

Η Ουράνια Σφαίρα

- 1.1 Η Ελληνική Παράδοση
- 1.2 Η Κοπερνίκεια Επανάσταση
- 1.3 Θέσεις επί της Ουράνιας Σφαίρας
- 1.4 Φυσική και Αστρονομία

1.1 ■ Η Ελληνική Παράδοση

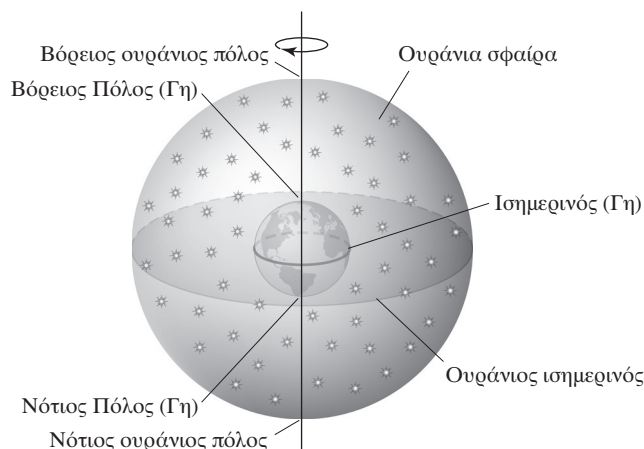
Ο άνθρωπος έστρεψε από νωρίς το βλέμμα του προς τον ουρανό και συλλογιζόταν σχετικά με τα μυστήρια που κρύβει. Ενδείξεις αυτής της προαιώνιας προσπάθειας κατανόησης των μυστικών του φαίνονται στα απομεινάρια διαφόρων πολιτισμών ανά τον κόσμο: το σπουδαίο μνημείο του Στόουνχεντζ στην Αγγλία, τα κτίσματα και οι γραφές των Μάγια και των Αζτέκων, καθώς και οι ιεροί κύκλοι (Medicine Wheels) των γηγενών Αμερικανών. Ωστόσο, η σύγχρονη επιστημονική προσέγγιση του σύμπαντος έχει τις ρίζες της στην αρχαία ελληνική παράδοση της φυσικής φιλοσοφίας. Ο Πυθαγόρας (περ. 550 π.Χ.) ήταν ο πρώτος που έδειξε τη θεμελιώδη σχέση μεταξύ αριθμών και φύσης μέσω της μελέτης των μουσικών διαστημάτων και της έρευνάς του επί της γεωμετρίας της ορθής γωνίας. Οι Έλληνες συνέχισαν τις μελέτες τους σχετικά με το σύμπαν για εκατοντάδες χρόνια χρησιμοποιώντας τη φυσική γλώσσα των μαθηματικών που εισήχθη από τον Πυθαγόρα. Ο σύγχρονος επιστημονικός κλάδος της αστρονομίας εξαρτάται σημαντικά από τον μαθηματικό φορμαλισμό των φυσικών του θεωριών, ακολουθώντας τη διαδικασία που ξεκίνησε από τους αρχαίους Έλληνες.

Σε μια αρχική εξέταση του νυχτερινού ουρανού, το πιο προφανές, πιθανώς, χαρακτηριστικό σε έναν προσεκτικό παρατηρητή είναι το γεγονός ότι αλλάζει συνεχώς. Όχι μόνο τα άστρα κινούνται συνεχώς από την ανατολή προς τη δύση κατά την πορεία της νύχτας, αλλά και, ανάλογα την εποχή, διαφορετικά άστρα είναι ορατά στον απογευματινό ουρανό. Φυσικά, η Σελήνη αλλάζει επίσης, τόσο ως προς τη θέση της στον ουρανό όσο και στη φάση της. Πιο δυσδιάκριτες και περίπλοκες είναι οι κινήσεις των πλανητών ή αλλιώς των «περιπλανώμενων άστρων».

Το Γεωκεντρικό Σύμπαν

Ο Πλάτωνας (περ. 350 π.Χ.) πρότεινε πως για να κατανοήσει κανείς τις κινήσεις στον ουρανό πρέπει πρώτα να ξεκινήσει με ένα σύνολο θεωρήσεων ή υποθέσεων με τις οποίες θα μπορεί να εργαστεί. Φαίνεται προφανές ότι τα άστρα στον νυχτερινό ουρανό περιστρέφονται γύρω από μια ακίνητη Γη και ότι κάθε τι στον ουρανό οφείλει να ακολουθεί την απλούστερη δυνατή κίνηση. Ο Πλάτωνας επομένως πρότεινε ότι τα ουράνια σώματα θα πρέπει να κινούνται γύρω από τη Γη με ομοιόμορφη (ή σταθερή) ταχύτητα και να ακολουθούν μια κυκλική κίνηση με τη Γη στο κέντρο αυτής της τροχιάς. Αυτή η ιδέα του **γεωκεντρικού σύμπαντος** ήταν μια φυσική συνέπεια της

φαινομενικά απaráλλακτης σχέσης των αστέρων μεταξύ τους σε δεδομένους αστερισμούς. Εάν τα άστρα ήταν απλώς προσκολλημένα σε μια **ουράνια σφαίρα**, η οποία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα που διέρχεται από τον Βόρειο και τον Νότιο Πόλο της Γης και τέμνει την ουράνια σφαίρα στον **βόρειο και νότιο ουράνιο πόλο** αντίστοιχα (Σχήμα 1.1), όλες οι γνωστές κινήσεις των άστρων θα μπορούσαν να εξηγηθούν.



Σχήμα 1.1

Η ουράνια σφαίρα. Η Γη απεικονίζεται στο κέντρο της ουράνιας σφαίρας.

Ανάδρομη Κίνηση

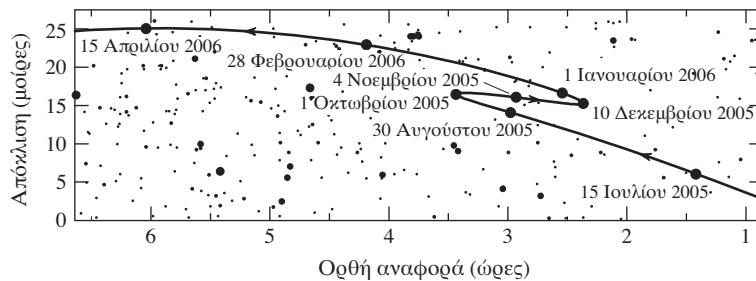
Τα περιπλανώμενα άστρα έθεσαν ένα κάπως πιο δύσκολο πρόβλημα. Πλανήτες, όπως ο Άρης, κινούνται αργά από τη δύση προς την ανατολή σε αντίθεση με τα ακίνητα άστρα του υποβάθρου και ύστερα αλλάζουν διεύθυνση μυστηριωδώς για κάποια χρονική περίοδο προτού συνεχίσουν την προηγούμενη τροχιά τους (Σχήμα 1.2). Η προσπάθεια εξήγησης αυτής της οπίσθιας ή **ανάδρομης τροχιάς** έγινε το βασικό πρόβλημα της αστρονομίας για περίπου 2000 χρόνια! Ο Εύδοξος ο Κνίδιος, μαθητής του Πλάτωνα και εξάισιος μαθηματικός, πρότεινε ότι κάθε ένα από τα περιπλανώμενα άστρα κατείχε τη δική του σφαίρα και ότι όλες οι σφαίρες ήταν συνδεδεμένες μέσω αξόνων προσανατολισμένων σε διαφορετικές γωνίες και περιστρεφόμενων με ποικίλες ταχύτητες. Αν και η θεωρία αυτή του σύνθετου συστήματος σφαιρών αρχικά ήταν οριακά επιτυχής στην εξήγηση της ανάδρομης κίνησης, οι προβλέψεις εμφάνισαν σημαντική απόκλιση από τις παρατηρήσεις όταν άρχισαν να λαμβάνονται περισσότερα δεδομένα.

Ο Ίππαρχος (περ. 150 π.Χ.), πιθανώς ο πιο αξιοσημείωτος από τους Έλληνες αστρονόμους, πρότεινε ένα σύστημα κύκλων για να εξηγήσει την ανάδρομη κίνηση. Τοποθετώντας έναν πλανήτη σε έναν μικρό, περιστρεφόμενο **επίκυκλο** ο οποίος με τη σειρά του κινούνταν σε έναν μεγαλύτερο **φέρων κύκλο**, κατάφερε να αναπαράγει τη συμπεριφορά των περιπλανώμενων αστέρων. Επιπρόσθετα, αυτό το σύστημα ήταν ικανό να εξηγήσει την αυξανόμενη λαμπρότητα των πλανητών κατά τις ανάδρομες φάσεις τους ως αποτέλεσμα των αλλαγών της απόστασής τους από τη Γη. Ο Ίππαρχος έφτιαξε επίσης τον πρώτο κατάλογο αστέρων, ανέπτυξε ένα σύστημα περιγραφής της λαμπρότητας των αστέρων που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα και συνεισέφερε στην ανάπτυξη της τριγωνομετρίας.

Κατά τη διάρκεια των επόμενων διακοσίων ετών, το μοντέλο της πλανητικής κίνησης που προτάθηκε από τον Ίππαρχο αποδείχθηκε με τη σειρά του όλο και λιγότερο ικανοποιητικό στην εξήγηση των λεπτομερειών των παρατηρήσεων. Ο Κλαύδιος Πτολεμαίος (περ. 100 μ.Χ.) εισήγαγε βελτιώσεις στο σύστημα του επίκυκλου κύκλου προσθέτοντας **εξισωτές** (Σχήμα 1.3), που είχαν ως αποτέλεσμα μια σταθερή γωνιακή ταχύτητα του επίκυκλου γύρω από τον φέρων κύκλο (η πο-

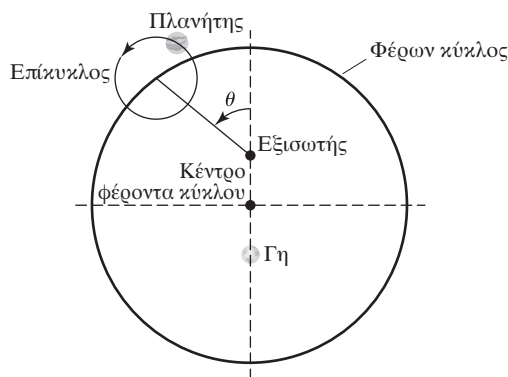
σότητα $d\theta/dt$ θεωρήθηκε σταθερή). Επίσης, έβγαλε τη Γη από το κέντρο του φέροντος κύκλου και επέτρεψε μάλιστα κάποια μικρή κίνηση στον ίδιο τον φέροντα κύκλο. Οι προβλέψεις του πτολεμαϊκού μοντέλου πράγματι συμφωνούσαν περισσότερο με τις παρατηρήσεις σε σύγκριση με οποιοδήποτε προηγουμένως θεωρηθέν σχέδιο, αλλά τα αρχικά φιλοσοφικά δόγματα του Πλάτωνα (ομοιόμορφη και κυκλική κίνηση) επλήγησαν σημαντικά.

Παρά τα προβλήματά του, το πτολεμαϊκό μοντέλο έγινε σχεδόν οικουμενικά αποδεκτό ως η ορθή εξήγηση της κίνησης των περιπλανώμενων αστερών. Όταν δημιουργούνταν κάποια διαφωνία μεταξύ του μοντέλου και των παρατηρήσεων, το μοντέλο τροποποιούνταν ελαφρώς με την προσθήκη ενός ακόμα κύκλου. Η διαδικασία αυτή της «διόρθωσης» της υπάρχουσας θεωρίας οδήγησε σε μια όλο και πιο περίπλοκη θεωρητική περιγραφή των παρατηρήσιμων φαινομένων.



