

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΦΙΛΑΡΕΤΗ ΚΑΡΑΤΖΟΓΛΟΥ-ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΥ

Πάτρα 2010

Κεφάλαιο 1

Η Ουράνια Σφαίρα

1.1 Εισαγωγικές έννοιες

Όταν κάποιος παρατηρεί τον ουρανό, μια σκοτεινή και ξάστερη νύχτα, έχει την αίσθηση ότι τα ουράνια σώματα βρίσκονται στην εσωτερική επιφάνεια μιας σφαίρας που έχει κέντρο τον παρατηρητή και ακτίνα απροσδιορίστη. Την υποθετική αυτή σφαιρική επιφάνεια ονομάζουμε **ουράνια σφαίρα**. Τις προοπτικές θέσεις των διαφόρων ουρανίων σωμάτων στην επιφάνεια αυτή καλούμε **φαινόμενες θέσεις** (Σχήμα 1.1.1). Η ευθεία που ενώνει το μάτι του παρατηρητή με ένα σημείο πάνω στην ουράνια σφαίρα ονομάζεται **οπτική ακτίνα**.

Κάθε επίπεδο που περνάει από το κέντρο της ουράνιας σφαίρας την τέμνει κατά ένα μέγιστο κύκλο, ενώ οποιοδήποτε άλλο επίπεδο την τέμνει κατά ένα μικρό κύκλο. Το τόξο μεγίστου κύκλου που συνδέει δυο σημεία της ουράνιας σφαίρας καλείται **γωνιώδης απόσταση** και καμία σχέση δεν έχει με την πραγματική απόσταση των σημείων.

Η διεύθυνση της κατακορύφου που περνάει από τη θέση ενός παρατηρητή τέμνει την ουράνια σφαίρα σε δυο σημεία Z, Z' (Σχήμα 1.1.2). Αυτό που βρίσκεται πάνω από το κεφάλι του παρατηρητή ονομάζεται **ζενίθ**, ενώ το αντιδιαμετρικό του ονομάζεται **ναδίρ**. Το επίπεδο που τέμνει κάθετα το ευθύγραμμο τμήμα ζενίθ - ναδίρ και περνάει από το μέσο του, αποτελεί τον **μαθηματικό ορίζοντα**, ενώ **φυσικός ή ορατός ορίζοντας** είναι το μέρος της επιφάνειας της γης που είναι ορατό από τον παρατηρητή. Το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από τα μάτια του παρατηρητή αποτελεί τον **αστρονομικό ορίζοντα**. Οι μέγιστοι κύκλοι που περνούν από τα σημεία ζενίθ και ναδίρ ονομάζονται **κατακόρυφοι κύκλοι**.

1.2 Οι κινήσεις της Γης

Οι κυριότερες κινήσεις της Γης είναι δύο: η περιστροφή της γύρω από τον άξονά της από τη δύση προς την ανατολή (οριθή φορά) και η περιφορά της γύρω από τον Ήλιο σε (περίπου) 365.25 ημέρες.

Αποτέλεσμα της πρώτης κίνησης της Γης είναι η εναλλαγή ημέρας και νύχτας, καθώς και η **φαινόμενη ημερήσια κίνηση** όλης της ουράνιας σφαίρας από την ανατολή προς τη δύση (ανάδρομη φορά). Αυτή η κίνηση γίνεται γύρω από τον άξονα της Γης που περνά από το κέντρο της, τον βόρειο και το νότιο γήινο πόλο και ο οποίος, όταν προεκταθεί, τέμνει την ουράνια σφαίρα στον βόρειο και το νότιο ουράνιο πόλο. Επειδή ο βόρειος πόλος προβάλλεται κοντά στους αστερισμούς της Μικρής και της Μεγάλης Άρκτου, ονομάζεται **αρκτικός**. Ο νότιος πόλος λέγεται **ανταρκτικός**.

Το επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο της Γης και είναι κάθετο στον άξονα περιστροφής της ονομάζεται **ισημερινό επίπεδο**. Αυτό τέμνει τη Γη κατά ένα μέγιστο κύκλο που αποτελεί τον **γήινο ισημερινό**. Το επίπεδο του γήινου ισημερινού, όταν προεκταθεί, τέμνει την ουράνια σφαίρα κατά ένα μέγιστο κύκλο που αποτελεί τον **ουράνιο ισημερινό**.

Ο μέγιστος κύκλος ο οποίος περνάει από τα σημεία ζενίθ και ναδίρ ενός τόπου και τους πόλους της ουράνιας σφαίρας λέγεται **μεσημβρινός**. Όταν ένα ουράνιο σώμα, κατά τη φαινόμενη κίνησή του, διέρχεται από τον μεσημβρινό ενός τόπου, λέμε ότι αυτό **μεσουραναί**. Η πλησιέστερη προς το ζενίθ του τόπου μεσουράνηση ονομάζεται **άνω μεσουράνηση**, ενώ η άλλη **κάτω μεσουράνηση**.

Τα σημεία N και S στα οποία τέμνει ο μεσημβρινός τον ορίζοντα ονομάζονται, αντίστοιχα, βόρειο και νότιο σημείο. Το N βρίσκεται πλησιέστερα στο βόρειο πόλο. Η ευθεία NS καλείται **μεσημβρινή γραμμή**. Τα σημεία E και W που τέμνει ο ισημερινός τον ορίζοντα είναι το ανατολικό και το δυτικό σημείο, αντίστοιχα. Το E βρίσκεται δεξιά του παρατηρητή όταν αυτός είναι στραμένος προς το βόρειο σημείο N . Τα τέσσερα σημεία N , S , E και W είναι τα **σημεία του ορίζοντα** (Σχήμα 1.1.2).

Η περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο οφείλεται στην αμοιβαία βαρυτική έλξη τους. Η τροχιά της Γης είναι μια έλλειψη με μικρή εκκεντρότητα και έχει περίοδο 365,25 ημέρες. Το επίπεδο της τροχιάς είναι σταθερό. Αυτή η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο υπακούει στους τρεις νόμους του Kepler.

Αποτέλεσμα της περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο είναι η **ετήσια φαινόμενη κίνηση** του Ήλιου από δύση προς ανατολή κατά 1° περίπου την ημέρα (Σχήμα 1.2.1). Η φαινόμενη ετήσια τροχιά του Ήλιου ονομάζεται **εκλειπτική**. Ονομάστηκε έτσι γιατί από την αρχαιότητα παρατηρήθηκε ότι, όταν η Σελήνη περνούσε κοντά από αυτή την τροχιά, συνέβαιναν εκλείψεις. Το επίπεδο αυτής της τροχιάς είναι σταθερό και σχηματίζει με το ισημερινό

επίπεδο γωνία $23,5^\circ$ περίπου που καλείται **λόξωση της εκλειπτικής**. Τα σημεία γ και γ' τομής του ισημερινού με την εκλειπτική αποτελούν το **εαρινό** και το **φθινοπωρινό ισημερινό σημείο**, αντίστοιχα. Η ευθεία $\gamma\gamma'$ λέγεται **γραμμή των ισημεριών**. Η κάθετη σ' αυτήν, EE' , ονομάζεται **γραμμή των τροπών**. Στα σημεία E και E' ο Ήλιος έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τον ισημερινό (Σχήμα 1.2.2). Οι αρχαίοι Έλληνες τα ονόμαζαν **ηλιοστάσια** γιατί, κατά το μεσημέρι, ο Ήλιος φαίνεται να διατηρεί σταθερή τη θέση του για μερικές ημέρες. Η διάμετρος της ουράνιας σφαίρας που είναι κάθετη στο επίπεδο της εκλειπτικής λέγεται **άξονας της εκλειπτικής**. Τα άκρα της αποτελούν τους **πόλους της εκλειπτικής**. Ο πόλος που βρίσκεται πιο κοντά στον βόρειο πόλο της ουράνιας σφαίρας είναι ο βόρειος πόλος της εκλειπτικής, ενώ ο άλλος είναι ο νότιος πόλος της εκλειπτικής.

Κατά την αρχαιότητα, η θέση της εκλειπτικής καθοριζόταν με βάση 12 αστερισμούς που βρίσκονται μέσα σε μια σφαιρική ζώνη 8° εκατέρωθεν της εκλειπτικής. Καθένας από αυτούς τους αστερισμούς καταλαμβάνει περιοχή εύρους περίπου 30° (Σχήμα 1.2.3). Κατά σειρά είναι:

**Κριός, Ταύρος, Δίδυμοι, Καρκίνος, Λέων, Παρθένος,
Ζυγός, Σκορπιός, Τοξότης, Αιγόκερως, Υδροχόος, Ιχθείς.**

Κάθε αστερισμός έχει το δικό του σύμβολο. Για τον Κριό χρησιμοποιείται το γ . Επειδή οι αστερισμοί αυτοί έχουν ονόματα κυρίως μικρών ζώων, ονομάστηκαν **ζώδια**, η δε σφαιρική περιοχή που αυτοί καταλαμβάνουν, **ζωδιακός κύκλος**. Ο Ήλιος, η Σελήνη κι οι πλανήτες προβάλλονται πάντα μέσα στο ζωδιακό κύκλο.

Η γραμμή των ισημεριών και η γραμμή των ηλιοστασίων χωρίζουν την εκλειπτική σε 4 άνισα μέρη τα οποία ορίζουν τις 4 εποχές του έτους (Σχήμα 1.2.4). Για το βόρειο ημισφαίριο οι εποχές έχουν ως εξής:

Άνοιξη: έναρξη 21 Μαρτίου, διάρκεια 92 ημέρες και 20,2 ώρες.

Καλοκαίρι: έναρξη 21 Ιουνίου, διάρκεια 92 ημέρες και 14,4 ώρες.

Φθινόπωρο: έναρξη 22 Σεπτεμβρίου, διάρκεια 89 ημέρες και 16,7 ώρες.

Χειμώνας: έναρξη 22 Δεκεμβρίου, διάρκεια 89 ημέρες και 0,5 ώρες.

Η διάρκεια της κάθε εποχής καθορίζεται με βάση το 2ο νόμο του Kepler (νόμος των εμβαδών). Αν οι γραμμές των ισημεριών και των ηλιοστασίων συνέπιπταν με τους άξονες της έλλειψης που γράφει η Γη γύρω από τον Ήλιο, τότε η άνοιξη θα είχε ίση διάρκεια με το καλοκαίρι και το φθινόπωρο με τον χειμώνα.

Εκτός από τις παραπάνω κινήσεις, θα αναφερθούμε σύντομα σε δύο ακόμη κινήσεις της Γης, την **μετάπτωση των ισημεριών** και την **κλόνηση του άξονα**. Και οι δύο οφείλονται στις παρέλξεις του Ήλιου, της Σελήνης και των άλλων πλανητών πάνω στο ισημερινό εξόγκωμα της Γης. Αν, δηλαδή, η Γη είχε σχήμα σφαιρικό τότε δεν θα υπήρχαν αυτά τα δύο φαινόμενα. Επειδή όμως η Γη είναι περίπου σφαιροειδής κι επιπλέον παρουσιάζει εξόγκωμα στον ισημερινό,

έχουμε την μεταπτωτική κίνηση και την κλόνηση. Αυτές οι κινήσεις οφείλονται και στο γεγονός ότι ο άξονας περιστροφής της Γης σχηματίζει γωνία ($23,5^\circ$) με τον άξονα της εκλειπτικής.

Για να κατανοήσουμε την μετάπτωση μπορούμε να δούμε την κίνηση μιας σβούρας (Σχήμα 1.2.5). Ας υποθέσουμε ότι η σβούρα περιστρέφεται γρήγορα γύρω από τον άξονά της, ο οποίος σχηματίζει γωνία με την κατακόρυφη. Θα παρατηρήσουμε ότι, καθώς η σβούρα περιστρέφεται, ο άξονάς της κινείται αργά γύρω από την κατακόρυφη. Το ίδιο κάνει και ο άξονας της Γης, ο οποίος περιφέρεται γύρω από τον άξονα της εκλειπτικής με περίοδο 25.800 χρόνια, γράφοντας μια κωνική επιφάνεια (Σχήμα 1.2.6). Η κλόνηση έχει ως αποτέλεσμα ο πόλος του ισημερινού, αντί να διαγράφει περιφέρεια κύκλου με κέντρο τον πόλο της εκλειπτικής (λόγω της μετάπτωσης), τελικά να διαγράφει μια κλειστή κυματοειδή καμπύλη.

Την μετάπτωση των ισημεριών ανακάλυψε πρώτος ο Ίππαρχος. Καθώς σύγκρινε τις εκλειπτικές συντεταγμένες ορισμένων αστερών που παρατηρούσε με παλιότερες παρατηρήσεις, διαπίστωσε μια ετήσια αύξηση $50,2''$ στο εκλειπτικό μήκος των αστερών αυτών, ενώ το εκλειπτικό πλάτος παρέμενε σταθερό. Αυτό σήμαινε ή ότι όλοι οι αστέρες κινούνταν παράλληλα προς την εκλειπτική (μάλλον απίθανο) ή ότι η αρχή μέτρησης του εκλειπτικού μήκους (δηλαδή το σημείο γ) μετακινείτο. Πράγματι αυτό συνέβαινε, αλλά πέρασαν άλλα 2000 χρόνια μέχρι να το αποδείξει ο Νεύτωνας.

Η μετάπτωση, δηλαδή η κίνηση του πόλου του ισημερινού περί τον πόλο της εκλειπτικής, έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζει ανά τους αιώνες ο πολικός αστέρας, δηλαδή το αστερί που είναι πλησιέστερα στον βόρειο πόλο. Σήμερα πολικός αστέρας είναι ο α της Μικρής Άρκτου. Την εποχή που κατασκευζόταν η πυραμίδα του Χέοπα (πριν από 4600 χρόνια) πολικός αστέρας ήταν ο α του Δράκοντα. Επίσης, αλλάζει η μορφή της ουράνιας σφαίρας. Για παράδειγμα, πριν από 6000 χρόνια ο αστερισμός του Νότιου Σταυρού ήταν ορατός από τις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης. Σήμερα δεν φαίνεται ούτε από τη χώρα μας.

Λόγω της μετάπτωσης έχουν μεταβληθεί τα ζώδια. Την εποχή του Ίππαρχου το σημείο εαρινής ισημερίας γ βρισκόταν στην αρχή του ζωδίου του Κριού (και γι' αυτό χρησιμοποιείται το γ που είναι το σύμβολο του Κριού). Έτσι, κατά την εαρινή ισημερία (21 Μαρτίου) ο Ήλιος έμπαινε στον αστερισμό του Κριού. Μετά από ένα μήνα (21 Απριλίου) περνούσε στον αστερισμό του Ταύρου, κ.ο.κ. Σήμερα το γ έχει μετακινηθεί κατά περίπου 30° , δηλαδή κατά ένα (το αμέσως προηγούμενο) ζώδιο. Δηλαδή το γ τώρα βρίσκεται στην αρχή των Ιχθύων. Κι έτσι, παραδείγματος χάρη, τον Σεπτέμβριο ο Ήλιος δεν προβάλλεται πλέον στον αστερισμό της Παρθένου, αλλά στον αστερισμό του Λέοντα.

1.3 Συστήματα συντεταγμένων

Για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου Σ στην ουράνια σφαίρα χρησιμοποιούμε σφαιρικές συντεταγμένες. Επειδή υποθέτουμε ότι το αστέρι βρίσκεται στην επιφάνεια της ουράνιας σφαίρας (που θεωρούμε ότι έχει ακτίνα 1), χρειαζόμαστε δυο γωνίες. Χρησιμοποιούμε τόξα μεγίστων κύκλων οι οποίοι τέμνονται ορθογώνια. Ως άξονες του συστήματος συντεταγμένων επιλέγουμε δύο μέγιστους κύκλους. Ο ένας ονομάζεται **βασικός κύκλος** και ο άλλος **πρώτος κάθετος** (Σχήμα 1.3.1). Ανάλογα με την επιλογή των δυο αυτών κύκλων, έχουμε τα διάφορα αστρονομικά συστήματα συντεταγμένων. Ο μέγιστος κύκλος που διέρχεται από το σημείο Σ και τους πόλους του βασικού κύκλου καλείται **δεύτερος κάθετος**.

Η θέση του σημείου Σ καθορίζεται από τα δύο τόξα μεγίστων κύκλων ΒΓ και ΓΣ. Το τόξο ΒΓ μετρείται κατά την ορθή ή την ανάδρομη φορά από 0° - 360° ή 0 - 24 ώρες. Το τόξο ΓΣ θεωρείται θετικό όταν είναι πάνω από τον βασικό κύκλο και αρνητικό αν είναι κάτω απ' αυτόν και μετρείται από 0° μέχρι $+90^\circ$ ή από 0° μέχρι -90° .

Τα κυριότερα συστήματα συντεταγμένων αναφέρονται στη συνέχεια.

1.3.1 Γεωγραφικές συντεταγμένες

Η Γη θεωρείται σφαιρική. Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου πάνω στην επιφάνειά της γίνεται με τα τόξα δύο μεγίστων κύκλων. Ως βασικός κύκλος θεωρείται ο γήινος ισημερινός. Ως πρώτος κάθετος θεωρείται ο γήινος μεσημβρινός που περνάει από το παλιό αστεροσκοπείο του Greenwich, έξω από το Λονδίνο. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες είναι το **γεωγραφικό πλάτος** φ και το **γεωγραφικό μήκος** λ (Σχήμα 1.3.2). Το γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου Τ μετρείται πάνω στον μεσημβρινό του τόπου από την τομή του με τον ισημερινό. Είναι θετικό προς βορρά και αρνητικό προς νότο (δηλαδή $|\varphi| \leq 90^\circ$). Το γεωγραφικό μήκος λ προσδιορίζεται από τη διεδρη γωνία που σχηματίζουν τα επίπεδα του μεσημβρινού του Greenwich και του μεσημβρινού του τόπου. Μετρείται πάνω στον ισημερινό από 0° - 180° (ή από 0 - 12 ώρες), αρνητικά προς την ανατολή, θετικά προς τη δύση.

1.3.2 Οριζόντιες συντεταγμένες

Ως βασικός κύκλος θεωρείται ο ορίζοντας του παρατηρητή $AN\Delta B$ (Ανατολή, Νότος, Δύση, Βορράς). Πρώτος κάθετος, ο ουράνιος μεσημβρινός του τόπου $\Pi Z\Pi'\nu$ (Π, Π' οι πόλοι της ουράνιας σφαίρας, Z το ζενίθ, ν το ναδίρ). Για να ορίσουμε τη θέση του αστέρα Σ (Σχήμα 1.3.3) φέρνουμε τον κατακόρυφο κύκλο $Z\Sigma\Sigma'$. Η θέση του Σ ορίζεται πλήρως από τα τόξα $N\Sigma'$ και $\Sigma'\Sigma$

που ονομάζονται, αντίστοιχα, **αζιμούθιο** και **ύψος** του αστέρα Σ . Πολλές φορές, αντί του ύψους $\Sigma'\Sigma$ χρησιμοποιείται το συμπληρωματικό τόξο $Z\Sigma$ που ονομάζεται **ζενιθία απόσταση** του Σ .

Το αζιμούθιο συμβολίζεται με A και μετριέται στον ορίζοντα από $0^\circ - 360^\circ$, με αρχή το σημείο N (Νότος) και κατά την ανάδρομη φορά.

Το ύψος συμβολίζεται με ν και μετριέται στον κατακόρυφο του αστέρα από $0^\circ - \pm 90^\circ$ με αρχή το σημείο Σ' του ορίζοντα. Θετικά προς το ζενίθ Z , αρνητικά προς το ναδίρ ν .

Η ζενιθία απόσταση συμβολίζεται με z . Μετριέται στον κατακόρυφο από $0^\circ - 180^\circ$ με αρχή το ζενίθ. Είναι πάντα θετική.

Οι οριζόντιες συντεταγμένες εξαρτώνται από τον ορίζοντα και το μεσημβρινό του παρατηρητή. Γι' αυτό αποτελούν τοπικό σύστημα συντεταγμένων και είναι χρήσιμες στη μελέτη της κίνησης των αστέρων σε σχέση με τον ορίζοντα του παρατηρητή.

1.3.3 Ισημερινές συντεταγμένες

Αυτές είναι η **απόκλιση** (δ) και η **τοπική ωριαία γωνία** (H) (Σχήμα 1.3.3). Αποτελούν ένα **ημιτοπικό** σύστημα συντεταγμένων, χρήσιμο στη μελέτη της κίνησης των ουρανίων σωμάτων σε σχέση με το μεσημβρινό του παρατηρητή $PZ\Pi'\nu$. Η τοπική ωριαία γωνία H είναι το μέτρο $I\Sigma''$ της διέδρης γωνίας που σχηματίζεται από το μεσημβρινό του παρατηρητή και τον ωριαίο κύκλο του αστέρα $\Pi\Sigma\Sigma''$. Μετριέται στον ισημερινό, από το μεσημβρινό του παρατηρητή, κατά την ανάδρομη φορά σε μοίρες ή ώρες. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται και αρνητικές τιμές για την ωριαία γωνία, δηλαδή από $0h$ μέχρι $-12h$ προς ανατολάς και από $0h$ μέχρι $+12h$ προς δυσμάς.

