες ( $5.500 \text{ Km}$ )
Φωτεινότητα	0,04 πλιακές φωτεινότητες
Θερμοκρασία επιφανείας	24.000
Μέση πυκνότητα	$3 \times 10^9 \text{ Kg/m}^3$



**Σχήμα 5.23:** Τα σχετικά μεγέθη της Γης ενός λευκού νάνου και ενός αστέρα νετρονίων μιας πλιακής μάζας.

τελευταίοι αποτελούνται κατά κύριο λόγο από νετρόνια. Έχουν εξαιρετικά μεγάλη πυκνότητα και η διάμετρός τους είναι μόλις περί τα 10 Km. Οι αστέρες νετρονίων εμφανίζουν πολύ ισχυρό βαρυτικό και μαγνητικό πεδίο.

### Γ. Μελανές οπές

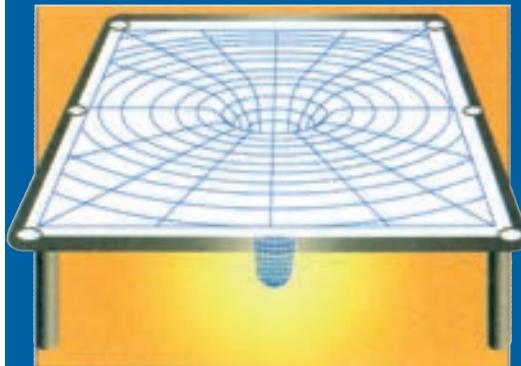
Τέλος, στους αστέρες μεγάλης μάζας -πάνω από 20 πλιακές μάζες- η πίεση του νετρονικού νέφους δεν είναι ικανή να ανακόψει τη βαρυτική κατάρρευση του πυρήνα τους. Οι αστέρες αυτοί, αφού περάσουν από το στάδιο του υπεργίγαντα, μετά την έκρηξη υπερκαινοφανούς καταλήγουν σε **μελανές οπές** ή, όπως συνήθως λέγονται, **μαύρες τρύπες**. Πρόκειται για αντικείμενα των οποίων η πυκνότητα θεωρητικά τείνει στο άπειρο και οι γνωστές υλικές δομές καταστρέφονται.

Οι μαύρες τρύπες είναι μια αινιγματική κατάσταση του χώρου και του χρόνου. Το βαρυτικό πεδίο κοντά σε αυτές είναι τόσο ισχυρό, ώστε δεν μπορεί να διαφύγει ούτε το φως. Για το λόγο αυτό οι μελανές οπές δεν είναι άμεσα ορατές (γεγονός από το οποίο προέρχεται και το όνομά τους).

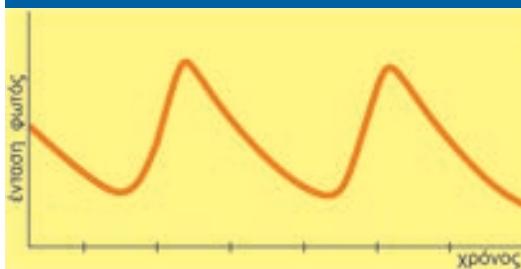
### Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ

Ένας αστέρας λοιπόν εξελίσσεται, λόγω των διαφορετικών ειδών πυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στον πυρήνα του στη διάρκεια της ζωής του. Ο καθοριστικός παράγοντας που προσδιορίζει τις μελλοντικές του καταστάσεις είναι η αρχική του μάζα και η χημική του σύσταση.

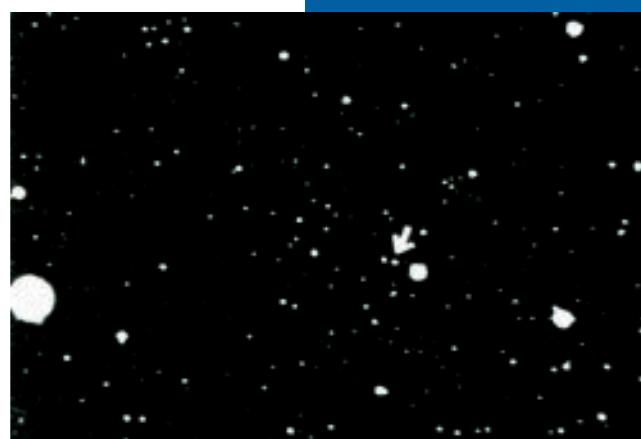
Ο θάνατος των αστέρων παίζει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στον κύκλο ζωής των γαλαξιών, αλλά και γενικότερα του Σύμπαντος, όπως θα δούμε λεπτομερέστερα στο κεφάλαιο 9.



**Σχήμα 5.24:** Σχηματική αναπαράσταση της αλλοίωσης της περιοχής γύρω από μια μαύρη τρύπα.



**Σχήμα 5.25:** Η καμπύλη της έντασης του φωτός ενός περιοδικού μεταβλητού αστέρα.



**Εικόνα 5.26:** Οι αστέρες R, S του Σκορπιού. Οι δύο αυτοί αστέρες δείχνουν αξιοσημείωτες μεταβολές φωτός. Άλλοτε χάνονται εντελώς και άλλοτε γίνονται εμφανείς. Φωτογραφίες του ίδιου αστρικού πεδίου που έχουν ληφθεί σε διαφορετικούς χρόνους.

### ΠΩΣ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕ ΤΙΣ ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ:

Ξέρουμε ότι οι μαύρες τρύπες δεν επιτρέπουν στο φως να ξεφύγει από αυτές. Ισως, εύλογα κάποιος σκεφτεί ότι δεν μπορούμε να τις ανιχνεύσουμε. Η ανίχνευσή τους είναι ωστόσο δυνατή με διάφορους έμμεσους τρόπους στις εξής περιπτώσεις:

**A) Περίπτωση που η μαύρη τρύπα αποτελεί τμήμα διπλού αστέρα:** Τότε θερμό υλικό από τον άλλο αστέρα του ζεύγους έλκεται από τη μαύρη τρύπα και απορροφάται από αυτήν. Κατά την κίνησή τους προς τη μαύρη τρύπα τα σωματίδια του υλικού αποκτούν πολύ μεγάλες επιταχύσεις, με αποτέλεσμα να εκπέμπουν ακτίνες X. Τέτοιου είδους πηγές ακτίνων X έχουν προσδιοριστεί από το δορυφόρο Uhuru ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Η πρώτη πηγή ακτίνων X που αποδείχτηκε ότι οφείλεται στο φαινόμενο που περιγράψαμε ονομάστηκε Κύκνος X-1. Η Κύκνος X-1 προέρχεται από ένα ζεύγος αστέρων που αποτελείται από μια μαύρη τρύπα και τον υπεργίγαντα HDE 226868.

**B) Περίπτωση παραπόρησης εκτροπής του φωτός, όταν διέρχεται κοντά από μια μαύρη τρύπα:** Το φαινόμενο αυτό προβλέπεται από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Καθώς οι ακτίνες του φωτός πλησιάζουν τη μαύρη τρύπα, καμπυλώνονται λόγω του ισχυρού βαρυτικού της πεδίου. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο επίγειος παραπόρητης βλέπει δύο εικόνες του αστέρα. Η μαύρη τρύπα λειτουργεί σαν ένας βαρυτικός φακός.



Εικόνα 5.27: Ο υπερκαινοφανής 1987A.

Κατά την έκρηκη των υπερκαινοφανών αστέρων τα χημικά στοιχεία που είχαν σχηματιστεί από τις θερμοπυρνικές αντιδράσεις στον πυρήνα τους εκτοξεύονται στο διάστημα. Εμπλουτίζουν με τον τρόπο αυτό τη μεσοαστρική ύλη με άτομα χημικών στοιχείων κάθε είδους. Από την εμπλουτισμένη μεσοαστρική ύλη δημιουργούνται νέοι αστέρες και πλανητικά συστήματα που έχουν πιο σύνθετη χημική σύσταση από τα παλαιότερα. Τα χημικά στοιχεία που συναντάμε σήμερα στη Γη γεννήθηκαν στον πυρήνα κάποιου αστέρα που εξερράγη πριν από δισεκατομμύρια χρόνια.

Οι νεότεροι αστέρες, στους οποίους ανήκει και ο Ήλιος, και οι οποίοι έχουν σχηματιστεί από εμπλουτισμένη με βαρύτερα στοιχεία μεσοαστρική ύλη λέμε ότι αποτελούν τον «Πληθυσμό αστέρων τύπου I». Σε αντιδιαστολή με την ομάδα αυτή οι παλαιότεροι αστέρες, που πρώτοι δημιουργήθηκαν στο Γαλαξία μας, αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από υδρογόνο και πλοιού. Η ομάδα των γηραιότερων αστέρων αποκαλείται «Πληθυσμός αστέρων τύπου II».

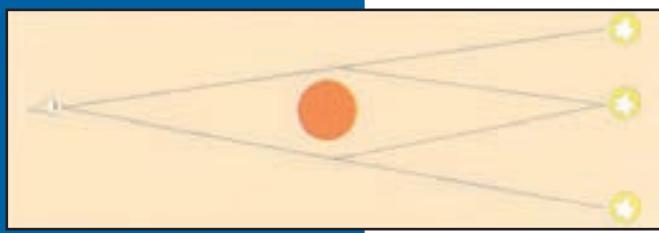
Παραπρούμε λοιπόν ότι οι δύο πληθυσμοί αστέρων διαφέρουν μεταξύ τους σε πλικία και χημική σύσταση. Απαντώνται σε διαφορετικές περιοχές του Γαλαξία.

### ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ

Όπως είδαμε, οι αστέρες κατά τη διάρκεια της ζωής τους περνούν περιόδους αργών μεταβολών, αλλά και περιόδους που χαρακτηρίζονται από γρήγορες και εντυπωσιακές μεταβολές.

Στις περιόδους πρεμίας εμφανίζονται ως κανονικοί αστέρες, ενώ στις περιόδους έντονων μεταβολών ως μεταβλητοί αστέρες.

Οι μεταβλητοί αστέρες διακρίνονται σε φυσικούς μεταβλητούς και σε εκλειπτικούς μεταβλητούς. Στους φυσικούς μεταβλητούς η μεταβολή της λαμπρότητας

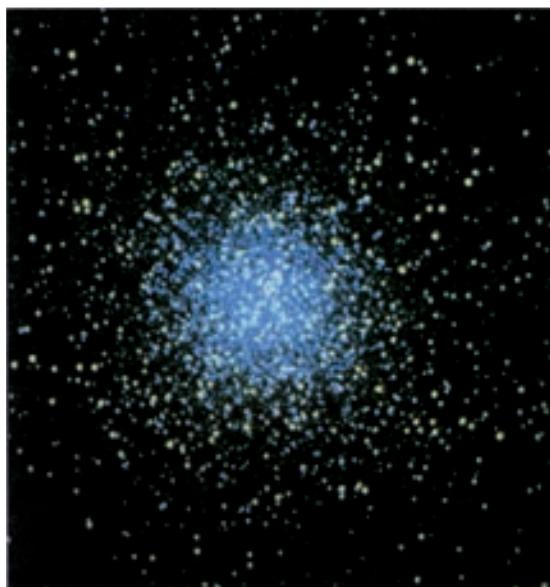


οφείλεται σε φυσικά αίτια. Στους εκλειπτικούς μεταβλητούς η παρατηρούμενη μεταβολή της λαμπρότητας οφείλεται σε φαινόμενα έκλειψης του ενός αστέρα από έναν άλλο με τον οποίο αποτελούν μαζί ένα ζεύγος αστέρων.

Οι φυσικοί μεταβλητοί διακρίνονται: α) **Σε παλλόμενους μεταβλητούς**, που η μεταβολή της λαμπρότητάς τους οφείλεται σε περιοδικές αναπάλσεις (συστολή και διαστολή) της ατμόσφαιράς τους. β) **Σε εκρηκτικούς μεταβλητούς**, που χαρακτηρίζονται από απότομες και βίαιες μεταβολές.

Οι πιο σημαντικοί μεταβλητοί αστέρες της πρώτης κατηγορίας είναι οι **Κηφείδες**, που συμπληρώνουν τη μεταβολή της λαμπρότητάς τους σε μερικές ώρες ή μέρες. Η μεταβολή αυτή δείχνει μεγάλη κανονικότητα και η περίοδος της σχετίζεται με το απόλυτο μέγεθός τους (εικ. 5.25).

Στην κατηγορία των **εκρηκτικών μεταβλητών** ανήκουν αστέρες που παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον. Τέτοιοι είναι οι **καινοφανείς αστέρες ή novae**. Οι αστέρες αυτοί, ενώ είναι πολύ αμυδροί, μέσα σε λίγες ώρες ή ημέρες γίνονται περίπου  $10^5$  φορές φωτεινότεροι, με αποτέλεσμα να φαίνονται με γυμνό μάτι ως αστέρες πρώτου μεγέθους. Πιστεύεται ότι αυτό συμβαίνει, επειδή γίνονται εκρήκεις στις επιφανειακές στιβάδες του αστέρα. Αν η φωτεινότητα τους γίνει  $10^8$  φορές μεγαλύτερη, τότε φαίνονται και την ημέρα. Αυτοί είναι οι **υπερκαινοφανείς ή supernovae**. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε έκρηξη των αστέρων και δια-



**Εικόνα 5.28:** Το σφαιρωτό σμήνος του Ηρακλή σε απόσταση 28.000 ε.φ. και με διάμετρο 200 ε.φ. Η μελέτη των σμηνών αποτελεί σημαντική πηγή ελέγχου των θεωριών της αστρικής εξέλιξης, διότι περιέχουν αστέρες ίδιας πλικίας και χημικής σύστασης, αλλά διαφορετικής μάζας.

### Η ιστορία του υπερκαινοφανούς SN1987 A

Οι πρώτοι υπερκαινοφανείς αστέρες παρατηρήθηκαν από τη Γη το 1054 και το 1572. Ήταν ένας υπερκαινοφανής στο Νεφέλωμα του Καρκίνου και ο αστέρας του Tycho Brahe, αντίστοιχα. Τα υπολείμματα των εκρήξεων αυτών είναι και σήμερα ορατά σαν διαστελλόμενα μεσοστρικά νέφη. Η έκρηξη στο νεφέλωμα του Καρκίνου έγινε 6.500 χρόνια πριν την παρατήρησή της. Δηλαδή τόσα χρόνια, όσα απαιτήθηκαν για να ταξιδέψει το φως του αστέρα μέχρι τη Γη. Ο υπερκαινοφανής αυτός ήταν τόσο λαμπρός, που ακόμα και την ημέρα ήταν ορατός.

Η παρατήρηση υπερκαινοφανών είναι ένα σπάνιο φαινόμενο για το Γαλαξία μας και τους γειτονικούς του γαλαξίες. Το 1987 παρατηρήθηκε μια τέτοιου τύπου έκρηξη στο συνοδό του δικού μας γαλαξία, το Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου, που απέχει από τη Γη 160.000 έτη φωτός. Η ανακάλυψη αυτή έγινε από τον Καναδό αστρονόμο Ian Shelton. Ο αστέρας που εξερράγη ήταν ένας ήδη γνωστός -καταγεγραμμένος- αστέρας 20 πλιακών μαζών. Μετά την έκρηξή του ονομάστηκε SN1987A. Το φαινόμενο μέγεθος του αστέρα, πριν την έκρηξή του, είχε την τιμή 12 και κατά τη διάρκεια του φαινούμενου έγινε 3, δηλαδή η φαινόμενη λαμπρότητά του αυξήθηκε κατά ένα συντελεστή 4.000!

Οι αστρονόμοι υπολόγισαν ότι θα έπρεπε να υπήρχε και σημαντική ροή νετρίνων, πριν από την παρατήρηση, προερχόμενη από την έκρηξη του αστέρα. Πραγματικά, οι ανιχνευτές νετρίνων στην Ιαπωνία και την Αμερική επιβεβαίωσαν ότι 3 ώρες πριν από την καταγραφή του φαινούμενου επισημάνθηκε ασυνήθιστα μεγάλος αριθμός νετρίνων. Τα αποτέλεσματα αυτά επιβεβαίωσαν τις θεωρίες για αυτού του τύπου τις εκρήξεις, αλλά και το γεγονός ότι τα νετρίνα κινούνται με ταχύτητα κοντά στην ταχύτητα του φωτός και εύκολα διαπερνούν τα στερεά σώματα. Η Ιαπωνία και η Αμερική βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου στο νότιο. Αυτό σημαίνει ότι τα νετρίνα ανιχνεύτηκαν, αφού προηγουμένως διαπέρασαν τη Γη!

στολή της θερμής ύλης τους. Η δεύτερη βέβαια περίπτωση αναφέρεται σε φαινόμενα ασύγκριτα μεγαλύτερης κλίμακας.

## 5.5 ΑΣΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΛΣΑΡΣ

Τι απέμεινε όμως μετά από την ισχυρή έκρηξη του SN1987A;

Γνωρίζουμε ήδη ότι, ανάλογα με τη μάζα του αρχικού αστέρα, το υπόλειμμα θα είναι είτε μία μαύρη τρύπα είτε ένας αστέρας νετρονίων.

Το δεύτερο ενδεχόμενο συνέβη και στην περίπτωση του SN1987A. Ο πυρήνας του κατάρρευσε ταχύτατα και μετατράπηκε σε αστέρα νετρονίων.

Ένας αστέρας νετρονίων διαθέτει τρία πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά:

α) Περιστρέφεται γύρω από κάποιον άξονά του. Αυτό οφείλεται στη διατήρηση της στροφορμής που είχε ο αστέρας από τον οποίο πρόκειψε.

β) Έχει ισχυρότατο μαγνητικό πεδίο.

γ) Τα πλεκτρόνια που είναι παγιδευμένα στο μαγνητικό του πεδίο εκπέμπουν ραδιοκύματα.

Έτσι ένας αστέρας νετρονίων εκπέμπει ραδιοκύματα, τα οποία, λόγω της περιστροφής του, ανιχνεύονται με τη μορφή ραδιοπαλμών. Κάθε παρόμοιου τύπου πηγή περιοδικών παλμών ακτινοβολίας ονομάζεται **πάλσαρ (pulsar)**.

Ένας επίγειος παρατηρητής που βρίσκεται στην ευθεία της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένας πάλσαρ λαμβάνει παλμούς. Η ένταση των παλμών μεταβάλλεται περιοδικά, καθώς ο πάλσαρ περιστρέφεται. Τον Οκτώβριο του 1968 η θεωρία αυτή επιβεβαιώθηκε, καθώς παρατηρήθηκε για πρώτη φορά ένας pulsar στο νεφέλωμα του Καρκίνου.

### ΑΣΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ένα αστρικό σύστημα αποτελείται από δύο ή περισσότερους αστέρες που συνδέονται μεταξύ τους με δυνάμεις βαρύτητας. Τέτοια συστήματα είναι οι διπλοί αστέρες και τα αστρικά σμήνη.

Οι διπλοί αστέρες με γυμνό μάτι ή με ένα μικρό τηλεσκόπιο φαίνονται σαν ένας αστέρας. Με μεγαλύτερο τηλεσκόπιο είναι δυνατό να διακρίνουμε και τους δύο αστέρες του συστήματος.

Ένας διπλός αστέρας μπορεί να είναι ένα καθαρά γεωμετρικό φαινόμενο, που οφείλεται στο ότι οι διευθύνσεις παρατήρησης των δύο αστέρων από τη Γη τυχαίνει να σχηματίζουν πάρα πολύ μικρή γωνία μεταξύ τους. Τότε οι δύο αστέρες προβάλλονται ο ένας πολύ κοντά στον άλλο πάνω στην ουράνια σφαίρα. Έτσι μας δημιουργείται η ψευδαίσθηση ότι η απόστασή τους είναι πολύ μικρή, ενώ στην πραγματικότητα είναι πολύ μεγάλη. Λέμε τότε ότι πρόκειται για ένα **οπτικό ζεύγος**, μία περίπτωση χωρίς ιδιαίτερη φυσική σημασία.

Αντίθετα, τα **φυσικά ζεύγη** αποτελούν ένα σύστημα δύο αστέρων που συνδέονται με αμοιβαίες ελκτικές δυνάμεις και υπακούουν στους νόμους της Μηχανικής.

Μπορούμε επίσης να έχουμε τρεις, τέσσερις ή και περισσότερους αστέρες που αποτελούνται σύστημα.

Υπάρχουν συστήματα που αποτελούνται από μερικές εκατοντάδες μέχρι και εκατομμύρια αστέρες. Αυτά γενικά ονομάζονται **αστρικά σμήνη**, τα οποία στο δικό μας τουλάχιστον Γαλαξία διακρίνονται σε **ανοιχτά** και σε **σφαιρωτά**, ανάλογα με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά.

Τα ανοιχτά σμήνη είναι χαλαρές συγκεντρώσεις αστέρων με ακανόνιστο σχήμα και ο αριθμός των αστέρων κυμαίνεται από 100-2.000 περίπου. Τα σφαιρωτά σμήνη, αντίθετα, είναι πυκνές συγκεντρώσεις αστέρων που παρουσιάζουν σφαιρική συμμετρία και περιλαμβάνουν εκατοντάδες χιλιάδες μέλη. Η συγκέντρωση των αστέρων στα σφαιρωτά σμήνη είναι τόσο μεγάλη, ώστε το κέντρο τους φαίνεται συμπαγές.

Τα σμήνη διαλύονται σταδιακά, λόγω των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων με το υπόλοιπο μέρος του γαλαξία που τα περιβάλλει.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη σμηνών που ανήκουν σε άλλους γαλαξίες. Με τη σύγκριση των χαρακτηριστικών, όπου βέβαια αυτό είναι δυνατό, βγαίνουν πολύ σημαντικά συμπεράσματα για τον τρόπο δημιουργίας των ίδιων των γαλαξιών και για τη διαδικασία της εξέλιξής τους.

Τα πιο γνωστά ανοιχτά σμήνη είναι οι Πλειάδες (Πούλια) και οι Υάδες. Από τα σφαιρωτά αναφέρουμε τα σμήνη του Ήρακλή και του Κενταύρου.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα συμπλέγματα των αστέρων που παρατηρούνται στον ουρανό σχηματίζουν συγκεκριμένα σχήματα που δημιουργούνται με τη βοήθεια της φαντασίας μας και ονομάζονται αστερισμοί.
- Η φωτεινότητα ενός αστέρα είναι η συνολική ενέργεια που εκπέμπει στη μονάδα του χρόνου. Το απόλυτο μέγεθος ενός αστέρα είναι το μέτρο της ενέργειας που φτάνει στη Γη, αν αυτός τοποθετηθεί σε απόσταση 10 pc. Άλλα φυσικά χαρακτηριστικά των αστέρων είναι η επιφανειακή τους θερμοκρασία, το χρώμα και το φάσμα τους.
- Σύμφωνα με τη μορφή του φάσματος της ακτινοβολίας τους, οι αστέρες κατατάσσονται σε διάφορους φασματικούς τύπους.
- Το διάγραμμα της αστρικής λαμπρότητας σε σχέση με τους φασματικούς τύπους (ή τη θερμοκρασία) ονομάζεται διάγραμμα H-R και είναι αυτό που έβαλε τα θεμέλια στη σύγχρονη Αστροφυσική. Στο διάγραμμα αυτό εντοπίζουμε τέσσερις περιοχές συγκέντρωσης αστέρων, την Κύρια Ακολουθία, την περιοχή των γιγάντων, των υπεργιγάντων και των λευκών νάνων. Το 90% των αστέρων ανήκει στην Κύρια Ακολουθία.
- Ένας αστέρας γεννιέται από τη βαρυτική κατάρρευση μεσοαστρικών νεφών. Όταν στο εσωτερικό των αστέρων αρχίσουν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, τότε αρχίζει η εξέλιξη τους. Με τον όρο εξέλιξη εννοούμε τις μεταβολές στις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα του αστέρα, που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλαγή των φυσικών του χαρακτηριστικών. Καθώς εξελίσσεται ο αστέρας, αλλάζει σταδιακά θέση πάνω στο διάγραμμα H-R.
- Στα τελευταία στάδια της ζωής του ένας αστέρας, ανάλογα με τη μάζα του, μετατρέπεται σε μικρό χρονικό διάστημα και με εκρηκτικό τρόπο σε λευκό νάνο, σε αστέρα νετρονίων ή σε μελανή οπή.
- Μία πολύ σημαντική κατηγορία αστέρων είναι οι μεταβλητοί, οι οποίοι υφίστανται περιοδικές ή εκρηκτικές μεταβολές στα φυσικά τους χαρακτηριστικά. Στους εκρηκτικούς μεταβλητούς ανήκουν οι καινοφανείς και οι υπερκαινοφανείς αστέρες.
- Πολλοί αστέρες σχηματίζουν ομάδες που αλληλεπιδρούν βαρυτικά. Τις ομάδες είναι τα αστρικά σμήνη, που διακρίνονται σε ανοικτά και σε σφαιρωτά. Η μελέτη των σμηνών παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για τον τρόπο δημιουργίας των γαλαξιών.

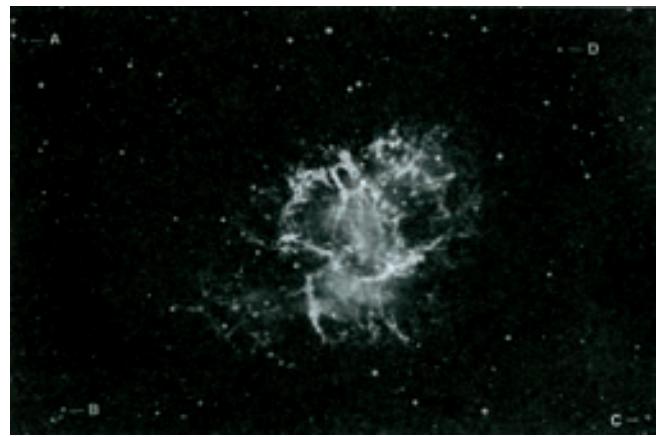
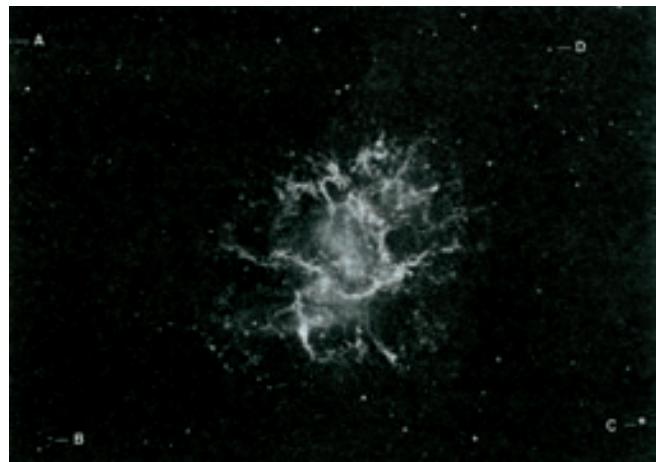
## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποια σχέση υπάρχει μεταξύ της ακτίνας, της θερμοκρασίας και της λαμπρότητας των αστέρων;
2. Τι ονομάζεται φαινόμενο και τι απόλυτο μέγεθος ενός αστέρα; Ποια σχέση υπάρχει μεταξύ τους;
3. Σχεδιάστε το διάγραμμα H-R, τοποθετώντας τις κατηγορίες αστέρων που υπάρχουν σ' αυτό.
4. Σε τι διαφέρουν τα χαρακτηριστικά των διάφορων ομάδων αστέρων στο διάγραμμα H-R;
5. Υπάρχει περίπτωση ο Ήλιος να καταλήξει σε μαύρη τρύπα;
6. Σημειώστε την πορεία εξέλιξης του Ήλιου μας στο διάγραμμα H-R.
7. Πώς επιτυγχάνεται η ισορροπία (ευστάθεια) ενός αστέρα στο μεγαλύτερο τμήμα της ζωής του;
8. Ένας αστέρας βρίσκεται σε απόσταση 32,6 ε.φ. και το φαινόμενο μέγεθός του είναι 7,5. Ποιο είναι το απόλυτο μέγεθος του αστέρα;

## ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

### 1. Το Νεφέλωμα του Καρκίνου

- Εξετάστε τις 2 φωτογραφίες του Νεφελώματος του Καρκίνου. Η πρώτη πάρθηκε το 1942, και η δεύτερη το 1976. Εντοπίστε κάποια νήματα ή συμπυκνώσεις που έχουν μετακινηθεί προς τα έξω.
- Με ακρίβεια χιλιοστού μετρήστε πόσο μετακινήθηκαν τα νήματα αυτά στο χρόνο που μεσολάβησε.
- Πόσο απέχουν αυτά από το κέντρο του Νεφελώματος;
- Υπολογίστε πόσα χρόνια χρειάστηκαν για να μετακινηθούν από τη θέση της έκρηξης του υπερκαινοφανούς στη θέση που βλέπουμε.
- Τι υπόθεση κάνατε;
- Σύμφωνα με τα δεδομένα σας, ποια χρονολογία συνέβη αυτό;



**Εικόνα 5.29:** Η πρώτη φωτογραφία πάρθηκε το 1942 και η δεύτερη το 1976

### Μέτρηση των αποστάσεων στις δύο φωτογραφίες

Για να υπολογίσετε τη γωνιακή απόσταση του νήματος από το κέντρο, πρέπει πρώτα να υπολογίσετε την κλίμακα της φωτογραφίας, δηλαδή πόσα δευτερόλεπτα τόξου αντιστοιχούν σε 1 mm στη φωτογραφική πλάκα. Αυτό μπορεί να γίνει μετρώντας την απόσταση δύο αστέρων γνωστής γωνιακής απόστασης, όπως δίνονται από τον πίνακα.

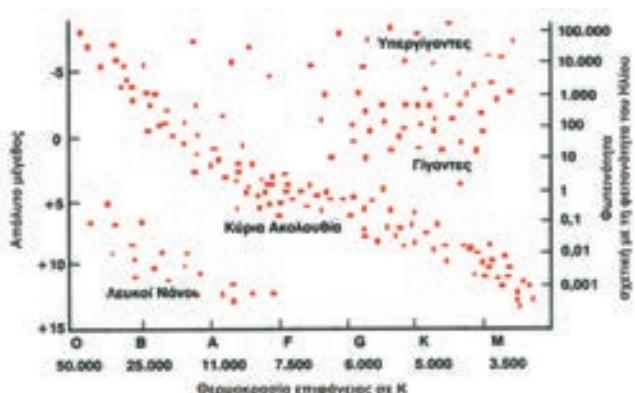
Αστέρες	Γωνιακή απόσταση σε δευτερόλεπτα μοίρας
AB	351
AC	689
AD	500
BC	596
BD	576

- Ποια είναι η κλίμακα της φωτογραφίας;
- Ποια είναι η απόσταση του νήματος από το κέντρο της έκρηξης;

### 2. Το διάγραμμα H-R

- Με βάση τα δεδομένα του πίνακα, τοποθετήστε τους αστέρες στο παρακάτω διάγραμμα H-R και βρείτε σε ποια κατηγορία ανήκουν.

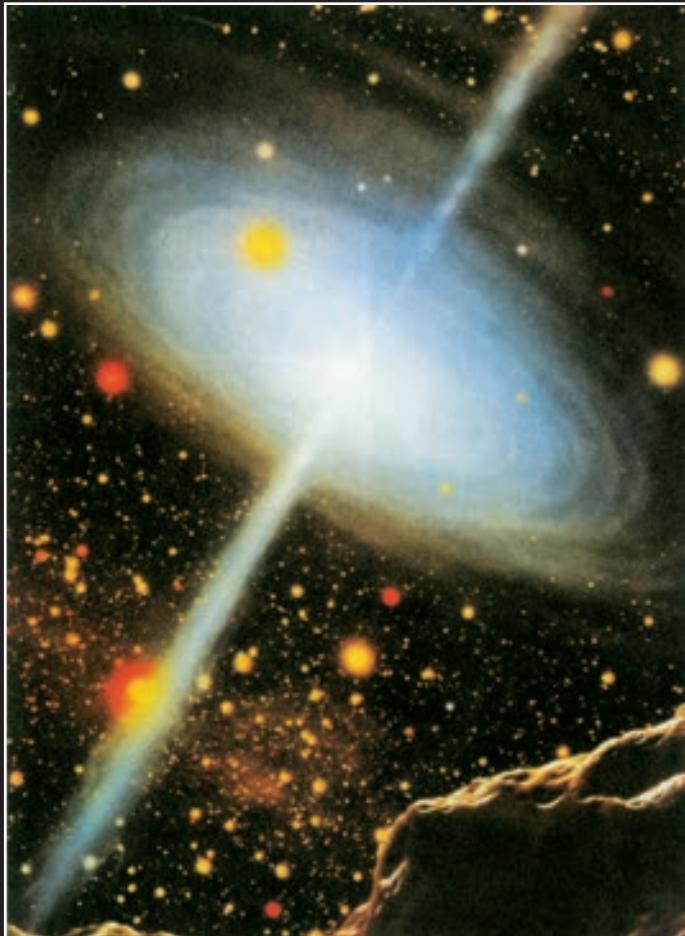
Αστέρας	Φωτεινότητα σε πλιακές μονάδες	Επιφανειακή θερμοκρασία (K)
Ηλιος	1.0	5.800
Μπετελγκέζ	20.000	3.000
Αλντεμπαράν	200	4.700
Σείριος B	0.002	20.000





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ



**Εικόνα 6.1:** Η τεράστια αυτή συγκέντρωση αστέρων, σκόνης και ακτινοβολίας είναι ένας σχηματισμός «δεμένος» με τις δυνάμεις του Σύμπαντος και ονομάζεται γαλαξίας. Σ' έναν τέτοιο γαλαξία ανήκουμε και εμείς.



Ως ταξιδευτές του διαστήματος ξεκινήσαμε από τη Γη, συναντήσαμε στο δρόμο το πλανητικό μας σύστημα και τον Ήλιο. Διεισδύσαμε στο εσωτερικό των αστέρων και ανακαλύψαμε τα μυστικά του σχηματισμού και της εξέλιξής τους.

Τώρα θα αποτολμήσουμε ένα ταξίδι ακόμα πιο βαθιά στο Σύμπαν, ένα ταξίδι στο παρελθόν. Θα περιπλανηθούμε στους τεράστιους σχηματισμούς ύλης και ακτινοβολίας, γνωστούς ως γαλαξίες, που βρίσκονται σε ασύλλοπτες αποστάσεις από μας.

Οδηγός μας θα είναι τρία βασικά ερωτήματα:

- Ποια χαρακτηριστικά έχουν οι γαλαξίες;
- Με ποιες μεθόδους παραπορύνται και μελετώνται;
- Πώς σχηματίστηκαν και πώς εξελίσσονται;

Το ταξίδι αυτό θα φτάσει στα όρια του Σύμπαντος. Στα ως τώρα γνωστά όρια. Αν έχει όρια.

«...είδωλο  
φτασμένο σαν το φως  
άστρου που χάθηκε  
πριν αιώνες»  
**Οδ. Ελύτης, MARIA  
ΝΕΦΕΛΗ**

## 6.1 Ο ΓΑΛΑΞΙΑΣ

Οι αρχαίοι λαοί προσπαθώντας να εξηγήσουν την ύπαρξη του Γαλαξία έπλασαν διάφορους μύθους.

Ο πιο χαρακτηριστικός από αυτούς, που δικαιολογεί κατά κάποιο τρόπο και την ονομασία του, είναι ο εξής: Ο Ερμής κατέφερε να εξαπατήσει την Ήρα, ώστε να θολάσει από το γάλα της ο μικρός Ηρακλής και να γίνει αθάνατος. Η Ήρα, μόλις κατάλαβε την απάτη, έσπρωξε μακριά το βρέφος και τότε το γάλα της σκόρπισε στον ουρανό και σχημάτισε το Γαλαξία.

Οι Πυθαγόρειοι ονόμαζαν το Γαλαξία «όδό των ψυχών». Ο Πίνδαρος τον ονομάζει «Πιπαράν οδόν». Άλλοι τον ονόμαζαν «Ηριδανό ποταμό», άλλοι «Γαλακτίπο κύκλο», άλλοι «Ιορδάνο ποταμό». Οι Άγγλοι τον ονόμαζαν «δρόμο του Ιακώβ».

Αν παρατηρήσουμε προσεκτικά τον ουρανό μια ασέλνην και ξάστερη νύχτα, θα δούμε μια γαλακτόχρωμη ζώνη, με ασαφή όρια, να τον διασχίζει από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά (σχ. 6.2 και εικ. 6.4).

Οι απαντήσεις στα ερωτήματα για την προέλευσή της, τα χαρακτηριστικά και τη δημιουργία της άρχισαν να δίνονται από την εποχή που ο Γαλιλαίος έστρεψε το τηλεσκόπιό του προς αυτή. Επιβεβαίωσε έτσι την άποψη του Δημόκριτου (460 - 370 π.Χ.) ότι η γαλαξιακή ζώνη, που ονομάστηκε Γαλαξίας, αποτελείται από πολλούς, πάρα πολλούς συγκεντρωμένους αστέρες.

Ο Ουίλιαμ Χέρσελ (W. Herschel) (1738-1822) ήταν ο πρώτος που ερεύνησε πραγματικά το Γαλαξία. Υποστήριξε ότι σχεδόν όλοι οι αστέρες που βλέπουμε με γυμνό μάτι ανήκουν στο Γαλαξία, μέρος του οποίου είναι και αυτή η ζώνη. Ο ίδιος μετρώντας την αστρική πυκνότητα σε διάφορες διευθύνσεις κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο Γαλαξίας μοιάζει με ένα τεράστιο δίσκο (σχ. 6.3).

Οι έρευνες για το Γαλαξία συνεχίστηκαν και μετά το Χέρσελ και εξακολουθούν να συνεχίζονται μέχρι σήμερα.

### Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ

Ο Γαλαξίας είναι μια τεράστια συγκέντρωση από αστέρες, αέρια, σκόνη και ακτινοβολία. Τα στοιχεία που συνθέτουν τη δομή του (σχ. 6.5) είναι τα εξής:

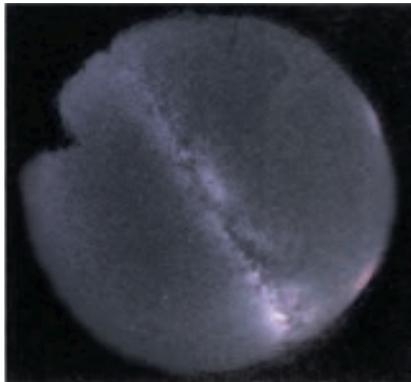
**Η κεντρική περιοχή** του Γαλαξία (ή γαλαξιακό εξόγκωμα) είναι μια ελαφρά πλατυσμένη σφαίρα με ακτίνα περίπου 12.000 ε.φ. και πάχος περίπου 10.000 ε.φ. Περιέχει σκόνη, ακτινοβολία και αστέρες.

**Ο γαλαξιακός πυρήνας** βρίσκεται στο κέντρο του γαλαξιακού εξόγκωματος. Είναι δύσκολο να παρατηρηθεί με οπτικές μεθόδους, διότι η μεσοαστρική ύλη απορροφά σε μεγάλο βαθμό την ορατή ακτινοβολία της περιοχής αυτής. Όμως, αναλύοντας την υπέρυθρη ακτινοβολία και τη ραδιοακτινοβολία που εκπέμπεται από το γαλαξιακό εξόγκωμα, οι επιστήμονες κατάφεραν να «δουν» πιο βαθιά και να παρατηρήσουν τον πυρήνα του.

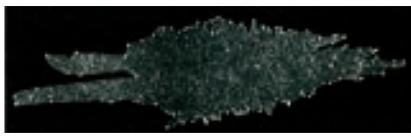
Η παρατήρηση δείχνει ότι στην περιοχή γύρω από το κέντρο του Γαλαξία η πυκνότητα των αστέρων είναι 1.000.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή που επικρατεί στην περιοχή που βρίσκεται το πλιακό μας σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι στο γαλαξιακό πυρήνα οι αποστάσεις των γειτονικών αστέρων είναι τόσο μικρές, ώστε είναι πιθανόν οι αστέρες να συγκρούονται μεταξύ τους.

Στον πυρήνα του έχουν επίσης παρατηρηθεί τεράστια σύννεφα από σκόνη και μοριακό υδρογόνο.

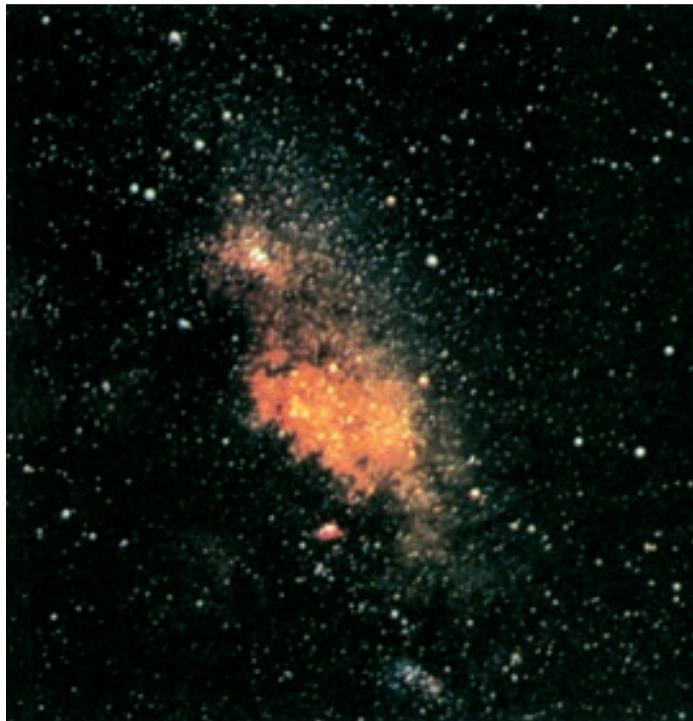
Εφαρμόζοντας τους νόμους του Κέπλερ για τις τιμές ταχύτητας και περιόδου περιφοράς των αστέρων που παρατηρούμε, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, ότι στο κέντρο του Γαλαξία πρέπει



**Σχήμα 6.2:** Η γαλακτόχρωμη ζώνη που διασχίζει τον ουρανό από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά.



**Σχήμα 6.3:** Ο Γαλαξίας μας σύμφωνα με τον Ουίλιαμ Χέρσελ. Κάπου στο κέντρο του τοποθέτησε τον Ήλιο μας.

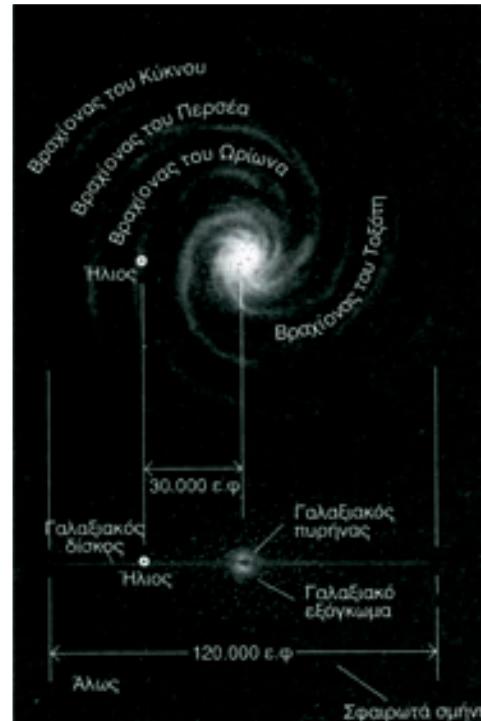


**Εικόνα 6.4:** Το κέντρο του Γαλαξία βρίσκεται στην κατεύθυνση του αστερισμού του Τοξότη.

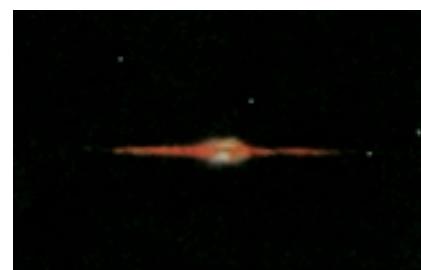
να υπάρχει μια τεράστια συγκέντρωση μάζας. Η μάζα αυτή ισοδυναμεί με περίπου 3.000.000 πλιακές μάζες. Το πιο πιθανό είναι ότι στο κέντρο του Γαλαξία υπάρχει μια τεράστια μαύρη τρύπα. Η υπόθεση αυτή εξηγεί και τα τεράστια ποσά ακτίνων X και ραδιοκυμάτων που εκπέμπονται από την ίδια περιοχή.

