

ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

- Μέτρηση θέσης
- Μέτρηση χρόνου

Γεωκεντρικό σύστημα παρατήρησης

Με εξαίρεση έναν αριθμό από διαστημικές αποστολές, οι παρατηρήσεις των ουράνιων αντικειμένων γίνονται από τη Γη και βασίζονται σε γεωκεντρικά συστήματα αναφοράς.

Με τι θα ασχοληθούμε σε αυτό το κεφάλαιο:

1.1 Η ουράνια σφαίρα

1.1.1 Βασικοί ορισμοί

1.1.2 Στοιχεία σφαιρικής τριγωνομετρίας,

1.2 Συστήματα συντεταγμένων

1.2.1 Τοπικά συστήματα

1.2.2 Παγκόσμια συστήματα

1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις παγκόσμιες αστρονομικές συντεταγμένες

1.4 Συστήματα μέτρησης του χρόνου

1.5 Ορατότητα αστρονομικών αντικειμένων

Πρακτικό παράδειγμα: σχεδιασμός αστρονομικών παρατηρήσεων

Ουράνια σφαίρα

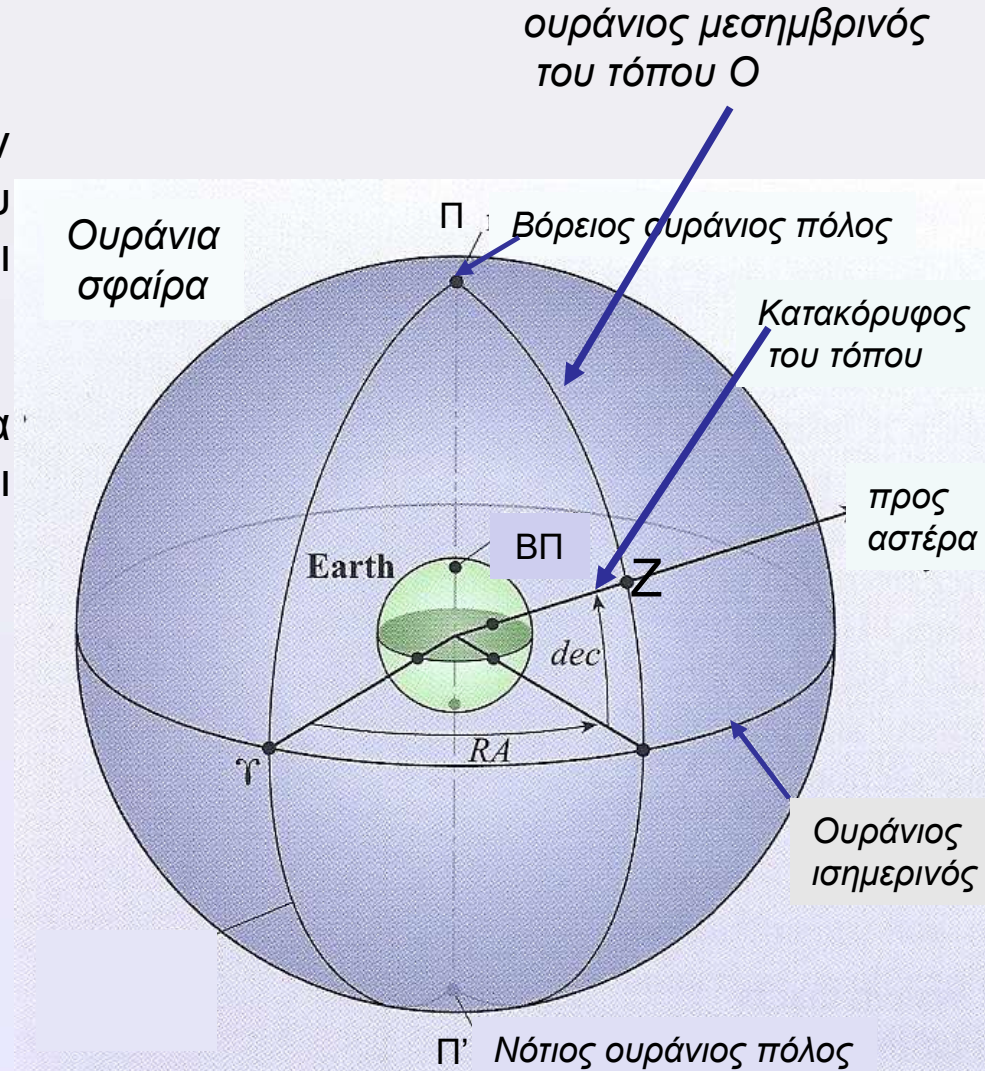
Για να ορίσουμε ένα χρήσιμο σύστημα ουράνιων συντεταγμένων θεωρούμε μια υποθετική σφαίρα που περιβάλλει τη Γη, με κέντρο το κέντρο της Γης και αυθαίρετη ακτίνα: «ουράνια σφαίρα» (Ο.Σ.)

Επεκτείνοντας τον άξονα της Γης, ορίζουμε τα σημεία τομής του με την Ο.Σ., ως τον **βόρειο** (Π) και **νότιο ουράνιο πόλο** (Π')

ΠΠ': ο άξονας του κόσμου

Η προβολή του Γήινου ισημερινού στην Ο.Σ. είναι ο **ουράνιος ισημερινός** (: ο μέγιστος κύκλος της ΟΣ που είναι κάθετος στον άξονα ΠΠ')

Η κατακόρυφος ενός τόπου τέμνει την ουράνια σφαίρα στο **Ζενίθ** (Z) και στο **Ναδί**

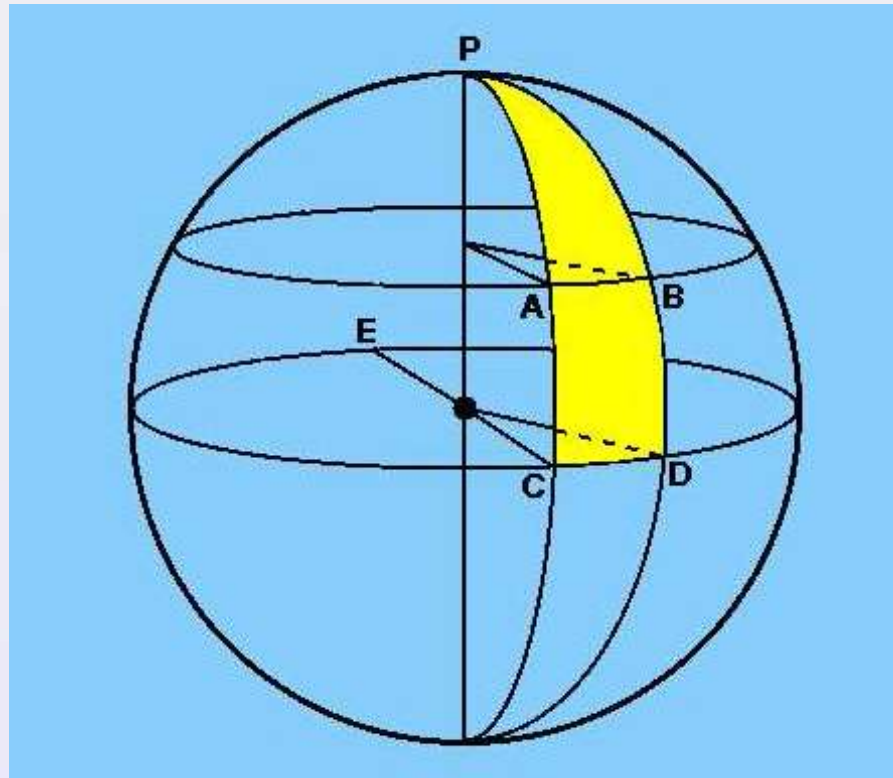


Φαινόμενη κίνηση της ουράνιας σφαίρας

- Λόγω της ιδιοπεριστροφής της γης η ουράνια σφαίρα και όλα τα ουράνια αντικείμενα εμφανίζονται να περιστρέφονται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού (από ανατολικά προς τα δυτικά: **ανάδρομη φορά**).
- **Ορθή φορά** είναι η αντίθετη, δηλ. από δυτικά προς τα ανατολικά.



Μερικά στοιχεία σφαιρικής τριγωνομετρίας

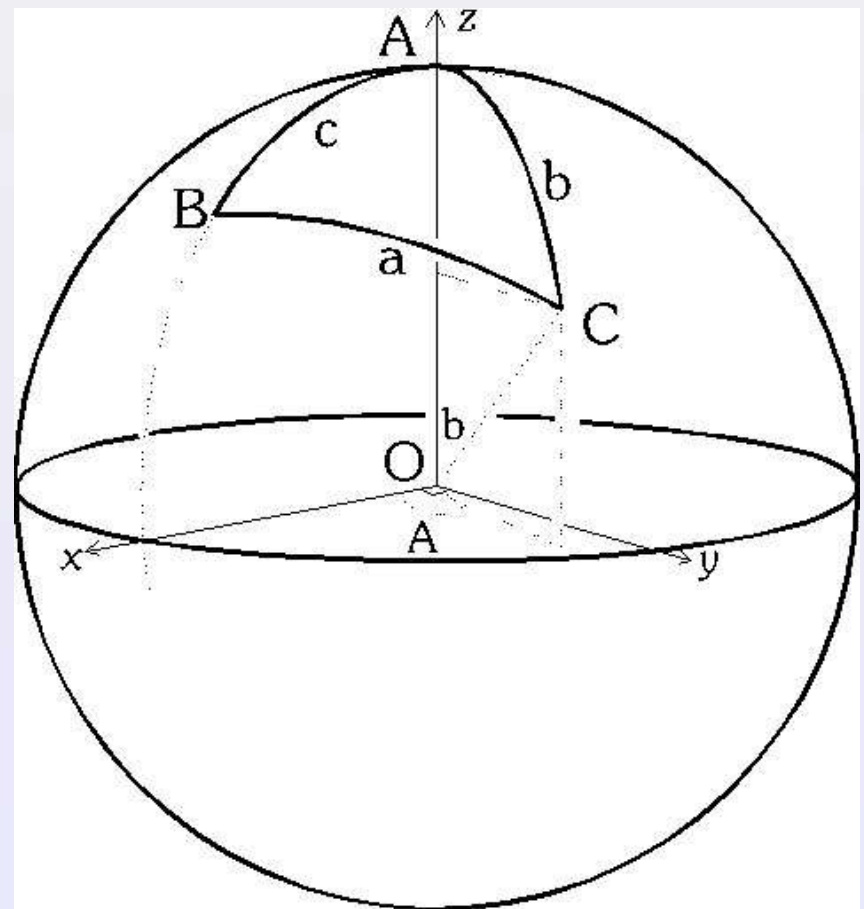


Μέγιστοι κύκλοι είναι οι τομές επιπέδου που περνά από το κέντρο της σφαίρας με την επιφάνεια της σφαίρας (π.χ. ο κύκλος που περιέχει το τόξο CD) – χωρίζει τη σφαίρα σε δύο ίσα μέρη

Μικροί κύκλοι είναι οποιοιδήποτε άλλοι κύκλοι στην επιφάνεια της σφαίρας (π.χ. ο κύκλος που περιέχει το τόξο AB)

Σφαιρικά Τρίγωνα

- ❖ **Σφαιρικό τρίγωνο** είναι ένα τμήμα της επιφάνειας της σφαίρας που ορίζεται από τρεις ανά δύο τεμνόμενους μέγιστους κύκλους
- ❖ Το σφαιρικό τρίγωνο έχει τρεις πλευρές και τρεις γωνίες, αλλά και οι πλευρές του εκφράζονται ως γωνίες (που υποτείνονται από το κέντρο της σφαίρας)
- ❖ Ένα σφαιρικό τρίγωνο στην επιφάνεια μιας σφαίρας είναι πλήρως ορισμένο αν είναι γνωστά οποιαδήποτε 3 από τα 6 στοιχεία του



Χρήσιμες σχέσεις στη σφαιρική τριγωνομετρία:

Σχέση του συνημιτόνου:

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

Σχέση του ημιτόνου:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin A} = \frac{\sin \beta}{\sin B} = \frac{\sin \gamma}{\sin \Gamma}$$

Σχέση των πέντε στοιχείων:

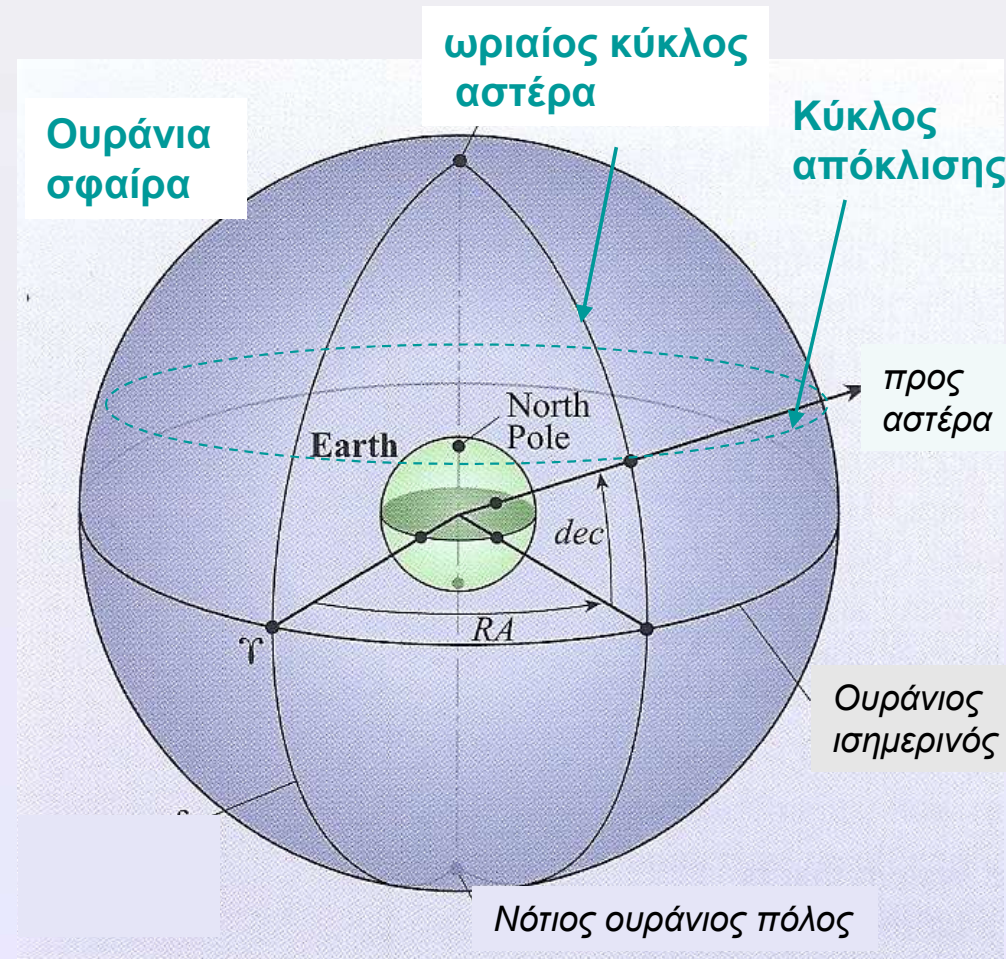
$$\sin \gamma \cos A = \cos \alpha \sin \beta - \sin \alpha \cos \beta \cos \Gamma$$

Σχέση των τεσσάρων διαδοχικών στοιχείων:

$$\cos \beta \cos \Gamma = \sin \beta \cot \alpha - \sin \Gamma \cot A$$

- ✓ Κάθε μέγιστο ημικύκλιο που διέρχεται από τους πόλους ΠΠ' λέγεται **μεσημβρινός**
- ✓ Ο μεσημβρινός ενός αστέρα λέγεται **ωριαίος του αστέρα** (και είναι προφανώς κάθετος στον Ισημερινό).
- ✓ Κάθε μικρός κύκλος παράλληλος προς τον ισημερινό λέγεται **κύκλος απόκλισης**.

Οι ημερήσιες φαινόμενες τροχιές των άστρων είναι κύκλοι απόκλισης.



Συστήματα σφαιρικών συντεταγμένων

- Για να ορίσουμε τη θέση ενός σημείου πάνω στην Ο.Σ. χρησιμοποιούμε ένα **σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων**, όπου η ακτίνα της σφαίρας λαμβάνεται ίση με την μονάδα.
- Η θέση ενός σημείου πάνω στη σφαίρα καθορίζεται με δύο συντεταγμένες (**τόξα**), με «άξονες αναφοράς» **δύο μέγιστους κύκλους της σφαίρας που τέμνονται κάθετα μεταξύ τους**.
- **Βασικός κύκλος** του συστήματος συντεταγμένων είναι ο μέγιστος κύκλος που ταυτίζουμε με το επίπεδο. Πάνω στον βασικό κύκλο γίνεται η μέτρηση της μιας συντεταγμένης.
- **Πρώτος κάθετος** λέγεται ο μέγιστος κύκλος που είναι κάθετος προς τον βασικό και του οποίου το ένα από τα σημεία τομής με τον βασικό εκλαμβάνεται σαν αρχή της μέτρησης της πρώτης συντεταγμένης.

Συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται στην αστρονομία

➤ Τοπικά συστήματα συντεταγμένων

(εξαρτώνται από την θέση του παρατηρητή στην επιφάνεια της γης)

- Οριζόντιες συντεταγμένες
- Ισημερινές συντεταγμένες

➤ Παγκόσμια συστήματα συντεταγμένων

(ανεξάρτητες της θέσης του παρατηρητή)

- Ουρανογραφικές συντεταγμένες
- Εκλειπτικές συντεταγμένες
- Γαλαξιακές συντεταγμένες

Οριζόντιες συντεταγμένες

«Τοπική» ουράνια σφαίρα με κέντρο τον παρατηρητή

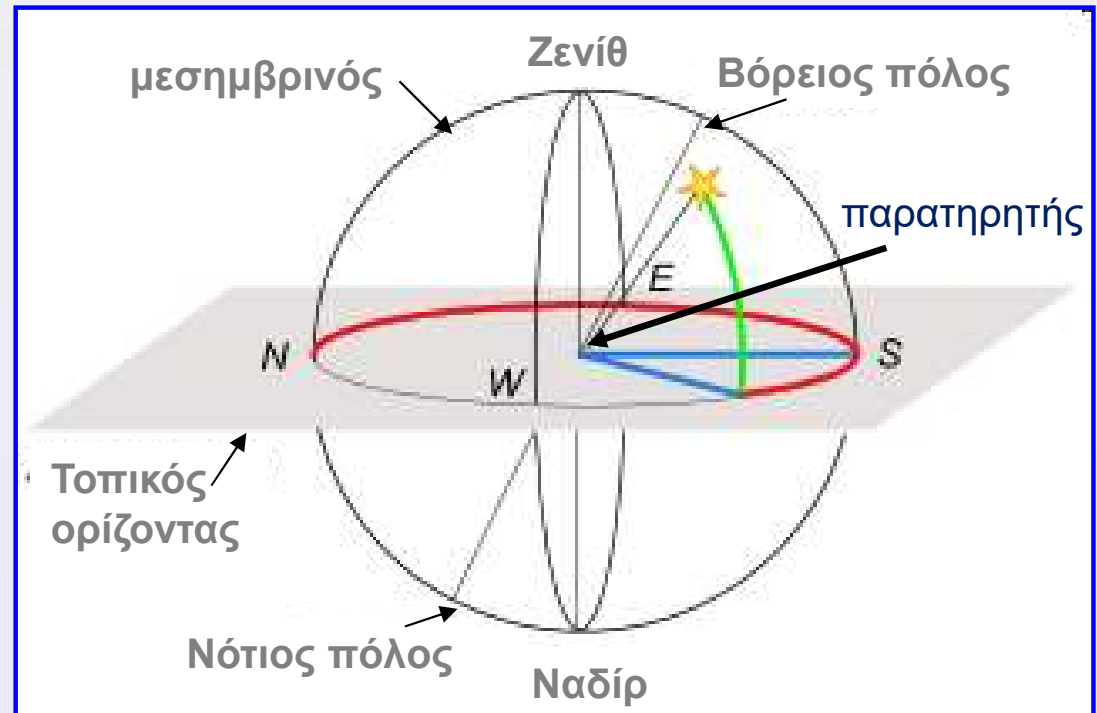
Βασικός κύκλος είναι ο ορίζοντας του τόπου

Πρώτος κάθετος ο μεσημβρινός του τόπου

(δηλ. ο μεσημβρινός που περνά από το ζηνίθ του τόπου και τέμνει τον ορίζοντα στον Β και στον Ν)

Η θέση του αστέρα ορίζεται από

- ✓ το **αζιμούθιο** (0-360°) με **αρχή μέτρησης από τον Βορρά** με κατεύθυνση προς τα ανατολικά, δηλ. ξεκινώντας από τον μέγιστο κύκλο του μεσημβρινού του τόπου, μέχρι τον μέγιστο κύκλο που περνά από τον αστέρα και το ζηνίθ του τόπου
- ✓ το **ύψος** μετρά το τόξο από τον ορίζοντα μέχρι την θέση του αστέρα, κατά μήκος του μέγιστου κύκλου που περνά από το ζηνίθ και τον αστέρα.
- ✓ Αντί του ύψους χρησιμοποιείται συχνά η **ζηνίθεια απόσταση** $zen+alt=90^\circ$



Οι οριζόντιες συντεταγμένες εξαρτώνται και από τον τόπο και από τον χρόνο της παρατήρησης

Ισημερινές συντεταγμένες

Ουράνια σφαίρα με κέντρο το κέντρο της γης

Βασικός κύκλος: ο ουράνιος ισημερινός

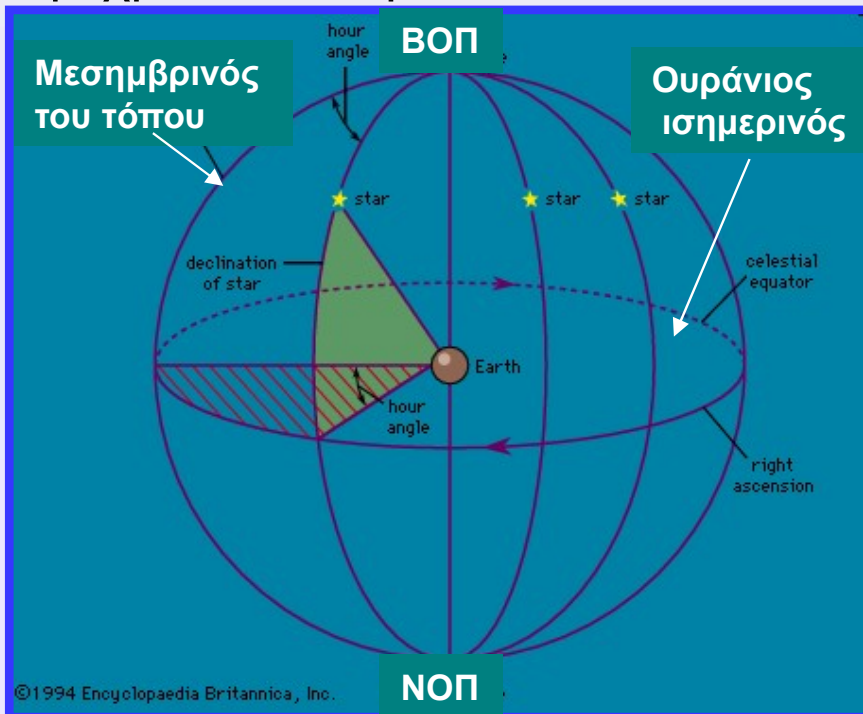
Πρώτος κάθετος: ο μεσημβρινός του τόπου

Ωριαίος κύκλος: μέγιστος κύκλος που περνά από τον αστέρα και τον βόρειο ουράνιο πόλο

ισημερινές συντεταγμένες:

ωριαία γωνία , HA (hour angle): τόξο πάνω στον ουράνιο ισημερινό, μεταξύ μεσημβρινού και ωριαίου του αστέρα 0° - 360° (ή 0 - 24^h) **αυξάνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά (κατά την ανάδρομη φορά)**

απόκλιση , δ (declination, Dec) τόξο πάνω στον ωριαίο, από το ισημερινό επίπεδο μέχρι τον αστέρα