Λόγω της φαινόμενης περιστροφής της ουράνιας σφαίρας από ανατολή προς δύση (η οποία είναι κατά προσέγγιση ομαλή), η ωριαία γωνία ενός αστέρα μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο. Γι' αυτό η ωριαία γωνία είναι χρήσιμη στη μέτρηση του χρόνου, καθώς και στη μετατροπή των οριζόντιων συντεταγμένων σε ουρανογραφικές.

1.3.4 Ουρανογραφικές συντεταγμένες

Το σύστημα αυτό είναι ανεξάρτητο από τη θέση του παρατηρητή. Βασικός κύκλος είναι ο ουράνιος ισημερινός $I'\gamma I\gamma'$ (Σχήμα 1.3.4). Πρώτος κάθετος είναι ο **ωριαίος κύκλος** του σημείου γ , δηλαδή ο **μέγιστος κύκλος** $\Pi\gamma\Pi'$ που περνά από τους πόλους και το σημείο εαρινής ισημερίας γ . Δεύτερος κάθετος είναι ο **μέγιστος κύκλος** $\Pi\Sigma\Pi'$ που περνά από τους πόλους και τον αστέρα. Επειδή η θέση του γ μεταξύ των αστέρων είναι (σχεδόν) σταθερή, οι ουρανογραφικές συντεταγμένες είναι ανεξάρτητες της ημερήσιας φαινόμενης κίνησης. Έτσι, το

σύστημα αυτό είναι ανεξάρτητο του τόπου και του χρόνου της παρατήρησης. Είναι κατάλληλο για τη σύνταξη καταλόγων συντεταγμένων των αστερών.

Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες είναι η **απόκλιση** (δ) και η **ορθή αναφορά** (α).

Απόκλιση είναι η γωνιώδης απόσταση του αστέρα Σ από τον ισημερινό και μετριέται με το τόξο $\Sigma'\Sigma$ από $0^\circ - \pm 90^\circ$ (θετικά προς βορρά, αρνητικά προς νότο). Πολλές φορές αντί του τόξου $\Sigma'\Sigma$ λαμβάνεται το τόξο $\Pi\Sigma$ που ονομάζεται **πολική απόσταση** του Σ και μετριέται από $0^\circ - 180^\circ$.

Η ορθή αναφορά είναι η γωνιώδης απόσταση $\gamma\Sigma'$ της τομής του ωριαίου κύκλου του αστέρα με τον ισημερινό και μετριέται από το γ πάνω στον ισημερινό κατά την ορθή φορά από $0^\circ - 360^\circ$, ή, συνηθέστερα, από $0 - 24$ ώρες.

Υπενθυμίζουμε ότι ωριαίος κύκλος ενός αστέρα είναι ο μέγιστος κύκλος που περνάει από τον αστέρα και τους πόλους του ουρανού. Όλα τα σημεία που βρίσκονται στον ίδιο ωριαίο κύκλο έχουν την ίδια ώρα.

1.3.5 Εκλειπτικές συντεταγμένες

Βασικός κύκλος είναι η εκλειπτική $E'\gamma E\gamma'$ (Σχήμα 1.3.4) και πρώτος κάθετος ο μέγιστος κύκλος $P\gamma P'$ που διέρχεται από τους πόλους της εκλειπτικής και το σημείο γ . Τον μέγιστο κύκλο που περνά από τους πόλους της εκλειπτικής και έναν αστέρα ονομάζουμε **κύκλο πλάτους** του αστέρα. Οι εκλειπτικές συντεταγμένες είναι το **ουρανογραφικό ή εκλειπτικό πλάτος** (β) και το **ουρανογραφικό ή εκλειπτικό μήκος** (λ). Το β είναι η γωνιώδης απόσταση $\Sigma''\Sigma$ του αστέρα Σ από την εκλειπτική, μετρούμενο πάνω στον κύκλο πλάτους του αστέρα από $0^\circ - \pm 90^\circ$, θετικό προς το βόρειο πόλο της εκλειπτικής Π και αρνητικά προς το νότιο πόλο Π' . Το λ είναι το τόξο $\gamma\Sigma''$ της εκλειπτικής μεταξύ του γ και της τομής Σ'' του κύκλου πλάτους του αστέρα με την εκλειπτική. Μετριέται από το γ κατά την ορθή φορά. Τα (β, λ) είναι ανεξάρτητα της ημερήσιας κίνησης, διότι αυτή δεν μεταβάλλει τις σχετικές θέσεις των Σ , γ και Σ'' . Οι εκλειπτικές συντεταγμένες χρησιμοποιούνται κυρίως στον καθορισμό της θέσης των μελών του ηλιακού μας συστήματος, τα οποία βρίσκονται κοντά στην εκλειπτική.

1.3.6 Γαλαξιακές συντεταγμένες

Είναι το **γαλαξιακό μήκος** l'' ($K\Sigma'$) και το **γαλαξιακό πλάτος** b'' ($\Sigma\Sigma'$) (Σχήμα 1.3.5). Το γαλαξιακό μήκος μετριέται κατά την ορθή φορά στο γαλαξιακό επίπεδο MM' (είναι το επίπεδο συμμετρίας του γαλαξία), από $0^\circ - 360^\circ$ και αρχή μέτρησης το γαλαξιακό κέντρο K . Το γαλαξιακό πλάτος μετριέται πάνω στο μέγιστο κύκλο $\Gamma\Sigma\Sigma'\Gamma'$ που περνά από τους γαλαξιακούς πόλους Γ , Γ' και τον αστέρα, με αρχή μέτρησης το σημείο τομής του μέγιστου κύκλου $\Gamma\Sigma\Gamma'$

και του γαλαξιακού επιπέδου, από 0° μέχρι $+90^\circ$, βόρεια, και από 0° μέχρι -90° , νότια.

1.4 Αειφανείς, αμφιφανείς και αφανείς αστέρες

Καλούμε **κύκλο απόκλισης** ενός αστέρα τον κύκλο που περνά από τον αστέρα και είναι παράλληλος προς τον Ισημερινό. Ο κύκλος απόκλισης είναι ένας μικρός κύκλος $\Sigma_1\Sigma_2$ (Σχήμα 1.4.1) και είναι ο γεωμετρικός τόπος όλων των σημείων που έχουν την ίδια απόκλιση. Λόγω της φαινόμενης περιστροφής της ουράνιας σφαίρας ο κάθε αστέρας φαίνεται να κινείται πάνω στον κύκλο απόκλισής του. Ανατέλει σε ένα σημείο α , μεσορανεύ άνω στο Σ_1 , δύει στο δ και μεσουρανεύ κάτω στο Σ_2 . Το τόξο $\alpha\Sigma_1\delta$ που βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα καλείται **ημερήσιο τόξο**, ενώ το τόξο $\delta\Sigma_2\alpha$ που βρίσκεται κάτω από τον ορίζοντα καλείται **νυχτερινό τόξο** του αστέρα.

Αν ο κύκλος απόκλισης του Σ τέμνει τον ορίζοντα του τόπου, ο αστέρας είναι **αμφιφανής**. Αν δεν τον τέμνει (δηλαδή αν είναι παράλληλος), τότε: (α) αν ο κύκλος είναι πάνω από τον ορίζοντα ο αστέρας είναι **αειφανής**, ενώ αν είναι κάτω από τον ορίζοντα ο αστέρας είναι **αφανής** (Σχήμα 1.4.2).

Αν βρισκόμαστε στο βόρειο ημισφαίριο σε ένα τόπο με γεωγραφικό πλάτος φ , παρατηρούμε ότι ένας αστέρας, με πολική απόσταση $\Pi\Sigma$, είναι:

- αειφανής, αν $\Pi\Sigma < \varphi$,
- αφανής, αν $\Pi\Sigma > 180^\circ - \varphi$,
- αμφιφανής, αν $\varphi < \Pi\Sigma < 180^\circ - \varphi$.

Ας σημειωθεί ότι το γεωγραφικό πλάτος φ ενός τόπου T ισούται με το τόξο $I\Sigma$ του μεσημβρινού του τόπου $\Pi Z \Pi' \nu$ (Σχήμα 1.4.3).

Κεφάλαιο 2

Σφαιρική Τριγωνομετρία

2.1 Σφαιρικά τρίγωνα

Η τομή της σφαίρας με επίπεδο είναι πάντα ένας κύκλος. Αυτός θα είναι μέγιστος, αν το επίπεδο διέρχεται από το κέντρο της σφαίρας, διαφορετικά θα είναι μικρός. Πόλοι του κύκλου ονομάζονται τα άκρα της διαμέτρου της σφαίρας που είναι κάθετη στο επίπεδο του κύκλου. Από δύο τυχαία μη αντιδιαμετρικά σημεία της επιφάνειας μιας σφαίρας περνούν άπειροι μικροί κύκλοι, αλλά μόνο ένας μέγιστος. Αυτός ορίζει τη συντομότερη διαδρομή μεταξύ των σημείων αυτών. Έτσι, οι μέγιστοι κύκλοι αποτελούν τις λεγόμενες **γεωδαισιακές γραμμές** σε μια σφαίρα. Αν τα δύο σημεία είναι αντιδιαμετρικά, τότε όλοι οι κύκλοι που περνούν από αυτά είναι μέγιστοι.

Ένα **σφαιρικό τρίγωνο** (Σχήμα 2.1.1) ορίζεται από τρία τυχαία σημεία μιας σφαιρικής επιφάνειας (που δεν βρίσκονται στον ίδιο μέγιστο κύκλο), τα οποία αποτελούν τις **κορυφές** του τριγώνου, και από τρία τόξα μέγιστων κύκλων που ενώνουν ανά δύο τα σημεία αυτά και αποτελούν τις **πλευρές** του. Κάθε πλευρά του σφαιρικού τριγώνου είναι μικρότερη από 180° και θεωρείται θετική. Οι διέδρες γωνίες που σχηματίζουν τα επίπεδα - φορείς των μεγίστων κύκλων είναι οι **γωνίες** του σφαιρικού τριγώνου. Αυτές είναι επίσης θετικές και μικρότερες των 180° . Ένα σφαιρικό τρίγωνο μπορεί να έχει μία γωνία ή δύο ή και τις τρεις γωνίες του ορθές, οπότε ονομάζεται, αντίστοιχα, **ορθογώνιο** ή **δισορθογώνιο** ή **τρισορθογώνιο**. Επίσης, ένα σφαιρικό τρίγωνο μπορεί να έχει μία πλευρά ή δύο ή και τις τρεις πλευρές του ίσες με 90° . Τότε ονομάζεται **ορθόπλευρο** ή **δισορθόπλευρο** ή **τρισορθόπλευρο**, αντίστοιχα.

Έστω $E\Delta\Theta$ μικρός κύκλος σφαίρας και $A\Gamma B$ ο παράλληλος προς αυτόν μέγιστος κύκλος (Σχήμα 2.1.2). Έστω Π το σημείο τομής της επιφάνειας της σφαίρας με την ευθεία OK που συνδέει τα κέντρα των δύο κύκλων και η οποία, προφανώς, είναι κάθετη στο επίπεδο του μέγιστου κύκλου. Έστω $E\Delta$ τυχόν

τόξο πάνω στο μικρό κύκλο και $ΑΓ$ το τόξο που ορίζεται πάνω στο μέγιστο κύκλο $ΑΓΒ$ όταν φέρουμε τους μέγιστους κύκλους $ΠΕΑΠ'$ και $ΠΔΓΠ'$. Θα είναι:

$$ΕΔ = \hat{\omega}(KE) = \hat{\omega}(OE) \cos \phi = \hat{\omega}(OA) \cos \phi = ΑΓ \cos \phi,$$

όπου η γωνία $\hat{\omega}$ μετριέται σε ακτίνια. Θυμίζουμε ότι το μήκος ενός τόξου κύκλου είναι ίσο με το γινόμενο της ακτίνας επί την αντίστοιχη επίκεντρη γωνία μετρημένη σε ακτίνια.

2.2 Τύποι συνημιτόνου

Χάρη απλότητας, θα θεωρήσουμε ότι η σφαίρα είναι μοναδιαία. Θεωρούμε τα μοναδιαία διανύσματα $\vec{OA} = \vec{a}$, $\vec{OB} = \vec{\beta}$ και $\vec{OG} = \vec{c}$. Από την Αναλυτική Γεωμετρία είναι γνωστή η σχέση:

$$(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot (\vec{a} \times \vec{c}) = \vec{b} \cdot \vec{c} - (\vec{a} \cdot \vec{b})(\vec{a} \cdot \vec{c}). \quad (2.1)$$

Έστω τώρα \hat{A} , \hat{B} και $\hat{\Gamma}$ οι γωνίες του σφαιρικού τριγώνου $ΑΒΓ$ και α , β και γ οι απέναντι των γωνιών πλευρές. Με βάση τη σχέση (1.1) παίρνουμε:

$$\sin \gamma \cdot \sin \beta \cdot \cos A = \cos \alpha - \cos \gamma \cdot \cos \beta.$$

Επομένως

$$\cos \alpha = \cos \beta \cdot \cos \gamma + \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \cos A. \quad (2.2)$$

Όμοια βρίσκουμε:

$$\cos \beta = \cos \alpha \cdot \cos \gamma + \sin \alpha \cdot \sin \gamma \cdot \cos B \quad (2.3)$$

και

$$\cos \gamma = \cos \alpha \cdot \cos \beta + \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos \Gamma. \quad (2.4)$$

2.3 Τύποι ημιτόνου

Από τον τύπο:

$$\sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \cos A = \cos \alpha - \cos \beta \cdot \cos \gamma$$

έπεται ότι:

$$\sin^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma \cdot \cos^2 A = \cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma + \cos^2 \beta \cdot \cos^2 \gamma \quad (2.5)$$

Εξάλλου είναι:

$$\sin^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 A = \sin^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma - \sin^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma \cdot \cos^2 A, \quad (2.6)$$

η οποία, με βάση τη σχέση (1.5), δίνει:

$$\sin^2 \beta \sin^2 \gamma \sin^2 A = 1 - (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma) + 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma. \quad (2.7)$$

Παρατηρούμε ότι το δεξί μέλος αυτής της σχέσης δεν αλλάζει αν κάνουμε κυκλική εναλλαγή των στοιχείων. Έτσι καταλήγουμε ότι:

$$\sin^2 \beta \sin^2 \gamma \sin^2 A = \sin^2 \gamma \sin^2 \alpha \sin^2 B = \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \sin^2 \Gamma.$$

Από τις ισότητες αυτές παίρνουμε:

$$\frac{\sin A}{\sin \alpha} = \frac{\sin B}{\sin \beta} = \frac{\sin \Gamma}{\sin \gamma}. \quad (2.8)$$

2.4 Τύποι των πέντε στοιχείων

Από τους τύπους του συνημιτόνου, μετά από κατάλληλες πράξεις καταλήγουμε στους παρακάτω τύπους που συνδέουν πέντε διαδοχικά στοιχεία ενός σφαιρικού τριγώνου, δηλαδή δυο πλευρές και τρεις γωνίες ή τρεις πλευρές και δυο γωνίες:

$$\sin \alpha \cos B = \cos \beta \sin \gamma - \sin \beta \cos \gamma \cos A, \quad (2.9)$$

και

$$\sin \alpha \cos \Gamma = \cos \gamma \sin \beta - \sin \gamma \cos \beta \cos A. \quad (2.10)$$

Με κυκλική εναλλαγή προκύπτουν οι υπόλοιποι τύποι των πέντε στοιχείων.

2.5 Τύποι των τεσσάρων διαδοχικών στοιχείων

Ξεκινώντας από τους τύπους του συνημιτόνου, κάνοντας κατάλληλες πράξεις και χρησιμοποιώντας τους τύπους του ημιτόνου παίρνουμε τον παρακάτω τύπο:

$$\cos \alpha \cos \Gamma = \sin \alpha \cot \beta - \sin \Gamma \cot B, \quad (2.11)$$

ο οποίος συνδέει τα τέσσερα διαδοχικά στοιχεία B, α , Γ και β του σφαιρικού τριγώνου.

Επίσης παίρνουμε:

$$\cos \alpha \cos B = \sin \alpha \cot \gamma - \sin B \cot \Gamma, \quad (2.12)$$

που συνδέει τις πλευρές α και γ με τις γωνίες B και Γ .

Με κυκλική εναλλαγή των στοιχείων προκύπτουν οι υπόλοιποι τύποι των τεσσάρων διαδοχικών στοιχείων ενός σφαιρικού τριγώνου.

2.6 Πολικά σφαιρικά τρίγωνα

Έστω σφαιρικό τρίγωνο $AB\Gamma$. Ο μέγιστος κύκλος πάνω στον οποίο βρίσκεται το τόξο $B\Gamma$ έχει δύο πόλους, δηλαδή τα δύο σημεία στα οποία η επιφάνεια της σφαίρας τέμνεται από την κάθετη στο κέντρο του μέγιστου κύκλου. Οι πόλοι απέχουν από όλα τα σημεία του μέγιστου κύκλου γωνιώδη απόσταση 90° . Θεωρούμε τον πόλο που βρίσκεται στο ίδιο ημισφαίριο με το σημείο A , έστω A' . Με τον ίδιο τρόπο ορίζουμε τα σημεία B' και Γ' , ως τους πόλους των μέγιστων κύκλων $A\Gamma$ και AB , αντίστοιχα. Το σφαιρικό τρίγωνο $A'B'\Gamma'$, όπως ορίστηκε, λέγεται **πολικό τρίγωνο** του $AB\Gamma$ (Σχήμα 2.6.1).

Αποδεικνύεται ότι η πολικότητα μεταξύ δύο σφαιρικών τριγώνων είναι αμοιβαία. Δηλαδή, αν $AB\Gamma$ πολικό του $A'B'\Gamma'$ \Leftrightarrow $A'B'\Gamma'$ πολικό του $AB\Gamma$.

Από το Σχήμα 2.6.1 προκύπτει ότι $A' = X\Psi = XB + B\Psi = X\Gamma - B\Gamma + B\Psi = 90^\circ - \alpha + 90^\circ = 180^\circ - \alpha$. Όμοια, $B' = 180^\circ - \beta$, $\Gamma' = 180^\circ - \gamma$.

Επειδή η πολικότητα είναι αμοιβαία, ισχύουν: $A = 180^\circ - \alpha'$, $B = 180^\circ - \beta'$, $\Gamma = 180^\circ - \gamma'$ και $\alpha' = 180^\circ - A$, $\beta' = 180^\circ - B$, $\gamma' = 180^\circ - \Gamma$. Δηλαδή, οι πλευρές και οι γωνίες ενός σφαιρικού τριγώνου είναι παραπληρωματικές των γωνιών και των πλευρών, αντίστοιχα, του πολικού του τριγώνου.

2.7 Τύποι του Borda

Ο τύπος του συνημιτόνου:

$$\cos \alpha = \cos \beta \cdot \cos \gamma + \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \cos A$$

δίνει:

$$\cos A = \frac{\cos \alpha - \cos \beta \cdot \cos \gamma}{\sin \beta \cdot \sin \gamma}.$$

Θέτουμε $\alpha + \beta + \gamma = 2p$ και παίρνουμε:

$$\begin{aligned} 2 \sin^2 \left(\frac{A}{2} \right) &= 1 - \cos A = 1 - \frac{\cos \alpha - \cos \beta \cos \gamma}{\sin \beta \sin \gamma} = \frac{\sin \beta \sin \gamma + \cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha}{\sin \beta \sin \gamma} \\ &= \frac{\cos(\beta - \gamma) - \cos \alpha}{\sin \beta \sin \gamma} = \frac{2 \sin(p - \gamma) \sin(p - \beta)}{\sin \beta \sin \gamma}. \end{aligned}$$

Επίσης:

$$2 \cos^2 \left(\frac{A}{2} \right) = 1 + \cos A = \frac{-\cos(\beta + \gamma) + \cos \alpha}{\sin \beta \sin \gamma} = \frac{2 \sin p \sin(p - \alpha)}{\sin \beta \sin \gamma}.$$

Διαιρούμε κατά μέλη τις δύο τελευταίες σχέσεις και έχουμε:

$$\tan \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin(p - \beta) \sin(p - \gamma)}{\sin p \sin(p - \alpha)}}.$$

Και με κυκλική εναλλαγή των στοιχείων βρίσκουμε τους αντίστοιχους τύπους για την $\tan(B/2)$ και την $\tan(\Gamma/2)$.