Σχήμα 1.2

Η ανάδρομη κίνηση του Άρη το 2005. Η γενική μεγάλης διάρκειας κίνηση του πλανήτη είναι προς τα δυτικά σε σχέση με τα άστρα του υποβάθρου. Ωστόσο, μεταξύ της πρώτης Οκτωβρίου και της δεκάτης Δεκεμβρίου 2005, η κίνηση του πλανήτη παροδικά άλλαξε προς τα ανατολικά (ανάδρομη). (Φυσικά, η ημερήσια κίνηση του πλανήτη κατά μήκος του ουρανού είναι πάντα από την ανατολή προς τη δύση). Οι συντεταγμένες της ορθής αναφοράς και απόκλισης αναλύονται στη σ. 34 και στο Σχήμα 1.13. Ο Betelgeuse (Μπετελγκεζ), το λαμπερό αστέρι στον αστερισμό του Ωρίωνα, είναι ορατός στις $(\alpha, \delta) = (5^h 55^m, +7^\circ 24')$, ο Aldebaran (Αλντεμπαράν), στον αστερισμό του Ταύρου, έχει συντεταγμένες $(4^h 36^m, +16^\circ 31')$, και τα αστρικά συστήματα των Υάδων και των Πλειάδων (επίσης στον Ταύρο) είναι ορατά στις $(4^h 24^m, +15^\circ 45')$ και $(3^h 44^m, +23^\circ 58')$ αντίστοιχα.



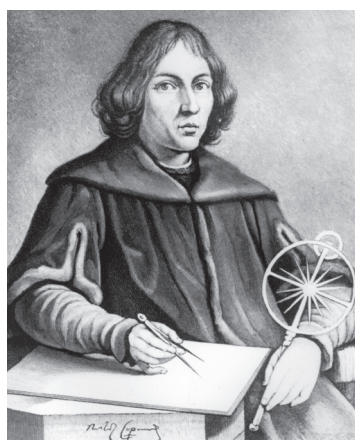
Σχήμα 1.3

Το πτολεμαϊκό μοντέλο της πλανητικής κίνησης.

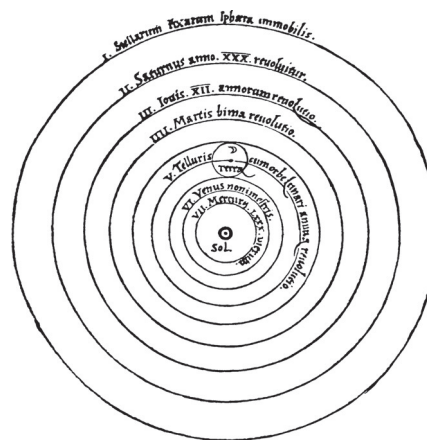
1.2 ■ Η Κοπερνίκεια Επανάσταση

Κατά τον δέκατο έκτο αιώνα η έμφυτη απλότητα του πτολεμαϊκού μοντέλου είχε πλέον χαθεί. Ο Πολωνός αστρονόμος Nicolaus Copernicus (Νικόλαος Κοπέρνικος, 1473-1543), επιδιώκοντας μια λιγότερο περίπλοκη και περισσότερο κομψή επιστημονική όψη του σύμπαντος, πρότεινε το

ηλιοκεντρικό σύστημα για την πλανητική κίνηση¹ (Σχήμα 1.4). Η τολμηρή πρότασή του οδήγησε αμέσως σε μια πολύ λιγότερο περίπλοκη περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των πλανητών και των άστρων. Φοβούμενος ισχυρή κριτική από την Καθολική Εκκλησία, της οποίας το δόγμα τότε δήλωνε ότι η Γη είναι το κέντρο του σύμπαντος, ο Copernicus ανέβαλε τη δημοσίευση των ιδεών του έως το τέλος της ζωής του. Το έργο του με τίτλο *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Επί της Περιστροφής της Ουράνιας Σφαιράς), πρωτοδημοσιεύτηκε το έτος του θανάτου του. Αντιμέτωποι με μια ρηξικέλευθη όψη του σύμπαντος, μαζί με τη θέση της Γης σε αυτό, ακόμα και κάποιοι υποστηρικτές του διατεινόταν ότι το ηλιοκεντρικό μοντέλο αντιπροσώπευε απλώς μια μαθηματική βελτίωση στον υπολογισμό των πλανητικών θέσεων και δεν αντικατόπτριζε στην πραγματικότητα τη γεωμετρία του σύμπαντος. Μάλιστα, ένας πρόλογος προς αυτή την κατεύθυνση προστέθηκε από τον Osiander (Οσιάντερ), τον ιερέα που έπαιξε τον ρόλο του εκδότη του βιβλίου.



(α)



(β)

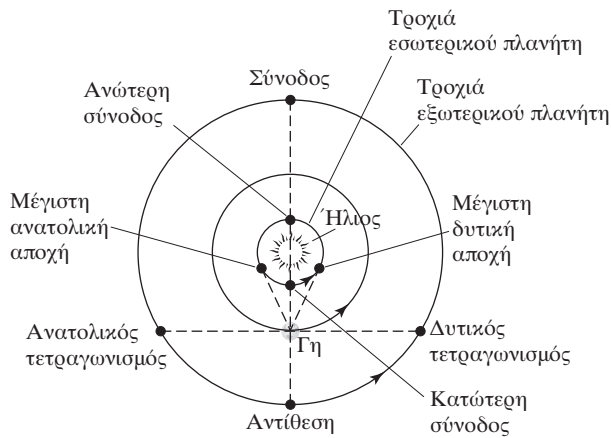
Σχήμα 1.4

(α) Nicolaus Copernicus (1473-1543). (β) Το κοπερνίκειο μοντέλο της πλανητικής κίνησης: οι πλανήτες κινούνται σε κύκλους με τον Ήλιο στο κέντρο της κίνησης [με την άδεια του Παρατηρητηρίου Yerkes (Γιέρκες)].

Φέρνοντας Τάξη στους Πλανήτες

Μια άμεση συνέπεια του κοπερνίκειου μοντέλου ήταν η δυνατότητα να εδραιωθεί η σειρά όλων των πλανητών από τον Ήλιο, μαζί με τις σχετικές αποστάσεις και τις περιόδους των τροχιών τους. Το γεγονός ότι ο Ερμής και η Αφροδίτη δεν φαίνονται ποτέ περισσότερο από 28° και 47° ανατολικά ή δυτικά του Ήλιου αντίστοιχα, εμφανώς θεμελιώνει το γεγονός ότι οι τροχιές τους βρίσκονται εντός της τροχιάς της Γης. Αυτοί οι πλανήτες αναφέρονται ως **εσωτερικοί πλανήτες** και οι μέγιστες γωνιακές αποστάσεις τους ανατολικά ή δυτικά του Ήλιου είναι γνωστές ως **μέγιστη ανατολική αποχή και μέγιστη δυτική αποχή** αντίστοιχα (βλ. Σχήμα 1.5). Ο Άρης, ο Δίας, ο Κρόνος (και οι περισσότεροι από τους πλανήτες που ήταν γνωστοί στον Copernicus) μπορούν να φανούν μέχρι και 180° από τον Ήλιο, μια ευθυγράμμιση που είναι γνωστή ως **αντίθεση**. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί αν αυτοί οι **εξωτερικοί πλανήτες** είχαν τροχιές έξω από εκείνη της Γης. Το κοπερνίκειο μοντέλο προβλέπει επίσης ότι μόνο οι εσωτερικοί πλανήτες μπορούν να περάσουν μπροστά από τον ηλιακό δίσκο (**κατώτερη σύνοδος**), όπως και παρατηρείται.

1. Για την ακρίβεια, ο Αρίσταρχος ο Σάμιος πρότεινε το ηλιοκεντρικό μοντέλο του Σύμπαντος το 280 π.Χ. Εκείνη την εποχή, ωστόσο, δεν υπήρχε καμία σαφής ένδειξη που να υπονοεί ότι η Γη η ίδια κινείται.

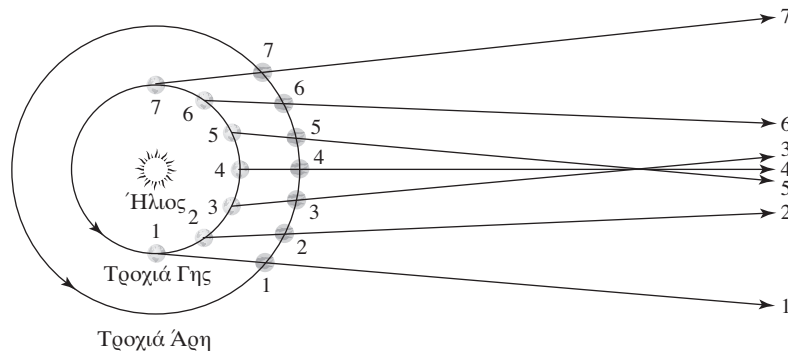


Σχήμα 1.5

Οι τροχιακές διαμορφώσεις των πλανητών.

Επανεξέταση της Ανάδρομης Κίνησης

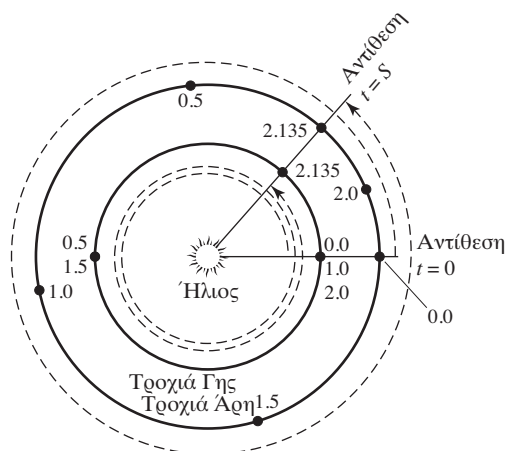
Το σπουδαίο και μακροχρόνιο πρόβλημα της αστρονομίας –η ανάδρομη κίνηση– μπορούσε εύκολα να εξηγηθεί μέσω του κοπερνίκειου μοντέλου. Θεωρήστε την περίπτωση ενός εξωτερικού πλανήτη όπως είναι ο Άρης. Υποθέτοντας, όπως έκανε ο Copernicus, ότι όσο πιο μακριά βρίσκεται ένας πλανήτης από τον Ήλιο τόσο πιο αργά κινείται στην τροχιά του, ο Άρης τότε θα υπερνικηθεί από μια Γη που κινείται ταχύτερα. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η φαινομενική θέση του Άρη να αλλάζει σε σχέση με τα σχεδόν σταθερά άστρα του υποβάθρου, με τον πλανήτη να κινείται φαινομενικά προς τα πίσω γύρω από την αντίθεση, όπου είναι όσο πιο κοντά γίνεται στη Γη και όσο πιο λαμπρός γίνεται (βλ. Σχήμα 1.6). Εφόσον οι τροχιές των πλανητών δεν είναι όλες στο ίδιο επίπεδο, θα εμφανίζονται και ανάδρομες τροχιές σε σχήμα βρόγχου. Η ίδια ανάλυση λειτουργεί εξίσου καλά για όλους τους άλλους πλανήτες, εξωτερικούς και εσωτερικούς.



Σχήμα 1.6

Η ανάδρομη κίνηση του Άρη όπως περιγράφεται από το κοπερνίκειο μοντέλο. Σημειώστε ότι οι γραμμές παρατήρησης από τη Γη στον Άρη τέμνονται στις θέσεις 3, 4 και 5. Αυτό το φαινόμενο, συνδυασμένο με τα ελαφρώς διαφορετικά επίπεδα των δύο τροχιών, οδηγεί στις ανάδρομες τροχιές κοντά στην αντίθεση. Θυμηθείτε την ανάδρομη (ή προς τα δυτικά) κίνηση του Άρη μεταξύ της πρώτης Οκτωβρίου 2005 και της δεκάτης Δεκεμβρίου 2005, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.2.