Ο δίσκος του Γαλαξία, στον οποίο ανήκει και το πλιακό μας σύστημα, έχει διάμετρο περίπου 120.000 έτη φωτός. Ο Ήλιος απέχει από το κέντρο του περίπου 30.000 ε.φ. Το πάχος του δεν είναι περισσότερο από 1.000 ε.φ. Η εξερεύνηση του γαλαξιακού δίσκου πέρα από τις γειτονικές μας περιοχές έγινε δυνατή με την ανάπτυξη της ραδιοαστρονομίας. Οι ραδιομελέτες έδειξαν ότι ο Γαλαξίας είναι σπειροειδούς μορφής και ότι ο Ήλιος βρίσκεται σε μια από τις σπείρες του (σχ. 6.7). Οι σπείρες είναι περιοχές με πυκνότερη ύλη και περισσότερους αστέρες. Περιέχουν νεαρούς αστέρες, νεφελώματα-πρωτοαστέρες, αστέρες φασματικού τύπου Ο και Β και ανοιχτά σμήνη αστέρων.

Η άλως είναι μια εκτεταμένη και λεπτή σφαιρική περιοχή με διάμετρο περίπου 300.000 ε.φ. Είναι το παλαιότερο τμήμα του Γαλαξία. Αποτελείται από αέρια νέφη, κυρίως ιονισμένου υδρογόνου, παλαιούς αστέρες και σφαιρωτά σμήνη αστέρων. Σήμερα οι επιστήμονες πιστεύουν ότι η άλως περιέχει και άλλα αντικείμενα, των οποίων δεν έχει εξακριβωθεί ακόμα η ταυτότητα και τα οποία ονομάζονται **σκοτεινή άλως**.



**Σχήμα 6.5:** Σχηματική αναπαράσταση του Γαλαξία όπου διακρίνονται τα διάφορα τμήματα της δομής του και οι σχετικές αποστάσεις τους από το κέντρο του μετρημένες σε έτη φωτός.



**Εικόνα 6.6:** Το γαλαξιακό εξόγκωμα του Γαλαξία μας. Η φωτογραφία πάρθηκε από το διαστημόπλοιο COBE (Cosmic Background Explorer).



**Σχήμα 6.7:** Η σπειροειδής μορφή του Γαλαξία μας.

## ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ

Όπως είδαμε, ο Γαλαξίας περιέχει αέρια, σκόνη, αστέρες και ακτινοβολία.

Οι **αστέρες**, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5, χωρίζονται σε δύο «πληθυσμούς», τους I και II. Στον πληθυσμό I ανήκουν αστέρες παρόμοιοι με τον Ήλιο και συναντώνται κυρίως στο δίσκο του Γαλαξία. Στον πληθυσμό II ανήκουν αστέρες που αποτελούνται από ελαφρότερα στοιχεία και συναντώνται στην άλω του Γαλαξία. Οι αστέρες του πληθυσμού II είναι αρχαιότεροι από τους αστέρες του πληθυσμού I. Σχηματίστηκαν στην αρχή της ιστορίας του Γαλαξία μας, περίπου  $15 \times 10^9$  χρόνια πριν.

Ανάμεσα στους αστέρες του Γαλαξία μας υπάρχει διάχυτη ύλη που ονομάζεται **μεσοαστρική ύλη**. Αυτή δημιουργήθηκε από τους αστρικούς ανέμους ή από εκρήξεις καινοφανών και υπερκαινοφανών αστέρων. Αποτελείται κυρίως από αέρια, σκόνη και νεφελώματα. Βρίσκεται συγκεντρωμένη στις σπείρες του Γαλαξία και η πυκνότητά της είναι πάρα πολύ μικρή. Όμως ο χώρος που καλύπτεται από το Γαλαξία είναι τόσο μεγάλος, ώστε τη μάζα της μεσοαστρικής ύλης στο σύνολό της να συγκρίνεται με τη μάζα του συνόλου των αστέρων του!

Τα **νεφέλωμα** (εικ. 6.9 και 6.10) είναι τεράστιες και εντυπωσιακές συγκεντρώσεις αερίου, κυρίως υδρογόνου, και σκόνης. Είναι περιοχές στις οποίες δημιουργούνται συνεχώς νέοι αστέρες. Το πρώτο νεφέλωμα ανακαλύφτηκε το 17ο αιώνα και είναι το νεφέλωμα του Ωρίωνα. Σήμερα είναι γνωστά περισσότερα από 1.000 τέτοια νεφελώματα.

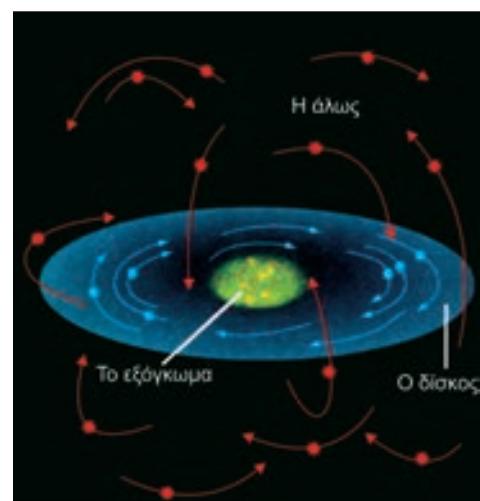
## Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΛΩΝ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ

Τα μέλη του Γαλαξία ακολουθούν διαφορετικές τροχιές, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκονται. Όπως φαίνεται και

**Σχήμα 6.11:** Οι κινήσεις των αστέρων γύρω από κέντρο του Γαλαξία μας.



**Εικόνα 6.10:** Το νεφέλωμα παρατηρείται στο Βόρειο πυμασφάριο. Ο αστέρας παρατηρείται στον οποίο πάρεται το όνομα και το νεφέλωμα είναι ένας μεταβλητός αστέρας, 150 φορές μεγαλύτερος από τον Ήλιο και 4.000.000 πιο φωτεινός. Το 19ο αιώνα ήταν το δεύτερο φωτεινότερο αντικείμενο στο Βόρειο πυμασφάριο. Σήμερα δεν είναι ορατός με γυμνό μάτι. Η τελευταία έκρηξη παρατηρήθηκε το 1841.



στο σχήμα 6.11, την πιο οργανωμένη κίνηση εμφανίζουν οι αστέρες του γαλαξιακού δίσκου. Ολόκληρος ο γαλαξιακός δίσκος περιστρέφεται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο. Στην περιοχή του Ήλιου οι ταχύτητες περιφοράς των αστέρων γύρω από το γαλαξιακό κέντρο φτάνουν τα 220 Km/s. Αυτό σημαίνει ότι μια πλήρης περιφορά τους διαρκεί 225 εκατομμύρια χρόνια. Σε άλλα σημεία του γαλαξιακού δίσκου η περίοδος αυτή διαφέρει. Είναι μεγαλύτερη σε μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτό και μικρότερη σε μικρότερες. Δηλαδή, η περιστροφή του Γαλαξία είναι διαφορική.

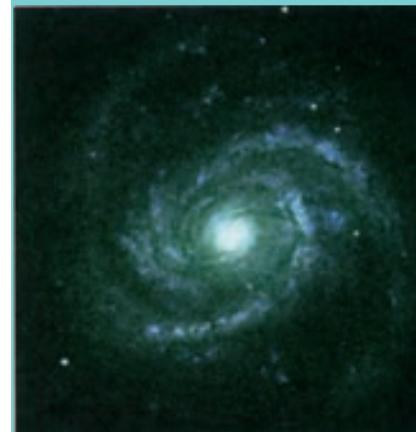
Οι αστέρες που ανήκουν στις υπόλοιπες περιοχές του Γαλαξία κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις.

## 6.2 ΕΞΩΓΑΛΑΞΙΑΚΑ ANTIKEIMENA

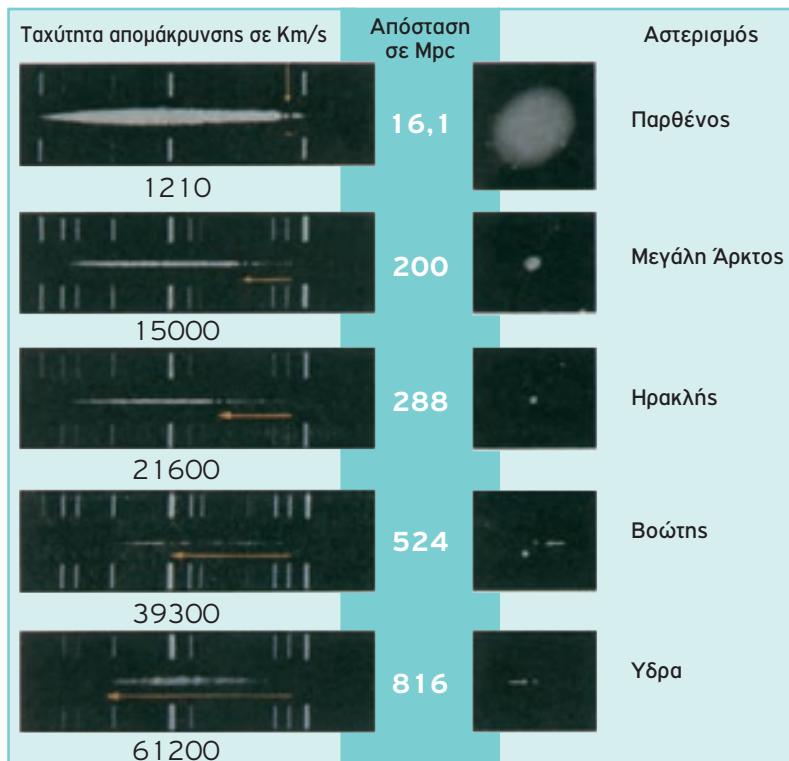
Στην αρχή του 20ού αιώνα ανακαλύφτηκε ένα πλήθος γαλαξιών παρόμοιων με το δικό μας. Η μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων των γαλαξιών, που μέχρι σήμερα έχουν ανιχνευτεί με τα σύγχρονα τεχνολογικά μέσα, είναι το αντικείμενο αυτής της παραγράφου.

### Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Η πρώτη συστηματική μελέτη και ταξινόμηση των γαλαξιών με βάση το σχήμα τους έγινε από το Χαμπλ (Hubble). Οι γαλαξίες, σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή, χωρίζονται στους ελλειπτικούς (E), στους σπειροειδείς (S και Sb) και στους ανώμαλους (I).



**Εικόνα 6.12:** Ο σπειροειδής γαλαξίας M100 στον αστερισμό της Κόμης της Βερενίκης, ο οποίος απέχει 6.000.000 ε.φ. Έχουν βρεθεί σε αυτόν 4 υπερκαινοφανείς και περίπου 20 κηφείδες.

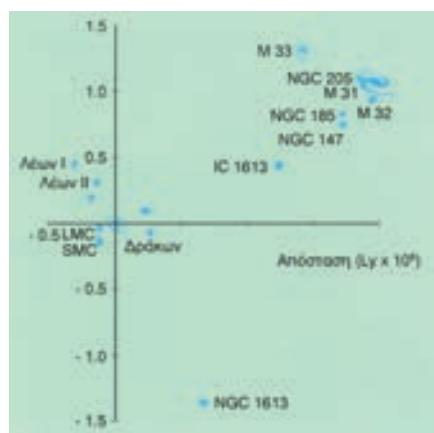


**Εικόνα 6.13:** Ο ανώμαλος γαλαξίας M82 τύπου Irr II σε απόσταση 11.000.000 ε.φ.

**Σχήμα 6.14:** Υπολογισμός των αποστάσεων των γαλαξιών με το νόμο του Χαμπλ.

	Ελλειπτικό (E)	Σπειροειδέας (S) και (SB)	Ανώμαλοι (Ir)
Χαρακτηριστικά της δομής τους	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν έχουν δίσκο.</li> <li>• Έχουν σχήμα ελλειψοειδέας που κυμαίνεται από σχεδόν σφαιρικό EO έως πολύ πλατυσμένο E7.</li> <li>• Έχουν πολύ πυκνό πυρήνα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έχουν πολύ λεπτό δίσκο από αστέρες και αέρια, σπείρες και κεντρικό εξόγκωμα.</li> <li>• Οι Sa και SBa έχουν το μεγαλύτερο εξόγκωμα και περίπου σφαιρική άλωση.</li> <li>• Οι SB έχουν κεντρική ράβδο από αστέρες και αέρια.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν έχουν συγκεκριμένη δομή.</li> </ul>
Αστέρες	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιέχουν μόνο παλαιούς αστέρες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο δίσκος περιέχει και παλαιούς και νέους αστέρες.</li> <li>• Η άλωση περιέχει μόνο παλαιούς αστέρες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιέχουν και παλαιούς και νέους αστέρες.</li> </ul>
Αέρια και σκόνη	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιέχουν πολύ λίγα ή και καθόλου.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο δίσκος περιέχει μεγάλες ποσότητες.</li> <li>• Η άλωση περιέχει μικρή ποσότητα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιέχουν άφθονη σκόνη και αέρια.</li> </ul>
Δημιουργία αστέρων	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καμιά σημαντική δημιουργία τα τελευταία 10 δισεκατομμύρια χρόνια.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αυξανόμενη δημιουργία αστέρων στις σπείρες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ζωηρή και αυξανόμενη δημιουργία αστέρων.</li> </ul>
Οι κινήσεις των μελών του γαλαξία	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τυχαίες τροχιές και στις τρεις διευθύνσεις.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τα αέρια και οι αστέρες στο δίσκο κινούνται σε τροχιές γύρω από το γαλαξιακό κέντρο.</li> <li>• Οι αστέρες στην άλωση έχουν τυχαίες τροχιές και στις τρεις διευθύνσεις.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι αστέρες και τα αέρια έχουν πολύ ανώμαλες τροχιές.</li> </ul>
Κατανομή των γαλαξιών	40% - 50%	40% - 50%	~ 5%
Διάμετρος	$30 \times 10^3 - 150 \times 10^3$ ε.φ.	$90 \times 10^3$ ε.φ.	$20 \times 10^3$ ε.φ.
Μάζα (μάζα Ηλίου = 1)	$10^5$ έως $10^{13}$	$10^{11}$	$10^6$
Λαμπρότητα (Ηλίου = 1)	$10^8 - 10^{11}$	$10^{10}$	$10^9$

Πίνακας 6.15: Τα φυσικά χαρακτηριστικά των γαλαξιών.



Σχήμα 6.16: Η κατανομή των γαλαξιών της τοπικής ομάδας. Στην αρχή των αξόνων τοποθετήθηκε ο Γαλαξίας μας.

Οι ελλειπτικοί γαλαξίες ονομάστηκαν έτσι, λόγω του ελλειπτικού σχήματος που έχει το είδωλό τους στο τηλεσκόπιο και στις φωτογραφικές πλάκες. Χωρίζονται σε οχτώ επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με τη φαινόμενη πλάτυνση, EO, E1, E2, E3, ..., E7. Ο EO έχει πλάτυνση 0, δηλαδή είναι ένας σφαιρικός γαλαξίας. Ο τύπος E7 είναι ένας ελλειπτικός γαλαξίας με τη μεγαλύτερη πλάτυνση που έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα.

Οι σπειροειδέας γαλαξίες (εικ. 6.12) χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε αυτούς που η κεντρική τους περιοχή είναι σπειροειδούς μορφής (S) και σε αυτούς που η κεντρική τους περιοχή έχει τη μορφή ράβδου, από τα άκρα της οποίας αρχίζουν οι σπειροειδείς (SB). Οι δύο κατηγορίες, αυτές χωρίζονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος και τη μορφή τους. Ο Γαλαξίας μας ανήκει στην πρώτη κατηγορία.

Οι ανώμαλοι γαλαξίες (εικ. 6.13) ονομάζονται έτσι από το ακαθόριστο σχήμα τους. Χωρίζονται και αυτοί σε δύο τύπους, τους IrI και IrII. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα δύο Νέφη του Μαγγελάνου, που παραπρούνται στο Νότιο Ήμισφαίριο.

### ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ - ΦΥΓΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ - Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ HUBBLE

Ο υπολογισμός της απόστασης ενός γαλαξία από τη Γη γίνεται με μεθόδους που συνδυάζουν ένα μεγάλο πλήθος παρατηρησιακών δεδομένων. Το τελικό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται σταδιακά, ξεκινώντας από τη μέτρηση των αποστάσεων ουράνιων αντικειμένων που βρίσκονται σχετικά κοντά στη Γη.

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των διάφορων φυσικών χαρακτηριστικών των ουράνιων σωμάτων (π.χ. φωτεινότητα, μέγεθος, φάσμα κτλ.) και των αποστάσεών τους από τη Γη, είναι δυνατό να υπολογιστούν με αρκετά καλή προσέγγιση οι αποστάσεις και των πλέον απομακρυσμένων γαλαξιών.

Tn 2n και 3n δεκαετία του 20ού αιώνα ο αστρονόμος Σλίφερ (Slipher) κατάφερε να μετρήσει με τη βοήθεια του φαινομένου Doppler τις ακτινικές ταχύτητες ως προς τη Γη περισσότερων από 40 γαλαξιών. Κατέληξε σε μια πολύ ενδιαφέρουσα ανακάλυψη: Όλοι οι μακρινοί γαλαξίες απομακρύνονται από το Γαλαξία. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε **φυγή των γαλαξιών**.

Tn ίδια εποχή ο αστρονόμος Χαμπλ (Hubble) μέτρησε τις αποστάσεις από τη Γη αρκετών από τους παραπάνω γαλαξίες και τις συσχέτισε με τις ακτινικές τους ταχύτητες. Βρήκε ότι τα δύο αυτά μεγέθη είναι ανάλογα. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ενός γαλαξία από το δικό μας τόσο γρηγορότερα απομακρύνεται απ' αυτόν. Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως νόμος του Χαμπλ και γράφεται:

$$v = H \cdot d$$

όπου **v** είναι η ταχύτητα απομάκρυνσης του γαλαξία, **d** η απόστασή του και **H** μια σταθερά, που ονομάζεται **σταθερά του Χαμπλ**. Είναι ίση με  $75 \text{ Km/sec/Mpc}$  ή  $20 \text{ Km/sec/Mly}$  ( $\text{Mly} = 10^6 \text{ e.f.}$ ). Έτσι, ένας γαλαξίας ο οποίος απομακρύνεται με ταχύτητα  $15.000 \text{ Km/sec}$  βρίσκεται σε απόσταση  $15.000 : 75 = 200 \text{ Mpc}$  ( $1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc}$ ).

### 6.3 ΟΜΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΜΗΝΗ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Από παραπρήσεις και μελέτες που έχουν γίνει κατά καιρούς έχει διαπιστωθεί ότι πολλοί γαλαξίες σχηματίζουν ομάδες. Τα μέλη των ομάδων έλκονται μεταξύ τους με βαρυτικές δυνάμεις και έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, επειδή είναι πολύ πιθανό να έχουν δημιουργηθεί την ίδια εποχή. Οι ομάδες μπορεί να είναι ολιγομελείς ή πολυμελείς, οπότε αποτελούν τα λεγόμενα σμήνη γαλαξιών.



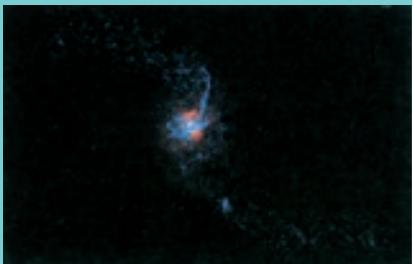
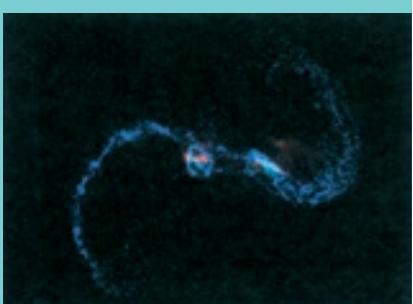
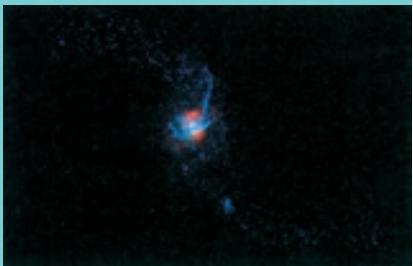
**Εικόνα 6.17:** Το σμήνος της Κόμης της Βερενίκης σε απόσταση 230 εκατ. ε.φ., με 1.000 περίπου γαλαξίες ως μέλη του και μάζα  $10^{14}$  πλιακές μάζες.



**Εικόνα 6.18:** Το τοπικό υπερσμήνος γαλαξιών.



**Εικόνα 6.19:** Ο NGC 6240. Στο κέντρο της εικόνας διακρίνονται δύο γαλαξίες που απέχουν μεταξύ τους μερικές εκατοντάδες pc. Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι οι γαλαξίες σταδιακά συγχωνεύονται.



Κοντά στο Γαλαξία υπάρχει μια ομάδα 20 γαλαξιών που απέχουν μερικές εκατοντάδες χιλιάδες pc. Είναι η **τοπική ομάδα**, η οποία καταλαμβάνει ένα χώρο σε σχήμα ελλειψοειδές, με το Γαλαξία και το γαλαξία της Ανδρομέδας (M 31) να κατέχουν τα άκρα του μεγάλου του άξονα (σχ. 6.16).

Τα πλησιέστερα στο Γαλαξία μέλη είναι τα δύο Νέφη του Μαγγελάνου που είναι ορατά μόνο από το Νότιο Ημισφαίριο.

Οι πολυπλοθείς ομάδες ονομάζονται **σμήνη γαλαξιών**. Σήμερα είναι γνωστά περισσότερα από 60, από τα οποία ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν: Το σμήνος της Παρθένου σε απόσταση 35 εκατ. ε.φ. και με περίπου 2.800 μέλη, το σμήνος της Κόμπης της Βερενίκης σε απόσταση 230 εκατ. ε.φ. και με 1.000 γαλαξίες και το σμήνος του Βόρειου Στεφάνου σε απόσταση 650 εκατ. ε.φ. και με 400 περίπου μέλη. Από τη μελέτη των σμηνών έχει παρατηρηθεί ότι μερικά από αυτά περιστρέφονται γύρω από άξονα με ταχύτητες της τάξης των 1.500 Km/sec. Η μάζα τους επίσης είναι τεράστια. Το σμήνος της Κόμπης της Βερενίκης έχει μάζα περίπου  $10^{14}$  πλιακές μάζες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μικρές ομάδες γαλαξιών. Τέτοιες είναι το τριπλό σύστημα του Γαλαξία με τα δύο Νέφη του Μαγγελάνου και το επίσης τριπλό σύστημα του γαλαξία της Ανδρομέδας M31 με τους συνοδούς του M32 και M110.

Οι αστρονόμοι πιστεύουν ότι οι διπλοί γαλαξίες ή οι μικρές ομάδες που αποτελούνται από ένα γαλαξία και τους συνοδούς του είναι ευσταθή συστήματα. Αντίθετα, πολυπλοθέστερα συστήματα είναι συνήθως ασταθή και κάποτε θα διαλυθούν.

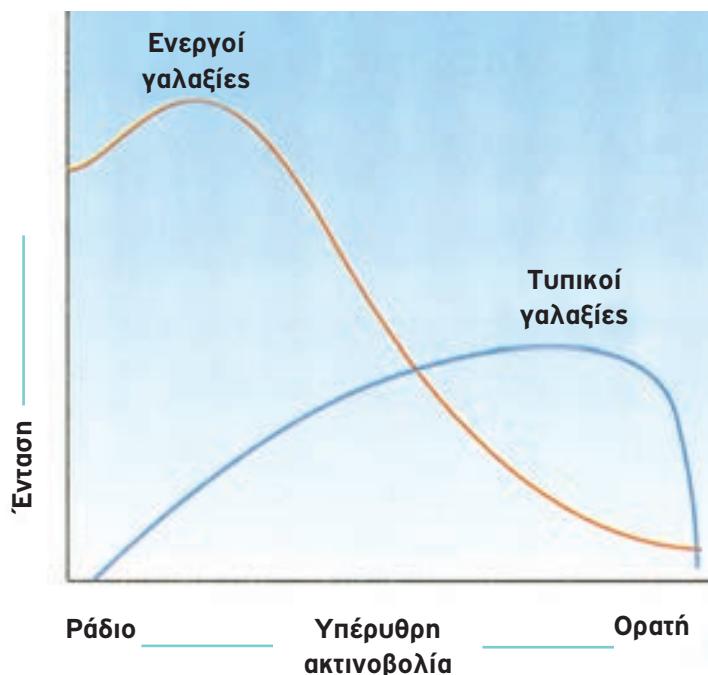
Κατ' ανάλογο τρόπο με την ύπαρξη σμηνών γαλαξιών θεωρούμε ότι και αυτά σχηματίζουν μια ομάδα σμηνών, δηλαδή ένα **σμήνος σμηνών** ή ένα **υπερσμήνος**. Το τοπικό υπερσμήνος (σχ. 6.18) έχει μάζα περίπου  $10^{15}$  πλιακές μάζες και περιέχει ένα τεράστιο αριθμό από γαλαξίες (πολλές χιλιάδες).

### Ο ΚΑΝΙΒΑΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα φαινόμενα που παρατηρούνται στις ομάδες γαλαξιών είναι οι συγχωνεύσεις και οι συγκρούσεις μεταξύ γαλαξιών. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **κανιβαλισμός των γαλαξιών**. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι το αποτέλεσμα κάθε σύγκρουσης είναι ο σχηματισμός ενός νέου γαλαξία με διαφορετικές ιδιότητες ή η απορρόφηση του ενός γαλαξία από τον άλλο. Βέβαια η σύγκρουση δύο γαλαξιών διαρκεί αρκετά εκατομμύρια χρόνια με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να παρατηρηθεί το αποτέλεσμά της με τα δικά μας γήινα μέτρα. Δηλαδή, για τα ανθρώπινα μέτρα το φαινόμενο αυτό κάθε άλλο παρά βίαιο είναι.

Με τη βοήθεια των πλεκτρονικών υπολογιστών κατασκευ-

**Σχήμα 6.20:** Αναπαράσταση με υπολογιστή του φαινομένου του κανιβαλισμού δύο γαλαξιών.



**Σχήμα 6.21:** Η μέγιστη ακτινοβολία των ενεργών γαλαξιών δεν εκπέμπεται στο ορατό μέρος, αλλά στην περιοχή της ραδιοακτινοβολίας και της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

άστικε ένα μοντέλο προσομοίωσης του φαινομένου, το οποίο αναπαριστά όλη τη διαδικασία σύγκρουσης των δύο γαλαξιών (σχ. 6.20). Οι παρατηρήσεις και οι μελέτες μέσω των μοντέλων προσομοίωσης βοήθησαν τους επιστήμονες να καταλήξουν στα παρακάτω συμπεράσματα:

(1) Το φαινόμενο παρατηρείται στο εσωτερικό των σμηνών ή των ομάδων γαλαξιών όπου οι αποστάσεις μεταξύ των μελών τους είναι σχετικά μικρές.

(2) Στην περίπτωση των μικρών ομάδων οι ταχύτητες των γαλαξιών που συγκρούονται είναι μικρές, με αποτέλεσμα οι γαλαξίες να παραμένουν ενωμένοι ή ο ένας να απορροφά τον άλλο.

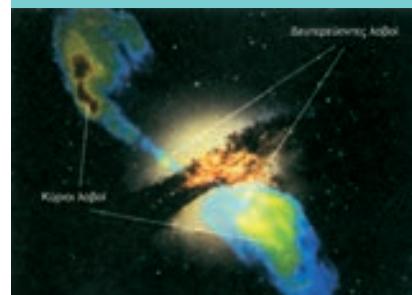
(3) Στις μεγάλες ομάδες οι γαλαξίες κινούνται ταχύτερα, με αποτέλεσμα ο ένας να γλιστρά διαμέσου του άλλου χωρίς ιδιαίτερη παρεμπόδιση. Ωστόσο, η σύγκρουση έχει μεγάλη επίδραση στην ίδια τη δομή των δύο γαλαξιών. Οι αστέρες τους και η μεσοαστρική ύλη ανακατανέμονται και πιθανόν σε μερικές περιπτώσεις να υπάρχει ξαφνική συμπύκνωση ή συνένωση ύλης με εκρηκτικά αποτελέσματα.

**Εικόνα 6.23:** Ο γαλαξίας A του Κενταύρου είναι ένας εκτεταμένος ραδιογαλαξίας σε απόσταση 10.000.000 ε.φ. Η εικόνα δείχνει φωτογραφία του στο ορατό φως. Διχοτομείται από μια εκτεταμένη ζώνη αερίων στην οποία διακρίνονται πρωτεύοντες και δευτερεύοντες λοβοί. Οι μεγάλοι λοβοί απέχουν μεταξύ τους 1.500.000 ε.φ.

Ο ραδιογαλαξίας είναι επίσης ισχυρή πηγή εκπομπής ακτίνων X. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι λοβοί αποτελούνται από υλικό που εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα από τον πυρήνα, εξαιτίας βίαιων γεγονότων τα οποία συμβαίνουν σ' αυτόν.



**Εικόνα 6.22:** Ο γιγαντιαίος ελλειπτικός ραδιογαλαξίας M87 ανήκει στο σμήνος της Παρθένου. Οι εικόνες δείχνουν τον M87 στο ορατό φως. Ένα τεράστια ποσότητα αέριο με μήκος 6.000 ε.φ. και με φωτεινότητα  $10^7$  φορές τη φωτεινότητα Ήλιου εκτινάσσεται προς τα έξω με ταχύτητα 150.000 Km/s. Ο M87 εκπέμπει επίσης ακτίνες X με ενέργεια 50 φορές μεγαλύτερη από την οπτική του εκπομπή. Ο ραδιοχάρτης του συμπίπτει με την οπτική του εικόνα και την εικόνα των ακτίνων X. Ένα σύνθετο φαινόμενο των συμπαγών ραδιογαλαξιών.



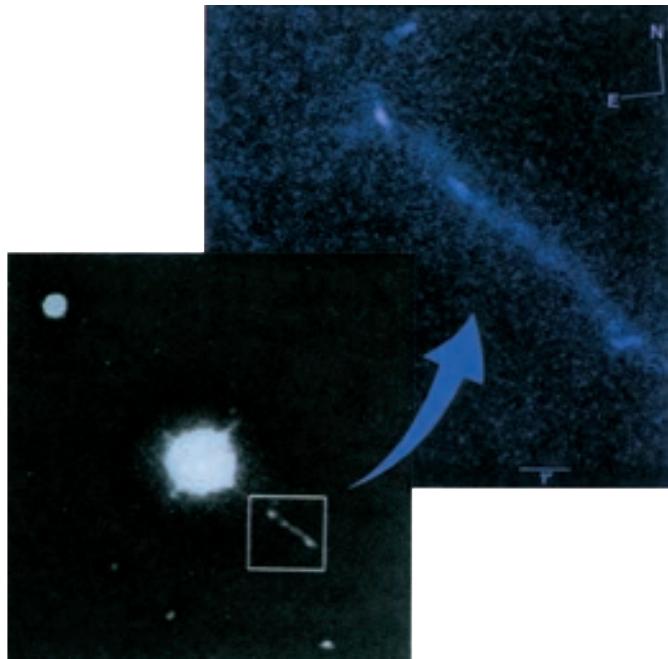
(4) Κατά τη σύγκρουση των γαλαξιών οι αστέρες τους δε συγκρούονται μεταξύ τους. Αυτό γίνεται, διότι η απόσταση μεταξύ των γαλαξιών ενός σμήνους είναι αρκετά μικρή (περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από τις διαστάσεις τους), με αποτέλεσμα να συγκρούονται, ενώ η απόσταση μεταξύ των αστέρων ενός γαλαξία είναι εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρό τους. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη σύγκρουση των γαλαξιών οι αστέρες έχουν αρκετό χώρο για να γλιτστρούν ο καθένας ανάμεσα στους άλλους.

#### 6.4 ΕΙΔΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΓΑΛΑΞΙΕΣ

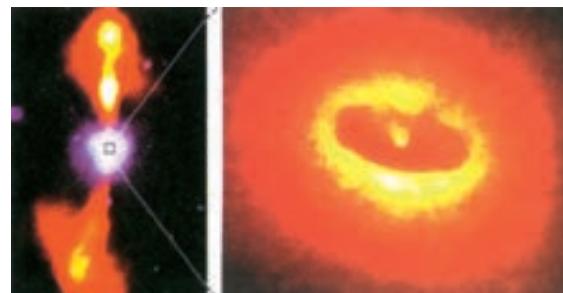


**Εικόνα 6.24:** Ο γαλαξία Seyfert Μαρκάριαν 315 με το διπλό πυρήνα, όπως φωτογραφήθηκε από το HST το 1993. Οι δύο πυρήνες απέχουν μεταξύ τους μόλις 6.000 ε.φ.

Μέχρι σήμερα έχουν αναγνωριστεί και καταγραφεί ελλειπτικοί, σπειροειδείς και ανώμαλοι γαλαξίες, που βρίσκονται σε αποστάσεις εκατοντάδων Mpc από τη Γη. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένας τυπικός γαλαξίας αντιστοιχεί στο ορατό τμήμα του φάσματος της πλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και προέρχεται από τους αστέρες του. Η ανακάλυψη των ραδιοτηλεσκοπίων, των τηλεσκοπίων ακτίνων X και των τηλεσκοπίων υπερύθρου έδωσε στους αστρονόμους τη δυνατότητα να ανακαλύψουν πηγές ακτινοβολίας που αντιστοιχούν και στο μη ορατό μέρος του πλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μερικές από αυτές τις πηγές βρέθηκαν σε τόσο μεγάλες αποστάσεις, που αφήνουν έκπληκτο κάθε παραπρητή τους. Εκπέμπουν τεράστια



**Εικόνα 6.25:** Το κβάζαρ 3C273 στο ορατό φάσμα. Ο πίδακας αερίου που εκτείνεται προς τα κάτω δεξιά έχει μήκος 3 Kpc. Μοιάζει με τον M87.



**Εικόνα 6.26:** Η αριστερή εικόνα του NGC 4261 δείχνει τον πυρήνα του και τους δύο ραδιολοβούς που εκτείνονται ευθύγραμμα με τον πυρήνα σε μια έκταση περίπου 200.000 ε.φ. Η δεξιά εικόνα δείχνει τον πυρήνα του, έναν δίσκο 400 ε.φ. ο οποίος περιβάλλει μια σκοτεινή περιοχή που πιστεύεται ότι είναι μια μαύρη τρύπα.

ποσά ενέργειας (σχ. 6.21), που σε μερικές περιπτώσεις είναι εκατοντάδες ή και χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από τη συνολική ενέργεια που εκπέμπει ο δικός μας Γαλαξίας.

Αυτές οι τεράστιες πηγές ακτινοβολίας ονομάζονται **ενεργοί γαλαξίες** και είναι τριών ειδών: Οι **ραδιογαλαξίες**, οι **γαλαξίες Seyfert** και τα **κβάζαρς** (quasars).

Μελετώντας τη δομή και τη συμπεριφορά αυτών των τόσο απομακρυσμένων και δραστήριων γαλαξιών, έχουμε τη δυνατότητα να διερευνήσουμε και να δούμε την κατάσταση του Σύμπαντος στο πολύ μακρινό παρελθόν του. Η μελέτη διευκολύνεται περισσότερο και από το γεγονός ότι μερικοί ενεργοί γαλαξίες, όπως ο M87 και ο A του Κενταύρου, είναι σχετικά κοντά μας διασκορπισμένοι ανάμεσα στους τυπικούς γαλαξίες και μπορούμε να τους παρατηρούμε στο ορατό φως.

## ΟΙ ΡΑΔΙΟΓΑΛΑΞΙΕΣ

Οι γαλαξίες αυτοί είναι ισχυρές πηγές ραδιοκυμάτων. Αποτελούν τη μεγαλύτερη τάξη ενέργειας γαλαξιών, στην οποία περιέχονται δύο ειδών ραδιογαλαξίες: Οι συμπαγείς και οι εκτεταμένοι.

a) Οι **συμπαγείς** ραδιογαλαξίες εμφανίζουν ένα μικρό πυρήνα, ο οποίος δεν υπερβαίνει το 1 pc, με έντονη εκπομπή ραδιοκυμάτων. Γύρω από αυτόν υπάρχει μια εκτεταμένη περιοχή, η άλως, που εκπέμπει ραδιοκύματα με μικρότερη ένταση.

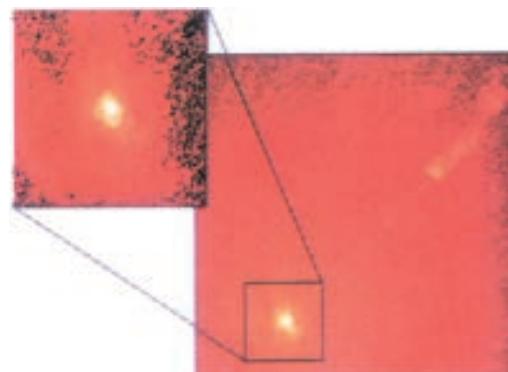
β) **Εκτεταμένοι** ραδιογαλαξίες είναι εκείνοι των οποίων η ραδιοακτινοβολία προέρχεται από μια τεράστια περιοχή. Σ' αυτή παρατηρούμε ένα ασθενή πυρήνα με δύο λοβούς.

## ΟΙ ΓΑΛΑΞΙΕΣ SEYFERT

Οι γαλαξίες αυτοί οφείλουν το όνομά τους στον Αμερικανό αστρονόμο Carl Seyfert, που τους ανακάλυψε το 1943. Από την άποψη της ενέργειας που εκπέμπουν βρίσκονται μεταξύ των τυπικών γαλαξιών και των ραδιογαλαξιών. Από το φάσμα τους διαπιστώνεται ότι και αυτοί συνήθως βρίσκονται σε τεράστιες αποστάσεις από τη Γη. Φαινομενικά μοιάζουν με τους κανονικούς σπειροειδείς. Όμως μια λεπτομερής μελέτη και καταγραφή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας δείχνει ότι διαφέρουν σημαντικά από τους κανονικούς γαλαξίες. Οι γαλαξίες Seyfert έχουν ένα εξαιρετικά μικρό και φωτεινό πυρήνα στον οποίο φαίνεται να υπάρχει βίαιη δραστηριότητα.

## ΤΑ ΚΒΑΖΑΡΣ

Η ονομασία κβάζαρ (quasar) σημαίνει ραδιοπηγή που μοιάζει με αστέρα. Από τις πρώτες ημέρες της ραδιοαστρονομίας οι ραδιοαστρονόμοι είχαν ανακαλύψει πολλές ισχυρές ραδιοπηγές, χωρίς ωστόσο να τις έχουν παρατηρήσει και οπτικά. Έτοι δεν μπορούσαν να εκτιμήσουν την απόστασή τους από τη Γη. Μόλις το 1960 κατάφεραν να δουν την πρώτη ραδιοπηγή με οπτικό τηλεσκόπιο.



**Εικόνα 6.27:** Η εικόνα δείχνει τον πυρήνα και τον πίδακα αερίου του M87. Στη μεγέθυνσή της φαίνεται μια σπειροειδής συγκέντρωση αστέρων, αερίου και σκόνης.

Με μετέπειτα μελέτες διαπιστώθηκε ότι αυτά τα τόσο παράξενα αντικείμενα δεν μπορούσαν να είναι αστέρες του Γαλαξία. Ωστόσο, η ονομασία τους παρέμεινε μέχρι και σήμερα. Η μελέτη τους παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, γιατί είναι τα πιο απομακρυσμένα αντικείμενα που έχουν παρατηρηθεί μέχρι τώρα. Το πιο κοντινό κβάζαρ απέχει 240 Mpc (782.000.000 ε.φ) και το πιο μακρινό 4.700 Mpc (15.300.000.000 ε.φ.).

Τα κβάζαρς είναι από τα πιο φωτεινά αντικείμενα που παρατηρούνται στο Σύμπαν. Κάθε κβάζαρ, παρ' όλο που σε μέγεθος είναι μικρότερο από ένα τυπικό γαλαξία, ακτινοβολεί τόση ενέργεια όση εκατοντάδες γαλαξίες μαζί. Η φωτεινότητά τους αντιστοιχεί σε 20 τρισεκατομμύρια Ήλιους ή 1.000 γαλαξίες σαν το δικό μας.

### ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Οι ενεργοί γαλαξίες εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες ακτινοβολίας, η οποία δεν προέρχεται εξ ολοκλήρου από τους αστέρες τους. Το σημαντικότερο μέρος της προέρχεται από την έντονη δραστηριότητα που παρατηρείται στους πυρήνες τους.

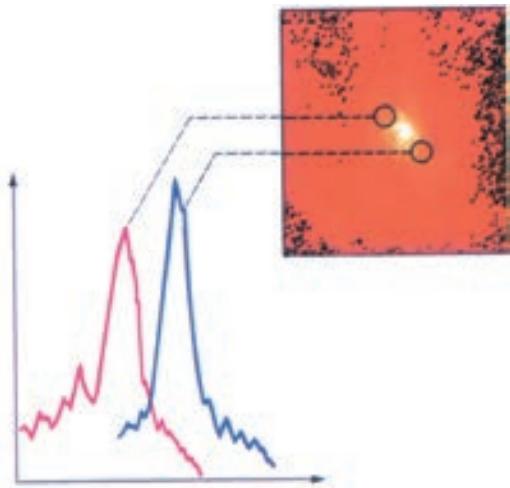
Οι ιδιότητες που ακολουθούν χαρακτηρίζουν τους ενεργούς γαλαξίες.