Με τη βοήθεια αυτών των τύπων υπολογίζονται οι γωνίες ενός σφαιρικού τριγώνου όταν είναι γνωστές οι πλευρές του.

2.8 Τρίγωνο θέσης αστέρα

Το σφαιρικό τρίγωνο ΠΖΣ (Σχήμα 2.8.1) που έχει κορυφές τον βόρειο πόλο του ουρανού, το ζενίθ του τόπου παρατήρησης και τον αστέρα καλείται **τρίγωνο θέσης** του αστέρα. Στο Σχήμα 2.8.1 είναι: δ η απόκλιση, A το αξιμούθιο, H η ωριαία γωνία, Π η πολική απόσταση, φ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και ζ η ζενιθία απόσταση. Η γωνία S ονομάζεται **παράλλακτική γωνία**.

Κατά τη στιγμή της ανατολής ή της δύσης ενός αστέρα είναι $u=0^\circ$, συνεπώς $\zeta=90^\circ$. Εφαρμόζουμε τον τύπο του συνημιτόνου για την πλευρά ΖΣ:

$$\cos(\Sigma Z) = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H \quad \Rightarrow \quad \cos H = -\tan \varphi \cdot \tan \delta.$$

Αφού $0^\circ \leq H \leq 360^\circ$, από την τελευταία σχέση προκύπτουν δύο τιμές για την ωριαία γωνία H του αστέρα. Το τόξο που είναι μικρότερο των 180° είναι η ωριαία γωνία H_δ δύσης του αστέρα, ενώ το τόξο που είναι μεγαλύτερο των 180° είναι η ωριαία γωνία H_α ανατολής του αστέρα.

Εφαρμόζουμε τον τύπο των πέντε στοιχείων για τα $\Pi Z=90^\circ-\varphi$, $180^\circ-A$, Z , S , $\Pi\Sigma=90^\circ-\delta$:

$$\sin(90^\circ - \varphi) \cos(180^\circ - A) = \cos(90^\circ - \delta) \sin Z - \sin(90^\circ - \delta) \cos Z \cos S.$$

Για $Z=90^\circ$ προκύπτει:

$$-\cos \varphi \cos A = \sin \delta \quad \Rightarrow \quad \cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi}.$$

Για να έχουν λύση οι εξισώσεις αυτές θα πρέπει:

$$-1 \leq -\tan \varphi \tan \delta \leq 1 \quad \text{και} \quad -1 \leq -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \leq 1.$$

2.9 Ανατολή και δύση του Ήλιου

Η ανατολή και η δύση του Ήλιου σε ένα τόπο με γεωγραφικό πλάτος φ δεν γίνεται πάντοτε στα ίδια σημεία του ορίζοντα. Αυτό προκύπτει από τη σχέση:

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi},$$

η οποία λέει ότι το αζιμούθιο A μεταβάλλεται, αφού, κατά τη διάρκεια του έτους, η απόκλιση δ του Ήλιου μεταβάλλεται από $-\omega$ μέχρι $+\omega$, όπου ω είναι η λόξωση της εκλειπτικής (Σχήμα 2.9.1).

Την 21η Μαρτίου και την 22α Σεπτεμβρίου είναι $\delta=0$, γιατί ο Ήλιος βρίσκεται στο γ ή στο γ' , αντίστοιχα. Άρα

$$\cos A = 0 \quad \Rightarrow \quad A = 90^\circ \quad \text{ή} \quad A = 270^\circ.$$

Η μικρότερη τιμή του αζιμούθιου αντιστοιχεί στη δύση και η μεγαλύτερη στην ανατολή, αφού το αζιμούθιο μετριέται κατά την ανάδρομη φορά. Έτσι, τις ημέρες αυτές (και μόνον αυτές) ο Ήλιος ανατέλει ακριβώς στην Ανατολή και δύει ακριβώς στη Δύση του τόπου. Επειδή ο Ήλιος αυτές τις ημέρες βρίσκεται στο γ ή στο γ' , ο κύκλος απόκλισης του είναι αυτός του γ . Το γ βρίσκεται στον ισημερινό, συνεπώς ο κύκλος απόκλισης του Ήλιου είναι ο ισημερινός. Αυτός διχοτομείται από τον ορίζοντα του τόπου. Άρα το ημερήσιο και το νυχτερινό τόξο είναι ίσα, δηλαδή έχουμε **ισημερία**.

Μετά την 21η Μαρτίου η απόκλιση είναι θετική. Για $\delta > 0$ έχουμε $\cos A < 0$. Άρα θα είναι $90^\circ < A_\delta < 180^\circ$ και $180^\circ < A_\alpha < 270^\circ$. Δηλαδή, ο Ήλιος καθημερινά ανατέλει και δύει βορειότερα από ό,τι την προηγούμενη ημέρα, μέχρι την 21η Ιουνίου, οπότε είναι $\delta = \omega$. Τότε έχουμε τα ακρότατα προς Βορρά αζιμούθια ανατολής και δύσης, που δίνονται από τον τύπο:

$$\cos A = -\frac{\sin \omega}{\cos \varphi}.$$

Μετά την 21η Ιουνίου η απόκλιση δ του Ήλιου ελαττώνεται και το μεν σημείο της ανατολής κινείται προς την Ανατολή, το δε σημείο της δύσης κινείται προς τη Δύση, όπου φτάνουν την 22α Σεπτεμβρίου όταν και πάλι είναι $\delta = 0$.

Ακολούθως η απόκλιση γίνεται αρνητική. Για $\delta < 0$ είναι $\cos A > 0$. Άρα θα έχουμε: $0^\circ < A_\delta < 90^\circ$ και $270^\circ < A_\alpha < 360^\circ$. Δηλαδή, ο Ήλιος καθημερινά ανατέλει και δύει νοτιότερα της προηγούμενης ημέρας, μέχρι την 22α Δεκεμβρίου, οπότε $\delta = -\omega$. Τότε έχουμε τα ακρότατα προς Νότο αζιμούθια ανατολής και δύσης, που δίνονται από τη σχέση:

$$\cos A = \frac{\sin \omega}{\cos \varphi}.$$

Μετά την 22α Δεκεμβρίου το μεν σημείο ανατολής κινείται προς την Ανατολή, το δε σημείο της δύσης προς τη Δύση, όπου φτάνουν την 21η Μαρτίου (Σχήμα 2.9.2).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στο βόρειο ημισφαίριο, από την εαρινή μέχρι την φθινοπωρινή ισημερία, το ημερήσιο τόξο του Ήλιου είναι μεγαλύτερο από το νυχτερινό. Το αντίθετο συμβαίνει στο νότιο ημισφαίριο.

Κεφάλαιο 3

Χρόνος

3.1 Μέτρηση του χρόνου

Η μέτρηση του χρόνου, μια από τις δεξιότητες που απέκτησε ο πρωτόγονος άνθρωπος χάρη στην ενασχόλησή του με την Αστρονομία (η άλλη είναι ο προσανατολισμός) βασίζεται στην περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της, η οποία, με μεγάλη προσέγγιση, είναι ομαλή. Αποτέλεσμα αυτής της κίνησης είναι η φαινόμενη περιστροφή της πυράνιας σφαίρας, που μπορεί να οριστεί από την ωριαία γωνία ενός σταθερού σημείου του ουρανού. Άρα η μέτρηση του χρόνου ανάγεται στον προσδιορισμό αυτής της ωριαίας γωνίας.

Ανάλογα με το σημείο που θεωρούμε, προκύπτει και το αντίστοιχο σύστημα χρόνου. Το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών άνω ή κάτω μεσουρανήσεων του θεωρούμενου σημείου σε ένα τόπο καλείται **ημέρα**. Ως αρχή μέτρησης λαμβάνεται (κατόπιν συμφωνίας) η άνω ή η κάτω μεσουράνηση του συγκεκριμένου σημείου.

3.2 Αστρικός χρόνος

Αστρικός χρόνος (t) ενός τόπου καλείται η ωριαία γωνία του εαρινού σημείου ισημερίας γ (γOI). Αν α είναι η ορθή αναφορά ($\gamma\Sigma'$) ενός αστέρα και $H(=\text{I}\Sigma')$ η ωριαία γωνία αυτού όταν ο αστρικός χρόνος είναι t , από το Σχήμα 3.2.1 προκύπτει $t=\alpha+H$. Για $H=0$ (δηλαδή όταν ο αστέρας Σ μεσουρανεύει άνω) είναι $t=\alpha$, δηλαδή ο αστρικός χρόνος ενός τόπου ισούται με την ορθή αναφορά του αστέρα.

Εξαιτίας της μετάπτωσης των ισημεριών και της κλόνησης του άξονα της Γης, η αστρική ημέρα δεν είναι ακριβώς ίση με την περιστροφή της Γης. Λόγω μετάπτωσης το γ κινείται πάνω στην εκλειπτική κατά την ανάδρομη φορά. Πάνω στον ισημερινό η κίνηση αυτή αντιστοιχεί σε τόξο $0,008 \text{ sec}$ περίπου ημερησίως.

Επιπλέον, λόγω της κλόνησης, το γ παλινδρομεί περιοδικά περί την εκάστοτε θέση του.

Καλείται **μέσο εαρινό ισημερινό σημείο** (γ_0) η θέση του γ όταν αυτό υπόκειται μόνο σε μεταπτωτική κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Η ωριαία γωνία του γ_0 ορίζει τον **μέσο αστρικό χρόνο**, ενώ η ωριαία γωνία του γ ορίζει τον **αληθή αστρικό χρόνο**. Η διαφορά των δύο χρόνων καλείται **εξίσωση των ισημερινών σημείων** και ανέρχεται σε κλάσμα του δευτερολέπτου.

3.3 Ηλιακός χρόνος

Η ωριαία γωνία H_A του κέντρου του ηλιακού δίσκου, αυξημένη κατά 12 ώρες, καλείται **αληθής ηλιακός χρόνος** (A), δηλαδή $A = H_A + 12h$.

Αλλά ο Ήλιος κινείται πάνω στην εκλειπτική κατά την ορθή φορά και συνεπώς η ορθή αναφορά του αυξάνει κατά 1° , ή κατά 4 λεπτά της ώρας περίπου, ημερησίως. Επομένως η διάρκεια της αληθούς ηλιακής ημέρας είναι κατά 4 λεπτά περίπου μεγαλύτερη της περιόδου περιστροφής της Γης και, κατά συνέπεια, της αστρικής ημέρας.

Η διαφορά αυτή δεν είναι σταθερή. Γιατί, αφενός η κίνηση του Ήλιου στην εκλειπτική ακολουθεί τον νόμο των εμβαδών (δεύτερος νόμος του Kepler), αφετέρου ίσα τόξα της εκλειπτικής αντιστοιχούν γενικά σε άνισα τόξα στον ισημερινό. Γι' αυτό ο αληθής ηλιακός χρόνος δεν είναι κατάλληλος για τη μέτρηση του χρόνου. Έτσι, θεωρούμε ένα νοητό σημείο, τον **μέσο Ήλιο**, που κινείται ομαλά πάνω στον ισημερινό με περίοδο αυτή του αληθινού Ήλιου. Η ωριαία γωνία H_M του μέσου Ήλιου, αυξημένη κατά 12 ώρες καλείται **μέσος ηλιακός χρόνος** ή **μέσος χρόνος** (M). Δηλαδή $M = H_M + 12h$.

Ως αρχή μέτρησης της αληθούς και της μέσης ηλιακής ημέρας λαμβάνεται η κάτω μεσουράνηση του αληθινού και του μέσου Ήλιου, αντίστοιχα.

Ο μέσος χρόνος ενός τόπου ονομάζεται και **πολιτικός χρόνος** του τόπου. Ο πολιτικός χρόνος του Greenwich καλείται παγκόσμιος χρόνος (Universal Time, U.T.).

Η διαφορά του μέσου ηλιακού χρόνου M από τον αληθή ηλιακό χρόνο A, κάποια στιγμή, καλείται **εξίσωση του χρόνου** (ε): $\varepsilon = A - M$. Με αντικατάσταση $A = H_A + 12$ και $M = H_M + 12$, έπεται:

$$\varepsilon = H_A - H_M = (t - \alpha_A) - (t - \alpha_M) = \alpha_M - \alpha_A,$$

όπου α_A και α_M η ορθή αναφορά του αληθινού και του μέσου Ήλιου, αντίστοιχα.

3.4 Επίσημος χρόνος - Άτρακτοι

Διαιρούμε την επιφάνεια της Γης με μεσημβρινά τόξα σε 24 ίσες **ατράκτους**. Κάθε άτρακτος αντιστοιχεί σε τόξο 15° ή σε 1 ώρα. Ως βασική άτρακτος λαμβάνεται αυτή που εκτείνεται $7,5^{\circ}$ εκατέρωθεν του μεσημβρινού του Greenwich.

Ο πολιτικός χρόνος του κεντρικού μεσημβρινού κάθε ατράκτου καλείται **χρόνος ατράκτου**. Κατά συνέπεια, ο χρόνος της βασικής ατράκτου είναι ο παγκόσμιος χρόνος. Ο χρόνος μιας ατράκτου διαφέρει από τον παγκόσμιο χρόνο κατά ακέραιο αριθμό ωρών και προηγείται ή έπεται αυτού αν η άτρακτος είναι ανατολικά ή δυτικά του Greenwich. Στη δωδέκατη άτρακτο, οι δύο ημιάτρακτοι εκατέρωθεν του κεντρικού μεσημβρινού που έχει γεωγραφικό μήκος 180° , έχουν διαφορά 24 ωρών, δηλαδή παρουσιάζουν ασυνέχεια μιας ημέρας. Έτσι, αυτοί που ταξιδεύουν από ανατολικά προς δυτικά ελαττώνουν την ημερομηνία κατά μια ημέρα, ενώ αυτοί που ταξιδεύουν αντίθετα την αυξάνουν. Ο μεσημβρινός των 180° (που στην πραγματικότητα είναι μια τεθλασμένη γραμμή), καλείται **γραμμή αλλαγής ημερομηνίας**.

Επίσημος χρόνος μιας χώρας είναι ο χρόνος της ατράκτου στην οποία ανήκει η χώρα (κατά το μεγαλύτερο μέρος της). Η Ελλάδα ανήκει στη δεύτερη ανατολική άτρακτο και η επίσημη ώρα της προηγείται κατά 2 ώρες του παγκόσμιου χρόνου. Αν μια χώρα εκτείνεται σε περισσότερες από μια ατράκτους, χρησιμοποιεί περισσότερους του ενός επίσημους χρόνους.

Αν E_{ν} είναι ο επίσημος χρόνος μιας χώρας που ανήκει στην ν -οστή άτρακτο, ισχύει η σχέση: $E_{\nu} = U.T. - \nu$, όπου το ν θεωρείται θετικό ή αρνητικό ανάλογα με το αν η άτρακτος βρίσκεται δυτικά ή ανατολικά του Greenwich.

3.5 Ατομικός χρόνος

Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της ήταν για εκατομμύρια χρόνια η βάση για τη μέτρηση του χρόνου. Το 1930 ανακαλύφθηκαν τα **ρολόγια quartz** που βασίζονται στις δονήσεις των κρυστάλλων quartz. Τα ρολόγια αυτά έχουν ακρίβεια 1 sec/δεκαετία.

Το 1950 ανακαλύφθηκαν τα **ατομικά ρολόγια** που οδήγησαν σε ακριβέστερο καθορισμό του δευτερολέπτου, βασισμένο στην υπέρλεπτη δομή του ατόμου του Καισίου 133 ($Cs133$). Έτσι προσδιορίστηκε το **ατομικό δευτερόλεπτο** και ορίστηκε ο **Διεθνής Ατομικός Χρόνος** (TAI, Temps Atomique International). Ως αρχή μέτρησης του TAI καθορίστηκε η ώρα μηδέν της 1ης Ιανουαρίου 1958, ενώ στην καθημερινή χρήση εισήχθηκε την 1η Ιανουαρίου 1967.

Ο ατομικός χρόνος, λόγω της ομαλότητάς του και της ανεξαρτησίας του από

την κίνηση της Γης, χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό των μικρών ανωμαλιών της γήινης περιστροφής, που αποτελεί πάντα το θεμελιώδες χρονόμετρο για τις καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες. Επίσης, χρησιμοποιείται σε επιστημονικά πειράματα όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια χρόνου.

Με τη βοήθεια των ατομικών χρονομέτρων βρέθηκε ότι η περίοδος της Γης αυξάνει κατά $1/100 \text{ sec}$ ανά αιώνα. Αυτό οφείλεται στην τριβή που δημιουργείται από τις παλίρροιες των θαλασσών. Ακόμη υπάρχουν και εποχιακές μεταβολές της περιόδου της τάξης των $0,002 - 0,003 \text{ sec}$ λόγω της τήξης των πάγων και την κίνηση της ατμόσφαιρας. Τελικά παρατηρείται επιβράδυνση την άνοιξη και επιτάχυνση το φθινόπωρο.

3.6 Χρονόμετρα - Εκκρεμές

Η εναλλαγή ημέρας και νύχτας δεν προσφέρεται για τη μέτρηση του χρόνου στις καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου. Έτσι, επινοήθηκαν διάφορες συσκευές για τη μέτρηση μικρότερων χρονικών διαστημάτων. Η ημέρα (24ωρο) χωρίστηκε σε 24 ώρες. Κάθε 1 ώρα σε 60 λεπτά και κάθε 1 λεπτό σε 60 δευτερόλεπτα.

Η κλεψύδρα και το ηλιακό ρολόι, καθώς και η ομαλή καύση ενός κεριού, ήταν τα πρώτα χρονόμετρα.

Η πρώτη σημαντική πρόοδος στη μέτρηση του χρόνου έγινε το 1581 με την ανακάλυψη του νόμου του εκκρεμούς από τον Γαλιλαίο: “Η περίοδος του εκκρεμούς είναι σταθερή κι εξαρτάται από το μήκος του”. Η χρήση όμως του εκκρεμούς για τη μέτρηση του χρόνου έγινε μετά την ανακάλυψη από τον Christian Huyghens (1639 - 1695) του ωρολογιακού ρυθμιστή. Για πολλούς αιώνες, μέχρι το 1930, το εκκρεμές, με τις διάφορες παραλλαγές και βελτιώσεις, ήταν το κυριότερο όργανο μέτρησης του χρόνου. Η ακρίβειά του κυμαινόταν από $0,01 - 0,001 \text{ sec}$ την ημέρα.

3.7 Έτος - Ημερολόγια

Η περίοδος της φαινόμενης κίνησης του Ήλιου πάνω στην εκλειπτική ορίζει το έτος. Ανάλογα με το σημείο αναφοράς που θεωρούμε (όπως και για την ημέρα) έχουμε αστρικό, τροπικό και ανωμαλιακό έτος.

Αστρικό έτος είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών επανόδων του Ήλιου στο ίδιο σταθερό σημείο της εκλειπτικής.

Τροπικό έτος είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών διαβάσεων του Ήλιου από το εαρινό σημείο ισημερίας γ . Λόγω της μετάπτωσης του γ , το τροπικό έτος είναι λίγο μικρότερης διάρκειας από το αστρικό (περίπου 20 λεπτά μέσου χρόνου).

Ανωμαλιακό έτος είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών διαβάσεων του Ήλιου από το περίγειο της φαινόμενης τροχιάς του. Επειδή η γραμμή των αψίδων κινείται κατά την ορθή φορά κατά 11,25 λεπτά της μοίρας ετησίως, το ανωμαλιακό έτος είναι μεγαλύτερο του αστρικού κατά περίπου 4,5 λεπτά μέσου χρόνου. Η διάρκεια του κάθε έτους είναι:

Τροπικό έτος: 365,2422 μέσες ηλιακές ημέρες

Αστρικό έτος: 365,2564 μέσες ηλιακές ημέρες

Ανωμαλιακό έτος: 365,2596 μέσες ηλιακές ημέρες.

Το έτος που στην πράξη θα χρησιμοποιείται πρέπει να πληροί δύο συνθήκες:

1) Να περιέχει ακέραιο αριθμό ημερών, ώστε να αποφεύγεται η αλλαγή ημερομηνίας μέσα στην ίδια ημέρα.

2) Να εξασφαλίζει την κανονική διαδοχή των εποχών.

Επειδή κανένα από τα παραπάνω έτη δεν ικανοποιεί αυτές τις συνθήκες, υιοθετήθηκε το **πολιτικό έτος**. Ως βάση αυτού λαμβάνεται το τροπικό έτος, ώστε να εξασφαλίζεται η δεύτερη συνθήκη. Για να ικανοποιηθεί η πρώτη συνθήκη το πολιτικό έτος θεωρείται ότι περιέχει άλλοτε 356 ημέρες και άλλοτε 366, έτσι ώστε κατά μέσο όρο να διαρκεί όσο το τροπικό έτος.