Οι σχετικές τροχιακές κινήσεις της Γης και των άλλων πλανητών σημαίνουν ότι το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών αντιθέσεων ή συνόδων μπορεί να διαφέρει σημαντικά από τον χρόνο που είναι απαραίτητος για να συμπληρωθεί μία ολόκληρη τροχιά σε σχέση με τα άστρα του υποβάθρου (Σχήμα 1.7). Το πρώτο χρονικό διάστημα (μεταξύ αντιθέσεων) είναι γνωστό ως **συνοδική**



Σχήμα 1.7

Η σχέση μεταξύ της αστρικής και της συνοδικής περιόδου του Άρη. Οι δύο περίοδοι δεν συμφωνούν λόγω της κίνησης της Γης. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τον χρόνο που περνά σε αστρικά χρόνια απ' όταν ο Άρης ήταν αρχικά στην αντίθεση. Σημειώστε ότι η Γη συμπληρώνει περισσότερες από δύο τροχιές σε μία συνοδική περίοδο $S = 2.135$ ετών, ενώ ο Άρης ολοκληρώνει λίγο παραπάνω από μία τροχιά κατά τη διάρκεια μιας συνοδικής περιόδου από αντίθεση σε αντίθεση.

περίοδος S και το δεύτερο χρονικό διάστημα (μετρούμενο συγκριτικά με τα άστρα του υποβάθρου) αναφέρεται ως **αστρική περίοδος** P . Αφήνεται σαν άσκηση ναδειχθεί ότι η σχέση μεταξύ των δύο περιόδων δίνεται από την εξίσωση

$$\frac{1}{S} = \begin{cases} 1/P - 1/P_{\oplus} & (\text{εσωτερικού}) \\ 1/P_{\oplus} - 1/P & (\text{εξωτερικού}) \end{cases} \quad (1.1)$$

όταν υποθεθούν απολύτως κυκλικές τροχιές και σταθερές ταχύτητες: P_{\oplus} είναι η αστρική περίοδος της τροχιάς της Γης (365.256308 ημέρες).

Αν και το κοπερνίκειο μοντέλο πράγματι αντιπροσώπευε ένα απλούστερο και πιο κομψό μοντέλο για την πλανητική κίνηση, δεν ήταν επιτυχές στην πρόβλεψη των θέσεων με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με το πτολεμαϊκό μοντέλο. Αυτή η απουσία βελτίωσης οφειλόταν στην αδυναμία του Copernicus να εγκαταλείψει την 2000 ετών πεποίθηση ότι η πλανητική κίνηση απαιτεί κύκλους, μια ανθρώπινη αντίληψη περί τελειότητας. Κατά συνέπεια, ο Copernicus αναγκάστηκε (όπως και οι Έλληνες) να εισαγάγει την ιδέα των επίκυκλων για να «διορθώσει» το μοντέλο του.

Πιθανότατα η επιτομή της επιστημονικής επανάστασης ήταν αυτό που ξεκίνησε με τον Copernicus. Αυτό που νομίζουμε σήμερα ως την προφανή λύση στο πρόβλημα της πλανητικής κίνησης – ένα ηλιοκεντρικό σύμπαν – είχε θεωρηθεί ως μια πολύ περίεργη έως και επαναστατική αντίληψη σε μια περίοδο μεγάλων αναταραχών, όταν ο Κολόμβος είχε πρόσφατα πλεύσει στον Νέο Κόσμο και ο Μαρτίνος Λούθηρος είχε προτείνει ριζικές αναθεωρήσεις στον Χριστιανισμό. Ο Thomas Khun (Τόμας Κουν) είχε προτείνει ότι μια καθιερωμένη επιστημονική θεωρία είναι κάτι πολύ περισσότερο από ένα σύστημα για να καθοδηγεί τη μελέτη των φυσικών φαινομένων. Το παρόν **παράδειγμα** (ή επικρατέστερη επιστημονική θεωρία) είναι στην πραγματικότητα ένας τρόπος να βλέπει κανείς το σύμπαν γύρω μας. Κάνουμε ερωτήσεις, θέτουμε νέα ερευνητικά προβλήματα και ερμηνεύουμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων και των παρατηρήσεων στο πλαίσιο ενός συγκεκριμένου παραδείγματος. Το να προτείνει κανείς ότι η Γη στην πραγματικότητα περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο, εν αντιθέσει με την πεποίθηση ότι ο Ήλιος αδιαμφισβήτητα ανατέλλει και δύει γύρω από μια ακίνητη Γη, σημαίνει ότι επιχειρηματολογεί υπέρ μιας αλλαγής στην ίδια τη δομή του σύμπαντος, μια δομή που θεωρούνταν ορθή και αδιαμφισβήτητη για περίπου 2000 χρόνια. Μόνο όταν η πολυπλοκότητα του πτολεμαϊκού μοντέλου έγινε διαχειριστικά αδύνατη, μπόρεσε το ακαδημαϊκό περιβάλλον να φτάσει στο σημείο όπου η ιδέα ενός ηλιοκεντρικού σύμπαντος καταστεί εφικτή.

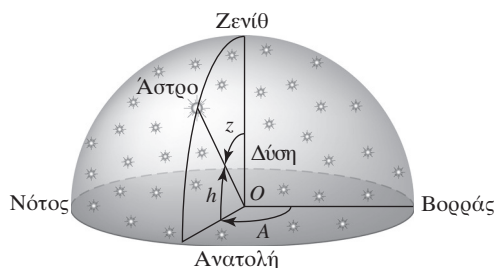
1.3 ■ Θέσεις επί της Ουράνιας Σφαίρας

Η κοπερνίκεια επανάσταση μας έδειξε ότι η ιδέα ενός γεωκεντρικού σύμπαντος είναι λανθασμένη. Παρ' όλα αυτά, με την εξαίρεση ενός μικρού αριθμού πλανητικών ερευνών, οι ουράνιες παρατηρήσεις μας ακόμα βασίζονται σε ένα σύστημα αναφοράς με κέντρο τη Γη. Η καθημερινή (ή **ημερήσια**) περιστροφή της Γης, σε συνδυασμό με την ετήσια κίνησή της γύρω από τον Ήλιο καθώς και την αργή ταλάντευση του άξονα περιστροφής της, μαζί με τις σχετικές κινήσεις άστρων, πλανητών και άλλων αντικειμένων, έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχώς μεταβαλλόμενη θέση των ουράνιων αντικειμένων. Προκειμένου να καταγραφούν οι θέσεις αντικειμένων όπως το υπόλειμμα του υπερκαινοφανούς του Καρκίνου στον Ταύρο ή ο μεγάλος σπειροειδής γαλαξίας της Ανδρομέδας, πρέπει να καθοριστούν συντεταγμένες. Επιπλέον, το σύστημα συντεταγμένων δεν θα πρέπει να είναι ευαίσθητο στις βραχυχρόνιες εκδηλώσεις των κινήσεων της Γης· ειδικά οι καθορισμένες συντεταγμένες θα αλλάζουν συνεχώς.

Το Σύστημα Συντεταγμένων Ύψους–Αζιμουθίου (Τοπικές ή Οριζόντιες Συντεταγμένες)

Η θέαση αντικειμένων στον νυχτερινό ουρανό απαιτεί μόνο τις κατευθύνσεις προς αυτά, όχι τις αποστάσεις τους. Μπορούμε να φανταστούμε ότι όλα τα αντικείμενα βρίσκονται σε μία ουράνια σφαίρα, ακριβώς όπως πίστευαν οι αρχαίοι Έλληνες. Τότε καθίσταται αρκετός ο προσδιορισμός μόνο δύο συντεταγμένων. Το πιο άμεσο σύστημα συντεταγμένων που μπορεί να επινοήσει κανείς βασίζεται στον τοπικό ορίζοντα του παρατηρητή. Το **σύστημα συντεταγμένων ύψους–αζιμουθίου** (ή τοπικό ή οριζόντιο) βασίζεται στη μέτρηση της αζιμουθιακής γωνίας κατά μήκος του ορίζοντα μαζί με τη γωνία ύψους πάνω από τον ορίζοντα (Σχήμα 1.8). Το ύψος h ορίζεται ως η γωνία που μετριέται από τον ορίζοντα έως το αντικείμενο κατά μήκος ενός μέγιστου κύκλου² της σφαίρας, ο οποίος διέρχεται από αυτό το αντικείμενο και το σημείο επί της ουράνιας σφαίρας ακριβώς πάνω από τον παρατηρητή, που είναι γνωστό ως το **ζενίθ**. Ισοδύναμα, η **ζενίθια απόσταση** z είναι η γωνία που μετριέται από το ζενίθ έως το αντικείμενο, έτσι ώστε $z + h = 90^\circ$. Το **αζιμούθιο** A είναι απλώς η γωνία που μετριέται κατά μήκος του ορίζοντα προς τα ανατολικά από τον βορρά³ ως τον μέγιστο κύκλο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ύψους. (Ο **μεσημβρινός** είναι ένας άλλος συχνά χρησιμοποιούμενος μέγιστος κύκλος· ορίζεται ως εκείνος που διέρχεται από το ζενίθ του παρατηρητή και τέμνει τον ορίζοντα ακριβώς βόρεια και νότια.)

Αν και απλό στον ορισμό, το σύστημα συντεταγμένων ύψους–αζιμουθίου είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί στην πράξη. Οι συντεταγμένες των ουράνιων αντικειμένων σε αυτό το σύστημα εξαρτώνται από το τοπικό γεωγραφικό πλάτος και μήκος του παρατηρητή και είναι δύσκολο να



Σχήμα 1.8

Το σύστημα συντεταγμένων ύψους–αζιμουθίου· h , z και A είναι το ύψος, η ζενίθια απόσταση και το αζιμούθιο αντίστοιχα.

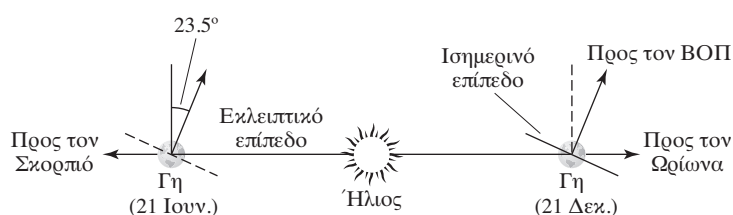
2. Ένας μέγιστος κύκλος είναι η καμπύλη που προκύπτει από την τομή μίας σφαίρας και ενός επιπέδου που διέρχεται από το κέντρο.

3. Στην ελληνική βιβλιογραφία για την αστρονομία είναι σύνηθες η μέτρηση του αζιμούθιου να ξεκινά από τον Νότο αντί για τον Βορρά (π.χ. η Αστρονομία των Βάρβογλη & Σειραδάκη, η Παρατηρησιακή Αστρονομία του Αυγολούπη, σημειώσεις μαθημάτων ΕΚΠΑ κλπ.) (Σ.τ.Ε.).

τις μετατρέψει κανείς στις αντίστοιχες για άλλες τοποθεσίες πάνω στη Γη. Επίσης, εφόσον η Γη περιστρέφεται, τα άστρα φαίνεται να κινούνται συνεχώς από τη μία πλευρά του ουρανού στην άλλη, πράγμα που σημαίνει ότι οι συντεταγμένες κάθε αντικειμένου αλλάζουν συνεχώς ακόμα και για τον τοπικό παρατηρητή. Περιπλέκοντας το πρόβλημα ακόμα περισσότερο, τα άστρα ανατέλλουν περίπου 4 λεπτά νωρίτερα κάθε επόμενη νύχτα, έτσι ώστε όταν παρατηρούνται από την ίδια τοποθεσία σε μια συγκεκριμένη ώρα οι συντεταγμένες τους αλλάζουν από μέρα σε μέρα.