1. Έχουν τεράστιες φωτεινότητες, μεγαλύτερες από  $10^{37}$  W, που είναι η ποσότητα ακτινοβολίας ενός αρκετά φωτεινού τυπικού γαλαξία.
2. Η ενέργεια εκπομπής τους είναι κυρίως μη αστρική, δεν προέρχεται, δηλαδή, από τους αστέρες τους, ακόμα και αν υποτεθεί ότι αποτελούνται από τρισεκατομμύρια αστέρες.
3. Η ενέργεια που εκπέμπεται δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται και μάλιστα με μεγάλες διακυμάνσεις. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από έναν πυρήνα αρκετά μικρό, που δεν ξεπερνά σε έκταση το 1 pc.
4. Παρατηρούνται συχνά ενδείξεις εκρηκτικής δραστηριότητας στον πυρήνα τους (εμφανίσεις πιδάκων αερίων κ.ά.).
5. Παρατηρούνται συνήθως σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από τη Γη. Η ύπαρξη και η μελέτη των ενεργών γαλαξιών δημιουργεί μια σειρά από αναπάντητα ακόμα ερωτήματα:
  - Πώς μπορούν αυτές οι τεράστιες ποσότητες ενέργειας να προέρχονται από τόσο μικρές περιοχές;
  - Γιατί τόσο μεγάλη ποσότητα ενέργειας εκπέμπεται σε μεγάλα μήκη κύματος, σε ραδιοκύματα και σε υπέρυθρη ακτινοβολία;

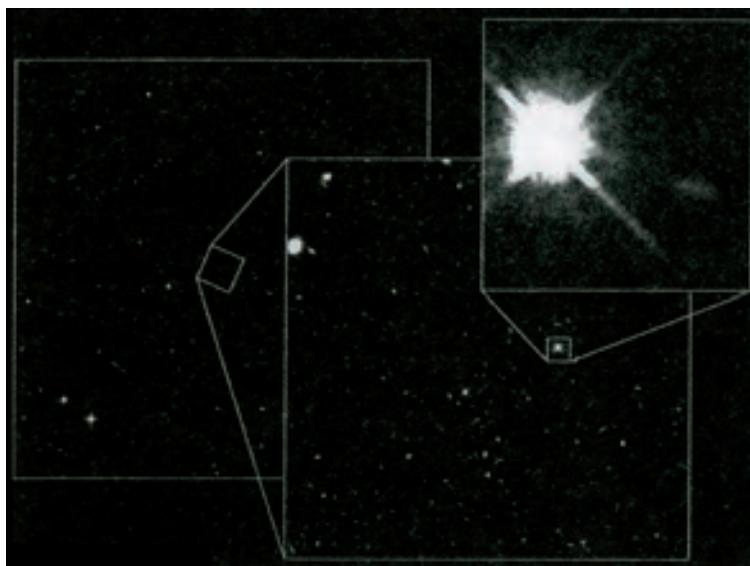
### Η ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που απασχολούν τους αστρονόμους είναι οι τεράστιες ποσότητες ενέργειας που παράγονται και εκπέμπονται από τους ενεργούς γαλαξίες με εκρηκτικό τρόπο. Για παράδειγμα, πώς παράγονται οι τεράστιοι πίδακες αέριας μάζας που εκτινάσσονται με μεγάλη ταχύτητα από τον πυρήνα του ενεργού γαλαξία M87 (εικ. 6.22);

Πρόσφατες παρατηρήσεις έδειξαν ότι αυτοί οι πίδακες εκπέ-



**Εικόνα 6.28:** Οι δύο γραφικές παραστάσεις παριστάνουν αντίθετες μετατοπίσεις του φαινομένου Doppler, που σημαίνει ότι η μία πλευρά απομακρύνεται και η άλλη πλοσιάζει σε μας. Αυτό σημαίνει επίσης ότι ο δίσκος περιστρέφεται κάθετα στον πίδακα αερίου και ότι στο κέντρο του υπάρχει μια μαύρη τρύπα με μάζα 3 δισεκατομμύρια φορές τη μάζα του Ήλιου μας.



μπουν ορατό φως, ακτίνες X και ραδιοκύματα. Μάλιστα λεπτομερείς ραδιοπαρατηρήσεις στον πίδακα του M87 έδειξαν ότι συγκεντρώσεις αερίων μαζών που προέρχονται από τον πυρήνα τροφοδοτούν συνεχώς τον πίδακα. Τέτοιου είδους παρατηρήσεις ενισχύουν την άποψη ότι κάποιο ιδιαίτερο φαινόμενο συμβαίνει στο εσωτερικό αυτών των γαλαξιών.

Η συνολική ενέργεια που εκπέμπει ένας τυπικός γαλαξίας, όπως ο δικός μας, είναι περίπου  $10^{37}$  W. Αυτή η ακτινοβολία προέρχεται από  $10^{12}$  περίπου αστέρες, αέρια καθώς και από μεσογαλαξιακή ύλη. Όμως η πολύ περισσότερη ενέργεια που εκπέμπουν οι ενεργοί γαλαξίες αποκλείεται να προέρχεται από τους αστέρες που περιέχουν.

Η έντονη εκπομπή ακτίνων X ενισχύει την άποψη ότι στο εσωτερικό τους υπάρχει ισχυρό βαρυτικό πεδίο, το οποίο οφείλεται σε μεγάλη συγκέντρωση μάζας, παρόμοια με αυτή των αστέρων νετρονίων και των μελανών οπών.

Το κύριο μοντέλο, που σήμερα είναι αποδεκτό για την παραγωγή της ενέργειας των ενεργών γαλαξιών, προβλέπει την ύπαρξη μιας τέτοιας τεράστιας μαύρης τρύπας στο κέντρο τους με μάζα από μερικά εκατομμύρια έως και ένα δισεκατομμύριο πλιακές μάζες.

Αυτή η μαύρη τρύπα είναι πηγή ισχυρότατης βαρυτικής έλξης. Τα αέρια και οι αστέρες που την περιβάλλουν πέφτουν σε αυτή και ταυτόχρονα εκλύουν πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας υπό μορφή θερμότητας και ακτινοβολίας. Η ενέργεια απορροφάται από τα σωματίδια που περιβάλλουν τη μαύρη τρύπα, με αποτέλεσμα αυτά να αποκτούν πολύ υψηλές ταχύτητες και έτσι να ακολουθούν βίαια φαινόμενα.

Οι θεωρητικές μελέτες, αλλά και τα νέα πιο σύγχρονα μέσα παραπόνσης που σχεδιάζονται, αναμένεται να φωτίσουν περισσότερο τα φαινόμενα των ενεργών γαλαξιών.

**Εικόνα 6.29:** Αριστερά. Η φωτογραφία αυτή εμφανίζει μια πολύ μικρή περιοχή του ουρανού στον αστερισμό του Γλύπτη όπου περιέχεται ένα σμήνος γαλαξιών. Το σμήνος είναι τόσο μακριά που καλύπτει μόλις το  $1/10$  του δίσκου της πανσελήνου. Τα μέλη του δεν είναι ορατά, επειδή κρύβονται από το φως των αστέρων.

Κέντρο. Το HST φωτογράφισε αυτή την περιοχή και ταυτόχρονα το πιο μακρινό σμήνος γαλαξιών στο Σύμπαν. Βρίσκεται σε απόσταση 12 δισεκατομμυρίων ε.φ. Επειδή το φως κάνει 12 δισεκατομμύρια χρόνια να φτάσει, αυτή η φωτογραφία δείχνει μια πρώιμη κατάσταση του Σύμπαντος. Είναι μόλις 2 δισεκατομμύρια χρόνια μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Το σμήνος περιέχει 14 γαλαξίες και βρίσκεται μπροστά από ένα κβάζαρ, το Q000-263.

Δεξιά. Η μεγέθυνση αυτή δείχνει έναν από τους πιο μακρινούς τυπικούς γαλαξίες που έχουν ανιχνευτεί μέχρι τώρα. Σε μια απόσταση 12 δισεκατομμυρίων ε.φ. ο γαλαξίας βρίσκεται μόλις 300 εκατομμύρια ε.φ. πιο μπροστά από το κβάζαρ και ανιχνεύτηκε, επειδή απορροφά ένα μέρος από το φως του. Το φάσμα του γαλαξία αποκαλύπτει έναν έντονο σχηματισμό αστέρων.

**Εικόνα 6.30:** Γαλαξίες, ένα φωτογραφικό σπιγμότυπο της εξέλιξής τους. Αυτή η ακολουθία των φωτογραφιών μακρινών χαρακτηριστικών γαλαξιών προσφέρει αξόπιστες πληροφορίες για την εξέλιξη των γαλαξιών στο Σύμπαν.

**Η αριστερή στήλη:** Υπάρχουν σπειροειδούς και ελλειπτικού σχήματος γαλαξίες οι οποίοι συγκροτούν τις δύο βασικές ομάδες τις οποίες μπορούμε να παρατηρούμε σήμερα

(14 δισεκατομμύρια έτη μετά από τη γέννηση του Σύμπαντος). Οι ελλειπτικοί γαλαξίες περιέχουν παλαιούς αστέρες, ενώ οι σπειροειδείς έχουν πολλούς σχηματισμούς νέων αστέρων. Και οι δύο κατηγορίες γαλαξιών βρίσκονται μερικές δεκάδες εκατομμύρια ε.φ. μακριά μας, και, συνεπώς, αντιπροσωπεύουν το σημερινό στάδιο εξέλιξης του Σύμπαντος. **Δεύτερη**

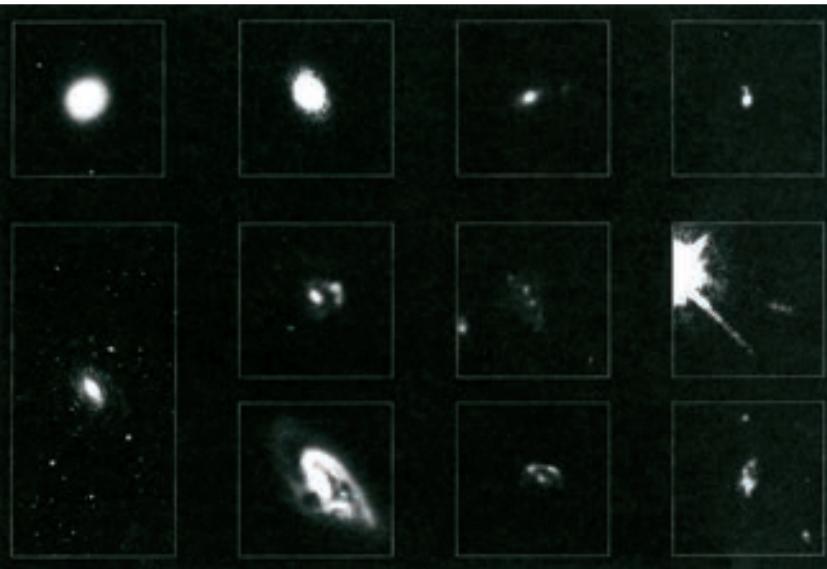
**από αριστερά στήλη:** Αυτοί οι γαλαξίες είναι μέλη πολυπλοθών σμηνών, όταν το Σύμπαν είχε περίπου τα 2/3 της σημερινής

του πλικίας. Οι ελλειπτικοί γαλαξίες εμφανίζονται πλήρως εξελιγμένοι, διότι μοιάζουν με τους σημερινούς απόγονούς τους. Σε αντίθεση, μερικοί σπειροειδείς έχουν πιο ομιχλώδη εμφάνιση με χαλαρά σχηματισμένες σπείρες. Ο πληθυσμός των σπειρών εμφανίζεται περισσότερο διαλυμένος από ό,τι σήμερα, εξαιτίας πιθανών δυναμικών επιδράσεων που οφείλονται στο πυκνό σμήνος που ανήκουν. **Τρίτη στήλη:** Η διάκριτη σπειροειδής δομή φαίνεται περισσότερο αμυδρή και διαλυμένη σε γαλαξίες που υπήρχαν, όταν το Σύμπαν είχε περίπου το 1/3 της σημερινής του πλικίας. Αυτά τα αντικείμενα δεν έχουν τη συμμετρία των σημερινών σπειροειδών. Παρατηρούνται εκρηκτικές αστρικές δραστηριότητες.

Ωστόσο, και τόσο πίσω, στην αρχή της δημιουργίας οι ελλειπτικοί γαλαξίες είναι ακόμα εύκολα αναγνωρίσιμοι. Παρ' όλα αυτά η διάκριση μεταξύ σπειροειδών και ελλειπτικών γαλαξιών είναι λιγότερο βέβαιη, καθώς η απόσταση μεγαλώνει.

**Τέταρτη στήλη:** Αυτά τα υπερβολικά απομακρυσμένα πρωταρχικά αντικείμενα υπήρχαν, όταν το Σύμπαν είχε το 1/10 της σημερινής του πλικίας. Η διάκριση μεταξύ σπειροειδών και ελλειπτικών γαλαξιών δεν υπάρχει σ' αυτή την πρώτην εποχή. Ωστόσο, το αντικείμενο στην κορυφή της στήλης έχει την εμφάνιση ενός ώριμου ελλειπτικού γαλαξία. Αυτό υπονοεί ότι οι ελλειπτικοί γαλαξίες σχηματίστηκαν πολύ νωρίς στο Σύμπαν, ενώ οι σπειροειδείς σχηματίστηκαν πολύ αργότερα.

Απόδοση: Dressler (Carnegie Institution of Washington), M. Dickinson (STScI), D. Macchetto (ESA/STScI), M. Giavalisco (STScI) και NASA.



## 6.5 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

### ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Στις προηγούμενες παραγράφους αναλύσαμε τα χαρακτηριστικά των γαλαξιών, των σμηνών γαλαξιών και των ενεργών γαλαξιών.

- Πώς όμως σχηματίστηκαν και πώς εξελίσσονται οι γαλαξίες;
- Γιατί σχηματίζουν ομάδες, σμήνη και υπερσμήνη;

Η συγκρότηση μιας θεωρίας, δηλαδή ενός μοντέλου, που να δίνει απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα, είναι εξαιρετικά δύσκολο θέμα. Και οι λόγοι είναι οι εξής:

- Οι γαλαξίες είναι πολύ πιο περίπλοκα συστήματα από ό,τι οι αστέρες. Παρατηρούνται δύσκολα και δύσκολα ερμηνεύονται τα παρατηρησιακά δεδομένα που προκύπτουν.
- Άμεσες παρατηρήσεις για το σχηματισμό των γαλαξιών δεν υπάρχουν. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι γαλαξίες σχηματίστηκαν όλοι μαζί μια συγκεκριμένη εποχή στο παρελθόν, πιθανότατα πριν 10 με 20 δισεκατομμύρια χρόνια.

Πιστεύουν ακόμα ότι οι γαλαξίες **εξελίσσονται** σταδιακά, για τους εξής λόγους:

1) Αποτελούνται από αστέρες και μεσοαστρική ύλη. Οι αστέρες, όπως ήδη γνωρίζουμε, γεννιούνται, εξελίσσονται και πεθαίνουν. Η διεργασία αυτή τροφοδοτεί τους γαλαξίες με βαρύτερα χημικά στοιχεία, και κατά συνέπεια η χημική σύστασή τους μεταβάλλεται. Η ίδια διαδικασία μεταβάλλει και τη λαμπρότητά τους.

2) Εξαιτίας της βαρυτικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των μελών του.

3) Εξαιτίας της βαρυτικής αλλοπλεπίδρασής τους με άλλους γειτονικούς γαλαξίες.

Παρ' όλο που δεν είναι δυνατό να παρατηρήσουμε άμεσα τις αλλαγές που υφίσταται ένας γαλαξίας, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την εξέλιξή του παρατηρώντας και συγκρίνοντας γαλαξίες που βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις. Όσο πιο μακριά βρίσκεται ένα ουράνιο αντικείμενο τόσο πιο μεγάλη διαδρομή κάνει η ακτινοβολία που εκπέμπει για να φτάσει σε μας.

Άρα, όσο πιο μακριά βρίσκονται τα αντικείμενα που παρατηρούμε τόσο πιο βαθιά βλέπουμε στο παρελθόν. Για παράδειγμα, όταν παρατηρούμε το γαλαξία της Ανδρομέδας, που απέχει 2,5 εκατομμύρια έτη φωτός από τη Γη, στην πραγματικότητα παρατηρούμε το γαλαξία αυτόν, όπως ήταν πριν 2,5 εκατομμύρια χρόνια.

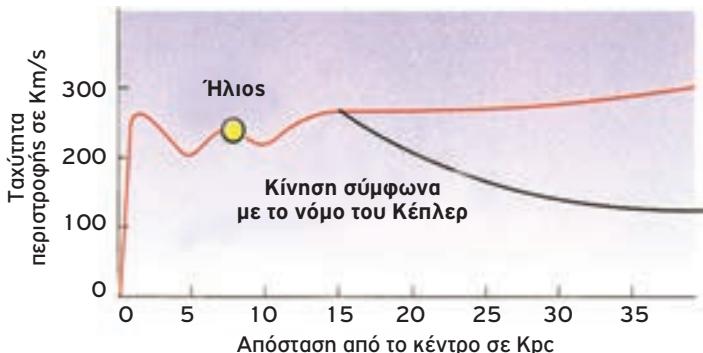
Η εικ. 6.30 δείχνει μια κατανομή γαλαξιών σε σχέση με την απόστασή τους. Τα σχόλια που την ακολουθούν δίνουν ανάγλυφα την πιθανή εξέλιξή τους.

### ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

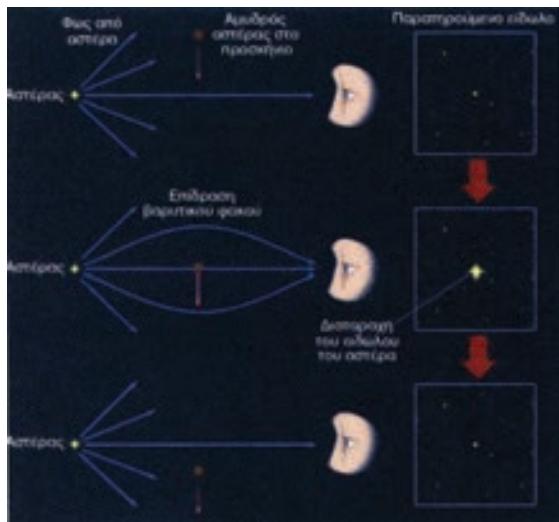
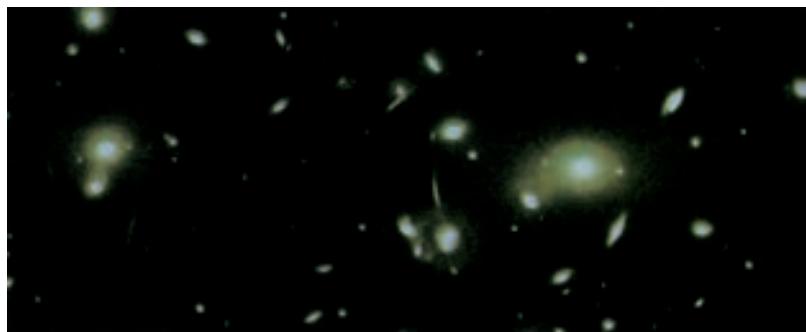
Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι γαλαξίες σχηματίστηκαν σε μια συγκεκριμένη περίοδο περίπου πριν από 10 με 20 δισεκατομμύρια έτη ή μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια έτη μετά τη γένεση του ίδιου του Σύμπαντος. Πώς όμως σχηματίστηκαν;

Οι μέχρι σήμερα παρατηρήσεις και θεωρητικές μελέτες τείνουν να διαμορφώσουν μια εικόνα αρκετά πειστική.

Σύμφωνα με το επικρατέστερο μοντέλο, αρχικά ή έλη του Σύμπαντος ήταν ομοιόμορφα διασπαρμένη. Ωστόσο, μικρές τυχαίες διαταραχές στην πυκνότητα της δημιούργησαν μικρές συγκεντρώσεις ύλης σαν φουσκάλες αερίων. Η ισχυρότερη βαρύτητα κάθε τέτοιας συγκέντρωσης ήταν η αιτία που προσέλκυσε και άλλο υλικό από τον περιβάλλοντα χώρο και έτσι συνέχισε να μεγαλώνει. Η διαδικασία της συσσώρευσης όλο και μεγαλύτερης μάζας σε οριομένες περιοχές με ταυτόχρονη αύξηση της βαρυτικής έλξης, είχε αποτέλεσμα τη δημιουργία σχηματισμών μεγάλου όγκου, τους γαλαξίες.



**Σχήμα 6.31:** Το διάγραμμα αυτό δείχνει την ταχύτητα περιστροφής των μελών του Γαλαξία και αυτή που θα έπρεπε να ήταν, σύμφωνα με τους νόμους του Κέπλερ. Η διαφορά αυτή εξηγείται μόνο αν δεχτούμε την ύπαρξη σκοτεινής ύλης στο Γαλαξία.



**Εικόνα 6.33:** Το διάγραμμα δείχνει τη διαταραχή (αναλαμπή) του ειδώλου ενός αστέρα, όταν το φως του διέρχεται από ένα βαρυτικό φακό.

**Εικόνα 6.32:** Ένας γαλαξίας που βρίσκεται μπροστά από έναν άλλο γαλαξία ή από ένα κβάζαρ προκαλεί απόκλιση στις ακτίνες φωτός *tous*. Επίσης σμήνη γαλαξιών, που περιέχουν χιλιάδες γαλαξίες και συνολικές μάζες  $10^{14} - 10^{15}$  πλιακές μάζες, κατανεμημένα μέσα σε μια ακτίνα πολλών Mpc δρουν ως βαρυτικοί φακοί και προκαλούν μεγέθυνση και παραμόρφωση των γαλαξιών και των κβάζαρς, που βρίσκονται πίσω *tous*. Το Hubble Space Telescope (HST) έχει πάρει μερικές θεαματικές φωτογραφίες βαρυτικών φακών στο σμήνος Abell 2218.

Η ύλη που παρέμεινε μεταξύ των γαλαξιών ήταν ελάχιστη. Οι μικρότερες συγκεντρώσεις ύλης εξελίχτηκαν σε μεμονωμένους γαλαξίες, ενώ οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις δημιούργησαν τα σμήνη των γαλαξιών.

Η περιστροφή και η ακτινοβολία αυτών των σχηματισμών μαζί με τη συστολή τους λόγω βαρύτητας προσδιόρισε στη συνέχεια τη μορφή και την εξέλιξή τους.

### Η ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΥΛΗ ΣΤΟ ΣΥΜΠΙΑΝ

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε ένα άλλο μεγάλο ζήτημα που σχετίζεται με τους γαλαξίες. Είναι το θέμα της **σκοτεινής ύλης** στο Σύμπιαν.

Ο υπολογισμός της μάζας της ύλης του Σύμπαντος, όπως προκύπτει από τα δεδομένα των κινήσεων των γαλαξιών, έδειξε ότι είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραπρούμενη συνολικά.

Προκειμένου οι επιστήμονες να εξηγήσουν την αντίφαση αυτή, δέχτηκαν στη δεκαετία του 1970 την ύπαρξη μη παραπρούμενης ύλης. Η ύλη αυτή μπορεί να είναι πλανήτες ή πάρα πολύ αμυδροί αστέρες διασκορπισμένοι στο διάστημα ή ακόμα και μια τεράστια μάζα από υποατομικά σωματίδια.

Είναι γνωστό ότι οι σπειροειδείς γαλαξίες, όπως ο δικός μας, περιβάλλονται από άλλων, π οποία εκτείνεται μέχρι και 50 Kpc

από το κέντρο τους. Το γεγονός αυτό απαιτεί η μάζα κάθε τέτοιου γαλαξία να είναι 3 έως 10 φορές περισσότερη απ' όση μπορεί να μετρηθεί. Το ίδιο ισχύει και για τους ελλειπτικούς γαλαξίες. Κάτι ανάλογο, αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό, ισχύει και για τα σμήνη των γαλαξιών. Δηλαδή, για να συγκρατούνται οι γαλαξίες στα σμήνη τους, πρέπει αυτά να έχουν 10 έως 100 φορές μεγαλύτερη μάζα από αυτήν που παρατηρείται. Τελικά σε ολόκληρο το Σύμπαν υπάρχει σκοτεινή ύλη, η οποία, όπως πιστεύεται, καλύπτει το 90% αυτού.

Οι επιστήμονες έχουν ένα αρκετά δύσκολο πρόβλημα να λύσουν. Πρέπει να ανακαλύψουν, δηλαδή να «παρατηρήσουν» αυτήν την αόρατη ύλη. Και δεν είναι μόνο το πρόβλημα της παρατήρησής της. Πρέπει να εξηγηθεί και η έκτασή της. Ισως στα επόμενα χρόνια καταφέρουν να τη χαρτογραφήσουν μέσω της εκπομπής ακτίνων X από θερμά αέρια ή χρησιμοποιώντας το φαινόμενο των βαρυτικών φακών. (εικ 6.32).

Στο εσωτερικό των γαλαξιακών σμηνών έχει ανιχνευθεί από διαστημικά τηλεσκόπια ακτινοβολία X, η οποία προέρχεται από αέριο υψηλής θερμοκρασίας (1.000 K) και πολύ μεγάλης μάζας.

Το αέριο αυτό είναι τόσο θερμό, που θα έπρεπε να είχε διασκορπιστεί στο εσωτερικό των σμηνών. Ωστόσο, παραμένει συγκεντρωμένο, εξαιτίας της βαρυτικής έλξης που ασκεί η σκοτεινή ύλη. Η μελέτη του αερίου θα προσδιορίσει ακριβώς τη δύναμη της βαρύτητας που το συγκρατεί και στη συνέχεια το ποσοστό της που αναλογεί στη σκοτεινή ύλη. Το τελευταίο θα δώσει και την κατανομή της σκοτεινής ύλης στο σμήνος.

Όταν το φως ενός μακρινού αντικειμένου ταξιδεύει προς εμάς, δέχεται την επίδραση της βαρύτητας οποιασδήποτε συγκεντρωμένης μάζας συναντά κατά τη διαδρομή του, όπως ακριβώς γίνεται και με τα υλικά σωματίδια. Έτσι οι φωτεινές ακτίνες εκτρέπονται από την αρχική τους πορεία, όπως εκτρέπονται, όταν περνούν μέσα από ένα φακό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «βαρυτικός φακός» και οι επιστήμονες ελπίζουν ότι θα τους βοηθήσει να ανιχνεύσουν την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης. Από τις παραφράσεις των ειδώλων των μακρινών αντικειμένων ελπίζουν να καταφέρουν να αποκαλύψουν και να χαρτογραφήσουν την αόρατη αυτή ύλη. Μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφτεί τουλάχιστον 35 τέτοιοι φακοί.

**Πώς μετράμε την ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται ένας γαλαξίας από τη Γη;**

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 5, η μέτρηση της ακτινικής ταχύτητας ενός ουράνιου σώματος ως προς τη Γη γίνεται με βάση το φαινόμενο Doppler. Σύμφωνα με αυτό, αν το μήκος κύματος λ<sub>0</sub> μιας φασματικής γραμμής του φάσματος ενός γαλαξίας βρίσκεται μετατόπισμένο κατά Δλ προς την περιοχή του ερυθρού, τότε ο γαλαξίας απομακρύνεται από τη Γη με ταχύτητα

$$V_R = (\Delta\lambda/\lambda_0) \cdot c \quad (7.3)$$

όπου **c** είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Ο αστρονόμος Slipher κατέγραψε τα φάσματα της ακτινοβολίας αρκετών γαλαξιών. Διαπίστωσε μια σημαντική μετατόπιση των φασματικών γραμμών προς το ερυθρό για όλους τους γαλαξίες που είναι εκτός της τοπικής ομάδας. Η μετατόπιση αυτή, σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler, σημαίνει ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται ταχύτατα από το Γαλαξία.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Στο παρόν κεφάλαιο μελετήσαμε τα μεγάλης κλίμακας ουράνια αντικείμενα, όπως είναι οι γαλαξίες, τα σμήνη γαλαξιών και τα υπερσμήνη γαλαξιών. Παράλληλα, αναζητώντας συνεχώς τέτοιους σχηματισμούς σε όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις, ανακαλύπτουμε ιδιότητες που μας πληροφορούν για τις απαρχές της δημιουργίας του Σύμπαντος.
- Οι γαλαξίες που μέχρι σήμερα έχουν παρατηρηθεί και μελετηθεί είναι δύο ειδών. Στην πρώτη κατηγορία, που και χρονολογικά προηγείται, ανήκουν οι τυπικοί γαλαξίες ή γαλαξίες κατά Χαμπλ, δηλαδή οι ελλει-

πτικοί, οι σπειροειδείς και οι ανώμαλοι. Κύριος εκπρόσωπος των σπειροειδών γαλαξιών μπορεί να θεωρηθεί ο «δικός μας» Γαλαξίας, ο Milky Way Galaxy, όπως ονομάζεται διεθνώς. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι ενεργοί γαλαξίες, δηλαδή οι ραδιογαλαξίες, οι γαλαξίες Seyfert και τα κβάζαρς. Χρονολογικά η ανακάλυψη τους ακολουθεί, παρ' όλο που μερικοί από αυτούς βρίσκονται διασκορπισμένοι στην ίδια απόσταση με τους τυπικούς γαλαξίες.

- Η συστηματική μελέτη του Γαλαξία έδωσε τη δυνατότητα να διαπιστώσουμε τη δομή του καθώς και τα άλλα χαρακτηριστικά του. Ο κεντρικός πυρήνας και το γαλαξιακό εξόγκωμα απαρτίζουν την κεντρική του περιοχή. Αποτελείται από αέρια, σκόνη και νεαρούς κυρίως αστέρες. Από την κεντρική περιοχή ξεκινούν οι σπείρες του, οι οποίες αποτελούνται από αέρια, σκόνη και παλαιότερους αστέρες. Πέρα από τις σπείρες εκτείνεται η άλωση του Γαλαξία που αποτελείται από μεσοαστρική ύλη, μεμονωμένους αστέρες και σμήνη αστέρων. Όλα αυτά περιστρέφονται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο με μια περιοδική κίνηση, την οποία ο Ήλιος μας ολοκληρώνει σε 250 εκατομμύρια χρόνια περίπου.
- Οι τυπικοί γαλαξίες έχουν περίπου την ίδια δομή, παρ' όλο που μορφολογικά διαφέρουν. Παρατηρήσεις και μελέτες θεωρούν τους σπειροειδείς γαλαξίες ως μια εξέλιξη των ελλειπτικών γαλαξιών και αυτούς με τη σειρά τους ως μια εξέλιξη των ενεργών γαλαξιών και ιδιαίτερα των κβάζαρς.
- Η μελέτη των ενεργών γαλαξιών αποτελεί πρόκληση για τους επιστήμονες. Η ανακάλυψη των ραδιογαλαξιών και των γαλαξιών υπέρυθρης ακτινοβολίας και ακτινοβολίας ακτίνων X έδωσε τη δυνατότητα να μελετηθούν αυτά τα πολύ απομακρυσμένα αντικείμενα.
- Η κίνηση των μελών του Γαλαξία που οφείλεται στη βαρύτητα, προϋποθέτει την ύπαρξη μιας μεγαλύτερης μάζας, που για την ώρα είναι αόρατη, της σκοτεινής ύλης.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι η δομή του Γαλαξία μας;
2. Ποια είναι η δομή και τα φυσικά χαρακτηριστικά της κεντρικής περιοχής του Γαλαξία μας;
3. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά της άλω του Γαλαξία;
4. Πώς ταξινομούνται οι γαλαξίες κατά Χαμπλ και ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά τους ανά κατηγορία;
5. Ποιος είναι ο νόμος του Χαμπλ;
6. Τι είναι τα σμήνη και τα υπερσμήνη των γαλαξιών;
7. Τι είναι ο κανιβαλισμός μεταξύ των γαλαξιών και τι ρόλο παίζει στην εξέλιξή τους;
8. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των ενεργών γαλαξιών;
9. Που οφείλονται τα εκρηκτικά φαινόμενα που παρατηρούνται στους ενεργούς γαλαξίες;
10. Γιατί τα κβάζαρς παρατηρούνται κατά κανόνα σε μακρινές αποστάσεις;
11. Τι αποδείξεις υπάρχουν για την ύπαρξη σκοτεινής ύλης στο Σύμπαν;

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Ποια είναι η ταχύτητα απομάκρυνσης ενός γαλαξία που βρίσκεται σε απόσταση 200 Mpc, αν η σταθερά του Χαμπλ Θεωροθεί ότι είναι 75 Km/s/Mpc;

Το φάσμα ενός γαλαξία τύπου Seyfert δείχνει ότι η αέρια μάζα αυτού σε απόσταση 1 pc από το κέντρο του έχει ταχύτητα περιστροφής 1.000 Km/s. Υποθέτοντας ότι η κίνηση αυτής της αέριας μάζας είναι κυκλική

$$\text{και έχοντας υπόψη τον τρίτο νόμο του Κέπλερ} \left( \frac{P^2}{A^3} = \frac{4\pi^2}{GM} \right) \text{ όπου } M$$

είναι η ολική μάζα στο εσωτερικό της περιοχής του 1 pc, A η ακτίνα και P η περίοδος περιστροφής της, G η σταθερά της παγκόσμιας έλξης και  $\pi^2 \approx 10$ , μπορείτε να υπολογίσετε τη μάζα M;

2. Οι λοβοί του ραδιογαλαξία A του Κενταύρου καλύπτουν μια απόσταση 1 Mpc; Ο ραδιογαλαξίας βρίσκεται σε απόσταση 4 Mpc από τη Γη. **Ποια είναι η γωνιακή του διάμετρος;** Μπορεί αυτή να συγκριθεί με **τη γωνιακή διάμετρο της Σελήνης**;

## ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται μερικοί γαλαξίες, οι αποστάσεις τους και οι ακτινικές ταχύτητες με τις οποίες απομακρύνονται από το Γαλαξία.

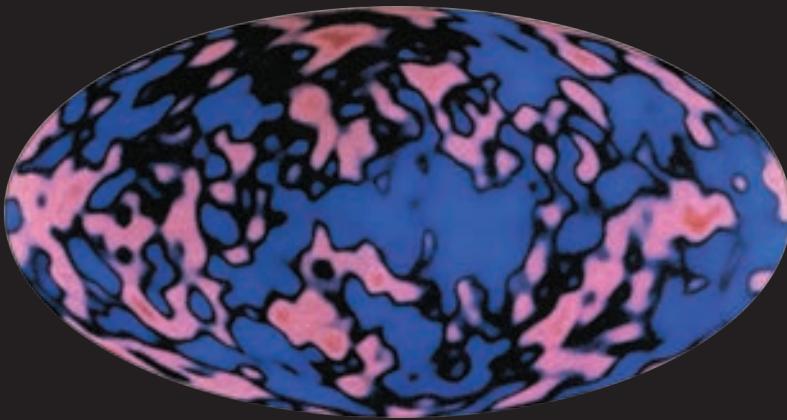
Όνομα γαλαξία NGC	Απόσταση από τη Γη σε Mly	Ταχύτητα απομάκρυνσης σε Km/s
55	10	120
4945	23	280
5055	35	570
3521	42	650
4486	72	1190

- a) Σε ένα σύστημα ορθογωνίων αξόνων, στον οριζόντιο άξονα του οποίου μετράμε αποστάσεις και στον κατακόρυφο ταχύτητες, τοποθέτησε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών του πίνακα. Σχεδίασε την ευθεία που διέρχεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στο σύνολό τους.  
 β) Με βάση το διάγραμμα που κατασκεύασες, υπολόγισε τη σταθερά του Hubble.  
 γ) Ένας γαλαξίας που απομακρύνεται με ταχύτητα 850 Km/s από το Γαλαξία, σε πόση απόσταση βρίσκεται από αυτόν;



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ



**Εικόνα 7.1:** Η εικόνα του κβάζαρ PKS 2349 που ελήφθη από το διαστημικό τηλεσκόπιο Χαμπλ.

Τα κβάζαρ είναι τα πλέον απομακρυσμένα από τη Γη αντικείμενα. Το φως τους, που φτάνει σήμερα στην Γη, έκινησε πριν από εκατοντάδες εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια χρόνια. Μας δείχνει, επομένως, εικόνες του Σύμπαντος, όπως ήταν στο πολύ μακρινό παρελθόν του. Πότε όμως και πώς γεννήθηκε η πρώτη ύλη στο Σύμπαν, αυτή από την οποία σχηματίστηκαν οι αστέρες και οι γαλαξίες; Ο χώρος, ο χρόνος και η ύλη είχαν τότε την ίδια μορφή με τη σημερινή;

«Μπορεί και μακριά πολύ μέσα στων ουρανών τ' αποκαῆδια την  
Ανδρομέδα, την Άρκτο ή την Παρθένο...  
Άραγες νά 'ναι η μοναξιά σ' όλους τους κόσμους η ίδια;»

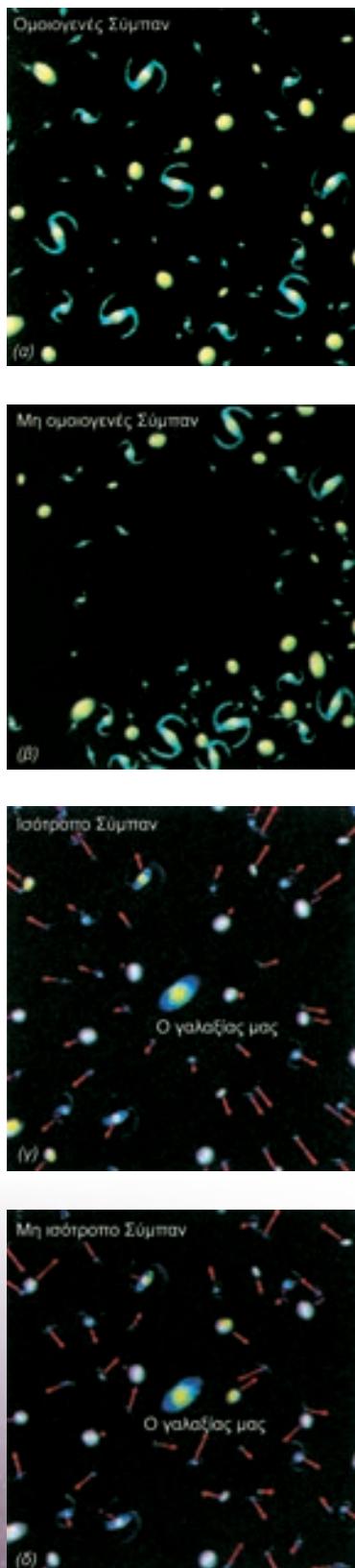
Οδ. Ελύτης, ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΝΟΣ  
ΑΘΕΑΤΟΥ ΑΠΡΙΛΙΟΥ

Στα προηγούμενα κεφάλαια μελετήσαμε τα ουράνια σώματα που παρατηρούμε στο Σύμπαν, τους πλανήτες, τους αστέρες, τους γαλαξίες κτλ. Η μελέτη μας στηρίχτηκε στη γνωστή μας πλέον επιστημονική μέθοδο που χρησιμοποιείται στην Αστρονομία: Προσπαθήσαμε να ερμηνεύσουμε τη γένεση, τη δομή και την εξέλιξη κάθε ουράνιου αντικειμένου με τη βοήθεια θεωρητικών μοντέλων που στηρίζονται στις αστρονομικές παρατηρήσεις και στους νόμους της Φυσικής.

Τώρα θα επιχειρήσουμε ένα σημαντικό και ενδιαφέρον τελικό βήμα. Θα δούμε πώς διαμορφώνεται ένα μοντέλο που φιλοδοξεί να εξηγήσει τη δομή και την εξέλιξη ολόκληρου του Σύμπαντος. Κάθε τέτοια προσπάθεια στοχεύει να απαντήσει σε ερωτήματα που ανέκαθεν απασχόλησαν, όχι μόνο την Αστρονομία, αλλά και τη Φιλοσοφία, τις αρχαίες θρησκείες και τις μυθολογίες όλων των λαών:

- Πώς και γιατί δημιουργήθηκε το Σύμπαν;
- Πώς μεταβάλλεται και ποιο είναι το μέλλον του;

Ο τομέας της Αστρονομίας που ασχολείται με την επιστημονική έρευνα της γένεσης, της δομής και της εξέλιξης του Σύμπαντος ονομάζεται **Κοσμολογία**. Τα παρατηρησιακά δεδομένα της Κοσμολογίας αφορούν το σύνολο του Σύμπαντος σχετίζονται, δηλαδή, με φαινόμενα που έχουν παγκόσμιο χαρακτήρα. Οι κοσμολόγοι προσπαθούν να συνθέσουν την Ιστορία του Σύμπαντος στηριζόμενοι σε λίγα φαινόμενα κοσμολογικής σημασίας και στις γενικότερες θεωρίες της Φυσικής.



**Εικόνα 7.2:** α) Ομοιογενές Σύμπαν. β) Μη ομοιογενές Σύμπαν. γ) Ισότροπο Σύμπαν. δ) Μη ισότροπο Σύμπαν.

## 7.1 ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Η σύνθεση των κοσμολογικών μοντέλων στηρίζεται σε τρεις βασικές υποθέσεις, που είναι γνωστές με τον ενιαίο όρο «**κοσμολογική αρχή**»: Στην παγκοσμιότητα των φυσικών νόμων, στην ομοιογένεια και στην ισοτροπία του Σύμπαντος.

Αν και υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις για την ορθότητά τους, οι υποθέσεις αυτές δεν είναι δυνατό να αποδειχτούν. Θεωρούνται λοιπόν πρωταρχικά αληθινές, εφόσον δε διαψεύδονται άμεσα ή έμμεσα από τα νεότερα παρατηρησιακά δεδομένα.

### Η ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΝΟΜΩΝ

Το σύνολο των αντικειμένων από τα οποία συνίσταται το Σύμπαν μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες: α) Σε αυτά που αντιλαμβανόμαστε άμεσα με τις αισθήσεις μας. Για παράδειγμα, καθετί που χρησιμοποιούμε ή μας περιστοιχίζει στην καθημερινή μας ζωή· ο Ήλιος, η Σελήνη, οι αστέρες που βλέπουμε με γυμνό μάτι ή τηλεσκόπιο ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία. β) Στα αντικείμενα των οποίων την ύπαρξη ανιχνεύουμε έμμεσα, με τη βοήθεια επιστημονικών οργάνων και των νόμων της Φυσικής. Τέτοια είναι, για παράδειγμα, τα άτομα, τα μόρια, τα στοιχειώδη σωματίδια, οι μελανές οπές, αστέρες και γαλαξίες που δεν μπορούμε να δούμε με οπτικά τηλεσκόπια κ.ά.

Οι μεταβολές και αλληλεπιδράσεις όλων αυτών των συμβάντων περιγράφονται από τους φυσικούς νόμους. Οι φυσικοί νόμοι ωστόσο ανακαλύφθηκαν από τον άνθρωπο με βάση πειράματα και παρατηρήσεις, που έγιναν μέσα στην ανθρώπινη ιστορία και πάνω στον πλανήτη Γη. Γεννιέται, επομένως, ένα ερώτημα:

«Οι φυσικοί νόμοι έχουν άραγε παγκόσμιο κύρος; Ισχύουν παντού στο Σύμπαν, σε κάθε τόπο και χρόνο;»

Αν και δεν είναι δυνατόν να αποδείξει κανείς την αλήθεια του ισχυρισμού αυτού ή του αντιθέτου, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις που τον υποστηρίζουν. Ας δούμε δύο παραδείγματα:

- Η φασματική ανάλυση των ακτινοβολιών που εκπέμπουν και οι πιο μακρινοί γαλαξίες δείχνει ότι και αυτοί αποτελούνται από τα ίδια στοιχεία με αυτά που γνωρίζουμε στην Γη.
- Οι κινήσεις των αστέρων και των γαλαξιών που έχουν μελετηθεί υπακούουν στους νόμους της Μηχανικής. Δηλαδή, στους ίδιους νόμους με τους οποίους περιγράφονται οι κινήσεις των πλανητών και των άλλων μελών του πλιακού μας συστήματος ή μιας πέτρας που εκφενδονίζουμε στον αέρα.

Δεχόμαστε λοιπόν την παγκοσμιότητα των φυσικών νόμων ως πρώτη βασική υπόθεση που είμαστε υποχρεωμένοι να κάνουμε, για να θεμελιώσουμε οποιοδήποτε κοσμολογικό μοντέλο.