Τα διάφορα συστήματα διαίρεσης και καθορισμού του πολιτικού έτους αποτελούν τα λεγόμενα **ημερολόγια**.

Το **Ιουλιανό Ημερολόγιο** (παλιό) καθιερώθηκε το 45 π.Χ. από τον Ιούλιο Καίσαρα, μετά από υπόδειξη του Έλληνα αστρονόμου Σωσιγένη.

Σ' αυτό το ημερολόγιο κάθε έτος περιέχει 365 ημέρες, ενώ κάθε τέσσερα χρόνια το έτος περιέχει 366 ημέρες (**δίσεκτο**).

Αυτό όμως είχε ως αποτέλεσμα η μέση διάρκεια του έτους να είναι μεγαλύτερη του τροπικού έτους γιατί κάθε τέσσερα χρόνια προστίθεται μια ημέρα, ενώ θα έπρεπε να προστίθεται το 0,9688 της ημέρας. Άρα κάθε τετρακόσια πολιτικά έτη υπάρχει μια διαφορά 3 ημερών 2 ωρών 53 *min* 30 *sec*.

Για τη διόρθωση αυτής της διαφοράς εισήχθη το 1582 μ.Χ. από τον Πάπα Γρηγόριο τον 13ο το καλούμενο **Γρηγοριανό Ημερολόγιο** (νέο). Σ' αυτό το ημερολόγιο **δίσεκτα** έτη θεωρούνται εκείνα που ο αριθμός τους είναι διαιρετός δια 4, εκτός από εκείνα των οποίων ο αριθμός είναι πολλαπλάσιο του 100 και δεν είναι διαιρετός δια 400. Για παράδειγμα, το έτος 1700 δεν είναι δίσεκτο κατά το Γρηγοριανό, ενώ είναι δίσεκτο κατά το Ιουλιανό.

Επειδή στο Γρηγοριανό ημερολόγιο υπάρχει μια πολύ μικρή διαφορά μεταξύ πολιτικού και τροπικού έτους, που ανέρχεται σε 1 ημέρα 4 ώρες και 55 λεπτά ανά περίοδο 4.000 ετών, αυτό έχει υιοθετηθεί από όλους τους πολιτισμένους λαούς.

Το έτος χωρίζεται σε **μήνες**.

Συνοδικός μήνας: Η κίνηση της Σελήνης γύρω από τη Γη καθορίζει τον συνοδικό μήνα ως το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών επανόδων

της Σελήνης στην ίδια φάση. Ο συνοδικός μήνας αποτελείται από 29,530588 ημέρες μέσου χρόνου.

Η θεμελίωση του πολιτικού έτους επί του συνοδικού μήνα έφερ μεγάλη σύγχυση μέχρι την καθιέρωση του Ιουλιανού ημερολογίου, οπότε το έτος χωρίστηκε σε 12 μήνες που περιέχουν διάφορο ακέραιο αριθμό ημερών.

3.8 Η ημερομηνία του Πάσχα

Η Οικουμενική Σύνοδος της Νίκαιας (325 μ.Χ.) καθόρισε να γιορτάζεται το Πάσχα την πρώτη Κυριακή μετά την Πανσέληνο που συμπίπτει ή έπεται της εαρινής ισημερίας. Η ημερομηνία Π , σε ημέρες Απριλίου, εορτασμού του Ορθόδοξου Πάσχα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Pi = [19[E]_{19} + 16]_{30} + [2[E]_4 + 4[E]_7 + 6[19[E]_{19} + 16]_{30}]_7 + 3,$$

όπου E παριστάνει το έτος και $[q]_u$ παριστάνει το υπόλοιπο της διαίρεσης q/u . Για παράδειγμα, το Πάσχα του έτους $E = 2009$ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Pi = [19[2009]_{19} + 16]_{30} + [2[2009]_4 + 4[2009]_7 + 6[19[2009]_{19} + 16]_{30}]_7 + 3$$

και το αποτέλεσμα είναι 19 (το Πάσχα του 2009 ήταν στις 19 Απριλίου).

Η ημερομηνία του Πάσχα των Καθολικών διαφέρει γενικά από την ημερομηνία του Ορθόδοξου, γιατί ο προσδιορισμός της εαρινής ισημερίας γίνεται βάσει του Γρηγοριανού ημερολογίου, ενώ του Ορθόδοξου με βάση το Ιουλιανό. Επίσης ο προσδιορισμός των φάσεων της Σελήνης γίνεται κατά διαφορετικούς τρόπους.

Κεφάλαιο 4

Αποδείξεις των κινήσεων της Γης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μιλήσαμε για το χρόνο. Το μεγάλο “χρονόμετρο” ήταν και παραμένουν οι κινήσεις της Γης: η περιστροφή γύρω από τον άξονά της και η περιφορά της γύρω από τον Ήλιο. Ωστόσο, αυτά τα δύο φαινόμενα απασχόλησαν για πολλούς αιώνες τους αστρονόμους. Πού οφείλονται; Πώς εξηγούνται; Οι αποδείξεις δόθηκαν μόλις τον 19ο αιώνα.

4.1 Αποδείξεις της περιστροφής της Γης

Οι πρώτες θεωρίες για την περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της διατυπώθηκαν τον 4ο αιώνα π.Χ. (Ικέτας, Έκφαντος ο Συρακούσιος). Αντίθετες απόψεις είχαν ο Πλάτωνας, ο Εύδοξος, ο Αριστοτέλης. Αυτοί επινόησαν το σύστημα των ομόκεντρων σφαιρών, στις επιφάνειες των οποίων θεωρούσαν τοποθετημένους τους αστέρες. Πίστευαν ότι οι κινήσεις των αστερών οφείλονταν στην ομαλή περιστροφή των σφαιρών αυτών που ήταν ομόκεντρες με τη Γη, η οποία ήταν ακίνητη στο κέντρο. Αργότερα η θεωρία της ακίνητης Γης υποστηρίχτηκε κι από τον Πτολεμαίο με την επινόηση των **έκκεντρων κύκλων** και των **επικύκλων**.

Η τελική απόδειξη βασίζεται στο νόμο του Νεύτωνα.

4.1.1 Το εκκρεμές του Foucault

Η αιώρηση του εκκρεμούς γίνεται σε σταθερό επίπεδο γιατί εξαρτάται μόνο από τη βαρύτητα. Το πείραμα έγινε το 1851 από τον Γάλλο φυσικό Jean Foucault στο Πάνθεον του Παρισιού. Ο Foucault κρέμασε μια μπάλα βάρους 25,4

κιλών από την οροφή του Πανθέου, από ύψος 60 μέτρων και την έθεσε σε αιώρηση κατά μήκος της μεσημβρινής γραμμής. Με την πάροδο του χρόνου το επίπεδο αιώρησης σχημάτιζε με τη μεσημβρινή γραμμή γωνία που αυξανόταν από την Ανατολή προς τη Δύση. Έτσι αποδείχτηκε για πρώτη φορά η περιστροφή της Γης από τη Δύση προς την Ανατολή. Ο Foucault διαπίστωσε μεταβολή μεταξύ του επιπέδου αιώρησης και της μεσημβρινής γραμμής κατά 11° την ώρα στο Παρίσι. Αργότερα βρέθηκε ότι η ταχύτητα μεταβολής της γωνίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος. Όσο απομακρυνόμαστε από τον ισημερινό, τόσο αυξάνει η ταχύτητα μεταβολής.

4.1.2 Το φαινόμενο Coriolis

Είναι γνωστό ότι όλα τα σημεία της επιφάνειας της Γης έχουν την ίδια περίοδο περιστροφής. Επομένως το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας περιστροφής μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος από τη μέγιστη τιμή $0,46 \text{ km/sec}$ στον ισημερινό, μέχρι την ελάχιστη στους πόλους. Ας υποθέσουμε ότι εκτοξεύεται ένα βλήμα από το βόρειο πόλο προς τον ισημερινό. Αν η Γη δεν περιστρεφόταν, τότε η τροχιά του βλήματος θα ακολουθούσε ένα μεσημβρινό μέχρι να φτάσει στον ισημερινό. Επειδή η Γη περιστρέφεται κι επειδή το σημείο προς το οποίο στοχεύει το βλήμα κινείται πιο γρήγορα από το σημείο εκτόξευσης, το βλήμα θα πέσει πιο πιά, δηλαδή δυτικά του στόχου. Σε περίπτωση που η εκτόξευση γίνει από τον ισημερινό προς το βόρειο πόλο, επειδή το σημείο εκτόξευσης κινείται πιο γρήγορα από το στόχο, το βλήμα θα πέσει ανατολικά του στόχου. Και στις δύο περιπτώσεις η απόκλιση γίνεται προς τα δεξιά του παρατηρητή όταν αυτός βλέπει προς την κατεύθυνση της τροχιάς. Στην περίπτωση που η εκτόξευση γίνεται στο νότι ημισφαίριο, η απόκλιση της τροχιάς γίνεται προς τα αριστερά του παρατηρητή. Αυτή η απόκλιση των αντικειμένων που κινούνται ως προς την επιφάνεια της περιστρεφόμενης Γης είναι γνωστή ως **φαινόμενο Coriolis**.

Το φαινόμενο Coriolis είναι υπεύθυνο για τη μεγάλης κλίμακας διαμόρφωση της ατμόσφαιρας της Γης.

Οι θερμές μάζες του αέρα στον ισημερινό υψώνονται και κινούνται προς τους πόλους. Στα μεγάλα ατμοσφαιρικά ύψη ο αέρας ψύχεται και κατεβαίνει κοντά στην επιφάνεια σε πλάτη περίπου 30° . Έτσι δημιουργούνται οι ετήσιοι ανατολικοί άνεμοι στις τροπικές ζώνες και οι δυτικοί στις εύκρατες. Επίσης, υπάρχουν οι ανατολικοί επιφανειακοί άνεμοι στις πολικές περιοχές όπου τα ρεύματα των ψυχρών ανέμων κινούνται προς τον ισημερινό. Η κατάσταση αυτή διαμορφώνει τα ρεύματα που επικρατούν στα μέσα πλάτη, όπου οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι απότομες με συνέπεια μια δυναμική αστάθεια των αερίων μαζών που καταλήγει σε μεγάλους στροβιλισμούς. Είναι οι μεγάλης κλίμακας **κυκλώνες και αντικυκλώνες** των εύκρατων ζωνών.

Οι κυκλώνες μας μεταφέρουν κακοκαιρία. Στους χάρτες καιρού αναφέρονται

ως **χαμηλά βαρομετρικά**, λόγω των χαμηλών πιέσεων που επικρατούν.

Το ρεύμα των αερίων μαζών που κατευθύνεται προς το κέντρο της χαμηλής πίεσης εκτρέπεται, όπως το βλήμα που προαναφέραμε, λόγω της περιστροφής της Γης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σπειροειδή κίνηση προς το κέντρο, με διεύθυνση αντίθετη των δεικτών του ρολογιού για το βόρειο ημισφαίριο και ίδια με τους δείκτες του ρολογιού για το νότιο ημισφαίριο.

Οι αντικυκλώνες αναφέρονται ως **υψηλά βαρομετρικά** στους χάρτες του καιρού. Είναι περιοχές που οι αέριες μάζες απομακρύνονται λόγω των υψηλών πιέσεων από το κέντρο των περιοχών αυτών. Τα ρεύματα των αερίων μαζών, λόγω του φαινομένου Coriolis δημιουργούν σπειροειδείς σχηματισμούς με διεύθυνση των δεικτών του ρολογιού για το βόρειο ημισφαίριο και αντίθετη για το νότιο.

4.2 Μεταβολές στην περιστροφή της Γης

Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της δεν είναι απόλυτα ομαλή. Αυτό προκύπτει από τη μελέτη των περιοδικών κινήσεων των ουρανίων σωμάτων και από τα χρονόμετρα μεγάλης ακρίβειας.

Οι μεταβολές της ταχύτητας περιστροφής της Γης διακρίνονται σε τρία είδη: (α) μικρής περιόδου, (β) ανώμαλες και (γ) μεγάλης περιόδου (*secular*).

4.2.1 Οι μεταβολές βραχείας περιόδου

Αυτές οφείλονται, κυρίως, στους ανέμους και στις παλίρροιες. Η περίοδος περιστροφής αυξάνεται κατά 0,001 *sec* κοντά στο εαρινό σημείο ισημερίας, ενώ ελαττώνεται κατά 0,001 *sec* στο φθινοπωρινό σημείο ισημερίας.

4.2.2 Οι ανώμαλες μεταβολές

Στη διάρκεια των τελευταίων 300 χρόνων έχει παρατηρηθεί μια μεταβολή ± 30 *sec* στην περιστροφή της Γης. Οφείλεται σε συσσώρευση μικρών αλλαγών της περιόδου περιστροφής της Γης.

4.2.3 Οι μεταβολές μεγάλης περιόδου

Αυτές οφείλονται κυρίως στην επίδραση της Σελήνης που δημιουργεί το φαινόμενο των παλιρροιών. Οι παλίρροιες με τις τριβές τους ελαττώνουν την ταχύτητα περιστροφής της Γης κι έτσι μαγαλώνει η διάρκεια της ημέρας. Από παρατηρήσεις παλαιών εκλείψεων υπολογίζεται μια αύξηση της ημέρας κατά 0,001 *sec* ανά αιώνα. Μια χονδρική επέκταση των δεδομένων αυτών στο

απώτερο παρελθόν της Γης δείχνει ότι η διάρκεια της ημέρας ήταν 13 - 14 ώρες αντί της σημερινής των 24 ωρών.

Από λεπτομερείς μετρήσεις των χρόνων διαφόρων αστρονομικών φαινομένων, και κύρια των εκλείψεων του Ήλιου και της Σελήνης καθώς και των σεληνιακών επιπροσθήσεων και συνόδων, βρέθηκε μια περίεργη μεταβολή της περιόδου περιστροφής της Γης. Πρόκειται για μια μεγάλη μεταβολή μεταξύ του 750 μ.Χ και του 1300 μ.Χ. Στη διάρκεια των έξι αυτών αιώνων η περίοδος ελαττώνεται συστηματικά και στη συνέχεια αρχίζει να αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό. Μέχρι σήμερα δεν έχει δοθεί καμιά γεωφυσική εξήγηση του φαινομένου αυτού.

4.3 Αποδείξεις της περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο

Η θεωρία για την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο διατυπώθηκε πρώτα από τον Αρίσταρχο το Σάμιο το 230 π.Χ. Ωστόσο, πειστικές αποδείξεις γι' αυτή την περιφορά δόθηκαν σχετικά πρόσφατα. Ο Αριστοτέλης, ο Πλάτωνας, ο Ίππαρχος, ο Πτολεμαίος υποστήριζαν το γεωκεντρικό σύστημα κι αυτό επικράτησε μέχρι το 1700 μ.Χ. Οι πρώτες αναμφισβήτητες αποδείξεις για την κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο δόθηκαν με τη βοήθεια του τηλεσκοπίου.

Παρακάτω αναφερόμαστε στις αποδείξεις της περιφοράς της Γης.

4.3.1 Η αποπλάνηση του φωτός

Είναι μια ετήσια περιοδική μεταβολή των φαινόμενων θέσεων των αστέρων. Αυτή οφείλεται στο συνδυασμό της κίνησης της Γης και της ταχύτητας του φωτός. Για να γίνει κατανοητό αυτό το φαινόμενο, ας δούμε το εξής παράδειγμα: αν ένας άνθρωπος, που βρίσκεται στο ύπαιθρο ενώ βρέχει, στέκεται ακίνητος, βλέπει τη βροχή να πέφτει κατακόρυφα. Αν αυτός τρέχει, βλέπει τη βροχή να πέφτει υπό γωνία που εξαρτάται από την ταχύτητα της βροχής και την ταχύτητα με την οποία αυτός κινείται (Σχήμα 4.3.1).

Αν η Γη ήταν ακίνητη, για να δούμε έναν αστέρα που βρίσκεται στο ζενίθ, θα στρέφαμε το τηλεσκόπιο κατακόρυφα. Επειδή η Γη κινείται, θα δώσουμε στο τηλεσκόπιο κλίση κατά μια γωνία θ , τέτοια ώστε $\tan \theta = v/c$, όπου v η ταχύτητα της Γης και c η ταχύτητα του φωτός (Σχήμα 4.3.2).

Αυτό γίνεται καλύτερα κατανοητό αν υποθέσουμε ότι το τηλεσκόπιο έχει μήκος 300.000 km. Το φως θα διατρέξει το σωλήνα του τηλεσκοπίου (για να φτάσει στο μάτι του παρατηρητή) σε 1 sec. Στο χρόνο αυτό όμως η Γη θα έχει κινηθεί κατά περίπου 30 μέτρα (η ταχύτητα της Γης περί τον Ήλιο είναι 29,8 km/sec).

Η μέγιστη τιμή της γωνίας ϑ μετριέται όταν η διεύθυνση της κίνησης της Γης είναι κάθετη προς τη διεύθυνση που φαίνονται οι αστέρες. Έχει τιμή $\vartheta = 20,49''$ που είναι κοινή για όλους τους αστέρες και αποτελεί τη **σταθερή της αποπλάνησης**.

Επειδή η τροχιά της Γης είναι σχεδόν κυκλική, οι φαινόμενες θέσεις των αστερών διαγράφουν ετήσιες τροχιές στην ουράνια σφαίρα γνωστές ως **αποπλανητικές τροχιές**.

4.3.2 Αστρική παράλλαξη

Είναι γνωστό ότι ένας παρατηρητής που ταξιδεύει βλέπει τα κοντινά αντικείμενα να αλλάζουν θέσεις (κινούμενα κατά την αντίθετη απ' αυτόν κατεύθυνση) πιο γρήγορα από ό,τι τα πιο απομακρυσμένα αντικείμενα. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και με κάποιον που παρατηρεί τους αστέρες από τη Γη, αφού αυτή κινείται γύρω από τον Ήλιο. Η γωνία που σχηματίζουν μεταξύ τους οι οπτικές ακτίνες προς ένα αντικείμενο από δυο διαφορετικές θέσεις του παρατηρητή ονομάζεται **παράλλαξη**.

Το είδος των παραλλακτικών τροχιών των αστερών εξαρτάται από τη θέση τους ως προς την εκλειπτική, ενώ το μέγεθός τους εξαρτάται από την απόστασή τους από τον Ήλιο. Σύμφωνα με την ηλιοκεντρική θεωρία, οι κοντινοί αστέρες παρουσιάζουν ετήσια φαινόμενη μετακίνηση, δηλαδή **παραλλακτική τροχιά**.

4.3.3 Το φαινόμενο Doppler

Το 1842 ο Αυστριακός φυσικός Christian Doppler απέδειξε ότι όταν μια φωτεινή πηγή πλησιάζει ή απομακρύνεται από έναν παρατηρητή, τα μήκη κύματος συσσωρεύονται (ελάττωση του μήκους κύματος) ή αραιώνουν (μεγέθυνση του μήκους κύματος). Αυτό είναι το λεγόμενο **φαινόμενο Doppler**. Κάτι αντίστοιχο γίνεται και με τον ήχο. Ακούμε τους υψηλούς ήχους (δηλαδή αυτούς με μικρό μήκος κύματος) όταν πλησιάζει ένα τραίνο και τους χαμηλούς (δηλαδή αυτούς με μεγάλο μήκος κύματος) όταν το τραίνο απομακρύνεται.

Αν ένας αστέρας εκπέμπει ακτινοβολία σε μήκος κύματος λ κι εμείς παρατηρούμε λ' , τότε ο τύπος Doppler είναι:

$$\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad \Rightarrow \quad v = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda},$$

όπου c η ταχύτητα του φωτός και v η σχετική ταχύτητα κατά μήκος της οπτικής ακτίνας. Αν $v > 0$ η πηγή απομακρύνεται, ενώ αν $v < 0$ η πηγή πλησιάζει.

Το φαινόμενο Doppler είναι μέγιστο για αστέρες που βρίσκονται στο επίπεδο της εκλειπτικής και μηδέν για αστέρες που βρίσκονται στους πόλους της εκλειπτικής.

Η περιοδικότητα του φαινομένου Doppler δείχνει την ετήσια περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Μια πιθανή ίδια κίνηση του αστέρα θα είχε ως αποτέλεσμα σταθερή μετατόπιση Doppler.

Κεφάλαιο 5

Το ηλιακό (Κοπερνίκειο) σύστημα

5.1 Γενική περιγραφή

Τις τελευταίες δεκαετίες μάθαμε πολλά για τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος χάρη στα διαστημικά ρομπότ που εξερεύνησαν και επεξεργάστηκαν από κοντά τους διαστημικούς μας γείτονες.