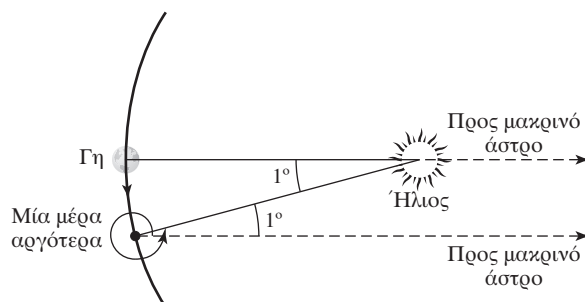
Ημερήσιες και Εποχικές Αλλαγές στον Ουρανό

Προκειμένου να κατανοήσουμε τις μέρα με την ημέρα αλλαγές στις συντεταγμένες ύψους–αζιμουθίου, πρέπει να αναλογιστούμε την τροχιακή κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο (βλ. Σχήμα 1.9). Καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο, η εικόνα μας των μακρινών άστρων αλλάζει διαρκώς. Η γραμμή παρατήρησής μας προς τον Ήλιο σαρώνει τους αστερισμούς κατά τη διάρκεια των εποχών· αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βλέπουμε φαινομενικά τον Ήλιο να διέρχεται από αυτούς τους αστερισμούς κατά μήκος μιας τροχιάς που αναφέρεται ως **εκλειπτική**. Κατά τη διάρκεια της αρχής της άνοιξης ο Ήλιος βρίσκεται στον αστερισμό του Ιχθύ, κατά την αρχή του καλοκαιριού στον Ταύρο, στην αρχή του φθινοπώρου στην Παρθένο και στην αρχή του χειμώνα στον Τοξότη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αυτοί οι αστερισμοί να γίνονται δυσδιάκριτοι λόγω της λάμψης του ηλιακού φωτός και άλλοι αστερισμοί να εμφανίζονται στον νυχτερινό μας ουρανό. Αυτή η εποχική αλλαγή στους αστερισμούς είναι άμεσα σχετιζόμενη με το γεγονός ότι ένα δεδομένο άστρο ανατέλλει περίπου 4 λεπτά νωρίτερα κάθε μέρα. Εφόσον η Γη ολοκληρώνει μία αστρική περίοδο σε περίπου 365.26 μέρες, κινείται λίγο λιγότερο από 1° γύρω από την τροχιά της σε 24 ώρες. Επομένως, η Γη πρέπει στην πραγματικότητα να περιστραφεί σχεδόν 361° προκειμένου να φέρει τον Ήλιο στον ίδιο μεσημβρινό σε δύο συνεχόμενες ημέρες (Σχήμα 1.10). Λόγω των πολύ



Σχήμα 1.9

Το επίπεδο της τροχιάς της Γης σε προβολή ακμής. Φαίνεται επίσης η κλίση του άξονα περιστροφής της Γης σε σχέση με την εκλειπτική.

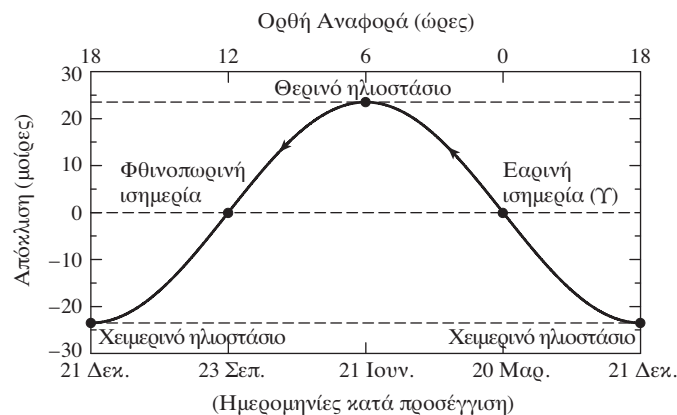


Σχήμα 1.10

Η Γη πρέπει να περιστραφεί 361° ανά ηλιακή ημέρα και μόνο 360° ανά αστρική ημέρα.

μεγαλύτερων αποστάσεων των άστρων, αυτά δεν αλλάζουν τις θέσεις τους σημαντικά καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο. Αυτό έχει ως συνέπεια η τοποθέτηση ενός άστρου στον ίδιο μεσημβρινό σε διαδοχικές νύχτες να απαιτεί περιστροφή μόνο 360° . Η Γη χρειάζεται περίπου 4 λεπτά για να περιστραφεί κατά αυτή την επιπλέον 1° . Επομένως, ένα άστρο ανατέλλει 4 λεπτά νωρίτερα κάθε νύχτα. Ως **ηλιακός χρόνος** ορίζεται το μέσο διάστημα των 24 ωρών μεταξύ περασμάτων του Ήλιου από τον εκάστοτε μεσημβρινό και ο **αστρικός χρόνος** βασίζεται στα διαδοχικά περάσματα από τον αντίστοιχο μεσημβρινό ενός άστρου.

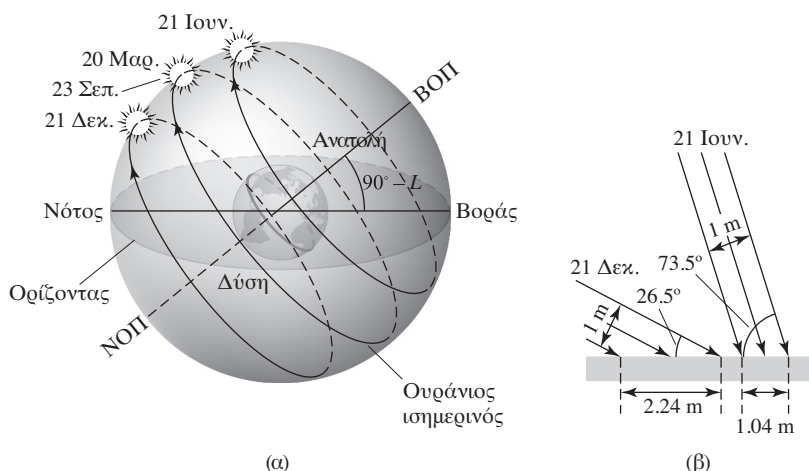
Οι εποχικές αλλαγές στο κλίμα οφείλονται επίσης στην τροχιακή κίνηση της Γης, συνδυασμένης με την περίπου 23.5° κλίση του άξονα περιστροφής της ως προς το επίπεδο της τροχιάς της. Ως αποτέλεσμα αυτής της κλίσης, η εκλειπτική κινείται βόρεια και νότια από τον **ουράνιο ισημερινό** (Σχήμα 1.11), ο οποίος ορίζεται από το πέρασμα ενός επιπέδου διαμέσου της Γης στον Ισημερινό της και εκτείνοντας αυτό το επίπεδο έξω ως την ουράνια σφαίρα. Το ημιτονοειδές σχήμα της εκλειπτικής οφείλεται στο ότι το βόρειο ημισφαίριο πότε κοιτάει προς και πότε μακριά από τον Ήλιο κατά την ετήσια κίνηση της Γης. Δύο φορές τον χρόνο ο Ήλιος διασχίζει τον ουράνιο Ισημερινό, μία φορά κινούμενος προς τον Βορρά κατά μήκος της εκλειπτικής και αργότερα κινούμενος προς τον Νότο. Στην πρώτη περίπτωση, το σημείο τομής ονομάζεται **εαρινή ισημερία** και το νότιο πέρασμα συμβαίνει στη **φθινοπωρινή ισημερία**. Η άνοιξη αρχίζει επισήμως όταν το κέντρο του Ήλιου είναι ακριβώς πάνω στην εαρινή ισημερία· αντίστοιχα, το φθινόπωρο αρχίζει όταν το κέντρο του Ήλιου διέρχεται από τη φθινοπωρινή ισημερία. Το βορειότερο σημείο στο οποίο φτάνει ο Ήλιος κατά μήκος της εκλειπτικής συμβαίνει κατά το **θερινό ηλιοστάσιο**, αντιπροσωπεύοντας την επίσημη αρχή του καλοκαιριού, και η νοτιότερη θέση του Ήλιου ορίζεται ως το **χειμερινό ηλιοστάσιο**.



Σχήμα 1.11

Η εκλειπτική είναι η ετήσια τροχιά του Ήλιου κατά μήκος της ουράνιας σφαίρας και είναι ημιτονοειδής γύρω από τον ουράνιο ισημερινό. Το θερινό ηλιοστάσιο είναι σε απόκλιση 23.5° και το χειμερινό ηλιοστάσιο σε απόκλιση -23.5° . Βλ. Σχήμα 1.13 για επεξηγήσεις της ορθής αναφοράς και απόκλισης.

Οι εποχικές μεταβολές στον καιρό οφείλονται στη θέση του Ήλιου σε σχέση με τον ουράνιο Ισημερινό. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες στο Βόρειο Ημισφαίριο, η βόρεια απόκλιση του Ήλιου τον κάνει να φαίνεται ψηλότερα στον ουρανό προκαλώντας μεγαλύτερες μέρες και πιο έντονο ηλιακό φως. Κατά τους χειμερινούς μήνες η απόκλιση του Ήλιου είναι κάτω από τον ουράνιο ισημερινό, η τροχιά του πάνω από τον ορίζοντα είναι βραχύτερη και οι ακτίνες του είναι λιγότερο έντονες (βλ. Σχήμα 1.12). Όσο πιο άμεσες είναι οι ακτίνες του Ήλιου, τόσο περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας χτυπάει την επιφάνεια της Γης και τόσο υψηλότερη είναι η επιφανειακή της θερμοκρασία.

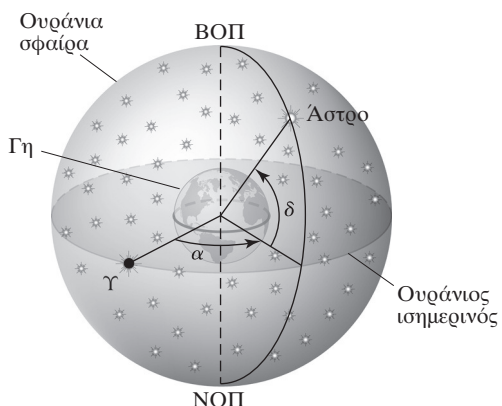


Σχήμα 1.12

(α) Η ημερήσια τροχιά του Ήλιου κατά μήκος της ουράνιας σφαίρας για έναν παρατηρητή σε γεωγραφικό πλάτος L όταν ο Ήλιος βρίσκεται στην εαρινή ισημερία (Μάρτιος), στο θερινό ηλιοστάσιο (Ιούνιος), στη φθινοπωρινή ισημερία (Σεπτέμβριος) και στο χειμερινό ηλιοστάσιο (Δεκέμβριος). Οι συντομογραφίες ΒΟΠ και ΝΟΠ καθορίζουν τον Βόρειο και Νότιο ουράνιο πόλο αντίστοιχα. Οι κουκκίδες αντιπροσωπεύουν την τοποθεσία του Ήλιου το τοπικό μεσημέρι κατά τις ημερομηνίες που αναφέρονται περίπου. (β) Η κατεύθυνση των ηλιακών ακτίνων το μεσημέρι κατά το θερινό ηλιοστάσιο (περίπου στις 21 Ιουνίου) και κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (περίπου στις 21 Δεκεμβρίου) για έναν παρατηρητή στις 40° Β γεωγραφικού πλάτους.