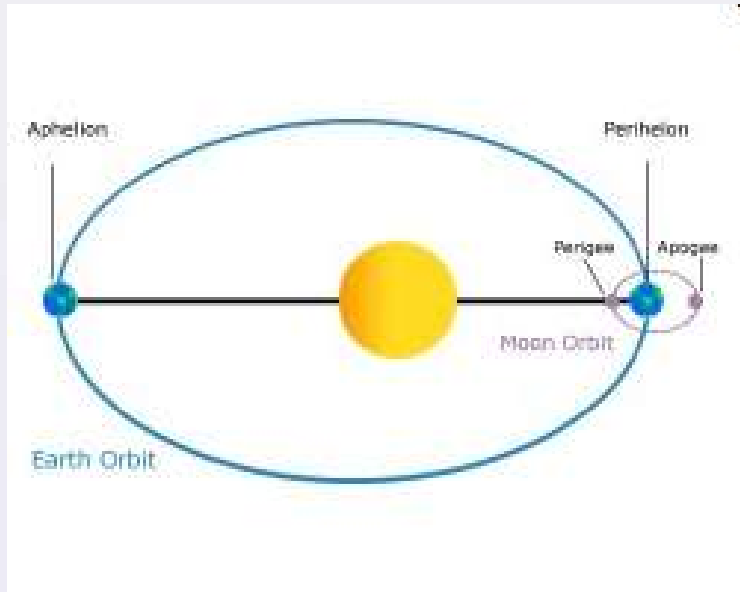


0° έως 90° από τον ισημερινό προς τον ΒΠ
 0° έως -90° από τον ισημερινό προς τον ΝΠ

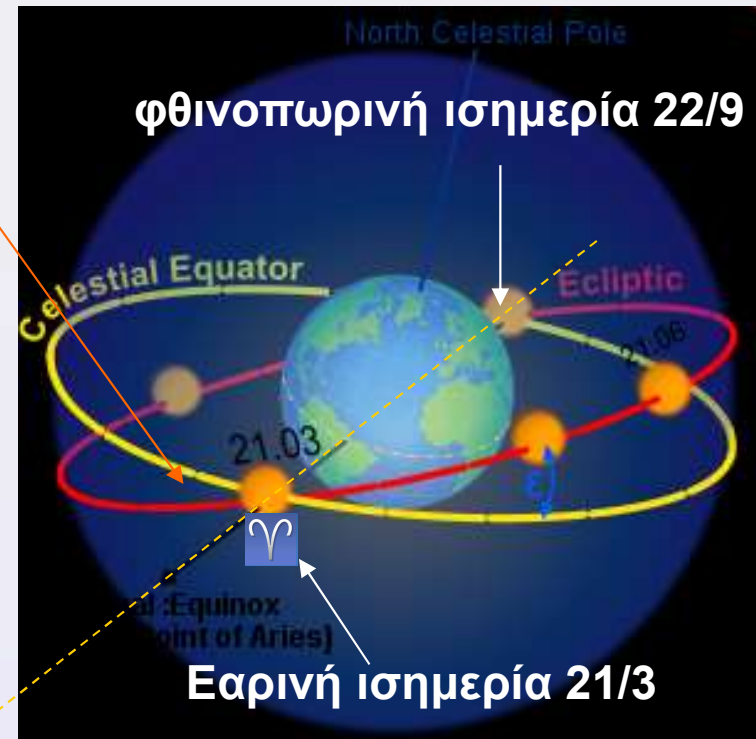
Παρατηρήσεις

- ❖ Η ωριαία γωνία εξαρτάται από το γεωγραφικό μήκος και τον χρόνο
- ❖ Η απόκλιση είναι ανεξάρτητη από τον τόπο και τον χρόνο
- ❖ Συνολικά, οι ισημερινές συντεταγμένες αποτελούν ένα Τοπικό Σύστημα Συντεταγμένων

Εκλειπτική



Λόξωση




Γραμμή των ισημεριών(equinox)

- ❖ Η Γη κινείται γύρω από τον ήλιο κατά την ορθή φορά, με σταθερή εμβαδική ταχύτητα (2^{ος} ν. Κεπλερ) και διαγράφει σε ένα έτος έλλειψη (1^{ος} ν. Κεπλερ) που στη μια εστία της είναι ο ήλιος
- ❖ Αποτέλεσμα της κίνησης αυτής είναι η φαινόμενη κίνηση του ήλιου πάνω στην ουράνια σφαίρα κατά την ανάδρομη φορά: η τομή της ουράνιας σφαίρας με το επίπεδο της γήινης τροχιάς είναι η **εκλειπτική**
- ❖ **Λόξωση** : η γωνία μεταξύ του ισημερινού επιπέδου και της εκλειπτικής


Ουρανογραφικές συντεταγμένες RA, Dec (α , δ)

Ουράνια σφαίρα με κέντρο το κέντρο της γης

Βασικός κύκλος: ο ουράνιος ισημερινός

Πρώτος κάθετος: ο ωριαίος του σημείου 

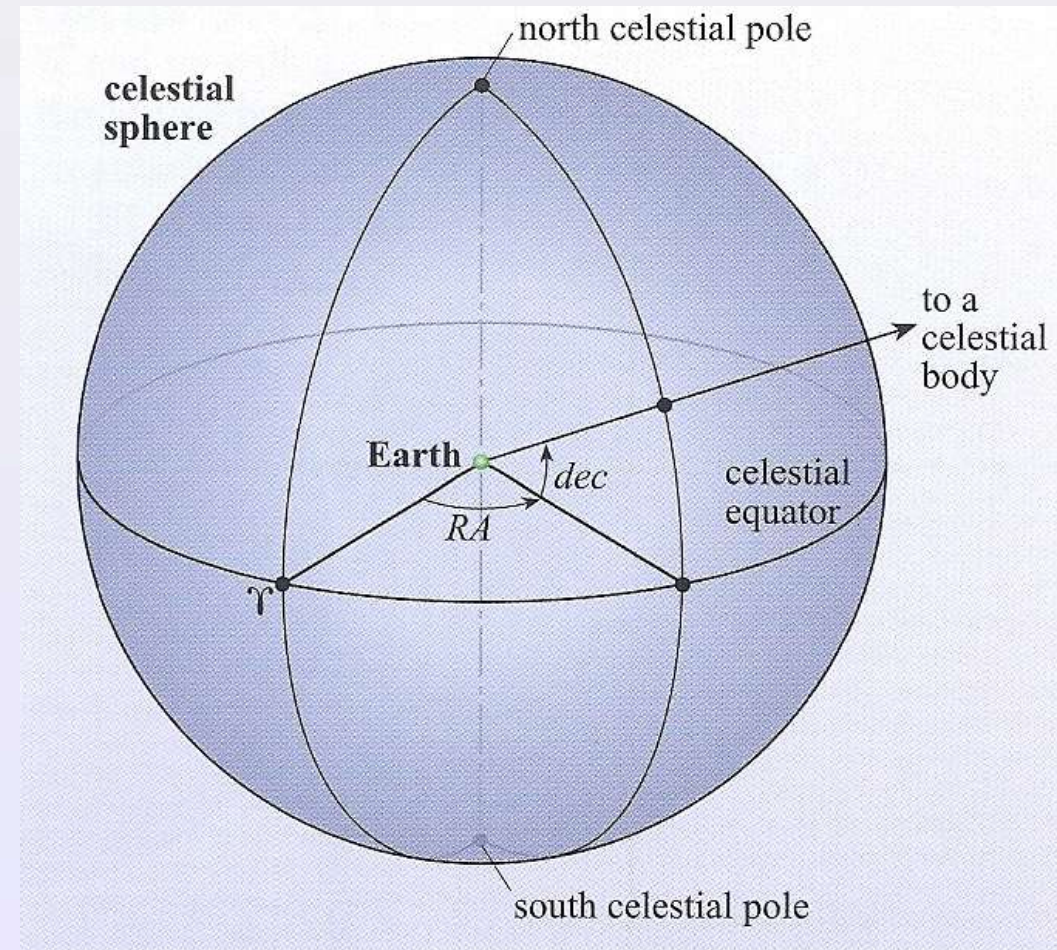
Αρχή μέτρησης (το μηδέν) του ουρανογραφικού μήκους είναι σταθερό ως προς τους αστέρες

(σημείο εαρινής ισημερίας )

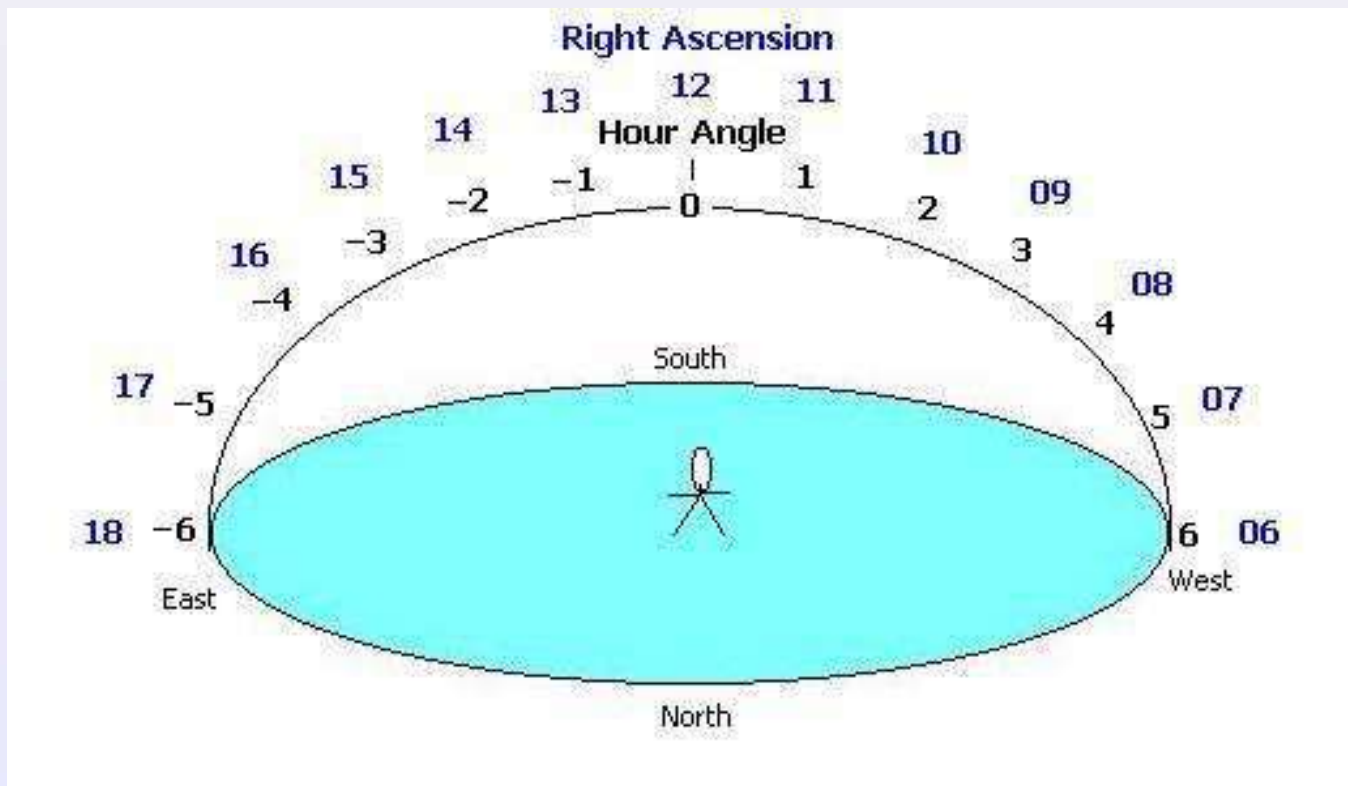
Το ουρανογραφικό πλάτος λέγεται **απόκλιση (declination, Dec)** – όπως στις ισημερινές συντεταγμένες 0° έως 90° (N) ή 0° έως -90° (S)

Το ουρανογραφικό μήκος λέγεται **ορθή αναφορά (right ascension, RA)** αυξάνεται από Δ προς Α $0-24^h$, ή $0-360^\circ$

(η γη θεωρείται σημειακή στο διπλανό σχήμα)



Σύγκριση ωριαίας γωνίας και ορθής αναφοράς



Εκλειπτικές συντεταγμένες (λ, β)

Βασικός κύκλος: η εκλειπτική

Πρώτος κάθετος: διέρχεται από τους πόλους της εκλειπτικής και από το εαρινό ισημερινό σημείο