Ο Ήλιος και οι πλανήτες δημιουργήθηκαν πριν από περίπου 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια από ένα νεφέλωμα. Τα άτομα του νεφελώματος αυτού άρχισαν να μετατρέπουν, στο κέντρο του, το υδρογόνο σε ήλιο, σχηματίζοντας ένα κιτρινωπό, απλό αστέρι, τον **Ήλιο**. Με την πάροδο του χρόνου οι ζώνες του αεριώδους δίσκου σχημάτισαν μικρές και μεγάλες σφαίρες που έσερναν πίσω τους τα υπολείμματα των αερίων από τα οποία δημιουργήθηκαν. Επειδή τα σώματα αυτά δεν είχαν την κατάλληλη μάζα για να λάμψουν κάποτε και να αποτελέσουν αστέρια, η ανάπτυξή τους σταμάτησε, παρέμειναν σκοτεινά κι έγιναν **πλανήτες**. Κοντά στον Ήλιο τα υλικά που περίσεψαν ήταν λίγα κι έτσι σχηματίστηκαν μικρότεροι πλανήτες. Πιο μακριά απ' αυτόν, οι μεγαλύτεροι πλανήτες κατόρθωσαν να συγκρατήσουν τα ελαφριά αέρια του νεφελώματος και μετατράπηκαν σε αέριους γίγαντες. Τα υπολειπόμενα υλικά γύρω από τους πλανήτες σύντομα συμπυκνώθηκαν σχηματίζοντας έτσι τους **δορυφόρους** των πλανητών, τους **αστεροειδείς** και τους **κομήτες**.

Το ηλιακό μας σύστημα, λοιπόν, αποτελείται από τον Ήλιο κι ένα πλήθος ουρανίων σωμάτων που βρίσκονται μέσα στο ηλιακό βαρυτικό πεδίο. Αυτά είναι: οκτώ πλανήτες με τους 162 γνωστούς δορυφόρους τους, τρεις (πρόσφατα αναγνωρισμένοι) νάνοι πλανήτες με τους τέσσερις γνωστούς δορυφόρους τους, αστεροειδείς, μετεωροειδή, κομήτες και μεσοπλανητική σκόνη.

Οι διαστάσεις του ηλιακού συστήματος είναι μικρές σε σχέση με τις αποσ-

τάσεις των αστέρων. Αν θεωρήσουμε ότι η μέση απόσταση Ηλίου - Γης (που ονομάζεται **αστρονομική μονάδα** (*A.U.*) και ισούται με $1,5 \times 10^8 \text{ km}$) είναι ένα εκατοστό του μέτρου, τότε ο πλησιέστερος αστέρας (ο *εγγύτατος* του Κενταύρου) θα απέχει τρία χιλιόμετρα. Αυτό σημαίνει ότι το ηλιακό σύστημα είναι ουσιαστικά ένα κλειστό σύστημα, με την έννοια ότι στα σώματα που το αποτελούν ασκούνται μόνο δυνάμεις αλληλεπίδρασης.

Το ηλιακό σύστημα διαιρείται (άτυπα) σε τρεις περιοχές: η εσωτερική περιλαμβάνει τον Ήλιο, τέσσερα πετρώδης πλανήτες κοντά σ' αυτόν που ονομάζονται **εσωτερικοί ή γήινοι πλανήτες** και την **εσωτερική ζώνη αστεροειδών**. Κατά σειρά απόστασης από τον Ήλιο οι γήινοι πλανήτες είναι: Ερμής, Αφροδίτη, Γη και Άρης. Ο Ερμής και οι Αφροδίτη είναι οι μόνοι πλανήτες δίχως δορυφόρους. Οι αστεροειδείς έχουν πετρώδη σύσταση, ενώ ένας από αυτούς, η Δήμητρα, είναι ο τρίτος σε μέγεθος νάνος πλανήτης και ο μοναδικός χωρίς δορυφόρο.

Στη μεσαία περιοχή ανήκουν οι τέσσερις γίγαντες, αερίωδεις ως προς τη σύσταση, **εξωτερικοί πλανήτες**. Αυτοί είναι: Δίας, Κρόνος, Ουρανός και Ποσειδώνας, καθένας, δε, έχει πλανητικούς δακτυλίους που αποτελούνται από σκόνη και άλλα σωματίδια, καθώς και δορυφόρους.

Τέλος, σε απόσταση από 30 έως περίπου 100 *A.U.* από τον Ήλιο, εκτείνεται η σχετικά "αριοκατοικημένη" εξωτερική ή **υπερποσειδώνια** περιοχή που σε μεγάλο βαθμό είναι ακόμη ανεξερεύνητη. Σ' αυτήν ανήκει η λεγόμενη **ζώνη Kuiper** και ο **δίσκος διασκορπισμού** (*scattered disc*), όπου υπάρχουν μικρότερα ουράνια αντικείμενα, τα περισσότερα από τα οποία αποτελούνται κυρίως από πάγο.

Ο Πλούτωνας, ένα από τα μεγαλύτερα αντικείμενα της υπερποσειδώνιας περιοχής, θεωρείτο, από το 1930, ως ο ένατος πλανήτης του ηλιακού συστήματος με δορυφόρο το Χάροντα. Όμως, το 2006 η Διεθνής Αστρονομική Ένωση έδωσε τυπικό ορισμό του όρου **πλανήτης**, σύμφωνα με τον οποίο: οποιοδήποτε σώμα που ανήκει στο ηλιακό σύστημα και βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο είναι πλανήτης αν:

- α) Έχει αρκετά μεγάλη ποσότητα μάζας έτσι ώστε η ίδια του η βαρύτητα να το συγκρατεί σε σχεδόν σφαιρικό σχήμα, και
- β) Η άμεση περιοχή του δεν περιέχει μικρότερα ουράνια αντικείμενα.

Αυτή η δεύτερη απαίτηση δεν ικανοποιείται από τους νάνους πλανήτες.

Κατόπιν αυτού, ο Πλούτωνας χαρακτηρίστηκε ως ο δεύτερος σε μέγεθος νάνος πλανήτης. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι ο Χάροντας δεν έχει τα χαρακτηριστικά δορυφόρου. Καταρχήν έχει αρκετά μεγάλη μάζα (1/10 της μάζας του Πλούτωνα), με αποτέλεσμα το κέντρο μάζας των δύο αυτών σωμάτων να βρίσκεται κάπου ανάμεσά τους (έξω από τον Πλούτωνα). Επίσης διαπιστώθηκε ότι ο Χάροντας δεν βρίσκεται σε τροχιά περί τον Πλούτωνα, αλλά τα δύο σώματα κινούνται σε τροχιές γύρω από το κοινό κέντρο μάζας τους, δηλαδή αποτελούν ένα

διπλό αστέρα. Δύο μικρότεροι δορυφόροι, η Νύχτα και η Ύδρα, περιφέρονται γύρω από το ζεύγος Πλούτωνας - Χάροντας.

Ο μεγαλύτερος από τους γνωστούς νάνους πλανήτες είναι η Έριδα, η οποία βρίσκεται στο δίσκο διασκορπισμού κι έχει τουλάχιστον ένα δορυφόρο, τη Δυσνομία.

Ο Ήλιος συγκεντρώνει το 99.9% της συνολικής μάζας του ηλιακού συστήματος, ενώ το 99% της στροφορμής συγκεντρώνεται στους πλανήτες.

Η δυναμική του ηλιακού συστήματος είναι πολύ περίπλοκη. Αν θέλαμε να μελετήσουμε την εξέλιξή του λαμβάνοντας υπόψιν τις κινήσεις και τις αλληλεπιδράσεις όλων των σωμάτων και σωματιδίων που το αποτελούν, τότε η μελέτη θα ήταν σχεδόν αδύνατη. Σε πρώτη φάση, λοιπόν, θεωρούμε ότι το ηλιακό σύστημα αποτελείται από εννέα υλικά σημεία, τον Ήλιο και τους οκτώ πλανήτες. Επειδή το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής μάζας συγκεντρώνεται στον Ήλιο, υποθέτουμε ότι ο κάθε πλανήτης κινείται υπό την επίδραση μόνο του ηλιακού βαρυτικού πεδίου, χωρίς να επηρεάζεται από τους υπόλοιπους επτά. Με άλλα λόγια, έχουμε οκτώ ανεξάρτητα μεταξύ τους συστήματα δύο σωμάτων, το καθένα από τα οποία αποτελείται από τον Ήλιο και ένα πλανήτη.

Οι πλανήτες και αρκετοί από τους δορυφόρους διαθέτουν μαγνητικά πεδία. Σήμερα γνωρίζουμε ότι το μαγνητικό πεδίο σε έναν πλανήτη οφείλεται στο γεγονός ότι στο εσωτερικό του υπάρχει ρευστοποιημένο υλικό το οποίο είναι ηλεκτρικά αγώγιμο.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε συνοπτικά στα μέλη του ηλιακού μας συστήματος, εκτός από τη Γη και το δορυφόρο της, τη Σελήνη, με τις οποίες θα ασχοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

5.2 Ο Ήλιος

Έχει διάμετρο 1.400.000 *km* και όγκο 1.000.000 φορές τον όγκο της Γης. Βρίσκεται σε απόσταση $1,5 \times 10^8$ *km* από τη Γη και το φως χρειάζεται 8 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα για να διανύσει την απόσταση Ήλιου - Γης.

Η σημασία του Ήλιου για τη διατήρηση της ζωής στη Γη είναι αποφασιστική γιατί, με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για την ανάπτυξη των ζώντων οργανισμών. Επιπλέον, διατηρεί την επιφανειακή θερμοκρασία της Γης σε ανεκτά για τη ζωή επίπεδα. Για τη σπουδαιότητά του αυτή ο Ήλιος θεοποιήθηκε από όλους τους πρωτόγους λαούς.

Ο Ήλιος περιστρέφεται γύρω από άξονα από δυσμάς προς ανατολάς, όπως η Γη. Ωστόσο, επειδή η ηλιακή σφαίρα δεν είναι στερεή, αλλά ρευστή, δεν περιστρέφεται σαν στερεό σώμα. Ο ισημερινός έχει μικρότερη περίοδο περιστροφής απ' ό,τι οι πόλοι του Ήλιου (**διαφορική** περιστροφή).

Ο Ήλιος αποτελείται από υδρογόνο (σε ποσοστό 84%), ήλιο (15%) και άλλα

στοιχεία σε ποσοστό 1%. Αξίζει να αναφέρουμε ότι το ήλιο ανακαλύφθηκε πρώτα στον Ήλιο και μετά στη Γη.

Το εσωτερικό του Ήλιου μπορεί να χωριστεί στα εξής μέρη, χωρίς σαφή όρια:

1. Τον **πυρήνα** που αποτελεί το 10% της ηλιακής διαμέτρου. Στην περιοχή αυτή γίνονται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις και παράγεται η ηλιακή ενέργεια. Εδώ η θερμοκρασία είναι 14×10^8 βαθμοί *Kelvin* και η πίεση 2×10^{11} ατμόσφαιρες.
2. Τη **ζώνη ακτινοβολίας** που φτάνει το 86% της ηλιακής διαμέτρου και στην οποία η παραγόμενη στον πυρήνα ενέργεια μεταφέρεται προς τα έξω με ακτινοβολία.
3. Τη **ζώνη μεταφοράς** όπου η ενέργεια μεταφέρεται στην επιφάνεια με ρεύματα μεταφοράς και παρατηρούνται διάφορα φαινόμενα στροβιλισμού.

Ο δίσκος που βλέπουμε καθημερινά είναι η ορατή λεπτή επιφάνεια του Ήλιου που ονομάζουμε **φωτόσφαιρα**. Η θερμοκρασία εδώ αγγίζει τους 6.000° Κελσίου, θερμοκρασία δηλαδή που εξαερώνει ακόμη και μέταλλα. Πάνω από τη φωτόσφαιρα βρίσκεται η κατώτατη στιβάδα της ηλιακής ατμόσφαιρας, που ονομάζεται **χρωμόσφαιρα** και η οποία έχει θερμοκρασία 100.000° Κελσίου. Τέλος, πάνω από τη χρωμόσφαιρα βρίσκεται το **στέμμα** (corona), η εξωτερική στιβάδα της ατμόσφαιρας του Ήλιου. Αυτό εκτείνεται σε απόσταση δεκάδων εκατομμυρίων χιλιομέτρων μέσα στο διάστημα. Το στέμμα, καθώς εκτείνεται μέσα στον μεσοπλανητικό χώρο, παίρνει τη μορφή που είναι γνωστή ως **ηλιακός άνεμος**. Πρόκειται για φορτισμένα σωμάτια, κυρίως πρωτόνια και ηλεκτρόνια, που κινούνται με ταχύτητα περίπου 400 km/sec .

Από το κέντρο του Ήλιου εκπέμπονται τεράστιες ποσότητες ενέργειας που ανεβαίνουν αργά από τον πυρήνα προς την επιφάνεια, όπου με ειδικά φίλτρα μπορούμε να διακρίνουμε ένα ακανόνιστο πεδίο από **κόκκους** που διαρκούν μερικά λεπτά μόνο. Έχουν διάμετρο περίπου 1.000 χιλιόμετρα και είναι οι κορυφές ανοδικών ρευμάτων υπερθερμασμένων αερίων. Αντίθετα, οι **ηλιακές κηλίδες** είναι περιοχές με τη μισή θερμοκρασία από τη γύρω τους περιοχή. Αποτελούν πηγές έντονων μαγνητικών διαταραχών, εμφανίζονται ανά ζεύγη και παρουσιάζουν μια περιοδικότητα 11 περίπου ετών (**ηλιακός κύκλος**).

Στη χρωμόσφαιρα παρατηρούμε ένα από τα πιο εντυπωσιακά ηλιακά φαινόμενα, τις **προεξοχές**. Τεράστιοι χείμαροι υπερθερμασμένων αερίων εκσφηνούνται συνεχώς με τρομακτικές ταχύτητες σε ύψη εκατοντάδων χιλιομέτρων. Το βιαιότερο όμως είδος διαταραχών στον Ήλιο είναι οι **εκλάμψεις** που σχετίζονται με ισχυρά μαγνητικά πεδία και μπορούν να παρομοιαστούν με την έκρηξη δισεκατομμυρίων βομβών υδρογόνου.

5.3 Ο Ερμής

Έχει διάμετρο 4.800 χιλιόμετρα και μάζα ίση με 54/1000 της μάζας της Γης. Σε μια (μέση) απόσταση μικρότερη των 58 εκατομμυρίων χιλιομέτρων από τον Ήλιο, ο σιδερένιος πλανήτης φλέγεται συνεχώς από τις ακτίνες του. Εκτός απ' αυτό, όμως, η τεράστια βαρύτητα του Ήλιου έλκει μικρά και μεγάλα διαστημικά σώματα, με αποτέλεσμα ο Ερμής να βομβαρδίζεται συνεχώς και να είναι γεμάτος κρατήρες.

Ο Ερμής είναι ελάχιστα μεγαλύτερος από τη Σελήνη. Κι επειδή βρίσκεται τόσο κοντά στον Ήλιο, είναι πολύ δύσκολο να τον διακρίνουμε καθαρά από τη Γη.

Η ηλιακή του ημέρα (από ανατολή σε ανατολή) διαρκεί διπλάσιο χρόνο (176 γήινες ημέρες) από ό,τι το έτος του, αν και μια πλήρης περιστροφή γύρω από τον άξονά του διαρκεί 59 ημέρες, ενώ μια πλήρης περιφορά του γύρω από τον Ήλιο διαρκεί 88 ημέρες. Η φορά της περιστροφής και της περιφοράς είναι η ίδια.

Εξαιτίας του μικρού του μεγέθους και της μικρής του μάζας το βαρυτικό πεδίο στον Ερμή είναι πολύ αδύναμο για να συγκρατήσει ατμόσφαιρα. Έτσι αυτός περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα ηλίου. Χωρίς ατμόσφαιρα γύρω του δεν έχει ούτε βροχές, ούτε ανέμους, ούτε προστασία από τη ζέστη ή το κρύο. Οι θερμοκρασίες στον Ερμή κυμαίνονται από 430° (μεσημέρι, στο περιήλιο) μέχρι -180° Κελσίου τις νύχτες. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας των 610° C είναι η μεγαλύτερη που έχει παρατηρηθεί σε πλανήτη.

Στο εσωτερικό του Ερμή υπάρχει πυρήνας που αποτελείται κυρίως από σίδηρο και νικέλιο. Μοιάζει με αυτόν της Γης, αλλά είναι αναλογικά μεγαλύτερος. Καταλαμβάνει το 80% της μάζας του πλανήτη κι έχει διάμετρο 3.600 χιλιόμετρα. Πάνω από τον πυρήνα βρίσκεται ο μανδύας που έχει πάχος 600 χιλιόμετρα. Η επιφάνειά του καλύπτεται από τεράστιες χαράδρες, το μήκος των οποίων ξεπερνά τα 500 χιλιόμετρα και το ύψος τους τα 3.000 μέτρα. Η επιφάνεια του Ερμή καλύπτεται από σκόνη σαν την ηφαιστειακή τέφρα της Γης. Η ύπαρξη νερού αποκλείεται. Έχει παρατηρηθεί ασθενές μαγνητικό πεδίο πιθανώς οφειλόμενο στον μεγάλο μεταλλικό πυρήνα.

5.4 Η Αφροδίτη

Από άποψη μεγέθους θεωρείται δίδυμη αδελφή της Γης. Έχει διάμετρο 12.320.000 χιλιόμετρα και μάζα ίση με τα 8/10 της μάζας της Γης. Η μέση απόστασή της από τον Ήλιο είναι 108.000.000 χιλιόμετρα.

Η μέγιστη αποχή της από τον Ήλιο είναι 48°, γι' αυτό παρατηρείται μόνο για 3 - 4 ώρες στο δυτικό ορίζοντα μετά τη δύση του Ήλιου και είναι γνωστή ως Αποσπερίτης (Έσπερος, στην αρχαιότητα), ή στον ανατολικό ορίζοντα λίγο

πριν την ανατολή του Ήλιου και είναι γνωστή ως Αυγερινός (Εωσφόρος, κατά την αρχαιότητα). Η Αφροδίτη είναι το λαμπρότερο αντικείμενο στον νυχτερινό ουρανό μετά τον Ήλιο και τη Σελήνη. Παρουσιάζει φάσεις, όπως η Σελήνη, τις οποίες παρατήρησε πρώτος ο Γαλιλαίος. Την ανακάλυψή του αυτή, για τον φόβο της Ιερής Εξέτασης, την έγραψε κρυπτογραφικά: Η Μητέρα της Αγάπης (σ.σ. δηλαδή η Αφροδίτη) μιμείται τις μορφές της Σύνθιας (σ.σ. δηλαδή της Σελήνης).

Στην Αφροδίτη μια ηλιακή ημέρα (από ανατολή σε ανατολή) διαρκεί όσο 127 γήινες, αν και μια πλήρης περιστροφή γύρω από τον άξονά της διαρκεί 243 γήινες ημέρες. Η ανατολή του Ήλιου γίνεται από τη Δύση, αφού ο πλανήτης αυτός περιστρέφεται από ανατολάς προς δυσμάς, δηλαδή αντίθετα από την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο, η οποία ολοκληρώνεται σε 225 ημέρες. Αυτή η αργή και αντίθετη με τους άλλους πλανήτες περιστροφή παραμένει μυστήριο.

Τα τελευταία χρόνια οι σύγχρονες διαστημοσυσκευές μας αποκάλυψαν μια πραγματική κόλαση με επιφανειακή θερμοκρασία 480° Κελσίου και ατμοσφαιρική πίεση 93 φορές μεγαλύτερη από αυτή της Γης. Η ατμόσφαιρα είναι αποπνικτική κι αποτελείται από διοξείδιο του άνθρακα (90%), άζωτο (5%) και, σε μικρότερα ποσοστά θειικό οξύ, οξυγόνο, κ.ά. Τα σύννεφα της Αφροδίτης είναι πυκνά και κινούνται σε ύψος 48 - 60 *km*, σε αντίθεση με αυτά της Γης που δεν ξεπερνούν το ύψος των 10 *km*. Η θερμοκρασία στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας που φωτίζονται από τον Ήλιο είναι 50 - 60° Κελσίου. Η μεγάλη επιφανειακή θερμοκρασία οφείλεται στο **φαινόμενο του θερμοκηπίου**, σύμφωνα με το οποίο τα νέφη του διοξειδίου του άνθρακα εμποδίζουν την ακτινοβολία του εδάφους κι έτσι παρατηρείται η άνοδος της θερμοκρασίας. Αν δεν υπήρχε το διοξείδιο του άνθρακα η θερμοκρασία στην επιφάνεια της Αφροδίτης θα ήταν κατά 15% μεγαλύτερη από ό,τι στη Γη, λόγω της μικρότερης απόστασης από τον Ήλιο. Τα σύννεφα του διοξειδίου του άνθρακα είναι η κυριώτερη αιτία για τη μεγάλη λαμπρότητα της Αφροδίτης, γιατί ανακλούν κατά 76% το ηλιακό φως.