Το Ισημερινό Σύστημα Συντεταγμένων⁴

Ένα σύστημα συντεταγμένων το οποίο δίνει σχεδόν σταθερές τιμές για τις θέσεις των ουράνιων αντικειμένων, παρά τις περιπλοκότητες των ημερήσιων και ετήσιων κινήσεων, είναι αναγκαστικά λιγότερο σαφές από το σύστημα ύψους–αζιμουθίου. Το **ισημερινό σύστημα συντεταγμένων** (βλ. Σχήμα 1.13) βασίζεται στο σύστημα γεωγραφικού μήκους–πλάτους της Γης χωρίς όμως να περιστρέφεται μαζί της. Η **απόκλιση** (declination) δ είναι το ισοδύναμο του γεωγραφικού πλάτους και μετρείται σε μοίρες βόρεια ή νότια του ουράνιου ισημερινού. Η **ορθή αναφορά** (right ascension) α είναι ανάλογη με το γεωγραφικό μήκος και μετρείται προς την ανατολή κατά μήκος του ουράνιου



Σχήμα 1.13

Το ισημερινό σύστημα συντεταγμένων. Οι μεταβλητές α , δ και Υ ορίζουν την ορθή αναφορά, την απόκλιση και τη θέση της εαρινής ισημερίας αντίστοιχα.

4. Σύμφωνα με την ελληνική βιβλιογραφία, αυτό που περιγράφει η ενότητα είναι οι ουρανογραφικές συντεταγμένες. Οι ισημερινές ορίζουν, αντί της ορθής αναφοράς, την ωριαία γωνία H που τη μετράμε από την τομή του μεσημβρινού του τόπου με τον ουράνιο ισημερινό στη θέση προς το Νότο μέχρι τον ωριαίο κύκλο του άστρου. (Σ.τ.Ε.)

ισημερινού από την εαρινή ισημερία (Υ) ως την τομή του με τον **ωριαίο κύκλο** (hour circle, ο μέγιστος κύκλος που διέρχεται από το εν λόγω αντικείμενο και διαμέσου του βόρειου ουράνιου πόλου). Η ορθή αναφορά μετριέται παραδοσιακά σε ώρες, λεπτά και δευτερόλεπτα: 24 ώρες ορθής αναφοράς είναι ισοδύναμες με 360° , ή $1 \text{ ώρα} = 15^\circ$. Η λογική πίσω από αυτή τη μονάδα μέτρησης βασίζεται στο ότι απαιτούνται 24 ώρες (αστρικός χρόνος) προκειμένου ένα αντικείμενο να διασχίσει δύο διαδοχικές φορές τον τοπικό μεσημβρινό του παρατηρητή. Οι συντεταγμένες της ορθής αναφοράς και της απόκλισης σημειώνονται επίσης στα Σχήματα 1.2 και 1.11. Εφόσον το ισημερινό σύστημα αναφοράς βασίζεται στον ουράνιο ισημερινό και στην εαρινή ισημερία, αλλαγές στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος του παρατηρητή δεν αλλάζουν τις τιμές της ορθής αναφοράς και της απόκλισης. Οι τιμές των α και δ αντιστοίχως δεν επηρεάζονται από την ετήσια κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο.

Ο **τοπικός αστρικός χρόνος** του παρατηρητή ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που πέρασε από την πιο πρόσφατη διέλευση του σημείου της εαρινής ισημερίας από τον μεσημβρινό του τόπου. Ο τοπικός αστρικός χρόνος είναι επίσης ισοδύναμος με την **ωριαία γωνία H** του σημείου της εαρινής ισημερίας, όπου η ωριαία γωνία ορίζεται ως η γωνία μεταξύ ενός ουράνιου αντικειμένου και του μεσημβρινού του παρατηρητή μετρημένη στη διεύθυνση της κίνησης του αντικειμένου γύρω από την ουράνια σφαίρα.

Μετάπτωση

Παρά το γεγονός ότι το ισημερινό σύστημα συντεταγμένων έχει ως σημεία αναφοράς τον ουράνιο ισημερινό και την τομή του με την εκλειπτική (στην εαρινή ισημερία), η **μετάπτωση** έχει ως αποτέλεσμα η ορθή αναφορά και η απόκλιση των ουράνιων αντικειμένων να αλλάζουν, αν και πολύ αργά. Η μετάπτωση είναι η μικρή ταλάντευση του άξονα περιστροφής της Γης λόγω του μη σφαιρικού σχήματος του πλανήτη μας και της βαρυτικής αλληλεπίδρασής του με τον Ήλιο και τη Σελήνη. Ο Ίππαρχος ήταν ο πρώτος ο οποίος παρατήρησε τις συνέπειες της μετάπτωσης. Αν και δεν θα περιγράψουμε με λεπτομέρεια τη φυσική αιτία του φαινομένου αυτού, είναι ακριβώς ανάλογο με τη γνωστή μετάπτωση μιας παιδικής σβούρας. Η περίοδος μετάπτωσης της Γης είναι 25,770 χρόνια και έχει ως αποτέλεσμα ο βόρειος ουράνιος πόλος να κάνει έναν αργό κύκλο στον ουρανό. Αν και ο Πολικός Αστéρας (το Βόρειο Άστρο) είναι επί του παρόντος εντός 1° από τον βόρειο ουράνιο πόλο, σε 13,000 χρόνια θα είναι σχεδόν 47° μακριά από αυτό το σημείο. Η μετάπτωση προκαλεί επίσης μια κίνηση κατά $50.26'' \text{ yr}^{-1}$ του σημείου της εαρινής ισημερίας προς τη δύση κατά μήκος της εκλειπτικής.⁵ Μια επιπρόσθετη μετάπτωση λόγω της βαρυτικής αλληλεπίδρασης Γης–πλανητών έχει ως αποτέλεσμα μια κίνηση κατά $0.12'' \text{ yr}^{-1}$ του σημείου της εαρινής ισημερίας προς την ανατολή.

Καθώς η μετάπτωση αλλάζει τη θέση της εαρινής ισημερίας επί της εκλειπτικής, είναι απαραίτητο να αναφέρεται κανείς σε μία συγκεκριμένη **εποχή** (ή ημερομηνία αναφοράς) όταν καταγράφει την ορθή αναφορά και την απόκλιση ενός ουράνιου αντικειμένου. Οι σημερινές τιμές των α και δ μπορούν έπειτα να υπολογιστούν βάσει του χρόνου που πέρασε από εκείνη την εποχή αναφοράς. Η εποχή που κατά κανόνα χρησιμοποιείται σήμερα για τους αστρονομικούς καταλόγους αστέρων, γαλαξιών και άλλων ουράνιων φαινομένων κάνει αναφορά στη θέση του αντικειμένου κατά το μεσημέρι στο Greenwich της Αγγλίας (Γκρίνουιτς) (**Παγκόσμια Ώρα – Universal Time, UT**) την πρώτη Ιανουαρίου του 2000.⁶ Ένας κατάλογος που χρησιμοποιεί αυτή την ημερομηνία

5. $1 \text{ arcminute} = 1' = 1/60 \text{ μοίρες}$; $1 \text{ arcsecond} = 1'' = 1/60 \text{ arcminute}$.

6. Η παγκόσμια ώρα ορισμένες φορές ονομάζεται και **μέση ώρα Γκρίνουιτς**. Από τεχνική άποψη, υπάρχουν δύο μορφές παγκόσμιας ώρας: Η UT1 βασίζεται στον ρυθμό περιστροφής της Γης και η UTC (συντονισμένη παγκόσμια ώρα) είναι η βάση του παγκόσμιου συστήματος αστικής ώρας και μετριέται από ατομικά ρολόγια. Καθώς ο ρυθμός περιστροφής της Γης είναι λιγότερο ομαλός σε σχέση με τον χρόνο που μετρούν τα ατομικά ρολόγια, είναι αναγκαίο να προσαρμόζονται τα UTC ρολόγια κατά περίπου ένα δευτερόλεπτο (εμβόλιμο δευτερόλεπτο) περίπου κάθε έναν με ενάμιση χρόνο. Μεταξύ άλλων φαινομένων που συνεισφέρουν στη διαφορά των UT1 και UTC είναι η επιβράδυνση του ρυθμού περιστροφής της Γης λόγω παλιρροϊκών φαινομένων.

αναφοράς ορίζεται ως J2000.0. Το πρόθεμα J στον ορισμό J2000.0 αναφέρεται στο **Ιουλιανό ημερολόγιο**, το οποίο εισήχθη από τον Ιούλιο Καίσαρα το 46 π.Χ.

Προσεγγιστικές εκφράσεις για τις μεταβολές των συντεταγμένων σε σχέση με τον κατάλογο J2000.0 είναι οι

$$\Delta\alpha = M + N \sin \alpha \tan \delta \quad (1.2)$$

$$\Delta\delta = N \cos \alpha \quad (1.3)$$

όπου οι αριθμοί M και N δίνονται από τις

$$M = 1^\circ.2812323T + 0^\circ.0003879T^2 + 0^\circ.0000101T^3$$

$$N = 0^\circ.5567530T - 0^\circ.0001185T^2 - 0^\circ.0000116T^3$$

και ως T ορίζεται

$$T = (t - 2000.0)/100$$

όπου t είναι η τρέχουσα ημερομηνία, εκφρασμένη ως δεκαδικό κλάσμα του έτους.

Παράδειγμα 1.3.1.

Ο Altair (Αλτάιρ), το λαμπρότερο άστρο στον θερινό αστερισμό του Αετού, έχει τις ακόλουθες J2000.0 συντεταγμένες: $\alpha = 19^{\text{h}} 50^{\text{m}} 47.0^{\text{s}}$, $\delta = +08^\circ 52' 06.0''$. Χρησιμοποιώντας τις Εξισώσεις (1.2) και (1.3) μπορούμε να μεταπίπτουμε τις συντεταγμένες του αστέρα στο μεσημέρι σε ώρα Γκρίνουιτς στις 30 Ιουλίου του 2005.

Γράφοντας την ημερομηνία ως $t = 2005.575$, έχουμε ότι $T = 0.05575$. Αυτό υπονοεί ότι $M = 0.071430^\circ$ και $N = 0.031039^\circ$. Από τις σχέσεις μεταξύ ώρας και γωνιακής μέτρησης της ορθής αναφοράς

$$1^{\text{h}} = 15^\circ$$

$$1^{\text{m}} = 15'$$

$$1^{\text{s}} = 15''$$

οι διορθώσεις των συντεταγμένων είναι

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= 0.071430^\circ + (0.031039^\circ) \sin 297.696^\circ \tan 8.86833^\circ \\ &= 0.067142^\circ \simeq 16.11^{\text{s}} \end{aligned}$$

και

$$\begin{aligned} \Delta\delta &= (0.031039^\circ) \cos 297.696^\circ \\ &= 0.0144266^\circ \simeq 51.93'' \end{aligned}$$

Επομένως, οι μεταπίπτουσες συντεταγμένες του Altair είναι $\alpha = 19^{\text{h}} 51^{\text{m}} 03.1^{\text{s}}$ και $\delta = +08^\circ 52' 57.9''$.

Μετρήσεις Χρόνου

Το πολιτικό ημερολόγιο που χρησιμοποιείται ευρέως στις περισσότερες χώρες σήμερα είναι το **Γρηγοριανό ημερολόγιο**. Το Γρηγοριανό ημερολόγιο, το οποίο εισήχθη από τον Πάπα Γρηγόριο XIII το 1582, ορίζει προσεκτικά τα έτη που πρόκειται να θεωρηθούν δίσεκτα. Αν και τα δίσεκτα

έτη είναι χρήσιμα για πολλούς λόγους, οι αστρονόμοι γενικά ενδιαφέρονται για τον αριθμό ημερών (ή δευτερολέπτων) μεταξύ γεγονότων χωρίς να ανησυχούν για τις πολυπλοκότητες των δίσεκτων ετών. Κατά συνέπεια, οι αστρονόμοι τυπικά αναφέρονται στους χρόνους όπου γίνονται παρατηρήσεις με όρους χρόνου διέλευσης έπειτα από κάποιο χρονικό σημείο που ορίζεται ως μηδέν. Ο χρόνος που χρησιμοποιείται παγκοσμίως είναι η πρώτη Ιανουαρίου 4713 π.Χ., όπως ορίζεται από το Ιουλιανό ημερολόγιο. Αυτός ο χρόνος ορίζεται ως JD 0.0, όπου το JD υποδηλώνει την **Ιουλιανή Ημερομηνία–Julian Date**.⁷ Η Ιουλιανή ημερομηνία του J2000.0 είναι η JD 2451545.0. Χρόνοι διαφορετικοί από το μεσημέρι της παγκόσμιας ώρας καθορίζονται ως κλάσματα της ημέρας: για παράδειγμα, η 6 μ.μ. της πρώτης Ιανουαρίου του 2000 UT θα οριζόταν ως JD 2451545.25. Αναφερόμενη σε Ιουλιανή ημερομηνία, η παράμετρος T που ορίστηκε στην Εξίσωση (1.4) μπορεί επίσης να γραφεί ως

$$T = (JD - 2451545.0)/36525,$$

όπου η σταθερά 36,525 προέρχεται από το **Ιουλιανό έτος**, το οποίο ορίζεται ως ακριβώς 365.25 ημέρες.

