

## 2

## Ουράνιες κινήσεις

---

### 2.1 Αστερισμοί

*Στη μια μεριά φτιάχνει τη γη, τον ουρανό στην άλλη, αλλού τη θάλασσα και τον ακούραστο ήλιο και τη σελήνη ολόγεμη.*

*Σ' άλλη μεριά τα ζώδια όλα φτιάχνει, τ' άστρα που στεφανώνουν τον ουρανό.*

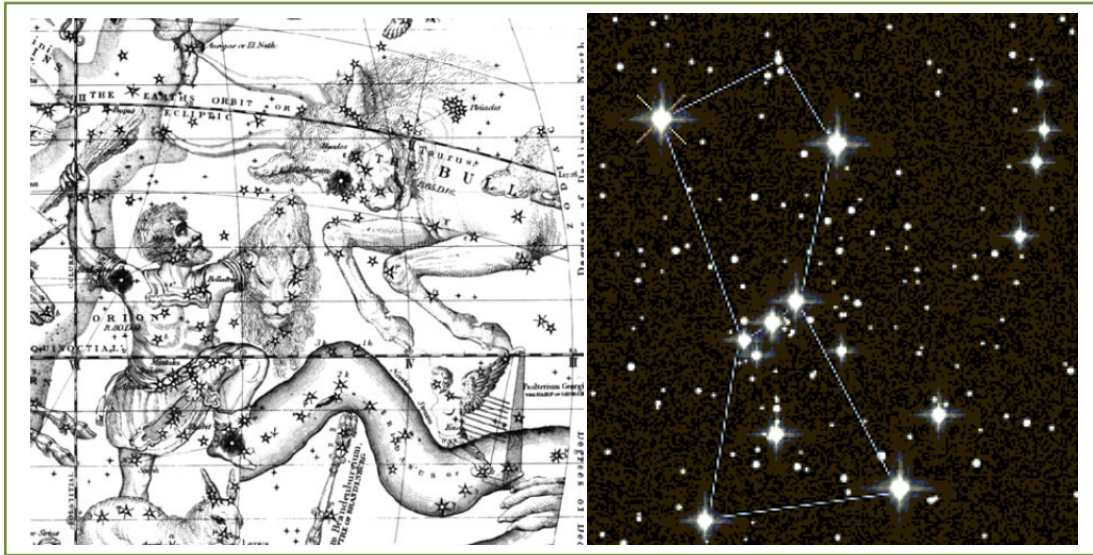
*Τις Πλειάδες και τις Υάδες και το δυνατό Ωρίωνα και την Άρκτο, που Άμαξα μερικοί την ονομάζουν,*

*γιατί γύρω από τον εαυτό της στρέφεται και τον Ωρίωνα παραφυλάει και μόνο αυτή μες στα νερά του Ωκεανού δε λούζεται.*

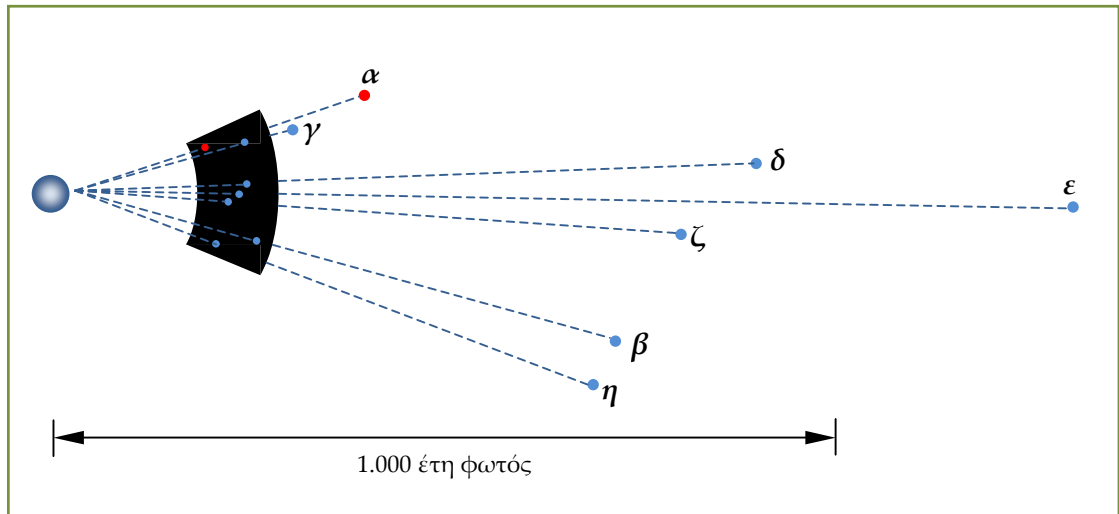
**(Ιλιάδα, ραψωδία Σ)**

Ο νυχτερινός ουρανός όπως φαίνεται από τη Γη αποτελείται από σχηματισμούς αστέρων που προκύπτουν από τη σύνδεση των λαμπρότερων αστέρων με φανταστικές γραμμές και ορίζουν τους αστερισμούς. Αστερισμός είναι το φαινόμενο σχέδιο λαμπρών αστέρων στον ουρανό, που θύμιζε ιστορικά τη μορφή ενός ζώου, ανθρώπου, μυθολογικού προσώπου ή αντικειμένου: π.χ Ωρίωνας ο κυνηγός, η Μεγάλη Άρκτος, Ζυγός κ.λ.π. (σε διαφορετικές εποχές και διαφορετικούς πολιτισμούς οι αστερισμοί είχαν διαφορετικά ονόματα).

Στην πραγματικότητα η εικόνα των αστερισμών ως διαστάτων παραστάσεων στον ουρανό είναι πλασματική γιατί οι αστέρες που απαρτίζουν έναν αστερισμό βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις και δεν αποτελούν πραγματική ομάδα στον τρισδιάστατο χώρο κι άρα μόνο στον ανθρώπινο οφθαλμό σχηματίζουν τις υποτιθέμενες παραστάσεις ως αποτέλεσμα προοπτι-



Ο αστερισμός του Ωρίωνα



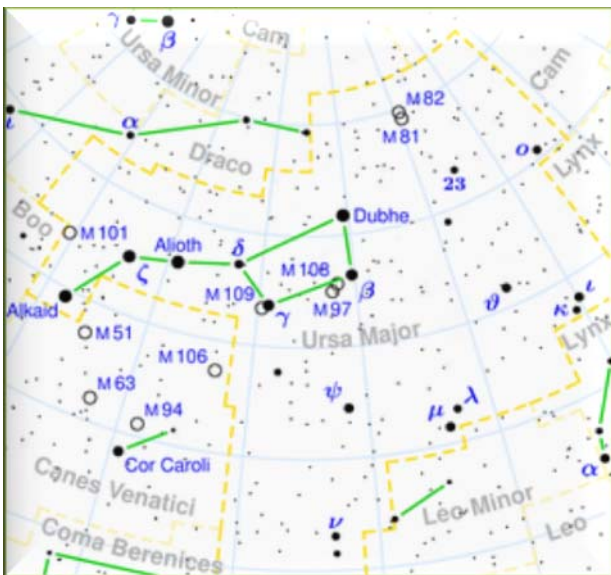
Σχήμα 2.1

κής όπως φαίνεται για τον Ωρίωνα (Σχήμα 2.1). Αυτό σημαίνει ότι από ένα άλλο σημείο του Γαλαξία το σχέδιο ενός αστερισμού θα ήταν διαφορετικό.

Αν και λόγω των μακρινών αποστάσεων των αστέρων ακόμα και η μικρότερη ίδια κίνησή τους δεν μεταβάλλει το σχήμα του αστερισμού σε χρονική κλίμακα του μέσου ανθρώπινου χρόνου ζωής (<100 έτη), μακροπρόθεσμα το σχήμα τους μεταβάλλεται όπως θα συμβεί μετά από 100 000 έτη με την Μεγάλη Άρκτο (βλ.Σχήμα 2.23)

Οι αρχαιότεροι αστερισμοί είχαν αναγνωρισθεί από τους λαούς της Μεσοποταμίας (4000 π.Χ) όπως π.χ ο Σκορπιός, ο Λέων όπως φαίνεται από τα χαραγμένα λίθινα μνημεία ενώ κατά την αρχαιότητα οι Έλληνες πρόσθεσαν πλούσια μυθολογικά στοιχεία (π.χ Ηρακλής, Περσεύς, Ανδρομέδα). Ο Όμηρος στην Ιλιάδα αναφέρει ότι στην ασπίδα την οποία παρέδωσε ο Ήφαιστος στον Αχιλλέα είχε απεικονίσει τις Πλειάδες, τις Υάδες, τον Ωρίωνα και τη Μεγάλη

Άρκτο την οποία ονομάζει και Άμαξα (βλ. εισαγωγή). Ο Ησίοδος στο «Έργα και Ημέραι» αναφέρει πολλούς από τους γνωστούς αστερισμούς. Ο Άρατος (270 π.Χ) στο επικό του ποίημα «Τα φαινόμενα» περιγράφει τους αστερισμούς ως μνημονικό κανόνα βοήθειας προς τους ναυτικούς. Ο Ίππαρχος κατέγραψε τους 48 ορατούς αστερισμούς από τον ελληνικό χώρο και αργότερα ο Πτολεμαίος στην «Μεγίστη» τις θέσεις των 1022 αστέρων των 48 αστερισμών σε κατάλογο που χρησιμοποιήθηκε για τα επόμενα 1400 έτη. Οι Ρωμαίοι υιοθέτησαν τους ελληνικούς μύθους και έδωσαν πολλά λατινικά ονόματα στους αστερισμούς ενώ πολλά σύγχρονα ονόματα αστέρων έχουν αραβική ρίζα Algor ("κεφάλι του Γκουλ, δαίμονα της αραβικής μυθολογίας"), Antares ("Σαν τον Άρη" λόγω του ερυθρωπού του χρώματος σαν τον πλανήτη), Betelgeuse ("μασχάλη του Ωρίωνα"). Το 1600 προστέθηκαν και άλλοι αστερισμοί για να καλύψουν τις μη ορατές από τους αρχαίους Έλληνες περιοχές όπως π.χ Τηλεσκόπιο, Πυξίδα και το 1930 η Διεθνής Αστρονομική Ένωση έθεσε τα όρια των 88 επίσημων αστερισμών έτσι ώστε κάθε τμήμα του ουρανού να ανήκει σε κάποιο αστερισμό και προσδιόρισε τον τρόπο αναγραφής τους (με τα τρία πρώτα λατινικά γράμματα) π.χ Η Μεγάλη Άρκτος λατινικά: Ursa Major, συντομογραφία: UMa. Οι περισσότεροι από τους αστερισμούς του Β. Ημισφαιρίου φέρουν τα ονόματα τους από την αρχαιοελληνική εποχή ενώ του Ν. Ημισφαιρίου από τους θαλασσοπόρους που πρώτοι τους χαρτογράφησαν.



Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το τμήμα του ουρανού που ορίζεται στην Αστρονομία ως **αστερισμός (constellation)** της Μεγάλης Άρκτου (Ursa Major), και είναι ο τρίτος μεγαλύτερος σε «έκταση» πάνω στην ουράνια σφαίρα από όλους τους σύγχρονους αστερισμούς (διακεκομμένη γραμμή), δεν ταυτίζεται με την ομάδα των σχετικώς φωτεινών αστέρων ("**asterism**") που σχηματίζουν το γνώριμο σχήμα

της «κατσαρόλας» (Big Dipper) που αποτελεί υποσύνολο του πρώτου – αν και καταχρηστικά χρησιμοποιείται. Το ίδιο συμβαίνει και στους άλλους αστερισμούς.

Οι γνωστοί αστερισμοί που βρίσκονται κατά μήκος της εκλειπτικής και τους οποίους διατρέχει ο Ήλιος κατά τη φαινόμενη πορεία του αποτελούν τον ζωδιακό κύκλο (κύκλο των ζώων). Οι ζωδιακοί αστερισμοί είναι σύμφωνα με την

κλασική αστρονομία 12 – ένας για κάθε μήνα, ενώ σύμφωνα με τον αυστηρό ορισμό των αστερισμών 13 (αστερισμός του Οφιούχου και πιθανόν του Κήτους)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά το παρελθόν ο χωρισμός των αστέρων σε αστερισμούς έγινε, για να διευκολυνθεί η μελέτη των ουράνιων σωμάτων, για να προσδιοριστεί το χρονικό διάστημα της νύχτας, των ωρών του έτους και για να περιγραφεί η όψη του ουρανού. Σήμερα με την ακριβή μέτρηση των αποστάσεων, οι αστερισμοί χρησιμοποιούνται για ιστορικούς λόγους για την περιγραφή της θέσης διαφόρων σωμάτων. Μερικές φορές όμως χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο της σωστής κατεύθυνσης των διαστημικών οχημάτων (οι αστροναύτες του Apollo γνώριζαν τη χρήση τους στην περίπτωση βλάβης των οργάνων). Ένα από τα σύγχρονα τεχνολογικά επιτεύγματα προσανατολισμού των διαστημικών οχημάτων αποτελεί η Αδρανειακή Αστρική Πυξίδα (Inertial Stellar Compass, ISC)<sup>1</sup> η οποία αποτελείται από μία κάμερα που καταγράφει τους σχηματισμούς των αστερισμών στο πεδίο οράσεως του (αστρικός ιχνηλάτης) και τη συγκρίνει με την αντίστοιχη στους αστρικούς χάρτες ώστε να καθορίζει την πορεία του οχήματος κι ένα γυροσκόπιο που ελέγχει τη σταθερότητα της πορείας του παίρνοντας δεδομένα από την κάμερα ανά μερικά δευτερόλεπτα.

### 2.1.1 Η ονομασία των αστέρων

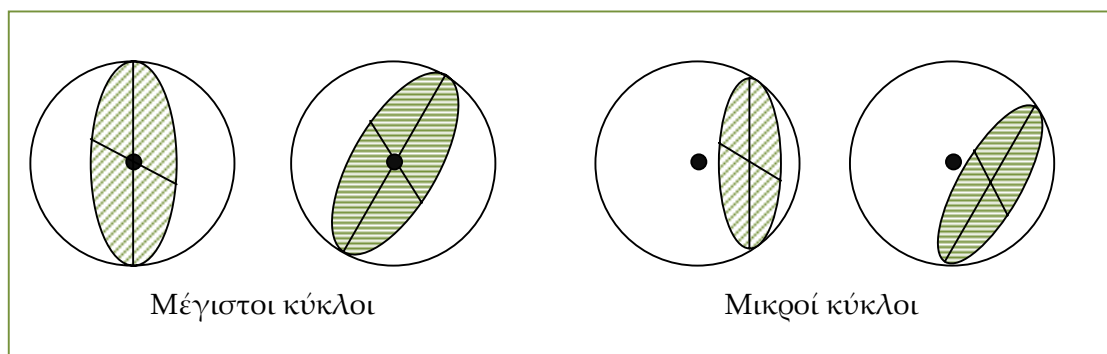
Οι λαμπρότεροι αστέρες φέρουν τα παραδοσιακά τους ονόματα από μείγμα Ελληνικών, Αραβικών και Λατινικών. Συνήθως οι λαμπρότεροι του 14<sup>ου</sup> μεγέθους αστέρες καταγράφονται σε καταλόγους ενώ η πλειοψηφία (αμυδρότεροι αστέρες) δεν περιλαμβάνονται. Το 1603 ο Johann Bayer στον άτλαντα Ουρανομετρία (*Uranometria*) κατέγραψε 1600 αστέρες προσδιορίζοντας τους λαμπρότερους αστέρες ενός αστερισμού με γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου : ο λαμπρότερος με α, ο αμέσος λαμπρότερος με β, κ.ο.κ . Σε μερικές περιπτώσεις όμως λόγω λαθών ή εγγενών μεταβολών λαμπρότητας η σειρά δεν ισχύει π.χ ο α του Ωρίωνα (Μπέτελγκεζ) είναι αμυδρότερος από τον β του Ωρίωνα (Rigel). Ο Flamsteed (1712) αρίθμησε τους λαμπρούς αστέρες κάθε αστερισμού με σειρά αυξανόμενης ορθής αναφοράς (RA) π.χ. ο Μπέτελγκεζ είναι ο 58 Ori . Οι σύγχρονοι κατάλογοι περιέχουν περίπου 10<sup>8</sup> αστέρες (δηλαδή ένα πολύ μικρό τμήμα των αστέρων του γαλαξία μας). Οι λαμπροί αστέρες αναφέρονται με διαφορετικά ονόματα ανάλογα με τον κατάλογο π.χ ο λαμπρότερος ορατός στον ουρανό αστέρας βρίσκεται στον αστερισμό του Μεγάλου Κυνός και αναφέρεται ως:

<sup>1</sup> που φέρει ο δορυφόρος TacSat-2 ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 16/12/ 2006

- Σείριος
- α του Μεγάλου Κυνός, στον κατάλογο Bayer
- 9 του Μεγάλου Κυνός, στον κατάλογο Flamsteed
- HD 48915, στον κατάλογο Henry Draper
- HD -16 1591 στον κατάλογο Bonner Durchmusterung
- 0640-16 στον κατάλογο συντεταγμένων RA/DEC
- HD 48915 στον κατάλογο Henry Draper.

## 2.2 Στοιχεία σφαιρικής γεωμετρίας

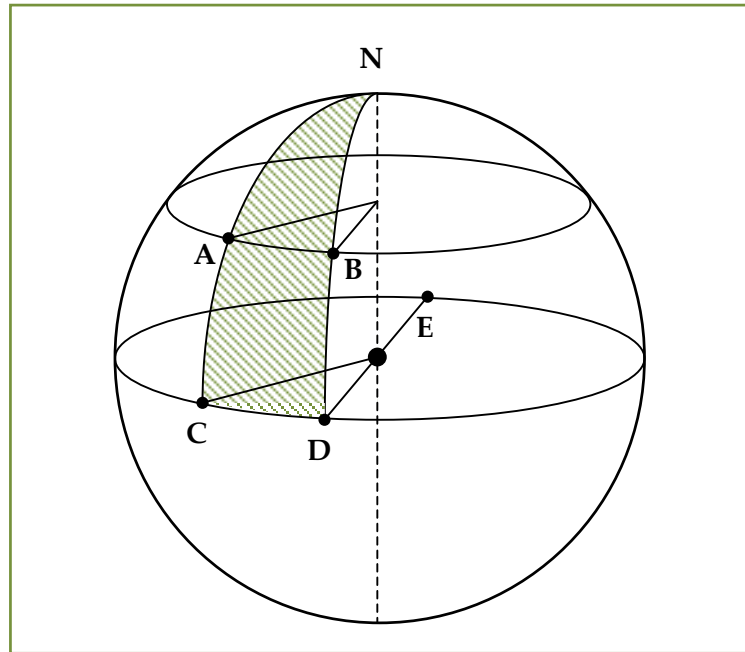
**Μέγιστος** κύκλος μιας σφαίρας είναι κάθε κύκλος που έχει το ίδιο κέντρο με τη σφαίρα και προκύπτει από την τομή της επιφάνειας της σφαίρας και κάθε επιπέδου που περιέχει το κέντρο της, ενώ κάθε άλλος κύκλος – που δεν έχει το ίδιο κέντρο – ονομάζεται **μικρός** κύκλος (σχήμα 2.2). Κάθε μέγιστος κύκλος χωρίζει τη σφαίρα σε δύο ημισφαίρια. Για κάθε μέγιστο κύκλο ορίζουμε δύο πόλους ως τα άκρα της καθέτου στο επίπεδό του που περνά από το κέντρο του.



Σχήμα 2.2

Από δύο μη αντιδιαμετρικά σημεία της επιφάνειας μιας σφαίρας, διέρχεται ένας και μόνο μέγιστος κύκλος. Η κοντινότερη διαδρομή μεταξύ τους είναι το τόξο του μέγιστου κύκλου που ορίζεται από αυτά. Για να ενώσουμε τρία σημεία μιας σφαιρικής επιφάνειας χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες αποστάσεις τους χρησιμοποιούμε τόξα μέγιστων κύκλων και σχηματίζουμε ένα **σφαιρικό τρίγωνο** (σχήμα 2.3). Κάθε σφαιρικό τρίγωνο έχει τις εξής ιδιότητες:

- Οι πλευρές του είναι τόξα μέγιστων κύκλων
- Το άθροισμα δύο πλευρών του είναι μεγαλύτερο από την τρίτη πλευρά
- Το άθροισμα των γωνιών του είναι μεγαλύτερο από  $180^\circ$
- Κάθε σφαιρική γωνία είναι μικρότερη από  $180^\circ$



Σχήμα 2.3

### 2.3 Η ουράνια σφαίρα

Η **ουράνια σφαίρα** είναι μία φανταστική σφαίρα άπειρης ακτίνας με κέντρο το κέντρο της Γης, πάνω στην επιφάνεια της οποίας υποθέτουμε ότι προβάλλονται όλα τα ουράνια σώματα. Θεωρώντας τη Γη ακίνητη, η ουράνια σφαίρα φαίνεται να κινείται κατά την αντίθετη από τη Γη διεύθυνση (μία φορά την ημέρα). Αν και δεν είναι η ουράνια σφαίρα που περιστρέφεται γύρω από τη Γη αλλά η Γη περιστρέφεται μέσα της, χρησιμοποιούμε το μοντέλο αυτό για την κατανόηση και την πρόβλεψη των κινήσεων των αστερών και των πλανητών στον ουρανό. Ο άξονας περιστροφής της Γης καθορίζει τον φαινόμενο άξονα περιστροφής της ουράνιας σφαίρας και τέμνει την ουράνια σφαίρα στους **ουράνιους πόλους** που αποτελούν φυσική προέκταση των γεωγραφικών πόλων. Το ισημερινό επίπεδο της Γης είναι κάθετο στον άξονα περιστροφής της κι άρα το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού είναι φυσική προέκταση του γήινου.