Στο καυτό έδαφος της Αφροδίτης υπάρχουν λίμνες από υλικά που στην επιφάνεια της Γης θα ήταν σε στερεή κατάσταση. Το 85% της επιφανείας της καλύπτεται από επίπεδα ηφαιστειακά τοπία, τα οποία είναι στιγματισμένα από δεκάδες χιλιάδες ηφαιστειακούς κώνους. Κρατήρες που προήλθαν από πρόσπτωση μετεωρίτη υπάρχουν ελάχιστοι (λιγότεροι από 1000). Αυτό δείχνει μια σχετικά νεαρή επιφάνεια, η ακριβής ηλικία της οποίας είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Κανένας από τους κρατήρες που έχουν εντοπιστεί στην επιφάνεια της Αφροδίτης δεν έχει διάμετρο μικρότερη από 7 χιλιόμετρα. Αυτό ενδεχομένως συμβαίνει γιατί οι μετεωρίτες που θα μπορούσαν να σχηματίσουν μικρότερους κρατήρες δεν προφταίνουν να φτάσουν και να συγκρουστούν με την επιφάνεια, αφού καίγονται μέσα στην πυκνή ατμόσφαιρα του πλανήτη.

Το 2006 ξεκίνησε η πιο εμπεριστατωμένη μελέτη της ατμόσφαιρας, των νε-

φών και της επιφάνειας της Αφροδίτης με τη διαστημοσυσκευή Venus Express.

5.5 Ο Άρης

Ο μικρός αυτός πλανήτης που χαρακτηρίζεται ως ο “κόκκινος πλανήτης” λόγω των οξειδίων σιδήρου που τον καλύπτουν και τον χρωματίζουν, έχει διάμετρο τη μισή της γήινης διαμέτρου και μάζα ίση περίπου με το 1/10 της μάζας της Γης. Έχει δύο δορυφόρους που ανακαλύφθηκαν το 1877 και πήραν τα ονόματα των δυο παιδιών του θεού Άρη, **Φόβος** και **Δείμος** (που σημαίνει πανικός).

Το ενδιαφέρον του ανθρώπου για τον Άρη είναι πολύ παλιό. Πριν 100 χρόνια πεπειραμένοι παρατηρητές πίστευαν ότι έβλεπαν “κανάλια” στην επιφάνειά του: ένα τεράστιο αρδευτικό έργο τεχνητών διωρύγων που τους έκανε να πιστεύουν την ύπαρξη ανεπτυγμένου πολιτισμού. Οι διαστημοσυσκευές αποκάλυψαν, με χαρτογράφηση, ότι, παρά το μικρό του μέγεθος, ο Άρης είναι ένας κόσμος γιγάντιων αντικειμένων. Κανάλια δεν υπάρχουν, αλλά στην επιφάνειά του έχει γραφτεί ένα βίαιο κι ανήσυχο παρελθόν, όπως δείχνουν τα πανύψηλα σβησμένα ηφαίστεια και οι τεράστιες χαράδρες. Αποδείχτηκε ότι υπήρχαν τεράστιες ποσότητες νερού πριν από χιλιάδες χρόνια. Το νερό κάλυπτε την επιφάνεια του πλανήτη σε βάθος δεκάδων μέτρων. Πιθανόν οι λεκάνες που διαθέτει να αποτελούσαν λίμνες ή ωκεανούς.

Τα δύο ημισφαίρια του Άρη παρουσιάζουν αρκετές διαφορές. Το νότιο είναι αρχέγονο, γεμάτο κρατήρες, σαν της Σελήνης. Το βόρειο δείχνει νεότερο, γεμάτο παγωμένη λάβα ηλικίας περίπου 1,3 δισεκατομμυρίων χρόνων, με μεγάλα ηφαίστεια και χαώδεις χαράδρες. Τα πετρώματα αποτελούνται από θραύσματα λάβας και βασάλτες.

Η θερμοκρασία στον Άρη κυμαίνεται από περίπου 25° Κελσίου τα μεσημέρια μέχρι -140° C τα βράδια. Οι άνεμοι κινούνται με μικρές σχετικά ταχύτητες (περίπου 120 km/h). Αρκετά συχνά έχουν παρατηρηθεί θύελλες σκόνης.

Οι πόλοι καλύπτονται από παχύ στρώμα ξηρού πάγου (παγωμένο διοξείδιο του άνθρακα) και από παγωμένο νερό.

Η ατμόσφαιρα του πλανήτη είναι πολύ λεπτή, εξαιτίας της μικρής βαρύτητας, και αραιή, με χαμηλή πίεση. Αποτελείται κυρίως από άζωτο, όπως και η γήινη. Επίσης, έχει ανακαλυφθεί διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμοί, σε πολύ μικρές ποσότητες. Οξυγόνο δεν έχει βρεθεί. Αν η πρωταρχική ατμόσφαιρα του Άρη περιείχε κάποια ποσότητα οξυγόνου φαίνεται ότι αυτό καταναλώθηκε με το φαινόμενο της οξειδωσης.

Γενικά δεν φαίνεται να υπάρχει ιδιαίτερη σεισμική δραστηριότητα στον Άρη. Το μαγνητικό του πεδίο είναι ασθενές (μόνο 2 χιλιοστά του γήινου), παρ' όλο που η παλιότερη ηφαιστειακή του δραστηριότητα υποδηλώνει την ύπαρξη, κατά

το παρελθόν, ενός καυτού ρευστού πυρήνα.

5.6 Η ζώνη των αστεροειδών

Εκτείνεται στην περιοχή μεταξύ Άρη και Δία και διαχωρίζει τους γήινους από τους εξωτερικούς πλανήτες. Περιλαμβάνει περίπου 100.000 μικρότερα ή μεγαλύτερα αντικείμενα, από νάνους πλανήτες μέχρι μετεωροειδή των οποίων η διάμετρος κυμαίνεται από σωματιδίου σκόνης μέχρι μερικά μέτρα.

Το 1801 ο Σικελός αστρονόμος Τζιουζέπε Πιάτσι ανακάλυψε τον πρώτο αστεροειδή και τον ονόμασε Δήμητρα, προς τιμή της θεάς της γεωργίας και προστάτιδας της Σικελίας. Με διάμετρο 1.000 περίπου χιλιόμετρα είναι το μεγαλύτερο αντικείμενο στη ζώνη των αστεροειδών και ο τρίτος σε μέγεθος νάνος πλανήτης (σύμφωνα με τον ορισμό της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης).

Οι σύγχρονοι επιστήμονες μελετούν τους αστεροειδείς με ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί θεωρείται ότι τα υλικά από τα οποία αυτοί αποτελούνται έχουν μείνει αναλλοίωτα από τότε που δημιουργήθηκε το ηλιακό σύστημα.

Εκτός από τη ζώνη αυτή, αστεροειδείς υπάρχουν σε σμήνη που βρίσκονται στην περιοχή του Δία, ενώ άλλοι έχουν συλληφθεί από τη βαρυτική δύναμη πλανητών και μετατράπηκαν σε δορυφόρους τους. Επίσης, αστεροειδείς βρίσκονται στην πέραν του Ποσειδώνα περιοχή του ηλιακού συστήματος.

5.7 Ο Δίας

Είναι ο πέμπτος κατά σειρά απόστασης από τον Ήλιο πλανήτης και ο μεγαλύτερος (με διαφορά) από όλους τους άλλους. Έχει διάμετρο 11 φορές τη διάμετρο της Γης, όγκο 1300 φορές μεγαλύτερο από αυτόν της Γης και μάζα όση 320 γήινες μάζες. Με βάση αυτά τα δεδομένα συμπεραίνουμε ότι η πυκνότητα του Δία είναι $1,36 \text{ gr/cm}^3$, δηλαδή πολύ μικρότερη από τη μέση πυκνότητα της Γης.

Το 1955 διαπιστώθηκε ότι ο γιγάντιος αυτός πλανήτης εκπέμπει ραδιοκύματα και πως διαθέτει ισχυρό μαγνητικό πεδίο.

Ο Δίας περιβάλλεται από ατμόσφαιρα πολύ μεγάλου πάχους που αποτελείται κατά κύριο λόγο από υδρογόνο, μέσα στο οποίο υπάρχουν, σε κανονικά στρώματα, νέφη από μεθάνιο και αμμωνία, που είναι δηλητηριώδη και, φυσικά, ακατάλληλα για αναπνοή. Συνεπώς δεν μπορεί να υπάρχει ζωή με τη μορφή που είναι γνωστή σε μας.

Πάνω στον Δία παρατηρούνται διάφοροι περίεργοι σχηματισμοί (φωτεινές έγχρωμες ζώνες, σκοτεινές ταινίες, λοξές σκοτεινές γραμμές μεταξύ των ισημερινών ζωνών) που δεν έχουν εξηγηθεί πλήρως. Αυτό όμως που χαρακτηρίζει

τον πλανήτη είναι η “ερυθρή κηλίδα”, η οποία βρίσκεται στο νότιο ημισφαίριο, στο χείλος περίπου της ισημερινής ζώνης, και παρατηρείται ανελλιπώς εδώ και 400 χρόνια. Αυτή η κηλίδα είναι μια τρομακτική καταιγίδα ωσειδούς σχήματος, μεγέθους τρεις, περίπου, φορές του μεγέθους της Γης, η οποία περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό της κάθε 7 ημέρες.

Επίσης έχουν παρατηρηθεί άνεμοι, που κινούνται με ταχύτητες οι οποίες φτάνουν τα 700 km/h , χιονοθύελλες αμμωνίας καθώς και βίαιες ηλεκτρικές εκκενώσεις.

Ο Δίας έχει τουλάχιστον 60 δορυφόρους. Από αυτούς 4 είναι αληθινά μεγάλων διαστάσεων. Ο μεγαλύτερος, ο **Γανυμήδης**, ξεπερνά σε μέγεθος τον πλανήτη Ερμή. Η επιφάνεια αυτού του δορυφόρου είναι βομβαρδισμένη από κομήτες κι αστεροειδείς και παρουσιάζει σημάδια έντονης σεισμικής δραστηριότητας. Άλλο χαρακτηριστικό του είναι οι πάγοι και οι οροσειρές ύψους 1500 μέτρων και μήκους εκαντοντάδων χιλιομέτρων. Ο Γανυμήδης διαθέτει μαγνητικό πεδίο.

Ο επόμενος σε μέγεθος δορυφόρος του Δία είναι η **Καλλιστώ**, η οποία επίσης διαθέτει μαγνητικό πεδίο. Η επιφάνειά της είναι διάσπαρτη από κρατήρες και καλύπτεται από βράχους και πάγους. Το χαρακτηριστικό της είναι ο γιγάντιος κρατήρας που ονομάζεται Βαλχάλα και έχει το μέγεθος της Αυστραλίας.

Η **Ευρώπη** είναι λίγο μικρότερη από τη Σελήνη. Είναι ιδιαίτερα επίπεδη, με μια παγωμένη επιφάνεια γεμάτη ρωγμές οφειλόμενες σε παλιρροϊκές δυνάμεις και πτώσεις μετεωριτών. Οι ενδείξεις που έχουμε υποδηλώνουν ότι κάτω από έναν λεπτό παγωμένο φλοιό υπάρχει υφάλμυρος ωκεανός νερού σε υγρή μορφή.

Τέλος, η **Ιώ**, περίπου όση η Σελήνη σε μέγεθος, είναι ιδιαίτερα δραστήρια, αφού βρίσκεται μέσα σε μια βαρυτική παγίδα, ανάμεσα στον Δία που την έλκει από τη μια μεριά και στους δορυφόρους Γανυμήδη κι Ευρώπη, που την έλκουν από την άλλη. Οι τρομακτικές παλίρροιες που δημιουργούνται θερμαίνουν το εσωτερικό της Ιούς και λιώνουν τους βράχους. Τα πυρακτωμένα υλικά που εκτινάσσονται από τα 100 περίπου ηφαίστεια της φτάνουν σε ύψος 300 χιλιομέτρων, ενώ το παραγόμενο διοξείδιο του θείου παγώνει και πέφτει στο έδαφος σαν έγχρωμο χιόνι.

5.8 Ο Κρόνος

Είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος πλανήτης, μετά τον Δία. Βρίσκεται κι αυτός σε θερμή, όχι στερεοποιημένη κατάσταση και είναι ο μοναδικός που περιβάλλεται από φωτεινό δακτύλιο. Αν θεωρήσουμε ως μονάδες τη διάμετρο, τον όγκο, τη μάζα, την πυκνότητα και τη βαρύτητα της Γης, τότε ο Κρόνος έχει: διάμετρο 9,4, όγκο 745, μάζα 92, πυκνότητα 0,128 και βαρύτητα 1,06. Χαρακτηριστικά για τον πλανήτη αυτό λέγεται πως είναι τόσο ελαφρύς ώστε, αν τον ρίχναμε

μέσα σε έναν τεράστιο ωκεανό, θα επέπλεε.

Η ατμόσφαιρα του Κρόνου αποτελείται από υδρογόνο και η επιφάνειά του καλύπτεται από νέφη αμμωνίας και μεθανίου που σχηματίζουν ζώνες παράλληλες προς τον ισημερινό του. Πάνω από τα νέφη, το υδρογόνο σχηματίζει ένα στρώμα πάχους πολλών δεκάδων χιλιομέτρων που δίνει στον πλανήτη το χαρακτηριστικό μαργαριταρένιο χρώμα. Οι δακτύλιοι που περιβάλλουν τον Κρόνο, παρά τη συμπαγή τους εμφάνιση, δεν είναι παρά ένα τεράστιο πλήθος σωματιδίων διαφόρων διαστάσεων, τα οποία δεν κατάφεραν να συμπτηχθούν σε ένα σώμα, αλλά παραμένουν διατεταγμένα στο ισημερινό επίπεδο του πλανήτη και περιφέρονται σαν πολλοί δορυφόροι. Οι ισχυρές ανακλαστικές ικανότητες των δακτυλίων (ανακλούν το 80% του ηλιακού φωτός που δέχονται), μας επέτρεψαν να συμπεράνουμε ότι τα σωματίδια που τους απαρτίζουν είναι κυρίως πάγος.

Ο Κρόνος έχει 60 δορυφόρους. Ο πλησιέστερος είναι ο **Μίμας** που έχει διάμετρο 397 χιλιόμετρα και είναι σηματοδοτημένος από τον τεράστιο κρατήρα Χέρσελ. Ο μεγαλύτερος είναι ο **Τιτάνας** που έχει περίπου τις διαστάσεις του Ερμή και καλύπτεται συνεχώς από μια θολή ατμόσφαιρα αζώτου. Ο **Ιαπετός**, ο οποίος είναι μισός σε μέγεθος από τη Σελήνη, είναι από τους πιο παράξενους δορυφόρους, αφού η μισή επιφάνειά του είναι κατάρμαυρη και η άλλη μισή κατάλευκη. Η **Φοίβη** είναι ο μεγαλύτερος από τους εξωτερικούς δορυφόρους. Στην επιφάνειά της ανακαλύφθηκε παγωμένο νερό καθώς και οργανικά υλικά. Η **Ρέα**, με διάμετρο 1528 χιλιόμετρα, είναι ένας πραγματικά παγωμένος κόσμος με πετρώδη πυρήνα που δεν παρουσιάζει καμιά γεωλογική δραστηριότητα. Στη **Διώνη**, της οποίας η διάμετρος είναι 1118 χιλιόμετρα, επικρατεί θερμοκρασία $-185^{\circ}C$. Η **Τηθύς**, τέλος, διαμέτρου 1071 χιλιομέτρων, είναι ένας γερασμένος κόσμος που αποτελείται εξ ολοκλήρου από καθαρό πάγο.

5.9 Ο Ουρανός

Ο Ουρανός ανακαλύφθηκε τυχαία στις 13 Μάρτη του 1781 με τηλεσκόπιο. Είναι ο έβδομος πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος και τρίτος σε μέγεθος. Βρίσκεται σε αέρια κατάσταση, περιβαλλόμενος από ημίρρευστο φλοιό. Έχει διάμετρο περίπου 51.000 χιλιόμετρα. Επειδή ο άξονάς του είναι σχεδόν παράλληλος με το επίπεδο της τροχιάς του, μπορούμε να πούμε ότι ο Ουρανός κυλιέται πάνω στην τροχιά του γύρω από τον Ήλιο.

Η ατμόσφαιρα που τον περιβάλλει αποτελείται από υδρογόνο (85%), ήλιο (12%), και μεθάνιο (3%).

Ο Ουρανός διαθέτει 11 δακτυλίους κι ένα σύννεφο σωματιδίων που περιφέρονται γύρω του. Τα σωματίδια των δακτυλίων, με μέγεθος μέχρι 1 μέτρο, αποτελούνται από παγωμένο νερό και μεθάνιο και είναι σκοτεινά σαν κάρβουνα.

Ο Ουρανός έχει περί τους 30 δορυφόρους, από τους οποίους μόνο οι πέντε

έχουν διάμετρο πάνω από 500 χιλιόμετρα.

5.10 Ο Ποσειδώνας

Ανακαλύφθηκε στις 23 Σεπτεμβρίου του 1846 από τον Γιόχαν Γκάλε του αστεροσκοπείου του Βερολίνου, ο οποίος βασίστηκε στους μαθηματικούς υπολογισμούς των Λε Βεριέ και Άντκινς. Ο Ποσειδώνας είναι ο μικρότερος από τους αέριους γίγαντες πλανήτες, αλλά και ο πιο πυκνός. Αυτός οριοθετεί τη μεσαία ζώνη του ηλιακού μας συστήματος, διαχωρίζοντάς την από την λεγόμενη **υπερποσειδώνια ζώνη**. Έχει διάμετρο περίπου 45.000 χιλιόμετρα.

Η ατμόσφαιρά του αποτελείται από υδρογόνο, ήλιο, νερό και μικρές ποσότητες αιθανίου και μεθανίου, στο οποίο οφείλεται το παρατηρούμενο κυανοπράσινο χρώμα του πλανήτη.

Στον Ποσειδώνα έχουν υπάρχουν οι πιο ισχυροί άνεμοι του ηλιακού μας συστήματος. Η ατμόσφαιρά του κατακλύζεται από τεράστιους κυκλώνες, αντικυκλώνες και καταιγίδες.

Ο Ποσειδώνας διαθέτει πέντε λεπτούς, αμυδρούς δακτυλίους από παγωμένο μεθάνιο και σωματίδια σκόνης. Έχει 11 (μέχρι τώρα γνωστούς) δορυφόρους. Ο **Τρίτωνας**, με διάμετρο 2705 χιλιόμετρα, είναι ο μεγαλύτερος. Ακολουθούν ο **Πρωτέας** (400 χιλιόμετρα διάμετρος), η **Νηρηίδα** (διαμέτρου 320 χιλιομέτρων), κλπ.

5.11 Η υπερποσειδώνια περιοχή

Σ' αυτή την περιοχή ανήκει ο μέχρι πριν λίγα χρόνια θεωρούμενος ως ένατος πλανήτη, ο **Πλούτωνας**. Όμως, ανακαλύφθηκαν πρόσφατα μεγαλύτερα αντικείμενα κι αυτό το γεγονός προκάλεσε σύγχυση. Έτσι, αφού το 2006 η Διεθνής Αστρονομική Ένωση όρισε τι είναι πλανήτη, ο Πλούτωνας υποβαθμίστηκε σε νάνο πλανήτη.

Ο Πλούτωνας δεν μοιάζει με τους γειτονικούς του γίγαντες πλανήτες, αλλά έχει τα χαρακτηριστικά ενός γήινου πλανήτη. Είναι δηλαδή μικρός και συμπαγής. Η διάμετρός του είναι περίπου 2.300 χιλιόμετρα, η πυκνότητά του δεκαπλάσια της γήινης και η θερμοκρασία στην επιφάνειά του πρέπει να κυμαίνεται γύρω στους $-200^{\circ}C$. Έχει τρεις φυσικούς δορυφόρους: τον **Χάροντα**, τη **Νύκτα** και την **Ύδρα**.

Το αντικείμενο που έγινε αιτία για την υποβάθμιση του Πλούτωνα ήταν η **Έριδα**, της οποίας η διάμετρος υπολογίζεται στα 3.000 χιλιόμετρα. Έχει ένα φυσικό δορυφόρο, την **Δυσνομία**.

Αρκετά νεοανακαλυφθέντα αντικείμενα της υπερποσειδώνιας περιοχής έχουν τις προδαιγματικές για να αποτελέσουν νάνους πλανήτες. Η ύπαρξη τέτοιων αντικειμένων είχε προβλεφθεί από τον αμερικανό αστρονόμο Gerald Kuiper το 1951. Έτσι, η πλησιέστερη προς τον Ποσειδώνα ζώνη της υπερποσειδώνιας περιοχής ονομάστηκε **ζώνη Kuiper**. Υπολογίζεται ότι εδώ υπάρχουν συνολικά 70.000 πλανητοειδή αντικείμενα.