Ωστε :

Υποθέτουμε ότι οι φυσικοί νόμοι έχουν παγκόσμια ισχύ. Εφαρμόζονται οι ίδιοι αναλλοίωτοι νόμοι σε κάθε περιοχή του Σύμπαντος και σε κάθε χρονικό διάστημα, στο παρελθόν ή στο μέλλον.

## ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΕΙΝΑΙ ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΙΣΟΤΡΟΠΟ

Γνωρίσαμε σε προηγούμενες ενότητες ότι οι πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερες στους αστέρες και στους γαλαξίες, παρά στο μεσοαστρικό και μεσογαλαξιακό χώρο αντίστοιχα. Αν όμως υπολογίσουμε τις μέσες πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας πολύ μεγάλων περιοχών του Σύμπαντος, διαπιστώνουμε ότι οι τιμές τους είναι σταθερές και ανεξάρτητες από την απόσταση που μας χωρίζει από τις περιοχές αυτές.

Η μέτρηση του αριθμού των σμηνών των γαλαξιών έδειξε ότι η κατανομή τους είναι σχεδόν σταθερή σε συνάρτηση με την απόστασή τους από τη Γη. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες παρατηρήσεις, φαίνεται ότι το Σύμπαν παρουσιάζει σημαντική ομοιογένεια σε αποστάσεις τουλάχιστον 1.000 Κpc.

Οδηγούμαστε στην υπόθεση ότι **η κατανομή της ύλης και της ενέργειας στο Σύμπαν είναι ομοιογενής**. Δηλαδή, δε μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την απόσταση από έναν επίγειο ή οποιοδήποτε ισοδύναμο παρατηρητή<sup>1</sup>.

Οι μέσες πυκνότητες της ύλης και της ακτινοβολίας φαίνεται ότι δε μεταβάλλονται ούτε σε συνάρτηση με την κατεύθυνση στην οποία βρίσκεται η περιοχή του Σύμπαντος σε σχέση με τον παρατηρητή. Υποθέτουμε λοιπόν ότι **το Σύμπαν είναι ισότροπο**: **Η ύλη και η ακτινοβολία κατανέμονται ομοιόμορφα προς κάθε κατεύθυνση**.

Όπως η υπόθεση της ομοιογένειας, έτσι και αυτή της ισοτροπίας στηρίζεται σε ενδείξεις που προκύπτουν από τις αστρονομικές παρατηρήσεις:

- Σε οποιαδήποτε κατεύθυνση του χώρου ο αριθμός των γαλαξιών ανά μονάδα συμπαντικού χώρου που μπορούμε να μετρήσουμε είναι περίπου ο ίδιος.

- Μετρήσεις της έντασης της ακτινοβολίας μικροκυμάτων και των ακτίνων X έδειξαν ότι είναι ανεξάρτητη από τον προσανατολισμό του συλλέκτη της ακτινοβολίας.

Η υπόθεση της ομοιογένειας και της ισοτροπίας του Σύμπαντος μπορεί να αποδοθεί με την ακόλουθη πρόταση:

**Οι φυσικές ιδιότητες του Σύμπαντος, πέρα από τοπικές ανομοιομορφίες, είναι οι ίδιες προς κάθε κατεύθυνση και ανεξάρτητες από τη θέση του παρατηρητή** (εικόνα 7.2).

<sup>1</sup> Ακριβέστερα: «... από έναν παρατηρητή που είναι ακίντος σχετικά με το κέντρο της ύλης της περιοχής του, π.χ. του γαλαξία στον οποίο βρίσκεται». Ένας τέτοιος παρατηρητής ονομάζεται **Θεμελιώδης**.

## 7.2 Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ HUBBLE ΚΑΙ Η ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ. Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Στην προηγούμενη παράγραφο διατυπώσαμε τις υποθέσεις από τις οποίες ξεκινάει η κατασκευή ενός κοσμολογικού μοντέλου. Στην παρούσα θα εκθέσουμε δύο από τα πλέον σημαντικά για την Κοσμολογία δεδομένα των αστρονομικών παρατηρήσεων. Πρόκειται για το **νόμο του Hubble** και την **ακτινοβολία υποβάθρου**. Και τα δύο αφορούν συνολικές ιδιότητες του Σύμπαντος και όχι κάποιων επιμέρους στοιχείων του. Επομένως, κάθε θεωρία για το Σύμπαν οφείλει να τα προβλέπει και να δίνει την ερμηνεία τους.



**Εικόνα 7.3:** Η κεραία κερατοειδούς σχήματος, με την οποία οι Penzias και Wilson ανακάλυψαν το 1965 την ακτινοβολία υποβάθρου.

### Η ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ ΧΑΜΠΛ ΚΑΙ Η ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Στο κεφάλαιο 6 γνωρίσαμε το νόμο του Χαμπλ: Οι πλέον μακρινοί γαλαξίες απομακρύνονται από το Γαλαξία με ακτινικές ταχύτητες που είναι ανάλογες των αποστάσεών τους από αυτόν:

$$\mathbf{u} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{d}$$

όπου  $\mathbf{u}$ : είναι το μέτρο της ακτινικής ταχύτητας με την οποία απομακρύνεται ένας γαλαξίας από το Γαλαξία σε Km/s,  $\mathbf{d}$  είναι η απόστασή του από το Γαλαξία σε Mly ( $1\text{Mly}=10^6$  έτη φωτός) και  $\mathbf{H}$  είναι η **σταθερά του Hubble**, της οποίας μια αποδεκτή τιμή είναι  $20\text{ Km/s/Mly}$ .

Πώς ερμηνεύται ο νόμος του Hubble και ποια είναι η σημασία του;

Με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι ο Γαλαξίας έχει μια ιδιαίτερη θέση στο Σύμπαν, σαν να βρίσκεται στο κέντρο του και όλοι οι άλλοι γαλαξίες να απομακρύνονται ακτινικά από αυτόν. Ωστόσο, η ερμηνεία αυτή έρχεται σε αντίθεση με την αρχή της ομοιογένειας του Σύμπαντος (βλ. παράγραφο 7.1.), σύμφωνα με την οποία όλες οι θέσεις παρατήρησης στο χώρο είναι ισοδύναμες.

Αν ο νόμος του Hubble είναι συμβατός με την αρχή της ομοιογένειας, τότε πρέπει να ισχύει και για έναν παρατηρητή που βρίσκεται σε έναν οποιονδήποτε άλλο γαλαξία. Ο παρατηρητής αυτός πρέπει να βλέπει όλους τους άλλους γαλαξίες να απομακρύνονται από αυτόν με τον ίδιο τρόπο που εμείς τους βλέπουμε να απομακρύνονται από το δικό μας. Πώς όμως αυτό είναι δυνατό;

Για να το καταλάβουμε, ας φανταστούμε ένα σφαιρικό μπαλόνι, στην επιφάνεια του οποίου έχουμε σχεδιάσει με ένα στυλό στίγματα (βλ. και σχετική δραστηριότητα στο τέλος του κεφαλαίου).

Αν αρχίσουμε να το φουσκώνουμε, παρατηρούμε ότι τα στίγματα απομακρύνονται μεταξύ τους.

Από οποιοδήποτε στίγμα και αν κάνουμε την παρατήρηση, βλέπουμε ότι όλα τα υπόλοιπα απομακρύνονται από αυτό. Επιπλέον, όσο πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους είναι δύο στίγματα τόσο περισσότερο αυξάνεται η απόσταση που τα χωρίζει καθώς φουσκώνουμε το μπαλόνι.

Στο σημείο αυτό δεν είναι δύσκολο να προβούμε σε μια πολύ σημαντική διαπίστωση:

**Τα στίγματα δεν κινούνται πάνω στην επιφάνεια του μπαλονιού.** Η σχετική τους απομάκρυνση οφείλεται στη διαστολή της ίδιας της επιφάνειας πάνω στην οποία βρίσκονται.

Ένα ελάχιστο βήμα μας χωρίζει πλέον από την ερμηνεία του φαινομένου της φυγής των γαλαξιών και του νόμου του Hubble. Αρκεί να κάνουμε στο μυαλό μας τις σωστές αντιστοιχίεις και συγκρίσεις μεταξύ του απλού πειράματος που περιγράψαμε και των πραγματικών φαινομένων. Η σημαντικότερη ίσως διαφορά τους βρίσκεται στο ότι η επιφάνεια του μπαλονιού έχει δύο διαστάσεις, ενώ ο πραγματικός χώρος τρεις. Καταλήγουμε λοιπόν στο ακόλουθο συμπέρασμα:

**Η φυγή των γαλαξιών και ο νόμος του Hubble ερμηνεύονται στα πλαίσια της αρχής της ομοιογένειας του Σύμπαντος, αν δεκτούμε ότι ολόκληρο το Σύμπαν διαστέλλεται ομοιόμορφα<sup>1</sup>.**

Ωστε, η προσπάθεια ερμηνείας του νόμου του Hubble μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Το φαινόμενο αυτό αφορά ολόκληρο το Σύμπαν και όχι κάποιο τμήμα του.

Η διαστολή του Σύμπαντος έχει, επομένως, κοσμολογικό χαρακτήρα, αποτελεί μια θεμελιώδη προϋπόθεση που πρέπει να ικανοποιείται από οποιοδήποτε θεωρητικό μοντέλο αναφέρεται σ' αυτό.

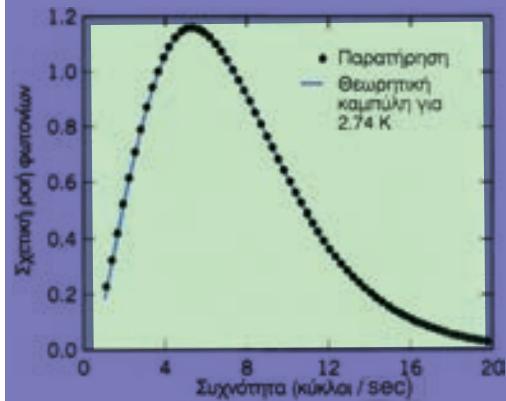
## Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Το Σύμπαν διαστέλλεται. Οι αποστάσεις μεταξύ των γαλαξιών αυξάνονται διαρκώς. Ας ακολουθήσουμε τώρα αντίστροφα την πορεία του χρόνου και ας φανταστούμε την εικόνα του Σύμπαντος σ' ένα πάρα πολύ μακρινό παρελθόν. Τότε, που οι αποστάσεις μεταξύ των υλικών σωμάτων ήταν ασφυκτικά μικρές, η συγκέντρωση της ύλης εξαιρετικά μεγάλη και οι βαρυτικές έλξεις, λόγω της υψηλής πυκνότητας, ήταν πολύ ισχυρές. Για να πραγματοποιηθεί η διαστολή του Σύμπαντος, έπρεπε να εξουδετερωθεί η προκαλούμενη από τη βαρύτητα τάση για συστολή. Αυτό όμως θα ήταν εφικτό μόνον αν τα σωματίδια της ύλης κινούνταν με πολύ μεγάλες ταχύτητες.

Επομένως, την εποχή αυτή το Σύμπαν θα πρέπει να ήταν υπερβολικά πυκνό και θερμό<sup>2</sup> και η ύλη να βρισκόταν σε κατάσταση πλήρους ιονισμού.

<sup>1</sup> Έκτος από την αμοιβαία τους απομάκρυνση, που οφείλεται στη διαστολή του Σύμπαντος, οι γαλαξίες κάνουν βέβαια και άλλες κινήσεις. Η αιτία των κινήσεων αυτών είναι οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

<sup>2</sup> Υπενθυμίζεται ότι η απόλυτη θερμοκρασία ενός σώματος είναι ανάλογη προς τη μέση κινητική ενέργεια των δομικών του σωματιδίων. Όταν οι ταχύτητές τους έχουν μεγάλες τιμές, είναι μεγάλη και η μέση κινητική τους ενέργεια, άρα και η θερμοκρασία του σώματος.



**Σχήμα 7.4:** Το φάσμα της ακτινοβολίας υποβάθρου, όπως μετρήθηκε από το δορυφόρο COBE. Παρατηρήστε τη σύμπτωση των δεδομένων των μετρήσεων και της θεωρητικής καμπύλης.

Γνωρίζουμε όμως ότι ένα πολύ πυκνό και θερμό σώμα εκπέμπει ακτινοβολία συνεχούς φάσματος (βλ. παράγραφο 2.2. -ακτινοβολία του μελανού σώματος). Όσο ποι υψηλή είναι η θερμοκρασία του, τόσο περισσότερο μετατοπισμένο προς μικρότερα μήκη κύματος είναι το φάσμα της ακτινοβολίας του. Αν υποθέσουμε ότι ζούσαμε την εποχή αυτή, ο ουρανός δε θα φαινόταν μαύρος τη «νύχτα». Θα βλέπαμε φως λαμπρότερο από το πλιακό, προερχόμενο όχι από συγκεκριμένη πηγή, να διαχέεται ομοιόμορφα σε όλον το χώρο!

Τι απέγινε η ακτινοβολία αυτή; Έχει απομείνει κάποιο ίχνος της που να μπορούμε να παρατηρήσουμε σήμερα και να επιβεβαιώνει τις υποθέσεις μας;

Οι φυσικοί Gamow, Alpher και Herman πρόβλεψαν ήδη από τη δεκαετία του 1940 ότι, καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται, ψύχεται. Επομένως, και το φάσμα της ακτινοβολίας αυτής θα πρέπει να μετατοπίζεται συνεχώς προς μεγαλύτερα μήκη κύματος. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σήμερα ολόκληρος ο χώρος πρέπει να διαχέεται ομοιόμορφα από μια ακτινοβολία μελανού σώματος θερμοκρασίας περίπου 5 K. Το φάσμα της βρίσκεται στην περιοχή των μικροκυμάτων.

Η επιβεβαίωση ήρθε το 1965 από τους φυσικούς Penzias και Wilson. Με την κεραία που κατασκεύασαν (εικ. 7.3) ανακάλυψαν μια ακτινοβολία που έρχεται με την ίδια ένταση από κάθε κατεύθυνση του χώρου. Βρήκαν ότι έχει τη μέγιστη ένταση της σε μήκος κύματος 7,35 cm και αντιστοιχεί σε ακτινοβολία μελανού σώματος θερμοκρασίας 3,5 K (-269,5 C).

Η ακτινοβολία αυτή ονομάστηκε **ακτινοβολία υποβάθρου** και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ομοιογένεια και ισοτροπία. Το γεγονός αυτό ενισχύει σημαντικά τις υποθέσεις της ομοιογένειας και της ισοτροπίας του Σύμπαντος και συμβιβάζεται απόλυτα με την ιδέα της ομοιόμορφης διαστολής του.

Είδαμε σε προηγούμενα κεφάλαια ότι η ατμόσφαιρα της Γης προκαλεί σοβαρά προβλήματα στη μελέτη των ακτινοβολιών που έρχονται από το διάστημα. Για το λόγο αυτό, η λεπτομερής μελέτη της ακτινοβολίας υποβάθρου έγινε από το δορυφόρο COBE (Cosmic Background Explorer). Η μελέτη αυτή έδειξε ότι το φάσμα της ακτινοβολίας υποβάθρου είναι ίδιο με το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει μελανό σώμα θερμοκρασίας 2,7 K (σχ. 7.4).

### 7.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ (BIG BANG)

Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης με όλες τις σύγχρονες παραλλαγές και βελτιώσεις της είναι η πλέον αποδεκτή εκδοχή της Ιστορίας του Σύμπαντος σήμερα.

Παρά τα αναπάντητα προβλήματα που υπάρχουν ακόμα, το μοντέλο αυτό εξηγεί πολύ ικανοποιητικά σχεδόν το σύνολο των παραπροσιακών δεδομένων που υπάρχουν μέχρι στιγμής: Το

**ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ ΥΛΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:** Αν ένα σώμα μάζας  $m$  μετατραπεί με οποιαδήποτε διαδικασία πυρηνικών αντιδράσεων εξ' ολοκλήρου σε ακτινοβολία, τότε η ενέργεια ( $E$ ) που ελευθερώνεται είναι:  

$$E = m \cdot c^2$$
 όπου  $c$  ο ταχύτητα του φωτός στο κενό.

**ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΑΝΤΙΥΛΗΣ:** Είναι στοιχειώδη σωματίδια που έχουν την ίδια μάζα με τα αντίστοιχα σωματίδια της Ήλιου, αλλά οι τιμές των υπολοίπων φυσικών μεγεθών που τα χαρακτηρίζουν είναι αντίθετες.  
 Έτσι π.χ.:  
 Το αντιπρωτόνιο είναι το αντισωματίδιο του πρωτονίου. Έχει ίδια μάζα με αυτό και αρνητικό φορτίο ίσος απόλυτης τιμής με το φορτίο του πρωτονίου.  
 Το ποζιτρόνιο είναι το αντισωματίδιο του πλεκτρονίου. Έχουν ίσες μάζες και αντίθετα φορτία.

νόμο του Hubble, την ακτινοβολία υποβάθρου, τον τρόπο σύνθεσης των ελαφρών στοιχείων (H, He, Li κ.ά.), τη μεταβολή της πυκνότητας των γαλαξιών σε συνάρτηση με το χρόνο κτλ.

Η κατασκευή του μοντέλου στηρίζεται στις γενικότερες θεωρίες της Φυσικής. Η σχέση χώρου, χρόνου και ύλης απορρέουν από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Η συμπεριφορά της ύλης στις διαδοχικές φάσεις της ζωής του Σύμπαντος προβλέπεται από τη Κβαντική Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων.

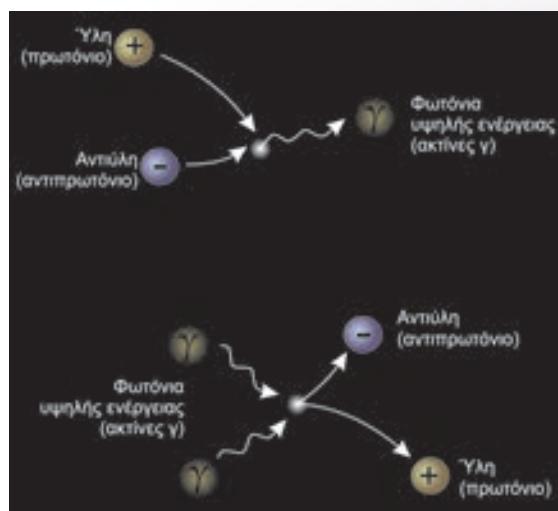
### ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ-ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΟΥ

Με δεδομένα τη διαστολή του Σύμπαντος και την ακτινοβολία υποβάθρου, στην παράγραφο 7.2 καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι όσο πιο πίσω στο παρελθόν κοιτάζουμε τόσο πυκνότερο και θερμότερο ήταν το Σύμπαν. Οδηγούμαστε λοιπόν στην υπόθεση ότι το Σύμπαν, δηλαδή ο χώρος, ο χρόνος, η ύλη και η ακτινοβολία, δημιουργήθηκαν με μια μεγάλη έκρηξη σε μια συγκεκριμένη στιγμή στο παρελθόν. Από τη στιγμή αυτή της δημιουργίας του χρόνου ( $t=0$ ) ξεκίνησε και η διαστολή του Σύμπαντος. Υπολογίστηκε ότι αυτό συνέβη πριν από 10 έως 20 δισεκατομμύρια χρόνια.

Η Μεγάλη Έκρηξη από την οποία γεννήθηκε το Σύμπαν είναι ένα φαινόμενο, του οποίου δεν υπάρχει ανάλογο στον κόσμο που ζούμε. Ο νους μας δεν μπορεί να το κατανοήσει στηριζόμενος στην εμπειρία του. Είναι, επομένως, απαραίτητες ορισμένες διευκρινίσεις:

a) Δεν πρέπει να φανταζόμαστε ότι η Μεγάλη Έκρηξη έγινε σε κάποιο σημείο του χώρου, όπως π.χ. εκρήγνυται μια χειροβομβίδα, και από τότε το Σύμπαν διαστέλλεται μέσα σ' αυτόν. Αντίθετα, η έκρηξη συνέβη σε ολόκληρο το χώρο ταυτόχρονα τη στιγμή της δημιουργίας του. Η ύλη και η ακτινοβολία δημιουργήθηκαν ομοιόμορφα την ίδια στιγμή σε κάθε σημείο του χώρου και μαζί με αυτόν.

**Σχήμα 7.5: a)** Δημιουργία βαρέων σωματιδίων ύλης (πρωτόνιο) και αντιύλης (αντιπρωτόνιο) από την αλληλεπίδραση δύο φωτόνιών υψηλής ενέργειας (ακτίνες γ μεγάλης συχνότητας).  
**β)** Από την αμοιβαία καταστροφή δύο αντισωματιδίων (πρωτόνιου - αντιπρωτόνιου) παράγεται φωτόνιο γ υψηλής ενέργειας.  
 Διαδικασίες σαν αυτές κυριάρχησαν κατά την αδρονική φάση και οδήγησαν σε μια δυναμική ισορροπία ύλης, αντιύλης και ακτινοβολίας. Ωστόσο οι διαδικασίες σκηματισμού σωματιδίων και αντισωματιδίων δεν είναι εντελώς ισοπίθανες. Από την ελάχιστη αυτή ασυμμετρία ευνοείται η ύλη. Έτσι το Σύμπαν αποτελείται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά από σωματίδια ύλης.



β) Δεν έχει νόημα η ερώτηση «τι υπήρχε πριν τη Μεγάλη Έκρηξη;» Ο χρόνος δημιουργήθηκε μαζί με το χώρο, την ύλη και την ακτινοβολία ακριβώς τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης.

γ) Δε γνωρίζουμε γιατί και πώς έγινε η Μεγάλη Έκρηξη. Επίσης δεν είμαστε σε θέση να περιγράψουμε την κατάσταση του Σύμπαντος από τη στιγμή της δημιουργίας του ( $t=0$ ) μέχρι  $10^{-43}$  δευτερόλεπτα μετά από αυτήν<sup>1</sup>. Στις εξαιρετικά ιδιάζουσες συνθήκες της περιόδου αυτής οι έννοιες και οι νόμοι της σύγχρονης Φυσικής αποδεικνύονται ανεπαρκείς και μη εφαρμόσιμοι.

Μπορούμε όμως σήμερα να περιγράψουμε την εξέλιξη του Σύμπαντος με βάση τις θεωρίες της Φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων  $10^{-35}$ s από τη Μεγάλη Έκρηξη και μετά<sup>2</sup>. Η ιστορία του Σύμπαντος μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τέσσερις περιόδους: α) Την περίοδο των **αδρονίων** (ή βαρέων σωματιδίων) β) Την περίοδο των **λεπτονίων** (ή ελαφρών σωματιδίων) γ) Την περίοδο του **πλάσματος** και δ) Την περίοδο της **ύλης**. Οι περίοδοι (α), (β) και (γ) συνιστούν την **εποχή της ακτινοβολίας**, ενώ η (δ) την **εποχή της ύλης**. Κατά την εποχή της ακτινοβολίας το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του Σύμπαντος βρίσκεται στα φωτόνια. Αντίθετα, την εποχή της ύλης η ενέργεια βρίσκεται κυρίως σε υλική μορφή.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των φάσεων της κοσμικής ιστορίας είναι η διαστολή του Σύμπαντος που ακολουθούσε τη Μεγάλη Έκρηξη.

Η διαστολή αυτή -που ήταν ταχύτατη στα αρχικά της στάδια- προκάλεσε συνεχή πτώση της θερμοκρασίας και της πυκνότητας του Σύμπαντος, όπως είδαμε και στην παράγραφο 7.2.

### α) Περίοδος των αδρονίων

Διήρκεσε λιγότερο από  $10^{-6}$ s μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Η θερμοκρασία του Σύμπαντος ήταν μεγαλύτερη από  $10^{12}$  K. Στην περίοδο των αδρονίων, τα φωτόνια έχουν τόσο μεγάλη ενέργεια, ώστε μετασχηματίζονται σε σωματίδια ύλης και αντιύλης (για παράδειγμα, πρωτόνια και αντιπρωτόνια, σχ. 7.5). Ωστόσο, τα σωματίδια της ύλης, όταν συναντηθούν με τα αντισωματίδιά τους, καταστρέφονται αμοιβαία και παράγουν πάλι φωτόνια. Έτσι αποκαταστάθηκε μια πρόσκαιρη δυναμική ισορροπία. Η φάση αυτή χαρακτηρίζεται από ισόρροπη δημιουργία και καταστροφή αδρο-

<sup>1</sup> Το χρονικό αυτό διάστημα προκύπτει από την **αρχή της αβεβαιότητας** της Κβαντικής Μηχανικής και ονομάζεται χρόνος του Planck.

<sup>2</sup> Οι καταστάσεις του Σύμπαντος από  $10^{-43}$ s έως  $10^{-35}$ s καθώς και φαινόμενα που δεν προβλέπονται από τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης περιγράφονται από τις Μεγάλες Ενοποιημένες Θεωρίες (GUTs - Grand Unified Theories). Σύμφωνα με αυτές, οι τέσσερις δυνάμεις της Φύσης -η ισχυρή, η ασθενής, η πλεκτρομαγνητική και η βαρυτική- τη στιγμή της έκρηξης ήταν ενοποιημένες. Οι διάφορες «αλλαγές της κατάστασης» του Σύμπαντος ερμηνεύονται από τις διαδοχικές αποδεσμεύσεις καθεμιάς δύναμης από τις υπόλοιπες.

νίων. Το Σύμπαν αποτελείται από φωτόνια, σωματίδια ύλης και σωματίδια αντιύλης ομοιόμορφα κατανεμημένα σ' όλο το χώρο.

### β) Περίοδος των λεπτονίων

Διήρκεσε από  $10^{-6}$  έως 6s μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Η θερμοκρασία του Σύμπαντος μεταβλήθηκε από τους  $10^{13}$  στους  $6 \cdot 10^9$  K. Η γρήγορη διαστολή προκάλεσε πτώση της θερμοκρασίας και μείωση της ενέργειας των φωτονίων. Τα φωτόνια δεν μπορούν πλέον να δημιουργούν βαρέα σωματίδια. Μπορούν όμως να δημιουργούν ελαφρότερα (λεπτόνια) που απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Οι πιο σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ στοιχειωδών σωματιδίων κατά την περίοδο των λεπτονίων ήταν:

- Η παραγωγή φωτονίων υψηλής ενέργειας από την αμοιβαία καταστροφή αντισωματιδίων, που συνεχίστηκε από την προηγούμενη περίοδο.

- Ο σχηματισμός ζευγών πλεκτρονίων - ποζιτρονίων από φωτόνια γ.

- Ο σχηματισμός νετρονίων από αντιδράσεις μεταξύ πρωτονίων και πλεκτρονίων ή αντιπρωτονίων και ποζιτρονίων.

### γ) Περίοδος πλάσματος

Διήρκεσε ένα εκατομμύριο χρόνια από τη Μεγάλη Έκρηξη. Η θερμοκρασία του Σύμπαντος μεταβλήθηκε από τους  $10^9$  στους 3.000 K.

Κατά την περίοδο αυτή από τα πρωτόνια και τα νετρόνια που είχαν σχηματιστεί σε προηγούμενες φάσεις, δημιουργήθηκαν οι πυρήνες των ελαφρότερων στοιχείων: Πυρήνες των ισοτόπων του υδρογόνου (δευτερίου και τριτίου), πλίου και σε μικρότερες αναλογίες λιθίου (Li) και βηρυττίου (Be).

Λόγω της υψηλής ακόμα θερμοκρασίας, η ύλη είναι πλήρως ιονισμένη. Δηλαδή, δεν υπάρχουν πλεκτρόνια γύρω από τους πυρήνες των ατόμων. Το Σύμπαν συμπεριφέρεται σαν ένα πολύ πυκνό και θερμό αέριο που αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια πλεκτρόνια, πυρήνες ελαφρών στοιχείων και ακτινοβολία.

Η ακτινοβολία αλληλεπιδρά ισχυρά με την ιονισμένη ύλη, το φάσμα της είναι συνεχές και διαχέεται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το Σύμπαν. Πρόκειται για τον πρόγονο της ακτινοβολίας υποβάθρου, που μελετήσαμε στην παράγραφο 7.2.

### δ) Περίοδος της ύλης

Διαρκεί από το τέλος της περιόδου του πλάσματος μέχρι σήμερα.

Όταν η θερμοκρασία έπεισε στους 3.000 K, έγινε δυνατός ο σχηματισμός των πρώτων ατόμων: Οι πυρήνες των ελαφρών στοιχείων, που είχαν ήδη συντεθεί, παγίδευσαν πλεκτρόνια και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα ουδέτερα άτομα: υδρογόνου, δευτερίου, τριτίου, πλίου, λιθίου και βηρυττίου.

Οι πυρήνες του Ή παρουσιάζουν μεγάλη ευστάθεια. Δε διασπώνται ούτε αλλοιώνονται εύκολα, όταν αλληλεπιδρούν με άλλους πυρήνες ή σωματίδια. Έτσι το ήλιο που σχηματίστηκε την περίοδο του πλάσματος διατηρήθηκε μέχρι σήμερα. Επομένως, το ήλιο που υπάρχει στο σημερινό Σύμπαν προέρχεται από δυο πηγές: α) Από τη Μεγάλη Έκρηξη κατά την τρίτη φάση της Ιστορίας του Σύμπαντος. β) Από την πυρηνική «καύση» του υδρογόνου στο εσωτερικό των αστέρων.

Με βάση αυτά τα δεδομένα υπολογίστηκε ότι, αν η υπόθεση της Μεγάλης Έκρηξης είναι σωστή, η περιεκτικότητα των αστέρων και των γαλαξιών σε ήλιο πρέπει να είναι τουλάχιστον 25%.

Σε όσα ουράνια σώματα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί μέτρηση της περιεκτικότητάς τους σε ήλιο, η πρόβλεψη αυτή επιβεβαιώθηκε, γεγονός που ενισχύει σημαντικά το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης.

Στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της σχέσης χώρου, χρόνου και βαρύτητας.

Το βασικό της αξιώματα είναι η **αρχή της ισοδυναμίας**: Δύο παρατηρητές, από τους οποίους ο ένας βρίσκεται μέσα σε ομογενές πεδίο βαρύτητας και ο άλλος επιταχύνεται με σταθερή επιτάχυνση, θα αντιληφθούν τα ίδια φυσικά φαινόμενα και θα διατυπώσουν τους ίδιους φυσικούς νόμους.

Από τις πλέον ενδιαφέρουσες προβλέψεις της θεωρίας είναι τα φαινόμενα της καμπύλωσης του χώρου και της καθυστέρησης του χρόνου που προκαλούνται από ένα ισχυρό βαρυτικό πεδίο.

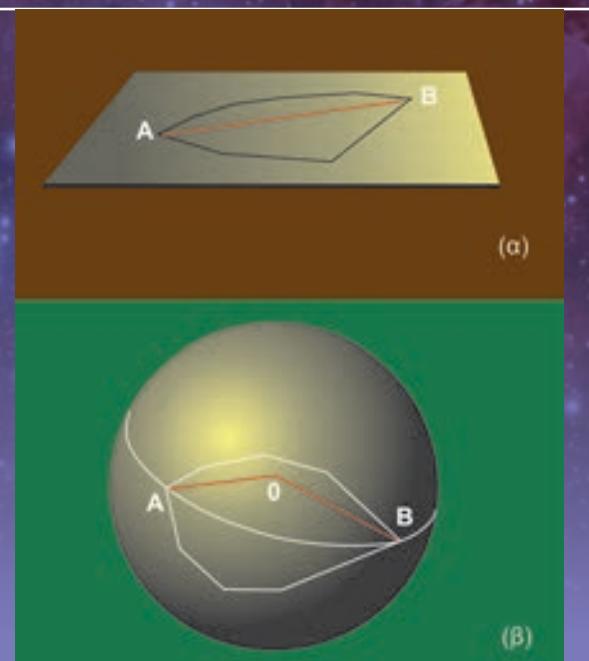
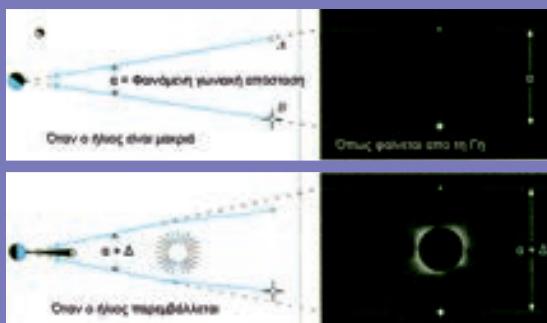
Το φως κατά την κίνησή του στο κενό ή μέσα σε ένα ομοιογενές μέσο ακολουθεί πάντοτε μια διαδρομή ελάχιστου μήκους.

Στη θεωρία της Σχετικότητας οι ιδιότητες του χώρου και του χρόνου είναι στενά συνυφασμένες. Οι μεταβλητές που προσδιορίζουν ένα γεγονός στο χώρο δεν μπορούν να θεωρηθούν ανεξάρτητες από το χρόνο στον οποίο συνέβη. Ο χώρος και ο χρόνος θεωρούνται ως ένα ενιαίο συνεχές που ονομάζεται **χωρόχρονος**. Έτσι τα φαινόμενα της καμπύλωσης του χώρου και της καθυστέρησης του χρόνου που προκαλούνται από τα βαρυτικά πεδία, ονομάζονται και τα δύο μαζί **καμπύλωση του χωρόχρονου**.

Σε έναν Ευκλείδειο χώρο<sup>1</sup> η γραμμή ελάχιστου μήκους που συνδέει δύο σημεία είναι η ευθεία που διέρχεται από αυτά. Όταν όμως ο χώρος είναι καμπυλωμένος -μη Ευκλείδειος- η γραμμή ελάχιστου μήκους που συνδέει δύο σημεία δεν είναι πλέον ευθεία (σχ. 7.7). Σε έναν τέτοιο χώρο ένα ελεύθερο υλικό σώμα<sup>2</sup> θα κινηθεί, όπως και το φως, πάνω σε μια καμπύλη γραμμή ελάχιστου μήκους.

Σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, ο καμπύλωση του χώρου προκαλείται από τη μάζα των υλικών σωμάτων, αυξανόμενη με αυτήν. Έτσι, όπως εύστοχα έχει ειπωθεί, η ύλη λέει στο χώρο πώς θα καμπυλωθεί, και ο χώρος στην ύλη πώς θα κινηθεί. Στην καμπύλωση του χώρου αποδίδεται η παρατηρούμενη απόκλιση της διεύθυνσης των φωτεινών ακτίνων, όταν περνάνε κοντά από τον Ήλιο (σχ. 7.6).

Η εφαρμογή της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας σε ολόκληρο το Σύμπαν οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο χώρος μέσα στον οποίο ζούμε είναι καμπυλωμένος. Το είδος και το μέγεθος της καμπύλωσής του εξαρτάται από την πυ-



**Σχήμα 7.7:** Σε έναν επίπεδο χώρο (a) η συντομότερη γραμμή που συνδέει δύο σημεία Α και Β είναι η ευθεία. Σε έναν καμπυλωμένο χώρο, όπως p.x. η επιφάνεια μιας σφαίρας (β), ο συντομότερος δρόμος για να πάμε από το Α στο Β είναι το τόξο του κύκλου της σφαίρας που έχει κέντρο του το κέντρο της σφαίρας και διέρχεται από τα σημεία Α και Β ή όπως λέμε ενός μέγιστου κύκλου.

κνότητα της ύλης του Σύμπαντος (βλ. και προηγούμενη παράγραφο).

Αν η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή, τότε η βαρύτητα αναγκάζει το χώρο να είναι καμπυλωμένος σφαιρικά. Το φως καμπυλώνεται σαν να κινείται πάνω στην επιφάνεια μιας σφαίρας και το Σύμπαν είναι τότε κλειστό.

Αν η πυκνότητα του Σύμπαντος είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή, η καμπύλωση είναι αντίθετη από την προηγούμενη. Το φως ακολουθεί στην περίπτωση αυτή ελλειπτικές αποκλίνουσες καμπύλες γραμμές και το Σύμπαν είναι ανοιχτό.

Αν τέλος η πυκνότητα είναι ίση με την κρίσιμη, ο συμπαντικός χώρος δεν παρουσιάζει καμπύλωση. Είναι ένας Ευκλείδειος χώρος και το φως κινείται πάνω σε ευθείες γραμμές. Το Σύμπαν είναι τότε ανοιχτό και επίπεδο.

**Σχήμα 7.6:** Η γωνιακή απόσταση δύο αστέρων φαίνεται διαφορετική, όταν ο Ήλιος βρίσκεται ανάμεσά τους. Η παρατήρηση μπορεί βέβαια να γίνει μόνον κατά τη διάρκεια μιας πλιακής έκλειψης, ώστε οι αστέρες να είναι ορατοί. Η διαφορά οφείλεται στην απόκλιση των φωτεινών ακτίνων, όταν περνάνε κοντά στον Ήλιο. Οι ακτίνες αποκλίνουν λόγω της καμπύλωσης του χωρόχρονου που προκαλείται από το ισχυρό βαρυτικό πεδίο του Ήλιου.

<sup>1</sup> Ενας χώρος ονομάζεται Ευκλείδειος, όταν ισχύουν σ' αυτόν τα γνωστά αξιώματα της Ευκλείδειας Γεωμετρίας. Για παράδειγμα, ένα επίπεδο είναι ένας Ευκλείδειος χώρος. Ο πραγματικός χώρος είναι Ευκλείδειος σε τοπική κλίμακα και με την απουσία ισχυρών βαρυτικών πεδίων.

<sup>2</sup> Ελεύθερο υλικό σώμα: Είναι ένα σώμα πάνω στο οποίο δεν ασκούνται δυνάμεις. Στη Νευτώνεια Μηχανική ο χώρος θεωρείται Ευκλείδειος. Σύμφωνα με τον 1ο νόμο του Νεύτωνα, ένα ελεύθερο σώμα που κινείται από ένα σημείο σ' ένα άλλο θα ακολουθήσει την ευθεία που τα συνδέει. Ακολουθεί, δηλαδή, τη γραμμή ελάχιστου μήκους. Αν όμως ο χώρος δεν είναι Ευκλείδειος, οι γραμμές ελάχιστου μήκους είναι καμπύλες. Ένα ελεύθερο σώμα θα κινηθεί πάνω σε μια τέτοια γραμμή.

Η ακτινοβολία δεν παγιδεύεται από την ουδέτερη πλέον ύλη και αποδεσμεύεται απ' αυτήν. Καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται και ψύχεται, η θερμοκρασία της μειώνεται μέχρι τη σημερινή τιμή των 2,7 K. Η ακτινοβολία αυτή δεν είναι άλλη από την ακτινοβολία υποβάθρου, της οποίας η ανακάλυψη αποτέλεσε πραγματικό θρίαμβο για τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης.

Κατά την περίοδο αυτή τοπικές διαταραχές της ομοιογένειας της κοσμικής ύλης προκάλεσαν το σχηματισμό των γαλαξιών και των αστέρων. Στους πυρήνες των αστέρων δημιουργήθηκαν τα υπόλοιπα γνωστά μας στοιχεία. Τελικά σε κάποιο (ή κάποια;) πλανητικά συστήματα διαμορφώθηκαν οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την εμφάνιση της ζωής.

## ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Στην προηγούμενη παράγραφο μελετήσαμε την κοσμική ιστορία, σύμφωνα με το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης. Ένα σημαντικό συμπέρασμα ήταν ότι ο βασικός δυναμικός παράγοντας της εξέλιξης και μεταβολής των καταστάσεων του Σύμπαντος είναι η διαστολή του. Έτσι και οι μελλοντικές καταστάσεις του προδιαγράφονται αποφασιστικά από την τύχη της διαστολής του.

Γνωρίζουμε ότι το Σύμπαν εξακολουθεί να διαστέλλεται. Στη διαστολή του, ωστόσο, αντιτίθεται η βαρύτητα, η οποία και την επιβραδύνει. Είναι άραγε η βαρύτητα αρκετά ισχυρή, ώστε να ανακόψει κάποτε τη διαστολή εντελώς και να προκαλέσει συστολή του Σύμπαντος; Ή το Σύμπαν θα συνεχίσει να διαστέλλεται επ' άπειρον, έστω και με μειούμενο ρυθμό;

Όλα τα πιθανά σενάρια απορρέουν από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας: Το τι θα συμβεί εξαρτάται αποκλειστικά από το αν η πυκνότητα της ύλης του Σύμπαντος είναι μεγαλύτερη, ίση ή μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή. Η κρίσιμη τιμή της πυκνότητας υπολογίστηκε θεωρητικά. Αν η σταθερά του Χαμπλ είναι 75 Km/s/Mpc, τότε βρίσκεται ότι:

$$d_c = 5 \cdot 10^{-27} \text{ Kg/m}^3$$

Διαμορφώνονται λοιπόν τρία πιθανά ενδεχόμενα:

α) Αν η πραγματική τιμή της πυκνότητας ( $d$ ) του Σύμπαντος είναι μικρότερη από την κρίσιμη ( $d < d_c$ ), τότε το Σύμπαν είναι «ανοιχτό» και θα διαστέλλεται παντοτινά.

β) Αν  $d=d_c$ , τότε η διαστολή τείνει να σταματήσει οριακά σε άπειρο χρόνο. Το Σύμπαν είναι «επίπεδο».

γ) Αν τέλος ισχύει  $d > d_c$ , τότε η βαρύτητα είναι αρκετά ισχυρή, ώστε να σταματήσει κάποια χρονική στιγμή τη διαστολή του Σύμπαντος. Από τη στιγμή αυτή και μετά θα αρχίσει η συστολή του και διαγράφοντας αντίστροφα την Ιστορία του θα καταλήξει σε μια μελανή οπή. Στην περίπτωση αυτή το Σύμπαν είναι «κλειστό» (ή παλλόμενο).

Οι μέχρι σήμερα μετρήσεις της τιμής της πυκνότητάς του δείχνουν ότι είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή. Το Σύμπαν φαί-

## Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ HUBBLE ΚΑΙ Η ΗΛΙΚΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

«Ποια είναι η ηλικία του Σύμπαντος; Πότε άρχισε η διαστολή του;»

Κοντά στην χρονική στιγμή μηδέν ( $t=0$ ), που ξεκίνησε η διαστολή και μαζί με αυτή και η Ιστορία του Σύμπαντος, η ύλη και η ακτινοβολία βρίσκονται περιορισμένες σε έναν πολύ «ασφυκτικό» χώρο. Αποστάσεις, που σήμερα είναι διαγαλαξιακής κλίμακας, τότε ήταν σχεδόν μπενικές.

Ας υποθέσουμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται ομοιόμορφα και με σταθερό ρυθμό. Τότε η ταχύτητα απομάκρυνσης δύο σημείων του χώρου, λόγω της διαστολής, είναι σταθερή<sup>1</sup> και ανεξάρτητη από το χρόνο (βλ. και άσκηση 4 στο τέλος του κεφαλαίου).

Αν, επομένως, δύο γαλαξίες απομακρύνονται με ακτινική ταχύτητα  $\mathbf{v}$  και ονομάσουμε  $\mathbf{t}$  την ηλικία του Σύμπαντος, τότε η σημερινή τους απόσταση είναι:

$$\mathbf{d=v\cdot t}$$

Σύμφωνα όμως με το νόμο του Hubble, ισχύει η σχέση:

$$\mathbf{v=H\cdot d}$$

Αντικαθιστούμε το  $\mathbf{v}$  στη σχέση και λύνουμε ως προς  $\mathbf{t}$ , οπότε προκύπτει ότι:

$$\mathbf{t=1/H}$$

Δηλαδή, η ηλικία του Σύμπαντος είναι ίση με το αντίστροφό της σταθεράς του Hubble.