Στη Γη χρησιμοποιούμε τις γραμμές του γεωγραφικού πλάτους και μήκους για να δηλώσουμε την απόσταση ενός αντικειμένου από τον ισημερινό και από το αστεροσκοπείο του Greenwich αντίστοιχα. Το γεωγραφικό μήκος μετράται πάνω στο μεσημβρινό ενός τόπου και παίρνει τιμές από  $0^\circ$  έως  $(+90^\circ)$  βόρεια και από  $0^\circ$  έως  $(-90^\circ)$  νότια του ισημερινού (ο Βόρειος και ο Νότιος πόλος της Γης έχουν πλάτη  $-90^\circ$  και  $+90^\circ$  αντίστοιχα ενώ ο ισημερινός  $0^\circ$ ). Το γεωγραφικό



μήκος μετράται πάνω στον ισημερινό από 0 έως (+180°) δυτικά του μεσημβρινού του Greenwich και 0° έως (-180°) αριστερά ή από 0° έως 360° ή με την αναφορά της χρονικής ζώνης (η Γη χωρίζεται σε 24 ζώνες πλάτους 15°) του τόπου. Έτσι η θέση ενός σώματος δηλώνεται σε μοίρες ως :

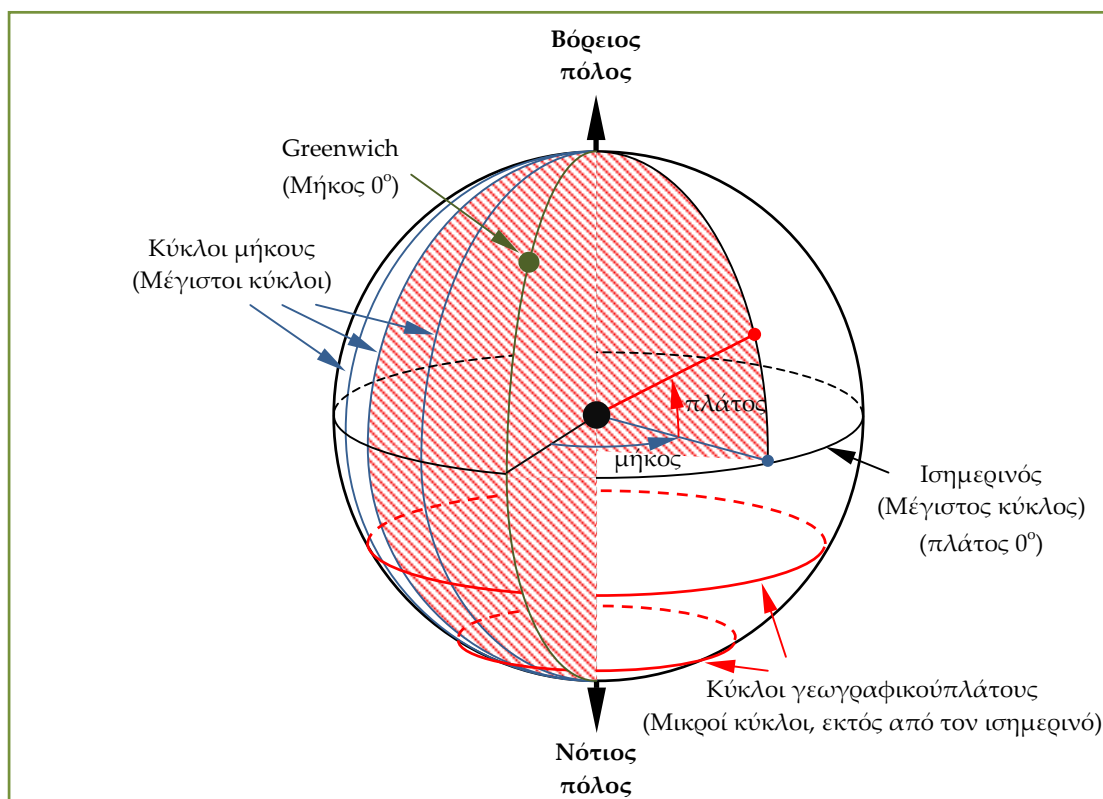
γεωγραφικό πλάτος 43.0758° Βόρεια, γεωγραφικό μήκος 77.6647° Δυτικά του Greenwich

ή με υποδιαίρεσεις της μοίρας (λεπτά και δευτερόλεπτα τόξου) ως:

γεωγραφικό πλάτος 43:04:33 Βόρεια, γεωγραφικό μήκος 77:39:53 Δυτικά

ή στην περίπτωση του γεωγραφικού μήκους με την βοήθεια των ζωνών διαφοράς χρόνου, δηλώνοντας δηλαδή ότι ο Ήλιος στη συγκεκριμένη θέση δύει 5 ώρες και 11 λεπτά αργότερα από το Greenwich ως:

γεωγραφικό πλάτος 43:04:33 Βόρεια, γεωγραφικό μήκος 5 ώρες και 11 λεπτά Δυτικά.



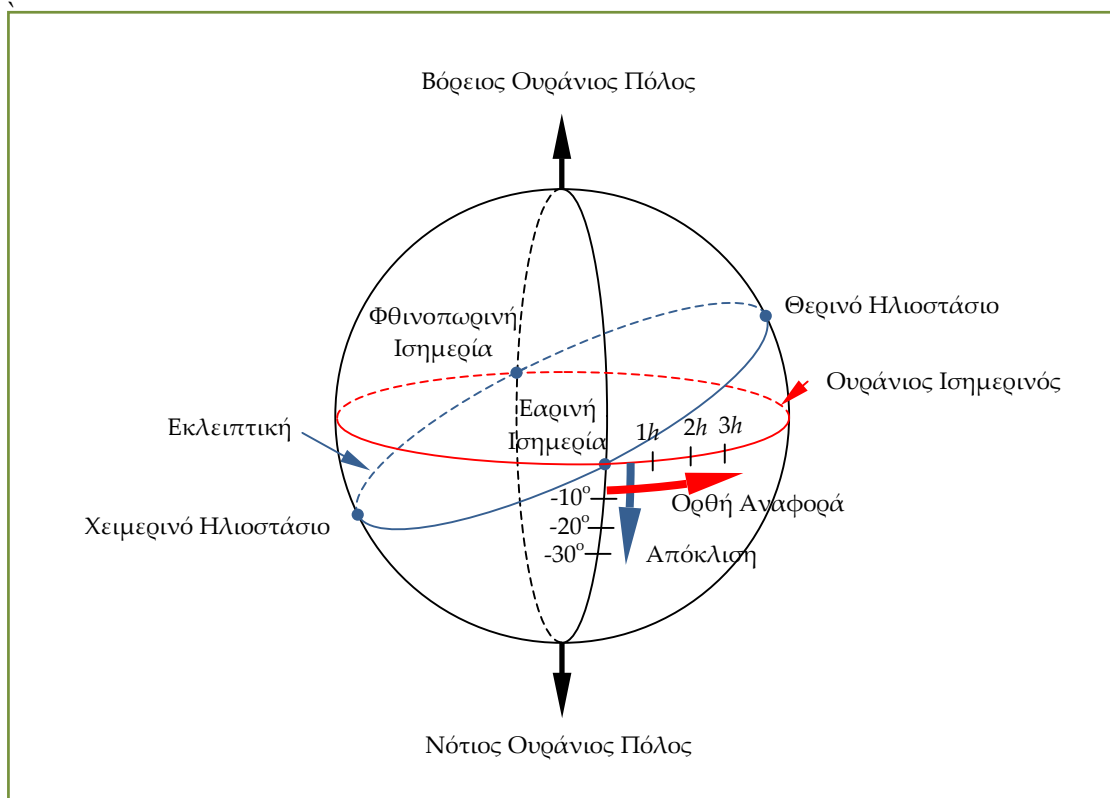
Σχήμα 2.4

### 2.3.1 Ουρανογραφικές συντεταγμένες

Στην ουράνια σφαίρα σε αντιστοιχία με το πλέγμα των γήινων συντεταγμένων (το γεωγραφικό μήκος και πλάτος) μπορεί να οριστεί το σύστημα των **ουρανογραφικών συντεταγμένων** (απόκλιση, ορθή αναφορά). Το ισοδύναμο των μικρών κύκλων του πλάτους στην ουράνια σφαίρα αποτελούν οι μικροί κύκλοι

της απόκλισης (Declination, Dec,  $\delta$ ) και σε αναλογία με τους γήινους πόλους οι ουράνιοι πόλοι έχουν απόκλιση  $\pm 90^\circ$  και ο ουράνιος ισημερινός  $0^\circ$ .

Το ισοδύναμο των «γραμμών γεωγραφικού μήκους» της Γης είναι οι «γραμμές ορθής αναφοράς» στην ουράνια σφαίρα αλλά σε αντίθεση με τις γήινες οι οποίες είναι σταθερές πάνω στην περιστρεφόμενη Γη, οι γραμμές της ορθής αναφοράς είναι σταθερές στον ουρανό. Η ορθή αναφορά (Right Ascension, RA,  $\alpha$ ) μετράται πάνω στον ισημερινό σε μονάδες ώρας από 0 έως 24 ώρες, μιμούμενη τις χρονικές ζώνες μέτρησης του γεωγραφικού μήκους (αλλά και σε μοίρες) με σημείο αρχής μέτρησης το εαρινό ισημερινό σημείο (δηλαδή το σημείο στο οποίο φαίνεται ο Ήλιος να τέμνει τον ουράνιο ισημερινό από Βορρά προς Νότο κατά τη φαινόμενη κίνησή του στον ουρανό κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ένας πλήρης κύκλος στην ουράνια σφαίρα χωρίζεται σε 24 ώρες γιατί τόσο χρειάζεται ο Ήλιος για να κινηθεί μεταξύ δύο ανατολών) όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5. Μερικές φορές η ορθή αναφορά μετράται σε μοίρες.



Σχήμα 2.5

Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι είναι σταθερό ως προς τους αστέρες και λαμβάνει υπόψιν την περιστροφή της Γης (την αγνοεί) κι άρα οι συντεταγμένες των ουράνιων αντικειμένων παραμένουν σταθερές για παρατηρητές σε διαφορετικά σημεία. Εν τούτοις ο παρατηρητής δεν μπορεί να αγνοήσει το γεγονός ότι βρίσκεται πάνω σε μια περιστρεφόμενη πλατφόρμα, τη Γη.



### 2.3.2 Το σύστημα συντεταγμένων του παρατηρητή Οριζόντιο ή αλταζιμουθιανό σύστημα

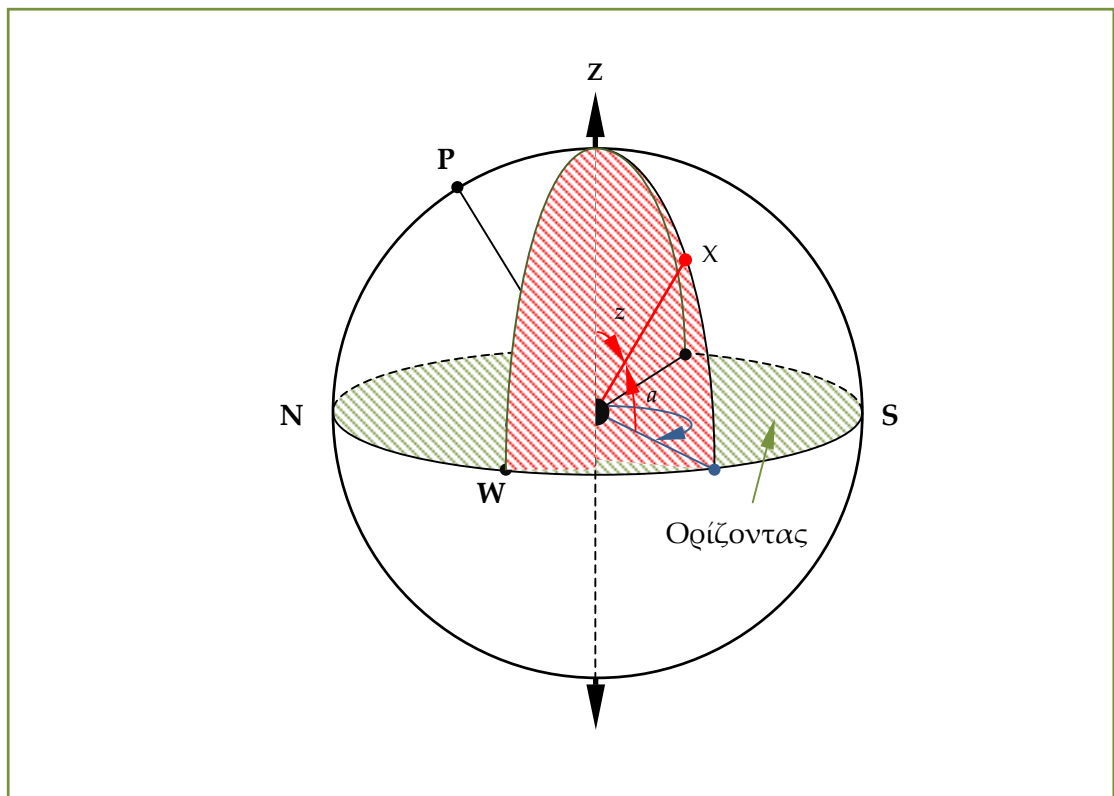
Ποτέ δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε ολόκληρη την ουράνια σφαίρα γιατί κάθε παρατηρητής έχει την εντύπωση ότι βρίσκεται σε ένα οριζόντιο επίπεδο και στο κέντρο ενός τεράστιου ημισφαιρίου πάνω στο οποίο τα ουράνια σώματα κινούνται. Το επίπεδο αυτό που εφάπτεται της σφαιρικής Γης στο σημείο του τόπου καθορίζει τον **ορίζοντά** του παρατηρητή και το σημείο στην κατακόρυφη διεύθυνση ακριβώς πάνω από τον παρατηρητή (που περνά πό το κέντρο της Γης και είναι κάθετο στον ορίζοντα) ονομάζεται **ζενίθ** (πάνω από τον ορίζοντα, πάντα ορατό) ενώ το αντιδιαμετρικό **ναδίρ** (κάτω από τον ορίζοντα, μη ορατό από τον παρατηρητή). Επειδή η ακτίνα του ημισφαιρίου της ουράνιας σφαίρας είναι άπειρη σε σχέση με την ακτίνα της Γης, οι διευθύνσεις του βόρειου ουράνιου πόλου και του ουράνιου ισημερινού για τον παρατηρητή είναι παράλληλες με τις πραγματικές τους διευθύνσεις οι οποίες ορίζονται σε σχέση με την ακτίνα της Γης.

Κάθε μέγιστος κύκλος που περιέχει το ζενίθ και είναι κάθετος στον ορίζοντα ονομάζεται κατακόρυφος (κύκλος). Ειδικά ο κατακόρυφος που διέρχεται από τους ουράνιους πόλους και το ζενίθ ονομάζεται **μεσημβρινός του τόπου** και τέμνει τον ορίζοντα σε δύο σημεία το Βορρά (πλησιέστερο στον βόρειο πόλο) και το αντιδιαμετρικό του, το Νότο. Το σημείο του ορίζοντα που απέχει  $90^\circ$  κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού από τον Βορρά για έναν παρατηρητή στο βόρειο ημισφαίριο της Γης ονομάζεται Ανατολή και αντίστοιχα  $90^\circ$  από το Νότο, Δύση. Οι θέσεις του ζενίθ και του μεσημβρινού σε σχέση με τους αστέρες αλλάζουν καθώς η ουράνια σφαίρα περιστρέφεται και μεταβάλλονται ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή πάνω στη Γη αλλά παραμένουν σταθερές σε σχέση με τον ορίζοντα του παρατηρητή.

Συνήθως είναι χρήσιμο να αναφερόμαστε στα ουράνια αντικείμενα με βάση τον ορίζοντα, τα σημεία του ορίζοντα και το ζενίθ με τη βοήθεια δύο γωνιών που ορίζουν και το πιο απλό σύστημα συντεταγμένων το αλταζιμουθιανό. Ο μέγιστος κύκλος που περνά από το ζενίθ Z (το σημείο που βρίσκεται κατακόρυφα πάνω από τον ορίζοντα) και τον βόρειο ουράνιο πόλο P τέμνουν τον ορίζοντα NESYW στο βορρά (N) και στο νότο (S), ενώ ο μέγιστος κύκλος WZE (μεσημβρινός) κάθετα στον NPZS τέμνει τον ορίζοντα στην δύση (W) και στην ανατολή (E). Όπως φαίνεται η γωνιακή απόσταση (σε μοίρες) του βόρειου ουράνιου πόλου (P) από τον ορίζοντα είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του

**παρατηρητή.** Η θέση ενός αστέρα  $X$  προσδιορίζεται από το αζιμούθιο ( $A$ ) και το ύψος ( $a$ ).

- Το **ύψος** (altitude,  $a$ ) είναι η γωνιακή απόσταση ενός σώματος πάνω από τον ορίζοντα του τόπου όπου βρίσκεται και παίρνει τιμές από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  στον ορίζοντα και στο ζενίθ αντίστοιχα. Πολλές φορές αντί του ύψους χρησιμοποιείται η ζενίθια απόσταση του  $X$  ( $z = 90 - a$ )
- Το **αζιμούθιο** (Azimuth,  $A$ ) είναι η γωνιακή απόσταση ενός σώματος και μετράται πάνω στον ορίζοντα από  $0^\circ$  (από τον Νότο) με φορά όπως η φορά των δεικτών του ρολογιού ( $90^\circ$  προς τα ανατολικά κ.ο.κ) έως  $360^\circ$ .



Σχήμα 2.6

Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι αυτές οι δύο γωνίες καθορίζουν κατά μοναδικό τρόπο τη θέση ενός σώματος στον ουρανό. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι για δύο παρατηρητές σε διαφορετικές θέσεις στη Γη, το ύψος και το αζιμούθιο ενός σώματος διαφέρουν και επιπλέον καθώς η Γη περιστρέφεται από την Δύση προς την Ανατολή, για τον κάθε παρατηρητή αυτές οι συντεταγμένες του σώματος αλλάζουν συνέχεια.

### 2.3.3 Σχέση μεταξύ του ουρανογραφικού συστήματος και του αλταζιμουθιανού

Σύμφωνα με τα παραπάνω καθώς ένας παρατηρητής κινείται προς Βορρά, αυξανόμενου του γεωγραφικού του πλάτους ο βόρειος ουράνιος πόλος κινείται πλησιέστερα στο ζενίθ και ταυτίζεται με αυτό όταν ο παρατηρητής φτάσει στο Βόρειο Πόλο. Κατά την αντίστροφη πορεία προς νότια γεωγραφικά πλάτη, ο βόρειος ουράνιος πόλος απομακρύνεται από το ζενίθ και βρίσκεται στον ορίζοντα όταν ο παρατηρητής φτάσει στον γήινο ισημερινό.

Για έναν παρατηρητή σε έναν από τους πόλους (π.χ το Βόρειο Πόλο):

- ο Βόρειος Ουράνιος Πόλος είναι στο ζενίθ
- ο ουράνιος ισημερινός είναι στο επίπεδο του ορίζοντα.

Για έναν παρατηρητή στον ισημερινό:

- ο Βόρειος και Νότιος Ουράνιος Πόλος βρίσκονται στο επίπεδο του ορίζοντα
- ο ουράνιος ισημερινός είναι στο ζενίθ.

Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση όπου ένας παρατηρητής βρίσκεται σε κάποιο άλλο γεωγραφικό πλάτος (LAT) :

- Ο Βόρειος Ουράνιος Πόλος (για  $LAT > 0$ ) είναι σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος πάνω από το Βορρά του παρατηρητή πάνω στο μεσημβρινό (για παρατηρητή σε πλάτος  $< 0^\circ$ , ο Νότιος ουράνιος Πόλος βρίσκεται σε γωνία ίση με  $-(\text{πλάτος})$  πάνω από τον Νότο του παρατηρητή πάνω στον μεσημβρινό)
- Ο Ουράνιος Ισημερινός σχηματίζει με τον μεσημβρινό γωνία  $(90 - LAT)$  πάνω από το Βορρά του παρατηρητή και  $(LAT)$  μοίρες κάτω από το ζενίθ (προς Νότο).

Όταν ένας αστέρας είναι πάνω στον μεσημβρινό, σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα υπάρχει μία απλή σχέση που συνδέει την απόκλιση (DEC) και το ύψος του (ALT) με το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή (LAT)

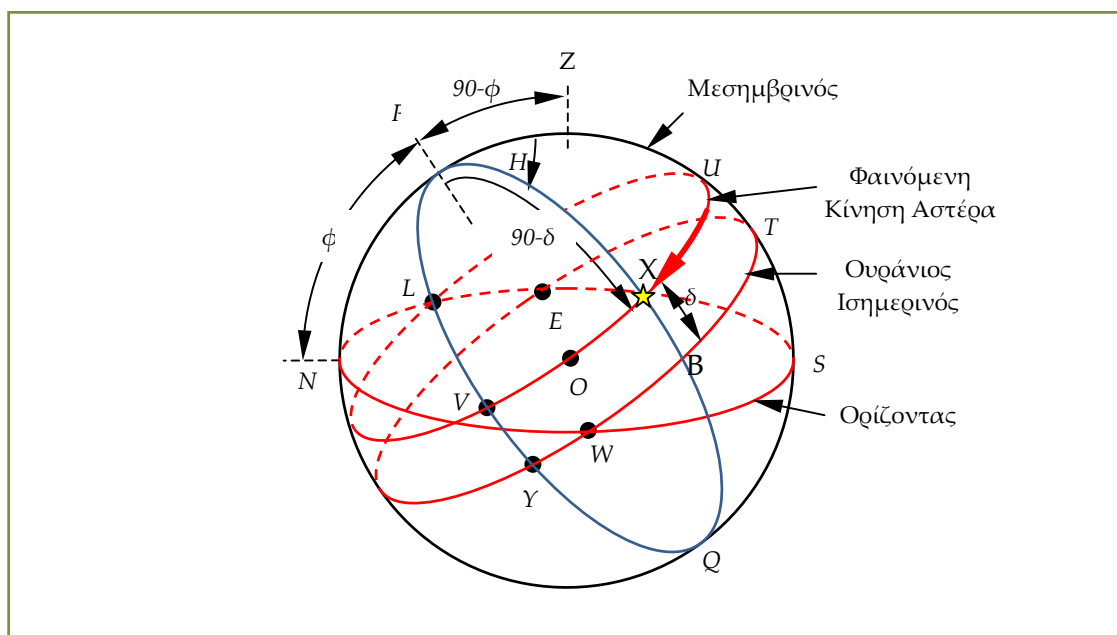
$$ALT = DEC + (90 - LAT)$$

#### Παράδειγμα:

- Για την Αθήνα  $LAT \sim 38^\circ$  άρα  $ALT = DEC + 52^\circ$
- Τα αντικείμενα με  $DEC = LAT$  έχουν ύψος  $90^\circ$  κι άρα βρίσκονται στο ζενίθ του παρατηρητή.
- Ο ουράνιος ισημερινός ( $DEC = 0^\circ$ ) έχει ύψος  $ALT = (90^\circ - LAT)$



μετράται όπως στις ουρανογραφικές συντεταγμένες. Ορίζοντας ως μεσημβρινό του τόπου (του παρατηρητή) το τόξο του μεγίστου κύκλου που περνά από το βόρειο ουράνιο πόλο, το ζενίθ και το νότιο ουράνιο πόλο, η ωριαία γωνία ενός αστέρα μετράται στον ισημερινό, από τον μεσημβρινό του παρατηρητή προς δυσμάς (και για τα δύο ημισφαίρια) μέχρι τον μεσημβρινό του αστέρα ( από  $0^\circ$  έως  $360^\circ$ ). Λόγω της περιστροφής της Γης, η ωριαία γωνία αυξάνεται από  $0^\circ$  σε  $360^\circ$  σε 24 ώρες. Άρα η ωριαία γωνία ενός αντικειμένου αποτελεί μέτρο του χρόνου που πέρασε αφότου διέσχισε τον μεσημβρινό του παρατηρητή. Γι αυτό και συχνά μετράται σε ώρες και υποδιαϊρέσεις της παρά σε γωνιακά μεγέθη (όπως το γεωγραφικό μήκος). Στο σχήμα 2.9 η ωριαία γωνία  $H$  του αστέρα  $X$ , είναι ίση με το τόξο  $BT$  αλλά όχι με το τόξο  $XU$ . Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι αστέρες έχουν το μέγιστο ύψος τους όταν διασχίζουν το μεσημβρινό του τόπου. Λόγω της μεταβολής της ωριαίας γωνίας με το χρόνο, αυτό το σύστημα δεν είναι εύχρηστο για την καταγραφή συντεταγμένων αντικειμένων σε καταλόγους.