Ένας άλλος συχνά χρησιμοποιούμενος ορισμός είναι η **Τροποποιημένη Ιουλιανή Ημερομηνία (Modified Julian Date – MJD)**, που ορίζεται ως $MJD \equiv JD - 2400000.5$, όπου JD αναφέρεται στην Ιουλιανή ημερομηνία. Επομένως, μία MJD ημέρα αρχίζει τα μεσάνυχτα, σε παγκόσμια ώρα, παρά το μεσημέρι.

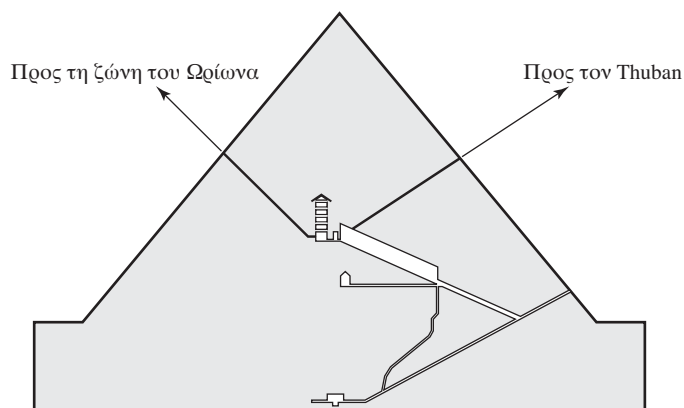
Καθώς υπάρχει η ανάγκη για μέτρηση γεγονότων με πολύ μεγάλη ακρίβεια στην Αστρονομία, χρησιμοποιούνται αρκετές μετρήσεις υψηλής χρονικής ακρίβειας. Για παράδειγμα, η **Ηλιοκεντρική Ιουλιανή Ημερομηνία (Heliocentric Julian Date – HJD)** είναι η Ιουλιανή Ημερομηνία ενός γεγονότος όπως μετριέται από το κέντρο του Ήλιου. Προκειμένου να καθοριστεί η ηλιοκεντρική Ιουλιανή ημερομηνία, οι αστρονόμοι λαμβάνουν υπόψιν τους τον χρόνο που θα έπαιρνε στο φως να ταξιδέψει από ένα ουράνιο αντικείμενο ως το κέντρο του Ήλιου παρά ως τη Γη. **Γήινος Χρόνος (Terrestrial Time – TT)** είναι ο χρόνος που μετριέται στην επιφάνεια της Γης, λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις της ειδικής και της γενικής σχετικότητας καθώς η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο και περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της (για περισσότερα πάνω στη γενική σχετικότητα δείτε την Ενότητα 12.1).

Αρχαιοαστρονομία

Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή όσων συζητήθηκαν παραπάνω συναντάται στο διεπιστημονικό πεδίο της **αρχαιοαστρονομίας**, που συνδυάζει αρχαιολογία και αστρονομία. Η αρχαιοαστρονομία είναι ένας τομέας μελέτης ο οποίος εξαρτάται σημαντικά από τις ιστορικές προσαρμογές που πρέπει να γίνουν στις θέσεις των αντικειμένων στον ουρανό λόγω της μετάπτωσης. Στόχος της αρχαιοαστρονομίας είναι η μελέτη της αστρονομίας των αρχαίων πολιτισμών, η διερεύνηση της οποίας εξαρτάται σημαντικά από τις ευθυγραμμίσεις των αρχαίων οικοδομημάτων με τα ουράνια σώματα. Λόγω της έλευσης μεγάλων χρονικών διαστημάτων από την κατασκευή τους, θα πρέπει να φροντίσουμε να υπολογίζουμε την ορθή μετάπτωση των ουράνιων συντεταγμένων των εκάστοτε σωμάτων προκειμένου να έχει νόημα η οποιαδήποτε από τις προτεινόμενες ευθυγραμμίσεις. Η Μεγάλη Πυραμίδα της Γκίζας (Σχήμα 1.14), ένα από τα «επτά θαύματα του κόσμου», είναι

7. Η Ιουλιανή ημερομηνία JD 0.0 προτάθηκε από τον Joseph Justus Scaliger (Ζοζέφ Ζούστους Σκάλιτζερ, 1540-1609) το 1583. Η επιλογή του βασίστηκε στη σύγκλιση τριών ημερολογιακών κύκλων: τα 28 χρόνια που χρειάζονται ώστε οι ημερομηνίες του Ιουλιανού ημερολογίου να πέφτουν τις ίδιες ημέρες της εβδομάδας, τα 19 χρόνια που απαιτούνται ώστε οι φάσεις της Σελήνης να πέφτουν σχεδόν τις ίδιες ημερομηνίες του έτους και ο δεκαπενταετής ρωμαϊκός φορολογικός κύκλος. Το γεγονός ότι $28 \times 19 \times 15 = 7980$ σημαίνει ότι τα τρία ημερολόγια ευθυγραμμίζονται κάθε 7980 χρόνια. Η JD 0.0 αντιστοιχεί στην τελευταία φορά που και τα τρία ημερολόγια άρχισαν τους κύκλους τους μαζί.

παράδειγμα ενός τέτοιου οικοδομήματος. Θεωρώντας πως ανεγέρθηκε περίπου το 2600 π.Χ., η Μεγάλη Πυραμίδα είναι εδώ και καιρό αντικείμενο υποθέσεων. Αν και πολλές προτάσεις σχετικά με αυτό το αξιοθαύμαστο μνημείο είναι κάτι παραπάνω από εξεζητημένες, δεν μπορεί να υπάρξει αμφιβολία σχετικά με τον προσεκτικό προσανατολισμό όσον αφορά τα τέσσερα σημεία του ορίζοντα, βορράς, νότος, ανατολή και δύση. Η απόκλιση της οποιας πλευράς από τη διεύθυνση του αντίστοιχου σημείου του ορίζοντα δεν ξεπερνά τα $5\frac{1}{2}'$. Εξίσου εκπληκτικό είναι το σχεδόν τέλει τετράγωνο που σχηματίζεται από τη βάση της: ανά δύο οι πλευρές του δεν διαφέρουν μεταξύ τους παραπάνω από 20 cm.



Σχήμα 1.14

Οι αστρονομικές ευθυγραμμίσεις της Μεγάλης Πυραμίδας της Γκίζας. [Προσαρμογή από σχήμα του Παρατηρητηρίου του Γκρίφιθ (Griffith Observatory).]

Ίσως οι πιο ακριβείς ευθυγραμμίσεις που έχουν ανακαλυφθεί έως τώρα σχετίζονται με τους «αεραγωγούς» που οδηγούν από τον Θάλαμο του Βασιλιά (ο κύριος θάλαμος της πυραμίδας) προς το εξωτερικό. Αυτοί οι αεραγωγοί φαίνονται πολύ κακοσχεδιασμένοι για να κυκλοφορούν φρέσκο αέρα μέσα στον τάφο του Φαραώ και πιστεύεται σήμερα ότι είχαν κάποιον άλλο λόγο ύπαρξης. Οι Αιγύπτιοι πίστευαν ότι όταν οι φαραώ τους πέθαιναν, οι ψυχές τους θα ταξίδευαν ως τον ουρανό για να συναντήσουν τον Όσιρι, τον θεό της ζωής, του θανάτου και της αναγέννησης. Ο Όσιρις σχετιζόταν με τον αστερισμό που σήμερα γνωρίζουμε ως Ωρίωνα. Συνυπολογίζοντας την έλευση του πάνω από ενός έκτου της περιόδου μετάπτωσης από την κατασκευή της Μεγάλης Πυραμίδας μέχρι σήμερα, η Virginia Trimble (Βιρτζίνια Τριμπλ) έδειξε ότι ο ένας από τους αεραγωγούς έδειχνε απευθείας προς την ζώνη του Ωρίωνα. Ο άλλος αεραγωγός έδειχνε προς τον Thuban (Θουμπάν), το άστρο που ήταν τότε το πιο κοντινό στον βόρειο ουράνιο πόλο, το σημείο στον ουρανό γύρω από το οποίο περιστρέφονται όλα τα υπόλοιπα.

Ως σύγχρονος επιστημονικός πολιτισμός, ανάγουμε τις ρίζες της μελέτης της αστρονομίας στους αρχαίους Έλληνες, αλλά έχει γίνει φανερό ότι πολλοί πολιτισμοί μελέτησαν προσεκτικά τον ουρανό και τα μυστήρια σημεία φωτός του. Αρχαιολογικά οικοδομήματα παγκοσμίως φαίνεται να παρουσιάζουν αστρονομικές ευθυγραμμίσεις. Αν και μερικές από αυτές τις ευθυγραμμίσεις μπορεί να είναι συγκυριακές, είναι ξεκάθαρο ότι πολλές από αυτές είχαν σχεδιαστεί επί τούτου.

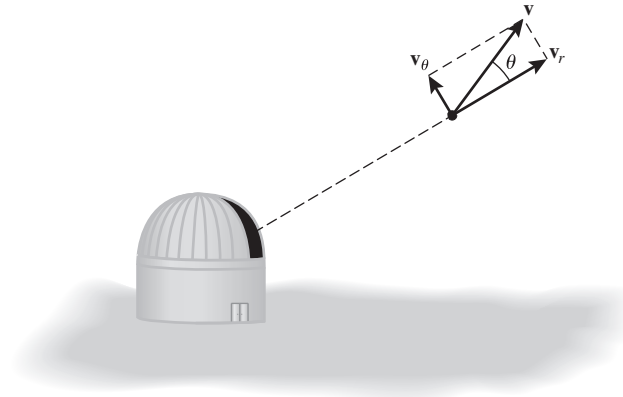
Τα Αποτελέσματα των Κινήσεων Διαμέσου του Ουρανού

Ένα άλλο φαινόμενο που συνεισφέρει στην αλλαγή των ισημερινών συντεταγμένων οφείλεται στις ταχύτητες των ίδιων των αντικειμένων.⁸ Όπως έχουμε ήδη συζητήσει, ο Ήλιος, η Σελήνη και οι πλανήτες εμφανίζουν σχετικά γρήγορες και πολύπλοκες κινήσεις διαμέσου του ουρανού. Τα άστρα έχουν επίσης κάποια σχετική κίνηση μεταξύ τους. Αν και οι πραγματικές τους ταχύτητες

8. Η παράλλαξη, μια σημαντική περιοδική κίνηση των αστερών που προκύπτει από την κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο, θα αναλυθεί στην Ενότητα 3.1.

μπορεί να είναι πολύ μεγάλες, οι φαινόμενες σχετικές κινήσεις των άστρων γενικά είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν λόγω των γιγαντιαίων αποστάσεών τους.