Για  $H=20 \text{ Km/s/Mly}$  και με δεδομένο ότι

$$1 \text{ Mly} = 10^6 \cdot 3 \cdot 10^5 (\text{Km/s}) \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 9,46 \cdot 10^8 \text{ Km},$$

έχουμε ότι

$$\mathbf{t=4,73 \cdot 10^{17} \text{ s}=1.5 \cdot 10^{10} \text{ y (έπιη)}}$$

Ωστε, η ηλικία του Σύμπαντος που υπολογίστηκε με βάση το νόμο του Hubble είναι περίπου 15 δισεκατομμύρια έπιη.

<sup>1</sup> Ο ισχυρισμός αυτός αποτελεί υπεραπλούστευση. Στην πραγματικότητα οι βαρυτικές έλξεις προκαλούν μείωση της ταχύτητας διαστολής του Σύμπαντος σε συνάρτηση με το χρόνο. Στο πλαίσιο της προσέγγισης αυτής υπολογίζουμε τη μέγιστη πιθανή τιμή της ηλικίας του.

νεται ότι είναι ανοιχτό. Ωστόσο, δεν μπορεί να αποκλειστεί η ανατροπή αυτής της εκδοχής, αν στο μέλλον ανακαλυφθεί ύλη που δεν έχει ακόμα ανιχνευτεί. Το ζήτημα αυτό αναφέρεται στην Αστρονομία ως «πρόβλημα της σκοτεινής ύλης του Σύμπαντος» (παρ. 6.5).

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Όλα τα κοσμολογικά μοντέλα θεμελιώνονται πάνω στην **κοσμολογική αρχή**. Ο όρος αναφέρεται σε τρεις βασικές υποθέσεις που αφορούν το Σύμπαν:
  - α) Οι φυσικοί νόμοι έχουν παγκόσμια ισχύ.
  - β) Το Σύμπαν είναι ομοιογενές.
  - γ) Το Σύμπαν είναι ισότροπο.
 Υπάρχει σημαντικό παρατηρησιακό υλικό που ενισχύει την αλήθεια της κοσμολογικής αρχής.
- Ο Hubble ανακάλυψε ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται μεταξύ τους με σχετικές ταχύτητες που είναι ανάλογες προς τις μεταξύ τους αποστάσεις. Ο νόμος του Hubble ερμηνεύεται, αν δεχτούμε ότι το **Σύμπαν διαστέλλεται ομοιόμορφα**.
- Με βάση τη διαστολή του Σύμπαντος και τους νόμους της Φυσικής προβλέφτηκε ότι στο Σύμπαν πρέπει να διαχέεται ομοιόμορφα μια ασθενής ακτινοβολία, που ονομάστηκε **ακτινοβολία υποβάθρου**. Το φάσμα της είναι ίδιο με το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει μελανό σώμα θερμοκρασίας 2,7 Κ. Η ακτινοβολία υποβάθρου ανιχνεύτηκε πειραματικά το 1965 από τους Penzias και Wilson.
- Η διαστολή του Σύμπαντος και η ακτινοβολία υποβάθρου είναι παρατηρησιακά δεδομένα κοσμολογικής σημασίας. Η επαλήθευσή τους είναι απαραίτητη προϋπόθεση για κάθε αξιόπιστο θεωρητικό κοσμολογικό μοντέλο.
- Το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης οικοδομείται με βάση τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και τη Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων. Η βασική του υπόθεση είναι ότι ο χώρος, ο χρόνος, η ύλη και η ακτινοβολία γεννήθηκαν ταυτόχρονα κάποια συγκεκριμένη στιγμή στο παρελθόν. Από τη στιγμή αυτή μέχρι σήμερα το Σύμπαν συνεχίζει να διαστέλλεται.
- Η στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης αποτελεί ένα ιδιάζον σημείο που δεν μπορεί να περιγραφεί με τη γλώσσα της Φυσικής.
- Η Ιστορία του Σύμπαντος μετά τη Μεγάλη Έκρηξη μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις-περιόδους: α) την περίοδο των αδρονίων, β) την περίοδο των λεπτονίων, γ) την περίοδο του πλάσματος και δ) την περίοδο της ύλης.
- Το μέλλον του Σύμπαντος εξαρτάται από την τιμή της πυκνότητας της ύλης που περιέχει. Υπάρχουν δύο ενδεχόμενα: α) Η βαρύτητα που αντιστρατεύεται τη διαστολή να είναι αρκετά ασθενική, οπότε το Σύμπαν θα διαστέλλεται για πάντα. β) Η βαρύτητα να είναι αρκετά ισχυρή, ώστε να σταματήσει τη διαστολή, οπότε το Σύμπαν θα αρχίσει κάποτε να συστέλλεται.
- Μέχρι σήμερα δεν είναι γνωστή ακριβώς η τιμή της πυκνότητας του Σύμπαντος, για να μπορούμε να αποφανθούμε με σιγουριά για το μέλλον του.
- Σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν, η ύλη προκαλεί καμπύλωση του χωρόχρονου. Σ' έναν καμπύλωμένο χώρο το φως δεν κινείται ευθύγραμμα. Το είδος της καμπύλωσης του χώρου του Σύμπαντος εξαρτάται από την πυκνότητα της ύλης που περιέχει.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Γιατί είμαστε υποχρεωμένοι να δεχτούμε την καθολική και διαχρονική ισχύ των φυσικών νόμων; Που θα μας οδηγούσε η άρνηση αυτής της υπόθεσης;
2. Ποια παρατηρησιακά δεδομένα ενισχύουν την υπόθεση της ομοιογένειας του Σύμπαντος και ποια της ισοτροπίας;
3. Ένας παρατηρητής βρίσκεται στο γαλαξία της Ανδρομέδας. Κάνει μετρήσεις των ακτινικών ταχυτήτων και των αποστάσεων των γαλαξιών ως προς αυτόν. Σε τι συμπεράσματα θα καταλήξει;
4. Η ακτίνα (**R**) κύκλου με σταθερό κέντρο Ο μεταβάλλεται ανάλογα με το χρόνο, σύμφωνα με τη σχέση

$$R = at$$

όπου **a** σταθερά. Να δείξετε ότι δύο σημεία του κύκλου απομακρύνονται μεταξύ τους με ρυθμό ανάλογο προς το μήκος του κυκλικού τόξου **s** που ορίζουν. Συγκεκριμένα, να αποδείξετε ότι ισχύει η σχέση:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\alpha}{R} s$$

Σχολιάστε το αποτέλεσμα αυτό σε σχέση με το νόμο του Hubble και τη διαστολή του Σύμπαντος.

5. Πώς συμβιβάζεται ο νόμος του Hubble με την κοσμολογική αρχή;
6. Πώς οι Penzias και Wilson κατάλαβαν ότι η ακτινοβολία υποβάθρου που ανακάλυψαν είχε κοσμολογική σημασία;
7. Πώς το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηκτης προβλέπει την ύπαρξη της ακτινοβολίας υποβάθρου;
8. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της περιόδου του πλάσματος;
9. Ποιος είναι ο ρόλος της βαρύτητας στη μελλοντική εξέλιξη του Σύμπαντος; Γιατί δεν μπορούμε να αποφανθούμε με βεβαιότητα αν το Σύμπαν είναι κλειστό ή ανοιχτό;

## ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Στην επιφάνεια ενός σφαιρικού μπαλονιού σημειώστε με ένα στυλό τρία σημεία **A**, **B** και **G** τέτοια, ώστε η απόσταση **AB** να είναι μικρότερη από την **AG**. Φουσκώστε λίγο το μπαλόνι και με μια μετροτανία μετρήστε τις αποστάσεις **AB**, **AG** και **BG**. Επαναλάβατε το ίδιο άλλες δύο φορές φουσκώνοντας ανάλογα το μπαλόνι. Συμπληρώστε τον πίνακα μετρήσεων.

- a) Καθώς το μπαλόνι φουσκώνει, κινούνται τα σημεία **A**, **B** και **G** ως προς την επιφάνειά του; Γιατί αυξάνονται οι μεταξύ τους αποστάσεις;
- b) Υπολογίστε τη μέση τιμή του λόγου **AB/AG** και βρείτε μια σχέση μεταξύ των μέσων ταχυτήτων απομάκρυνσης των σημείων **B** και **G** από το **A**. Συσχετίστε τις ταχύτητες αυτές με τις αποστάσεις των αντίστοιχων σημείων από το **A**. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα με το νόμο του Hubble.
- γ) Κάνετε τα ίδια θεωρώντας σημεία αναφοράς το **B** και το **G** αντίστοιχα.
- δ) Ποιος είναι ο δρόμος ελάχιστου μήκους που πρέπει να ακολουθήσει ένα μυρμήγκι που κινείται πάνω στην επιφάνεια του μπαλονιού, για να φτάσει από το **A** στο **B**; Είναι τιμήμα ευθείας;
- ε) Η βαρύτητα επιβραδύνει τη διαστολή του Σύμπαντος. Ποιο είναι το αντίστοιχο της βαρυτικής έλξης που αντιστρατεύται τη διαστολή του μπαλονιού;

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

<b>ABcm</b>	<b>AGcm</b>	<b>BGcm</b>	<b>AB/AG</b>	<b>BA/BG</b>	<b>GA/GB</b>



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

## ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ

«Και μια θάλασσα φερμένη από μακριά,  
μυρίζοντας ακόμη αυγό του κύκνου»

Οδ. Ελύτης, ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΝΟΣ  
ΑΘΕΑΤΟΥ ΑΠΡΙΛΙΟΥ



Στα μέσα του εικοστού αιώνα αρχίζει η εποχή της υψηλής τεχνολογίας και του διαστήματος. Αυτή η εποχή άρχισε επίσημα με την τοποθέτηση του πρώτου τεχνητού δορυφόρου σε τροχιά γύρω από τη Γη, στις 4 Οκτωβρίου 1957. Ο πρώτος αυτός δορυφόρος εκτοξεύτηκε από τους Ρώσους και ονομάστηκε «Σπούτνικ». Από τότε έχουν τεθεί σε τροχιά χιλιάδες γνωστοί και άγνωστοι τεχνητοί δορυφόροι και διαστημόπλοια. Όμως ποιοι λόγοι ανάγκασαν τους επιστήμονες να εμπλακούν στο εγχείρημα αυτό; Σε τι θα ωφελήσει τον άνθρωπο η εξερεύνηση του διαστήματος; Τι σημαίνει για το παρόν και το μέλλον του; Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε σε πολλά από τα διαστημικά προγράμματα, που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα ή σχεδιάζονται για το μέλλον, καθώς και στις προοπτικές που ανοίγονται απ' αυτά.

## 8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για αιώνες οι αστρονόμοι παρατηρούσαν τα φαινόμενα του ουρανού από την επιφάνεια της Γης, δέσμοι των περιορισμών που επιβάλλει η παρουσία της ατμόσφαιράς της. Η ανακάλυψη των τηλεσκοπίων, παρ' ότι διεύρυνε σημαντικά τους ορίζοντες της αστρονομικής παρατήρησης, μεγάλωσε παράλληλα την επιθυμία των ερευνητών να παρατηρήσουν τα αστρονομικά φαινόμενα από πιο κοντά.

Έτσι με το ζήλο και τη φαντασία των πρωτοπόρων εξερευνητών σχεδίασαν και κατασκεύασαν συσκευές, με σκοπό να ξεπεράσουν τα εμπόδια της ατμόσφαιρας και να παρατηρήσουν τον ουρανό, αλλά και τη Γη από ψηλά. Να κατακτήσουν, δηλαδή, το διάστημα πέρα από τη Γη. Πρωτοπόροι στην προσπάθεια αυτή υπήρξαν: Ο Ρώσος φυσικός Τσιολκόφσκι (Tsiolkovsky) (1857-1935) που με τις σημαντικές εργασίες του έβαλε τα θεμέλια της αστροναυτικής στην Ρωσία, ο Αμερικανός Γκοντάρ (Goddard) (1882-1945) που εισήγαγε την ιδέα του δορυφόρου με υγρά καύσιμα, ο Γερμανός Όμπερθ (Oberth), (1894-1989) ο Γάλλος Πελτερί (Peltier) (1881-1957) και βέβαια ο Γερμανός Βέρνερ φον Μπράουν (Wernher von Braun) (1912- 1977) που με την κατασκευή των περίφημων πυραύλων V-2 άνοιξε το δρόμο για τους πρώτους τεχνητούς δορυφόρους.

Οι ερευνητικές αποστολές, που οργανώθηκαν από την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου μέχρι σήμερα, έφτασαν με τη βοήθεια των διαστημικών συσκευών μέχρι τους πλέον μακρινούς πλανήτες του πλιακού μας συστήματος. Μελετήθηκαν από κοντά τα διάφορα μέλη του πλιακού συστήματος, ο πλιακός άνεμος, η πλιακή ατμόσφαιρα καθώς και οι επιδράσεις τους στον πλανήτη μας. Τέθηκαν σε τροχιά γύρω από τη Γη δορυφόροι και διαστημικά τηλεσκόπια που έδωσαν νέα ώθηση στη μελέτη και την επίλυση προβλημάτων της Αστρονομίας, της Μετεωρολογίας, των Επικοινωνιών και άλλων επιστημονικών κλάδων.

## 8.2 ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

### ΤΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΜΠΑΛΟΝΙΑ

Η πρώτη αποστολή διαστημικού μπαλονιού έγινε το 1874 από το Αστεροσκοπείο της Meudon με στόχο την παρατήρηση ορισμένων φασματικών γραμμών της πλιακής ακτινοβολίας. Ακολούθησαν πολλές άλλες παρόμοιες αποστολές και παράλληλα άρχισαν να κατασκευάζονται ειδικά όργανα παρατήρησης γι' αυτές, όπως φασματοσκόπια, τηλεχειριζόμενα από το έδαφος τηλεσκόπια κτλ. Σήμερα πολλές αστρονομικές παρατηρήσεις γίνονται με τον τρόπο αυτό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρατήρηση της έκρηξης υπερκαινοφανούς αστέρα στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου το 1987.



**Εικόνα 8.1:** Η εξερεύνηση του διαστήματος απασχολεί όχι μόνο τους επιστήμονες αλλά και κάθε σκεπτόμενο πολίτη.

Το πιο γνωστό κέντρο εκτόξευσης μπαλονιών βρίσκεται στο Τέξας. Από εκεί εκτοξεύονται μπαλόνια με σόχο τη διεξαγωγή αστρονομικών παρατηρήσεων, τη μελέτη των κοσμικών ακτίνων και μετεωρολογικών φαινομένων κ.ά. Τα μπαλόνια φτάνουν σε ύψος περίπου 40 Km και το ταξίδι τους διαρκεί μερικές ημέρες. Το φορτίο τους μπορεί να ζυγίζει μέχρι 2 τόνους και συνήθως συλλέγεται με αλεξίπτωτο στο τέλος της αποστολής.

## ΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Με τη βοήθεια αεροσκάφους ένα τηλεσκόπιο μαζί με την επιστημονική ομάδα μεταφέρεται σε μεγάλο ύψος, από το οποίο γίνονται παρατηρήσεις όσο διαρκεί η πτήση. Η τεχνική αυτή, ιδιαίτερα σημαντική για την Αστρονομία, ακολουθείται κυρίως για τη διεξαγωγή παρατηρήσεων στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Υπενθυμίζεται ότι σε μεγάλα ύψη το ποσοστό της απορροφουμένης από την ατμόσφαιρα ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη από τα ουράνια σώματα μειώνεται σημαντικά (βλέπε παρ. 2.4).

Η πρώτη αποστολή έγινε το 1957. Από τότε, με την ανάπτυξη των υπολογιστών και των συστημάτων σταθεροποίησης της πλοήγησης, το τηλεσκόπιο μαζί με την επιστημονική ομάδα μπορεί να μεταφερθεί για παρατήρηση σε ύψος μέχρι και 12 χιλιομέτρων. Η NASA με το αντίστοιχο τμήμα της σχεδιάζει, συντονίζει και πραγματοποιεί τέτοιες αποστολές. Η μεγαλύτερη μέχρι στιγμής είναι αυτή του Kuiper Airborn Observatory (KAO). Πρόκειται για ένα τηλεσκόπιο 91 cm τοποθετημένο και κατάλληλα προσαρμοσμένο σε ένα στρατιωτικό αεροσκάφος. Ένα άλλο σημαντικό πρόγραμμα, που πρόκειται να ολοκληρωθεί μέσα στο 1999, είναι το πρόγραμμα SOFIA. Στην αποστολή αυτή ένα τηλεσκόπιο 3m θα είναι τοποθετημένο σε ένα Boeing 747 Jumbo Jet και θα χρησιμοποιηθεί για έρευνα στα υπέρυθρα μήκη κύματος.

## ΟΙ ΠΥΡΑΥΛΟΙ

Παρ' όλες τις επιτυχίες που υπήρξαν στις έρευνες με τη χρησιμοποίηση των αεροπλάνων, τα ύψη στα οποία πετούν δεν ήταν αρκετά για την πλήρη μελέτη των ακτινοβολιών που εκπέμπουν τα ουράνια αντικείμενα. Υπήρξε λοιπόν η ανάγκη κατασκευής ενός οχήματος που να είναι ικανό να κάνει πτήση σε ύψος πάνω των 40 Km. Η λύση ήταν ένας πύραυλος.

Έτσι, μετά το τέλος του 2ου Παγκόσμιου πολέμου, άρχισε να αναπτύσσεται αλματωδώς η τεχνολογία των πυραύλων. Οι πρώτοι πύραυλοι που εκτοξεύτηκαν μπορούσαν να πετάξουν σε ύψος 160 Km, μεταφέροντας θάλαμο βάρους 1.000 Kg και έχοντας τη δυνατότητα διεξαγωγής παρατηρήσεων για 5 λεπτά πάνω από τη ζώνη του οζόντος, που, ως γνωστόν, απορροφά τις υπεριώδεις ακτινοβολίες. Μετά από πολλές προσπάθειες Αμερικανών, Ρώσων, Ευρωπαίων, Καναδών, Ιαπώνων κ.ά. έχουν αναπτυχθεί στις μέρες μας πύραυλοι υψηλών επιδόσεων, με τους οποίους μπορούν να γίνουν παρατηρήσεις από πολύ μεγάλα ύψη.



**Εικόνα 8.2:** Ο κοσμοναύτης McCandless σε τροχιά γύρω από τη Γη, τον Φεβρουάριο του 1984.

## ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

Η ιδέα των αστρονομικών παραπρόσεων από δορυφόρους είναι πολύ παλιά. Το 1923 ο Γερμανός πρωτοπόρος των πυραύλων Χέρμαν Όμπερτ (Herman Oberth) έγραψε για τα πλεονεκτήματα ενός διαστημικού τηλεσκοπίου σε σχέση με τα επίγεια. Τεχνολογικά όμως προβλήματα καθυστέρησαν την πρώτη εκτόξευση δορυφόρου με προσαρτιμένο τηλεσκόπιο.

Ποια είναι όμως τα πλεονεκτήματα της αστρονομικής παρατήρησης που γίνεται από το διάστημα; Έχουμε ήδη γνωρίσει ότι ξεπερνώνται οι αιμοσφαιρικές παρεμβολές. Επιπλέον, σε σχέση με τις αποστολές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, οι παρατηρήσεις με δορυφόρους διαρκούν χρόνια.

Όμως οι διαστημικές αποστολές έχουν και μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι το υπερβολικό τους κόστος. Η αντιμετώπισή του έχει συνέπεια οι αποστολές αυτές να είναι εφικτές μόνο με τη συνεργασία πολλών ερευνητικών κέντρων, κάτι που συνεπάγεται μακροχρόνιες και περίπλοκες διαπραγματεύσεις. Στις διαπραγματεύσεις αυτές πολλές φορές υπεισέρχονται και παράγοντες άσχετοι με τους επιστημονικούς στόχους της αποστολής, οι οποίοι συνδέονται με πολιτικά και οικονομικά θέματα. Για παράδειγμα, το πρόγραμμα HEAO (1973), που στόχο είχε τη μελέτη ουράνιων αντικειμένων στις υψηλές ενέργειες, είχε παγώσει για 18 μήνες, εξαιτίας της άρνησης της χρηματοδότησής του από το Αμερικανικό Κογκρέσο. Τελικά πραγματοποιήθηκε, αφού μειώθηκαν οι δαπάνες και μαζί με αυτές οι προσδοκίες του προγράμματος.

## 8.3 ΟΙ ΤΡΟΧΙΕΣ ΤΩΝ ΠΥΡΑΥΛΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΗΜΟΠΛΟΙΩΝ

Ο σχεδιασμός ενός πυραύλου ή δορυφόρου συσχετίζεται και με την πρόβλεψη της πορείας που θα ακολουθήσει. Η επιλογή της τροχιάς του προσδιορίζει και το συνολικό κόστος του προγράμματος. Η απόφαση και ο σχεδιασμός της καθορίζεται από τους εξής παράγοντες.

- Τη διασφάλιση καλής επικοινωνίας του δορυφόρου με το κέντρο ελέγχου της Γης, ώστε να είναι δυνατή η αποστολή οδηγιών από τη Γη προς το δορυφόρο, και αντιστρόφως.

- Την εξασφάλιση προστασίας του δορυφόρου από την ακτινοβολία υποβάθρου, ώστε να λειτουργούν απρόσκοπτα τα όργανά του και να πραγματοποιούνται αξιόπιστες αστρονομικές παρατηρήσεις.

- Το πεδίο παραπήρησης του ουρανού να ταιριάζει με τους στόχους της αποστολής.

- Την πρόβλεψη του χρόνου ζωής της αποστολής.

Οι τρεις πιο απλές τροχιές που μπορούν να δοθούν στους πυραύλους και τα διαστημόπλοια είναι η δορυφορική τροχιά γύρω

### Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Ο σχεδιασμός των διαστημικών προγραμμάτων γίνεται σε τρεις φάσεις:

- Στην πρώτη φάση συγκεντρώνονται από τους διαστημικούς οργανισμούς ιδέες και μελέτες για αξιολόγηση. Οι οργανισμοί αυτοί στην Ευρώπη είναι η ESA και στην Αμερική η NASA. Η φάση αυτή διαρκεί τουλάχιστον 3 χρόνια.
- Στη δεύτερη φάση γίνεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή του διαστημοπλοίου και των οργάνων με τα οποία θα εφοδιαστεί. Η φάση αυτή διαρκεί τουλάχιστον 7 χρόνια.
- Στην τρίτη φάση πραγματοποιείται η απογείωση του διαστημοπλοίου και η τοποθέτησή του σε τροχιά γύρω από τη Γη. Πρόκειται ίσως για την πιο κρίσιμη φάση, αφού οι επιστήμονες δεν έχουν πια τον άμεσο έλεγχό του.

Οι πληροφορίες που συλλέγονται από το διαστημόπλοιο κατά την κίνησή του στέλνονται στη Γη όπου γίνετε η επεξεργασία τους.

από τη Γη, η πλανητική τροχιά γύρω από τον Ήλιο και η τροχιά που τα οδηγεί έξω από το πλανητικό μας σύστημα.

### Η ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΡΟΧΙΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

Η τροχιά του δορυφόρου υπολογίζεται με την εφαρμογή των νόμων της Νευτώνειας Μηχανικής. Η μορφή της προσδιορίζεται μονοσόμαντα από το ύψος, το μέτρο και την κατεύθυνση της ταχύτητας που έχει ο δορυφόρος τη στιγμή που μπαίνει σε τροχιά.

Η ελάχιστη οριζόντια ταχύτητα που πρέπει να αποκτήσει ένα σώμα σε ορισμένο ύψος, για να μπει σε κυκλική τροχιά γύρω από τη Γη, ονομάζεται «πρώτη κοσμική ταχύτητα». Η ελάχιστη τιμή του μέτρου της ταχύτητας με την οποία πρέπει να εκτοξευτεί από ορισμένο ύψος ένα σώμα, ώστε να μπορέσει να κινηθεί σε άπειρη απόσταση από τη Γη, ονομάζεται «ταχύτητα διαφυγής». Όταν η εκτόξευση πραγματοποιείται από το έδαφος, η ταχύτητα αυτή καλείται «δεύτερη κοσμική ταχύτητα». Θεωρώντας ότι η κίνηση του σώματος γίνεται στο κενό, η τιμή της δεύτερης κοσμικής ταχύτητας είναι 11,2 Km/s.

### Η ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΤΡΟΧΙΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΉΛΙΟ

Για να υπερνικηθεί η γήινη βαρύτητα, θα πρέπει ο δορυφόρος να εκτοξευτεί με τη δεύτερη κοσμική ταχύτητα, οπότε θα κινείται με την επίδραση της έλξης του Ήλιου. Θα γίνει έτσι ένας «τεχνητός πλανήτης» που θα περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο.

### Η ΤΡΟΧΙΑ ΠΟΥ ΟΔΗΓΕΙ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΟΠΛΟΙΟ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΟ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΜΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑ

Προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ταξιδιού έξω από το πλανητικό σύστημα είναι να προσδώσουμε στο σώμα μια ελάχιστη ταχύτητα εκτόξευσης, που ονομάζουμε «τρίτη κοσμική ταχύτητα». Το μέτρο της ταχύτητας αυτής, όταν η εκτόξευση γίνεται κατά την κατεύθυνση της περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο, είναι ίσο με 42,2 Km/s.

Οστόσο, η χάραξη της τροχιάς ενός διαστημοπλοίου δεν είναι απλή υπόθεση. Η κίνησή του επηρεάζεται και από τις δυνάμεις που ασκούν πάνω του και τα άλλα, εκτός από τον Ήλιο, μέλη του πλιακού μας συστήματος καθώς και από άλλους παράγοντες, που δεν είναι πάντοτε εύκολο να προβλεφτούν.

## 8.4 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΔΙΑΣΤΗΜΟΠΛΟΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

### ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ

Έχουν εκτοξευτεί και εξακολουθούν να εκτοξεύονται δορυφόροι σε τροχιά γύρω από τη Γη, οι οποίοι επιτελούν συγκεκριμένες αποστολές. Ανάλογα με τη λειτουργία τους και το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκαν, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:



**Εικόνα 8.3:** Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble σε τροχιά γύρω από τη Γη.

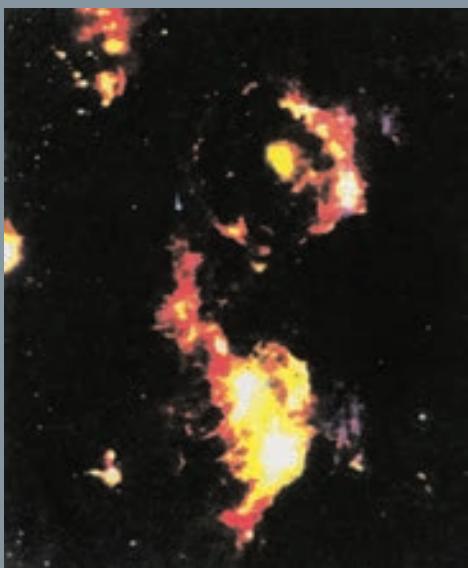
Η κίνηση ενός διαστημοπλοίου μέσα στο πλανητικό μας σύστημα μπορεί να διακριθεί σε τρεις φάσεις:

- Τη φάση της εκτόξευσης, που ολοκληρώνεται με την έξοδο του διαστημοπλοίου από το γήινο βαρυτικό πεδίο.
- Τη φάση του κυρίως ταξιδιού, που διαρκεί μέχρι τη στιγμή που το διαστημόπλοιο θα φτάσει στα όρια του πεδίου βαρύτητας του πλανήτη-στόχου.
- Τη φάση της προσεδάφισης, που τελειώνει μόλις το διαστημικό όχημα προσεδαφίστει ομαλά στην επιφάνεια του πλανήτη.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης και τρίτης φάσης το διαστημόπλοιο καταναλώνει πολύ μεγάλο μέρος της ενέργειάς του, για να υπερνικήσει τα πεδία βαρύτητας της Γης και του πλανήτη - στόχου. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει κατά τη δεύτερη φάση, κατά την οποία το διαστημόπλοιο κινείται στην προδιαγεγραμμένη τροχιά του. Η ελάχιστη ενέργεια που δαπανά στη φάση αυτή χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για διορθωτικές μεταβολές στην πορεία του.



**Εικόνα 8.4:** Ο δορυφόρος IRAS που κατασκευάστηκε για διεξαγωγή παρατηρήσεων στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος της H/M ακτινοβολίας. Η εικόνα τον παρουσιάζει στο εργαστήριο, πριν ακόμα εκτοξευτεί.



**Εικόνα 8.5:** Εικόνα νεφών, από τα οποία θα σχηματιστούν αστέρες στον αστερισμό του Ωρίωνα. Τα χρώματα που παρατηρούνται απεικονίζουν διάφορα μήκη κύματος της υπέρυθρης περιοχής του φάσματος, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που έγιναν από το δορυφόρο IRAS.

- **Μετεωρολογικοί δορυφόροι.** Καταγράφουν τις κινήσεις της ατμόσφαιρας της Γης και τροφοδοτούν με στοιχεία τους επιγειους μετεωρολογικούς σταθμούς. Σήμερα έχει σχηματιστεί ένα δίκτυο μετεωρολογικών δορυφόρων που περιβάλλει τη Γη και από την επεξεργασία των στοιχείων που αποστέλλουν γίνεται δυνατή η καλύτερη πρόβλεψη του καιρού.
- **Δορυφόροι γεωφυσικών μελετών και ανίχνευσης πλουτοπαραγωγικών πηγών.** Είναι εφοδιασμένοι με ειδικά συστήματα που τους επιτρέπουν να κάνουν γεωφυσικές παρατηρήσεις και να ανιχνεύουν την ύπαρξη πλουτοπαραγωγικών πηγών στο στερεό φλοιό της Γης.
- **Τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι.** Διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των κατοίκων της Γης που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Υπάρχει πικνότατο δίκτυο τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων, μέσω του οποίου σήμερα είναι δυνατή η αποστολή και λήψη πνηπτικής και οπτικής πληροφορίας από και προς οποιοδήποτε σημείο της Γης.
- **Δορυφόροι αστρονομικών παρατηρήσεων.** Είναι δορυφόροι εφοδιασμένοι με αστρονομικά όργανα για την εκτέλεση αστρονομικών παρατηρήσεων έξω από την ατμόσφαιρα της Γης. Στις παρατηρήσεις που γίνονται από τους δορυφόρους αποφεύγονται οι παρεμβολές και οι περιορισμοί που προκαλούνται από τη γήινη ατμόσφαιρα. Αυτές γίνονται σε όλες τις περιοχές του φάσματος της πλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και είναι πολύ καλύτερης ποιότητας από τις αντίστοιχες επιγειες.
- **Στρατιωτικοί δορυφόροι.** Εξυπηρετούν στρατιωτικούς σκοπούς. Οι λειτουργίες τους και οι τροχιές που ακολουθούν είναι διαβαθμισμένες (όπως όλες οι στρατιωτικές πληροφορίες).

## ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΕΣ ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι επανδρωμένες διαστημικές αποστολές, οι οποίες σηματοδότησαν τη δυνατότητα του ανθρώπου να ταξιδέψει στο διάστημα και σε άλλα ουράνια σώματα.

Τον Απρίλιο του 1961 τέθηκε για πρώτη φορά από τους Σοβιετικούς επανδρωμένο διαστημόπλοιο σε τροχιά γύρω από τη Γη. Ήταν το Βοστόκ 1, με κοσμοναύτη τον Ρώσο Γιούρι Γκαγκάριν, που πραγματοποίησε μία πλήρη περιφορά γύρω από τη Γη μέσα σε μια ώρα και 29 λεπτά. Η μέγιστη ταχύτητά του ήταν 28.968 Km/h.

Από τότε άρχισε μία σειρά επανδρωμένων αποστολών από Σοβιετικούς και Αμερικανούς. Το Μάρτιο του 1965 οι Αμερικανοί εγκανίασαν μια νέα εποχή με το πρόγραμμα Τζέμινι. Κατά τη διάρκεια των πτήσεων του προγράμματος αυτού έγιναν «περίπατοι» στο κενό και πραγματοποιήθηκαν συνδέσεις δορυφόρων με διαστημόπλοιο σε τροχιά. Από τα πειράματα αυτά αποκτήθηκαν οι πρώτες εμπειρίες για τη συναρμολόγηση εξεδρών και διαστη-

μικών σταθμών που θα περιφέρονταν σε τροχιά γύρω από τη Γη.

Στις 16 Ιουλίου του 1969 η σεληνάκατος Αετός στο πλαίσιο του προγράμματος Απόλλων μετέφερε τους κοσμοναύτες Άρμστρονγκ και Ωλντριν στην επιφάνεια της Σελήνης. Ο Άρμστρονγκ είναι ο πρώτος άνθρωπος που περπάτησε σε ένα άλλο ουράνιο σώμα.

Η επόμενη αποστολή των Αμερικανών στη Σελήνη, με απώτερο στόχο την εγκατάσταση μόνιμης επανδρωμένης βάσης στο έδαφός της, πραγματοποιήθηκε πολύ μετά το τέλος του προγράμματος Απόλλων. Το 1994 εκτοξεύτηκε και τέθηκε σε τροχιά γύρω από αυτή το διαστημόπλοιο Κλημεντίνη, με το οποίο πραγματοποιήθηκε συστηματική εξερεύνηση της επιφάνειάς της. Μια σημαντική ανακάλυψη που έγινε είναι η ύπαρξη νερού στο νότιο πόλο της Σελήνης. Η ύπαρξη νερού επιβεβαιώθηκε και από το διαστημόπλοιο Lunar Prospector, που εκτοξεύτηκε τον Ιανουάριο του 1998. Η αποστολή αυτή θα διαρκέσει σχεδόν ένα χρόνο. Ο βασικός στόχος της είναι η λεπτομερής χαρτογράφηση των επιφανειακών στρωμάτων της Σελήνης για τον εντοπισμό και την καταγραφή υλικών, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες από τους μελλοντικούς εποίκους του φυσικού δορυφόρου της Γης.

Ίσως ένας από τους σημαντικότερους σταθμούς στις αποστολές επανδρωμένων διαστημόπλοιών αποτελεί η κατασκευή από τη NASA των διαστημικών λεωφορείων. Τα βασικά τους πλεονεκτήματα είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές, προσγειώνονται σαν αεροσκάφη σε συνθισμένο αεροδρόμιο και είναι ικανά να μεταφέρουν μεγάλο φορτίο.

Εξάλλου, στα πλαίσια της εξερεύνησης των πλοσιέστερων στη Γη πλανητών του πλιακού μας συστήματος, η NASA σχεδιάζει να πραγματοποίησε το έτος 2008 την πρώτη επανδρωμένη αποστολή στον Άρη.

## ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Τα πρώτα διαστημικά προγράμματα είχαν στόχο την εξερεύνηση της Σελήνης και στη συνέχεια άλλων σωμάτων του πλιακού μας συστήματος. Ωστόσο, η εξέλιξη της γνώσης μας γύρω από τη δομή και τα φαινόμενα του πλιακού μας συστήματος σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας, έθεσε ως νέο στόχο τη δημιουργία επανδρωμένων διαστημικών σταθμών. Οι σταθμοί αυτοί είναι μεγάλοι τεχνητοί δορυφόροι της Γης σχεδιασμένοι έτσι, ώστε να χρησιμεύουν ως ενδιάμεσες βάσεις για μακρινές αποστολές στο πλιακό σύστημα, αλλά και για την εγκατάσταση επιστημονικών οργάνων, όπως τηλεσκοπίων κτλ. Ένας βασικός στόχος της κατασκευής των διαστημικών σταθμών είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους των προγραμμάτων της εξερεύνησης του διαστήματος. Η λειτουργία τους, εκτός των άλλων, θα βοηθήσει σημαντικά και στην ανάπτυξη μιας σειράς τεχνολογικών εφαρμογών, κυρίως στον τομέα της κατασκευής υλικών ειδικών προδιαγραφών, που υπαγορεύονται από τις συνθήκες που επι-



**Εικόνα 8.6:** Η εκτόξευση του διαστημόπλοιου Απόλλων 15 προς τη Σελήνη.

Αν παραβλέψουμε την αλληλεπίδραση του σώματος με άλλα ουράνια αντικείμενα και θεωρήσουμε ότι πάνω του ασκείται μόνον η έλξη του Ήλιου, η τροχιά του θα έχει τη μορφή μιας κωνικής τομής. Αν η αρχική του ταχύτητα είναι μικρότερη από την ταχύτητα διαφυγής από το βαρυτικό πεδίο του Ήλιου, στο σημείο που έγινε η εκτόξευση σημειώνεται η τροχιά θα είναι έλλειπτη. Η μια εστία της έλλειψης ταυτίζεται με το κέντρο του Ήλιου. Αν η αρχική ταχύτητα είναι ίση με την ταχύτητα διαφυγής, τότε το σώμα θα ακολουθήσει παραβολική τροχιά και, αν είναι μεγαλύτερη, υπερβολική.



**Εικόνα 8.7:** Εκτόξευση διαστημικού λεωφορείου από το κέντρο εκτόξευσης Κανάβεραλ στο Χιούστον του Τέξας.

κρατούν στο διάστημα (έλλειψη βαρύτητας, ισχυρές ακτινοβολίες, βομβαρδισμός από σωματίδια, κ.ά.). Οι διαστημικοί σταθμοί θα χρησιμοποιηθούν επίσης στην υποστήριξη εξελιγμένων δορυφορικών συστημάτων τηλεπικονωνίας και τηλεπισκόπησης.

Ένας διαστημικός σταθμός, για να ανταποκρίνεται στους σκοπούς που προαναφέραμε, θα πρέπει να αποτελείται από τις έξι επόμενες βασικές μονάδες:

1. Τη μονάδα υποστήριξης της ζωής μέσα στο σταθμό.
2. Τη μονάδα χώρων κατοικίας των κοσμοναυτών.
3. Τη μονάδα αποθήκευσης ζωτικών προϊόντων, όπως νερού και τροφίμων.
4. Τη μονάδα επιστημονικών εργαστηρίων.
5. Τη μονάδα ελλιμενισμού των διαστημικών οχημάτων.
6. Τη μονάδα προσαρτημένων εξεδρών όπου θα έχουν εγκατασταθεί διάφορα επιστημονικά όργανα.

Πρόδρομοι των διαστημικών σταθμών θεωρούνται το αμερικανικό Skylab, οι σοβιετικοί επανδρωμένοι σταθμοί Σαλιούτ και Μίρ και το ευρωπαϊκό διαστημικό εργαστήριο Spacelab.

Κατά τη διάρκεια της αποστολής του Skylab, και παρ' όλα τα προβλήματα που αντιμετώπισε, συλλέχτηκαν πολύτιμες πληροφορίες για τη Γεωργία, την Ωκεανογραφία, τη Μετεωρολογία, την Αστροφυσική και έγιναν πειράματα Βιολογίας και διαστημικής Ιατρικής. Η πλιακή δραστηριότητα των ετών 1978-79 είχε αποτέλεσμα να αυξηθούν οι τριβές του Skylab με τη γήινη ατμόσφαιρα και έτσι να χάνει ύψος. Μπήκε σε πυκνότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και καταστράφηκε τον Ιούλιο του 1979 έχοντας συμπληρώσει 34.981 περιστροφές γύρω από τη Γη.

Η τεχνογνωσία που αναπτύσσεται προς αυτήν την κατεύθυνση είναι τεράστια και πολύτιμη. Παράλληλα όμως αναπτύσσονται μέθοδοι ιατρικής πρόβλεψης και αντιμετώπισης βιολογικών ή ψυχικών προβλημάτων, που πιθανόν να προκληθούν από τη μακροχρόνια παραμονή του ανθρώπου στο διάστημα.

#### Ο ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΙΡ

Τον Φεβρουάριο του 1986 οι Σοβιετικοί αξιοποιώντας την εμπειρία του προγράμματος Σαλιούτ εκτόξευσαν από το διαστημικό κέντρο Μπαϊκονούρ στο Καζακστάν το διαστημικό σταθμό Μίρ. Από τότε μέχρι σήμερα ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος 240 μιλών. Ο Μίρ έχει μήκος 13,2 m, πλάτος 4,2 m, και βάρος 21 τόνους. Μπορεί να δεχτεί για μόνιμη εγκατάσταση δύο έως τέσσερις κοσμοναύτες και να φιλοξενήσει μέχρι έξι άτομα.

Η εμπειρία που αποκτήθηκε από τη μακρόχρονη λειτουργία του Μίρ είναι εξαιρετικά πολύτιμη και αποτελεί σημαντική παρακαταθήκη για την εγκατάσταση και λειτουργία των σταθμών της νέας γενιάς.

Ο Άλφα θα είναι ο επόμενος μεγάλος διαστημικός σταθμός που σχεδιάζεται να συναρμολογηθεί στο διάστημα μέχρι το έτος 2003. Στο πρόγραμμα αυτό συνεργάζονται οι Η.Π.Α., η Ρωσία, ο Καναδάς, η Ευρώπη και η Ιαπωνία. Ήδη τα πρώτα τμήματα του σταθμού αυτού έχουν σταλεί στο διάστημα και έχει αρχίσει η συναρμολόγησή του.

## 8.5 ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΑΠΟΙΚΙΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΑΣΙΑ

### ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΑΠΟΙΚΙΕΣ

Η κατασκευή διαστημικών τροχιακών σταθμών δεν είναι ο μοναδικός στόχος στην πορεία κατάκτησης του διαστήματος. Ο επόμενος στόχος είναι η εγκατάσταση μιας βάσης στο έδαφος της Σελήνης, μέχρι τα μέσα του επόμενου αιώνα, που θα μπορεί να φιλοξενήσει περίπου 1.000 άτομα. Το βασικό κίνητρο για τη δημιουργία της είναι η εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου της Σελήνης. Οι πρώτες ύλες που θα εξορύσσονται από το υπέδαφος της Σελήνης ενδέχεται να δώσουν κάποια λύση στο πρόβλημα της εξάντλησης ορισμένων ορυκτών πόρων της Γης. Επιπλέον, πιστεύεται ότι θα ελαχιστοποιήσουν το κόστος κατασκευής και συ-

ντήρησης των διαστημικών σταθμών και αποικιών της Σελήνης.

Παράλληλα με αυτήν την ιδέα έχει αρχίσει ο σχεδιασμός παρόμοιων βάσεων στον Άρη, σαν δεύτερο βήμα εποικισμού. Αυτός είναι άλλωστε και ο σκοπός των αποστολών που άρχισαν το 1997 με τη ρομποτική συσκευή Pathfinder Mars και το δορυφόρο Global Surveyor, και θα κορυφωθούν ίσως το 2008 με την πρώτη επανδρωμένη πτήση στον Άρη.