Πέρα από τη ζώνη Kuiper εκτείνεται η περιοχή που ονομάζεται **νέφος του Oort**, προς τιμήν του Ολλανδού αστρονόμου Ίαν Οόρτ που, το 1950, πρότεινε την ύπαρξή του.

Στο νέφος του Οόρτ τα παγωμένα αέρια και η διαστημική σκόνη συμπιέστηκαν σχηματίζοντας τα αντικείμενα που ο αστρονόμος Φρεντ Γουίπλ ονόμασε *βρώμικα παγόβουνα*. Περιστασιακά, κάποιο άστρο ωθεί ορισμένα απ' αυτά τα αντικείμενα σε ένα ταξίδι δεκάδων χιλιάδων χρόνων. Έτσι δημιουργούνται οι **κομήτες**. Κάποιοι από αυτούς διαγράφουν παραβολικές τροχιές και κάνουν ένα μοναδικό ταξίδι προς τον Ήλιο, χωρίς επιστροφή. Κάποιοι άλλοι επηρεάζονται βαρυντικά από τους γίγαντες πλανήτες, κυρίως τον Δία, και διαμορφώνουν ελλειπτικές τροχιές.

Ο **πυρήνας** ενός κομήτη αποτελείται από παγωμένη μεσοαστρική σκόνη και αέρια. Καθώς πλησιάζει τον Ήλιο η θερμότητα κι ο ηλιακός άνεμος τα εξατμίζει. Τα αέρια διασκορπίζονται αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα προς όλες τις κατευθύνσεις γύρω από τον πυρήνα σχηματίζοντας μια σχεδόν σφαιρική νεφελώδη περιοχή, με διάμετρο περίπου 150.000 χιλιόμετρα, που αποτελεί την **κεφαλή** του κομήτη. Καθώς ο κομήτης πλησιάζει περισσότερο στον Ήλιο δέχεται την πίεση των φορτισμένων σωματιδίων του ηλιακού ανέμου που παρασύρει τα εξαερωμένα σωματίδιά του. Έτσι δημιουργείται η **ουρά**, το εντυπωσιακό χαρακτηριστικό των κομητών.

Κάθε χρόνο ανακαλύπτονται περίπου 15 νέοι κομήτες, ενώ άλλοι τόσοι, ήδη γνωστοί, επανέρχονται. Από αυτούς, ένας κάθε 5 - 10 χρόνια φαίνεται με γυμνό μάτι από τη Γη, ενώ μόνο 3 ή 4 κομήτες κάθε 100 χρόνια είναι τόσο λαμπεροί ώστε να είναι ορατοί ακόμη και την ημέρα.

Η σχετικά ανεξερευνήτη υπερποσειδώνια περιοχή έχει ακόμη πολλά να μας αποκαλύψει. Η διαστημοσυσκευή *Νέοι Ορίζοντες*, που εκτόξευσε η NASA τον Ιανουάριο του 2006, αναμένεται να φτάσει στον Πλούτωνα το 2015 κι από κει να μπει στη ζώνη Kuiper και να μελετήσει κάποια από τα αντικείμενά της.

Κεφάλαιο 6

Γη και Σελήνη

6.1 Η Γη

Είναι ο τρίτος πλανήτης του ηλιακού συστήματος κατά σειρά απόστασης από τον Ήλιο και ο έκτος κατά το μέγεθος. Έχει διάμετρο 12.756 χιλιόμετρα, μάζα $5,972 \times 10^{24}$ κιλά και μέση πυκνότητα $5,52 \text{ gr/cm}^3$. Το σχήμα της δεν είναι σφαιρικό, αλλά προσεγγίζει το σφαιροειδές (ελλειψοειδές από περιστροφή). Όμως, ούτε αυτό είναι ακριβώς το σχήμα της, γιατί γύρω από τον ισημερινό υπάρχει εξόγκωμα. Έτσι, το σχήμα της Γης λέγεται **γεωειδές**.

6.1.1 Το εσωτερικό της Γης

Με τους διάφορους τεχνητούς δορυφόρους μπορούμε να παρατηρούμε τη Γη από ψηλά, ενώ οι σεισμικές δονήσεις και τα ηφαίστεια μας δίνουν τη δυνατότητα να μελετούμε το εσωτερικό της.

Κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής δόνησης παράγονται τριών ειδών κύματα:

1. Τα **επιμήκη** ή **πρωτεύοντα** (P, primary), των οποίων οι ταλαντώσεις γίνονται παράλληλα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, δημιουργώντας έτσι περιοχές μεγαλύτερης και περιοχές μικρότερης πυκνότητας, εναλλάξ. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα επιμήκη κύματα είναι τα πρώτα που φθάνουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο.
2. Τα **εγκάρσια** ή **δευτερεύοντα** (S, secondary), των οποίων οι ταλαντώσεις γίνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Αυτά διαδίδονται μόνο σε στερεά μέσα.
3. Τα **επιφανειακά** (L, long) που διαδίδονται μόνο στην επιφάνεια και γιατί αυτό δεν μας δίνουν πληροφορίες για το εσωτερικό της Γης.

Από τη μελέτη, λοιπόν, της διάδοσης των διαφόρων κυμάτων προέκυψαν συμπεράσματα για το πώς είναι το εσωτερικό της Γης.

Στο κέντρο της Γης υπάρχει ο **πυρήνας**. Το εσωτερικό μέρος αυτού είναι εξαιρετικά συμπαγές στερεό, ενώ το εξωτερικό του είναι πολύ πυκνό υγρό. Η πυκνότητα του πυρήνα υπολογίζεται να είναι περίπου 13 gr/cm^3 . Έτσι, πιστεύεται ότι αυτός αποτελείται κυρίως από σίδηρο, νικέλιο και ίσως κοβάλτιο. Γύρω από τον πυρήνα εκτείνεται ο **μανδύας** που αποτελείται από βασάλτες, πυριτικά πετρώματα και οξειδία. Ο **εξωτερικός φλοιός** είναι μια κρούστα που το πάχος της κυμαίνεται από λίγα χιλιόμετρα (στους ωκεανούς) μέχρι 60 χιλιόμετρα (στις ηπείρους). Το ανώτερο μέρος του μανδύα και ο φλοιός αποτελούν τη **λιθόσφαιρα**, που είναι μια στερεή ζώνη διατεταγμένη σε πλάκες εμβαδού χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων και πάχους περίπου 50 χιλιομέτρων. Αυτές λέγονται **τεκτονικές πλάκες**. Εξαιτίας της εσωτερικής θερμότητας οι πλάκες “επιπλέουν” πάνω σε ένα μαλακό (αλλά όχι ρευστό) στρώμα βράχων και μετακινούνται με εξαιρετικά αργό ρυθμό. Ανάμεσα στις πλάκες υπάρχουν ρήγματα, κατά μήκος των οποίων συμβαίνουν οι περισσότεροι σεισμοί και τα ηφαίστεια.

6.1.2 Οι παλίρροιες

Είναι περιοδικές αυξομειώσεις της στάθμης των θαλασσών, οι οποίες συμβαίνουν εξαιτίας των βαρυτικών ελκτικών δυνάμεων που ασκεί η Σελήνη στη Γη. Επειδή η βαρυτική έλξη είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από το έλκον σώμα, τα σημεία της Γης που είναι πιο κοντά στη Σελήνη δέχονται μεγαλύτερη έλξη από ό,τι αυτά που είναι πιο απομακρυσμένα. Μ' αυτό τον τρόπο δημιουργούνται οι παλίρροιες.

Ο Ήλιος επιδρά επίσης στις παλίρροιες. Επειδή όμως η απόστασή του από τη Γη είναι μεγάλη, οι δυνάμεις είναι πιο ασθενείς. Ωστόσο, το φαινόμενο των παλίρροιών είναι πιο έντονο στην περίπτωση που η Σελήνη και ο Ήλιος ευθυγραμμίζονται, γιατί τότε οι δυνάμεις που αυτά τα δύο σώματα ασκούν στη Γη προστίθενται.

Το φαινόμενο των παλίρροιών επηρεάζεται από τη μορφολογία των πυθμένων των θαλασσών και των ακτών, καθώς και από τα θαλάσσια ρεύματα.

6.1.3 Η ατμόσφαιρα της Γης

Η ατμόσφαιρα της Γης περιέχει κυρίως άζωτο (77%) και οξυγόνο (21%) και σε μικρά ποσοστά υδρατμούς, αργό, διοξείδιο του άνθρακα, νέο, ήλιο, μεθάνιο, κρυπτό, υδρογόνο, όζον, οξείδιο του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία.

Η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε στρώματα. Το κατώτερο στρώμα, η **τροπόσφαιρα**, έχει πάχος 18 χιλιόμετρα και σ' αυτό συμβαίνουν τα καιρικά φαινόμενα.

Πάνω από την τροπόσφαιρα βρίσκεται η **στρατόσφαιρα** και η **μεσόσφαιρα**. Ανάμεσα σ' αυτά τα δύο στρώματα βρίσκεται η **ζώνη του όζοντος**. Το όζον (O_3) απορροφά την πολύ βλαβερή για τους ζώντες οργανισμούς υπεριώδη ακτινοβολία. Στη στρατόσφαιρα η θερμοκρασία αυξάνει καθώς είναι άμεση η ακτινοβολία του Ήλιου. Πάνω από τη μεσόσφαιρα βρίσκεται η **ιονόσφαιρα**, που αποτελείται από ιονισμένα σωματίδια.

Το φως καθώς περνά μέσα από την ατμόσφαιρα σκεδάζεται, διαθλάται ή αναλύεται με αποτέλεσμα το γαλάζιο του ουρανού, τα εντυπωσιακά χρώματα κατά την ανατολή ή τη δύση του Ήλιου, το ουράνιο τόξο, τη στίλβη των αστέρων, τον αντικατοπτρισμό στην έρημο. Αν δεν υπήρχε η ατμόσφαιρα, εκτός των άλλων, θα βλέπαμε τον Ήλιο να λάμπει εκτυφλωτικά σε ένα μαύρο ουρανό.

Διάθλαση του φωτός

Θεωρούμε ότι η ατμόσφαιρα είναι στρωματοποιημένη σε παράλληλα στρώματα των οποίων η πυκνότητα ελαττώνεται καθώς αυξάνει η απόσταση από την επιφάνεια της Γης. Έτσι, μια ακτίνα φωτός από ένα αστέρι, καθώς περνάει από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας, διαθλάται διαδοχικά, δηλαδή αλλάζει ταχύτητα διάδοσης και διεύθυνση, με αποτέλεσμα το αστέρι να φαίνεται σε άλλη θέση απ' αυτή που πραγματικά βρίσκεται. Συγκεκριμένα, τόσο ο Ήλιος όσο και τα άλλα αστέρια φαίνονται ψηλότερα απ' ό,τι στην πραγματικότητα είναι. Εξαιτίας αυτού αυξάνει η διάρκεια της ημέρας (για τα γεωγραφικά πλάτη της Ελλάδας κατά 10 λεπτά κατά μέσο όρο). Ας σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ζενιθία απόσταση ενός αστέρα, τόσο εντονότερη είναι η διάθλαση του φωτός του (Σχήμα 6.1.1).

Επίσης, εξαιτίας της διάθλασης το φως αναλύεται στο φάσμα του, δηλαδή στα χρώματα που το απαρτίζουν. Αυτό συμβαίνει γιατί το κάθε χρώμα έχει διαφορετική ταχύτητα διάδοσης στο κάθε στρώμα της ατμόσφαιρας.

Ας αναφέρουμε εδώ ότι το λευκό φως είναι σύνθετο. Αποτελείται από επτά επιμέρους ακτινοβολίες (κόκκινη, ποροκαλί, κίτρινη, πράσινη, μπλε ανοικτή, μπλε σκούρη και ιώδης), γνωστές ως **χρώματα της Ίριδας**, οι οποίες αποτελούν το **φάσμα** του λευκού φωτός. Καθεμιά ακτινοβολία έχει διαφορετικό μήκος κύματος από τις υπόλοιπες. Η κόκκινη έχει το μεγαλύτερο μήκος κύματος, και άρα τη μικρότερη συχνότητα, αφού ισχύει η σχέση $c = \nu \times \lambda$, όπου c η ταχύτητα του φωτός, ν η συχνότητα και λ το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Η ιώδης έχει το μικρότερο μήκος κύματος και τη μεγαλύτερη συχνότητα.

Το γαλάζιο χρώμα του ουρανού

Έχει σχέση με την **σκέδαση** του φωτός από τα μόρια του αέρα, της σκόνης και τους υδρατμούς που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Με τον όρο σκέδαση εννοούμε τη διαδικασία με την οποία η ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα σωματίο απορροφάται απ' αυτό και στη συνέχεια επανεκπέμπεται σε διαφορετική διεύθυνση.

Ο τρόπος που σκεδάζεται μια ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων που προκαλούν τη σκέδαση. Τα μόρια των υδρατμών είναι σχετικά μεγάλα και γι' αυτό σκεδάζουν σχεδόν όλα τα χρώματα με τον ίδιο τρόπο. Έτσι, όταν ο Ήλιος λάμπει, τα σύννεφα φαίνονται λευκά.

Το μπλε και το ιώδες χρώμα σκεδάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ό,τι το κόκκινο (το οποίο απορροφάται σε μεγαλύτερο ποσοστό), γιατί το μήκος κύματός τους πλησιάζει τις διαστάσεις των μορίων του αέρα στα οποία προσπίπτει. Έτσι, ο ουρανός φαίνεται γαλάζιος.

Όταν ο Ήλιος βρίσκεται κοντά στον ορίζοντα (κατά την ανατολή ή τη δύση του), το φως διανύει περίπου 40 φορές μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα απ' ό,τι όταν αυτός μεσουρανεί. Τότε το μπλε και το ιώδες σχεδόν εξαφανίζονται κι έτσι επικρατεί το κόκκινο και το πορτοκαλί.

Όταν η ατμόσφαιρα είναι κορεσμένη από υδρατμούς τότε, πάλι λόγω σκέδασης, ουρανός και σύννεφα αποκτούν κόκκινο χρώμα.

Λυκόφως και λυκαυγές

Για αρκετό χρόνο μετά τη δύση του Ήλιου ο ουρανός εξακολουθεί να είναι φωτεινός, ενώ το φως αυτό ελαττώνεται καθώς ο Ήλιος κατεβαίνει όλο και χαμηλότερα. Επίσης, ο ουρανός φωτίζεται αρκετή ώρα πριν ανατείλει ο Ήλιος. Είναι, αντίστοιχα, το **λυκόφως** και το **λυκαυγές**. Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται στη σκέδαση και στη διάθλαση των ηλιακών ακτίνων καθώς αυτές διασχίζουν τα διάφορα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας.

Υπάρχει το πολιτικό λυκόφως που τελειώνει όταν το κέντρο του Ήλιου βρίσκεται 6° κάτω από τον ορίζοντα, το ναυτικό λυκόφως που τελειώνει όταν το κέντρο του Ήλιου βρίσκεται 12° κάτω από τον ορίζοντα, και το αστρονομικό λυκόφως που τελειώνει όταν το κέντρο του Ήλιου βρίσκεται 18° κάτω από τον ορίζοντα. Αντίστοιχα είναι το πολιτικό, το ναυτικό και το αστρονομικό λυκαυγές.

Το ουράνιο τόξο

Εμφανίζεται στον ουρανό μετά από καταιγίδα. Καθώς το ηλιακό φως περνά μέσα από εκατομμύρια σταγόνες της βροχής διαθλάται και αναλύεται στα επιμέρ-

ους χρώματα, ανακλάται στο πίσω εσωτερικό μέρος της κάθε σταγόνας και στη συνέχεια βγαίνοντας διαθλάται ξανά. Έτσι δίνει ένα χρωματιστό κυκλικό τόξο 42 μοιρών με κέντρο ένα σημείο αντίθετο από τη θέση του Ήλιου. Μια δεύτερη ανάκλαση μέσα στις σταγόνες μπορεί να δώσει ένα επιπλέον δευτερεύον τόξο 51 μοιρών, αμυδρότερο, με τα χρώματα ανεστραμμένα.

Η στίλβη των αστέρων

Συχνά όταν παρατηρούμε τα αστέρια, ειδικά τις ξάστερες βραδιές, έχουμε την εντύπωση ότι το φως τους τρεμοπαίζει και αλλάζει χρώματα. Αυτό το φαινόμενο, που ονομάζεται **στίλβη των αστέρων**, οφείλεται στη διάθλαση και ανάλυση που υφίσταται το φως του αστέρα, καθώς περνά μέσα από τα διαφορετικής πυκνότητας και θερμοκρασίας στρώματα της ατμόσφαιρας. Η στίλβη των αστέρων δυσκολεύει σημαντικά τους αστρονόμους και τους αστροφωτογράφους. Γι' αυτό, ιδανικές παρατηρήσεις και φωτογραφήσεις ουρανίων αντικειμένων γίνονται από σταθμούς που βρίσκονται έξω από την ατμόσφαιρα της Γης.

6.1.4 Το μαγνητικό πεδίο της Γης

Η ύπαρξη της ζωής στη Γη δεν είναι μόνο αποτέλεσμα των κλιματολογικών συνθηκών (θερμοκρασία, χημική σύσταση της ατμόσφαιρας). Χρειάζονται και προστατευτικοί μηχανισμοί. Ένας είναι η ατμόσφαιρα που προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου. Ένας άλλος, εξίσου σημαντικός, είναι το μαγνητικό πεδίο της Γης.

Από τον 11ο αιώνα π.Χ. φαίνεται ότι οι Κινέζοι γνώριζαν τη μαγνητική πυξίδα, ενώ οι αρχαίοι Έλληνες γνώριζαν τα μαγνητικά υλικά. Ωστόσο, η άποψη ότι η Γη συμπεριφέρεται σαν ένα μαγνητικό δίπολο διατυπώθηκε το 1600 μ.Χ. από τον Άγγλο φυσικό William Gilbert, ο οποίος όμως δεν μπόρεσε να εξηγήσει την αιτία του μαγνητικού αυτού πεδίου. Σήμερα γνωρίζουμε ότι το μαγνητικό πεδίο σε ένα πλανήτη σχηματίζεται όταν στο εσωτερικό του υπάρχει ρευστοποιημένο υλικό το οποίο είναι ηλεκτρικά αγώγιμο.

Οι μαγνητικοί πόλοι δεν συμπίπτουν με τους αντίστοιχους γεωγραφικούς. Υπάρχει η λεγόμενη **μαγνητική απόκλιση** που είναι η μακροχρόνια μεταβολή της διαφοράς μεταξύ γεωγραφικών και μαγνητικών πόλων.

Από ανάλυση του προσανατολισμού μαγνητισμένων σωματιδίων σε ορισμένα πετρώματα και βράχους, οι γεωλόγοι προσδιόρισαν τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της Γης και ανακάλυψαν ακόμη και αλλαγή της πολικότητας του πεδίου αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της ιστορίας της Γης.

Το μαγνητικό πεδίο της Γης αποτελεί προστατευτική ασπίδα τόσο για τον ηλιακό άνεμο, όσο και για τις κοσμικές ακτίνες, που είναι σωματίδια υψηλής

ενέργειας, κυρίως πυρήνες υδρογόνου και ηλίου.

Το μαγνητικό πεδίο της Γης, κοντά στην επιφάνειά της, έχει τη μορφή μαγνητικού διπόλου. Παλιά πίστευαν ότι μια μεταλλική ράβδος διαπερνά τη Γη και φτάνει στην επιφάνειά της κοντά στους πόλους. Σε μεγαλύτερα ύψη, όμως, αυτό παραμορφώνεται από την πίεση του ηλιακού ανέμου. Σχηματίζεται μια μαγνητική “ουρά”, το μήκος της οποίας φτάνει πέρα από τη Σελήνη. Η περιοχή αυτή του μαγνητικού πεδίου της Γης ονομάζεται **μαγνητόσφαιρα** (Σχήμα 6.1.2).

Φορτισμένα σωμάτια (κυρίως από τον ηλιακό άνεμο) φθάνοντας στη μαγνητόσφαιρα παγιδεύονται και ακολουθούν τις μαγνητικές γραμμές διαγράφοντας ελικοειδείς τροχιές. Έτσι μπαίνουν στην ατμόσφαιρα με κατεύθυνση τους μαγνητικούς πόλους. Η αλληλεπίδραση έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του **βορείου** και του **νοτίου πολικού σέλαος** σε γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα, συνήθως, των 75° . Το σέλας έχει τη μορφή φωτεινής “κουρτίνας” σε χρώματα ρόδινο, μπλε, πράσινο και εμφανίζεται σε ύψος 80 - 160 χιλιομέτρων.