Θεωρήστε την ταχύτητα ενός άστρου σχετικά με έναν παρατηρητή (Σχήμα 1.15). Το διάνυσμα της ταχύτητας μπορεί να αναλυθεί σε δύο κάθετες μεταξύ τους συνιστώσες, μία επί της γραμμής παρατήρησης και η άλλη κάθετη σε αυτήν. Η συνιστώσα επί της γραμμής παρατήρησης είναι η **ακτινική ταχύτητα** v_r του άστρου· η δεύτερη συνιστώσα είναι η **εγκάρσια ή εφαπτομενική ταχύτητα** v_θ κατά μήκος της ουράνιας σφαίρας. Αυτή η εγκάρσια ταχύτητα εμφανίζεται ως μία αργή, γωνιακή αλλαγή στις ισημερινές συντεταγμένες, γνωστή ως **ιδία κίνηση** (συνήθως εκφρά-



Σχήμα 1.15

Οι συνιστώσες της ταχύτητας, v_r είναι η ακτινική ταχύτητα του άστρου και v_θ είναι η εγκάρσια ταχύτητά του.

ζεται σε δευτέρα της μοίρας ανά έτος). Σε ένα χρονικό διάστημα Δt το άστρο θα έχει κινηθεί σε μία κατεύθυνση κάθετη ως προς τη γραμμή παρατήρησης του παρατηρητή κατά μία απόσταση

$$\Delta d = v_\theta \Delta t.$$

Εάν η απόσταση από τον παρατηρητή ως το άστρο είναι r , τότε η γωνιακή αλλαγή της θέσης του κατά μήκος της ουράνιας σφαίρας θα δίνεται από την

$$\Delta\theta = \frac{\Delta d}{r} = \frac{v_\theta}{r} \Delta t.$$

Επομένως, η ιδία κίνηση του άστρου μ σχετίζεται με την εγκάρσια ταχύτητά του ως:

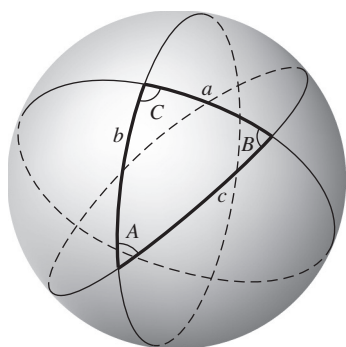
$$\mu \equiv \frac{d\theta}{dt} = \frac{v_\theta}{r}. \tag{1.5}$$

Μια Εφαρμογή Σφαιρικής Τριγωνομετρίας

Οι κανόνες της σφαιρικής τριγωνομετρίας πρέπει να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να βρει κανείς τη σχέση μεταξύ της $\Delta\theta$ και των αλλαγών στις ισημερινές συντεταγμένες, $\Delta\alpha$ και $\Delta\delta$, επί της ουράνιας σφαίρας. Ένα σφαιρικό τρίγωνο, όπως αυτό που απεικονίζεται στο Σχήμα 1.16, απαρτίζεται από τρία τεμνόμενα τόξα μέγιστων κύκλων. Για ένα σφαιρικό τρίγωνο οι ακόλουθες σχέσεις ισχύουν (με όλες τις πλευρές μετρημένες σε μοίρες ή υποδιαίρεσεις αυτής):

Νόμος των ημιτόνων

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$



Σχήμα 1.16

Ένα σφαιρικό τρίγωνο. Κάθε σκέλος του είναι τμήμα ενός μέγιστου κύκλου πάνω σε μια σφαίρα και όλες οι γωνίες είναι μικρότερες από 180°. a , b , και c , είναι σε μονάδες γωνίας (π.χ. μοίρες).

Νόμος των συνημιτόνων για τις πλευρές

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

Νόμος των συνημιτόνων για τις γωνίες

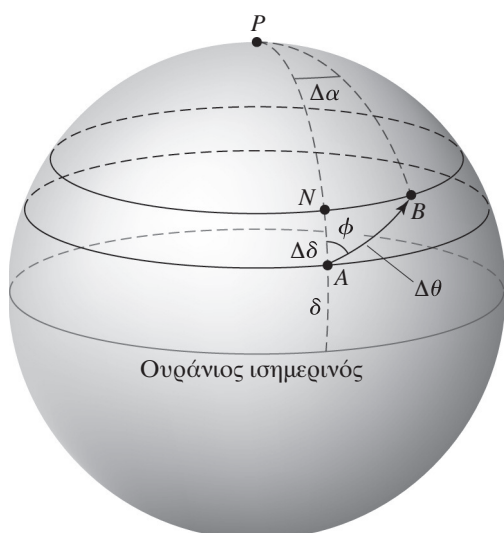
$$\cos A = \cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$$

Το Σχήμα 1.17 δείχνει την κίνηση ενός άστρου επί της ουράνιας σφαίρας από το σημείο A στο σημείο B . Η γωνιακή απόσταση που διανύθηκε είναι $\Delta\theta$. Έστω ότι το σημείο P βρίσκεται στον βόρειο ουράνιο πόλο ώστε τα τόξα AP , AB και BP να σχηματίζουν τμήματα μέγιστων κύκλων. Το άστρο τότε λέγεται ότι κινείται στη διεύθυνση της *γωνίας θέσης* ϕ ($\angle PAB$), μετρημένης από τον βόρειο ουράνιο πόλο. Τώρα, κατασκευάστε τμήμα ενός κύκλου NB έτσι ώστε το N να βρίσκεται στην ίδια απόκλιση με το B και $\angle PNB = 90^\circ$. Εάν οι συντεταγμένες του άστρου στο σημείο A είναι (α, δ) και οι νέες συντεταγμένες στο σημείο B είναι $(\alpha + \Delta\alpha, \delta + \Delta\delta)$, τότε $\angle APB = \Delta\alpha$, $\angle APN = 90^\circ - \delta$, και $\angle BPN = 90^\circ - (\delta + \Delta\delta)$. Χρησιμοποιώντας τον νόμο των ημιτόνων

$$\frac{\sin(\Delta\theta)}{\sin(\Delta\alpha)} = \frac{\sin[90^\circ - (\delta + \Delta\delta)]}{\sin\phi}$$

ή

$$\sin(\Delta\alpha) \cos(\delta + \Delta\delta) = \sin(\Delta\theta) \sin\phi.$$



Σχήμα 1.17

Η ίδια κίνηση ενός άστρου στην ουράνια σφαίρα. Το άστρο κινείται από το A στο B κατά τη διεύθυνση με γωνία ϕ ως προς τον Βορρά.

Υποθέτοντας ότι οι αλλαγές στις θέσεις είναι πολύ μικρότερες από ένα ακτίνιο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις προσεγγίσεις μικρής γωνίας $\sin \epsilon \sim \epsilon$ και $\cos \epsilon \sim 1$. Εφαρμόζοντας τις απαραίτητες τριγωνομετρικές ταυτότητες και αγνοώντας όλους τους όρους από δεύτερης τάξης και άνω, η προηγούμενη εξίσωση απλοποιείται στην

$$\Delta\alpha = \Delta\theta \frac{\sin \phi}{\cos \delta}. \quad (1.6)$$

Ο νόμος των συνημιτόνων για τις πλευρές μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί η έκφραση για την αλλαγή της απόκλισης:

$$\cos [90^\circ - (\delta + \Delta\delta)] = \cos (90^\circ - \delta) \cos (\Delta\theta) + \sin (90^\circ - \delta) \sin (\Delta\theta) \cos \phi.$$

Χρησιμοποιώντας πάλι τις προσεγγίσεις μικρής γωνίας και τριγωνομετρικές ταυτότητες, αυτή η έκφραση απλοποιείται στην

$$\Delta\delta = \Delta\theta \cos \phi. \quad (1.7)$$

(Σημειώστε ότι αυτό είναι το ίδιο αποτέλεσμα με αυτό που θα παίρναμε αν χρησιμοποιούσαμε απλή επίπεδη τριγωνομετρία. Αυτό θα έπρεπε να είναι αναμενόμενο ωστόσο, καθώς έχουμε υποθέσει ότι το τρίγωνο για το οποίο κάνουμε λόγο έχει εμβαδόν πολύ μικρότερο από το συνολικό εμβαδόν της σφαίρας και οφείλει επομένως να εμφανίζεται ως πρακτικά επίπεδο). Συνδυάζοντας τις Εξισώσεις (1.6) και (1.7), καταλήγουμε στην έκφραση για τη γωνιακή απόσταση που διανύθηκε με όρους αλλαγής της ορθής αναφοράς και της απόκλισης:

$$(\Delta\theta)^2 = (\Delta\alpha \cos \delta)^2 + (\Delta\delta)^2. \quad (1.7)$$

1.4 ■ Φυσική και Αστρονομία

Η μαθηματική θεώρηση της φύσης που προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Πυθαγόρα και τους Έλληνες οδήγησε τελικά στην κοπερνίκεια επανάσταση. Η αδυναμία των αστρονόμων να ταιριάξουν με ακρίβεια τις παρατηρούμενες θέσεις των «περιπλανώμενων άστρων» με μαθηματικά μοντέλα είχε ως αποτέλεσμα τη δραματική αλλαγή στην αντίληψή μας για τη θέση της Γης στο σύμπαν. Ωστόσο, ένα εξίσου σημαντικό βήμα στην εξέλιξη της επιστήμης παρέμενε μετέωρο: η αναζήτηση των φυσικών αιτιών των παρατηρούμενων φαινομένων. Όπως θα βλέπουμε συνεχώς σε αυτό το βιβλίο, η σύγχρονη μελέτη της αστρονομίας βασίζεται σημαντικά στην κατανόηση της φύσης του σύμπαντος με όρους Φυσικής. Η εφαρμογή της φυσικής στην αστρονομία, η αστροφυσική, έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα επιτυχής στην εξήγηση μεγάλου εύρους παρατηρήσεων, συμπεριλαμβανομένων παράξενων και εξωτικών αντικειμένων και γεγονότων, όπως των παλλόμενων άστρων, των υπερκαινοφανών αστέρων, των μεταβλητών πηγών ακτίνων X, των μαύρων τρυπών, των κβάζαρς, των εκλάμψεων ακτίνων γ και της Μεγάλης Έκρηξης (Big Bang).

Ως τμήμα της εξερεύνησής μας στην επιστήμη της αστρονομίας, θα είναι απαραίτητο να μελετήσουμε τις λεπτομέρειες των ουράνιων κινήσεων, της φύσης του φωτός, της δομής του ατόμου και της μορφής του ίδιου του χώρου. Η ταχεία πρόοδος στην αστρονομία τις τελευταίες δεκαετίες προέκυψε λόγω της προόδου στην κατανόησή μας της βασικής φυσικής και λόγω των βελτιώσεων στα εργαλεία που έχουμε για τη μελέτη του ουρανού: τηλεσκόπια και υπολογιστές.

Ουσιαστικά κάθε τομέας της φυσικής παίζει έναν σημαντικό ρόλο σε κάποια πτυχή της αστρονομίας. Η σωματιδιακή φυσική και η αστροφυσική συγχωνεύονται για τη μελέτη της Με-

γάλης Έκρηξης· η βασική ερώτηση για την προέλευση της πληθώρας των στοιχειωδών σωματιδίων, καθώς και η ίδια η φύση των θεμελιωδών δυνάμεων, είναι στενά συνδεδεμένες με το πώς δημιουργήθηκε το σύμπαν. Η πυρηνική φυσική παρέχει πληροφορίες σχετικά με τους τύπους των αντιδράσεων που είναι δυνατές στο εσωτερικό των άστρων, ενώ η ατομική φυσική περιγράφει πώς μεμονωμένα άτομα αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο και με το φως, διαδικασίες οι οποίες είναι βασικές για πάρα πολλά αστρονομικά φαινόμενα. Η φυσική συμπυκνωμένης ύλης παίζει ρόλο στους φλοιούς των αστερών νετρονίων και στο κέντρο του Δία. Η θερμοδυναμική εμπλέκεται παντού από την Μεγάλη Έκρηξη έως και το εσωτερικό των άστρων. Ακόμα και η ηλεκτρονική παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη νέων ανιχνευτών ικανών να μας δώσουν μια πιο καθαρή εικόνα του σύμπαντος γύρω μας.