Ο απώτερος στόχος όλων αυτών είναι η κατασκευή διαστημικών αποικιών, στις οποίες θα μπορούν να ζήσουν από μερικές εκατοντάδες έως μερικά εκατομμύρια άνθρωποι. Ποια όμως θα είναι η δομή αυτών των γιγαντιαίων σταθμών;

Τα πρώτα σχέδια ενός τόσο φιλόδοξου εγχειρήματος έκανε ο Βέρνερ φον Μπράουν ήδη από τη δεκαετία του 1950. Σύμφωνα με τους σχεδιαστές διαστημικών αποικιών της NASA, αυτές θα αποτελούνται από σύστημα ανεξάρτητων περιστρεφόμενων κυλίνδρων ή δακτυλίων. Οι κατοικήσιμες περιοχές θα είναι φτιαγμένες από γυαλί και μέταλλο, ενώ θα υπάρχουν και μεγάλες εκτάσεις καλλιεργούμενου γήπεδου εδάφους. Οι κλιματολογικές συνθήκες θα ρυθμίζονται από τους αποίκους, ενώ οι περιοχές υψηλής ή χαμηλής βαρύτητας της αποικίας θα χρησιμοποιούνται κατάλληλα στη βιομηχανική παραγωγή.

Το κόστος κατασκευής μιας τέτοιας αποικίας 10.000 ατόμων ανέρχεται στα 100 τρισεκατομμύρια δραχμές σε τιμές του 1990 και για την αποπεράτωσή της χρειάζονται 10 χρόνια περίπου. Το κόστος αυτό υπολογίζεται ότι θα έχει αποσβεστεί στα δύο πρώτα χρόνια της λειτουργίας της! Πρέπει ακόμα να τονιστεί ότι όλη η τεχνολογία που απαιτείται για την κατασκευή μιας διαστημικής αποικίας είναι σήμερα γνωστή.

Τα σημεία στα οποία πρέπει να τοποθετηθούν οι διαστημικές αποικίες έχουν βρεθεί ήδη το 17ο αιώνα από το Γάλλο μαθηματικό Lagrange. Πρόκειται για τα σημεία ισορροπίας Lagrange, δηλαδή εκείνα τα σημεία ενός συστήματος σωμάτων (π.χ. Ήλιος - Γη), στα οποία μπορείται η συνισταμένη των ελκτικών δυνάμεων και της φυγόκεντρης δύναμης. Κάθε σώμα που τοποθετείται στα σημεία αυτά βρίσκεται σε ισορροπία.

## ΓΕΩΠΛΑΣΙΑ

Εκτός από τη δημιουργία διαστημικών αποικιών, ένα παρεμφερές θέμα που απασχολεί ιδιαίτερα τους επιστήμονες είναι η δυνατότητα τεχνητής αλλαγής των φυσικών συνθηκών των πλανητών, ώστε να γίνουν παρόμοιοι με τη Γη κι έτσι να κατοικηθούν από ανθρώπους. Το σύνολο των διαδικασιών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση του στόχου αυτού ονομάζεται γεωπλασία.

Το πρώτο σενάριο γεωπλασίας διατυπώθηκε το 1961 από τον αστρονόμο-βιολόγο Carl Sagan για την Αφροδίτη. Στηρίχτηκε όμως σε ανακριβή στοιχεία που υπήρχαν τότε για τον πλανήτη αυτό. Η ιδέα της γεωπλασίας για την Αφροδίτη έχει πια εγκα-

ταλειφτεί. Σχεδιάζεται όμως και έχει δρομολογηθεί ήδη από το 1997 από τη NASA για τον Άρη. Η υλοποίηση της γεωπλασίας στον Άρη προβλέπεται να εξελιχτεί σε 6 φάσεις, που θα ολοκληρωθούν μέσα σε 161 γήινα χρόνια με αφετηρία το έτος 2009.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

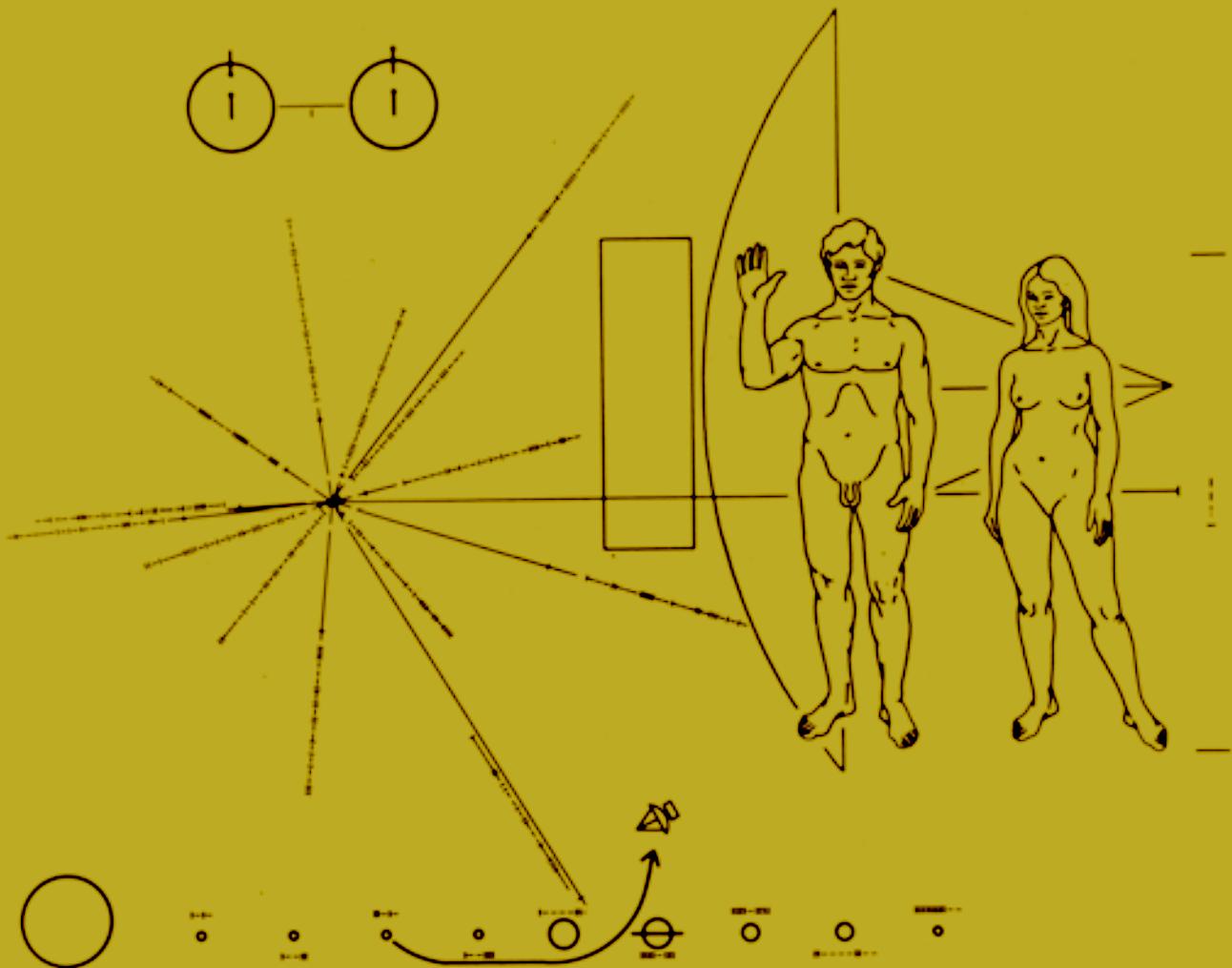
- Οι διαστημικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή των αστρονομικών παρατηρήσεων είναι τα μπαλόνια, τα αεροπλάνα, οι πύραυλοι και οι δορυφόροι. Στα οχήματα αυτά τοποθετούνται τηλεσκόπια και άλλα μετρητικά όργανα, με κύριο στόχο τη μελέτη των ακτινοβολιών που εκπέμπουν τα ουράνια αντικείμενα.
- Η τροχιά ενός δορυφόρου προσδιορίζεται μονοσήμαντα από το σημείο στο οποίο γίνεται η εκτόξευση του δορυφόρου και από την αρχική του ταχύτητα. Η κίνηση ενός δορυφόρου ή διαστημοπλοίου επηρεάζεται από τις βαρυτικές έλξεις που ασκούν πάνω του όλα τα μέλη του πλιακού συστήματος καθώς και από άλλες αιτίες που δεν είναι εύκολο να προβλεφτούν. Οι παράγοντες αυτοί καθιστούν τη χάραξη της τροχιάς του μια πολύ δύσκολη υπόθεση.
- Οι δορυφόροι διακρίνονται σε διάφορα είδη, ανάλογα με τους στόχους που εξυπηρετεί η αποστολή τους.
- Οι επανδρωμένες αποστολές στο διάστημα άρχισαν από τη δεκαετία του 1960. Οι σημαντικότερες, μέχρι σήμερα, στιγμές της προσπάθειας του ανθρώπου να ταξιδέψει στο διάστημα είναι: α) Η τοποθέτηση του πρώτου επανδρωμένου διαστημοπλοίου σε τροχιά γύρω από τη Γη. β) Η προσεδάφιση κοσμοναυτών στη Σελήνη. γ) Η τοποθέτηση διαστημικών σταθμών και εργαστηρίων σε τροχιά γύρω από τη Γη. δ) Οι πτήσεις των διαστημικών λεωφορείων.
- Στα μελλοντικά σχέδια των επιστημόνων περιλαμβάνεται η εγκατάσταση διαστημικών αποικιών σε τροχιά και ο τεχνητή αλλαγή των φυσικών συνθηκών σε πλανήτες, ώστε να μπορούν να κατοικηθούν από ανθρώπους.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1) Γιατί οι επιστήμονες επιδιώκουν να κάνουν αστρονομικές παρατηρήσεις από θέσεις που απέχουν όσο το δυνατόν περισσότερο από το έδαφος; Με ποια μέσα πετυχαίνουν αυτήν τους την επιδίωξη;
- 2) Με ποιους τρόπους οι δορυφόροι έχουν βοηθήσει στην ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου της ζωής του ανθρώπου πάνω στη Γη;
- 3) Για ποιο λόγο τοποθετούνται σε τροχιά διαστημικοί σταθμοί και εργαστήρια, παρά το μεγάλο κόστος ενός τέτοιου εγχειρήματος;
- 4) Τι είναι οι διαστημικές αποικίες; Ποια είναι τα βασικά στοιχεία του σχεδιασμού τους;
- 5) Τι εννοούμε με τον όρο «γεωπλασία»; Σε ποιον πλανήτη θεωρείται ότι είναι δυνατή η υλοποίηση ενός σχεδίου γεωπλασίας με βάση τη σημερινή τεχνολογία;

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

## ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΚΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΟΣ



«Καθώς οι νόμοι της βαρύτητας έχοντας ατονήσει πλέον ο νους  
τραβούσε τα πουλιά κι όλο το δεντροκόμι  
τ' ουρανού ως τα ύψη»

Οδ. Ελύτη, ΜΑΡΙΑ ΝΕΦΕΛΗ

Η μεγάλη πρόοδος που έχει σημειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες στη Βιολογία και ιδιαίτερα στη Γενετική έχει αποτέλεσμα να συγκεντρωθεί αρκετή γνώση σχετικά με τη δομή, λειτουργία, αναπαραγωγή και εξέλιξη των έμβιων οργανισμών.

Το ίδιο το φαινόμενο της ζωής είναι ένα από τα άπειρα γεγονότα στην Ιστορία του Σύμπαντος και μοιάζει απόλυτα συμβατό και εναρμονισμένο με τους δεδομένους φυσικούς νόμους που διέπουν τη λειτουργία του.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε το φαινόμενο της ζωής από τη σκοπιά της επιστήμης της Αστρονομίας.

Είμαστε μόνοι στο Σύμπαν;

Πώς θα μπορούσαμε να επικοινωνήσουμε με άλλους εξωγήινους πολιτισμούς, εφόσον υπάρχουν;

## 9.1 Η ΖΩΗ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

### ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΕΚΡΗΞΗ ΣΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα. Τα κύτταρα συγκροτούνται από μεγαλομόρια που οικοδομούνται από συνδυασμούς ατόμων στοιχείων, όπως υδρογόνο, άνθρακα, οξυγόνο, άζωτο, φωσφόρο κ.ά. Επιπλέον, άλλα στοιχεία, όπως ασβέστιο, κάλιο, νάτριο, μαγνήσιο, σίδηρος, πυρίτιο κ.ά., είναι απαραίτητα για το σχηματισμό των οστών, των σκελετών και των κελυφών που χαρακτηρίζουν τη μορφολογία πολλών ειδών. Πώς όμως σχηματίστηκαν τα στοιχεία αυτά; Γιατί στο φλοιό της Γης υπάρχει άφθονο οξυγόνο, πυρίτιο, υδρογόνο, αργίλιο, νάτριο, σίδηρος; Έχουν ανιχνευτεί όλα τα στοιχεία που υπάρχουν στο Σύμπαν;

Η σύνθεση των στοιχείων ξεκίνησε στα πρώτα κιόλας στάδια της Ιστορίας του Σύμπαντος. Τα πρωτόνια - πυρίνες υδρογόνου- σχηματίστηκαν κατά τη φάση των αδρονίων. Μέσα στα πρώτα 1.000 δευτερόλεπτα μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, όσο η θερμοκρασία ήταν ακόμα αρκετά υψηλή, ευνοήθηκαν πυρηνικές αντιδράσεις που οδήγησαν στο σχηματισμό των ισοτόπων του υδρογόνου, πλίου και, σε μικρότερες αναλογίες, λιθίου και βηρυλλίου. Τα βαρύτερα στοιχεία ήταν σχεδόν ανύπαρκτα στο νεαρό Σύμπαν. Η σύνθεσή τους πραγματοποιήθηκε μέσα στους αστέρες. Στους αστρικούς πυρίνες, όσο ο αστέρας βρίσκεται στην Κύρια Ακολουθία, η βαρυτική κατάρρευση ισορροπήθηκε από την πυρηνική καύση του υδρογόνου και τη μετατροπή του σε πλίο. Με την εξάντληση του υδρογόνου η απαιτούμενη ενέργεια για την ισορροπία του αστέρα εκλύθηκε από νέες πυρηνικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες συντέθηκαν οι πυρίνες βαρύτερων στοιχείων: οξυγόνου, νέου, μαγνησίου, πυριτίου, νικελίου, μέχρι και του σιδήρου. Τα βαρύτερα στοιχεία του σιδήρου συντέθηκαν μέσα από αρκετά περίπλοκες πυρηνικές διαδικασίες στους καινοφανείς και στους υπερκαινοφανείς αστέρες.

Τα υλικά αυτά εκτοξεύτηκαν στη συνέχεια στο διάστημα μέσω του αστρικού ανέμου των γιγαντιαίων άστρων είτε με το σχηματισμό των πλανητικών νεφελώμάτων είτε κατά τις εκρήξεις των καινοφανών και των υπερκαινοφανών.

Ωστε τα απαραίτητα στοιχεία για τη ζωή, που συναντάμε σήμερα άφθονα στη Γη, συντέθηκαν πολύ πριν από τη γένεση του πλανητικού μας συστήματος στον πυρήνα κάποιου αστέρα που δεν υπάρχει πια. Τα άτομα των στοιχείων αυτών διαχύθηκαν, κατά την έκρηξη του αστέρα, στη μεσοαστρική ύλη. Πολλά εκατομμύρια χρόνια μετά, από την εμπλουτισμένη με τον τρόπο αυτό μεσοαστρική ύλη ξεκίνησε η δημιουργία του Ήλιου και του πλανητικού μας συστήματος. Κατά το σχηματισμό των πλανητών οι φυσικοί νόμοι ευνόησαν τη συγκέντρωση των βαρύτερων στοιχείων, κυρίως στους εσωτερικούς ή γήινους πλανήτες. Έτσι, η Γη, η Αφροδίτη, ο Άρης, ο Ερμής μορφοποιήθηκαν από τιμήματα του πλανητικού νεφελώματος που περιείχαν σε σημαντικές ανα-



**Εικόνα 9.1:** Η εικόνα αυτή παρουσιάζει τη μεγέθυνση ενός κομματιού από το μετεωρίτη Murchison. Το βέλος δείχνει μια μικροσκοπική ποσότητα οργανικής ύλης, πράγμα που σημαίνει ότι κάποιου είδους βιολογική εξέλιξη πιθανόν να έχει συντελεστεί και πέρα από το δικό μας πλανήτη.

λογίες όλα τα στοιχεία που συναντάμε στο Σύμπαν.

Είναι όμως αυτή η μοναδική προϋπόθεση για την εμφάνιση της ζωής και του ανθρώπινου πολιτισμού πάνω στη Γη; Αναμφισβίτητα όχι. Ας δούμε λοιπόν ακόμα δύο συγκυρίες, χωρίς τις οποίες η ζωή στη Γη -τουλάχιστον με τη μορφή που εμείς τη γνωρίζουμε- θα ήταν αδύνατη.

Ο σχηματισμός των πολύπλοκων μεγαλομορίων των κυττάρων και οι μηχανισμοί των βιοχημικών αντιδράσεων μπορούν να πραγματοποιηθούν σε στενά μόνο όρια θερμοκρασιών, ούτε πολύ υψηλών ούτε πολύ χαμηλών. Η προϋπόθεση αυτή σχετίζεται αφ' ενός με την απόσταση της Γης από τον Ήλιο και αφ' ετέρου με το γεγονός ότι ο Ήλιος δεν ανήκει σε κάποιο σύστημα αστέρων. Ωστε η Γη, πέρα από τους θεμέλιους λίθους, διαθέτει και τη σωστή απόσταση από την απαραίτητη για την εκδίλωση και διατήρηση της ζωής ενεργειακή πηγή, τον Ήλιο.

Τα πρώτα ίχνη ζωής πάνω στη Γη τοποθετούνται χρονολογικά περίπου ένα δισεκατομμύριο χρόνια μετά το σχηματισμό της. Για την εμφάνιση του ανθρώπου και του ανθρώπινου πολιτισμού απαιτήθηκαν ακόμα τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια. Βλέπουμε ότι τα χρονικά διαστήματα που χρειάστηκαν για τη γένεση των ζωντανών οργανισμών και κυρίως για την ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού είναι συγκρίσιμα με το χρόνο της ζωής ενός αστέρα. Γνωρίσαμε όμως ότι ο χρόνος της ζωής ενός αστέρα είναι συνάρτηση της μάζας του. Οι αστέρες που έχουν μάζα πολλαπλάσια του Ήλιου, τύπου Ο και Β, έχουν όριο ζωής μόλις μερικές δεκαδες ή εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Το φαινόμενο της ζωής δε θα προλάβαινε να εκδηλωθεί στο πλανητικό σύστημα ενός τέτοιου τύπου αστέρα. Ο Ήλιος, αντίθετα, θα εξακολουθεί να ακτινοβολεί για περίπου πέντε δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα. Ο Ήλιος έχει, επομένως, χρόνο ζωής, μέγεθος και φασματικό τύπο που δημιούργησαν τα απαραίτητα χρονικά περιθώρια και τις κατάλληλες ενεργειακές συνθήκες για την εμφάνιση και διατήρηση της ζωής στη Γη.

Το συμπέρασμά μας είναι ότι η ζωή και ο ανθρώπινος πολιτισμός στη Γη είναι φαινόμενα που συνέβησαν κάτω από τη σύγκλιση αρκετών προϋποθέσεων.

Επιπλέον, το ίδιο το γεγονός της ανθρώπινης ύπαρξης μας βεβαιώνει ότι η ζωή είναι μια δυνατότητα απόλυτα συμβατή με τους φυσικούς νόμους, σύμφωνα με τους οποίους λειτουργεί το Σύμπαν.

## ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΜΗ ΓΗΙΝΗΣ ΖΩΗΣ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

Είναι πολύ πιθανό στο Σύμπαν να υπάρχουν πλανήτες που μοιάζουν με τη Γη. Και είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι σ' αυτούς τους πλανήτες έχουν αναπτυχθεί μορφές ζωής ανάλογες με αυτές που υπάρχουν στη Γη. Οι απόψεις των επιστημόνων διϊστανται όσον αφορά το μέγεθος αυτής της πιθανότητας.

Στον υπολογισμό της εμπλέκονται μεγέθη, τα οποία μόνο κατά προσέγγιση μπορούν να εκτιμηθούν. Αν, για παράδειγμα, επιχειρήσουμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των πολιτισμών -αντίστοιχων του δικού μας- που ενδεχομένως υπάρχουν στο Γαλαξία, θα πρέπει να συνεκτιμήσουμε τους ακόλουθους παράγοντες:

- Τον αριθμό των αστέρων του Γαλαξία που είναι παρόμοιοι με τον Ήλιο.
- Την πιθανότητα οι αστέρες αυτοί να είναι διπλοί ή πολλαπλοί ή να συνοδεύονται από ένα πλανητικό σύστημα.
- Την πιθανότητα να υπάρχει πλανήτης του συστήματος που να έχει κατάλληλη τροχιά, ώστε οι θερμοκρασίες του να κυμαίνονται στα γύνια πλαίσια.
- Την πιθανότητα να εμφανιστεί κάποιο είδος ζωής, με δεδομένες τις κατάλληλες γι' αυτό το ενδεχόμενο περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Την πιθανότητα μέσα από μια εξελικτική διαδικασία οι αρχικές μορφές ζωής να οδηγήσουν στην εμφάνιση νοημόνων όντων, που τελικά θα αναπτύξουν έναν πολιτισμό ανάλογο του δικού μας.
- Το χρονικό διάστημα που είναι πιθανό να επιβιώσει ένας τέτοιος πολιτισμός και να μην καταστραφεί σε μικρό χρονικό διάστημα ολοκληρωτικά είτε από εξωγενείς αιτίες είτε από τις δικές του αυτοκαταστροφικές λειτουργίες.

Πολλοί από τους παράγοντες αυτούς μπορούν να υπολογιστούν με κάποια ακρίβεια. Για άλλους, όμως, δε διαθέτουμε κανένα επιστημονικά τεκμηριωμένο δεδομένο, κι έτσι μόνο υποκειμενικές προσεγγίσεις μπορούν να γίνουν.

Πέρα από αυτές τις θεωρητικές επισημάνσεις έχει αναπτυχθεί στις ΗΠΑ εδώ και χρόνια ένα πρόγραμμα έρευνας για την ανίχνευση εξωγήινων πολιτισμών που ονομάζεται SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence). Το πρόγραμμα αυτό στηρίζεται στην υπόθεση ότι: «Αν υπάρχουν εξωγήινοι πολιτισμοί σε απόσταση μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων ετών φωτός από τη Γη, είναι πιθανό να επικοινωνήσουμε μαζί τους με ραδιοκύματα κατάλληλης συχνότητας». Έτσι έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα ραδιοτηλεσκόπων και κεραιών, με στόχο την εκπομπή και τη λήψη σημάτων, στα οποία θα μπορούσε κανείς να διακρίνει κάποιο μήνυμα.

Μέχρι στιγμής ούτε μέσω του προγράμματος SETI ούτε από άλλες αξιόπιστες πηγές έχουν υπάρξει έστω κάποιες ενδείξεις για την ύπαρξη εξωγήινων πολιτισμών.

Τα τελευταία χρόνια σημαντικές έρευνες γίνονται για την ανακάλυψη άλλων πλανητικών συστημάτων, παρόμοιων με το δικό μας. Μέχρι τώρα έχουν ανακαλυφτεί περισσότεροι από 10 αστέρες, γύρω από τους οποίους υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να περιφέρονται ένας ή περισσότεροι πλανήτες. Μένει να εξακριβωθεί αν οι συνθήκες σ' αυτούς τους πλανήτες είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη κάποιας μορφής ζωής. Οι έρευνες συνεχίζονται.

## 9.2 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΙΔΟΥΣ

Η κυριαρχία του ανθρώπου πάνω στη Γη, ιδιαίτερα κατά τον τελευταίο αιώνα, έγινε απόλυτη και ολοκληρωτική. Η εξουσιαστική δράση του ανθρώπου πάνω στο γήινο οικοσύστημα μεγεθύνθηκε υπέρμετρα με την ανάπτυξη και ασύνετη χρήση της τεχνολογίας.

Ο σύγχρονος πολιτισμός, έχοντας αρνηθεί σε μεγάλο βαθμό κάθε αξία πανανθρώπινη και διαχρονική, έχει παγιδευτεί σε μια χρηστική, συμφεροντολογική και κοντόφθαλμη λογική: Αξίζει εκείνο που αποφέρει βραχυπρόθεσμα κέρδος, και καθετί που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ικανοποιηθούν εμφυτευμένες ανάγκες. Από τους κανόνες του παιχνιδιού έχουν εκλείψει σχεδόν παντελώς εκείνοι οι περιορισμοί που αφορούν τις πραγματικές ανάγκες και το σεβασμό του συνανθρώπου και, πολύ περισσότερο, του φυσικού περιβάλλοντος.

Όλα αυτά δε μένουν, βέβαια, χωρίς να πληρωθεί βαρύ αντίτυπο. Ο υπερκαταναλωτισμός και η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων του πλανήτη, ο υπερπληθυσμός και η σοβαρή διατάραξη του οικοσυστήματος εγκυμονούν τεράστιους κινδύνους για το μέλλον του πολιτισμού μας.

Θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν κάποια από τα προβλήματα αυτά, αν ήταν εφικτός ο εποικισμός του διαστήματος ή η ίδρυση αποικιών σε άλλα πλανητικά συστήματα του Γαλαξία;

Μια τέτοια προοπτική δεν αντιμετωπίζει την ουσία του προβλήματος, παρέχει όμως στον άνθρωπο τη δυνατότητα να ονειρεύεται και να ελπίζει σε ένα καλύτερο μέλλον.

Η επιβίωση ή ο αφανισμός του πολιτισμού μας είναι δυνατότητες που συνδέονται αποκλειστικά με τον τρόπο σκέψης και με τις σχέσεις των ανθρώπων μεταξύ τους και με το φυσικό τους περιβάλλον. Αν θέλουμε η Γη να είναι ένας φιλόξενος τόπος για μας και τις επόμενες γενιές, θα πρέπει να κατανοήσουμε τα σύμπατα του κινδύνου καταστροφής της και να επιλέξουμε έναν περισσότερο ανθρώπινο και φυσικό τρόπο ζωής. Ας θεωρήσουμε τη Γη ως μια εξέδρα στο Διάστημα, πάνω στην οποία αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες και επιστήμες με στόχο την ευτυχία του ανθρώπου και την αναζήτηση της αλήθειας για τον γύρω μας φυσικό κόσμο.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Οι πυρήνες των ατόμων των στοιχείων, από τα οποία αποτελούνται και οι ζωντανοί οργανισμοί, σχηματίστηκαν στα πρώτα στάδια της Ιστορίας του Σύμπαντος και στους πυρήνες των αστέρων.
- Η εμφάνιση ζωής σε ένα πλανητικό σύστημα προϋποθέτει την ικανοποίηση πολλών παραγόντων. Ο τύπος του αστέρα του συστήματος και η ύπαρξη ενός πλανήτη σε κατάλληλη απόσταση απ' αυτόν είναι δύο από τους πιο βασικούς.
- Το φαινόμενο της ζωής είναι απόλυτα συμβατό με τους φυσικούς νόμους. Ωστόσο, δε γνωρίζουμε πώς έγινε η μετάβαση από την ανόργανη στη ζωντανή ύλη.
- Μέχρι σήμερα δεν έχει ανιχνευτεί ζωή που να προέρχεται από άλλα εκτός της Γης σημεία του Σύμπαντος.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Που και πώς σχηματίστηκαν τα βαρύτερα στοιχεία που υπάρχουν στη Γη; Πώς βρέθηκαν σ' αυτήν;
2. Μια μετατόπιση της Γης από την τροχιά της ποιες συνέπειες θα είχε, κατά τη γνώμη σου, στη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη;
3. Θα μπορούσε να εμφανιστεί ζωή σε έναν πλανήτη ενός αστέρα τύπου Ο ή Β; Τεκμηρίωσε την απάντησή σου.
4. Αναδιατύπωσε με δικά σου λόγια την πρόταση: «Το φαινόμενο της ζωής είναι μια δυνατότητα που εμπεριέχεται στους συγκεκριμένους φυσικούς νόμους με βάση τους οποίους λειτουργεί το Σύμπαν.»
5. Πολλοί υποστηρίζουν ότι ένας πολιτισμός με τεχνολογία λίγο ανώτερη της δικής μας θα μπορούσε να εποικίσει ολόκληρο το Γαλαξία μέσα σε λιγότερο από 10 εκατομμύρια χρόνια, χρονικό διάστημα μικρό σε σχέση με τα 5 δισεκατομμύρια χρόνια που χρειάζονται για την ανάπτυξή του. Δεδομένου ότι δεν έχουμε ακόμα έρθει σε επαφή με κάποιον εξωγήινο πολιτισμό, σε τι συμπεράσματα οδηγούμαστε;
6. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το χρονικό διάστημα που είναι πιθανό να επιβιώσει ο ανθρώπινος πολιτισμός; Ποιά είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του;
7. Τι είναι και σε τι αποβλέπει το πρόγραμμα SETI; Ποια είναι τα μέχρι τώρα αποτελέσματά του;
8. Ποια είναι τα μέχρι τώρα αποτελέσματα της έρευνας για την ύπαρξη άλλων πλανητικών συστημάτων;





# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I

## Φυσικές σταθερές

Πλαγκόσμια σταθερά της βαρύτητας	$G = 6,6726 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{gr}^{-1} \cdot \text{sec}^{-2}$
Ταχύτητα του φωτός στο κενό	$c = 2,9979 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$
Σταθερά του Planck	$h = 6,62608 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$
Σταθερά του Wien	$\sigma_w = 2,898 \text{ cm} \cdot \text{K}$
Σταθερά του Boltzmann	$k = 1,380658 \times 10^{-16} \text{ erg} \cdot \text{grad}^{-1}$
Σταθερά των Stefan-Boltzmann	$\sigma = 6,6697 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{grad}^{-4}$
Μάζα πρωτονίου	$m_p = 1,6726231 \times 10^{-24} \text{ gr}$
Μάζα νετρονίου	$m_n = 1,6726231 \times 10^{-24} \text{ gr}$
Μάζα ηλεκτρονίου	$m_e = 9,1093897 \times 10^{-28} \text{ gr}$
Μάζα του ατόμου του υδρογόνου	$m_H = 1,673534 \times 10^{-24} \text{ gr}$

## Αστρονομικά στοιχεία

Αστρονομική μονάδα	$1 \text{ A.U.} = 1,4959789 \times 10^{13} \text{ cm}$
Έτος φωτός	$1 \text{ l.y.} = 9,46053 \times 10^{17} \text{ cm}$
Παρσέκ	$1 \text{ pc} = 206.265 \text{ A.U.}$ $= 3,262 \text{ ε.φ.} = 3,0857 \times 10^{18} \text{ cm}$
Αστρικό έτος	$= 3,155815 \times 10^7 \text{ sec}$
Τροπικό έτος	$= 3,155693 \times 10^7 \text{ sec}$
Μέσον αστρική ημέρα	$= 23^h 56^m 04.09054^s$
Ηλιακή ημέρα	$= 86.400 \text{ sec}$
Μάζα του Ήλιου	$= 1,989 \times 10^{33} \text{ gr}$
Ισημερινή ακτίνα του Ήλιου	$= 6,9599 \times 10^{10} \text{ cm}$
Φωτεινότητα του Ήλιου	$= 3,82 \times 10^{33} \text{ erg} \cdot \text{sec}^{-1}$
Ενεργός θερμοκρασία του Ήλιου	$= 5770 \text{ K}$
Ηλιακή σταθερά	$S = 1,36 \times 10^3 \text{ Watt} \cdot \text{m}^{-2}$
Φαινόμενο οπτικό μέγεθος του Ήλιου	$m_H = -26,8$
Απόλυτο οπτικό μέγεθος του Ήλιου	$M_H = 4,8$
Μάζα της Γης	$= 5,9742 \times 10^{27} \text{ gr}$
Ισημερινή ακτίνα της Γης	$= 6,37814 \times 10^8 \text{ cm}$
Μάζα της Σελήνης	$= 7,348 \times 10^{25} \text{ gr}$
Ακτίνα της Σελήνης	$= 1,738 \times 10^8 \text{ cm}$

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

**Οι 88 αστερισμοί. Τα διεθνή ονόματά τους και τα σύμβολά τους.**

Andromeda	And	Ανδρομέδα
Antlia	Ant	Αντλία
Apus <sup>1</sup>	Aps	Πτηνόν
Aquarius	Aqr	Υδροχόος
Aquila	Aql	Αετός
Ara	Ara	Βωμός
Aries	Ari	Κριός
Auriga	Aur	Ηνίοχος
Bootes	Boo	Βοώτης
Caelum <sup>1</sup>	Cae	Γλυφείον
Camelopardalus	Cam	Καμπλοπάρδαλις
Cancer	Cnc	Καρκίνος
Canes Venatici	CVn	Θηρευτικοί Κύνες
Canis Major	CMa	Μέγας Κύων
Canis Minor	CMi	Μικρός Κύων
Capricornus	Cap	Αιγόκερως
Carina	Car	Τρόπις
Cassiopeia	Cas	Κασσιώπη
Centaurus	Cen	Κένταυρος
Cepheus	Cep	Κηφέυς
Cetus	Cet	Κήτος
Chamaeleon <sup>1</sup>	Cha	Χαμαιλέων
Circinus <sup>1</sup>	Cir	Διαβήτης
Columba	Col	Περιστερά
Coma Berenices	Com	Κόμη Βερενίκης
Corona Australis	CrA	Νότιος Στέφανος
Corona Borealis	CrB	Βόρειος Στέφανος
Corvus	Crv	Κόραξ
Crater	Crt	Κρατήρ
Crux <sup>1</sup>	Cru	Νότιος Σταυρός
Cygnus	Cyg	Κύκνος
Delphinus	Del	Δελφίν
Dorado <sup>1</sup>	Dor	Δοράς
Draco	Dra	Δράκων
Equuleus	Equ	Ιππάριον
Eridanus	Eri	Ηριδανός
Formax	For	Κάμινος
Gemini	Gem	Δίδυμοι
Grus	Gru	Γερανός
Hercules	Her	Ηρακλής
Horologium <sup>1</sup>	Hor	Ωρολόγιον
Hydra	Hya	Ύδρα
Hydrus <sup>1</sup>	Hyi	Ύδρος

Indus <sup>1</sup>	Ind	Ινδός
Lacerta	Lac	Σαύρα
Leo	Leo	Λέων
Leo Minor	LMi	Μικρός Λέων
Lepus	Lep	Λαγώσ
Libra	Lib	Ζυγός
Lupus	Lup	Λύκος
Lynx	Lyn	Λύγξ
Lyra	Lyr	Λύρα
Mensa <sup>1</sup>	Men	Τράπεζα
Microscopium	Mic	Μικροσκόπιον
Monoceros	Mon	Μονόκερως
Musca <sup>1</sup>	Mus	Μυία
Norma	Nor	Γνώμων
Octans <sup>1</sup>	Oct	Οκτάς
Ophiuchus	Oph	Οφιούχος
Orion	Ori	Ωρίων
Pavo <sup>1</sup>	Pav	Ταώς
Pegasus	Peg	Πήγασος
Perseus	Per	Περσεύς
Phoenix	Phe	Φοίνιξ
Pictor <sup>1</sup>	Pic	Οκρίβας
Pisces	Psc	Ιχθύες
Piscis Austrinus	PsA	Νότιος Ιχθύς
Puppis	Pup	Πρύμνη
Pyxis	Pyx	Πυξίς
Reticulum <sup>1</sup>	Ret	Δίκτυον
Sagitta	Sge	Βέλος
Sagittarius	Sgr	Τοξότης
Scorpio	Sco	Σκορπιός
Sculptor	Scl	Γλύπτης
Scutum	Sct	Ασπίς
Serpens	Ser	Όφις
Sextans	Sex	Εξάς
Taurus	Tau	Ταύρος
Telescopium <sup>1</sup>	Tel	Τηλεσκόπιον
Triangulum	Tri	Τρίγωνον
Triangulum Australe <sup>1</sup>	TrA	Νότιον Τρίγωνον
Tucana <sup>1</sup>	Tuc	Τουκάνα
Ursa Major	UMa	Μεγάλη Άρκτος
Ursa Minor	UMi	Μικρά Άρκτος
Vela	Vel	Ιστία
Virgo	Vir	Παρθένος
Volans <sup>1</sup>	Vol	Ιπτάμενος Ιχθύς
Vulpecula	Vul	Αλώπηξ

<sup>1</sup> αστερισμοί του Νοτίου Ημισφαιρίου αόρατοι από την Ελλάδα.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III

Οι 20 λαμπρότεροι αστέρες του Ουρανού

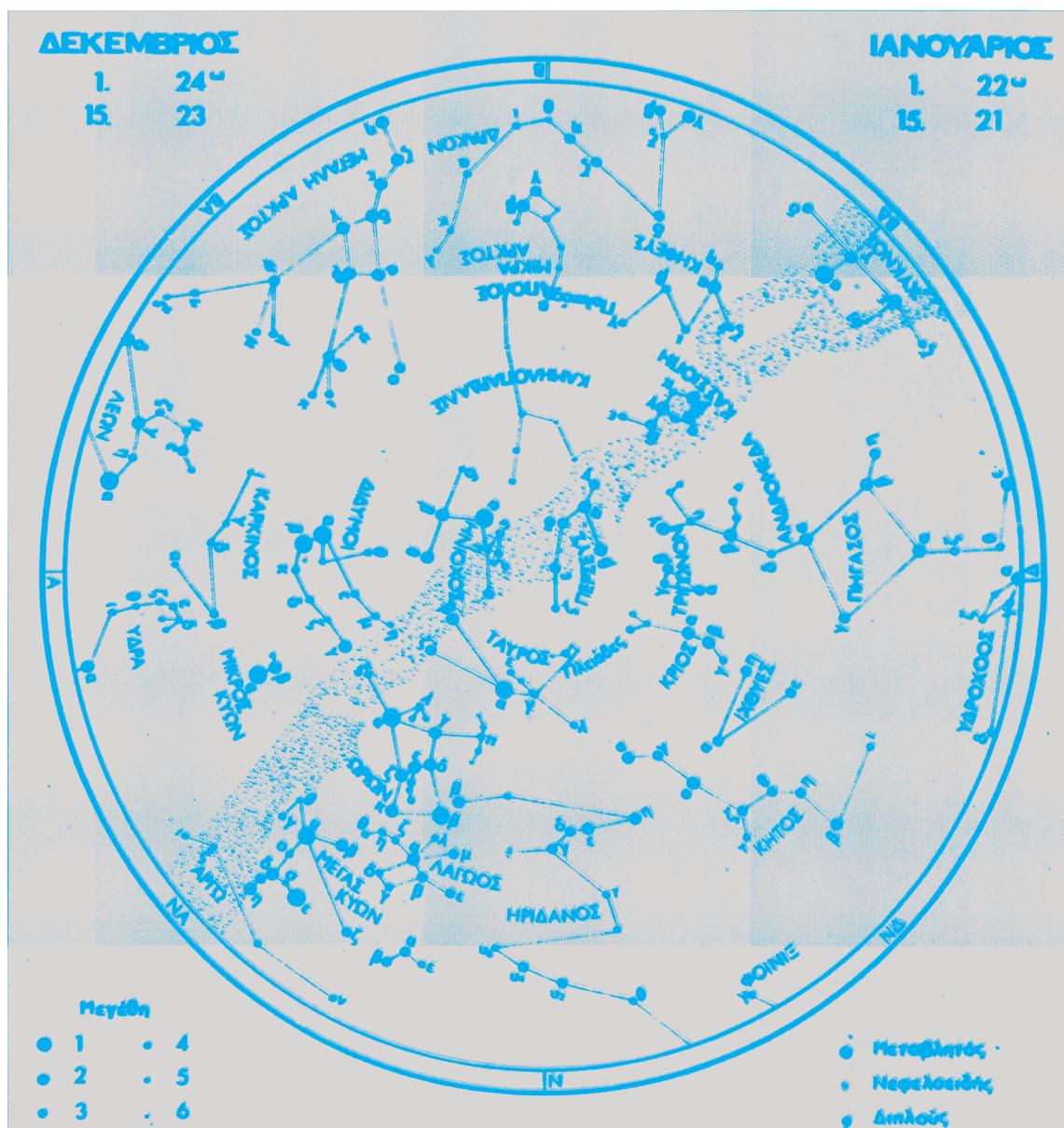
αστέρας	όνομα	φαινόμενο οπτικό μέγεθος	απόλυτο μέγεθος	φασματικός τύπος	απόσταση (pc)
α CMa A	Sirius	-1,46	+1,42	A1 V	2,7
α Car	Canopus	-0,72	-3,1	F0 I <sub>II</sub>	30
α Boo	Arcturus	-0,06	-0,3	K2 III	11
α Cen A	Rigel Kentaurus	+0,01	+4,39	G2 V	1,3
α Lyr	Vega	+0,04	+0,5	A0 V	8,1
α Aur	Capella	+0,05	-0,6	G8 III	13,8
β Ori A	Rigel	+0,14	-7,1	B8 I <sub>a</sub>	276
α CMi A	Prokyon	+0,37	+2,7	F5 IV-V	3,5
α Ori	Betelgeuse	+0,41	-5,6	M2 I <sub>ab</sub>	160
α Eri	Achernar	+0,51	-2,3	B3 V	36
β Cen AB	Hadar	+0,63	-5,2	B1 III	150
α Aql	Altair	+0,77	+2,2	A7 IV-V	5,1
α Tau A	Aldebaran	+0,86	-0,7	K5 III	21
α Vir	Spica	+0,91	-3,3	B1 V	67
α Sco A	Antares	+0,92	-5,1	M1 I <sub>b</sub>	160
α Psc A	Formalhaut	+1,15	+2,0	A3 V	6,9
β Gem	Pollux	+1,16	+1,0	K0 III	10,7
α Cyg	Deneb	+1,26	-7,1	A2 I <sub>a</sub>	490
β Cru	Beta Crucis	+1,28	+4,6	B0,5 III	150
α Leo A	Regulus	+1,36	-0,7	B7 V	271