Χρησιμοποιούνται κυρίως για μέλη του ηλιακού συστήματος

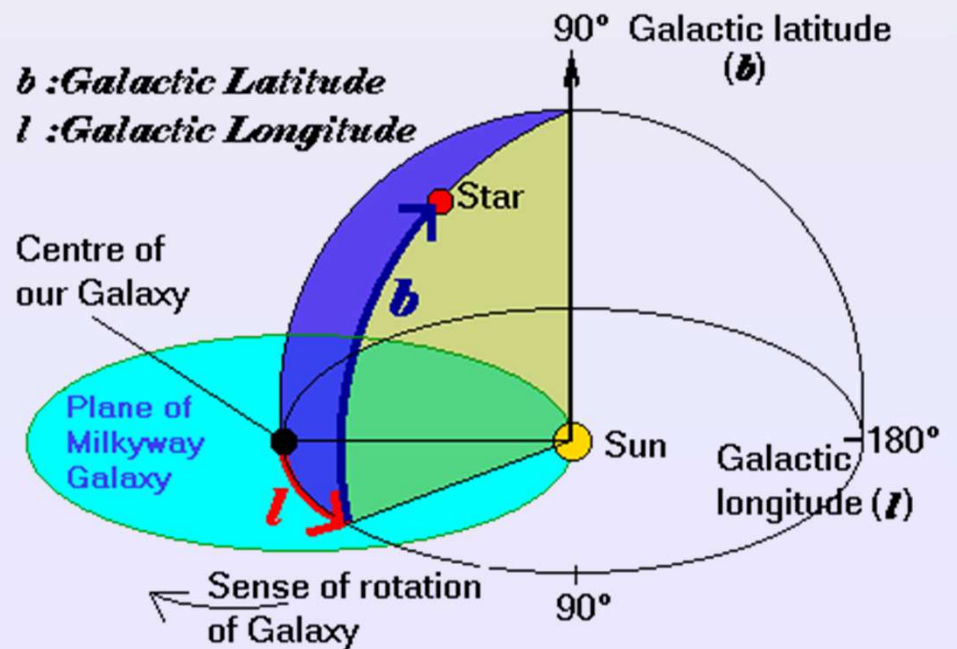
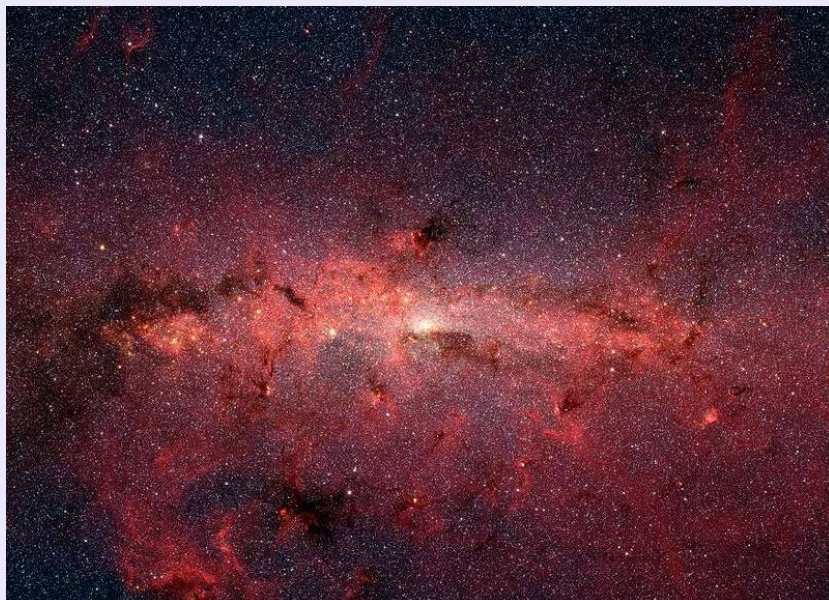
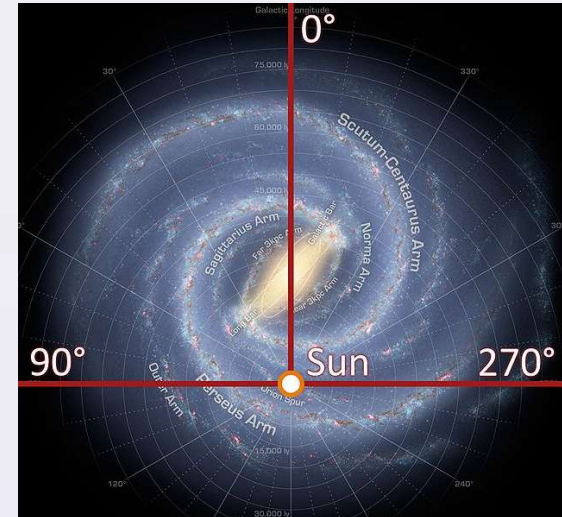
Ουράνια σφαίρα με κέντρο το κέντρο της γης

Γαλαξιακές συντεταγμένες

Στο σύστημα αυτό **βασικός κύκλος** είναι ο γαλαξιακός ισημερινός και **πρώτος κάθετος** ο μέγιστος κύκλος που περνά από τον Β και Ν πόλο του γαλαξία και το γαλαξιακό κέντρο

Γαλαξιακό μήκος l μετριέται πάνω στον γαλαξιακό ισημερινό με αρχή το C (γαλαξιακό Κέντρο) κατά την ορθή φορά (τιμές 0-360°)

Γαλαξιακό πλάτος b μετριέται πάνω στο μέγιστο κύκλο και παίρνει τιμές $\pm 90^\circ$

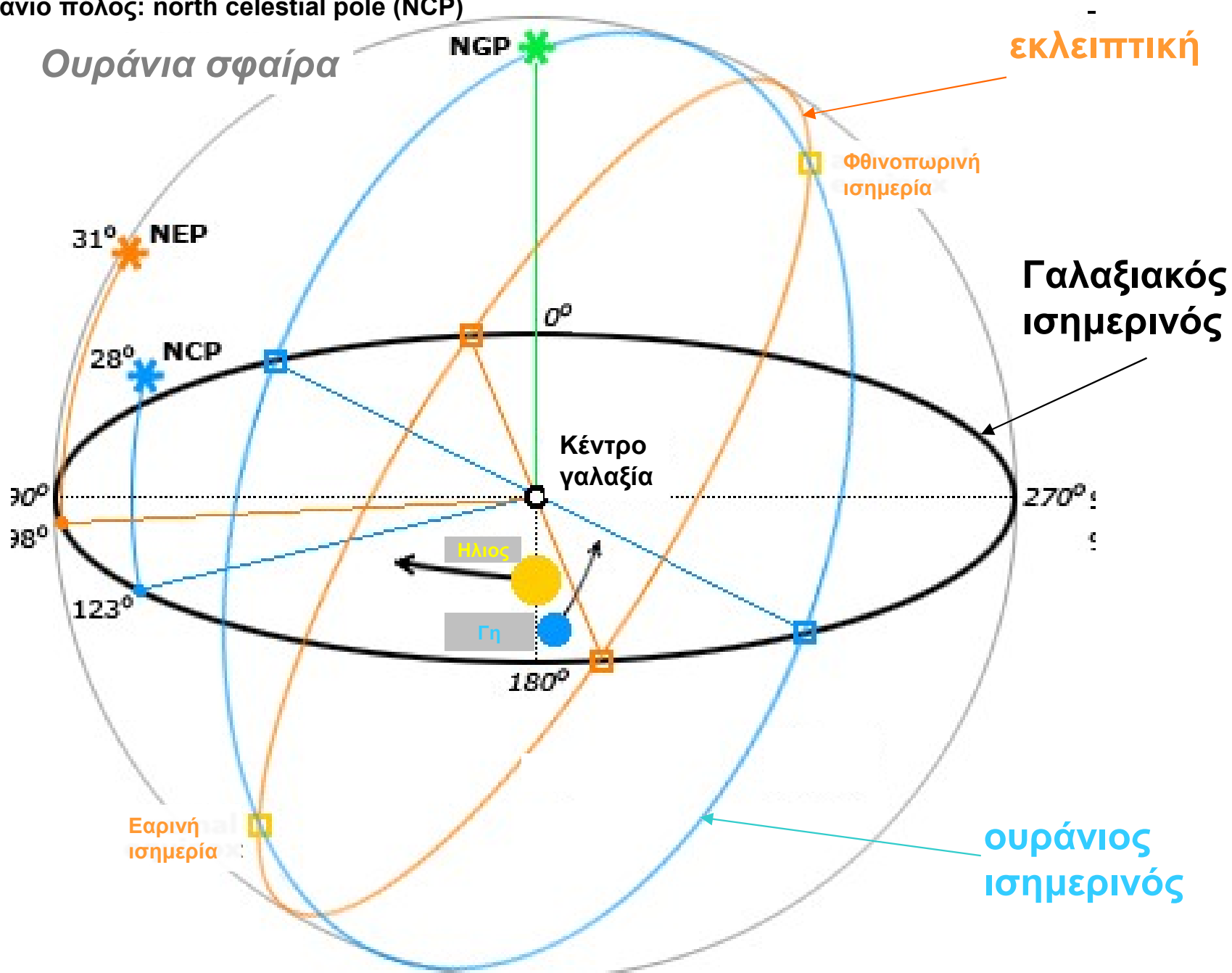


Ο σχετικός προσανατολισμός των ουρανογραφικών, εκλειπτικών και γαλαξιακών συστημάτων συντεταγμένων

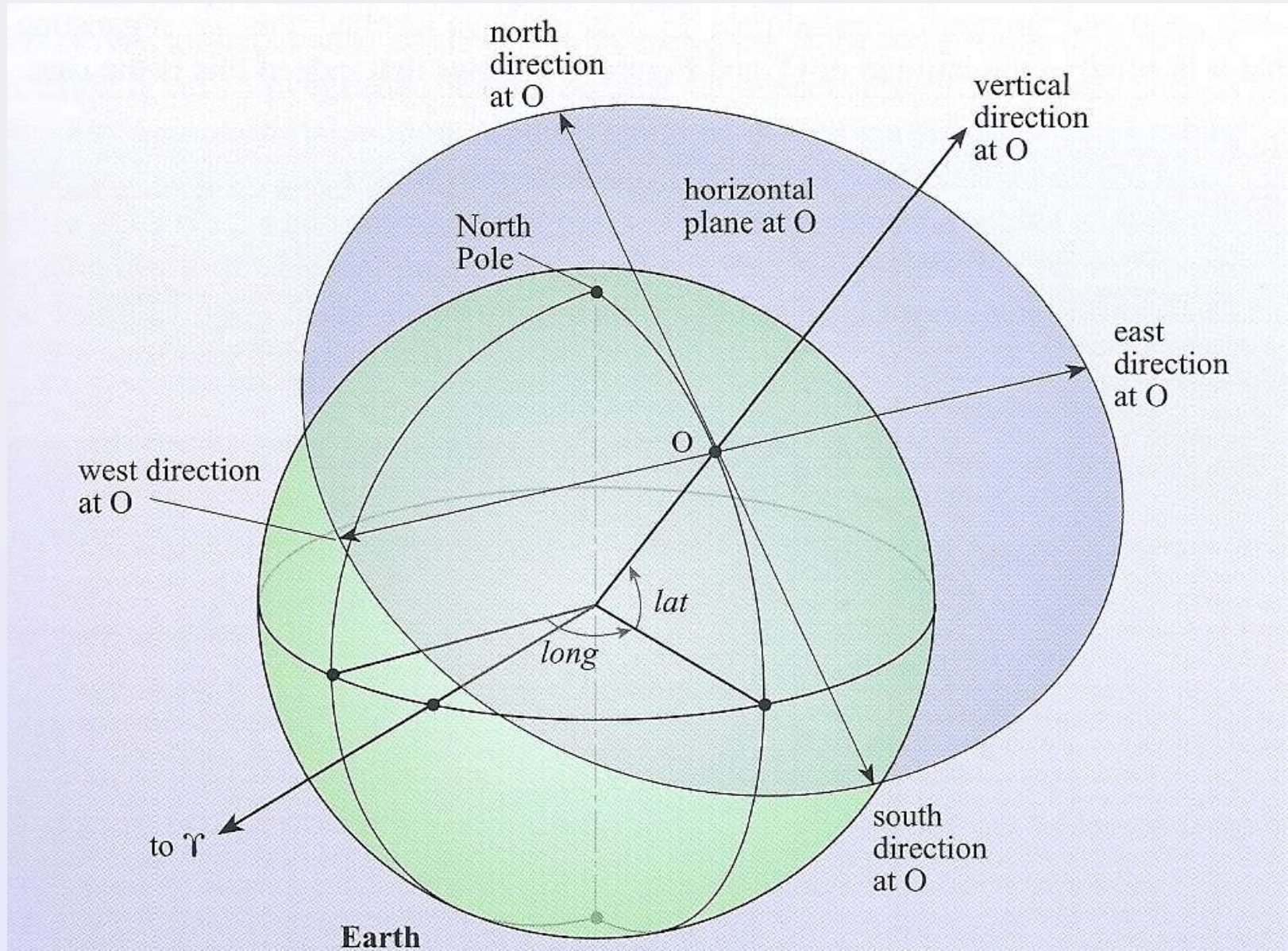
Βόρειος γαλαξιακός πόλος : north galactic pole (NGP),

Βόρειος εκλειπτικός πόλος : north ecliptic pole (NEP)