Με την πρόοδο της σύγχρονης τεχνολογίας και της διαστημικής εξερεύνησης, έχουν χτιστεί τηλεσκόπια προς μελέτη του ουρανού με όλο και αυξανόμενη ευαισθησία. Μη περιορισμένα πλέον στην ανίχνευση μόνο ορατού φωτός, τα τηλεσκόπια σήμερα μπορούν να «δουν» ακτίνες γ, ακτίνες X, υπεριώδες φως, υπέρυθρη ακτινοβολία και ραδιοκύματα. Πολλά από αυτά τα τηλεσκόπια λειτουργούν έξω από την ατμόσφαιρα της Γης ώστε να φέρουν εις πέρας τις αποστολές τους. Άλλου είδους τηλεσκόπια, πολύ διαφορετικά στη φύση τους, ανιχνεύουν θεμελιώδη σωματίδια αντί για φως και συχνά τοποθετούνται κάτω από το έδαφος για να μελετήσουν τον ουρανό.⁹

Οι υπολογιστές μας έχουν προσφέρει την υπολογιστική ισχύ για να φέρουμε εις πέρας γιγαντιαίο αριθμό υπολογισμών απαραίτητων για να κατασκευάσουμε μαθηματικά μοντέλα από θεμελιώδεις φυσικές αρχές. Η γέννηση των υπολογιστικών μηχανών μεγάλης ταχύτητας έχει επιτρέψει στους αστρονόμους να υπολογίσουν την εξέλιξη ενός άστρου και να συγκρίνουν αυτούς τους υπολογισμούς με παρατηρήσεις· είναι επίσης δυνατή η μελέτη της περιστροφής ενός γαλαξία και της αλληλεπίδρασής του με γειτονικούς γαλαξίες. Διαδικασίες που απαιτούν δεκατομμύρια χρόνια (σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια από οποιαδήποτε ερευνητική επιχορήγηση ενός Εθνικού Οργανισμού Έρευνας, όπως το NSF¹⁰) είναι αδύνατο να παρατηρηθούν απευθείας αλλά μπορούν να εξερευνηθούν με τη χρήση σύγχρονων υπερυπολογιστών.

Όλα αυτά τα εργαλεία και οι αντίστοιχοι τομείς έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση του ουρανού με διερευνητική ματιά. Η μελέτη της αστρονομίας είναι μία φυσική επέκταση της ανθρώπινης περιέργειας στην πιο αγνή της μορφή. Όπως ακριβώς ένα μικρό παιδί ρωτά συνέχεια γιατί αυτό και γιατί εκείνο, ο στόχος ενός αστρονόμου είναι να επιχειρήσει να κατανοήσει τη φύση του σύμπαντος σε όλη της την περιπλοκότητα για χάρη της ίδιας της κατανόησης και μόνο – ο τελικός στόχος κάθε πνευματικής περιπέτειας. Υπό μία πολύ πραγματική έννοια, η αληθινή ομορφιά του ουρανού δεν οφείλεται μόνο στην παρατήρηση των άστρων μια σκοτεινή νύχτα αλλά και στη διερώτηση σχετικά με τη λεπτεπίλεπτη αλληλεπίδραση μεταξύ των φυσικών διαδικασιών που επιτρέπουν την ίδια την ύπαρξη των άστρων.

Το πιο δυσνόητο πράγμα σχετικά με το σύμπαν είναι το γεγονός ότι είναι κατανοήσιμο. – Άλμπερτ Αϊνστάιν

9. Και τα τελευταία χρόνια έχει γίνει εφικτή η ανίχνευση και των βαρυτικών κυμάτων που έχουν πλέον ανοίξει ένα νέο παράθυρο στο Σύμπαν με την αστρονομία βαρυτικών κυμάτων. (Σ.τ.Ε.)

10. National Science Foundation: Κυβερνητική υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών που ενισχύει οικονομικά όλους τους μη ιατρικούς τομείς επιστήμης και μηχανικής. (Σ.τ.Μ.)

Προτεινόμενη Μελέτη

Γενικά

- Aveni, Anthony, *Skywatchers of Ancient Mexico*, The University of Texas Press, Ώστιν, 1980.
- Bronowski, J., *The Ascent of Man*, Little, Brown, Βοστώνη, 1973.
- Casper, Barry M. και Noer, Richard J., *Revolutions in Physics*, W.W. Norton, Νέα Υόρκη, 1972.
- Hadingham, Evan, *Early Man and the Cosmos*, Walker and Company, Νέα Υόρκη, 1984.
- Krupp, E. C., *Echos of the Ancient Skies: The Astronomy of Lost Civilizations*, Harper & Row, Νέα Υόρκη, 1983.
- Kuhn, Thomas S., *The Structure of Scientific Revolutions*, 3η έκδοση, The University of Chicago Press, Σικάγο, 1996.
- Ruggles, Clive L. N., *Astronomy in Prehistoric Britain and Ireland*, Yale University Press, Νιού Χέιβεν, 1999.
- Sagan, Carl, *Cosmos*, Random House, Νέα Υόρκη, 1980.
- SIMBAD *Astronomical Database*, <http://simbad.u-strasbg.fr/>
- Sky and Telescope Sky Chart*, <http://skyandtelescope.com/observing/skychart/>

Τεχνικά

- Acker, Agnes και Jaschek, Carlos, *Astronomical Methods and Calculations*, John Wiley and Sons, Τσίτσεστερ, 1986.
- Astronomical Almanac*, United States Government Printing Office, Ουάσινγκτον, D.C.
- Cox, Arthur N. (επιμ.), *Allen's Astrophysical Quantities*, Fourth Edition, Springer-Verlag, Νέα Υόρκη, 2000.
- Lang, Kenneth R., *Astrophysical Formulae*, 3η έκδοση, Springer-Verlag, Νέα Υόρκη, 1999.
- Smart, W. M. και Green, Robin Michael, *Textbook on Spherical Astronomy*, 6η έκδοση, Cambridge University Press, Κέμπριτζ, 1977.

Προβλήματα

- 1.1 Βρείτε τη σχέση μεταξύ της συνοδικής περιόδου και της αστρικής περιόδου ενός πλανήτη (Εξίσωση 1.1). Θεωρήστε τόσο εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς πλανήτες.
- 1.2 Αναπτύξτε μεθόδους ώστε να καθορίσετε τις σχετικές αποστάσεις από τον Ήλιο καθενός από τους πλανήτες, δεδομένων των πληροφοριών που ήταν διαθέσιμες στον Copernicus (οι παρατηρούμενες γωνίες μεταξύ των πλανητών και του Ήλιου, οι τροχιακοί σχηματισμοί και οι συνοδικές περίοδοι).
- 1.3 (α) Οι παρατηρούμενες τροχιακές συνοδικές περίοδοι της Αφροδίτης και του Άρη είναι 583.9 ημέρες και 779.9 ημέρες αντίστοιχα. Υπολογίστε τις αστρικές περιόδους τους.
(β) Ποιος από τους εξωτερικούς πλανήτες έχει τη μικρότερη συνοδική περίοδο; Γιατί;
- 1.4 Απαριθμήστε την ορθή αναφορά και την απόκλιση του Ήλιου όταν βρίσκεται στην εαρινή ισημερία, στο θερινό ηλιοστάσιο, στη φθινοπωρινή ισημερία και στο χειμερινό ηλιοστάσιο.
- 1.5 (α) Αναφερόμενοι στο Σχήμα 1.12(α), υπολογίστε το ύψος του Ήλιου κατά μήκος του μεσημβρινού την πρώτη ημέρα του καλοκαιριού για έναν παρατηρητή σε γεωγραφικό πλάτος 42° βόρεια.
(β) Ποιο είναι το μέγιστο ύψος του Ήλιου κατά την πρώτη ημέρα του χειμώνα στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος;
- 1.6 (α) Αειφανή άστρα είναι εκείνα τα άστρα τα οποία δεν δύνουν ποτέ κάτω από τον ορίζοντα ενός τοπικού παρατηρητή και αφανή τα άστρα τα οποία δεν είναι ποτέ ορατά πάνω από τον ορίζοντα.⁸ Αφού σχεδιάσετε ένα διάγραμμα παρόμοιο με αυτό του Σχήματος 1.12(α), υπολογίστε το εύρος των αποκλίσεων για αυτές τις δύο ομάδες άστρων για έναν παρατηρητή σε γεωγραφικό πλάτος L .

- (β) Σε τι γεωγραφικό/ά ύψος/η πάνω στη Γη ο Ήλιος δεν θα δύσει ποτέ όταν βρίσκεται στο θερινό ηλιοστάσιο;
- (γ) Υπάρχει οποιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος πάνω στη Γη στο οποίο ο Ήλιος δεν θα δύσει ποτέ όταν βρίσκεται στην εαρινή ισημερία; Εάν ναι, πού;
- 1.7 (α)** Προσδιορίστε την Ιουλιανή ημερομηνία για τις 16:15 UT στις 14 Ιουλίου 2006. (Υπόδειξη: Σιγουρευτείτε ότι λαμβάνετε υπόψη πιθανά δίσεκτα έτη κατά τον υπολογισμό σας.)
- (β) Ποια είναι η αντίστοιχη τροποποιημένη Ιουλιανή ημερομηνία;
- 1.8** Ο Εγγύτατος του Κενταύρου (α Κενταύρου C) είναι το κοντινότερο άστρο στον Ήλιο και είναι μέρος ενός τριπλού αστρικού συστήματος. Έχει την εποχή J2000.0 συντεταγμένες $(\alpha, \delta) = (14^{\text{h}} 29^{\text{m}} 42.95^{\text{s}}, -62^{\circ}40'46.1'')$. Ο φωτεινότερος αστέρας του συστήματος, ο Άλφα Κενταύρου (α Κενταύρου A), έχει J2000.0 συντεταγμένες $(\alpha, \delta) = (14^{\text{h}} 39^{\text{m}} 36.50^{\text{s}}, -60^{\circ}50'02.3'')$.
- (α) Ποια είναι η γωνιακή απόσταση μεταξύ του Εγγύτατου Κενταύρου και του Άλφα Κενταύρου;
- (β) Εάν η απόσταση του Εγγύτατου Κενταύρου είναι 4.0×10^{16} m, πόσο μακριά είναι ο αστέρας αυτός από τον Άλφα Κενταύρου;
- 1.9 (α)** Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες του Προβλήματος 1.8, υπολογίστε τις μεταπεσούσες συντεταγμένες του Εγγύτατου του Κενταύρου την εποχή J 2010.0.
- (β) Η ίδια κίνηση του Εγγύτατου του Κενταύρου είναι $3.84'' \text{ yr}^{-1}$ με γωνία θέσης 282° . Υπολογίστε την αλλαγή στις α και δ λόγω της ίδιας κίνησης μεταξύ των 2000.0 και 2010.0
- (γ) Ποιο φαινόμενο έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις αλλαγές των συντεταγμένων του Εγγύτατου Κενταύρου: η μετάπτωση ή η ίδια κίνηση;
- 1.10** Ποιες τιμές ορθής αναφοράς θα ήταν οι βέλτιστες για παρατήρηση από έναν παρατηρητή σε γεωγραφικό πλάτος 40° τον Ιανουάριο;
- 1.11** Επιβεβαιώστε ότι η Εξίσωση (1.7) προκύπτει απευθείας από την έκφραση που βρίσκεται ακριβώς πριν από αυτή.