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

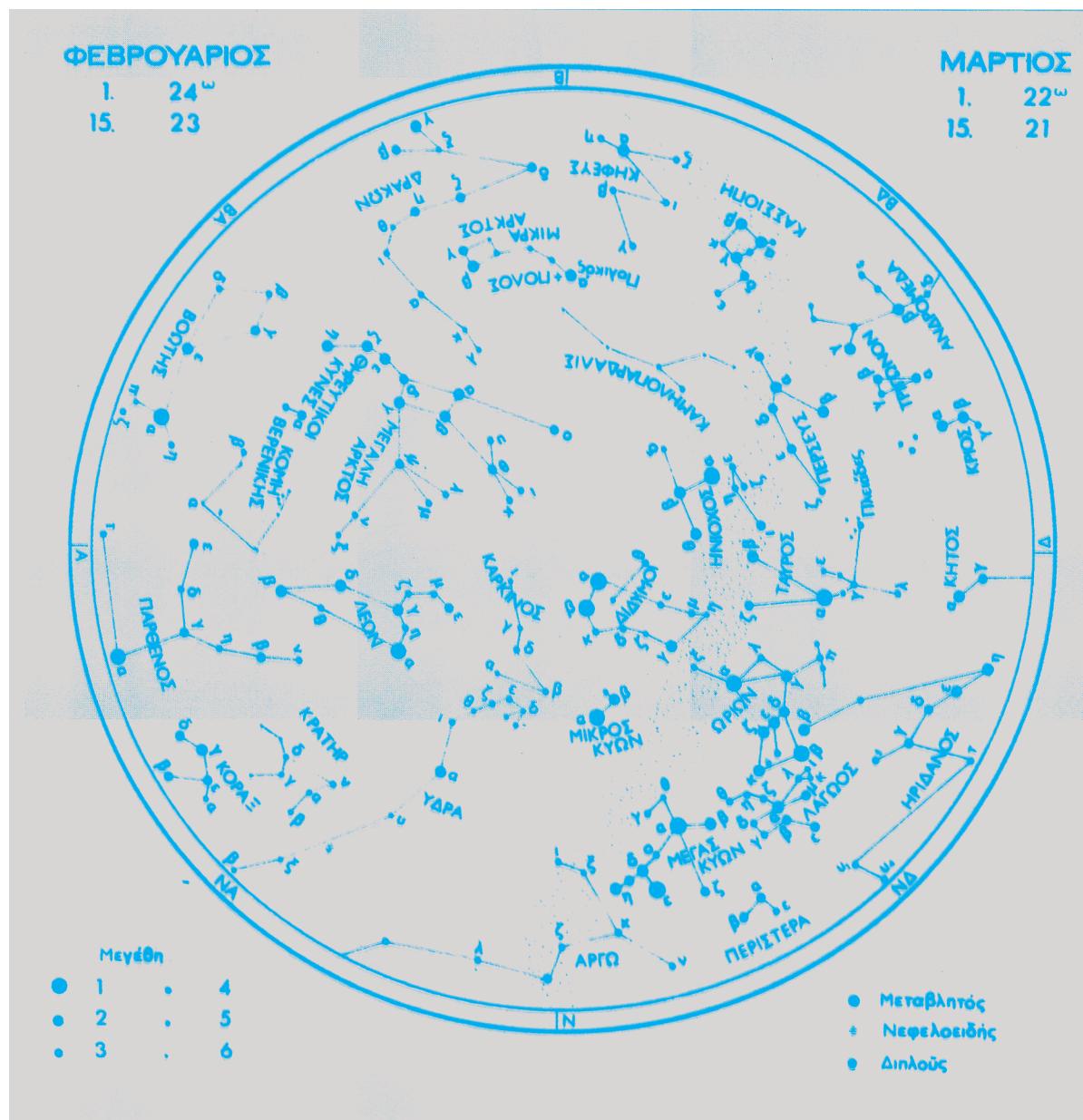
## ΕΠΟΧΙΑΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ<sup>1</sup>

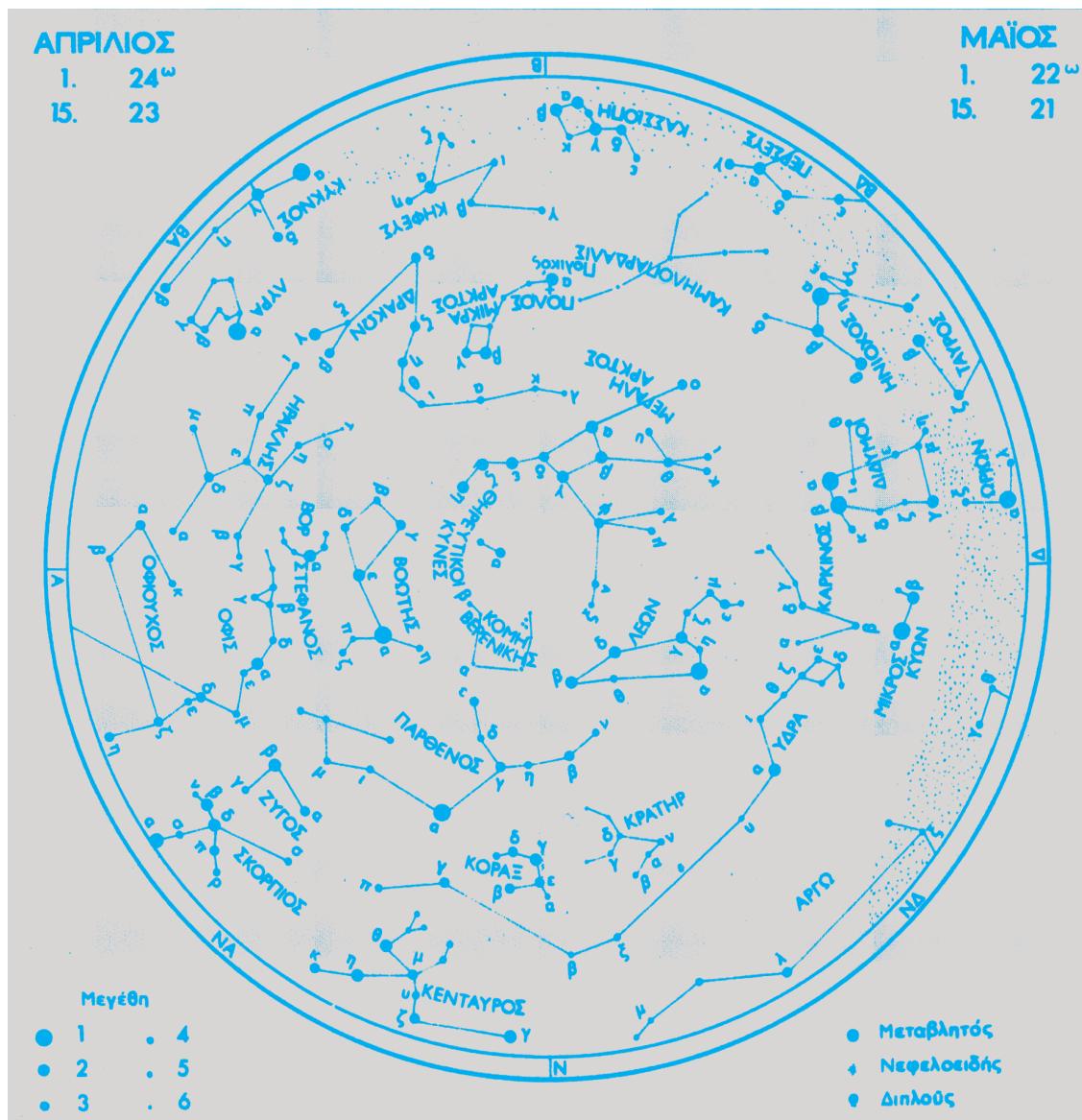
### Οδηγίες για τη χρήση των χαρτών

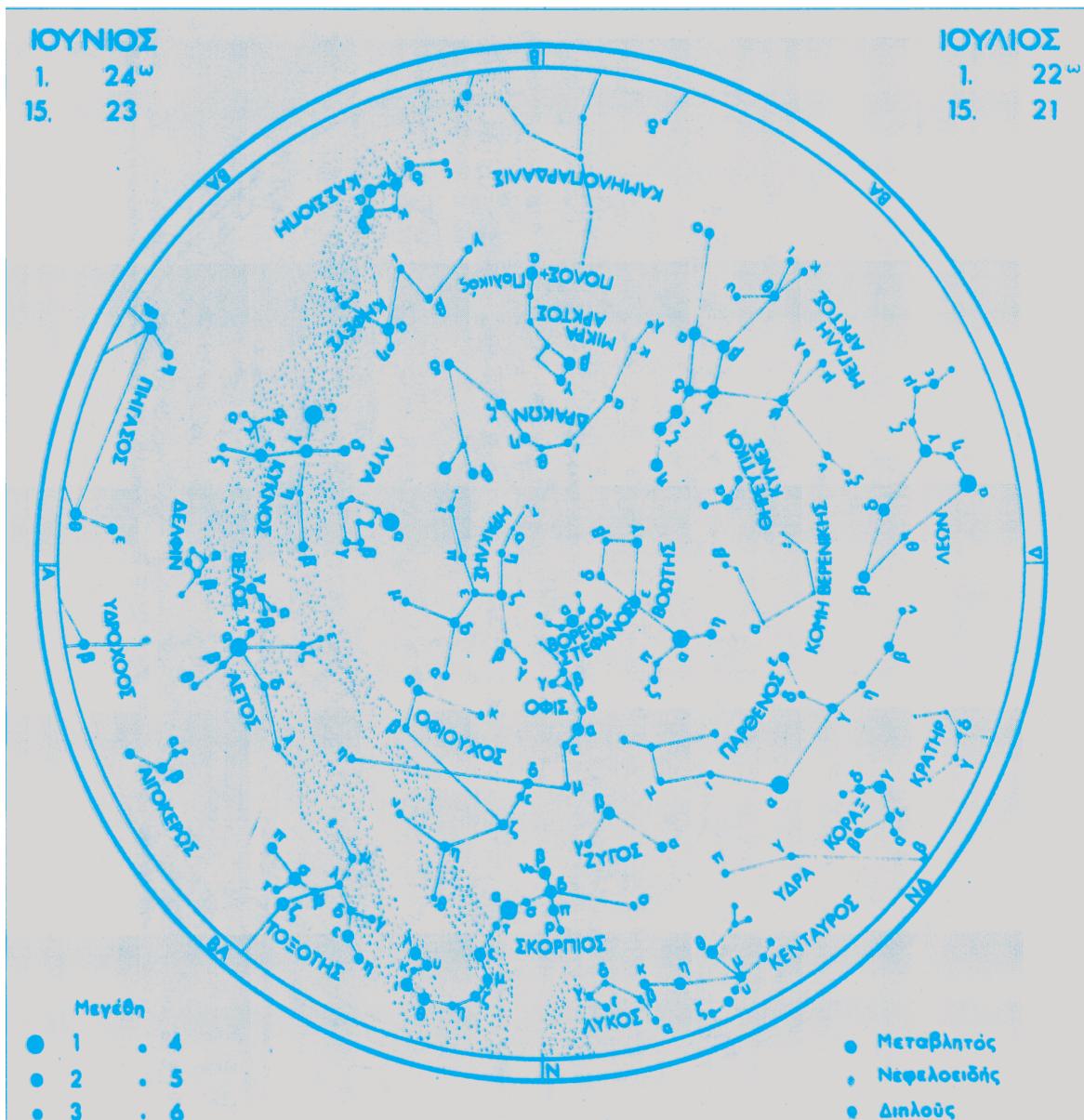
Κάθε χάρτης παρουσιάζει την όψη του ουρανού για τη χρονική περίοδο στην οποία αναφέρεται. Στο περιθώριο κάθε χάρτη σημειώνονται τα σημεία του ορίζοντα, Β (Βορράς), Ν (Νότος) κτλ. Για να αντιστοιχίσουμε το χάρτη στον ουρανό και να βρούμε το ουράνιο σώμα που μας ενδιαφέρει, κρατάμε το χάρτη κατακόρυφα μπροστά μας, ώστε το σημείο του ορίζοντα προς το οποίο είμαστε στραμμένοι να βρίσκεται στο κατώτερο σημείο. Με αυτόν τον τρόπο τα σημεία του χάρτη από το κατώτερο σημείο μέχρι το κέντρο του αντιστοιχούν στα σημεία του ουρανού μεταξύ του ορίζοντα προς τον οποίο είμαστε στραμμένοι και του ζενίθ του τόπου.

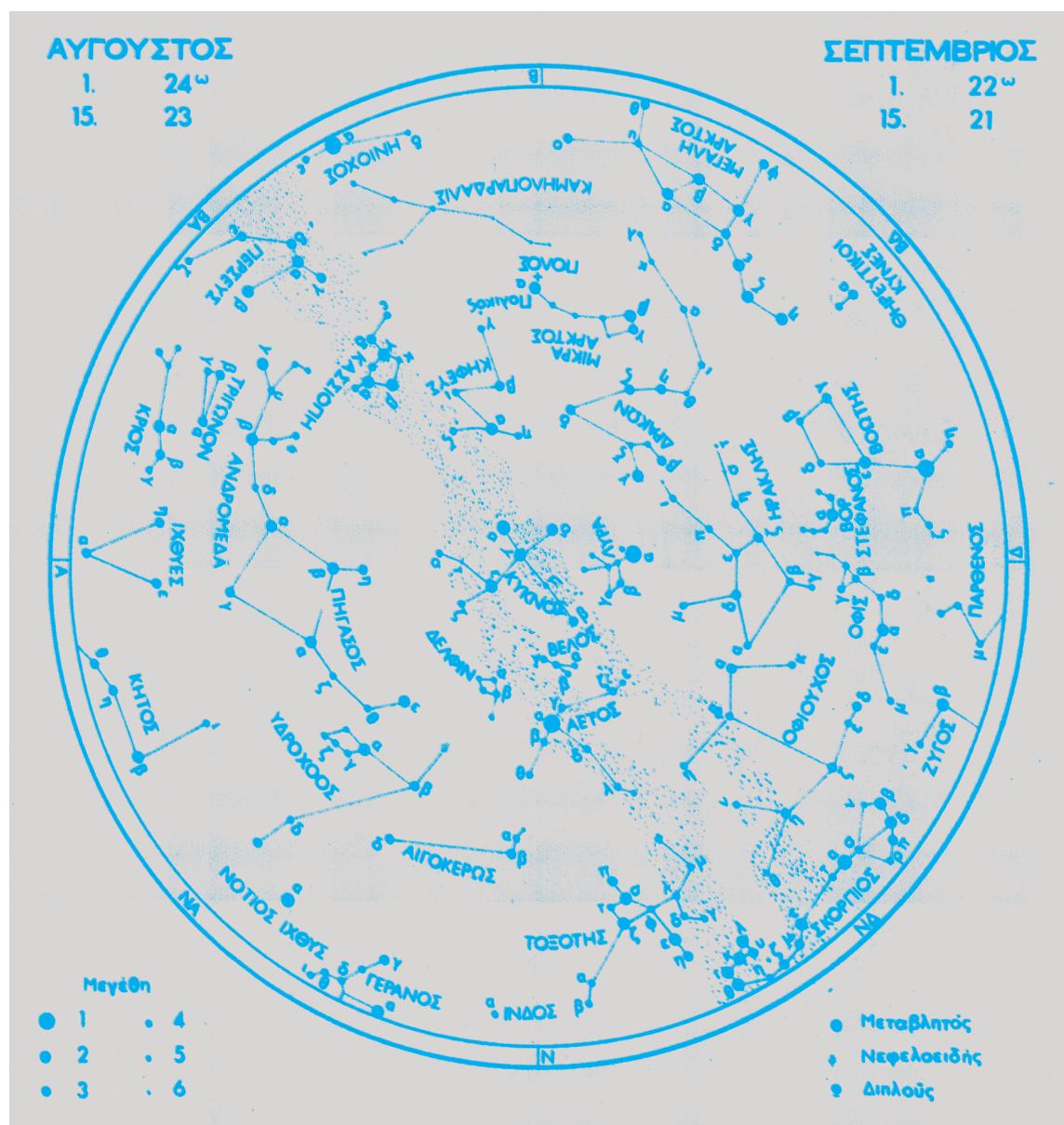


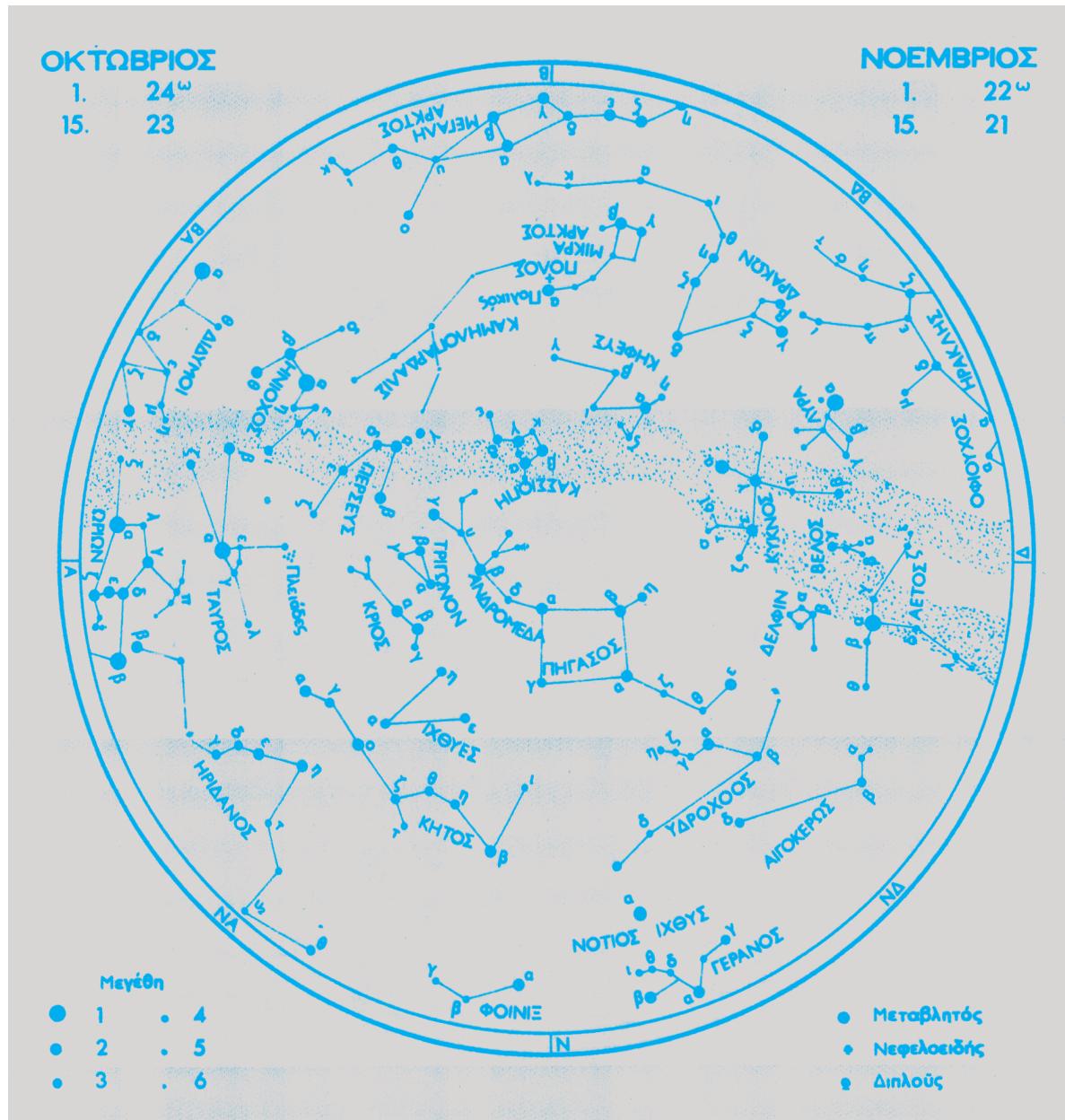
<sup>1</sup> Οι εποχιακοί χάρτες παραχωρήθηκαν ευγενικά από το Ευγενίδειο Πλανητάριο.











# ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ

**αζιμούθιο ενός αστέρα:** Είναι η γωνιώδης απόσταση μεταξύ των εξής δύο σημείων του ορίζοντα ενός τόπου: α) Της τομής του ορίζοντα και του κατακόρυφου κύκλου της ουράνιας σφαίρας που διέρχεται από τον αστέρα, και β) Του σημείου του νότου, όπως προσδιορίζεται πάνω στον ορίζοντα του τόπου. Το αζιμούθιο μετριέται από το σημείο του νότου με κατεύθυνση προς τη δύση. Το αζιμούθιο και το ύψος αποτελούν τις οριζόντιες συντεταγμένες του αστέρα.

**ακτίνες γ:** Ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που αποτελούνται από φωτόνια πολύ υψηλής ενέργειας. Από τη σχέση  $E=hc$ , που συνδέει την ενέργεια ( $E$ ) ενός φωτονίου με τη συχνότητα ( $v$ ) της αντίστοιχης ακτινοβολίας, συμπεραίνουμε ότι οι ακτίνες γ έχουν πολύ μεγάλες συχνότητες και πολύ μικρά μήκη κύματος. Συνήθως παράγονται κατά τις πυρνικές αντιδράσεις και κατά την αποδιέγερση των διεγερμένων πυρήνων των ατόμων.

**ακτίνες Χ:** Ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που αποτελούνται από φωτόνια με ενέργειες μικρότερες από αυτές των φωτονίων γ, αλλά μεγαλύτερες από των φωτονίων της υπεριώδους ακτινοβολίας. Παράγονται κατά την επιτάχυνση πλεκτρονίων υψηλής ενέργειας, όταν αυτά κινούνται μέσα σε Η/Μ πεδίο ή αλληλεπιδρούν με άλλα σωματίδια.

**ακτινική ταχύτητα:** Η συνιστώσα της ταχύτητας ενός ουράνιου αντικειμένου κατά τη διεύθυνση της παρατήρησής του από έναν επίγειο παρατηρητή.

**αλυσίδα πρωτονίου πρωτονίου:** Σειρά πυρνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στους πυρήνες των αστέρων. Οι πυρήνες του υδρογόνου συντίκονται και μέσω ενός μηχανισμού διαδοχικών και παράλληλων πυρνικών αντιδράσεων τελικά παράγονται πυρήνες πλίου και μεγάλες ποσότητες ενέργειας με τη μορφή φωτονίων γ.

**ανάδρομη κίνηση:** Η φαινόμενη κίνηση ενός πλανήτη από την ανατολή προς τη δύση, όπως τον παρατηρεί επίγειος παρατηρητής, ως προς τους απλανείς αστέρες. Σε αντιδιαστολή με την ανάδρομη κίνηση, ονομάζουμε ορθή την κίνηση του πλανήτη από τη δύση προς την ανατολή, ως προς το ίδιο σύστημα αναφοράς.

**αντιύλη:** Ύλη που αποτελείται από αντισωματίδια. Τα αντισωματίδια έχουν ίσες μάζες και αντίθετες τις τιμές όλων των άλλων μεγεθών που τα προσδιορίζουν. Π.χ. το πλεκτρόνιο και το αντισωματίδιό του, που ονομάζεται ποζιτρόνιο, έχουν ίσες μάζες και αντίθετα φορτία. Ζεύγη σωματιδίων και αντισωματιδίων παράγονται από φωτόνια γ υψηλής ενέργειας. Αντίστροφα, δύο αντισωματίδια, που αλληλεπιδρούν, αλληλοανανεώνται και ταυτόχρονα παράγονται φωτόνια γ.

**απόλυτο μέγεθος:** Το μέγεθος (μέτρο λαμπρότητας) που θα είχε ένας αστέρας, αν τον τοποθετούσαμε σε απόσταση 10 parsec από τη Γη.

**απόγειο:** Το πλέον απομακρυσμένο από τη Γη σημείο της τροχιάς αντικειμένου που περιφέρεται γύρω από αυτήν.

**αρχή της ισοδυναμίας:** Η θεμελιώδης υπόθεση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Σύμφωνα με αυτή, δεν μπορεί να γίνει πειραματική διάκριση μεταξύ επιταχύνσεων που οφείλονται σε πεδία βαρύτητας ή στην επιλογή του συστήματος αναφοράς. Αυτό σημαίνει ότι η αδρανειακή και η βαρυτική μάζα είναι ίσες.

**αστέρας νετρονίων:** Αστέρας αποτελούμενος κατά κύριο λόγο από νετρόνια. Έχει εξαιρετικά μεγάλη πυκνότητα και μικρή διάμετρο -της τάξεως των 10 Km. Ο σχηματισμός του είναι ένα ενδεχόμενο της τελευταίας φάσης της ζωής των αστέρων. Ο αστέρας νετρονίων εμφανίζει πολύ ισχυρό βαρυτικό και μαγνητικό πεδίο. Τα παγιδευμένα στο μαγνητικό του πεδίο πλεκτρόνια εκπέμπουν ραδιοκύματα. Λόγω της γρήγορης περιστροφής του, η ένταση των παρατηρούμενων ραδιοκυμάτων παρουσιάζει περιοδικότητα (pulsar).

**αστερισμοί:** Φαινομενικά αναλλοίωτοι σχηματισμοί και ομαδοποιήσεις αστέρων που παρατηρούνται στο νυχτερινό ουρανό.

**αστεροειδείς:** Αντικείμενα του πλανητικού μας συστήματος μικρών διαστάσεων συγκριτικά με τους πλανήτες και τους δορυφόρους τους. Περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο στην περιοχή που γενικά εκτείνεται μεταξύ της τροχιάς του Άρη και του Δία.

**αστρικά σμήνη:** Ομάδες αστέρων οι οποίοι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με αρκετά ισχυρές βαρυτικές έλξεις, λόγω των μικρών αποστάσεων που τους χωρίζουν. Οι αστέρες ενός σμήνους έχουν παρόμοια σύσταση και πλικία, γιατί σχηματίσπικαν την ίδια χρονική περίοδο από το ίδιο νεφέλωμα. Διακρίνονται σε ανοικτά και σε σφαιρωτά.

**αστρικός άνεμος:** Η εκπομπή σωματιδίων ύλης από τους αστέρες προς το διάστημα. Ο ρυθμός εκπομπής αστρικής μάζας με το μηχανισμό του αστρικού ανέμου είναι εξαιρετικά υψηλός στους κόκκινους γίγαντες και στους υπεργίγαντες.

**ατμόσφαιρα:** Το αέριο περίβλημα ενός πλανήτη ή δορυφόρου. Όταν ο όρος αναφέρεται σε αστέρα, υποδηλώνει τα ανώτερα -ορατά- στρώματα της δομής του.

**αφήλιο:** Το πλέον απομακρυσμένο από τον Ήλιο σημείο της τροχιάς αντικειμένου που περιφέρεται γύρω απ' αυτόν.

**βαρύτητα:** Η ιδιότητα όλων των υλικών σωμάτων να έλκονται μεταξύ τους. Η βαρυτική δύναμη είναι η ασθενέστερη από τις τέσσερις δυνάμεις που υπάρχουν στη φύση (οι άλλες τρεις είναι: η πλεκτρομαγνητική, η ισχυρή και η ασθενής αλληλεπίδραση). Ωστόσο, παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στο σχηματισμό των αστέρων και των γαλαξιών και στην εξέλιξη του Σύμπαντος.

**βαρυτική κατάρρευση:** Η συστολή ενός σώματος πολύ μεγάλης μάζας, που οφείλεται στις έλξεις μεταξύ των σωματιδίων που το απαρτίζουν. Η κίνηση της ύλης κατά τη βαρυτική κατάρρευση γίνεται προς το κέντρο της μάζας του σώματος που καταρρέει. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο ο σχηματισμός των γαλαξιών, των αστέρων και των πλανητικών συστημάτων. Η βαρυτική κατάρρευση είναι βασικός δυναμικός παράγοντας στην εξέλιξη του Σύμπαντος.

**γαλαξιακά σμήνη:** Ομάδες γαλαξιών που περιλαμβάνουν λίγα έως μερικές χιλιάδες μέλη. Οι γαλαξίες ενός σμήνους αλληλεπιδρούν με βαρυτικές δυνάμεις. Ο Γαλαξίας ανήκει σε ένα μικρό σμήνος γαλαξιών που ονομάζεται Τοπική Ομάδα.

**γαλαξιακή άλωση:** Σφαιρική περιοχή γύρω από το δίσκο και τον πυρήνα ενός γαλαξίας. Περιέχει σφαιρωτά αστρικά σμήνη, απομονωμένους αστέρες και αραιή μεσοαστρική ύλη.

**γαλαξίας:** Τεράστια συγκέντρωση αστέρων, αερίων, σκόνης και ακτινοβολίας. Η αλληλεπίδραση που κυριαρχεί μεταξύ των υλικών σωμάτων που απαρτίζουν ένα γαλαξία είναι η βαρυτική έλξη. Σε ένα γαλαξία συνήθως παρατηρείται μια σφαιροειδής περιοχή με μεγάλη πυκνότητα αστέρων που ονομάζεται πυρήνας. Γύρω από τον πυρήνα εκτείνεται μια περιοχή μικρότερης πυκνότητας, ο «γαλαξιακός δίσκος». Αν και αυτόνομα συγκροτήματα, οι γαλαξίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με δυνάμεις βαρύτητας.

**Γαλαξίας:** Ο γαλαξίας στον οποίο ανήκει ο Ήλιος και το πλανητικό μας σύστημα. Έχει σπειροειδές σχήμα, ισχυρά πιεσμένο γύρω από το επίπεδο συμμετρίας του. Αποτελείται από τρία ευδιάκριτα μέρη: τον πυρήνα, το δίσκο και την άλω (βλ. σχετικούς όρους). Περιστρέφεται γύρω από το κέντρο του με ταχύτητες που για τους αστέρες του δίσκου είναι περίπου 200 Km/s, ενώ για αστέρες της άλω 50 Km/s.

**Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν:** Στη θεωρία αυτή αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της σχέσης χώρου, χρόνου και βαρύτητας. Το βασικό της αξίωμα είναι η αρχή της ισοδυναμίας, σύμφωνα με την οποία δύο παρατηρητές, από τους οποίους

ο ένας βρίσκεται μέσα σε ομογενές πεδίο βαρύτητας και ο άλλος επιταχύνεται με σταθερή επιτάχυνση, θα αντιληφθούν τα ίδια φυσικά φαινόμενα και θα διατυπώσουν τους ίδιους φυσικούς νόμους. Πειραματικά ελέγχιμες προβλέψεις της Θεωρίας είναι η καμπύλωση του φωτός, όταν διέρχεται κοντά από έναν αστέρα με ισχυρό πεδίο βαρύτητας, η μετατόπιση του περιπλίου του Ήρμη και η μετατόπιση προς το ερυθρό του φάσματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από πολύ απομακρυσμένα φωτεινά αντικείμενα.

**γίγαντας:** Πολύ λαμπρός αστέρας με ακτίνα 10 έως 100 φορές μεγαλύτερη από την ακτίνα του Ήλιου. Η μάζα του ωστόσο δεν είναι και' ανάγκη μεγαλύτερη από την πλιακή ή από τη μάζα άλλων συνηθισμένων αστέρων. Το μεγάλο μέγεθος και η φωτεινότητά του οφείλεται στην εξάντληση του υδρογόνου του πυρήνα του και στην έναρξη πυρηνικών αντιδράσεων μεταξύ βαρύτερων στοιχείων. Αυτό σημαίνει ότι ο αστέρας πλησιάζει προς το τέλος της ζωής του.

**γωνιώδης απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων:** Η γωνία που σχηματίζουν οι ευθείες παρατήρησης των δύο αντικειμένων.

**διάγραμμα Hertzsprung-Russel:** Παριστάνει τη σχέση μεταξύ του φασματικού τύπου -που συνδέεται άμεσα με τη θερμοκρασία- και της φωτεινότητας -που εξαρτάται από το απόλυτο μέγεθος- των αστέρων. Περίπου το 90% των αστέρων που έχουν καταγραφεί βρίσκονται σε μια ζώνη που διασχίζει διαγώνια το διάγραμμα H-R και ονομάζεται Κύρια Ακολουθία. Στην Κύρια Ακολουθία βρίσκονται οι αστέρες στους οποίους η βαρυτική κατάρρευση ισορροπείται από την πυρηνική καύση υδρογόνου. Εκτός από αυτή, συναντάμε αστέρες που διανύουν είτε τα πρώτα είτε τα τελευταία στάδια της ζωής τους. Από το διάγραμμα H-R μπορούμε να αντλίσουμε πολύ σημαντικές πληροφορίες που αφορούν την εξέλιξη των αστέρων.

**διαστολή του Σύμπαντος:** Η διαρκής αύξηση των αποστάσεων μεταξύ των σημείων του συμπαντικού χώρου. Το φαινόμενο αυτό ανακαλύφτηκε από τον Hubble κατά τη μελέτη της κίνησης των πλέον απομακρυσμένων από τη Γη γαλαξιών. Λόγω της διαστολής του Σύμπαντος, οι αποστάσεις μεταξύ των γαλαξιακών σμηνών αυξάνονται διαρκώς μεταξύ τους. Η προοπτική ενός διαστελλόμενου ή συστελλόμενου Σύμπαντος είχε προβλεφτεί Θεωρητικά από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein.

**διαφορική περιστροφή:** Η περιστροφή ενός σώματος κατά την οποία διαφορετικά τμήματά του έχουν διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες περιστροφής (και επομένως διαφορετικές περιόδους περιστροφής).

**διέγερση ενός ατόμου:** Η κατάσταση ενός ατόμου, στο οποίο ένα ή περισσότερα πλεκτρόνια έχουν μεταπιδήσει από τις θεμελιώδεις τροχιές τους σε τροχιές υψηλότερης ενέργειας. Η κατάσταση αυτή είναι ασταθής. Τα πλεκτρόνια γρήγορα επιστρέφουν

στις αρχικές τους τροχιές εκπέμποντας φωτόνια. Τότε λέμε ότι το άτομο αποδιεγείρεται. Διέγερση ενός ατόμου συμβαίνει, όταν αυτό απορροφά ένα φωτόνιο ή όταν συγκρούεται με κάποιο άλλο σωματίδιο.

**διπλός αστέρας:** Ένα σύστημα δύο αστέρων που βρίσκονται αρκετά κοντά, ώστε να αλληλεπιδρούν ισχυρά με βαρυτικές έλξεις. Αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης αυτής είναι να κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές γύρω από το κέντρο της μάζας τους. Το φαινόμενο αυτό είναι αρκετά συχνό στο Γαλαξία. Επειδή η απόσταση μεταξύ των αστέρων του ζεύγους είναι μικρή, δεν μπορούμε να τους διαχωρίσουμε με γυμνό μάτι ή με μικρό τηλεσκόπιο.

**δίσκος συσσώρευσης:** Βλέπε ενεργός γαλαξιακός πυρήνας.

**δυναμική ισορροπία:** Κατάσταση ισορροπίας ενός συστήματος που επιτυγχάνεται από την αμοιβαία εξουδετέρωση διαδικασιών που εξελίσσονται προς αντίθετες κατευθύνσεις. Για παράδειγμα, η ισορροπία ενός αστέρα συμβαίνει, όταν η κατάρρευση της ύλης του λόγω βαρύτητας αντισταθμίστει από τη διαδικασία των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων.

**εγκάρσια ταχύτητα αστέρα:** Η συνιστώσα της ταχύτητας του αστέρα που είναι κάθετη στην ευθεία παρατήρησή του.

**είδωλο:** Η εικόνα ενός αντικειμένου που σχηματίζεται από ένα κάτοπτρο ή φακό. Ένα είδωλο μπορεί να είναι πραγματικό, εφόσον μπορεί να προβληθεί πάνω σε κάποια οθόνη, ή φανταστικό, εφόσον δεν υπάρχει τέτοια δυνατότητα.

**εκλειπτική:** Η φαινόμενη επίσια τροχιά του Ήλιου ως προς τους απλανείς αστέρες που καταγράφει ένας επίγειος παρατηρητής μέσα σε ένα έτος. Η εκλειπτική, ουσιαστικά, είναι η προβολή της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο πάνω στην ουράνια σφαίρα. Η τροχιά της Γης προβάλλεται σε ένα μέγιστο κύκλο της ουράνιας σφαίρας, που σχηματίζει γωνία με τον ουράνιο ισημερινό. Η γωνία αυτή ονομάζεται «λόξωση της εκλειπτικής» και οφείλεται στην κλίση του άξονα της Γης ως προς το επίπεδο της τροχιάς της.

**έκλειψη:** Ονομάζεται το φαινόμενο που παρατηρείται, όταν τρία κινούμενα σώματα βρεθούν σε τέτοιες θέσεις, ώστε το ένα απ' αυτά να εισέλθει στη σκιά του ενός από τα άλλα δύο. Το αποτέλεσμα είναι η μερική ή ολική απόκρυψη του τρίτου σώματος.

**έλλειμμα μάζας:** Η συνολική μάζα των σωματιδίων -πυρήνων και στοιχειωδών σωματιδίων- που προκύπτουν από μια πυρηνική αντίδραση είναι μικρότερη από την ολική μάζα των αντιδρώντων. Η διαφορά αυτή ονομάζεται έλλειμμα μάζας. Είναι το ποσό της μάζας που έχει μετατραπεί σε ισοδύναμο ποσό ενέργειας με τη μορφή φωτονίων.

**έλλειψη:** Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του επιπέδου, των οποίων το άθροισμα των αποστάσεων από δύο δεδομένα

σημεία είναι σταθερό. Τα δεδομένα σημεία ονομάζονται εστίες της έλλειψης. Μια έλλειψη μπορεί να προκύψει από την τομή ενός επιπέδου με έναν κώνο. Για το λόγο αυτό ανήκει στις καμπύλες που ονομάζονται κωνικές τομές (άλλες κωνικές τομές είναι η υπερβολή και η παραβολή). Η τροχιά ενός πλανήτη γύρω από τον Ήλιο -αν αγνοήσουμε δυναμικές διαταραχές που αλλοιώνουν τη μορφή της τροχιάς- είναι έλλειπτη.

**ενεργός γαλαξιακός πυρήνας:** Συμπαγής, περιορισμένων διαστάσεων κεντρική περιοχή ενός γαλαξία, από την οποία εκπέμπονται πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας. Ενεργούς πυρήνες παρατηρούμε στους γαλαξίες Seyfert, στους ραδιογαλαξίες, στα κράζαρς κ.λπ. Επικρατεί η άποψη ότι η παρατηρούμενη ακτινοβολία προέρχεται από ένα δίσκο συσσώρευσης αερίων, ο οποίος περιβάλλει μια πολύ μεγάλη μάζας μελανή οπή που βρίσκεται στο κέντρο του πυρήνα. Τα σωματίδια του αερίου επιταχύνονται μέσα στο ισχυρότατο βαρυτικό πεδίο της μελανής οπής και εκπέμπουν Η/Μ ακτινοβολία. Ο δίσκος συσσώρευσης σχηματίζεται από μεσοαστρική ύλη που έλκεται από τη μελανή οπή και πλησιάζει προς αυτήν ακολουθώντας σπειροειδή τροχιά.

**επανασύνδεση:** Το φαινόμενο της επανένωσης ενός ελεύθερου πλεκτρονίου με ένα θετικό ίον. Κατά την επανασύνδεση εκπέμπεται ακτινοβολία, της οποίας το φάσμα περιέχει ένα συνεχές υπόβαθρο και διακριτές φασματικές γραμμές. Το συνεχές τμήμα οφείλεται στην επιτάχυνση του πλεκτρονίου κατά τη διαδικασία της επανασύνδεσης, ενώ το γραμμικό σε διαδοχικές μεταβάσεις του σε ατομικές στιβάδες όλο και χαμηλότερης ενέργειας.

**επιστημονικό μοντέλο:** Νοητική κατασκευή δομημένη με τη βοήθεια της Λογικής και των Μαθηματικών πάνω σε μικρό αριθμό θεμελιώδων υποθέσεων. Βασική επιδίωξη ενός επιστημονικού μοντέλου είναι η περιγραφή και ερμηνεία του φυσικού κόσμου, μέσα στον οποίο ζούμε και είμαστε μέρος του. Η επιβεβαίωση ή διάψευση των προτάσεων που απορρέουν από ένα επιστημονικό μοντέλο και αφορούν φαινόμενα του φυσικού κόσμου γίνεται με την παρατήρηση και το πείραμα.

**έτος φωτός:** Η απόσταση που διανύει το φως σε ένα έτος. Ένα έτος φωτός ισούται με  $9,5 \times 10^{12}$  Km.

**ζενίθ:** Το σημείο στο οποίο η κατακόρυφη ενός τόπου συναντά το ορατό -από τον τόπο αυτό- μέρος της ουράνιας σφαίρας.

**ζωδιακός κύκλος:** Σύνολο δώδεκα γενικά αστερισμών που περιβάλλουν την εκλειπτική. Ο Ήλιος κατά τη φαινόμενη επίσια κίνησή του κατά μήκος της εκλειπτικής προβάλλεται διαδοχικά στους αστερισμούς του ζωδιακού κύκλου. Το ίδιο συμβαίνει και με τη Σελήνη καθώς και με τους πλανήτες του πλανητικού συστήματος, εκτός από τον Πλούτωνα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι τροχιές της Σελήνης και των πλανητών βρίσκονται πολύ κοντά στο επίπεδο της τροχιάς της Γης, επομένως και της εκλειπτικής.

Αντίθετα, η τροχιά του Πλούτωνα σχηματίζει σημαντική γωνία με την τροχιά της Γης, με συνέπεια ν προβολή της να μην πέφτει μέσα στην ζώνη του ζωδιακού κύκλου.

**Ζώνη ακτινοβολίας:** Ζώνη που περιβάλλει τον πυρήνα του Ήλιου ή ενός αστέρα και αποτελείται από ιονισμένη ύλη. Τα φωτόνια γ που έχουν παραχθεί στον πυρήνα απορροφούνται και επανεκπέμπονται από τα φορτισμένα ατομικά σωματίδια. Έτσι, ακολουθώντας μια εντελώς τυχαία διαδρομή και χάνοντας διαρκώς ενέργεια πλησιάζουν προς την επόμενη ζώνη, τη ζώνη μεταφοράς.

**Ζώνη μεταφοράς:** Η ζώνη μεταφοράς αρχίζει αμέσως μετά τη ζώνη ακτινοβολίας, όταν η θερμοκρασία της πλιακής ή αστρικής ύλης πέσει στους 1.000.000 K. Στην περιοχή αυτή, επειδή η ενέργεια των φωτονίων έχει ελαττωθεί σημαντικά, κυρίαρχος τρόπος διάδοσης της ενέργειας είναι τα ρεύματα μεταφοράς ύλης. Με το μπχανισμό αυτό η ενέργεια που είχε παραχθεί στον πυρήνα καταφέρνει να φτάσει τελικά στη φωτόσφαιρα και από εκεί να ακτινοβοληθεί στο διάστημα.

**πλεκτρομαγνητική ακτινοβολία:** Η φύση της H/M ακτινοβολίας είναι διπλή. Η ερμηνεία ορισμένων φαινομένων (διάθλαση, περίθλαση, συμβολή) μας επιβάλλει να δεχτούμε ότι αποτελείται από H/M κύματα διαφόρων συχνοτήτων. Αντίθετα, όταν η H/M ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη, εμφανίζει σωματιδιακή συμπεριφορά. Φαίνεται ότι αποτελείται από ένα σύνολο σωματιδίων, καθένα από τα οποία μεταφέρει ένα εντελώς συγκεκριμένο ποσό (κβάντο) ενέργειας, το φωτόνιο.

**πλιακές κπλίδες:** Σκοτεινοί σχηματισμοί της φωτόσφαιρας. Εμφανίζουν ισχυρότατο, σε σχέση με το πλιακό, μαγνητικό πεδίο και η θερμοκρασία τους είναι χαμπλότερη από τη θερμοκρασία των περιοχών που τις περιβάλλουν. Το ισχυρό τους μαγνητικό πεδίο επηρεάζει έντονα τα ρεύματα μεταφοράς πλιακής ύλης από το εσωτερικό του Ήλιου προς τη φωτόσφαιρα. Ο αριθμός των πλιακών κπλίδων μεταβάλλεται περιοδικά με μέση περίοδο 11,2 έτη. Η περίοδος αυτή ονομάζεται πλιακός κύκλος.

**πλιακές προεξοχές:** Νέφη αερίων πάνω από τη φωτόσφαιρα και μέσα στην χρωμόσφαιρα του Ήλιου, με χαμπλότερη θερμοκρασία από τις περιοχές που τα περιβάλλουν. Το σχήμα τους προσδιορίζεται από το μαγνητικό πεδίο της περιοχής της ενεργού πλιακής περιοχής όπου βρίσκονται. Διατηρούνται αρκετούς μήνες πριν εξαφανιστούν.