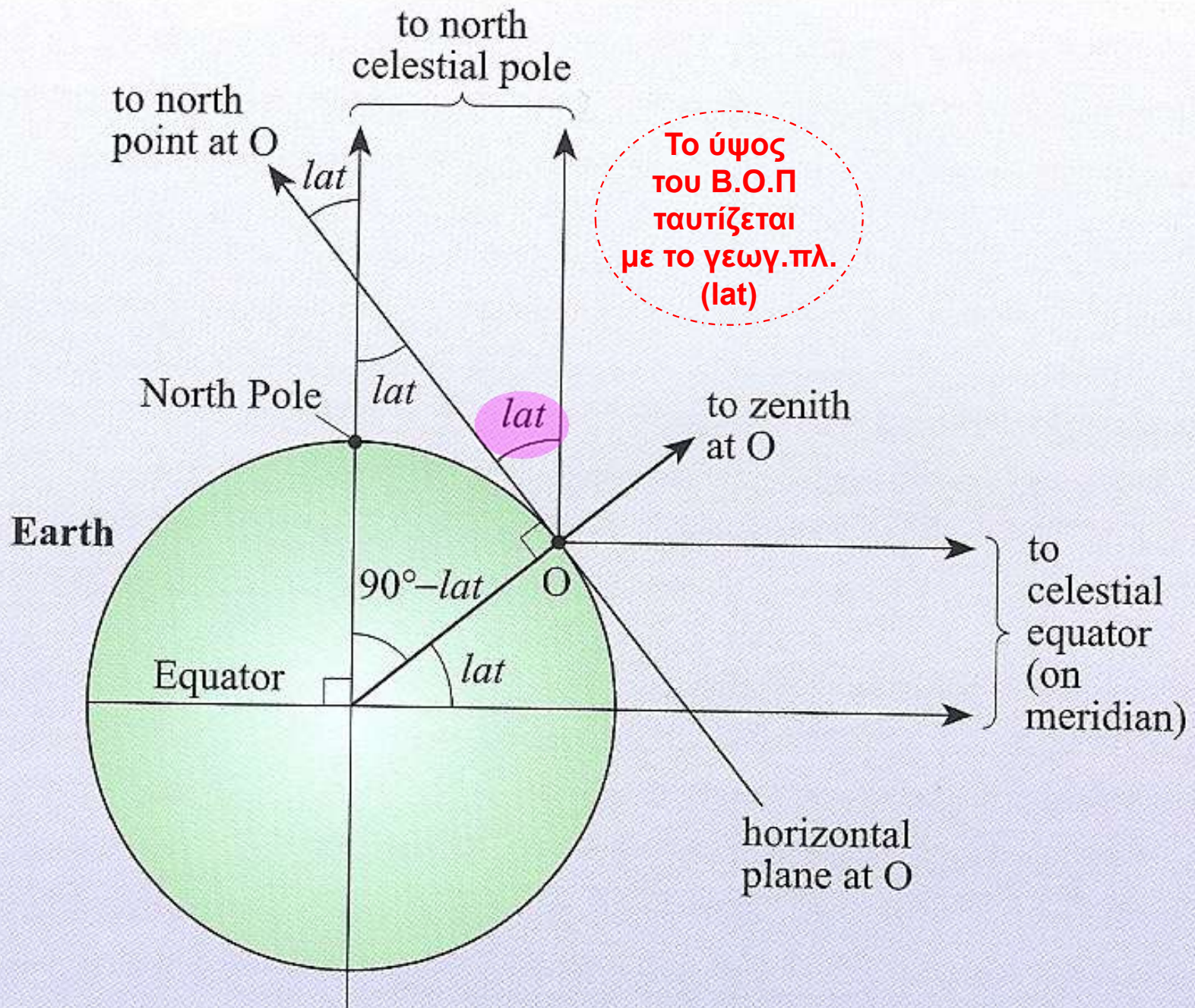
Βόρειος ουράνιο πόλος : north celestial pole (NCP)

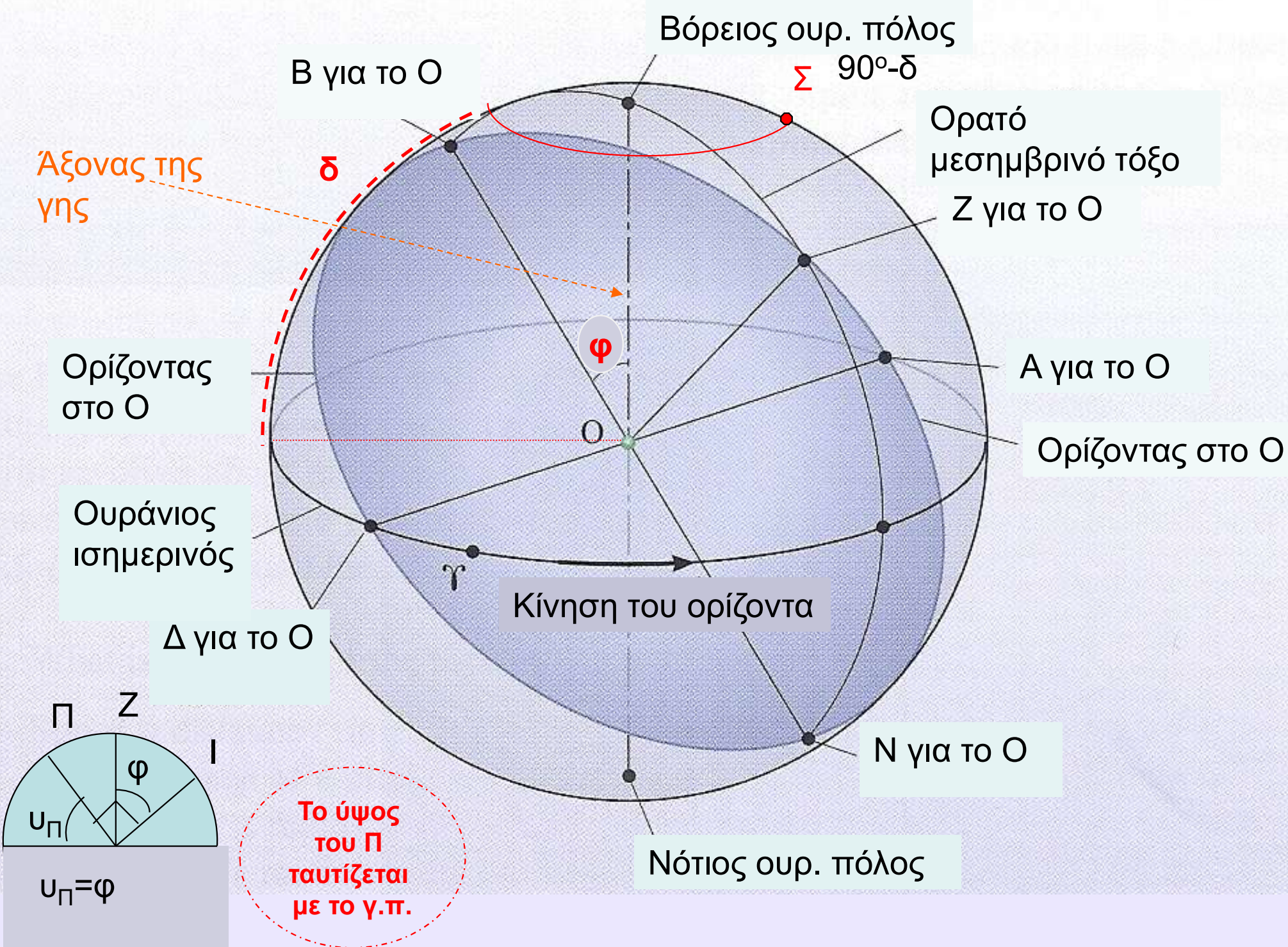


Τι βλέπουμε μια ορισμένη στιγμή στον ουρανό σε ένα συγκεκριμένο τόπο;



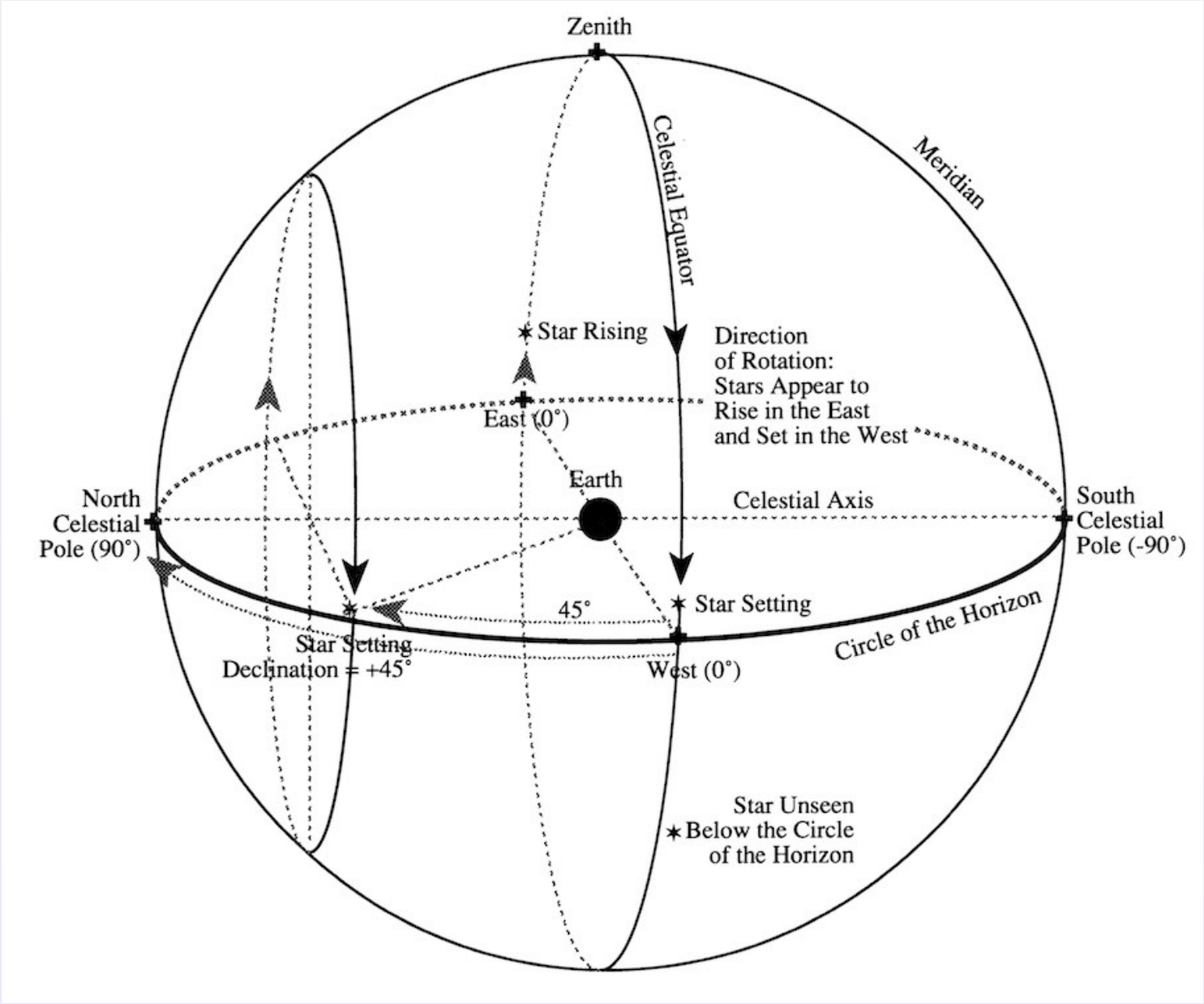
Ο παρατηρητής στο O μπορεί να δει μόνο το μισό του ουρανού που είναι πάνω από το οριζόντιο επίπεδο (ορίζοντας του τόπου) - ορατό και μη ορατό ημισφαίριο