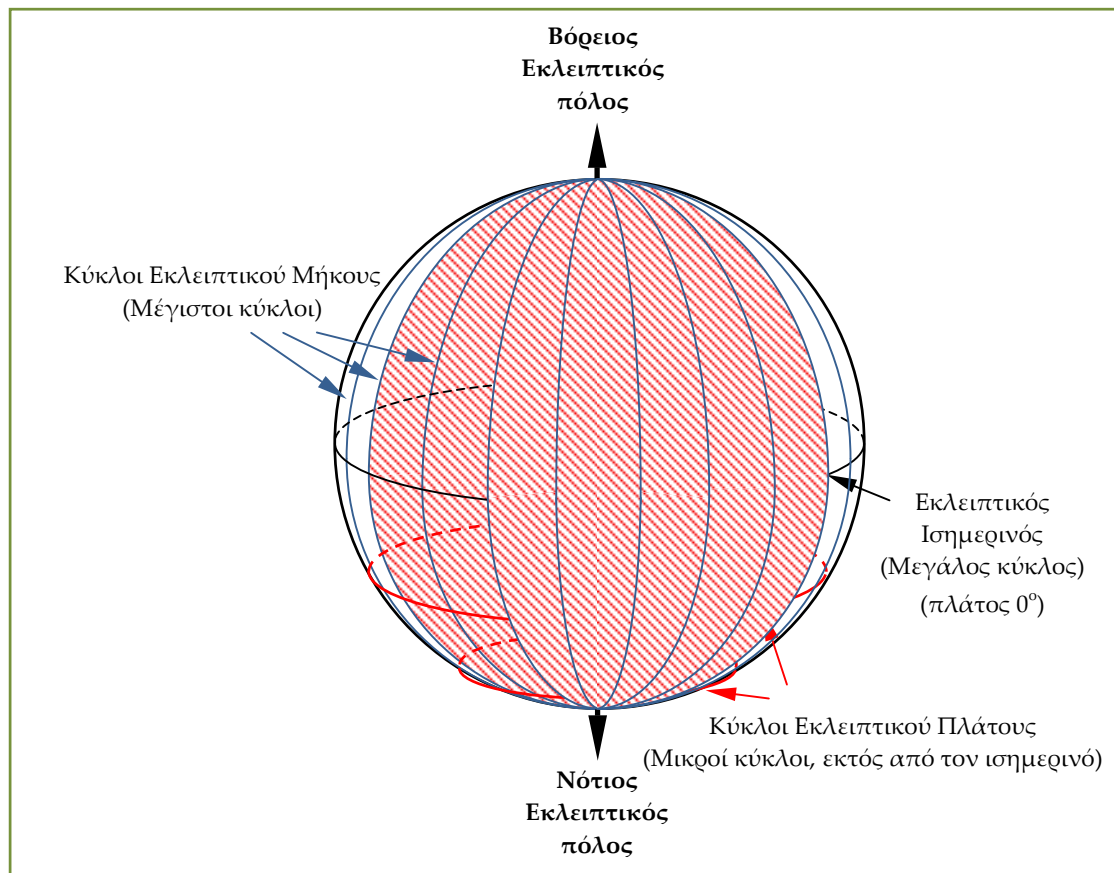


Σχήμα 2.8

### 2.3.5 Εκλειπτικές (Ηλιακές) συντεταγμένες

Για τα σώματα του ηλιακού συστήματος - πλανήτες, αστεροειδείς, κομήτες - ένα εύχρηστο σύστημα, έχει ως κέντρο τον Ήλιο και ως κύριο ισημερινό επίπεδο, το επίπεδο των τροχιών των πλανητών δηλαδή την εκλειπτική. Σε αυτό το σύστημα το εκλειπτικό πλάτος ( $\beta$ ) μετράται από την εκλειπτική προς το βόρειο πόλο της

εκλειπτικής (NEP), που είναι η Κόμη της Βερενίκης (με συντεταγμένες περίπου  $RA = 18:00$  και  $Dec = +66:34$ ) και προς τον νότιο πόλο της εκλειπτικής (SEP) από  $0^\circ$  έως  $\pm 90^\circ$  αντίστοιχα. Το εκλειπτικό μήκος ( $\lambda$ ) είναι ανάλογο της ορθής αναφοράς, και μετράται από το εαρινό ισημερινό σημείο ( $\Upsilon$ ) κατά την ίδια διεύθυνση με την ορθή αναφορά – δηλαδή ανατολικά από τον Ήλιο και αυξάνεται προς ανατολάς αλλά πάνω στην εκλειπτική. Το εκλειπτικό πλάτος του αστέρα  $X$  ( $\beta$ ) δίνεται από τη γωνία μεταξύ ( $\Upsilon$ ) και  $Y$ . Τα περισσότερα σώματα στο ηλιακό σύστημα έχουν εκλειπτικό πλάτος περίπου μηδέν επειδή οι τροχιές τους έχουν μικρή κλίση από το επίπεδο της εκλειπτικής.

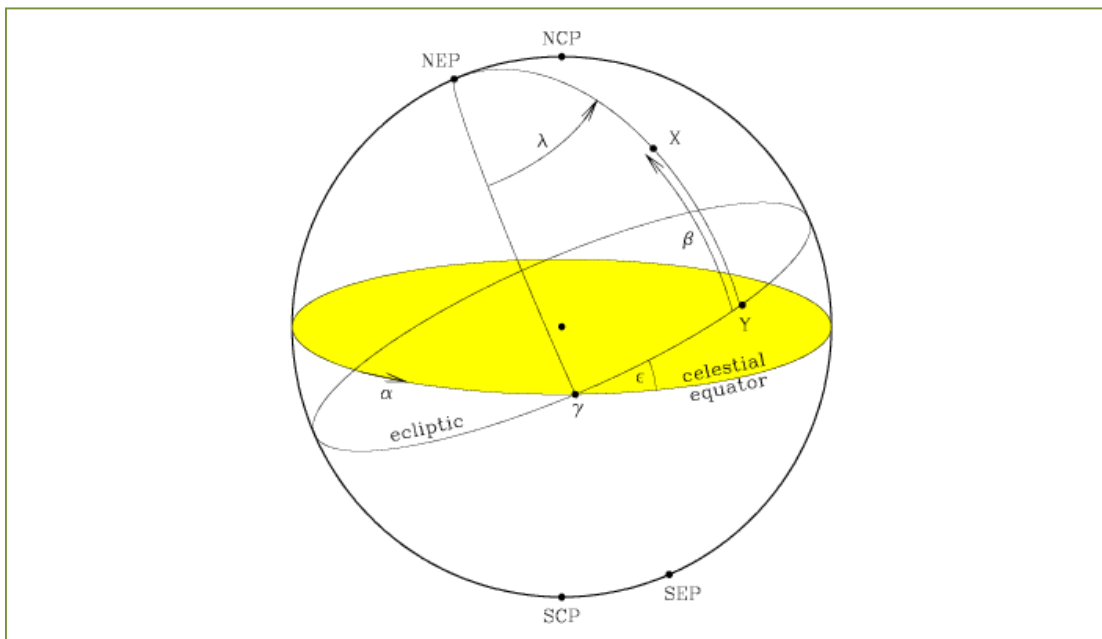


Σχήμα 2.9

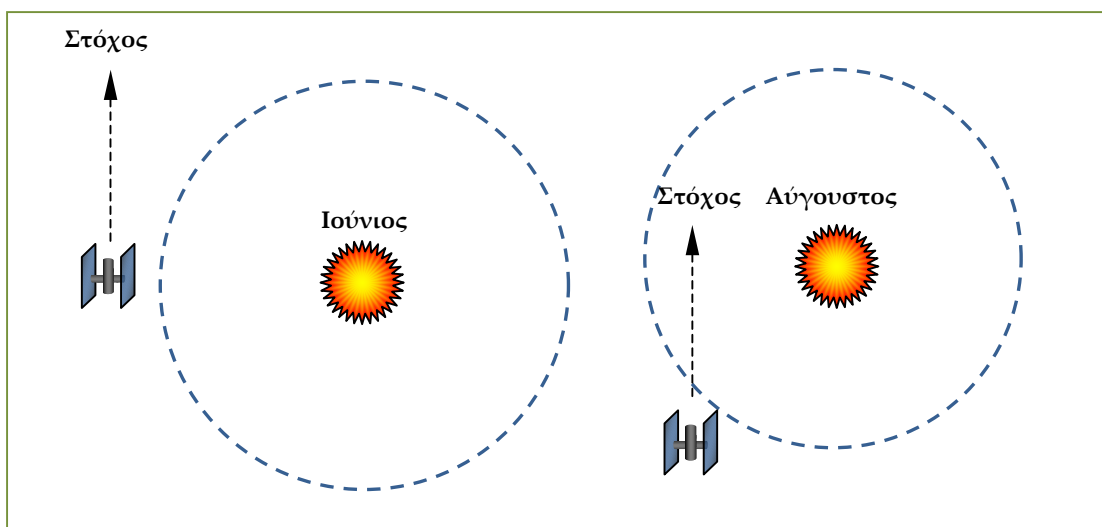
Οι εκλειπτικές συντεταγμένες είναι χρήσιμες όταν θέλει κανείς να αποφύγει τα σώματα του ηλιακού συστήματος όπως στην περίπτωση των διαστημικών τηλεσκοπίων (Hubble Space Telescope, Chandra X-ray), που στοχεύουν αντικείμενα μακριά από τον Ήλιο προκειμένου να μην καταστραφούν οι ανιχνευτές τους. Επιπλέον στην περίπτωση εκθέσεων μεγάλης διάρκειας (ημερών ή εβδομάδων), λόγω της μετακίνησης της Γης στην τροχιά της, στο πεδίο οράσεως του τηλεσκοπίου ένα αντικείμενο που αρχικά ήταν πολύ απομακρυσμένο από τον Ήλιο παρατηρείται να μετατοπίζεται πλησίον του, γι αυτό αυτές οι εκθέσεις (Hubble Deep Field, Hubble Ultra Deep Field, Chandra Deep Field South)



επιλέγονται κοντά στους πόλους της εκλειπτικής δηλαδή σε κάθετη θέση από τον Ήλιο.



Σχήμα 2.10



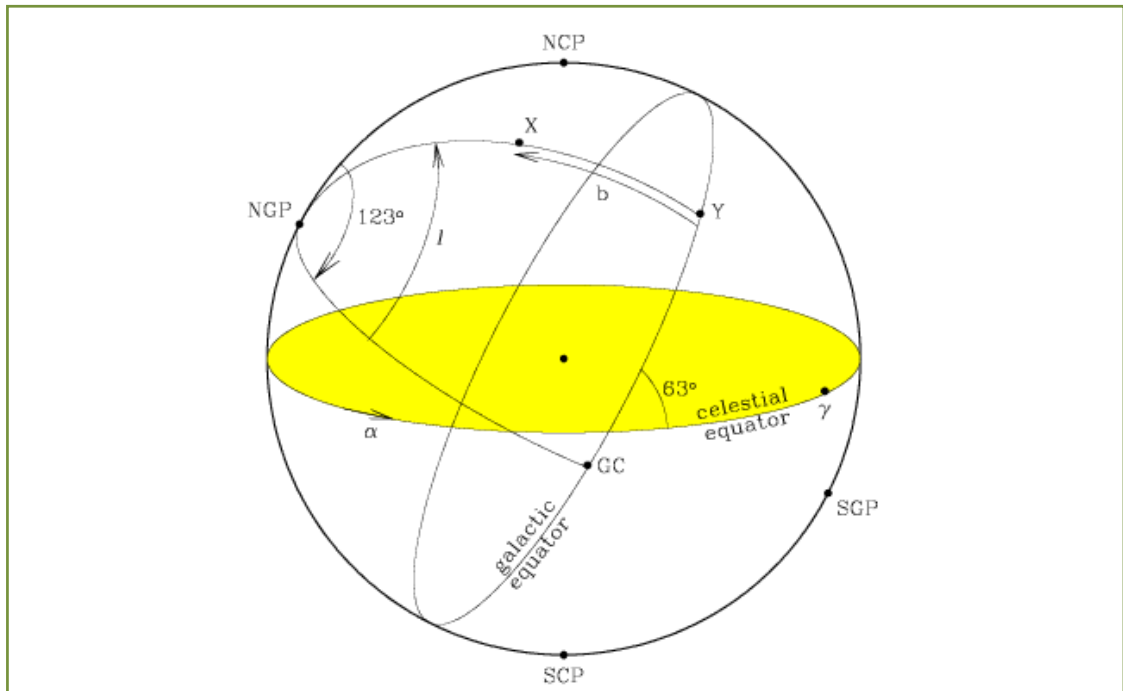
Σχήμα 2.11

### 2.3.6 Γαλαξιακές συντεταγμένες

Για τη μελέτη της κατανομής των αστέρων στο Γαλαξία μας ή μακρινών γαλαξιών χρησιμοποιούνται (σχήμα 2.12) το:

- Γαλαξιακό πλάτος ( $b$ ) που μετράται βόρεια από το επίπεδο του Γαλαξία προς τον Βόρειο Γαλαξιακό Πόλο που είναι κοντά στην Κόμη της Βερενίκης (περίπου  $RA = 12:52$  και  $Dec = +26:19$ ) από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$ . Το γαλαξιακό επίπεδο έχει προσδιοριστεί με ακρίβεια από μετρήσεις της κατανομής των νεφών ουδέτερου υδρογόνου.

- Γαλαξιακό μήκος ( $l$ ) που μετράται στο γαλαξιακό επίπεδο ανατολικά από τη διεύθυνση του γαλαξιακού κέντρου (GC) που βρίσκεται στον αστερισμό του Τοξότη περίπου  $RA=17:45$  και  $Dec=-29:22$  και αυξάνεται προς βορά αυξανόμενη της απόκλισης. Το γαλαξιακό κέντρο καθορίζεται με ακρίβεια από το γαλαξιακό μήκος του Βόρειου ουράνιου πολου (NCP) που είναι  $123^\circ$ . Το γαλαξιακό μήκος του αστέρα X δίνεται από τη γωνία μεταξύ του GC και του ( $\Upsilon$ ).



Σχήμα 2.12

Το επίπεδο του ηλιακού συστήματος είναι σχεδόν κάθετο στο γαλαξιακό επίπεδο.

Ανακεφαλαιώνοντας συνοψίζουμε τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων κυρίων συστημάτων συντεταγμένων που ορίζονται με βάση την ουράνια σφαίρα, έναν πρωτεύοντα μέγιστο κύκλο και έναν δευτερεύοντα μέγιστο κύκλο (μέγιστο κύκλο που περνά από τους πόλους του πρωτεύοντος) στον παρακάτω πίνακα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μπορούμε να μετατρέψουμε τις συντεταγμένες από το ένα σύστημα στο άλλο χρησιμοποιώντας την περιστροφή των γωνιών Euler γύρω από άξονες σε ένα Καρτεσιανό σύστημα αναφοράς.

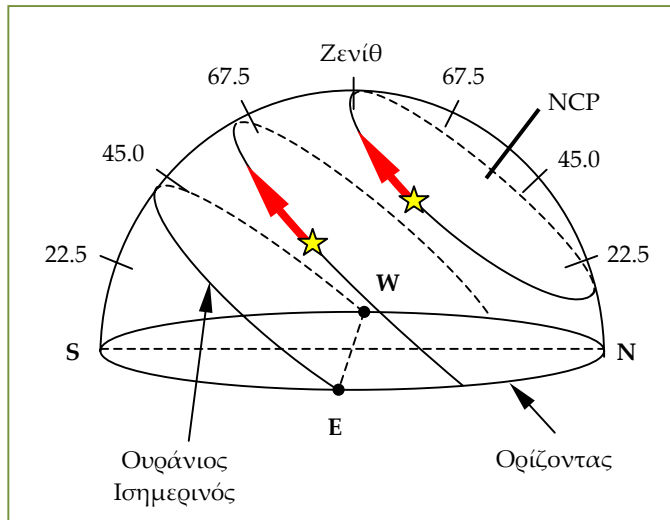
Συστήματα συντεταγμένων

Σύστημα συντεταγμένων	Πρωτεύον μέγιστος κύκλος	Δευτερεύον μέγιστος κύκλος	Συντεταγμένες
Οριζόντιες (του παρατηρητή)	Οριζοντας του τόπου του παρατηρητή	B-N μεσημβρινός	Ύψος A αζιμούθιο α
Ισημερινές ή ουρανογραφικές	Ουράνιος ισημερινός	Μεσημβρινός του τόπου (B-N-ζενίθ)	Ορθή αναφορά α, απόκλιση δ
εκλειπτικές	Επίπεδο τροχιάς της Γης	Μέγιστος κύκλος που περνά από τους πόλους εκλειπτικής και το εαρινό σημείο	Εκλειπτικό μήκος λ, εκλειπτικό πλάτος β
γαλαξιακές	Επίπεδο του Γαλαξία	Γαλαξιακό κέντρο	γαλαξιακό μήκος λ, γαλαξιακό πλάτος β

### 2.4 Ουράνιες Κινήσεις

Τα αντικείμενα κινούνται είτε πραγματικά είτε φαινομενικά λόγω της κίνησης της Γης. Από την περιστρεφόμενη πλατφόρμα παρατήρησης (τη Γη) βλέπουμε όλο τον ουρανό (όπως ορίζεται από τον μεσημβρινό του παρατηρητή) να γυρίζει γύρω από φανταστικά σημεία (ουράνιους πόλους) κάθε 24 ώρες ως αποτέλεσμα της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της. Αυτή η κίνηση που ονομάζεται **ημερήσια κίνηση** της ουράνιας σφαίρας επηρεάζει όλα τα αντικείμενα χωρίς να αλλάζει τις σχετικές τους θέσεις. Τα μόνα σημεία που δεν φαίνεται να μετακινούνται είναι ο βόρειος και νότιος ουράνιος πόλος γιατί βρίσκονται πάνω στον άξονα περιστροφής.

Έτσι αν και σε όλα τα παραπάνω παραδείγματα αγνοήσαμε την περιστροφή της Γης, καθώς η Γη περιστρέφεται από τη Δύση στην Ανατολή, οι αστέρες φαίνονται να περιστρέφονται δηλαδή να διαγράφουν τροχιές σε παράλληλους κύκλους με τον ουράνιο ισημερινό (ή πάνω σ' αυτόν) από την Ανατολή στη Δύση όπως φαίνεται στο σχήμα 2.13 όπου σημειώνονται διαφορετικά ύψη (22.5°, 45°, 67.5°) και τόξα σταθερής απόκλισης (οι αστέρες και οι κύκλοι απόκλισης είναι σταθερά πάνω στην Ουράνια Σφαίρα). Από τη στιγμή που δεν μεταβάλλεται η απόκλιση ενός αστέρα, οι κύκλοι απόκλισης δείχνουν την πορεία του στον ουρανό κατά την ανατολή μέχρι και τη δύση του. (Ο ουράνιος Ισημερινός τέμνει τον ορίζοντα ακριβώς στην Ανατολή και στη Δύση του παρατηρητή όπως ο μεσημβρινός στο Βορρά και στο Νότο). Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο μεσημβρινός του τοπου χωρίζει τις πρωϊνές από τις απογευματινές θέσεις του

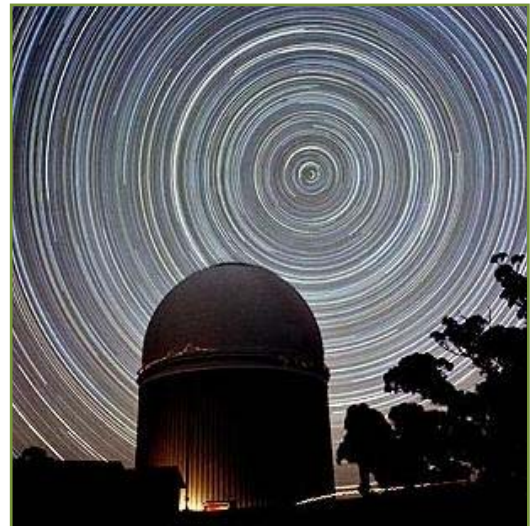


Σχήμα 2.13

Ήλιου. Το πρωί ο Ήλιος είναι «προ του μεσημβρινού» (λατινικά "ante meridiem") ή ανατολικά του μεσημβρινού και συντομογραφικά δηλώνεται ως «π.μ» ("a.m."). Το μεσημέρι βρίσκεται «μετά το μεσημβρινό» (λατινικά "post meridiem") ή δυτικά του μεσημβρινού και συντομογραφικά δηλώνεται ως «μ.μ» ("p.m.").