**πλιακή έκλαμψη:** Ξαφνική και μικρής διάρκειας αύξηση της λαμπρότητας περιοχών της χρωμόσφαιρας. Το μέγιστο της λαμπρότητας παρατηρείται για μερικά λεπτά, ενώ η συνολική διάρκεια του φαινομένου φτάνει τη μια ώρα περίπου. Κατά την έκλαμψη ελευθερώνονται πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας  $10^{21}$  -  $10^{25}$  Joule) με τη μορφή σωματιδιακής και πλεκτρομαγνητικής

ακτινοβολίας. Θεωρείται ότι η αιτία των εκλάμψεων είναι οι απότομες τοπικές μεταβολές της έντασης του πλιακού μαγνητικού πεδίου. Ωστόσο, οι λεπτομέρειες του φυσικού μηχανισμού που τις προκαλεί δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητές.

**πλιακός άνεμος:** Ροή φορτισμένων σωματιδίων, κυρίως πρωτονίων και πλεκτρονίων, που εκπέμπονται από το πλιακό στέμμα προς το διάστημα. Η κίνηση των σωματιδίων που αποτελούν τον πλιακό άνεμο επηρεάζεται από το πλιακό μαγνητικό πεδίο. Ο σχηματισμός του πλιακού ανέμου οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία του στέμματος: Οι ταχύτητες των σωματιδίων -λόγω της υψηλής θερμοκρασίας- είναι τόσο μεγάλες, που το βαρυτικό πεδίο του Ήλιου αδυνατεί να τα συγκρατήσει έτσι, ώστε να μορφοποιηθεί μια σταθερή ατμόσφαιρα.

**πλιακός κύκλος:** Η μέση περιοδικότητα των 11,2 περίπου ετών που εμφανίζει η πλιακή δραστηριότητα. Στις αιτίες του φαινομένου αυτού συγκαταλέγονται το πλιακό μαγνητικό πεδίο, τα ρεύματα μεταφοράς ιονισμένων σωματιδίων και η διαφορική περιστροφή του Ήλιου.

**πλιοκεντρική αστρική παράλλαξη:** Η γωνιακή μετατόπιση της θέσης ενός αστέρα στην ουράνια σφαίρα που παρατηρεί ένας επίγειος παρατηρητής από διαφορετικά σημεία της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο. Η μέγιστη τιμή της πλιοκεντρικής παράλλαξης παρατηρείται από δύο αντιδιαμετρικά σημεία της τροχιάς της Γης.

**πλιοστάσιο:** Το σημείο της φαινόμενης τροχιάς του Ήλιου κατά το οποίο η ημέρα ή αντίστοιχα η νύχτα σε έναν τόπο παρουσιάζει μέγιστη διάρκεια. Στο βόρειο ημισφαίριο το θερινό πλιοστάσιο -μέγιστη ημέρα- συμβαίνει στις 22 Ιουνίου και το χειμερινό -μέγιστη νύχτα- στις 22 Δεκεμβρίου.

**θερμική ακτινοβολία:** Η πλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα θερμό σώμα. Η κατανομή της ενέργειας στο συνεχές τμήμα του φάσματος της θερμικής ακτινοβολίας προσδιορίζεται από τη θερμοκρασία του σώματος.

**ιονισμένο αέριο:** Αέριο του οποίου τα μόρια ή και τα άτομα έχουν ιονιστεί, δηλαδή έχουν αποβάλει πλεκτρόνια και έχουν μετατραπεί σε θετικά ιόντα. Ένα ιονισμένο αέριο γενικά περιέχει ιόντα, ελεύθερα πλεκτρόνια και ουδέτερα άτομα ή μόρια. Βασικές αιτίες ιονισμού είναι οι ισχυρές συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων του αερίου που συμβαίνουν, όταν η θερμοκρασία του είναι υψηλή και η αλληλεπίδρασή τους με φωτόνια ακτινοβολίας μεγάλως συχνότητας.

**ιονισμός:** Η διαδικασία κατά την οποία ένα ουδέτερο άτομο ή μόριο αποκτά ή αποβάλλει ένα ή περισσότερα πλεκτρόνια και μετατρέπεται σε αρνητικό ή θετικό ιόν αντίστοιχα.

**ιονόσφαιρα:** Στρώμα της γήινης ατμόσφαιρας που εκτείνεται από 100 έως 700 Km περίπου. Η ιονόσφαιρα περιέχει ελεύθερα πλεκτρόνια και θετικά ιόντα σε υψηλές συγκεντρώσεις. Τα φορτισμένα σωματίδια της ιονόσφαιρας έχουν δημιουργηθεί από την αλληλεπίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας και ακτίνων X με μόρια οξυγόνου και αζώτου.

**ισημερία:** Το σημείο της φαινόμενης τροχιάς του Ήλιου κατά το οποίο η διάρκεια της ημέρας είναι ίση με τη διάρκεια της νύχτας σε έναν τόπο. Οι ισημερίες συμβαίνουν στις 21 Μαρτίου -εαρινή ισημερία- και στις 23 Σεπτεμβρίου -φθινοπωρινή ισημερία-. Κατά τις ισημερίες η φαινόμενη ημερόσια κίνηση του Ήλιου πραγματοποιείται πάνω στον ουράνιο ισημερινό.

**καινοφανής (nova):** Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, ο όρος δηλώνει την απότομη και θεαματική αύξηση της λαμπρότητας ενός διπλού αστέρα που αποτελείται από ένα λευκό νάνο και έναν αστέρα που ανήκει στην Κύρια Ακολουθία του διαγράμματος H-R. Τα βασικά σημεία του μηχανισμού που οδηγεί στην παραπρούμενη έκρηξη του αστέρα είναι: α) η μεταφορά αστρικής ύλης προς το λευκό νάνο και β) η επιτάχυνση από το ισχυρό βαρυτικό του πεδίο και η επακόλουθη υπερθέρμανσή της.

**καστανός νάνος:** Αντικείμενο που σχηματίζεται από τμήμα μεσοαστρικού νέφους μάζας μικρότερης του 8% της πλιακής. Λόγω της μικρής του μάζας, στον πυρήνα του καστανού νάνου η θερμοκρασία και η πίεση δεν αποκτούν αρκετά υψηλές τιμές, ώστε να ξεκινήσουν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Η βαρυτική κατάρρευση του «αστέρα» εξουδετερώνεται από την πίεση που ασκεί η ισχυρά συμπιεσμένη ύλη του πυρήνα του.

**κβάζαρ (ημιαστέρας):** Εξωγαλαξιακό αντικείμενο που εκπέμπει τεράστια ποσά ενέργειας -περίπου όσον εκπέμπουν μαζί 100 υπεργιγάντιοι γαλαξίες. Τα κβάζαρς εκπέμπουν ακτινοβολία κυρίως στην ορατή και υπέρυθρη περιοχή του φάσματος καθώς και στα ραδιοκύματα και στις ακτίνες X. Η ακτινοβολία τους παρουσιάζει έντονη μετατόπιση προς την ερυθρή περιοχή του φάσματος. Το γεγονός αυτό εξηγείται, αν δεχθούμε ότι κινούνται με πάρα πολύ μεγάλες ταχύτητες που πλησιάζουν το 90% της ταχύτητας του φωτός. Πιστεύεται ότι τα κβάζαρς αποτελούνται από μια εξαιρετικά μεγάλης μάζας μελανή οπή, γύρω από την οποία έχει σχηματιστεί ένας δίσκος υπέρθερμης ύλης. Ο δίσκος τροφοδοτείται διαρκώς με νέα ύλη που παγιδεύεται από το βαρυτικό πεδίο της μελανής οπής.

**κόκκινος γίγαντας:** Αστέρας πολύ μεγάλων διαστάσεων, του οποίου η επιφανειακή θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή. Για το λόγο αυτό το φάσμα του είναι μετατοπισμένο προς την περιοχή του ερυθρού και ο αστέρας έχει ερυθρή απόχρωση. Οι κόκκινοι γίγαντες είναι αστέρες που βρίσκονται στα τελευταία στάδια της εξέλιξής τους. Το υδρογόνο του πυρήνα τους έχει εξαντληθεί και έχει αρχίσει η πυρηνική καύση βαρύτερων στοιχείων.

**κομήτης:** Οι κομήτες είναι σώματα μικρής μάζας και διαμέτρου από 1 έως 100 Km που βρίσκονται στις παρυφές του πλανητικού συστήματος. Κατά καιρούς πλησιάζουν προς τον Ήλιο ακολουθώντας ελλειπτική τροχιά. Αποτελούνται από ένα στερεό πυρήνα που περιβάλλεται από ένα νέφος αερίου, την κόμη. Η εξάνωση του υλικού του πυρήνα, καθώς ο κομήτης πλησιάζει τον Ήλιο, σχηματίζει ένα τεράστιο νέφος αερίου που ονομάζεται ουρά του κομήτη.

**κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου:** Ακτινοβολία με μήκη κύματος στην περιοχή των ραδιοκυμάτων που οποία διαχέεται ομοιόμορφα και ισότροπα σε ολόκληρο το Σύμπαν. Δεν προέρχεται από συγκεκριμένη πηγή. Είναι υπόλειμμα της θερμικής ακτινοβολίας που ήταν διάχυτη στο Σύμπαν στα πρώτα στάδια της Ιστορίας του μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Η ακτινοβολία υποβάθρου έχει συνεχές φάσμα που αντιστοιχεί στην εκπομπή H/M ακτινοβολίας μελανού σώματος θερμοκρασίας 3 K περίπου.

**κοσμολογική αρχή:** Η υπόθεση ότι το Σύμπαν είναι ομοιογενές και ισότροπο. Με διαφορετική διατύπωση: το Σύμπαν εμφανίζει ιδιότητες που είναι ανεξάρτητες από τη θέση του παρατηρητή και την κατεύθυνση της παρατήρησης.

**κόσμος:** Το Σύμπαν, όπως απεικονίζεται στον ανθρώπινο νου: Μια αρμονικά οργανωμένη ολότητα που λειτουργεί σύμφωνα με ορισμένους νόμους.

**Κύρια Ακολουθία:** Βλέπε διάγραμμα H-R.

**λαμπρότητα:** Ο όρος δηλώνει την ενέργεια που εκπέμπει η πλανήτης από ένα ουράνιο σώμα ανά μονάδα επιφανείας και χρόνου. Σχετίζεται με τη φωτεινότητα καθώς και με το απόλυτο μέγεθος του ουράνιου σώματος.

**λευκός νάνος:** Η τελευταία φάση της εξέλιξης ενός αστέρα μικρής μάζας με μέγεθος όπως του Ήλιου. Μετά την πυρηνική καύση του πλίου στο εσωτερικό των αστέρων της κατηγορίας αυτής, ακολουθεί βαρυτική κατάρρευση. Η κατάρρευση τελικά εξισορροπείται από την πίεση που ασκεί το υπερσυμπιεσμένο αέριο των πλεκτρονίων του πυρήνα του αστέρα. Ο αστέρας δεν περνάει από τη φάση της πυρηνικής καύσης του άνθρακα. Έτσι ένας λευκός νάνος αποτελείται κυρίως από άνθρακα. Η πυκνότητα της ύλης σε ένα λευκό νάνο είναι πολύ μεγάλη ( $10^9 \text{ Kg/m}^3$ ) και το μέγεθός του όσο περίπου της Γης. Στο εσωτερικό του δεν πραγματοποιούνται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Η ακτινοβολία που εκπέμπει οφείλεται στη θερμική του ενέργεια.

**μαγνητόσφαιρα:** Περιοχή του μαγνητικού πεδίου της Γης στην οποία παγιδεύονται φορτισμένα σωματίδια που μεταφέρονται εκεί από τον πλιακό άνεμο. Τα φορτισμένα σωματίδια κινούνται ακολουθώντας ελικοειδείς τροχιές κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου της Γης. Η κίνησή τους αυτή έχει αποτέλεσμα την εκπομπή H/M ακτινοβολίας που πα-

ραπτρείται σε συγκεκριμένες περιοχές της μαγνητόσφαιρας, τις λεγόμενες *ζώνες van Allen*.

**μαύρη τρύπα:** Βλέπε μελανή οπή.

**μαύρος νάνος:** Εξέλιξη ενός λευκού νάνου. Επειδή δε διαθέτει εσωτερικές πηγές ενέργειας, η φωτεινότητά του ελαττώνεται συνεχώς, μέχρις ότου -μετά από πολλά δισεκατομμύρια έτη- καταλήξει σε ένα μαύρο νάνο.

**Μεγάλη Έκρηξη:** Θεωρητικό κοσμολογικό μοντέλο, συμβιβαστό με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Σύμφωνα με τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, ο χώρος, ο χρόνος, η ύλη και η ακτινοβολία δημιουργήθηκαν ταυτόχρονα με μια ασύλληπτη «έκρηξη» που έγινε κάποια χρονική στιγμή στο παρελθόν, περίπου πριν από 10 με 20 δισεκατομμύρια χρόνια. Το μοντέλο αυτό εξηγεί πολύ ικανοποιητικά την ακτινοβολία υποβάθρου στην περιοχή των μικροκυμάτων, τη διαστολή του Σύμπαντος και την προέλευση και αναλογία των ελαφρών στοιχείων στο Σύμπαν.

**μελανή οπή:** Το τελικό στάδιο της εξέλιξης ενός αστέρα πολύ μεγάλης μάζας. Όταν η βαρυτική κατάρρευση δεν μπορεί να αναχαιτιστεί ούτε από την πίεση του υπερσυμπιεσμένου νέφους νετρονίων, τότε ο πυρήνας του αστέρα καταλήγει σε μια μελανή οπή. Η πυκνότητα της ύλης στο εσωτερικό μιας μελανής οπής είναι θεωρητικά άπειρη. Ο χώρος και ο χρόνος παρουσιάζουν ιδιομορφία και το βαρυτικό πεδίο κοντά στη μελανή οπή είναι τόσο ισχυρό, που δεν επιτρέπει τη διαφυγή ούτε της Η/Μ ακτινοβολίας. Η παρατήρηση των μελανών οπών γίνεται έμμεσα: είτε από τις ακτίνες X που εκπέμπονται από την ύλη που έλκουν είτε από τον τρόπο που επηρεάζουν την κίνηση και την κατάσταση γειτονικών τους αστέρων.

**μελανό σώμα:** Ιδανικό -υποθετικό- σώμα που μπορεί να εκπέμψει και να απορροφήσει ακτινοβολίες κάθε συχνότητας όχι, όμως, ισόποσα. Το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα μελανό σώμα είναι συνεχές. Η κατανομή της ενέργειας της ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος -ή συχνότητες- εξαρτάται αποκλειστικά από τη θερμοκρασία του μελανού σώματος.

**μεσοαστρική ύλη:** Η ύλη που ανιχνεύεται μεταξύ των αστέρων του Γαλαξία. Αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και αποτελεί περίπου το 10% της συνολικής γαλαξιακής μάζας.

**μεσογαλαξιακή ύλη:** Η ύλη, αέρια και σκόνη, που ανιχνεύεται στο μεταξύ των γαλαξιών χώρο.

**μεταβλητός αστέρας:** Αστέρας του οποίου τα φυσικά χαρακτηριστικά -φωτεινότητα, θερμοκρασία, φασματικός τύπος κ.λπ.- μεταβάλλονται με το χρόνο. Οι μεταβλητοί αστέρες διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: στους εκλειπτικούς, στους εκρηκτικούς και στους παλλόμενους μεταβλητούς. Στους εκλειπτικούς

η παρατηρούμενη μεταβολή της λαμπρότητας οφείλεται κυρίως στην έκλειψη του ενός αστέρα ως προς τον συνοδό του, αφού οι δύο αστέρες αποτελούν ένα ζεύγος (σύστημα διπλού αστέρα). Στους εκρηκτικούς η παρατηρούμενη απότομη μεταβολή της λαμπρότητας οφείλεται σε έκρηξη του αστέρα, όπως π.χ. στους καινοφανείς και υπερκαινοφανείς. Στους παλλόμενους παρατηρείται περιοδική μεταβολή της λαμπρότητας που οφείλεται σε περιοδική διαστολή και συστολή της ατμόσφαιράς τους.

**μετατόπιση Doppler:** Μετατόπιση των φασματικών γραμμών της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα σώμα λόγω της κίνησής του σε σχέση με τον παρατηρητή. Από τη μέτρηση της μεταβολής του μήκους κύματος που αντιστοιχεί στη μετατόπιση μιας φασματικής γραμμής υπολογίζεται η ακτινική ταχύτητα του σώματος ως προς τον παρατηρητή.

**μετεωρίτες:** Τα μικρά σώματα που κινούνται μέσα στο πλανητικό σύστημα σε διάφορες τροχιές ονομάζονται μετεωροειδή. Όταν ένα μετεωροειδές συναντίσει την ατμόσφαιρα της Γης, εξαερώνεται λόγω τριβής αφήνοντας ένα φωτεινό ίχνος που οφείλεται στη διέγερση του αέρα. Τότε ονομάζεται μετέωρο. Αν είναι αρκετά μεγάλο και ένα τμήμα του φτάσει στο έδαφος, τότε ονομάζεται μετεωρίτης.

**ναδίρ:** Το σημείο στο οποίο η κατακόρυφη ενός τόπου συναντά το μη ορατό, από τον τόπο αυτό, ημισφαίριο της ουράνιας σφαίρας. Το ναδίρ είναι το αντιδιαμετρικό του ζενίθ σημείο της ουράνιας σφαίρας.

**νάνος αστέρας:** Όρος που προέκυψε από τη διάκριση των αστέρων σε δύο βασικές κατηγορίες στους νάνους και στους γίγαντες. Κάθε νάνος αστέρας βρίσκεται στην Κύρια Ακολουθία του διαγράμματος Hertzsprung - Russel. Ο Ήλιος ανήκει στην κατηγορία αυτή.

**νετρίνο:** Στοιχειώδες σωματίδιο με μπδενικό φορτίο, σπιν 1/2 και μάζα μπδενική ή σχεδόν μπδενική. Τα νετρίνα παρουσιάζουν ασθενέστατη αλληλεπίδραση με τα άλλα υλικά σωματίδια. Για το λόγο αυτό η ανίχνευσή τους είναι εξαιρετικά δύσκολη. Νετρίνα παράγονται κατά την αντίδραση πρωτονίου - πρωτονίου στον πυρήνα του Ήλιου. Η ανίχνευση των πλιακών νετρίνων γίνεται με ειδικά «τπλεσκόπια».

**νετρόνιο:** Στοιχειώδες σωματίδιο που το συναντάμε στους πυρήνες όλων, πλην του υδρογόνου, των στοιχείων. Έχει μπδενικό φορτίο, σπιν 1/2 και μάζα ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτήν του πρωτονίου. Όταν είναι ελεύθερο, διασπάται σε πρωτόνιο, πλεκτρόνιο και αντινετρίνο.

**νεφέλωμα:** Νέφος που αποτελείται από μεσοαστρική ύλη, αέρια και σκόνη.

**νέφη του Μαγγελάνου:** Δύο μικροί ανώμαλοι γαλαξίες που ανήκουν στην ίδια τοπική ομάδα με το Γαλαξία. Απέχουν από αυτόν 50-60 Κpc. Είναι ορατοί με γυμνό μάτι από το νότιο ημισφαίριο.

**νόμος του Hubble:** Οι πλέον μακρινοί από τη Γη γαλαξίες και γαλαξιακά σμήνη απομακρύνονται από το Γαλαξία με ακτινικές ταχύτητες που είναι ανάλογες της απόστασής τους από αυτόν. Ο νόμος του Hubble είναι ένας φαινομενολογικός νόμος. Σε συνδυασμό με την κοσμολογική αρχή ερμηνεύεται με βάση την παραδοχή της διαστολής του Σύμπαντος.

**νουκλεοσύνθεση:** Η διαδικασία σύνθεσης όλων των στοιχείων του περιοδικού πίνακα στον πυρήνα των αστέρων μέσα από αλυσίδες θερμοπυρηνικών αντιδράσεων. Τα παραγόμενα στοιχεία διαχέονται στο διάστημα μέσω του αστρικού ανέμου, των εκρήξεων των καινοφανών (nova) και των υπερκαινοφανών (supernova) αστέρων.

**ορατό φάσμα:** Η περιοχή του φάσματος της H/M ακτινοβολίας που είναι αισθητή από το ανθρώπινο μάτι. Εκτείνεται σε μήκη κύματος από  $4.000 \text{ Å}$  έως  $7.000 \text{ Å}$  ( $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ ).

**ορίζοντας:** Το οριζόντιο επίπεδο ενός τόπου που είναι κάθετο στην κατακόρυφη του τόπου. Το επίπεδο αυτό τέμνει την ουράνια σφαίρα σε ένα μέγιστο κύκλο που τη διαχωρίζει στο ορατό και στο μη ορατό, για έναν παραπρηπτή που βρίσκεται στο συγκεκριμένο τόπο, μέρος της.

**ουράνια σφαίρα:** Η φανταστική σφαίρα, στην εσωτερική επιφάνεια της οποίας έχουμε την ψευδαίσθηση ότι βρίσκονται οι αστέρες, οι πλανήτες και όλα τα ουράνια σώματα. Η ουράνια σφαίρα έχει ακαθόριστη ακτίνα και το κέντρο της ταυτίζεται με το κέντρο της Γης. Από έναν επίγειο παραπρηπτή φαίνεται ότι περιστρέφεται μαζί με όλα τα ουράνια σώματα που παραπρούμε σ' αυτήν με κατεύθυνση από την ανατολή προς τη δύση. Ο άξονας της φαινόμενης περιστροφής της ουράνιας σφαίρας είναι η προέκταση του άξονα περιστροφής της Γης.

**παλιρροϊκή δύναμη:** Ονομάζεται η διαφορά του μέτρου της ηλεκτρικής δύναμης που ασκεί η Σελήνη στο νερό των ωκεανών που βρίσκονται πλησιέστερα σ' αυτήν, από το μέτρο της αντίστοιχης δύναμης που ασκεί στο νερό που βρίσκεται στην αντίθετη πλευρά της Γης. Η παλιρροϊκή δύναμη προκαλεί διόγκωση των ωκεανών περίπου κατά τη διεύθυνση που ορίζεται από τα κέντρα της Γης και της Σελήνης. Η διόγκωση αυτή μετατοπίζεται, καθώς η Σελήνη περιστρέφεται γύρω από τη Γη, και προκαλεί τις παλιρροιες. Οι μετακινούμενες υδάτινες μάζες αναπτύσσουν δυνάμεις τριβής που έχουν αποτέλεσμα την επιβράδυνση της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της.

**πάλσαρ:** Πηγή ραδιοκυμάτων που εκπέμπονται με τη μορφή παλμών σε πολύ κανονικά χρονικά διαστήματα. Η ένταση της

ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα πάλσαρ μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι τα πάλσαρ είναι περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων που διαθέτουν ισχυρό μαγνητικό πεδίο.

**παραβολή:** Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του επιπέδου που απέχουν ίσες αποστάσεις από δεδομένη ευθεία και σημείο. Η παραβολή μπορεί να προκύψει από την τομή ενός επιπέδου με μια κωνική επιφάνεια.

**παράλλαξη:** Η γωνιακή μετατόπιση της φαινόμενης θέσης ενός ουράνιου αντικειμένου πάνω στην ουράνια σφαίρα, που οφείλεται στην παρατήρησή του από δύο θέσεις πολύ απομακρυσμένες μεταξύ τους.

**παρσέκ (parsec):** Είναι η απόσταση σημείου, από το οποίο ο μεγάλος πημάξονας της τροχιάς της Γης φαίνεται υπό γωνία ενός δευτερολέπτου της μοίρας. Ένα pc ισούται με 3,262 έτη φωτός.

**περίγειο:** Το πλησιέστερο προς τη Γη σημείο της τροχιάς ενός αντικειμένου που περιφέρεται γύρω από αυτόν.

**περιήλιο:** Το πλησιέστερο προς τον Ήλιο σημείο της τροχιάς ενός αντικειμένου που περιφέρεται γύρω απ' αυτόν.

**περιοχές δράσης:** Περιοχές της φωτόσφαιρας, της χρωμόσφαιρας ή του στέμματος του Ήλιου, στις οποίες παρατηρούνται πολύ έντονα φαινόμενα: Οι κπλίδες, οι πυρσοί, οι προεξοχές και οι εκλάμψεις. Μια από τις βασικές αιτίες των φαινομένων αυτών είναι η ύπαρξη ενός τοπικά ισχυρότατου μαγνητικού πεδίου.

**πλανήτης:** Σώμα που περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο ή κάποιον άλλο αστέρα. Ο πλανήτης δεν εκπέμπει ακτινοβολία από εσωτερικές του πηγές. Ανακλά την ακτινοβολία του αστέρα γύρω από τον οποίο περιστρέφεται. Οι πλανήτες σχηματίστηκαν από τη συμπύκνωση υλικού που περιέβαλε με τη μορφή δακτυλίων τους αστέρες κατά τις πρώτες φάσεις της ζωής τους. Τα μορφώματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης ονομάζονται πρωτοπλανήτες.

**πλανητικό νεφέλωμα:** Πυκνό, συμμετρικό νέφος αερίων που εκπέμπεται από έναν αστέρα που διανύει τα τελευταία στάδια της ζωής του. Συνίθως πρόκειται για τα εξωτερικά στρώματα ενός κόκκινου γίγαντα που κινούνται προς το διάστημα. Ο πυρήνας του αστέρα έχει τιμή μάζας τέτοια, ώστε να εξελίσσεται σε ένα λευκό νάνο.

**πλάσμα:** Ιονισμένη κατάσταση της ύλης. Στην κατάσταση του πλάσματος η ύλη συνίσταται από ιόντα και πλεκτρόνια που κινούνται ελεύθερα. Το πλάσμα σχηματίζεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ή από την αλληλεπίδραση φωτονίων υψηλής συχνότητας με τα ουδέτερα μόρια ή άτομα της ύλης. Πλάσμα συναντάμε στο εσωτερικό των αστέρων, στη μεσοπλανητική ύλη, στον πλιακό άνεμο και στη μαγνητόσφαιρα των πλανητών.

**πυρήνας του Ήλιου:** Το εσώτατο μέρος του Ήλιου. Έχει διάμετρο περίπου 400.000 Km και περιέχει το 60% της πλιακής μάζας. Η ύλη του πυρήνα έχει θερμοκρασία 150.000.000 K και βρίσκεται σε κατάσταση πλάσματος. Στον πυρήνα συμβαίνουν οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, από τις οποίες παράγεται η ενέργεια που απαιτείται για την εξουδετέρωση της βαρυτικής κατάρρευσης και την ισορροπία του Ήλιου. Η ύλη που μετατρέπεται σε ισοδύναμο ποσό ενέργειας μέσω των πυρηνικών αντιδράσεων υπολογίζεται σε 4.000.000 τόνους ανά δευτερόλεπτο.

**πυρηνική αντίδραση:** Κάθε φαινόμενο στο οποίο συμβαίνουν μεταβολές στους πυρήνες των ατόμων των στοιχείων. Οι πυρηνικές αντιδράσεις κατατάσσονται σε δύο ομάδες: Στις πυρηνικές συντήξεις και στις πυρηνικές σχάσεις. Στις συντήξεις δύο πυρήνες ελαφρών στοιχείων κινούμενοι με μεγάλες ταχύτητες πλησιάζουν πολύ κοντά ο ένας τον άλλο και αλληλεπιδρούν ισχυρά. Αποτέλεσμα της αλληλεπιδρασής τους είναι ο σχηματισμός ενός βαρύτερου πυρήνα. Η ολική μάζα των αντιδρώντων σωμάτων είναι μεγαλύτερη από τη μάζα των προϊόντων. Η διαφορά των δύο μετατρέπεται σε ισοδύναμο ποσό ενέργειας με τη μορφή φωτονίων ή και κινητικής ενέργειας των σωματιδίων που προκύπτουν. Στις σχάσεις ένας βαρύς πυρήνας συγκρούεται με ένα σωματίδιο που κινείται με μεγάλη ταχύτητα, π.χ. νετρόνιο, πρωτόνιο ή σωματίδιο α, και διασπάται σε ελαφρύτερους πυρήνες και στοιχειώδη σωματίδια. Και στις πυρηνικές σχάσεις η διαφορά της ολικής μάζας αντιδρώντων και προϊόντων μετατρέπεται σε ενέργεια.

**πυρσοί:** Λαμπροί σχηματισμοί της φωτόσφαιρας του Ήλιου. Έχουν υψηλότερη θερμοκρασία από τις περιοχές που τους περιβάλλουν. Σχετίζονται με τις πλιακές κηλίδες και σχηματίζονται στις ίδιες περιοχές με αυτές. Ο χρόνος της ζωής τους είναι μερικές εβδομάδες.

**πρωτοαστέρας:** Ο όρος προσδιορίζει μια συγκεκριμένη πρώτη φάση της εξέλιξης ενός αστέρα. Στη φάση αυτή έχει διαμορφωθεί το τμήμα του αρχικού νέφους από το οποίο θα προκύψει τελικά ο αστέρας, αλλά δεν έχουν ακόμα ξεκινήσει οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα του. Η χρονική διάρκεια της κατάστασης του πρωτοαστέρα εξαρτάται από τη μάζα του και κυμαίνεται από εκατό χιλιάδες μέχρι δέκα εκατομμύρια χρόνια.

**πρωτογαλαξίες:** Ανομοιογενή νέφη του αρχικού αερίου στο νεαρό Σύμπαν, από τα οποία σχηματίστηκαν με το μπχανισμό της βαρυτικής συστολής οι γαλαξίες. Οι πρωτογαλαξίες σχηματίστηκαν από μικρές τυχαίες διακυμάνσεις της πυκνότητας της ύλης μεγάλων περιοχών του Σύμπαντος, οι οποίες ενισχύθηκαν από τη βαρυτική συστολή. Το φαινόμενο αυτό συνέβη σε χρόνο μεγαλύτερο από 300.000 έτη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, την εποχή που είχαν πλέον σχηματιστεί ουδέτερα άτομα και η H/M ακτινοβολία δεν μπορούσε να αλληλεπιδράσει ισχυρά με την ύλη.

**ράδιο-γαλαξίας:** Γαλαξίας που εκπέμπει ισχυρή ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοκυμάτων. Σύμφωνα με το επικρατέστερο μοντέλο, στο κέντρο των ραδιο-γαλαξιών υπάρχει μια πολύ μεγάλης μάζας μαύρη τρύπα. Η τελευταία έλκει από τις γύρω περιοχές σωματίδια που σχηματίζουν γύρω της ένα δίσκο ιονισμένης ύλης. Τα ραδιοκύματα εκπέμπονται από τα φορτισμένα σωματίδια, που επιταχύνονται κατά την κίνησή τους γύρω από τη μαύρη τρύπα.

**σκοτεινή ύλη:** Ύλη που περιέχεται στο Σύμπαν, αλλά δεν έχει παραπροθεί άμεσα. Η ύπαρξή της συμπεραίνεται έμμεσα από τα αποτελέσματα των βαρυτικών της αλληλεπιδράσεων με άλλα ουράνια αντικείμενα. Στη σκοτεινή ύλη αποδίδεται, για παράδειγμα, η συγκράτηση ορισμένων γαλαξιών σε σμήνη, αν και κινούνται με μεγάλες σχετικές ταχύτητες. Υπολογίζεται ότι η μάζα της σκοτεινής ύλης αποτελεί περίπου το 90% της ολικής μάζας του Σύμπαντος.

**στέψιμα:** Το εξωτερικό μέρος της πλιακής ατμόσφαιρας. Αποτελείται από ιονισμένο αέριο θερμοκρασίας  $10^6$  K. Είναι ορατό κατά τις ολικές πλιακές εκλείψεις.

**Σύμπαν:** Η ολότητα του χώρου, του χρόνου και των αντικειμένων που γνωρίζουμε ή μπορούμε να γνωρίσουμε.

**συνεχές φάσμα:** Το φάσμα ακτινοβολίας που περιέχει όλα τα δυνατά μήκη κύματος μιας περιοχής του Η/Μ φάσματος, χωρίς να διακόπτεται από γραμμές εκπομπής ή απορρόφησης. Συνεχές είναι το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει θερμή ύλη υψηλής πυκνότητας. Επίσης συνεχές είναι το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από φορτισμένα σωματίδια, συνήθως πλεκτρόνια, υψηλής κινητικής ενέργειας που κινούνται μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

**σύστημα αναφοράς:** Σύστημα αξόνων και χρονομέτρου για τη μέτρηση των χωρικών συντεταγμένων και του χρόνου, αντίστοιχα, αναφορικά με το οποίο μελετάμε την κίνηση ενός σώματος. Το σύστημα αναφοράς συνήθως προσαρτάται σε κάποιο ή κάποια συγκεκριμένα σώματα που τα θεωρούμε ακίνητα. Στην Αστρονομία επιλέγονται ως συστήματα αναφοράς η Γη, ο Ήλιος, οι απλανείς αστέρες κ.λπ.

**τηλεσκόπιο:** Διάταξη με τη βοήθεια της οποίας συλλέγουμε ακτινοβολίες μιας συγκεκριμένης περιοχής του φάσματος που εκπέμπονται από ένα ουράνιο αντικείμενο. Οι ακτινοβολίες που συλλέγονται από το τηλεσκόπιο εστιάζονται, καταγράφονται και αναλύονται με κατάλληλες διαδικασίες.

**υπερβολή:** Είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του επιπέδου, των οποίων η διαφορά των αποστάσεων από δύο δεδομένα σημεία είναι σταθερή. Τα δύο δεδομένα σημεία ονομάζονται εστίες της υπερβολής. Η υπερβολή μπορεί να προκύψει από την τομή μιας κωνικής επιφάνειας και ενός επιπέδου. Μαζί με την έλλειψη και την παραβολή αποτελούν τις καμπύλες του επιπέδου, που ονομάζονται κωνικές τομές.

**υπεργίγαντας:** Αστέρας εξαιρετικά μεγάλης διαμέτρου και λαμπρότητας που διανύει τα τελευταία στάδια της ζωής του. Οι υπεργίγαντες βρίσκονται πάνω από την περιοχή των γιγάντων στο διάγραμμα H-R. Μόνο οι αστέρες πάρα πολύ μεγάλης μάζας μπορούν να περάσουν από τη φάση του υπεργίγαντα.

**υπεριώδης ακτινοβολία:** Η/Μ ακτινοβολία με μήκη κύματος μικρότερα της ορατής και μεγαλύτερα των ακτίνων X. Τα μήκη κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας κυμαίνονται από 100 έως 4.000 Å (βλέπε και ορατή ακτινοβολία). Τα φωτόνια των υπεριώδων ακτίνων έχουν ενέργειες μεγαλύτερες από των φωτονίων της ορατής ακτινοβολίας και μικρότερες εκείνων των ακτίνων X.

**υπερκαινοφανής (supernova):** Εξαιρετικά βίαιη έκρηξη ενός αστέρα. Κατά την έκρηξη ενός υπερκαινοφανούς η λαμπρότητα του αστέρα αυξάνει αρκετές εκατοντάδες εκατομμύρια φορές. Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του αστέρα εκτοξεύεται προς το διάστημα με μεγάλες ταχύτητες. Με τον τρόπο αυτόν εμπλουτίζεται η μεσοαστρική ύλη με βαρέα στοιχεία (βλ. νουκλεοσύνθεση). Ο πυρήνας του αστέρα καταρρέει και καταλήγει σε έναν αστέρα νετρονίων ή μια μαύρη τρύπα.

**ύψος ενός αστέρα:** Το τόξο (μετρημένο σε μοίρες) του κατακόρυφου κύκλου της ουράνιας σφαίρας που διέρχεται από τον αστέρα και ορίζεται από τον αστέρα και την τομή του κατακόρυφου κύκλου με τον ορίζοντα. Το ύψος παίρνει τιμές από 0° έως 90°. Μαζί με το αζιμούθιο αποτελούν τις οριζόντιες συντεταγμένες του αστέρα.

**φαινόμενο μέγεθος:** Μέτρο της φαινόμενης λαμπρότητας ενός αστέρα που παραπρεί ένας επίγειος παρατηρητής. Είναι συνάρτηση της φωτεινότητας του αστέρα, της απόστασής του από τη Γη και του ποσοστού της ακτινοβολίας που απορροφά η μεταξύ αστέρα και Γης μεσοαστρική ύλη. Η κλίμακα μέτρησης του φαινόμενου μεγέθους έχει οριστεί έτσι, ώστε, όσο λαμπρότερος είναι ένας αστέρας, τόσο μικρότερη είναι η αριθμητική τιμή του φαινόμενου μεγέθους του.

**φάση της Σελήνης:** Η οπτική εικόνα του σεληνιακού δίσκου που βλέπει ένας επίγειος παρατηρητής. Οι φάσεις της Σελήνης καθορίζονται από τις σχετικές θέσεις του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης.

**φάσμα απορρόφησης:** Το φάσμα της Η/Μ ακτινοβολίας που προκύπτει, όταν ακτινοβολία με συνεχές φάσμα διέλθει μέσα από κάποιο υλικό σώμα. Το υλικό σώμα απορροφά τα Η/Μ κύματα που έχουν συχνότητες ίδιες με εκείνα που μπορεί να εκπέμψει. Έτσι, η τυπική μορφή ενός φάσματος απορρόφησης χαρακτηρίζεται από ένα συνεχές υπόβαθρο που διακόπτεται από σκοτεινές γραμμές.

**φάσμα εκπομπής (γραμμικό):** Το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από διάπυρα αέρια σε χαμηλή πίεση. Περιέχει

εντελώς συγκεκριμένες και διακριτές τιμές μήκους κύματος. Η θέση των φασματικών γραμμών, δηλαδή οι τιμές των μηκών κύματος των φωτονίων που περιέχει η εκπεμπόμενη ακτινοβολία, εξαρτάται από το είδος των ατόμων, μορίων και άλλων δομικών λίθων, από τους οποίους αποτελείται το αέριο. Δηλαδή, υπάρχει αντιστοιχία του φάσματος εκπομπής και της χημικής σύστασης της πηγής.

**φασματικοί τύποι αστέρων:** Ομάδες στις οποίες ταξινομούνται οι αστέρες σε συνάρτηση με τις θέσεις των σκοτεινών και την ένταση των φωτεινών γραμμών του φάσματος απορρόφησης που εμφανίζει η ακτινοβολία που εκπέμπουν. Από την ανάλυση του φάσματος και τον προσδιορισμό του φασματικού τύπου ενός αστέρα αντλούμε πληροφορίες για τη χημική του σύσταση, τη θερμοκρασία και το μέγεθός του.

**φωτεινότητα:** Η ολική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (ισχύς) που ακτινοβολείται από ένα ουράνιο αντικείμενο σε όλα τα μήκη κύματος μαζί.

**φωτόσφαιρα:** Το πρώτο στρώμα της πλιακής ή αστρικής ατμόσφαιρας. Είναι το ορατό τμήμα της πλιακής ή αστρικής δομής. Στη φωτόσφαιρα οφείλεται το φάσμα απορρόφησης της ακτινοβολίας που εκπέμπει ο Ήλιος. Από τη μορφή του πλιακού φάσματος προσδιορίζεται η χημική της σύσταση. Το πάχος της φωτόσφαιρας είναι εκατοντάδες χιλιόμετρα και η θερμοκρασία της μεταβάλλεται από τους 6.000 K, που είναι κοντά στη ζώνη μεταφοράς, στους 4.000 K, όταν πλησιάζουμε τη χρωμόσφαιρα.

**χρωμόσφαιρα:** Είναι το στρώμα της πλιακής ατμόσφαιρας που εκτείνεται μεταξύ της φωτόσφαιρας και του στέμματος. Η θερμοκρασία της αυξάνει από τους 4.000 K, που είναι κοντά στη φωτόσφαιρα, στους 50.000 K, όταν πλησιάζουμε προς το στέμμα. Αποτελείται από αέρια που εκπέμπουν ακτινοβολία με φάσμα γραμμικό (φάσμα εκπομπής). Η χρωμόσφαιρα γίνεται ορατή κατά τις ολικές πλιακές εκλείψεις.

**ωστικό κύμα:** Κύμα κατά το οποίο μια διαταραχή της πυκνότητας, της πίεσης και της θερμοκρασίας διαδίδεται σε ένα αέριο, υγρό ή στερεό με υπερηχητική ταχύτητα.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abell G.O.** : *Exploration of the Universe*, Holt, Rinehart and Winston, New York 1982.
- Audouze J., Israel G., Falque J.C. (eds.)** : *The Cambridge Atlas of Astronomy*, 3rd edition, Cambridge University Press, Cambridge 1994.
- Βάρβογλης Χ. και Σειραδάκης Γ.Χ.** : *Εισαγωγή στην Σύγχρονη Αστρονομία*, Έκδοση Α΄, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 1995.
- Carroll B.W. & Ostlie D.A.** : *An Introduction to Modern Astrophysics*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., New York 1996.
- Chaison E.J. & McMillan S.** : *Astronomy. A Beginner's Guide to the Universe*, 2nd edition, Prentice Hall, New Jersey 1998.
- Γούδης Χ.Δ.** : *Αστροφυσική III. Αστέρες και Μεσοαστρική Ύλη*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 1991.
- Δανέζης Ε. και Θεοδοσίου Ε.** : *Το Σύμπαν που αγάπησα. Εισαγωγή στην Αστροφυσική*, Έκδοση Α΄, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1999.
- Θεοδοσίου Ε. και Δανέζης Ε.** : *Τα άστρα και οι μύθοι τους*, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα 1991.
- Field G.B. & Chaisson E.J.** : *To aθέατο Σύμπαν*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 1990.
- Fisher D. & Duerbeck H.** : *HUBBLE, A new window to the Universe*, Springer-Verlag, New York 1996.
- Kaufmann W.J.** : *Astronomy: The Structure of the Universe*, McMillan Co., New York 1977.
- Κοντόπουλος Γ. και Κωτσάκης Δ.** : *Κοσμολογία. Η Δομή και εξέλιξη του Σύμπαντος*, Αθήνα 1982.
- Κωτσάκης Δ.** : *Νέοι ορίζοντες στην Αστρονομία*, Αθήναι 1977.
- Λασκαρίδης Π. και Νιάρχος Π.** : *Εργαστηριακές Ασκήσεις Αστρονομίας*, Αθήνα 1980.
- Morrison D., Wolff S., Fraknoi A.** : *Abell's Exploration of the Universe*, 7th edition, Saunders College Publishing, Philadelphia 1995.
- Μπάνος Γ.** : *Γενική Αστρονομία*, Ιωάννινα 1985.
- Passachoff J.M.** : *From the Earth to the Universe*, 5th edition, Saunders College Publishing, Philadelphia 1998.
- Roy A.E. & Clarke D.** : *Astronomy: Principles and Practice*, Adam Hilger Ltd, Bristol 1978.
- Roy A.E. & Clarke D.** : *Astronomy: Structure of the Universe*, Adam Hilger Ltd, Bristol 1978.
- Σπύρου Ν.** : *Αρχές Αστρικής Εξέλιξης : Λευκοί Νάνοι, Αστέρες Νετρονίων, Μελανές Οπές*, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 1994.
- Zeilik M.** : *Astronomy. The evolving Universe*, 7th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York 1994.
- Ωραιόπουλος Γ.** : *Η αστρονομία των αρχαίων Ελλήνων. Μυθολογία - Επιστήμη*, Αθήνα 1970.

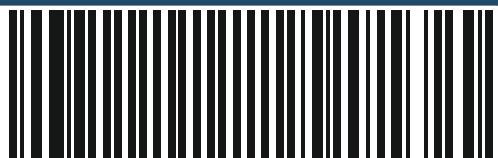
Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946, 108, Α').

*Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.*

Κωδικός Βιβλίου: 0-22-0121  
ISBN 978-960-06-2377-2



Ινστιτούτο  
Τεχνολογιας  
υπολογιστων & εκδοσεων



(01) 000000 0 22 0121 4