Ζώνες Van Allen

Τον Ιανουάριο του 1958 ο δορυφόρος Explorer I ανακάλυψε ότι η Γη περιβάλλεται από μια ζώνη ακτινοβολίας που ονομάστηκε **ζώνη ακτινοβολίας Van Allen**, προς τιμήν του αμερικανού φυσικού που ήταν υπεύθυνος του σχετικού ερευνητικού προγράμματος.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι υπάρχουν δύο τέτοιες ζώνες που περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις φορτισμένων σωματιδίων τα οποία εκπέμπουν την παρατηρούμενη ακτινοβολία.

Οι ζώνες αυτές έχουν σχήμα τόρου χωρίς σαφή όρια (Σχήμα 6.1.3). Η εσωτερική εκτείνεται μεταξύ 1000 και 5000 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γης και η εξωτερική από 15.000 μέχρι 25.000 χιλιόμετρα.

Η εσωτερική ζώνη περιέχει φορτισμένα σωμάτια, κυρίως πρωτόνια ενέργειας 50 MeV, ενώ η εξωτερική περιέχει πρωτόνια και ηλεκτρόνια μικρότερης ενέργειας. Τα σωμάτια αυτά, που παγιδεύονται στις συγκεκριμένες περιοχές της μαγνητόσφαιρας, προέρχονται κατά πάσα πιθανότητα από τον ηλιακό άνεμο και τις κοσμικές ακτίνες.

Σημείωση: Το **ηλεκτρονιοβόλτ** (eV), μονάδα ενέργειας στην Ατομική Φυσική, είναι ίσο με $1,6021 \times 10^{-12}$ erg. Το μέγα-ηλεκτρονιοβόλτ (MeV) είναι ίσο με 10^6 eV.

6.2 Η Σελήνη

Είναι ο φυσικός δορυφόρος της Γης, από την οποία απέχει 380.000 χιλιόμετρα. Έχει διάμετρο το 1/4 της γήινης διαμέτρου, μάζα το 1/81,3 της μάζας Γης και μέση πυκνότητα $3,3 \text{ gr/cm}^3$. Η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της Σελήνης είναι 6 φορές μικρότερη από αυτή της Γης, ενώ η ταχύτητα διαφυγής είναι $2,38 \text{ km/sec}$ (αντίστοιχα για τη Γη είναι $11,2 \text{ km/sec}$ και για τον Ήλιο 618 km/sec).

Συνέπεια της μικρής βαρύτητας και της μικρής ταχύτητας διαφυγής είναι η απουσία ατμόσφαιρας στη Σελήνη. Κι αν ακόμα δημιουργήθηκε ατμόσφαιρα από ηφαιστειακή δράση, αυτή διέφυγε στο διάστημα, αφενός λόγω μικρής βαρύτητας, αφετέρου λόγω υψηλών θερμοκρασιών. Κι έτσι στην επιφάνεια της Σελήνης επικρατεί πρακτικά τέλειο κενό.

Η θερμοκρασία προσεγγίζει τους 100°C το μεσημέρι και τους -150°C τα μεσάνυχτα. Λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια είναι σταθερή, περίπου -40°C .

Το μαγνητικό πεδίο της Σελήνης είναι σχεδόν ανύπαρκτο (μικρότερο από 10^{-5} Gauss).

Από εκατοντάδες κιλά πετρωμάτων και χρώματος που έφεραν οι αποστολές *Apollo* βγήκαν διάφορα συμπεράσματα για τη σύσταση της Σελήνης. Καταρχήν, τα πετρώματά της είναι παρόμοια με αυτά της Γης. Στις θάλασσες υπάρχουν **βασάλτες**, που προέρχονται από στερεοποιημένη λάβα. Στις ηπείρους βρίσκονται **ανορθωσίτες**, ένας συνδυασμός ορυκτών από στερεοποιημένα υλικά. Η σεληνιακή σκόνη είναι 50% γυαλί. Στα πετρώματα υπάρχει σίδηρος σε ποσοστό 8%, ενώ στη Γη είναι 36%. Τα σεληνιακά υλιά είναι άνυδρα και δεν υπάρχουν απολιθωμένες μορφές ζωής.

6.2.1 Δομή της Σελήνης

Οι πρώτες πληροφορίες δόθηκαν από τις διαστημικές αποστολές του προγράμματος *Apollo*. Τοποθετήθηκαν σειсмоγράφοι και έγινε μελέτη των σεισμικών κυμάτων όπως στη Γη. Προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

Στο κέντρο υπάρχει ένας μη ενεργός μεταλλικός **πυρήνας**. Γύρω από αυτόν υπάρχει ο **μανδύας** και τέλος ο **φλοιός**. Αυτός έχει πάχος περίπου 65 χιλιόμετρα στο ορατό ημισφαίριο της Σελήνης, ενώ στο άορατο το πάχος του είναι σχεδόν διπλάσιο.

6.2.2 Επιφάνεια της Σελήνης

Η πρώτη χαρτογράφηση της σεληνιακής επιφάνειας έγινε από τον Γαλιλαίο όταν πρωτοχρησιμοποίησε το τηλεσκόπιο. Οι διαστημικές αποστολές έδωσαν ακριβή εικόνα. Παρακάτω αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά του σεληνιακού τοπίου.

Οι σκοτεινές πιο ομαλές επιφάνειες ονομάζονται **θάλασσες** και καλύπτουν το 1/3 της επιφάνειας της Σελήνης. Οι πυθμένες τους καλύπτονται από λάβα και ουδεμία σχέση έχουν με νερό. Φαίνονται σκοτεινές λόγω της μικρής ανακλαστικής ικανότητας (albedo) στο φως. Οι **ήπειροι** είναι οι λαμπρότερες περιοχές και αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας. Βρίσκονται σε ψηλότερο επίπεδο από τις θάλασσες και έχουν μεγαλύτερη ηλικία. Κύριο χαρακτηριστικό της επιφάνειας της Σελήνης είναι οι **κρατήρες**. Οι διάμετροί τους κυμαίνονται από λίγα εκατοστά του μέτρου μέχρι 250 χιλιόμετρα. Από μερικούς μεγάλους ξεκινούν ακτινωτοί σχηματισμοί. Οφείλονται σε προσκρούσεις μετεωριτών και ένα μικρό ποσοστό σε παλιά ηφαιστειακή δραστηριότητα. Από την εκτίναξη θραυσμάτων μεγάλων μετεωριτών δημιουργήθηκαν οι ακτινωτοί σχηματισμοί. Οι θάλασσες περιβάλλονται από ψηλές και απότομες **οροσειρές**, των οποίων τα ύψη κυμαίνονται από 3.000 - 5.000 μέτρα. Η αναλογία του ύψους των οροσειρών προς τη διάμετρο της Σελήνης είναι πολύ μεγάλη. Με την αναλογία αυτή το Έβερεστ θα έπρεπε να έχει ύψος 16.000 μέτρα. Δευερεύοντες σχηματισμοί στη σεληνιακή επιφάνεια είναι οι **πτυχές**, τα **ρήγματα** και οι **κόλποι**.

6.2.3 Κινήσεις της Σελήνης

Έχει υπολογιστεί ότι υπάρχουν περί τις 800 διαφορετικές κινήσεις της Σελήνης. Σε ό,τι ακολουθεί θα ασχοληθούμε με τις κυριότερες από αυτές που είναι:

A. Η **περιφορά** γύρω από το κοινό κέντρο μάζας Γης - Σελήνης. Αυτό βρίσκεται μέσα στη Γη, σε απόσταση 4667 χιλιομέτρων από το κέντρο της. Η τροχιά είναι ελλειπτική με εκκεντρότητα $e = 0,055$. Το επίπεδο αυτής της τροχιάς σχηματίζει με την εκλειπτική γωνία $5^\circ 8'$. Η τομή των δύο αυτών επιπέδων ονομάζεται **γραμμή των συνδέσμων**. Η γραμμή αυτή μεταβάλλει διεύθυνση στο επίπεδο της εκλειπτικής λόγω βαρυτικών επιδράσεων από τη Γη και των Ήλιου. Το φαινόμενο αυτό καλείται **αναδρομή των σεληνιακών συνδέσμων**. Η μέση ταχύτητα της Σελήνης στην τροχιά της είναι 1 km/sec . Η περίοδος περιφοράς ονομάζεται **μήνας**, η διάρκεια του οποίου εξαρτάται από την αρχή μέτρησής του, κάτι ανάλογο με την περίοδο της Γης γύρω από τον Ήλιο, το έτος. Από τα διάφορα είδη μηνών, αναφέρουμε:

- Ο **αστρικός μήνας** (A) είναι η πραγματική περίοδος της σεληνιακής περιφοράς. Είναι το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών συνόδων του κέντρου της Σελήνης με τον ίδιο αστέρα καθώς φαίνεται από το κέντρο της Γης. Ο αστρικός μήνας διαρκεί 27,3 ημέρες.
- Ο **συνοδικός μήνας** (Σ) είναι το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών συνόδων της Σελήνης και του Ήλιου, ή μεταξύ δύο ομονύμων φάσεων

(π.χ., από πανσέληνο σε πανσέληνο). Ο συνοδικός μήνας διαρκεί 29,5 ημέρες.

Η μέση κίνηση της Σελήνης στην τροχιά της είναι $360^\circ:27,3=13,2^\circ$. Δηλαδή σε μια ώρα η Σελήνη διαγράφει τόξο στην ουράνια σφαίρα ίσο περίπου με $32'$, δηλαδή ίσο με τη φαινόμενη διάμετρό της.

Ο αστρικός μήνας (Α) προσδιορίζεται από τη διάρκεια του αστρικού έτους, $E=365,2563$ ημέρες, και τη διάρκεια του συνοδικού μήνα ως εξής:

Κατά τη διάρκεια ενός συνοδικού μήνα (Σ) η Γη διαγράφει τόξο φ μοίρες στην τροχιά της περί τον Ήλιο (Σχήμα 6.2.1) και σε ένα αστρικό έτος (Ε) διαγράφει 360° (πλήρης περιφορά). Η Σελήνη σε ένα αστρικό μήνα (Α) διαγράφει τόξο 360° περί την Γη, ενώ σε ένα συνοδικό μήνα (Σ) διαγράφει τόξο $360^\circ+\varphi$ γύρω από την Γη. Άρα έχουμε τις αναλογίες:

$$\text{Για την Γη :} \quad \frac{1 \Sigma}{1 E} = \frac{\varphi}{360^\circ}.$$

$$\text{Για την Σελήνη :} \quad \frac{1 \Sigma}{1 A} = \frac{360^\circ + \varphi}{360^\circ} = 1 + \frac{\varphi}{360^\circ}.$$

Άρα

$$\frac{1 \Sigma}{1 A} = 1 + \frac{1 \Sigma}{1 E} \Rightarrow \frac{1}{A} = \frac{1}{\Sigma} + \frac{1}{E}.$$

Αυτή η τελευταία σχέση ονομάζεται **εξίσωση της συνοδικής κίνησης**.

Α. Η **περιστροφή** περί τον άξονά της. Ένα σημείο του ισημερινού της Σελήνης κινείται με ταχύτητα 16 km/h , ενώ η αντίστοιχη ταχύτητα ενός σημείου του ισημερινού της Γης είναι 1600 km/h . Η περίοδος της περιστροφής της Σελήνης γύρω από τον άξονά της και η περίοδος περιφοράς της γύρω από τη Γη είναι ίσες. Για το λόγο αυτό βλέπουμε πάντα την ίδια πλευρά της Σελήνης. Στην πραγματικότητα βλέπουμε το 59% της ολικής σεληνιακής επιφάνειας, εξαιτίας των λεγόμενων λικνίσεων.

Α. Οι **λικνίσεις** είναι κυρίως τεσσάρων ειδών:

- Η **λικνιση κατά πλάτος**, στη διεύθυνση Βορράς - Νότος, οφείλεται στη γωνία $6,5^\circ$ που σχηματίζει ο ισημερινός της Σελήνης με το επίπεδο της τροχιάς της
- Η **λικνιση κατά μήκος**, στη διεύθυνση Ανατολή - Δύση, οφείλεται στο ότι η ταχύτητα περιφοράς μεταβάλλεται σύμφωνα με τον νόμο των εμβαδών (2ος νόμος του Kepler), ενώ η ταχύτητα περιστροφής είναι σταθερή.

- Η **ημερήσια λίκνιση** οφείλεται στο γεγονός ότι ο παρατηρητής στην επιφάνεια της Γης βλέπει τη Σελήνη από δυο διαφορετικές διευθύνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Η **φυσική λίκνιση** οφείλεται στις ανωμαλίες που παρουσιάζει η περιστροφή της Σελήνης επειδή αυτή δεν είναι απόλυτα σφαιρική.

6.2.4 Φάσεις της Σελήνης

Καθώς η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη, η φωτιζόμενη από τον Ήλιο επιφάνειά της φαίνεται στον γήινο παρατηρητή να αυξομειώνεται περιοδικά. Αυτές είναι οι λεγόμενες **φάσεις της Σελήνης**. (Σχήμα 6.2.2)

Ονομάζουμε **ηλικία της Σελήνης** για κάποια χρονική στιγμή, το χρονικό διάστημα μεταξύ της φάσης της **νέας Σελήνης** και της δεδομένης χρονικής στιγμής.

Όταν η Σελήνη είναι στη φάση του **μηνίσκου** διακρίνεται και το υπόλοιπο τμήμα της επιφάνειάς της φωτιζόμενο από ένα αμυδρό φως, γνωστό ως **τεφρώδες φως**. Αυτό οφείλεται στο ηλιακό φως που ανακλάται στην επιφάνεια της Γης και στη συνέχεια φωτίζει τη Σελήνη. Τα πιο φωτεινά σημεία εμφανίζονται να είναι οι μεγαλύτεροι κρατήρες.

6.3 Εκλείψεις

Ένα από τα πιο θεαματικά αστρονομικά φαινόμενα που σχετίζονται με τις κινήσεις του συστήματος Γη - Σελήνη είναι οι **εκλείψεις** του Ήλιου και της Σελήνης.

Αυτές συμβαίνουν όταν τα τρία σώματα, ο Ήλιος, η Γη και η Σελήνη βρεθούν στην ίδια ευθεία. Αν η διάταξη είναι: Ήλιος - Γη - Σελήνη (οπότε, προφανώς, έχουμε πανσέληνο), τότε γίνεται έκλειψη Σελήνης. Αν η διάταξη είναι: Ήλιος - Σελήνη - Γη (οπότε έχουμε νέα Σελήνη), τότε γίνεται έκλειψη Ήλιου.

Οι εκλείψεις δεν συμβαίνουν περιοδικά σε κάθε περιφορά της Σελήνης γύρω από τη Γη, γιατί το επίπεδο της σεληνιακής τροχιάς δεν συμπίπτει με το επίπεδο της γήινης τροχιάς (εκλειπτικής), αλλά σχηματίζει γωνία περίπου 5° .

6.3.1 Είδη εκλείψεων Σελήνης

Ο κώνος BKB' (Σχήμα 6.3.1) που σχηματίζεται από τις εξωτερικές εφαπτόμενες AB και $A'B'$ αποτελεί τη **σκιά**. Ο χώρος που περικλείεται από τις εξωτερικές εφαπτόμενες AB' και $A'B$ αποτελεί την **παρασκιά**. Στη θέση Σ_1 έχουμε **ολική έκλειψη**, ενώ στη θέση Σ_2 έχουμε **μερική έκλειψη**.

Στη θέση Σ_3 ο φωτισμός είναι ελαττωμένος και το φαινόμενο είναι γνωστό ως **έκλειψη από την παρασκιά**.

Η έκλειψη της Σελήνης είναι ορατή συγχρόνως από όλο το ημισφαίριο της Γης στο οποίο η Σελήνη είναι πάνω από τον ορίζοντα.

6.3.2 Είδη εκλείψεων Ήλιου

Στη θέση A_1 (Σχήμα 6.3.2), δηλαδή στην προέκταση της ευθείας HS , έχουμε **ολική έκλειψη Ήλιου**. Στη θέση A_2 (πάλι στην ευθεία HS), δηλαδή πέρα από την κορυφή K του κώνου KBB' , τότε ο σεληνιακός δίσκος προβάλλεται πάνω στον ηλιακό αφήνοντας ακάλυπτο έναν δακτύλιο από αυτόν. Έχουμε **δακτυλιοειδή έκλειψη Ήλιου**. Σε θέση εκτός της σκιάς (A_3), δηλαδή στην παρασκιά, έχουμε **μερική έκλειψη Ήλιου**.

Όταν ο Ήλιος είναι στο απόγειο (οπότε η φαινόμενη διάμετρος του είναι $31' 28''$) και η Σελήνη στο περίγειο (οπότε η φαινόμενη διάμετρος της είναι $33' 28''$), τότε μπορεί να συμβεί ολική ή μερική έκλειψη. Όταν ο Ήλιος είναι στο περίγειο (οπότε η φαινόμενη διάμετρος του είναι $32' 32''$) και η Σελήνη στο απόγειο (οπότε η φαινόμενη διάμετρος της είναι $29' 22''$), τότε μπορεί να συμβεί μερική ή δακτυλιοειδής έκλειψη Ήλιου.

Οι εκλείψεις προβλέπονται με ακρίβεια και, εφόσον είναι ολικές, δίνονται τα “μονοπάτια” της ολικότητας.

Από την εποχή των Χαλδαιών ήταν γνωστό ότι οι εκλείψεις επαναλαμβάνονται κοντά στον ίδιο τόπο με περίοδο 18 ετών και $11\frac{1}{3}$ ημερών. Αυτή η περίοδος ονομάζεται **Σάρος**.

Οι σεληνιακές εκλείψεις δεν μας προσφέρουν ενδιαφέρουσες πληροφορίες. Αντίθετα, οι ηλιακές (και ειδικά οι ολικές) μας δίνουν τη δυνατότητα να μελετήσουμε το στέμμα του Ήλιου, την ηλιακή ατμόσφαιρα, τη χρωμόσφαιρα, καθώς και τον ραδιο-ήλιο (για την Ραδιοαστρονομία). Επίσης, κατά την διάρκεια μιας ηλιακής έκλειψης μπορούμε να παρατηρήσουμε αστέρες που βρίσκονται κοντά στον Ήλιο. Έτσι επιβεβαιώθηκε η θεωρία του Einstein, σύμφωνα με την οποία το φως των αστέρων, όταν περνάει κοντά από τον Ήλιο, καμπυλώνεται λόγω του πεδίου βαρύτητας αυτού. Επίσης, μελετούνται οι θέσεις κομητών στο περίηλιο της τροχιάς τους. Σημαντική είναι η αξία των εκλείψεων στην Αρχαιολογία, ως μέσο χρονολόγησης διαφόρων ιστορικών γεγονότων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γρ. Αντωνακόπουλου, *Μαθηματική Αστρονομία*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 1995.
- [2] Γρ. Αντωνακόπουλου, *Εισαγωγή στην Αστροφυσική*, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα 2007.
- [3] Χ. Ζαγούρα, Φ. Καρατζόγλου - Ζαφειροπούλου, *Ουράνιος Μηχανική - Σημειώσεις*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μαθηματικών, Πάτρα 2010.
- [4] Β. Ν. Ζαφειρόπουλου, *Εισαγωγή στην Αστρονομία και Αστροφυσική*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής, Πάτρα 2009.
- [5] Β. Ν. Ζαφειρόπουλου, *Κοσμική Φυσική*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής, Πάτρα 2009.
- [6] Β. Ν. Ζαφειρόπουλου, *Πρακτική Αστρονομία*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής, Πάτρα 2008.
- [7] Β. Ν. Ζαφειρόπουλου, Α. Φλογαίτη, *Ασκήσεις Εργαστηριακής Αστρονομίας*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2002.
- [8] Μπ. Λανγκ, *Το Ηλιακό Σύστημα: Οι πλανήτες και η δημιουργία τους*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2009.
- [9] Β. Μπαρμπάνη, *Μαθήματα Γενικής Αστρονομίας*, Πάτρα 1973.
- [10] A. E. Roy, D. Clark, *Astronomy: Principles and Practice*, Adam Hilger Ltd, Bristol 1982.
- [11] J. M. Pasachoff, M. L. Kutner, *University Astronomy*, Saunders Co., Philadelphia 1978.
- [12] Δ. Π. Σιμόπουλου, *Η βιογραφία του Σύμπαντος*, Εκδόσεις Ερευνητές, Αθήνα 2008.
- [13] Δ. Π. Σιμόπουλου, *Ο Χορός των Πλανητών*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο, Αθήνα 2007.
- [14] Α. Φλογαίτη, *Θέματα Αστρονομίας*, Πανεπιστ. Πατρών, Τμήμα Φυσικής, Πάτρα 2008.