Για την απλή περίπτωση όπου ο παρατηρητής είναι στον Βόρειο Πόλο, ο ουρανός φαίνεται να περιστρέφεται γύρω από το ζενίθ κι επειδή το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού είναι το επίπεδο του ορίζοντα, τα αντικείμενα στον ουρά-νιο ισημερινό φαίνεται να περιστρέφονται γύρω από τον ορίζοντα. Για ένα παρατηρητή στον ισημερινό ο ουρανός φαίνεται να περιστρέφεται γύρω από τη διεύθυνση Βορας-Νότος κι επειδή το επίπεδο του ουράνιου ισημερινού διέρχεται από ζενίθ τα αντικείμενα στον ουράνιο ισημερινό φαίνεται να ανατέ-λουν από τον ανατολικό ορίζοντα, να μεσουρανούν στο ζενίθ και μετά να δύουν στον δυτικό ορίζοντα.

Για έναν παρατηρητή σε γεωγραφικό πλάτος LAT, όπως φαίνεται από το σχήμα 2.8 ο Βόρειος Ουράνιος Πόλος (όταν  $LAT > 0$ ) είναι σε γωνία LAT πάνω από τον βόρειο ορίζοντα στον μεσημβρινό, οπότε ένας αστέρας σε γωνία μικρότερη από LAT από τον Βόρειο Ουράνιο Πόλο δεν δύει ποτέ κάτω από τον ορίζοντα κι άρα είναι πάντα ορατός ενώ οι αστέρες που βρίσκονται σε γωνία μικρότερη από LAT από τον Νότιο Ουράνιο Πόλο δεν φαίνονται ποτέ. Το αντίθετο ισχύει για έναν παρατηρητή στο Νότιο Ημισφαίριο. Οι αστέρες που βρίσκονται σε γωνία μεγαλύτερη από LAT, φτάνουν σε ένα μέγιστο ύψος πάνω από τον ορίζοντα (διέλευση αστέρα) και μετά δύουν και είναι ορατοί μόνο κατά τη διάρκεια του έτους όταν ο Ήλιος βρίσκεται στην αντίθετη πλευρά του



Τα ίχνη των αστέρων γύρω από τον Βόρειο Ουράνιο Πόλο για έκθεση 10 ωρών

ουρανού. Αυτοί οι «αστέρες περί του πόλου» (circumpolar) είναι **διαρκώς ορατοί** (αιφανείς) – και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό σημαίνει ότι για έναν παρατηρητή στους γήινους πόλους, όλοι οι αστέρες είναι αιφανείς ενώ δε βλέπει κανέναν από τους αστέρες του αντίθετου ημισφαιρίου. Για παρατηρητή που βρίσκεται στον γήινο ισημερινό, κανείς από τους αστέρες δεν είναι αιφανής και βλέπει όλη την ουράνια σφαίρα κατά τη διάρκεια του έτους.

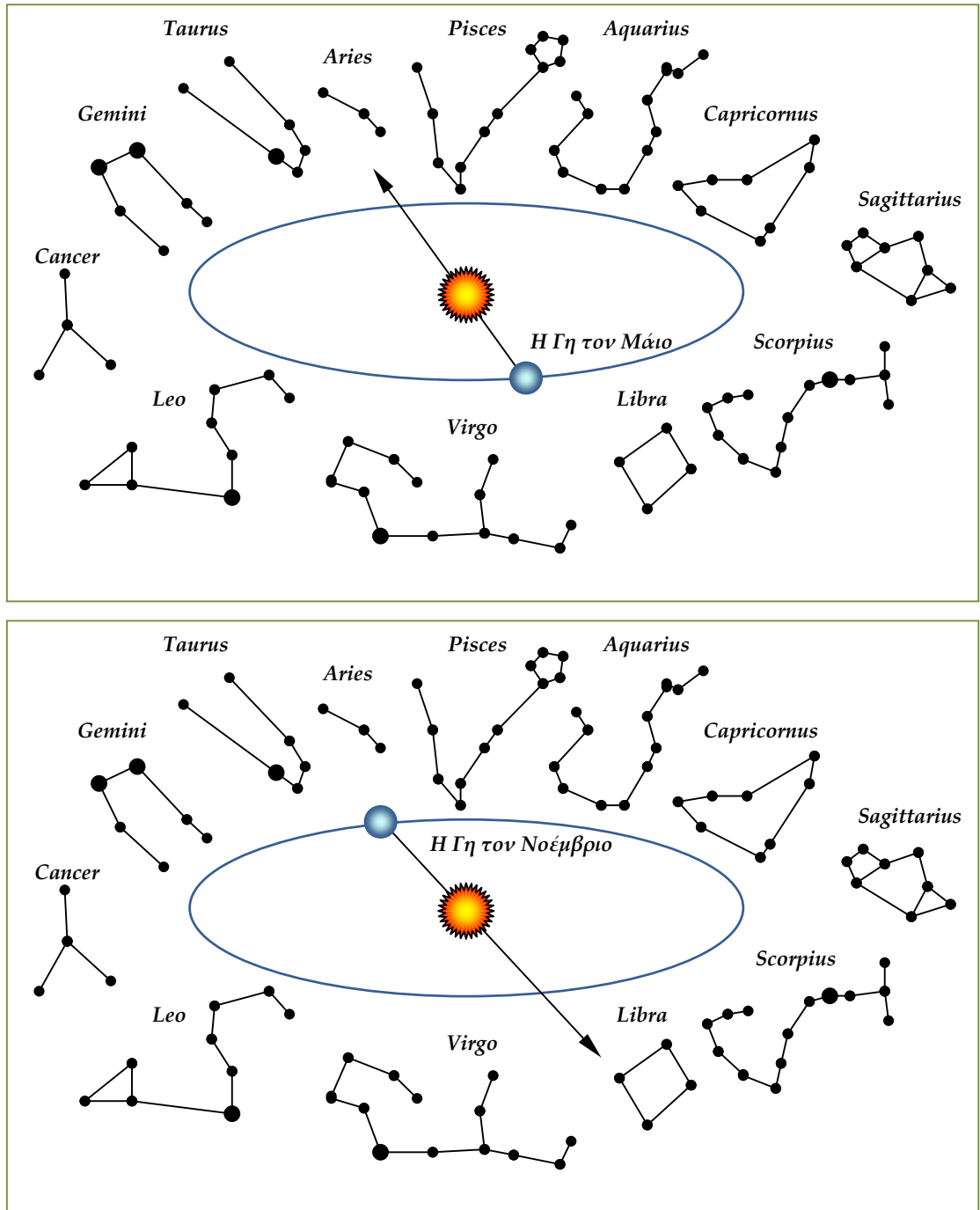
Από την παραπάνω ανάλυση αιτιολογείται η μέτρηση της ορθής αναφοράς με μονάδες χρόνου. Ο μεσημβρινός είναι σαν ένα ρολόι χειρός, οπότε οι γραμμές απόκλισης που τον διασχίζουν μας λένε και τί ώρα είναι (με προσέγγιση γιατί η πραγματική περίοδος περιστροφής είναι 23 ώρες και 56 λεπτά). Προκειμένου να συνδέσουμε την επίδραση της περιστροφής της Γης, η Ωριαία Γωνία (Hour Angle, HA) δείχνει το χρονικό διάστημα πριν ή μετά τη διέλευση κάθε αντικειμένου. Όπως έχει αναφερθεί στις ισημερινές συντεταγμένες η ωριαία γωνία είναι η γωνία που σχηματίζει στον ουρανό, ο μεσημβρινός και η γραμμή της ορθής αναφοράς του εν λόγω αντικειμένου. Σε αντίθεση με την ορθή αναφορά που είναι πάντα σταθερή, η HA των αντικειμένων αυξάνει συνεχώς και δίνεται από τη σχέση  $HA = LST - RA$ , όπου LST ο συνοδικός χρόνος.

Εισάγοντας και τη συντεταγμένη της ωριαία γωνίας (HA) μπορούμε να δούμε ότι ανάλογα με τη θέση (γεωγραφικό πλάτος παρατηρητή) μερικοί αστέρες είναι ορατοί πάντα, άλλοι ανατέλλουν και δύουν και άλλοι δεν είναι ποτέ ορατοί (ορατοί πάντα, εννούμε ότι φαίνονται πάντα στον ουρανό εάν δεν υπήρχε το ηλιακό φως!). Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8, ο αστέρας X ή πλανήτης, διασχίζει τον ορίζοντα στα σημεία L και V, κινούμενος από το L διαμέσου του U πάνω στον μεσημβρινό προς το V.

Επιπροστιθέμενη σε αυτήν την ημερήσια κίνηση είναι η κίνηση μερικών σωμάτων που κινούνται (πλανώνται) στην ουράνια σφαίρα μεταβάλλοντας τις σχετικές τους θέσεις. Αυτά είναι οι πλανήτες, ο Ήλιος και η Σελήνη. Αυτή η πραγματική κίνηση δεν παρατηρείται στους μακρινούς αστέρες γιατί λόγω της μεγάλης απόστασης η κίνηση φαίνεται πολύ μικρή. Επιπλέον κατά τη διάρκεια ενός έτους οι κοντινότεροι αστέρες φαίνονται να κινούνται λόγω της ετήσιας περιφοράς της Γης και η κίνηση αυτή ονομάζεται παράλλαξη (Κεφ.?). Οι περισσότεροι αστέρες πάντως είναι πολύ μακριά ώστε αυτή η φαινόμενη κίνησή τους να μην μπορεί να παρατηρηθεί. Ακόμα και για τους κοντινότερους απαιτείται καλό ανιχνευτικό σύστημα στο τηλεσκόπιο για να ανιχνευθεί.

## 2.5 Φαινόμενη κίνηση του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα Εποχές

Ο Ήλιος όχι μόνο περιστρέφεται μαζί με τους αστέρες στην ουράνια σφαίρα κάθε ημέρα αλλά και κινείται πολύ αργά σε σχέση με αυτούς. Οι εικονικές του



Σχήμα 2.16

κινήσεις είναι

- Ημερήσια κίνηση από ανατολικά προς δυτικά λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της με περίοδο 24 ώρες.

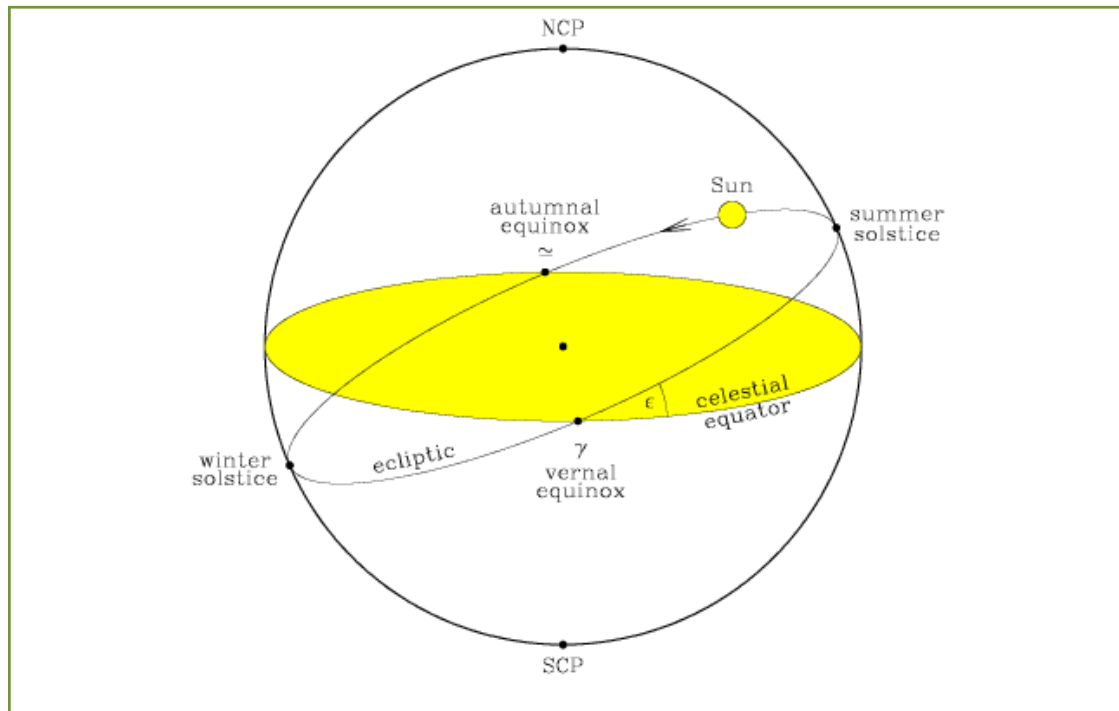


- Μετατόπιση ανατολικά σε σχέση με τους αστέρες περίπου  $1^\circ$  την ημέρα με περίοδο περίπου 365.25 ημέρες ( $360^\circ/365.25$  ημ.).

Η δεύτερη κίνησή του οφείλεται στο γεγονός ότι η Γη εκτελεί μία περιστροφή γύρω από τον Ήλιο και ο Ήλιος είναι πολύ κοντύτερα στη Γη απ'ότι οι αστέρες. Ένας παρατηρητής που σημειώνει κάθε μήνα ποιά ομάδα αστέρων φαίνεται αρχικά πάνω από τον δυτικό ορίζοντα μετά το ηλιοβασίλεμα, θα παρατηρήσει ότι αυτές οι ομάδες προχωράνε προς τα μπροστά σταδιακά κατά μήκος μίας λωρίδας στην ουράνια σφαίρα. Αυτή η ζώνη των 13 αστερισμών κατά μήκος της εκλειπτικής ονομάζεται ζωδιακός κύκλος (αν και παραδοσιακά αναγνωρίζονται οι 12 αστερισμοί πλην του Οφιούχου) και οι αστερισμοί πάνω σ'αυτή τη λωρίδα είναι γνωστοί ως **ζώδια**. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.16 ένας παρατηρητής στο αντίθετο από τον Ήλιο ημισφαίριο της Γης θα βλέπει τον Μάιο, τους αστερισμούς Σκορπιό, Λέων και Παρθένο ενώ δε θα τους βλέπει τον Νοέμβριο και θα βλέπει τον Κριό, τον Ταύρο και τους Διδύμους οι οποίοι δεν θα φαίνονται τον Μάιο.

Η προβολή της φαινόμενης κίνησης του Ήλιου στον ουρανό δηλαδή η διαδρομή που φαινομενικά ακολουθεί ο Ήλιος κατά τη διάρκεια ενός έτους ονομάζεται **εκλειπτική** και αποτελεί την τομή του επιπέδου της τροχιάς της Γης με την ουράνια σφαίρα. Αυτή η διαδρομή βρίσκεται ψηλότερα το καλοκαίρι απ'ότι το χειμώνα. Αυτό συμβαίνει επειδή ο άξονας περιστροφής της Γης (που καθορίζει την ουράνια σφαίρα) παρουσιάζει κλίση  $23.5^\circ$  η οποία ονομάζεται λόξωση (obliquity), σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της, και άρα τα επίπεδα της εκλειπτικής και του ουράνιου ισημερινού σχηματίζουν γωνία  $23.5^\circ$ . Τα σημεία τομής της εκλειπτικής με τον ουράνιο ισημερινό συνδέονται με τους ζωδιακούς αστερισμούς του Κριού ( $\Upsilon$ ) και του Ζυγού ( $\text{♎}$ ), και καθορίζουν το εαρινό (spring ή vernal) και φθινοπωρινό ισημερινό (autumnal equinox) σημείο αντίστοιχα. Καθώς ο Ήλιος κινείται κατά μήκος της εκλειπτικής διασχίζει τον ουράνιο ισημερινό δύο φορές, πρώτα στο **εαρινό ισημερινό σημείο** ( $\Upsilon$ ) κινούμενος από το νότο προς τον βορρά περίπου στις 20-21 Μαρτίου στον αστερισμό του Κριού και στη συνέχεια στο **φθινοπωρινό ισημερινό σημείο** ( $\text{♎}$ ) κινούμενος από τον βορρά προς τον νότο στον αστερισμό του Ζυγού γύρω στις 22-23 Σεπτεμβρίου. Όταν ο Ήλιος είναι στα ισημερινά σημεία υπάρχει ίση μέρα και νύχτα (12 ώρες) όπως μαρτυρεί και η ετυμολογία του όρου, ανατέλλει ακριβώς στην κατεύθυνση της ανατολής και δύει ακριβώς στην κατεύθυνση της δύσης. Σε αυτό διαφέρει από όλους τους υπόλοιπους αστέρες που πάντοτε ανατέλλουν στο ίδιο σημείο του ορίζοντα. Το μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνει ο Ήλιος στον ουρανό (από το βόρειο ημισφαίριο) σταδιακά αυξάνει από την εαρινή ισημερία και φτάνει στο μέγιστο στις 20-21 Ιουνίου – στο **θερινό ηλιοστάσιο**

όπου ο Ήλιος «στέκεται» δηλαδή σταματά να κινείται προς βορά πριν να αρχίσει να κινείται πάλι πίσω προς τον ουράνιο ισημερινό. Ομοίως ο Ήλιος φτάνει στο ελάχιστο ύψος του στον ουρανό (από το βόρειο ημισφαίριο) στις 21-22 Δεκεμβρίου – στο **χειμερινό ηλιοστάσιο**. Αφού η εκλειπτική σχηματίζει γωνία  $23.5^\circ$  σε σχέση με τον ουράνιο ισημερινό, το μέγιστο ή ελάχιστο ύψος στο οποίο φτάνει ο Ήλιος στον ουρανό (από το βόρειο ημισφαίριο) είναι  $23.5^\circ$ .



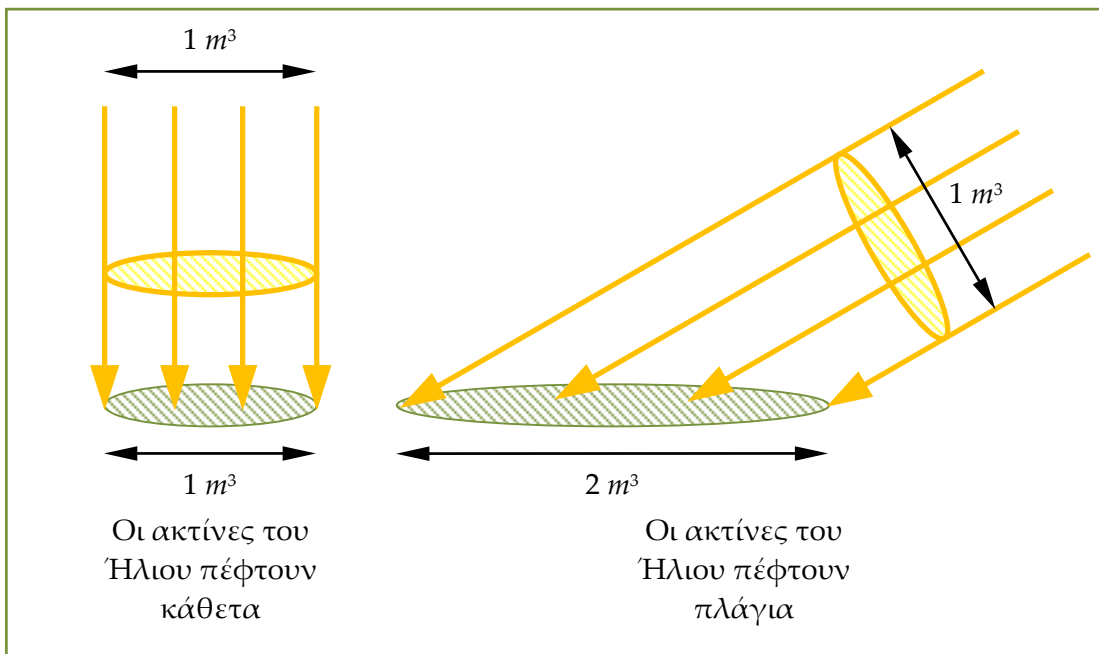
Σχήμα 2.17

Κατά το θερινό (21 Ιουνίου) και το χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου) η διεύθυνση του Ήλιου είναι αντίστοιχα  $23.5^\circ$  πάνω και κάτω από τον ουράνιο ισημερινό δηλαδή ο Ήλιος είναι στο ζενίθ το μεσημέρι για τους παρατηρητές σε  $LAT = 23.5^\circ$  και  $LAT = -23.5^\circ$  αντίστοιχα και αυτά τα γεωγραφικά πλάτη καλούνται **Τροπικός του Καρκίνου** και **Τροπικός του Αιγόκερου** αντίστοιχα γιατί αυτοί είναι οι ζωδιακοί αστερισμοί που συνδέονται με το τμήμα της εκλειπτικής στο οποίο βρίσκεται ο Ήλιος τότε. Το θερινό ηλιοστάσιο είναι και το υψηλότερο (βορειότερο) σημείο που φτάνει ο Ήλιος στο Β. ημισφαίριο στις 21 Ιουνίου και το χειμερινό το νοτιότερο περίπου στις 21 Δεκεμβρίου. Στο χειμερινό ηλιοστάσιο βλέπουμε το μικρότερο μέρος της ημερήσιας κίνησής του (μικρότερη ημέρα) και σηματοδοτεί την έναρξη της εποχής του χειμώνα για το Β. ημισφαίριο ενώ στο θερινό το μεγαλύτερο μέρος της ημερήσιας κίνησής του (μεγαλύτερη ημέρα) και σηματοδοτεί την έναρξη της εποχής του καλοκαιριού. Από την εμπειρία γνωρίζουμε ότι ο Ήλιος ανατέλλει βορειοανατολικά το καλοκαίρι και στα νοτιοανατολικά τον χειμώνα.