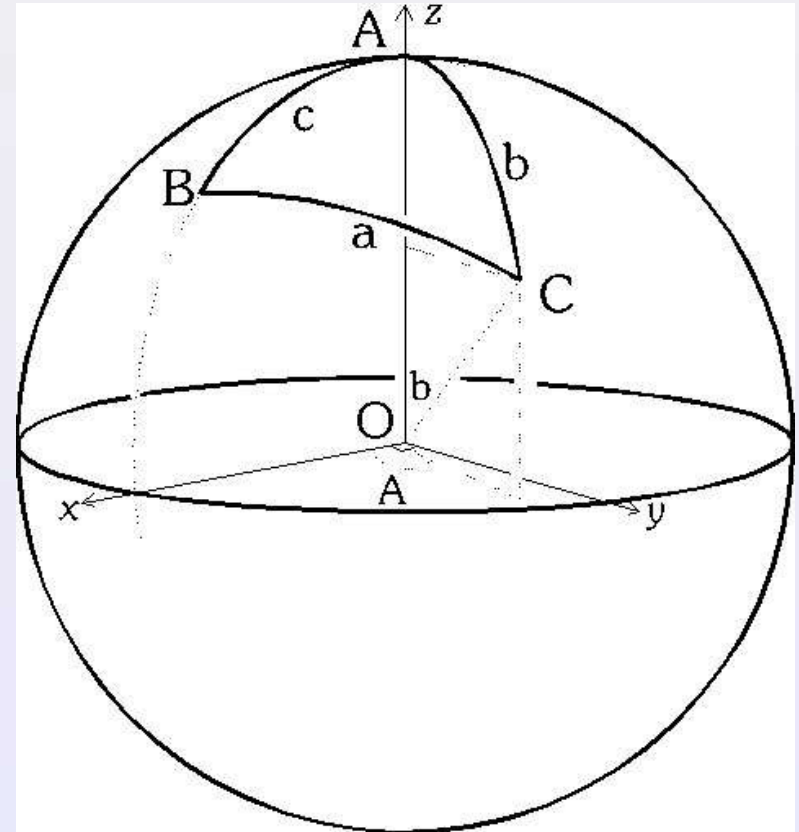
Ανατολή – δύση αστέρων

- Αν το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή είναι μεταξύ 0° και 90° η μορφή της ουράνιας σφαίρας λέγεται **κεκλιμένη ή πλάγια**.
- Ο **μικρός κύκλος**, που περνά από τη θέση του αστέρα και είναι παράλληλος προς το ισημερινό μπορεί να τέμνει ή όχι τον ορίζοντα του τόπου.
 - Αν τον τέμνει, ο αστέρας είναι **αμφιφανής**, δηλ. ανατέλλει και δύει στον τόπο
 - Αν δεν τον τέμνει, ο αστέρας μπορεί να είναι **αιφανής**, ή **αφανής**.
- Από το σημείο της ανατολής μέχρι το σημείο της δύσης οι αστέρες διαγράφουν το λεγόμενο **ημερήσιο τόξο** του κύκλου απόκλισής τους (αντίστοιχα από τη δύση μέχρι την ανατολή τους το **νυκτερινό τόξο**).
- Η μέγιστη τιμή ύψους του ημερήσιου τόξου είναι η άνω **μεσημβρινή διάβαση** του αστέρα ή η μεσημβρία για τον Ήλιο (αντίστοιχα η κάτω μεσημβρινή διάβαση του αστέρα ή το μεσονύκτιο για τον Ήλιο.)



Σφαιρικά Τρίγωνα

- ❖ **Σφαιρικό τρίγωνο** είναι ένα τμήμα της επιφάνειας της σφαίρας που ορίζεται από τρεις ανά δύο τεμνόμενους μέγιστους κύκλους
- ❖ Το σφαιρικό τρίγωνο έχει τρεις πλευρές και τρεις γωνίες, αλλά και οι πλευρές του εκφράζονται ως γωνίες (που υποτείνονται από το κέντρο της σφαίρας)
- ❖ Ένα σφαιρικό τρίγωνο στην επιφάνεια μιας σφαίρας είναι πλήρως ορισμένο αν είναι γνωστά οποιαδήποτε 3 από τα 6 στοιχεία του



Χρήσιμες σχέσεις στη σφαιρική τριγωνομετρία:

Σχέση του συνημιτόνου:

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

Σχέση του ημιτόνου:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin A} = \frac{\sin \beta}{\sin B} = \frac{\sin \gamma}{\sin \Gamma}$$

Σχέση των πέντε στοιχείων:

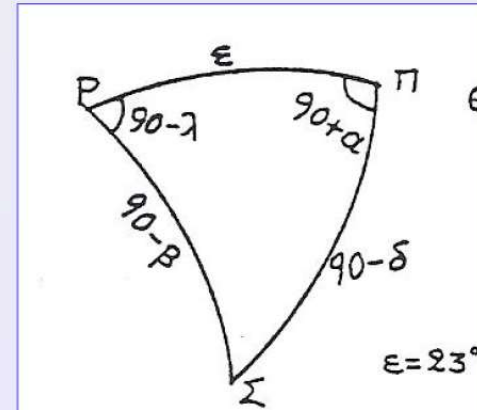
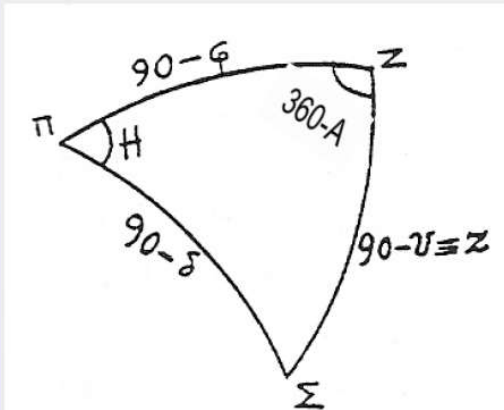
$$\sin \gamma \cos A = \cos \alpha \sin \beta - \sin \alpha \cos \beta \cos \Gamma$$

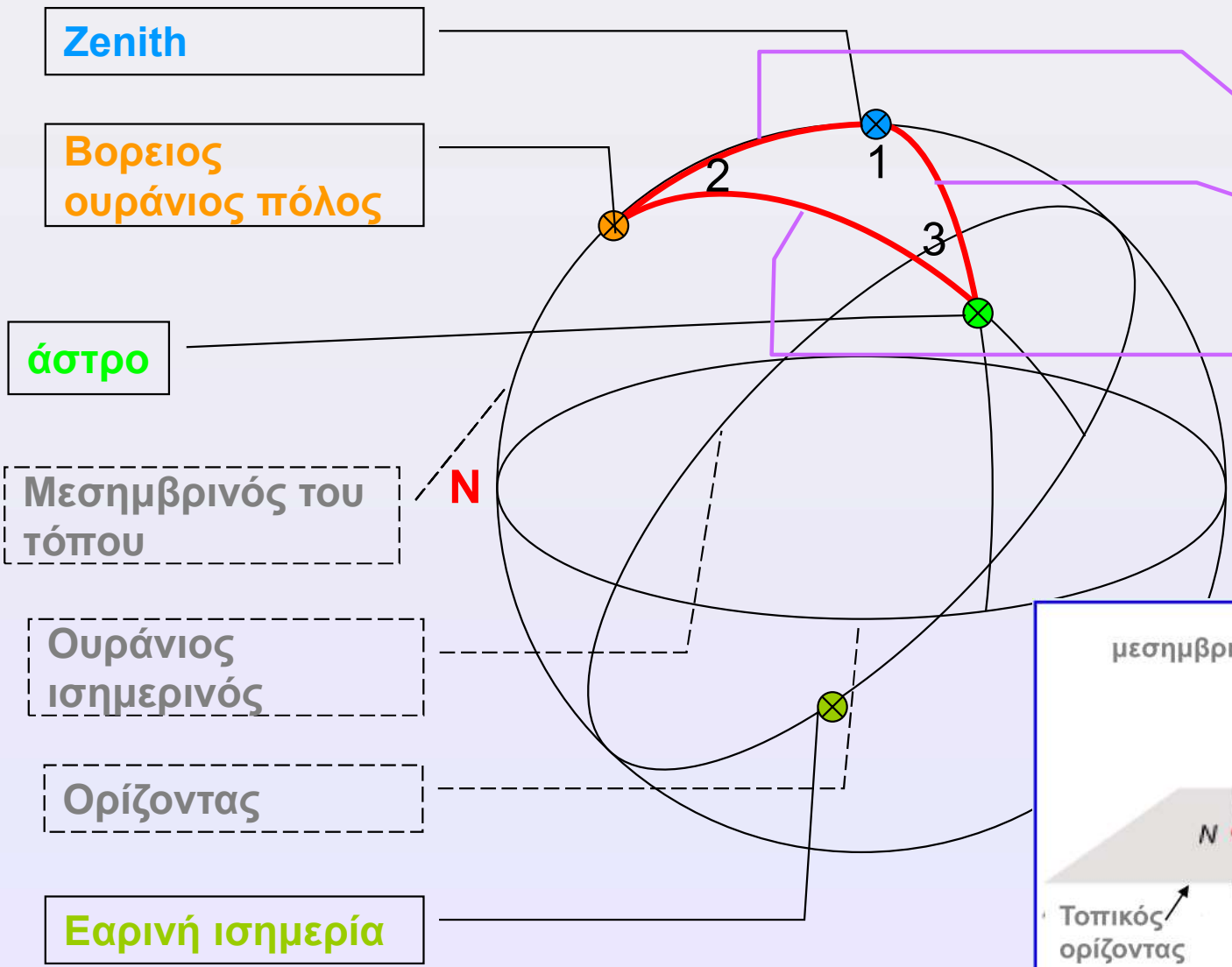
Σχέση των τεσσάρων διαδοχικών στοιχείων:

$$\cos \beta \cos \Gamma = \sin \beta \cot \alpha - \sin \Gamma \cot A$$

Τρίγωνα θέσης ενός αστέρα

- Τρίγωνο θέσης ενός αστέρα είναι οποιοδήποτε σφαιρικό τρίγωνο στην ουράνια σφαίρα που να έχει τον αστέρα στη μία κορυφή του.
- Παραδείγματα τριγώνων θέσης



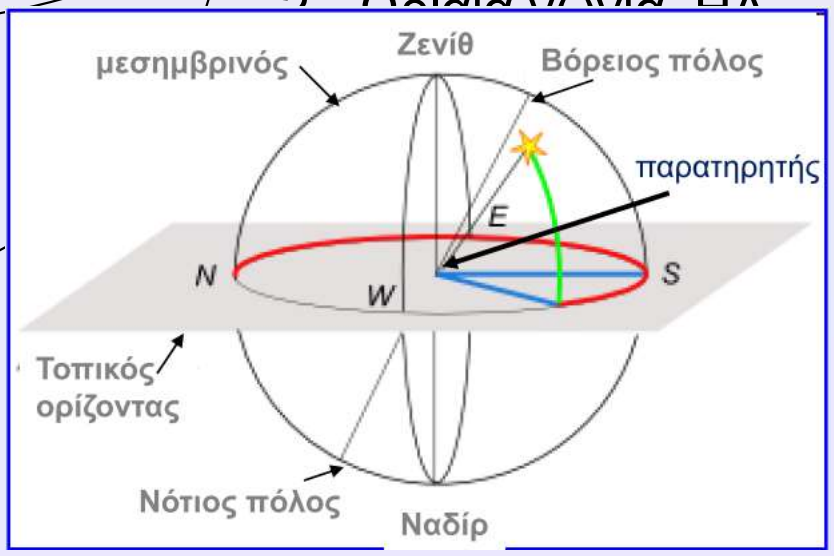


Πλευρές :

- 90° – γεωγρ.πλατος
- 90° – ύψος
- 90° - απόκλιση

Γωνίες :

1. 360° – αζιμούθιο
2. Οσεία γωνία ΗΛ



Μετατροπή μεταξύ ισημερινών και οριζόντιων συντεταγμένων

εδω

Τρίγωνο θέσης ενός αστέρα Σ :
το σφαιρικό τρίγωνο $Z\Pi\Sigma$ το οποίο έχει:

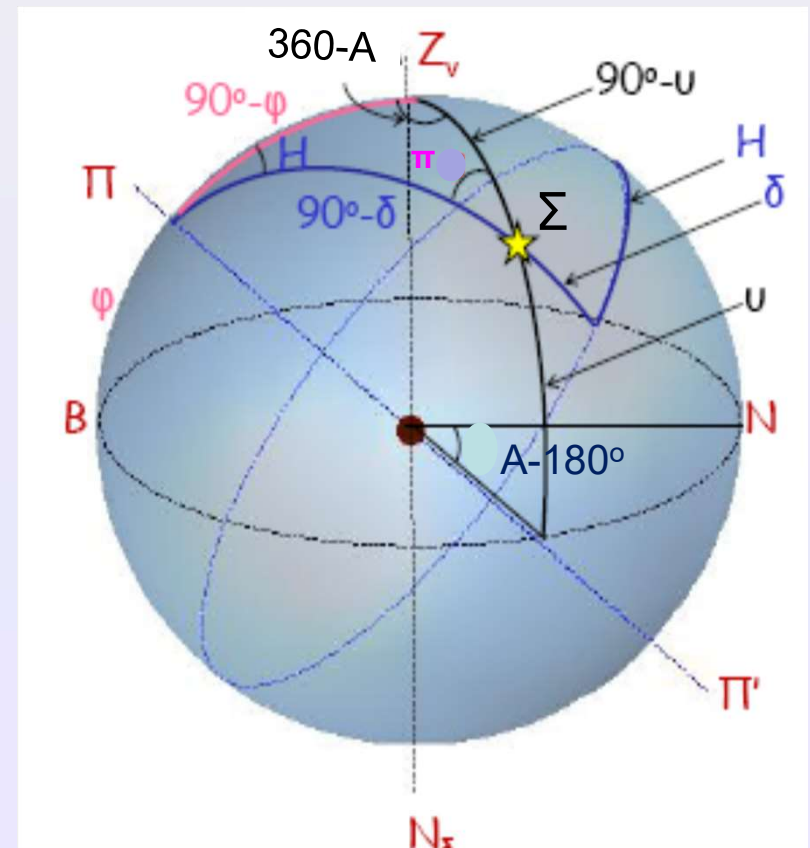
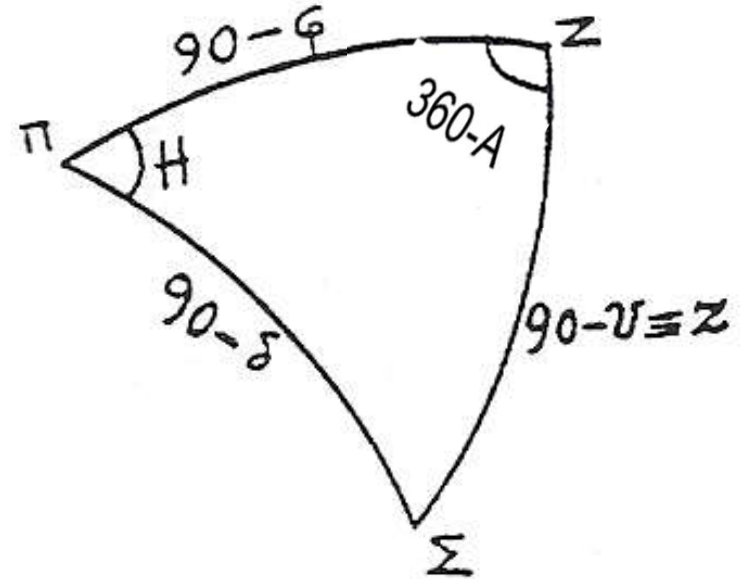
ως κορυφές τον Βόρειο Πόλο του ουρανού Π , το ζενίθ του τόπου Z και τον αστέρα Σ

ως πλευρές: το συμπλήρωμα πλάτους $\Pi Z = 90^\circ - \varphi$, τη ζενίθεια απόσταση $Z\Sigma = z = 90^\circ - u$ (όπου z η ζενίθεια απόσταση, u το ύψος) και τη πολική απόσταση $\Pi\Sigma = 90^\circ - \delta$

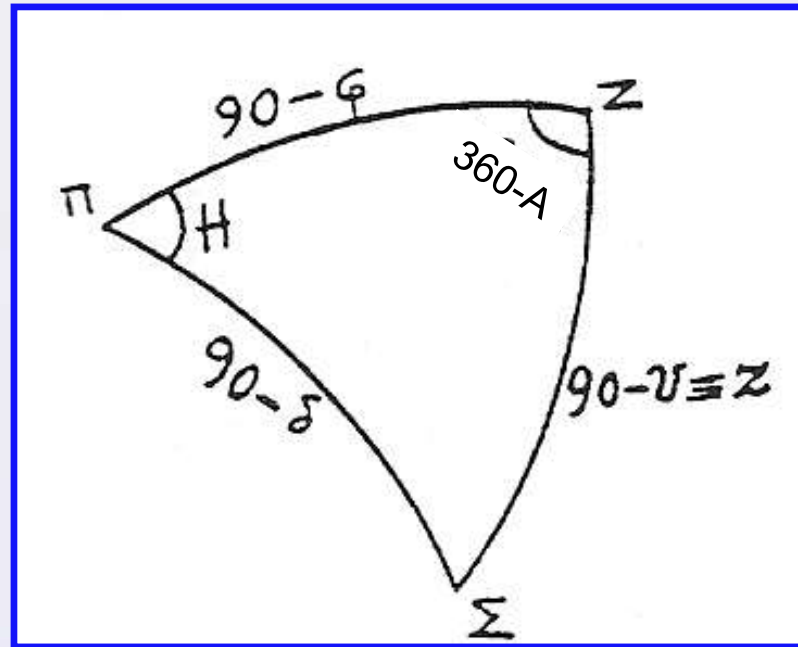
ως γωνίες: την ωριαία γωνία του αστέρα $Z\Pi\Sigma = H$, την γωνία του $(180^\circ + A)$, όπου A το αζιμούθιο και την παραλλακτική γωνία του αστέρα $\Pi\Sigma Z$, π

Παραλλακτική γωνία: γωνία μεταξύ του μεγίστου κύκλου που περνά από το Z και τον αστέρα και του ωριαίου κύκλου του αστέρα

Ωριαίος κύκλος του αστέρα: ο μέγιστος κύκλος που περνά από τον αστέρα και τους ουράνιους πόλους. Είναι κάθετος προς τον ουράνιο ισημερινό



Εύρεση σχέσης μεταξύ οριζόντιων και ισημερινών συντεταγμένων



Σχέση του συνημιτόνου:

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

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi) \cos(90^\circ - \upsilon) + \sin(90^\circ - \varphi) \sin(90^\circ - \upsilon) \cos(360^\circ - A)$$

δηλ. $\sin \delta = \sin \varphi \sin \upsilon + \cos \varphi \cos \upsilon \cos A$

$$\cos(90^\circ - \upsilon) = \cos(90^\circ - \delta) \cos(90^\circ - \varphi) + \sin(90^\circ - \delta) \sin(90^\circ - \varphi) \cos(H)$$

δηλ. $\sin \upsilon = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos H$

Σχέση μεταξύ ουρανογραφικών και εκλειπτικών συντεταγμένων

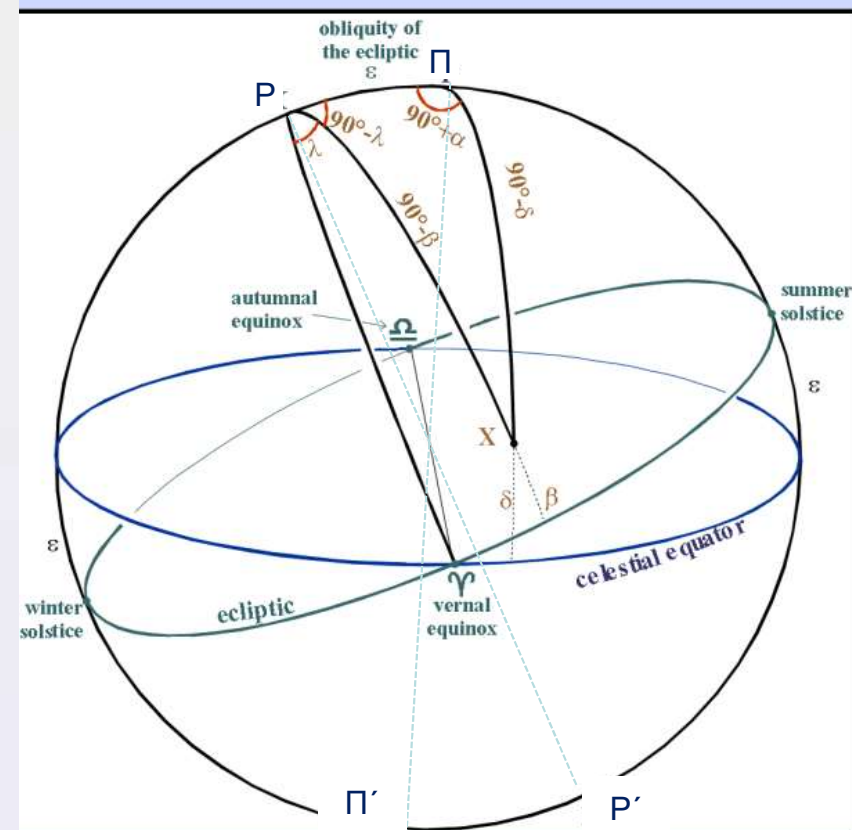
Μετατροπή από εκλειπτικές σε ουρανογραφικές συντεταγμένες:

Τύπος συνημιτόνων:

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

Τύπος ημιτόνων:

$$\sin\alpha / \sin A = \sin\beta / \sin B = \sin\gamma / \sin\Gamma$$



Οπότε έχουμε:

$$\cos(90-\delta) = \cos\epsilon \cos(90-\beta) + \sin\epsilon \sin(90-\beta) \cos(90-\lambda)$$

δηλ. $\sin\delta = \cos\epsilon \sin\beta + \sin\epsilon \cos\beta \sin\lambda$

Τύπος ημιτόνων:

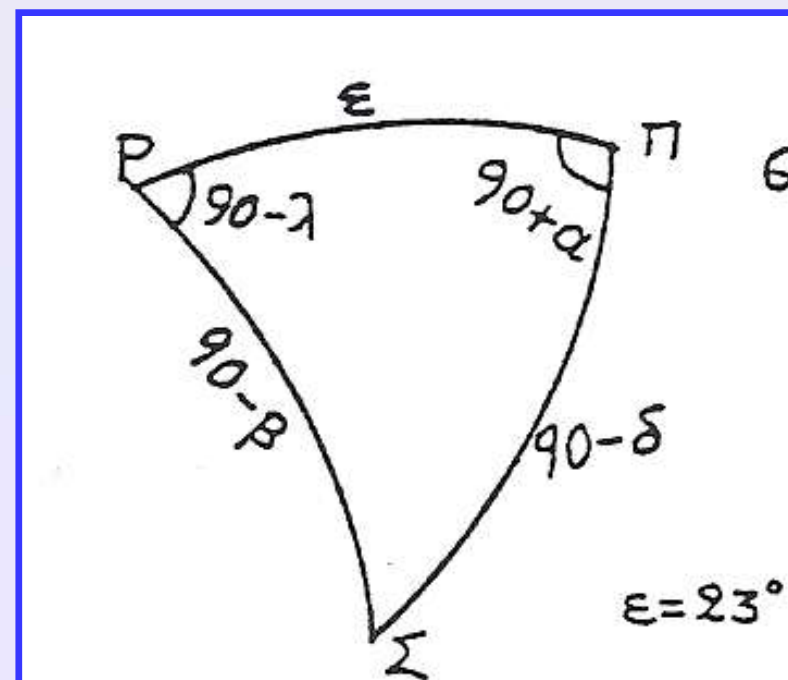
$$\sin(90+\alpha) \sin(90-\delta) = \sin(90-\lambda) \sin(90-\beta)$$

δηλ. $\cos\alpha \cos\delta = \cos\lambda \cos\beta$

Και αντίστροφα:

$$\sin\beta = \sin\delta \cos\epsilon - \cos\delta \sin\alpha \sin\epsilon$$

$$\cos\lambda \cos\beta = \cos\alpha \cos\delta$$



Φαινόμενα που μεταβάλλουν στις συντεταγμένες των ουρανίων σωμάτων

- Ακριβές σχήμα της Γης
- Σεληνοηλιακή μετάπτωση
- Κλόνηση του άξονα του κόσμου
- Πλανητική μετάπτωση
- Ατμοσφαιρική διάθλαση
- Ημερήσια, Ετήσια παράλλαξη
- Γεωκεντρική παράλλαξη
- Αποπλάνηση του φωτός
- Ιδία κίνηση των αστέρων

Η απόκλιση του σχήματος της Γης από την τέλεια σφαίρα : υπολογισμός βάσει αστρονομικών παρατηρήσεων