Με βάση τις παραπάνω θέσεις του Ήλιου μπορούμε να υπολογίσουμε τις ουράνιες συντεταγμένες του μέσα στο χρόνο:

21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου	πάνω στον ουράνιο ισημερινό
22 Δεκεμβρίου	διεύθυνση $23.5^\circ$ κάτω από τον ουράνιο ισημερινό
22 Ιουνίου	διεύθυνση $23.5^\circ$ πάνω από τον ουράνιο ισημερινό
21-22 Δεκ χειμερινό ηλιοστάσιο	απόκλιση $23.5^\circ$
20-21 Ιουν θερινό ηλιοστάσιο	απόκλιση $23.5^\circ$

Οι εποχές οφείλονται στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης ( $23.5^\circ$ ) με την τροχιά της, δηλαδή στη γωνία που σχηματίζει η εκλειπτική με τον ουράνιο ισημερινό και άρα στην γωνία που σχηματίζουν οι ηλιακές ακτίνες με το έδαφος



Σχήμα 2.18

Αυτή η κλίση έχει ως αποτέλεσμα το ένα ημισφαίριο να δέχεται λιγότερο ή περισσότερο ηλιακό φως σε διαφορετικές χρονικές περιόδους κατά την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Σύμφωνα με τα παραπάνω ο Ήλιος το καλοκαίρι βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα για περισσότερες ώρες απ'ότι το χειμώνα. Άρα οι ημέρες το καλοκαίρι έχουν μεγαλύτερη διάρκεια απ'ότι το χειμώνα κι άρα το συνολικό ποσό της ενέργειας που δεχόμαστε είναι μεγαλύτερο. Όταν η γωνία που σχηματίζουν οι ηλιακές ακτίνες με το έδαφος είναι μεγάλη, προσπίπτουν περισσότερες ακτίνες ανά μονάδα επιφάνειας στη Γη (είναι πιο

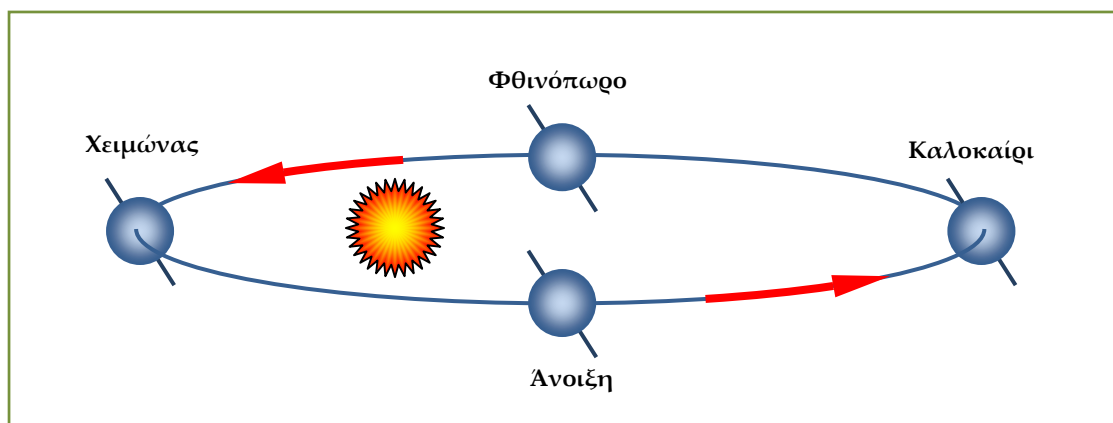
συγκεντρωμένες) κι άρα περισσότερη ενέργεια (θερμότητα) ανά μονάδα επιφάνειας (τετραγωνικό μέτρο) απ'όταν σχηματίζουν μικρή γωνία όπως φαίνεται στο σχήμα 2.18.

Έτσι στις ισημερίες ο Ήλιος βρίσκεται στον ουράνιο ισημερινό δηλαδή στο ζενίθ για  $LAT=0$  και σχεδόν όλοι στη Γη έχουν τον Ήλιο περίπου 12 ώρες πάνω και κάτω από τον ορίζοντα. Οι ηλιακές ακτίνες του Ήλιου πέφτουν στον ισημερινό κάθετα εκείνες τις ημέρες.

Γύρω στις 22 Ιουνίου για τους κατοίκους του Β. Ημισφαιρίου όχι μόνο οι ημέρες είναι μεγαλύτερες αλλά οι ακτίνες του Ήλιου πέφτουν με μικρή κλίση κι άρα προσπίπτει περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας κι άρα λαμβάνουν περισσότερη θερμότητα. Οι παρατηρητές που βρίσκονται σε πλάτος μεγαλύτερο από  $90^\circ - 23.5^\circ = 66.5^\circ$  έχουν συνεχώς ημέρα και αυτό το πλάτος καλείται Αρκτικός κύκλος. Οι παρατηρητές κάτω από πλάτος  $66.5^\circ$  έχουν 24-ωρο σκοτάδι κι αυτό το πλάτος καλείται Ανταρκτικός κύκλος .

Γύρω στις 22 Δεκεμβρίου για τους κατοίκους του Β. Ημισφαιρίου όχι μόνο οι νύχτες είναι μεγαλύτερες αλλά οι ακτίνες του Ήλιου πέφτουν με μεγαλύτερη κλίση κι άρα προσπίπτει μικρότερη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας κι άρα λαμβάνουν μικρότερη θερμότητα. Για τους κατοίκους πάνω από τον Αρκτικό κύκλο ( $66.5^\circ$ ) υπάρχει 24 ωρο σκοτάδι και γι αυτούς κάτω από τον Ανταρκτικό κύκλο 24ωρη ημέρα.

Θα πρέπει να σημειωθεί όπως φαίνεται κι από το σχήμα 2.19 ότι η Γη είναι πλησιέστερα στον Ήλιο στο Β. Ημισφαίριο το χειμώνα (στις 4 Ιανουαρίου)!



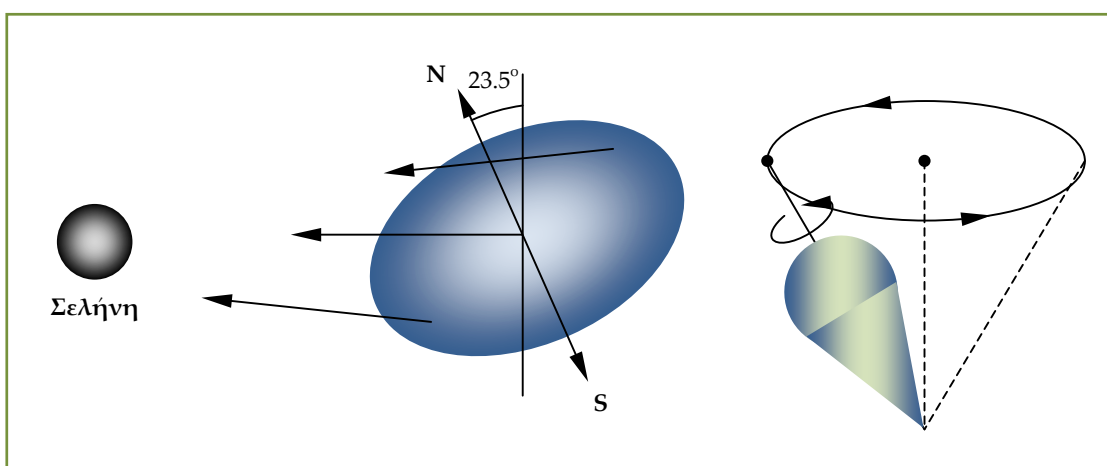
Σχήμα 2.19

Στην πραγματικότητα βέβαια οι εποχές ξεκινούν με μια χρονική καθυστέρηση περίπου ενός μηνός λόγω της θερμότητας που αποθηκεύεται στους ωκεανούς.

## 2.6 Παρατηρήσιμες αλλαγές στις συντεταγμένες Μετάπτωση, κλόνιση

Καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της είναι πλατύτερη στον ισημερινό κατά 1:298 δηλαδή σημαίνει ότι έχει ακτίνα 43 km μεγαλύτερη απ'ότι στους πόλους. Το πεπλατυσμένο σχήμα της Γης και η κλίση του άξονα περιστροφής της ως προς το επίπεδο της εκλειπτικής δημιουργούν συνθήκες ώστε οι ελκτικές δυνάμεις του Ήλιου και της Σελήνης να ασκούν μια ροπή στη Γη που τείνει να στρέψει τον άξονά της ώστε να γίνει κάθετος στο επίπεδο της τροχιάς της -η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση των δύο σωμάτων ως προς τη Γη (σχήμα 2.20). Επειδή όμως η Γη περιστρέφεται, αυτή η ροπή αναγκάζει τον άξονα περιστροφής της να μετατοπίζεται (**μετάπτωση**) δηλαδή να διαγράφει μία κωνική επιφάνεια γύρω από τον άξονα της εκλειπτικής, κίνηση όμοια με αυτή του άξονα μιας σβούρας (σχήμα 2.20). Αυτή η ομαλή κυκλική κίνηση του άξονα περιστροφής είναι πολύ αργή κι έχει περίοδο περίπου 26 000 έτη. Αυτό σημαίνει ότι οι ουράνιοι πόλοι κάνουν κύκλους γύρω από τους πόλους της εκλειπτικής κι άρα μεταβάλλεται ο χρόνος κατά τον οποίο ένας αστέρας θεωρείται πολικός. Προς το παρόν ο Βόρειος Πόλος δείχνει προς τον πολικό αστέρα Polaris (τον  $\alpha$  της Μικρής Άρκτου) αλλά πριν από 14 000 έτη έδειχνε προς τον Βέγα, και σε 2200 έτη θα δείχνει προς τον  $\gamma$  του Κηφέως που είναι  $3^\circ$  από τον Βόρειο Ουράνιο Πόλο (σχήμα 2.21).

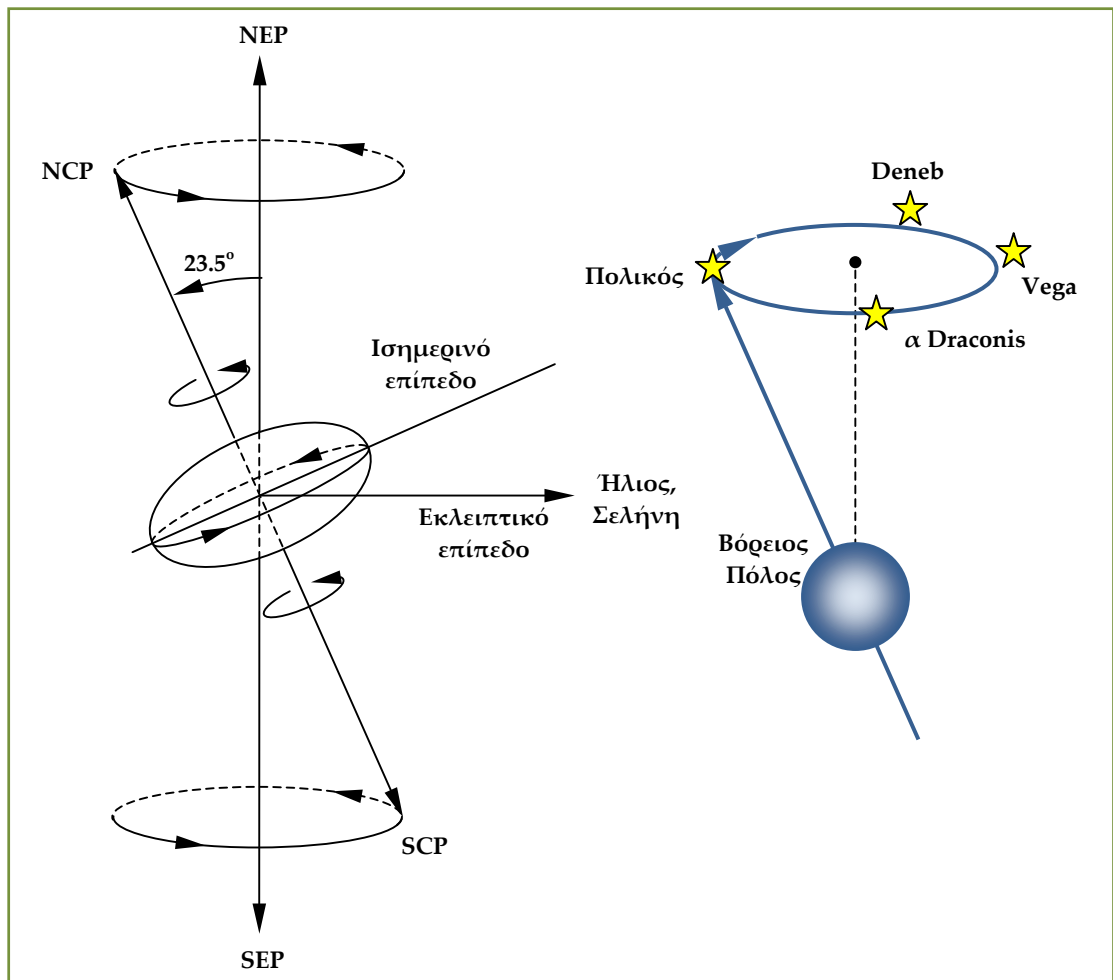
Είναι εμφανές ότι εάν η θέση των ουράνιων πόλων αλλάζει τότε θα αλλάζουν και οι αστέρες/αστερισμοί που είναι πάντα ορατοί για κάποιον παρατηρητή.



Σχήμα 2.20

Επιπλέον επειδή όπως αναφέρθηκε, οι αστρονόμοι χρειάζονται συστήματα συντεταγμένων (RA, Dec) ευθυγραμμισμένα με τον άξονα περιστροφής της Γης, καθώς η Γη μεταπίπτει μετακινούν και το σύστημα συντεταγμένων ώστε να

ακολουθεί τη μετάπτωσή της. Αυτό σημαίνει ότι οι συντεταγμένες θα μετατοπίζονται αργά ως προς το υπόβαθρο των αστερών (περίπου 1 λεπτό τόξου/έτος κατά μήκος της εκλειπτικής). Επειδή δεν είναι εύκολη η αλλαγή των υπαρχόντων καταλόγων αστερών και γαλαξιών, αναφέρεται το έτος των συντεταγμένων ως **ισημερία** των συντεταγμένων π.χ υπάρχουν κατάλογοι με βάση τη διεύθυνση του άξονα περιστροφής της Γης το 1950 που αναφέρονται ως (1950) ή (ισημερία 1950) και πενήντα χρόνια αργότερα χρησιμοποιώντας την διεύθυνση του άξονα περιστροφής το 2000 που αναφέρονται ως (2000) ή J2000 ή ισημερία 2000.



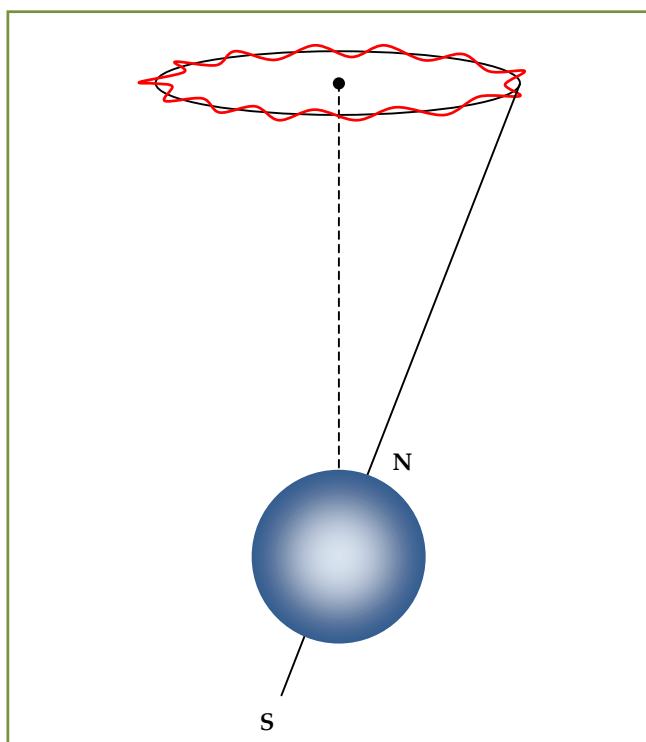
Σχήμα 2.21

Η μετάπτωση του άξονα περιστροφής της Γης έχει μακροπρόθεσμη επίπτωση και στο κλίμα του πλανήτη. Προς το παρόν ο χειμώνας στο Β. Ημισφαίριο συμβαίνει όταν η Γη βρίσκεται πλησιέστερα στον Ήλιο στην ελλειπτική τροχιά της με τον άξονά της κεκλιμένο προς την αντίθετη διεύθυνση από τον Ήλιο γι αυτό και οι χειμώνες είναι συντομότεροι και θερμότεροι απ' ότι θα ήταν σε άλλη περίπτωση (ο Ήλιος είναι στη χαμηλότερη θέση του). Σε 13.000



έτη όταν ο άξονας της Γης θα δείχνει προς το Βέγα, οι χειμώνες θα συμβαίνουν όταν η Γη θα είναι στο πιο απομακρυσμένο σημείο της τροχιάς της κι άρα θα είναι ψυχρότεροι και με μεγαλύτερη χρονική διάρκεια. (Αυτό πιθανόν μπορεί να σημαίνει την έναρξη μιας δεύτερης εποχής παγετώνων εάν έχουμε διαφύγει από το φαινόμενο του θερμοκηπίου!).

Η λόξωση όμως της εκλειπτικής δε μένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται πιο πολύπλοκα λόγω του συνδυασμού των βαρυντικών δυνάμεων από τον Ήλιο και τη Σελήνη και λόγω του μη συμμετρικού σχήματος και της εσωτερικής δομής της Γης, με αποτέλεσμα η τροχιά που διαγράφει ο άξονας της Γης κατά τη μετάπτωση να μην είναι κυκλική αλλά κυματοειδής. Η κυματοειδής κίνηση του άξονα της Γης γύρω από το μέσο κύκλο μετάπτωσης ονομάζεται **κλόνιση (nutation)** κι έχει περίοδο 18.6 έτη. Κάθε κλόνιση διαρκεί περίπου 18.6 έτη (κι άρα γίνονται πολύ περισσότερες μέσα στον κύκλο της μετάπτωσης που διαρκεί 26 000 έτη).



Σχήμα 2.22

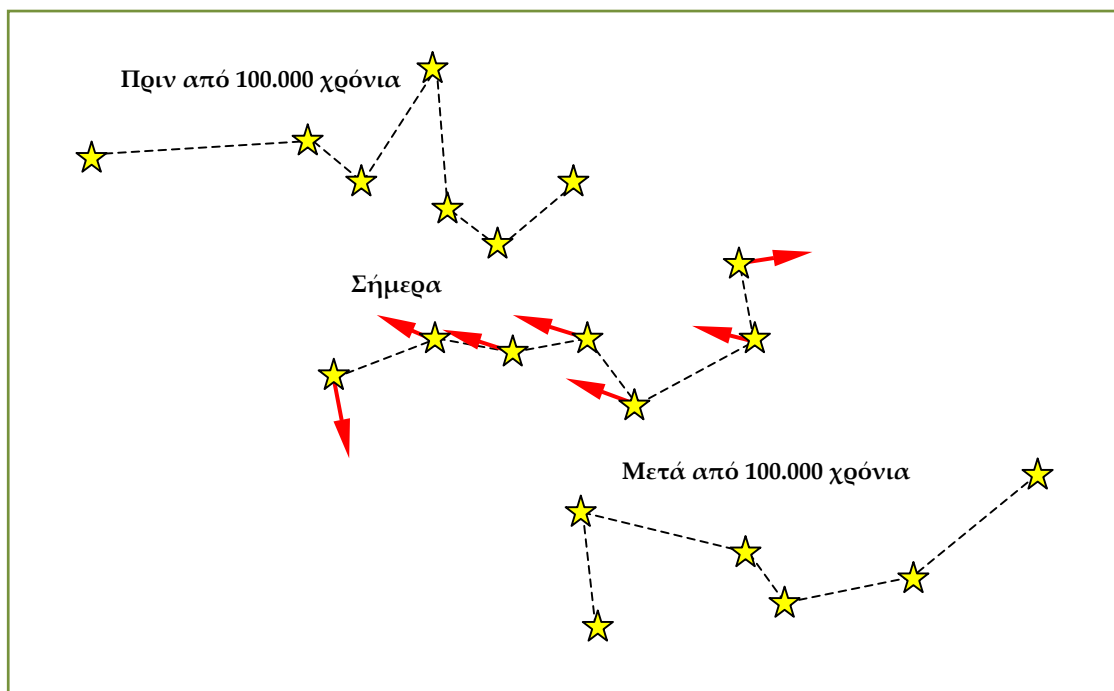
Ο ίδιος κύριος παράγοντας που επηρεάζει την περιστροφή της Γης, οι βαρυντικές δυνάμεις Ήλιου-Σελήνης προκαλούν επίσης παλίρροιες στους ωκεανούς και την ξηρά λόγω της μη στερεής κατάστασης της Γης

## 2.5 Κινήσεις των αστέρων

Η μετάπτωση περιστρέφει μόνο το σύστημα αναφοράς και δεν έχει κάποια επίπτωση στις σχετικές θέσεις των αστέρων. Εν τούτοις οι αστέρες δεν είναι ακί-

νητοι, κινούνται γύρω από το κέντρο του γαλαξία κι άρα για τους κοντινούς μπορούμε να υπολογίσουμε την κίνησή τους γύρω από τον Ήλιο. Η προβολή αυτής της κίνησης στην ουράνια σφαίρα λέγεται **ιδία** κίνηση και επιφέρει μεταβολές στην σχετική τους θέση όπως φαίνεται από την εμφάνιση της Μεγάλης Άρκτου λόγω της ίδιας κίνησης των αστερών της. Γι αυτό για να παρατηρήσουμε αστέρες με σημαντική ίδια κίνηση χρειάζεται να αναφέρουμε τόσο την ίδια κίνησή του όσο και την ημερομηνία παρατήρησής του (γνωστή ως εποχή), τη θέση του στον κατάλογο και την ισημερία στην οποία αναφέρεται. Εάν δεν αναφέρεται η εποχή της παρατήρησής του, υποθέτουμε ότι η εποχή είναι αυτή της ισημερίας του συστήματος αναφοράς.

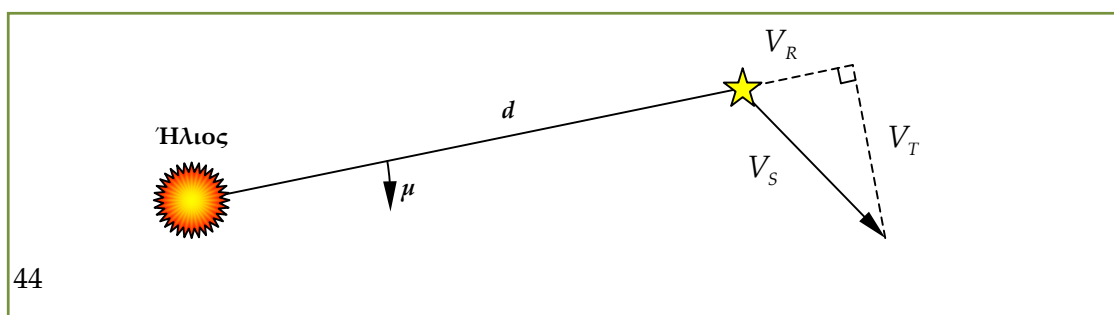
Η ετήσια κίνησή ενός αστέρα στον ουράνιο θόλο κάθετα στην ευθεία οράσεως έχει σαν αποτέλεσμα την γωνιώδη μεταβολή ( $\mu$ ) της φαινόμενης θέσης του αστέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.23 και μετράται σε *milliarcsec*/έτος ή σε



Σχήμα 2.23

*arcsec*/έτος. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.24 εάν  $V_S$  είναι η ταχύτητα του αστέρα στο χώρο,  $V_T$  η ταχύτητα του αστέρα κάθετη στην ευθεία οράσεως,  $V_R$  η ταχύτητα του αστέρα στην ευθεία οράσεως (ταχύτητα Doppler) και ισχύει

$$V_S^2 = V_T^2 + V_R^2$$



### Σχήμα 2.24

Η κίνηση του αστέρα στη διεύθυνση της ευθείας οράσεως – ακτινική ταχύτητα που προσδιορίζεται από το φαινόμενο Doppler – δεν προκαλεί καμία γωνιώδη μεταβολή στη φαινόμενη θέση του αστέρα αλλά δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της ίδιας κίνησης εάν είναι γνωστή η απόσταση μέσω της σχέσης

$$\mu'' = \frac{V_T \text{ km/sec}}{4.74d \text{ pc}}$$

Η μέτρησή της πραγματοποιείται με σύγκριση φωτογραφιών που έχουν ληφθεί με μεγάλη χρονική διαφορά μεταξύ τους π.χ. 10 έτη και σύγκριση της θέσης του αστέρα σε σχέση με πολύ μακρινά αντικείμενα. Για αστέρες ορατούς με γυμνό οφθαλμό η τυπική ίδια κίνηση είναι  $< 0.1''$ /έτος. Τη μεγαλύτερη ίδια κίνηση έχει ο αστέρας του Barnard ( $10.25''$ /έτος).

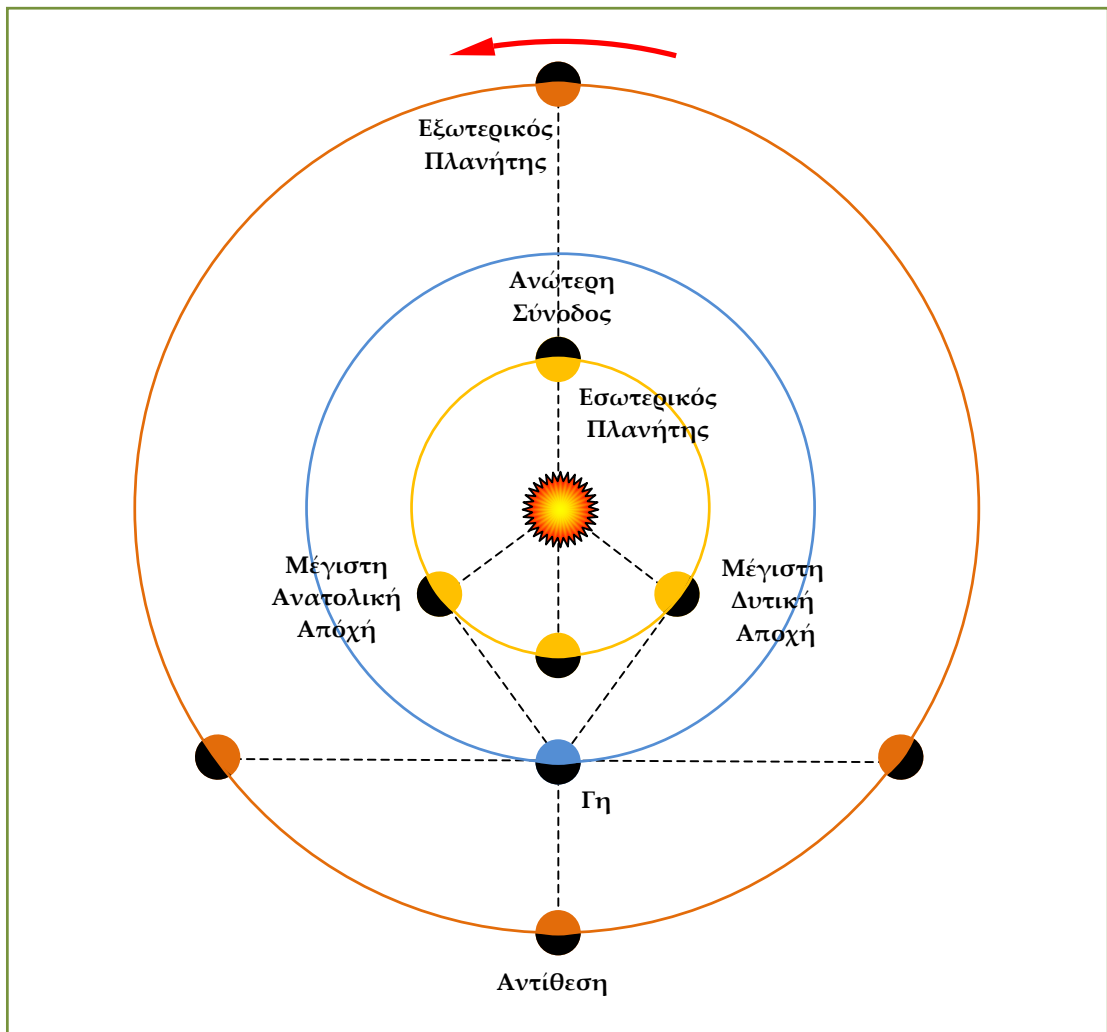
## 2.6 Κινήσεις των πλανητών

Οι πλανήτες κινούνται σε σχεδόν κυκλικές τροχιές γύρω από τον Ήλιο, γι αυτό και παρατηρούνται κοντά στο επίπεδο της εκλειπτικής και άρα η φαινόμενη διαδρομή τους γύρω από τη Γη γίνεται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο. Η ζώνη πλάτους  $18^\circ$  με κέντρο την εκλειπτική που οριοθετεί τα όρια κίνησης των πλανητών ονομάζεται ζωδιακός κύκλος γιατί χωρίζεται σε 12 τμήματα που παίρνουν το όνομά τους από τους αστερισμούς που κυριαρχούν σε καθένα από αυτά στην εκλειπτική. Εάν «σβήναμε» τον Ήλιο τότε ο αστερισμός που θα φαινόταν για τη δεδομένη στιγμή του χρόνου, καθορίζει και το «ζώδιο» εκείνης της χρονικής περιόδου<sup>2</sup>

Οι πλανήτες ανάλογα με το αν η απόστασή τους από τον Ήλιο είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από της Γης διακρίνονται σε εξωτερικούς (Άρης, Δίας, Κρόνος, Ουρανός, Ποσειδώνας και ο νάνος Πλούτων) και εσωτερικούς (Ερμης και Αφροδίτη) αντίστοιχα.

<sup>2</sup> Ένα ωροσκόπιο είναι στην πράξη ένας χάρτης που δείχνει τη θέση των πλανητών, του Ήλιου και της Σελήνης σε σχέση με τους αστερισμούς του ζωδιακού κύκλου, σε μία δεδομένη χρονική στιγμή-τη γέννηση. Είναι προφανές ότι ένας τέτοιος χάρτης δεν μπορεί να έχει σχέση με τη διαμόρφωση του χαρακτήρα του ανθρώπου τη στιγμή της γέννησής του ή με τη συμπεριφορά του σε κάποια άλλη χρονική στιγμή.

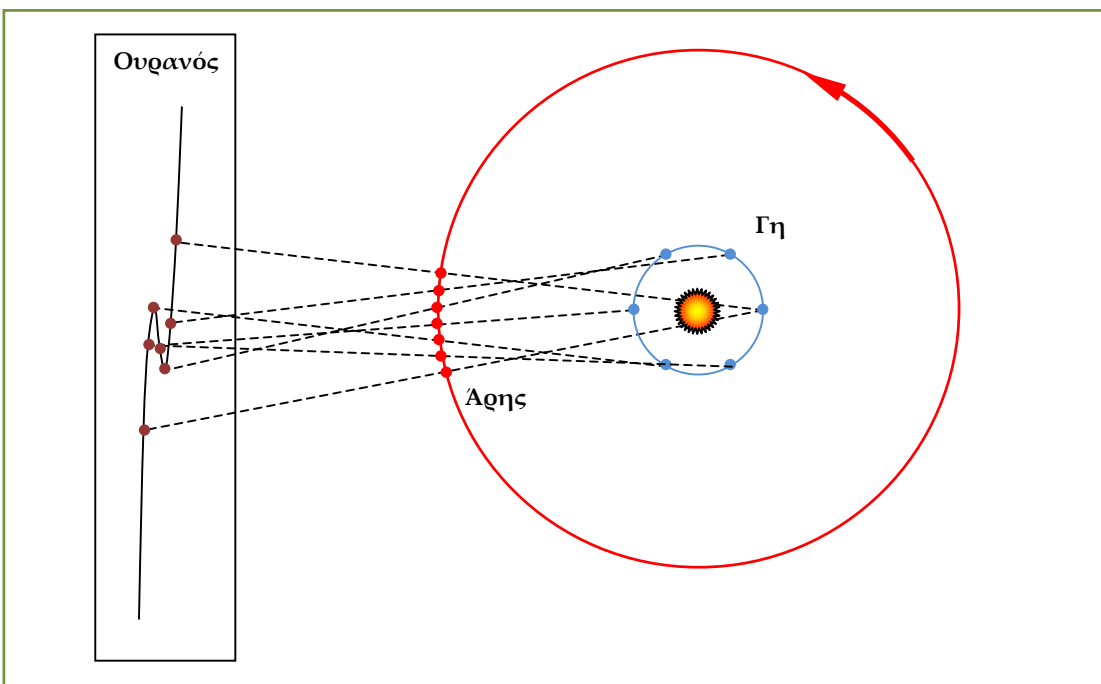
Η γωνία που σχηματίζουν με τη διεύθυνση του Ήλιου και της Γης (αποχή, elongation) μπορεί να είναι δυτική ή ανατολική ανάλογα με το εάν είναι δυτικά ή ανατολικά του Ήλιου για έναν παρατηρητή στη Γη. Η αποχή ενός εξωτερικού πλανήτη κυμαίνεται από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$  ενώ για τον Ερμή μεταξύ  $0^\circ$  και  $28^\circ$  και  $48^\circ$  για την Αφροδίτη. Όταν οι πλανήτες βρίσκονται σε αποχή  $0^\circ$  (συγγραμμικοί με τη Γη και τον Ήλιο) λέμε ότι βρίσκονται σε **σύνοδο** (conjunction), κατώτερη (inferior) όταν είναι μεταξύ Γης - Ήλιου και ανώτερη (superior) όταν βρίσκονται πίσω από τον Ήλιο. Μόνο οι εσωτερικοί μπορούν να έχουν κατώτερες συνόδους. Όταν οι πλανήτες βρίσκονται σε αποχή  $180^\circ$  (συγγραμμικοί με τη Γη και τον Ήλιο) βρίσκονται απέναντι από τον Ήλιο, δηλαδή στον ουρανό βρίσκονται στον μεσημβρινό του παρατηρητή κι έχουν την ευνοϊκότερη θέση παρατήρησης. Οι εσωτερικοί πλανήτες δε μπορεί να βρεθούν σε αντίθεση.



Σχήμα 2.25

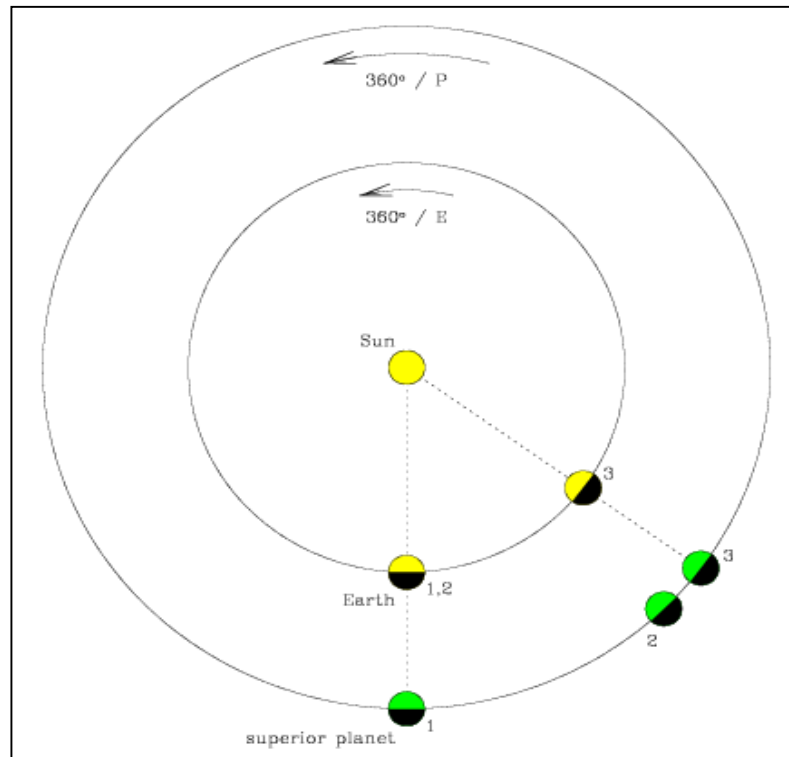
Οι πλανήτες ανακλούν το ηλιακό φως κι έτσι το ήμισυ τους πάντα είναι φωτεινό και το άλλο σκοτεινό. Το ποσοστό όμως της φωτισμένης επιφάνειας για έναν παρατηρητή στη Γη εξαρτάται από τη θέση του, γι' αυτό και οι φάσεις που δείχνουν οι εξωτερικοί πλανήτες διαφέρουν πολύ από τις φάσεις των εσωτερικών. Η νέα φάση συμβαίνει όταν βλέπουμε μόνο το σκοτεινό ημισφαίριο. Αυτό συμβαίνει μόνο στους εσωτερικούς και δεν μπορεί ποτέ να παρατηρηθεί στους εξωτερικούς. Η γεμάτη φάση (σε αντιστοιχία με την Πανσέληνο, βλ. 2.7 Φάσεις Σελήνης) παρατηρείται όταν φαίνεται όλο το φωτισμένο ημισφαίριο και άρα όταν ο πλανήτης είναι σε αντίθεση, γι αυτό και παρατηρείται μόνο στους εξωτερικούς (οι εσωτερικοί στην ανώτερη σύνοδο έχουν γεμάτη φάση αλλά δεν φαίνεται λόγω της επικρατείας του Ήλιου). Οι εξωτερικοί πλανήτες δεν μπορούν να παρατηρηθούν σε φάση μηνίσκου, όταν λιγότερο από το ήμισυ του ημισφαιρίου τους φωτίζεται ενώ οι εσωτερικοί μπορούν. Παρατηρούνται πάντα σε φάση μεταξύ πρώτου τετάρτου και πλήρους φάσης όταν περισσότερο από το ήμισυ του ημισφαιρίου τους φωτίζεται, όπως και οι εσωτερικοί.

Όπως γνωρίζουμε από τον 2<sup>ο</sup> νόμο του Κέπλερ, όσο μακρύτερα βρίσκεται ένας πλανήτης από τον Ήλιο, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται κι άρα όταν η Γη κι ένας πλανήτης κινούνται προς την ίδια πλευρά του Ήλιου και προσπερνά ο ένας τον άλλο (σχήμα 2.26), ο πλανήτης φαίνεται να κινείται ξανά στην ίδια διαδρομή από ανατολικά προς τα δυτικά για λίγο (ανάδρομη κίνηση, retrograde) και μετά συνεχίζει την αρχική του πορεία από δυτικά προς τα ανατολικά (ορθή κίνηση, prograde). Για έναν παρατηρητή στην κινούμενη Γη αυτή η φαινόμενη κίνηση του πλανήτη αναστρέφεται δύο φορές. Όταν οι τροχιές της Γης και του πλανήτη είναι συνεπίπεδες, η κίνηση του πλανήτη σχηματίζει ένα βρόχο.



Σχήμα 2.26

Ο χρόνος που χρειάζεται ένας πλανήτης να επιστρέψει στην ίδια θέση στον ουρανό σε σχέση με τον Ήλιο για έναν παρατηρητή στη Γη ονομάζεται συνοδική περίοδος  $S$  (synodic), ενώ ο χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρώσει μία περιφορά γύρω από τον Ήλιο (τροχιακή περίοδος) ονομάζεται αστρική περίοδος (sidereal). Εάν η αστρική περίοδος της Γης είναι  $E$ , η Γη κινείται με ρυθμό  $360^\circ/E$  ημέρα στην τροχιά της ενώ ο ρυθμός περιφοράς ενός πλανήτη όπως φαίνεται από τον Ήλιο είναι  $360^\circ/P$ . Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.27 όταν η Γη



Σχήμα 2.27

συμπληρώσει μία τροχιά κινούμενη από τη θέση 1 στη θέση 2, έχει  $S-E$  ημέρες για να έρθει σε ξανά σε αντίθεση με έναν εξωτερικό πλανήτη (θέση 3). Σ' αυτό το διάστημα ο πλανήτης έχει κινηθεί από τη θέση 1 στη θέση 3 κι άρα η Γη πρέπει να διαγράψει γωνία  $(S-E) \times (360^\circ/E)$  στον ίδιο χρόνο που ο πλανήτης διαγράφει γωνία  $S \times (360^\circ/P)$ . Άρα  $(S-E) \times (360^\circ/E) = S \times (360^\circ/P)$  ή

$$1/S = 1/E - 1/P$$

Για έναν εσωτερικό πλανήτη, η Γη είναι εξωτερικός κι άρα η παραπάνω σχέση απλώς εναλλάσει τα  $E, P$  δηλαδή

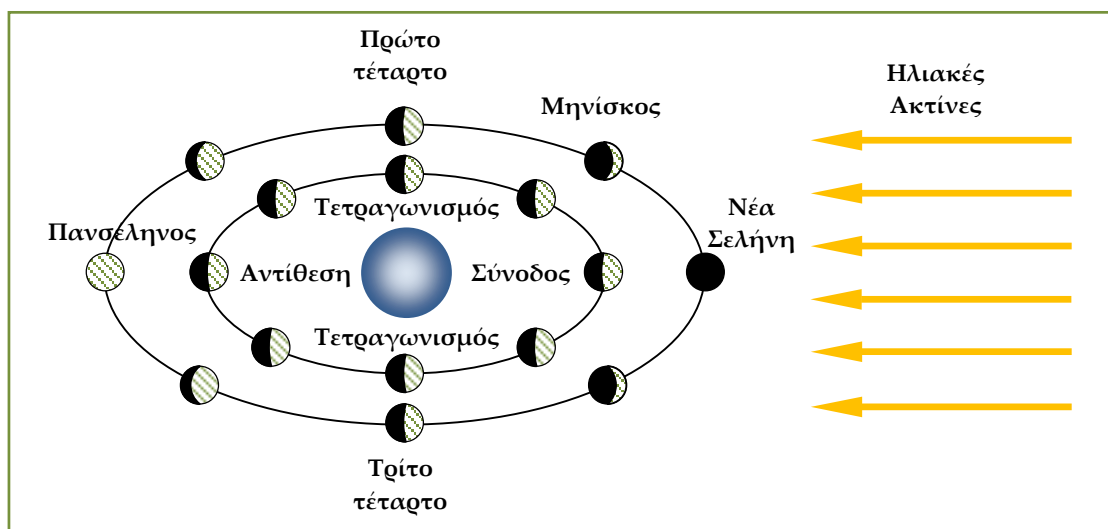
$$1/S = 1/P - 1/E \text{ (εσωτερικός)}$$

$$1/S = 1/E - 1/P \text{ (εξωτερικός)}$$

Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε π.χ το χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών αντιθέσεων ενός (εξωτερικού) πλανήτη  $S$  και να καθορίσουμε το χρονικό διάστημα που διαρκεί το έτος  $P$  κάθε πλανήτη στο ηλιακό σύστημα.

## 2.7 Φάσεις της Σελήνης

Η Σελήνη κινείται γύρω από τη Γη μέσα σε 27.3 ημέρες και την ακολουθεί στην πορεία της γύρω από τον Ήλιο. Καθώς είναι το κοντινότερο στη Γη ουράνιο σώμα φαίνεται να κινείται ταχύτερα από κάθε άλλο. Κατά τη διάρκεια της περιφοράς της παρατηρούμε διαφορετικά μέρη του φωτιζόμενου από τον Ήλιο ημισφαιρίου της, ανάλογα με τη γωνία που σχηματίζει ο Ήλιος και η Σελήνη για έναν παρατηρητή στη Γη. Αυτές οι διαφορετικές διαδοχικές μορφές της Σελήνης ονομάζονται **φάσεις** (Σχήμα 2.28).



Σχήμα 2.28

Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.27 όταν η Σελήνη βρίσκεται περίπου στην ευθεία ανάμεσα στη Γη και τον Ήλιο, ο φωτισμένος δίσκος της στο σύνολό του είναι στραμμένος προς τον Ήλιο και γι αυτό δεν φαίνεται από τη Γη (Νέα Σελήνη). Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, ανατέλλει μαζί με τον Ήλιο. Στην επόμενη φάση μετά από 1 – 2 ημέρες φαίνεται από τη Γη προς τα δυτικά ένας φωτεινός μηνίσκος που μεγαλώνει κάθε μέρα και δύει όλο και αργότερα μέχρι να γίνει το Πρώτο Τέταρτο (μετά από 7 ημέρες και 9 ώρες από τη Νέα Σελήνη). Περίπου μετά από την πάροδο του ίδιου χρόνου, η Σελήνη βρίσκεται πάλι περίπου στην ευθεία Γης-Ήλιου αλλά στην αντίθετη διεύθυνση από τον Ήλιο και ο δίσκος της είναι πλήρης και φωτισμένος και έχουμε την Πανσέληνο. Κατά την πανσέληνο η Σελήνη ανατέλλει όταν ο Ήλιος δύει. Για το επόμενο διάστημα μέχρι τη Νέα Σελήνη, ο φωτισμένος δίσκος αρχίζει να μικραίνει με τις ακμές του μηνίσκου προς την ανατολή. Η Σελήνη σε αυτό το διάστημα ανατέλλει όλο πιο αργά μετά



τη δύση του Ήλιου. Περίπου μετά από το ίδιο χρονικό διάστημα από την Πανσέληνο, (7 ημέρες και 9 ώρες) έχουμε τη φάση του Τελευταίου Τετάρτου της Σελήνης ή Τρίτο Τέταρτο οπότε ανατέλλει κατά το μεσονύκτιο. Όταν συμπληρωθούν από την πρώτη Νέα Σελήνη 29.53059 ημέρες τότε έρχεται πάλι στη θέση της φάσης μιας δεύτερης Νέας Σελήνης.

#### Προς ποιά διεύθυνση του ουρανού είναι η Σελήνη σε κάθε φάση;

Όπως φαίνεται απο το σχήμα 2.28 η νέα Σελήνη βρίσκεται πάντα στη διεύθυνση του Ήλιου. Ο σεληνιακός μηνίσκος είναι πάντα κοντά στον Ήλιο. Το πρώτο ή το τελευταίο τέταρτο (ημισέληνος) βρίσκεται στην κατακόρυφο όταν ο Ήλιος ανατέλλει ή δύει και η πανσέληνος ανατέλλει όταν ο Ήλιος δύει και μεσουρανεί γύρω στα μεσάνυχτα όπως φαίνεται αναλυτικά από τον παρακάτω πίνακα.

#### Φάσεις της Σελήνης

Φάση	Ανατολή Σελήνης	Διέλευση από τον μεσημβρινό	Δύση Σελήνης
Νέα	6 π.μ	Μεσημέρι	6 μ.μ
Αύξουσα φάση Μηνίσκος (Waxing Crescent)	9 π.μ	3 μ.μ	9 μ.μ
Πρώτο Τέταρτο Ημισέληνος	Μεσημέρι	6 μ.μ	Μεσάνυχτα
Αύξουσα φάση Γεμάτη ημισέληνος (Waxing gibbous)	3 π.μ	9 μ.μ	3 μ.μ
Πανσέληνος (Full Moon)	6 μ.μ	Μεσάνυχτα	6 π.μ.
Φθίνουσα φάση Γεμάτη ημισέληνος (Waning gibbous)	9 μ.μ.	3 π.μ	9 μ.μ
Τρίτο Τέταρτο Ημισέληνος	Μεσάνυχτα	6 π.μ	Μεσημέρι
Φθίνουσα φάση Μηνίσκος (Waxing Crescent)	3 π.μ	9 π.μ	3 μ.μ

Γιατί βλέπουμε τη Σελήνη κατά την ημέρα; Κατά το πρώτο τέταρτο η Σελήνη, η Γη και ο Ήλιος σχηματίζουν γωνία  $90^\circ$  κι άρα η Σελήνη απέχει από τον Ήλιο κατά  $90^\circ$ . Εάν θυμηθούμε ότι από τον ανατολικό στο δυτικό ορίζοντα είναι  $180^\circ$  τότε κατά το πρώτο τέταρτο, εάν ο Ήλιος δύει στο δυτικό ορίζοντα τότε η Σελήνη θα είναι στον μεσημβρινό. Όπως φαίνεται κι από τον Πίνακα, η Σελήνη του πρώτου τετάρτου ανατέλλει το μεσημέρι, διασχίζει το μεσημβρινό στο ηλιοβασίλεμα και δύει στη Δύση τα μεσάνυχτα. Αλλά η πανσέληνος σχηματίζει  $180^\circ$  από τον Ήλιο -δηλαδή βρίσκεται στην ακριβώς αντίθετη απο τον Ήλιο διεύθυνση στον ουρανό- κι άρα ανατέλλει κατά το ηλιοβασίλεμα, βρίσκεται στο

μεσημβρινό τα μεσάνυχτα και δύει κατά την ανατολή!

### Περιστροφή της Σελήνης

Η Σελήνη περιστρέφεται όπως και η Γη γύρω από τον άξονά της, επειδή όμως βρίσκεται σε συντονισμό με την ιδιοπεριστροφή της Γης δηλαδή περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της στον ίδιο χρόνο που χρειάζεται για να συμπληρώσει μία πλήρη περιστροφή γύρω από τη Γη, παρατηρούμε πάντα την ίδια πλευρά της (το ίδιο ημισφαίριο). Αυτό σημαίνει ότι κατά το ήμισυ της τροχιάς της φωτίζεται πάντα το ένα ημισφαίριό της και κατά το υπόλοιπο ήμισυ το άλλο, δηλαδή σε κάθε θέση της το ένα ημισφαίριό της έχει «μέρα» και το άλλο «νύχτα», όπως στη Γη, με τη διαφορά ότι οι σεληνιακές ημέρες και νύχτες διαρκούν όσο 14.75 γήινες ημέρες.

Αρα αφού το κάθε ημισφαίριο της Σελήνης ανακλά το ίδιο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (7%), θα ήταν ορθότερο να μιλάμε για μακρινή πλευρά και όχι για «σκοτεινή» γιατί το ήμισυ του σεληνιακού δίσκου φωτίζεται πάντα από τον Ήλιο (με εξαίρεση τις σεληνιακές εκλείψεις) αν και το φωτισμένο ήμισυ δεν είναι πάντα προς το μέρος της Γης. Η πιο απομακρυσμένη πλευρά δεν είναι πάντα η ίδια με τη σκοτεινή πλευρά. Κατά τη Πανσέληνο η μακρινή πλευρά είναι τελείως σκοτεινή ενώ κατά την Νέα Σελήνη η μακρινή πλευρά είναι πλήρως φωτισμένη (όπως φαίνεται από τον Ήλιο).

Το φαινόμενο του συντονισμού των περιόδων περιστροφής ενός δορυφόρου και περιφοράς του γύρω από έναν πλανήτη είναι συχνό μέσα στο ηλιακό σύστημα και αποδίδεται στις παλιωτικές δυνάμεις του πλανήτη.

Επιπλέον η Σελήνη εκτελεί μία ταλάντωση που ονομάζεται λίκνιση (libration) κατά τη διάρκεια της ελλειπτικής τροχιάς της γύρω από τη Γη όπου κινείται ταχύτερα στο αφήγειο από ότι στο περιήγειο. Αφού η περιστροφή της είναι σχεδόν σταθερή μπορούμε να δούμε ένα μικρό τμήμα γύρω από κάθε άκρο της. Επιπλέον επειδή είναι κεκλιμένη σε σχέση με την εκλειπτική ( $5^\circ$ ), καθώς κινείται πάνω και κάτω από αυτή μπορούμε να δούμε λίγο πιο πέρα από τους πόλους της. Λόγω των παραπάνω κινήσεων μπορούμε να δούμε πάντα μόνο το 41% της σεληνιακής επιφάνειας, πάντα αποκρύπτεται το 41% ενώ το υπόλοιπο 18% είναι κατά περιόδους ορατό ή αόρατο.

Μερικές φορές όταν η Σελήνη είναι στη φάση του λεπτού μηνίσκου (αύξοντα ή φθίνοντα) μπορούμε να δούμε τμήματα της πλευράς που δεν φωτίζεται από τον Ήλιο. Αυτό συμβαίνει γιατί για έναν παρατηρητή στη Σελήνη, η Γη φαίνεται σε πλήρη φάση, κι άρα είναι πολύ φωτεινή αφού ανακλά οκταπλάσια ποσότητα ηλιακού φωτός απ'ότι η Σελήνη. Αυτό το φως μπορεί να ανακλαστεί πάνω στο

σκοτεινό ημισφαίριο της Σελήνης και να το φωτίσει. Το φαινόμενο είναι καλύτερα ορατό λίγες ημέρες μετά τη Νέα Σελήνη.

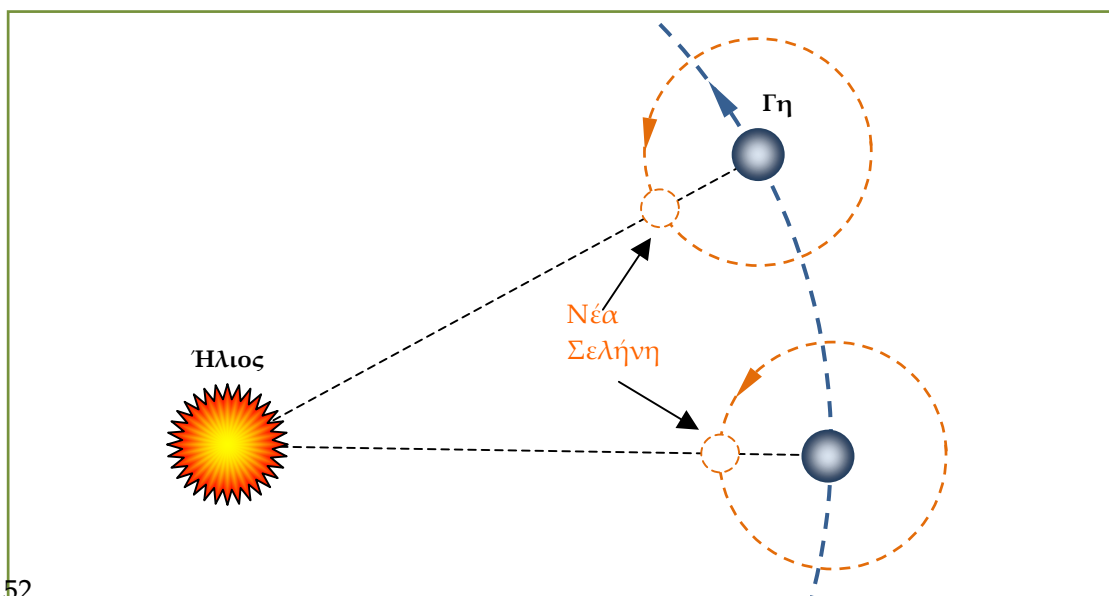


Θα πρέπει να σημειωθεί ότι πολλές φορές κατά την ανατολή η Σελήνη φαίνεται μεγαλύτερη σε μέγεθος από ότι όταν είναι στο ζενίθ. Στην πραγματικότητα δεν είναι μεγαλύτερη (ή είναι ελάχιστα) και η όλη αίσθηση είναι αποτέλεσμα οφθαλμαπάτης όπως φαίνεται στο σχήμα, γιατί όταν βρίσκεται χαμηλά μπορούμε να την συγκρίνουμε με αντικείμενα στο υπόβαθρο ενώ

όταν βρίσκεται ψηλά στο σκοτεινό υπόβαθρο του ουρανού, την αντιλαμβανόμαστε ως μία μικρότερη πηγή φωτός.

### Πόσο γρήγορα κινείται η Σελήνη;

Ο χρόνος περιφοράς της Σελήνης γύρω από τη Γη σε σχέση με τον Ήλιο δηλαδή ο χρόνος στον οποίο διαρκούν οι φάσεις της ονομάζεται συνοδικός μήνας (synodic) και διαρκεί 29.530589 μέρες (από τη μία Νέα Σελήνη στην άλλη) ενώ ο αντίστοιχος χρόνος σε σχέση με τους μακρινούς αστέρες ονομάζεται αστρικός (sidereal) και διαρκεί 27.3 ημέρες. Καθώς η Γη γυρίζει γύρω από τον Ήλιο και ενώ η Σελήνη ολοκληρώνει την τροχιά της, η Γη κινείται κατά το ένα δωδέκατο της πορείας της γύρω από τον Ήλιο. Εξαιτίας της πάρελξης των τροχιών της Γης και της Σελήνης, ο πραγματικός χρόνος μεταξύ των σεληνιακών μηνών μπορεί να ποικίλει από 29.27 στις 29.83 μέρες περίπου. Έτσι μία συνοδική (σεληνιακή) μέρα είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένας παρατηρητής στη Σελήνη για να δει τον Ήλιο ακριβώς στο ίδιο σημείο. Ο χρόνος αυτός στο σύνολο του μήνα, είναι ίδιος με το συνοδικό μήνα. Ο σεληνιακός δηλαδή μήνας είναι ανάλογος με την συνοδική περίοδο των πλανητών.



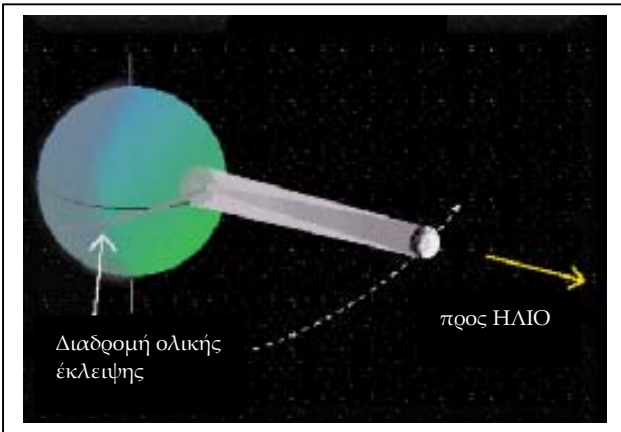
Η Σελήνη και ο Ήλιος κινούνται ανατολικά πάνω στην εκλειπτική, η Σελήνη σε έναν μήνα, ο Ήλιος σε έναν χρόνο. Άρα σε έναν μήνα (συνοδική περίοδος) κερδίζει δηλαδή προηγείται του Ηλίου κατά

$$360^\circ / (29.53 \text{ ημέρες}) = 12.19^\circ / \text{ημέρα}$$

Αυτό σημαίνει ότι ανατέλλει (ή δύει) κατά μέσο όρο περίπου 50 λεπτά αργότερα  $(24 \text{ ώρες} / 360^\circ) \times (60 \text{ λεπτά} / 1 \text{ ώρα}) \times (12.19^\circ / \text{ημέρα}) = 48.8 \text{ λεπτά} / \text{ημέρα}$

## 2.8 Εκλείψεις

Αφού η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη, είναι εύκολο να προβλέψουμε ότι σε κάποια θέση της τροχιάς της θα περάσει στη σκιά της Γης (σεληνιακή έκλειψη) ή ότι θα βρεθεί ανάμεσα στη Γη και τον Ήλιο προκαλώντας μία ηλιακή έκλειψη.



Σχήμα 2.30

**Ηλιακή Έκλειψη** Από την ανάλυση των σεληνιακών φάσεων προκύπτει ότι η κατάλληλη θέση για μια ηλιακή έκλειψη είναι κατά τη Νέα Σελήνη. Αν και η διάμετρος του Ήλιου είναι περίπου 400 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο της Σελήνης, είναι και 400 φορές πιο απομακρυσμένος με αποτέλεσμα τα δύο αντικείμενα να φαίνονται

από τη Γη ότι έχουν σχεδόν την ίδια γωνιώδη διάμετρο (περίπου  $0.5^\circ$ ). Έτσι κατά την ηλιακή έκλειψη η Σελήνη αποκρύπτει τον Ήλιο (ρίχνοντας τη σκιά της) από μια τοποθεσία της Γης (σχήμα 2.30). Κάτω από τη γεωμετρία του σχήματος βλέπουμε ότι στις περιοχές που βρίσκονται στο σκοτεινό κεντρικό κώνο δηλαδή στη σκιά της Σελήνης (umbra) υπό ιδανικές συνθήκες ο Ήλιος αποκρύπτεται τελείως (ολικής έκλειψη), και περιοχές που βρίσκονται στην μεγαλύτερη εξωτερική περιοχή δηλαδή στην παρασκιά (penumbra) όπου φαίνεται μέρος του ηλιακού δίσκου (μερική έκλειψη).

Όταν αποκόπτεται το ηλιακό φως, αναδεικνύονται τα εξωτερικά πολύ αραιά τμήματα του Ήλιου που συγκροτούν το ηλιακό στέμμα (σχήμα 2.31). Καθώς οι



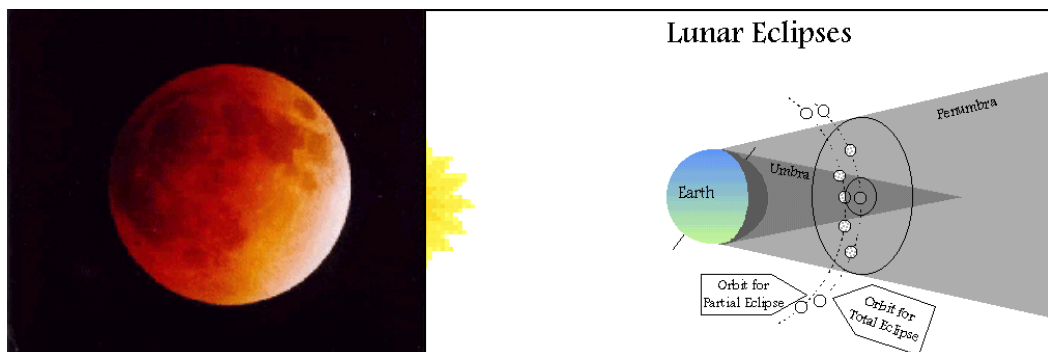
Σχήμα 2.31

αποστάσεις των τριών σωμάτων μεταβάλλονται οι πιο ευνοϊκές συνθήκες (σπάνιες) προκύπτουν όταν η Σελήνη βρίσκεται στο περίγειο και η Γη στο αφήλιο οπότε η Σελήνη έχει το μέγιστο φαινόμενο μέγεθός της και ο Ήλιος το ελάχιστο οπότε η μέγιστη δυνατή θεωρητικά η ολική έκλειψη μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 7 λεπτά και 31 δευτερόλεπτα. Λόγω όμως του συνδυασμού της περιστροφής της Γης και της τροχιακής κίνησης της Σελήνης η σκιά κινείται πολύ γρήγορα προς τα ανατολικά διασχίζοντας την επιφάνεια της Γης με συνέπεια η ολικότητα να παρατηρείται μόνο σε μια στενή περιοχή της Γης. Κάθε παρατηρητής έξω από αυτή βλέπει μια μερική έκλειψη. Στις περιπτώσεις όπου λόγω απόστασης η Σελήνη δεν μπορεί να αποκρύψει πλήρως τον ηλιακό δίσκο, οι εκλείψεις γίνονται δακτυλιοειδείς (Σχήμα 2.32)



Σχήμα 2.32

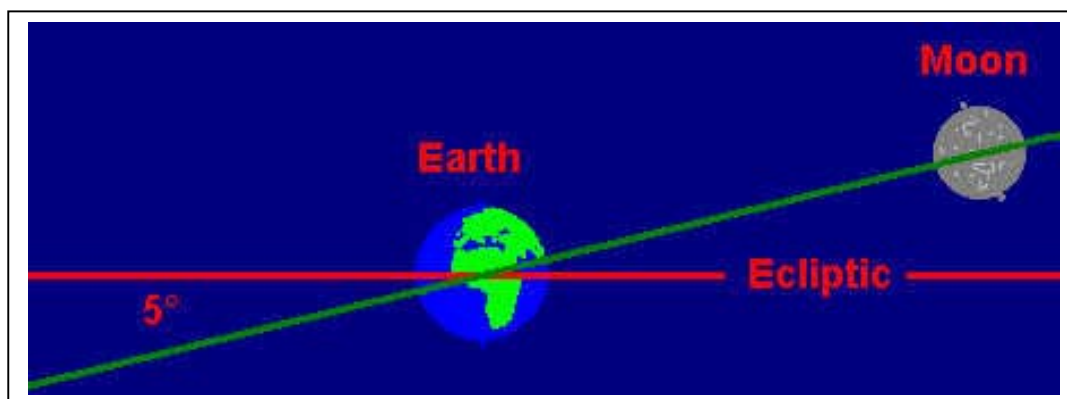
**Έκλειψη σελήνης:** Αντίθετα μία έκλειψη Σελήνης συμβαίνει όταν η Σελήνη διέρχεται μέσα από τη σκιά της Γης η οποία και της αποκόπτει το ηλιακό φως. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.33 μία έκλειψη Σελήνης συμβαίνει μόνο όταν βρίσκεται στην αντιδιαμετρική, σε σχέση με τον Ήλιο θέση, δηλαδή σε πανσέληνο. Όταν η Σελήνη βρεθεί στη σκιά της Γης (umbra) παρατηρείται ολική έκλειψη Σελήνης ενώ όταν βρεθεί μερικώς στη σκιά παρατηρείται μερική έκλειψη. Εάν βρεθεί στην παρασκιά (penumbra), το φως της αποσβέννυται λίγο και η έκλειψη είναι δύσκολα παρατηρήσιμη από τη Γη.



Σχήμα 2.33

Μπορεί η σεληνιακή έκλειψη να μην είναι τόσο θεαματική όσο η ηλιακή, αλλά είναι παρατηρήσιμη από ολόκληρο το ένα ημισφαίριο της Γης και όχι από μία στενή λωρίδα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η σκιά της Γης είναι πολύ μεγαλύτερη από της Σελήνης κι άρα χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να τη διασχίσει η Σελήνη. Περίπου το 35 % όλων των εκλείψεων συμβαίνουν στη σκιά, το 30% είναι μερικές και παρατηρούνται με γυμνόοφθαλμό και το υπόλοιπο 35% είναι ολικές και χαρακτηρίζονται από την ερυθρωπή απόχρωση που παίρνει η Σελήνη τελικά λόγω σκέδασης των υπολοίπων μηκών κύματος από την ατμόσφαιρα. Ο ακριβής χρωματισμός της εξαρτάται από την περιεκτικότητα της γήινης ατμόσφαιρας σε σκόνη και νέφη. Κατά τη σεληνιακή έκλειψη, ένας παρατηρητής πάνω στη Σελήνη (αστροναύτης) θα έβλεπε τη Γη να σκιάζει τον Ήλιο και θα παρατηρούσε ένα λαμπρό ερυθρό δαχτυλίδι γύρω της καθώς θα παρατηρούσε τα ηλιοβασιλέματα και τις ανατολές ταυτόχρονα σε όλο τον κόσμο.

Αφού η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη κάθε 29.5 ημέρες (μία φορά το μήνα) γιατί δεν συμβαίνει έκλειψη σε κάθε πανσέληνο; Επειδή το επίπεδο της τροχιάς της Σελήνης έχει κλίση  $5^\circ$  σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο, η Σελήνη συνήθως βρίσκεται πάνω ή κάτω από αυτό της Γης. Το επίπεδο όμως της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο είναι αυτό στο οποίο σχηματίζεται η σκιά της Γης. Αυτό σημαίνει ότι η πανσέληνος περνά συνήθως πάνω ή κάτω από τη σκιά της Γης οπότε δεν συμβαίνει έκλειψη.



Σχήμα 2.34

Εάν η τροχιά της Σελήνης γύρω από τη Γη ήταν απολύτως ευθυγραμμισμένη με την εκλειπτική θα συνέβαινε μία ηλιακή έκλειψη σε κάθε φάση Νέας Σελήνης γιατί τα τρία σώματα θα βρίσκονταν σε μία νοητή ευθεία γραμμή αλλά και μια σεληνιακή έκλειψη σε κάθε Πανσέληνο. Για να συμβεί μία έκλειψη θα πρέπει ο Ήλιος, η Γη και η Σελήνη να ευθυγραμμίζονται πλήρως δηλαδή τα σημεία τομής

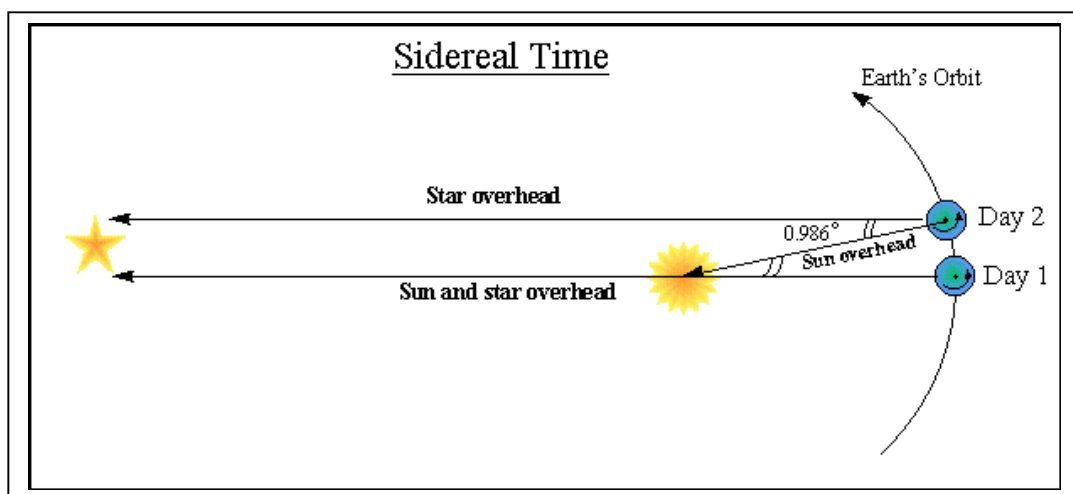


του επιπέδου της τροχιάς της Γης και της Σελήνης να βρίσκονται στην ίδια ευθεία με τον Ήλιο. Αυτή η ευθεία ονομάζεται ευθεία των δεσμών (nodes) και η κίνησή της είναι αυτή που ρυθμίζει το είδος και τον αριθμό των εκλείψεων από το ένα έτος στο άλλο. Η σειρά των εκλείψεων επαναλαμβάνεται ακολουθώντας ένα κύκλο περίπου 18.6 ετών (Saros). Ο Ήλιος βρίσκεται στην ευθεία των δεσμών μόνο 2 φορές το χρόνο (γι αυτό υπάρχουν και δυο εποχές εκλείψεων καθε χρόνο που απέχουν 6 μήνες) και αυτό σημαίνει ότι μπορεί να υπάρχουν 0,1,2, ή 3 εκλείψεις οποιουδήποτε είδους ανά έτος, ανάλογα με τη θέση της Σελήνης.

## 2.9 Ο Χρόνος στην Αστρονομία

Η διάρκεια που έχει η «**ημέρα**» ενός ουράνιου σώματος καθορίζεται από το χρονικό διάστημα ιδιοπεριστροφής του π.χ η ημέρα στη Σελήνη διαρκεί 27 γήινες ημέρες. Η διάρκεια που έχει το «**έτος**» ενός ουράνιου σώματος καθορίζεται από το χρονικό διάστημα περιφοράς του γύρω από κάποιο άλλο π.χ το έτος της Γης διαρκεί 365 ημέρες ενώ το έτος του Πλούτωνα διαρκεί 248.6 γήινα έτη .

### 2.9.1 Αστρικός χρόνος



Σχήμα 2.35

Η βάση του αστρονομικού χρόνου είναι η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της. Αυτή η κίνησή της, όπως είδαμε προκαλεί μία κανονική μεταβολή στις φαινόμενες θέσεις των αστερών δηλαδή κάνει στους αστερές να ανατέλουν στη Ανατολή, να διαγράφουν τοξοειδή πορεία στον ουρανό, να διασχίζουν τον μεσημβρινό (να μεσουρανούν) και τελικά να δύουν (εκτός από ορισμένες θέσεις όπως στους πόλους). Άρα θα μπορούσαμε να μετρήσουμε το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών διελεύσεων από το μεσημβρινό με βάση την ωριαία



γωνία κάποιου σταθερού σημείου στην ουράνια σφαίρα. Επειδή οι αστέρες είναι πολύ μακριά, η ετήσια κίνηση της Γης είναι αμελητέα σε σχέση με τη διεύθυνσή τους. Άρα η Γη περιστρέφεται 360° σε μία **αστρική ημέρα (sidereal)**. Μία αστρική ημέρα είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών εμφανίσεων ενός μακρινού αστέρα στο ίδιο σημείο του μεσημβρινού της Γης. Αυτή η περιστροφή της Γης κατά 360° διαρκεί χρονικό διάστημα 24 αστρικών ωρών, μέσα στο οποίο η Γη περιστρέφεται με ρυθμό (γωνιακή ταχύτητα) 15° ανά ώρα.

Ως μέτρο της περιστροφής της Γης σε σχέση με τους αστέρες χρησιμοποιούμε την ωριαία γωνία της εαρινής ισημερίας (εαρινό σημείο του Κριού)  $HA(\Upsilon)$  η οποία ονομάζεται **τοπικός αστρικός χρόνος (Local Sidereal Time, LST)** δηλαδή  $LST = HA(\Upsilon)$  και η παίρνει την τιμή μηδέν όταν το εαρινό σημείο του Κριού διασχίζει τον μεσημβρινό του παρατηρητή. Όπως φαίνεται και από την ετυμολογία της λέξης ο LST εξαρτάται από το γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή. Επειδή η ωριαία γωνία  $HA$  του εαρινού σημείου ισούται με το άθροισμα της ορθής απόκλισης ενός αστέρα  $X$ ,  $RAX$  και της ωριαίας γωνίας του αστέρα  $HAX$  προκύπτει ότι

$$LST = RAX + HAX$$

Επειδή το  $X$  μπορεί να είναι οποιοδήποτε ουράνιο σώμα αστέρας, Ήλιος, Σελήνη, πλανήτης, διαστημικό όχημα η παραπάνω σχέση είναι πολύ σημαντική γιατί αφού η ωριαία γωνία ενός αστέρα είναι μηδενική όταν διασχίζει τον μεσημβρινό του παρατηρητή, η ορθή αναφορά του τότε δίνει τον τοπικό αστρικό χρόνο.

Γενικά ο τοπικός αστρικός χρόνος συνδέεται με τον αστρικό χρόνο του Greenwich (GST ή ST0) δηλαδή τον τοπικό αστρικό χρόνο στο μεσημβρινό του Greenwich με τη σχέση

$$LST = ST0 + L$$

όπου  $L$  είναι το γεωγραφικό μήκος.

### 2.9.2 Ηλιακός χρόνος

Στην καθημερινή ζωή μετράμε το χρόνο σε σχέση με τη θέση του Ήλιου (**ηλιακός χρόνος**) π.χ μεσάνυχτα, μεσημέρι (θέση του Ήλιου κατακόρυφα πάνω από τον μεσημβρινό). Επειδή η Γη κινείται σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο κάθε 365 ημέρες, σε μία ηλιακή ημέρα εκτελεί μία περιστροφή μεγαλύτερη από 360° κι άρα η φαινόμενη θέση του Ήλιου στον ουρανό αλλάζει.

Μία **ηλιακή ημέρα** είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών εμφανίσεων του Ήλιου στο ίδιο σημείο του μεσημβρινού. Ο φαινόμενος ηλιακός χρόνος (AST) βασίζεται στην ωριαία γωνία του Ήλιου (HAS) και όχι του εαρινού σημείου και παίρνει την τιμή μηδέν όταν ο Ήλιος διασχίζει τον μεσημβρινό του παρατηρητή. Μία ηλιακή ημέρα διαρκεί ακριβώς 24 ώρες και τη χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή. Λόγω της περιφοράς όμως της Γης μία ηλιακή ημέρα διαρκεί λίγο περισσότερο από την αστρική ημέρα γιατί μεταξύ των δύο διαδοχικών εμφανίσεων του Ήλιου στο ίδιο σημείο του μεσημβρινού πρέπει να περιστραφεί επιπλέον κατά  $0.986^\circ$ /ημέρα ( $360^\circ/365$  ημέρες) όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Άρα σε 24 ώρες, η Γη περιστρέφεται  $360.986^\circ$ . Όπως είδαμε επειδή παρόμοιες κινήσεις κάνει η Σελήνη γύρω από τη Γη, λόγω της ετήσιας περιφοράς της Γης, η Σελήνη περιστρέφεται περισσότερο από  $360^\circ$  σε ένα **συνοδικό σεληνιακό μήνα** (synodic lunar month) δηλαδή, μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων Νέας Σελήνης μέχρι να επανέλθει σε ευθεία γραμμή με τον Ήλιο.

Η παραπάνω κίνηση έχει σαν αποτέλεσμα η αστρική ημέρα να διαρκεί 23 ώρες και 56 λεπτά δηλαδή περίπου 4 πρώτα λεπτά χρόνου λιγότερο από μία ηλιακή ημέρα. Άρα ενώ ένα ηλιακό έτος περιλαμβάνει περίπου 365.25 ηλιακές ημέρες, περιλαμβάνει περίπου 366.25 αστρικές ημέρες. Στην πράξη ο ηλιακός χρόνος που μετράμε με τα ρολόγια μας είναι ο μέσος (ηλιακός) χρόνος.

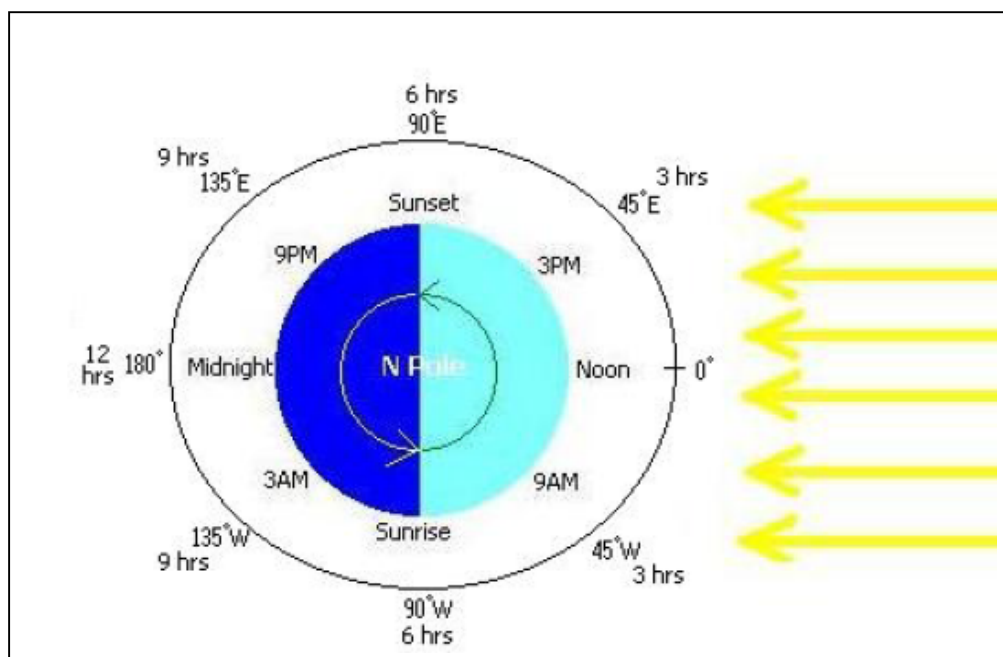
### 2.9.3 Πολιτικός ή τοπικός χρόνος (Civil Time)

Ο μέσος (ηλιακός) χρόνος που ακολουθούν τα ρολόγια μας σε κάθε τόπο ορίζουν και τον πολιτικό χρόνο (civil time) του τόπου αυτού. Σύμφωνα με αυτόν το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο μεσημβριών του Ήλιου καθορίζει την ημέρα η οποία διαιρείται σε 24 ίσα τμήματα που ονομάζονται ώρες. Για λόγους συντονισμού η επιφάνεια της Γης έχει διαιρεθεί σε 24 χρονικές ζώνες πλάτους περίπου  $15^\circ$  γεωγραφικού μήκους, οι οποίες μετρούνται σε ώρες μπροστά ή πίσω από την ώρα Greenwich που είναι η ώρα στον Πρώτο Μεσημβρινό. Σε κάθε ζώνη οι άνθρωποι ρυθμίζουν τα ρολόγια τους σε μία συγκεκριμένη ώρα που συνήθως είναι ο μέσος τοπικός ηλιακός χρόνος του κεντρικού μεσημβρινού της ζώνης.

Η Γη χρειάζεται περίπου 365.25 ημέρες για την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο και προκειμένου να διατηρήσουμε το ημερολόγιο σύμφωνα με τις εποχές, προσθέτουμε μία διορθωτική ημέρα (leap day) κάθε τέσσερα έτη. Επιπλέον χρησιμοποιούμε τη θερινή ώρα για εξοικονόμηση ενέργειας (αν και όχι ταυτόχρονα στην Ευρώπη και Αμερική και στις πόλεις της Αμερικής).

2.9.4 Παγκόσμιος χρόνος (Universal Time, UT)

Ο παγκόσμιος χρόνος (Universal Time, UT) βασίζεται στην κίνηση του Ήλιου δηλαδή έχει 24 ώρες σε μία ημέρα αλλά καθορίζεται με βάση τον μέσο ηλιακό χρόνο στο μεσημβρινό του Greenwich (πλάτος 0°) στην πόλη Greenwich της Αγγλίας (Greenwich mean time, GMT) και δεν ακολουθεί τη θερινή ώρα. Λόγω της περιστροφής της Γης προς την Ανατολή όταν είναι μεσημβρία (μεσημέρι) στο Greenwich δηλαδή όταν ο Ήλιος μεσουραναί, θα είναι προ μεσημβρίας για τις περιοχές δυτικά του Greenwich και μετά μεσημβρία για τις περιοχές ανατολικά όπως φαίνεται στο σχήμα 2.36 .



Σχήμα 2.36

Ο τοπικός μέσος ηλιακός χρόνος (Local Mean Solar Time, LMT) ενός τόπου δίνεται από την εξίσωση

$$LMT = UT + L$$

όπου L είναι το γεωγραφικό μήκος (το γεωγραφικό μήκος ανατολικά έχει θετικό πρόσημο)<sup>1</sup>. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι γενικά ο LMT είναι διαφορετικός από τον

---

<sup>1</sup> Σύμφωνα με τη Διεθνή Αστρονομική ένωση (International Astronomical Union, IAU) το 1982.

πολιτικό χρόνο (επίσημο χρόνο) ενός τόπου αφού ο πολιτικός χρόνος είναι ο ίδιος για όλες τις θέσεις που ανήκουν στην ίδια ζώνη και είναι ο LMT για το επίσημο γεωγραφικό μήκος της ζώνης.

Επειδή ο παγκόσμιος χρόνος είναι ανεξάρτητος της θέσης του παρατηρητή, χρησιμοποιείται από τους αστρονόμους σε όλο τον κόσμο, δηλαδή τα αστρονομικά γεγονότα υπολογίζονται και αναφέρονται σε σχέση με τον UT που συμβαίνουν π.χ εάν ένας μεταβλητός αστέρας πρόκειται να μπει στη φάση της έκλειψής του στις 5:35 UT, τότε οι παρατηρητές σε όλο τον κόσμο γνωρίζουν πού να τον παρατηρήσουν αρκεί να κάνουν τις ανάλογες διορθώσεις ( για την Ελλάδα: UT = τοπικός χρόνος +2 ώρες)<sup>1</sup>.

### 2.9.5 Είδη χρόνων

Σε περιπτώσεις που θέλουμε να λάβουμε υπόψιν περισσότερες λεπτομέρειες της κίνησης μπορούμε να κάνουμε κάποιες διορθώσεις π.χ

**Μετάπτωση.** Επειδή η μάζα της Γης έχει σφαιρική συμμετρία (εξογκωμένη στον ισημερινό) η βαρυτική έλξη του Ήλιου και της Σελήνης αναγκάζει τον άξονα της Γης να εκτελεί μεταπτωτική κίνηση όπως μία σβούρα. Το αποτέλεσμα είναι το σημείο της Εαρινής ισημερίας να κινείται δυτικά με ρυθμό περίπου 50 δευτερόλεπτα της μοίρας ανά έτος (πλήρη περιστροφή σε 26 000 έτη) κι άρα αν και η «αληθινή» αστρική περιστροφή της Γης διαρκεί 86 164 100 δευτερόλεπτα, η περιστροφή σε σχέση με το εαρινό σημείο (κι άρα σε σχέση με την ορθή αναφορά RA=0) να διαρκεί 86 164 092 δευτερόλεπτα.

**UT1 (Παγκόσμιος Χρόνος).** Μεταβολές στην κατανομή της μάζας της Γης (κυρίως στην ατμόσφαιρά της) έχουν ως αποτέλεσμα μικρές μεταβολές στη θέση των πόλων. Λαμβάνοντας υπόψιν αυτή τη διόρθωση ο τοπικός μέσος χρόνος του Greenwich (GMT) ονομάζεται UT1.

**Χρόνος των εφημερίδων (Ephemeris Time, ET).** Την περίοδο 1952-1984 οι υπολογισμοί προσδιορισμού των τροχιακών κινήσεων των πλανητών προκειμένου να σχεδιαστούν οι τροχιές των διαστημικών οχημάτων,

---

<sup>1</sup> Ο επίσημος χρόνος όμως ενός κράτους είναι ο πολιτικός χρόνος της πρωτεύουσας του κράτους

χρησιμοποιήθηκε ο χρόνος των εφημερίδων. Αυτός βασίζεται στην εύρεση του χρόνου ως ανεξάρτητη μεταβλητή στο σύστημα των εξισώσεων κίνησης του ηλιακού συστήματος.

**Γήινος δυναμικός χρόνος (terrestrial dynamical time, TDE).** Ο σύγχρονος επίσημος χρόνος βασίζεται στο δευτερόλεπτο του Διεθνούς Συστήματος μονάδων που ισοδυναμεί με 9192631770 μία συγκεκριμένης μετάβασης του ισότοπου του στοιχείου  $^{133}\text{Cs}$ . Ο TDE χρησιμοποιείται για μετρήσεις από την επιφάνεια της Γης (σχεδιασμό τροχιάς διαστημικών οχημάτων, μελέτες τροχιάς μελών ηλιακού συστήματος).

**Συντονισμένος Παγκόσμιος Χρόνος (Coordinated Universal Time, UTC).** Ο Συντονισμένος Παγκόσμιος Χρόνος χρησιμοποιεί το δευτερόλεπτο του SI αλλά ρυθμίζεται εάν είναι αναγκαίο ώστε να διαφέρει από τον UT1 ακέραιο αριθμό δευτερολέπτων. Αυτό ρυθμίζεται -εάν χρειάζεται -με την προσθήκη ενός διορθωτικού δευτερολέπτου (leap second) δύο φορές το χρόνο (στις 30 Ιουνίου και στις 31 Δεκεμβρίου). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ ο TDE βασίζεται στη φυσική, ο UT1 βασίζεται στην πραγματική παρατήρηση του ρυθμού περιστροφής της Γης.

**Ιουλιανή ημερομηνία (Julian Date, JD).** Επειδή ο τοπικός χρόνος περιλαμβάνει μήνες με διαφορετικό αριθμό ημερών και δίσεκτα έτη, για υπολογισμό γεγονότων στην αστρονομία (π.χ περίοδος μεταβλητών αστερών) που διαρκούν πάνω από μία ή δύο ημέρες, χρησιμοποιούμε το σύστημα της Ιουλιανής ημερομηνίας (Julian Date, JD ) που προσδιορίζεται με βάση τον αριθμό των ημερών από τη μεσημβρία της 1ης Ιανουαρίου 4713 π.Χ (U.T) . Η σημασία της Ιουλιανής ημερομηνίας δεν έγκειται στον καθορισμό του σημείου αφετηρίας μέτρησης αλλά στο γεγονός ότι όλα τα γνωστά καταγεγραμμένα ιστορικά γεγονότα έχουν θετική Ιουλιανή ημερομηνία (το όνομα της προέρχεται από τον Julius Scaliger, πατέρα του Joseph Justus Scalinger (1540-1609) που εισήγαγε το σύστημα και όχι από τον Ιούλιο Καίσαρα). Στην πράξη η ακριβής περιγραφή των γεγονότων απαιτεί την μέτρηση με βάση το διεθνή χρόνο (χρόνος Greenwich) π.χ μεσημβρία UT 12/3/02 = JD 2452346