- ❑ Το ακριβές σχήμα της γης ονομάζεται γεωειδές και ορίζεται ως η επιφάνεια που είναι κάθετη προς την κατακόρυφο σε κάθε σημείο της
- ❑ Κατά προσέγγιση το σχήμα αυτό είναι ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής (περί τον άξονα περιστροφής της γης)
- ❑ Οι μεσημβρινοί της Γης δεν είναι μέγιστοι κύκλοι αλλά ελλείψεις με άξονες R_I και R_{II} επί του ισημερινού επιπέδου και κάθετα σε αυτό
- ❑ Συνέπεια του σχήματος της γης είναι το ότι το μήκος τόξου μιας μοίρας αυξάνει με το γεωγραφικό πλάτος
- ❑ Πλάτυνση του γεωειδούς ορίζεται:

$$\varpi = (R_I - R_{II}) / R_I$$

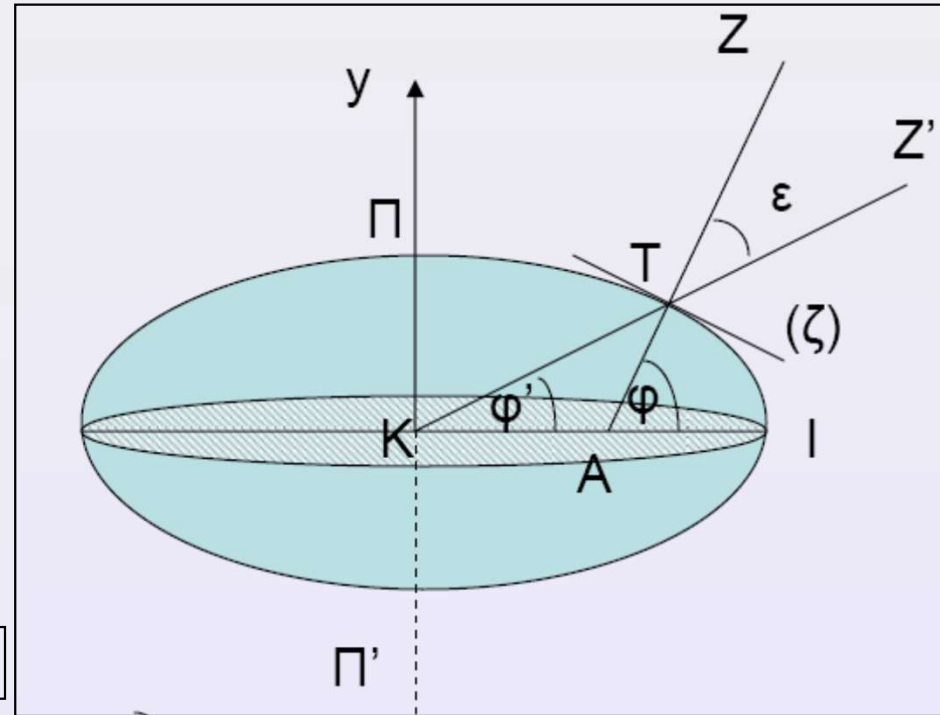
- Ευθεία (ζ): εφαπτομένη στην επιφάνεια της Γης στο σημείο T(x,y)
- TZ: κάθετος στην (ζ) στο σημείο T: **κατακόρυφος του τόπου**
- Γεωγραφικό πλάτος: $\varphi = \widehat{Z\hat{A}I}$
- Γεωκεντρικό πλάτος: $\varphi' = \widehat{Z'\hat{K}I}$
- **Αστρονομικό ζενίθ** Z
- **Γεωκεντρικό ζενίθ** Z'
- Απόκλιση της κατακορύφου

$$\varepsilon = \widehat{Z\hat{T}Z'} = \varphi - \varphi'$$

Από αστρονομικές μετρήσεις του φ βρίσκουμε

ότι:

$$\varepsilon = c \sin 2\varphi (1 - c \cos 2\varphi) + \dots \quad \boxed{c = 0.0034}$$



- **Μήκος της ακτίνας της Γης** σε ένα σημείο της επιφάνειάς της:

εξίσωση έλλειψης:

$$\frac{x^2}{R_I^2} + \frac{y^2}{R_{\Pi}^2} = 1$$

εξίσωση ευθείας ΚΤ
 $y = x \tan \varphi'$

$$\tan \varphi = \frac{y}{x} \cdot \left(\frac{R_I}{R_{\Pi}} \right)^2$$

$$x^2 = \frac{R_I^4}{R_I^2 + R_{\Pi}^2 \tan^2 \varphi}$$

$$y^2 = \frac{R_{\Pi}^4 \tan^2 \varphi}{R_I^2 + R_{\Pi}^2 \tan^2 \varphi}$$

$$R^2 = x^2 + y^2 =$$

$$= R_I^2 \frac{(\cos^2 \varphi)(1 - \varpi)^4 \sin^2 \varphi}{(\cos^2 \varphi)(1 - \varpi)^2 \sin^2 \varphi}$$

$$\varpi = (R_I - R_{\Pi}) / R_I$$

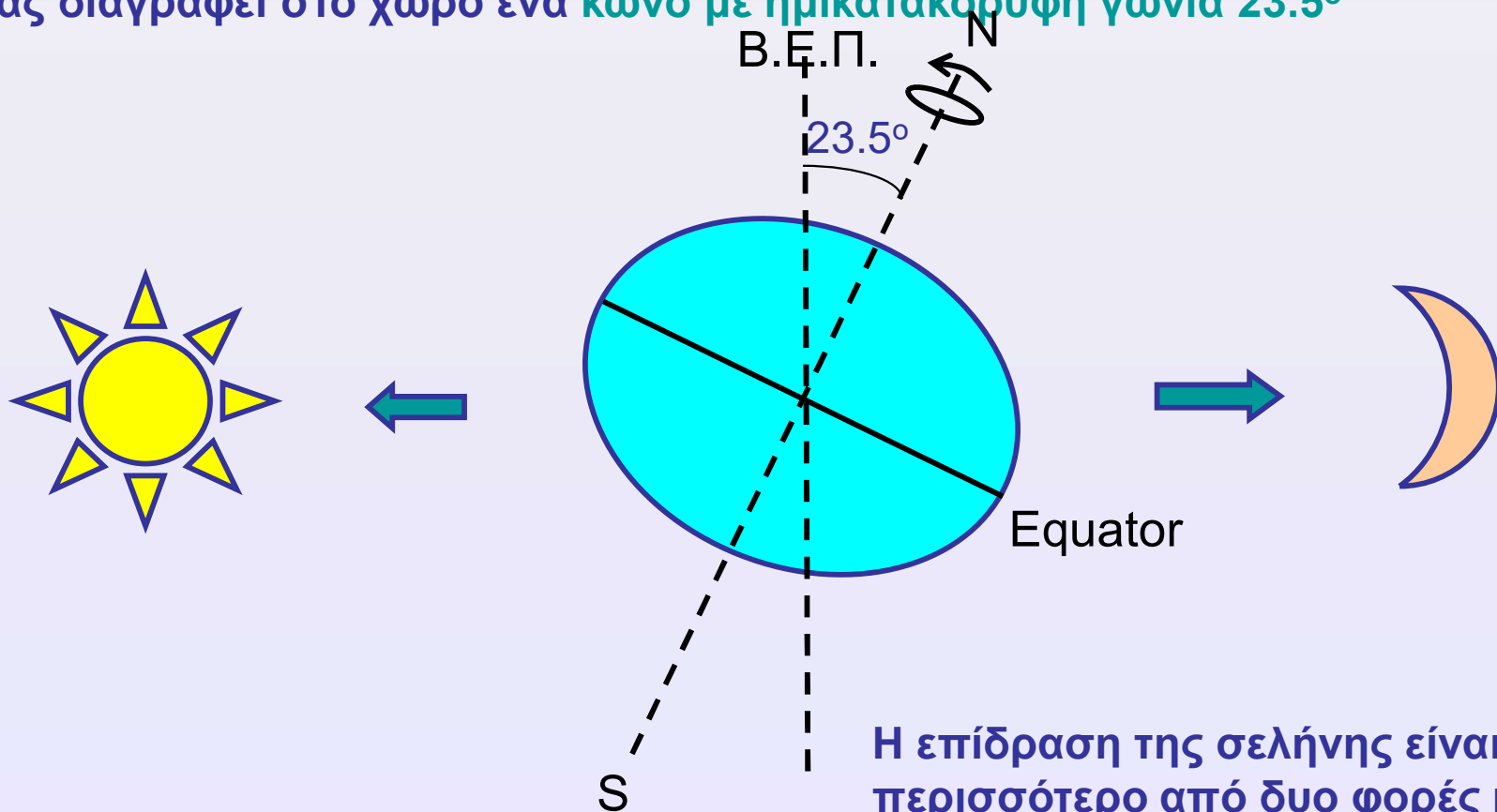
Κίνηση της Γης ως στερεό σώμα

- Όταν σε μια οποιαδήποτε περιστρεφόμενη ασύμμετρη κατανομή μάζας ασκούνται εξωτερικές ροπές (Μηχανική I) , προκαλείται μετάπτωση και κλόνηση του άξονα περιστροφής
- Όπως είδαμε η γη δεν είναι σφαιρική αλλά έχει σχήμα «γεωειδές» (λόγω της περιστροφής της)
- Παρατηρήσεις των μεταβολών στα τροχιακά επίπεδα τεχνητών δορυφόρων δείχνουν ότι η γη τείνει να έχει σχήμα αχλαδιού: υπάρχει περισσότερη μάζα στο νότιο ημισφαίριο

Ο ήλιος (και αντίστοιχα η σελήνη) έλκει ισχυρότερα το πλησιέστερο ισημερινό εξόγκωμα απ' ότι το πιο απομακρυσμένο, κι έτσι ασκείται ένα ζεύγος στον άξονα της γης με φορά που θα έτεινε (αν η Γη δεν περιστρεφόταν) να τον προσανατολίσει κάθετα στο επίπεδο της τροχιάς της γης (εκλειπτική).

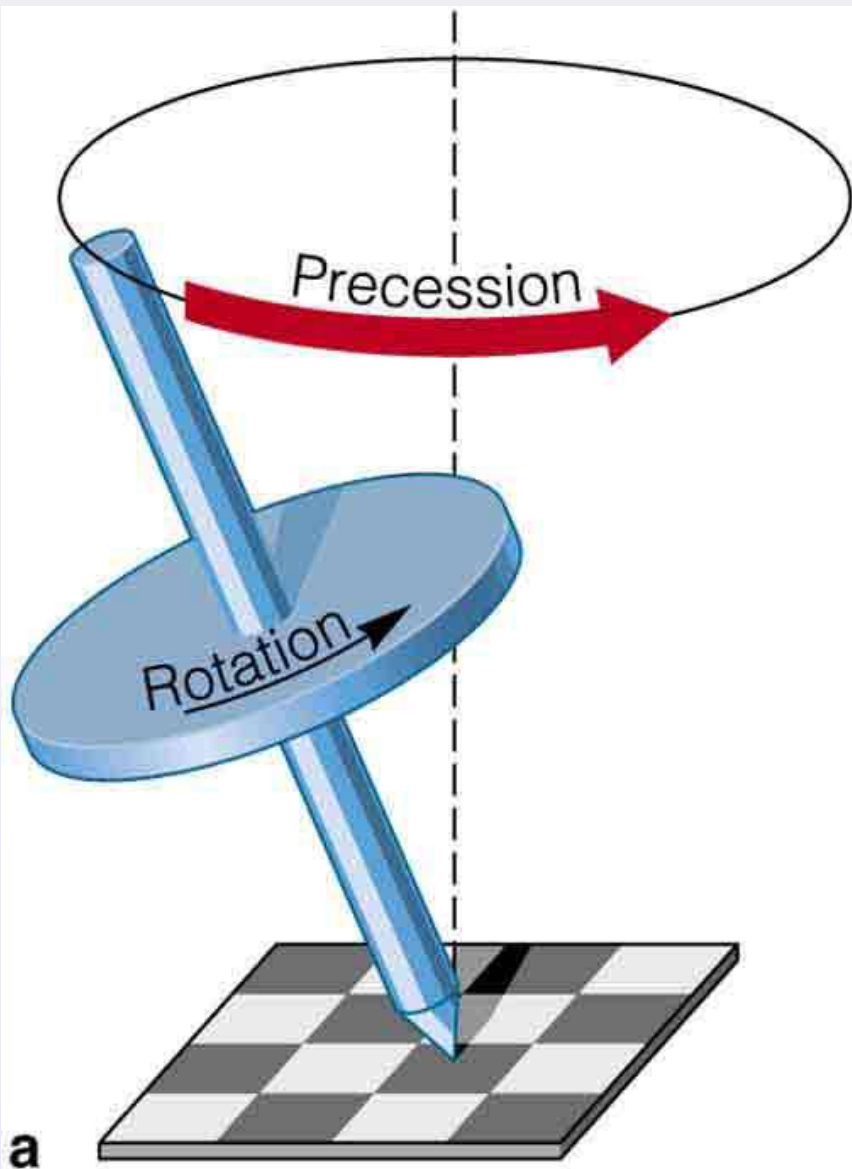
Όμως λόγω της ημερήσιας γήινης περιστροφής, η πραγματική έκβαση είναι ο άξονάς της να πραγματοποιεί μετάπτωση γύρω από την κάθετο στο εκλειπτικό επίπεδο.

Επειδή ο ισημερινός αποκλίνει από το επίπεδο της εκλειπτικής περίπου 23.5° , ο άξονας διαγράφει στο χώρο ένα κώνο με ημικατακόρυφη γωνία 23.5°



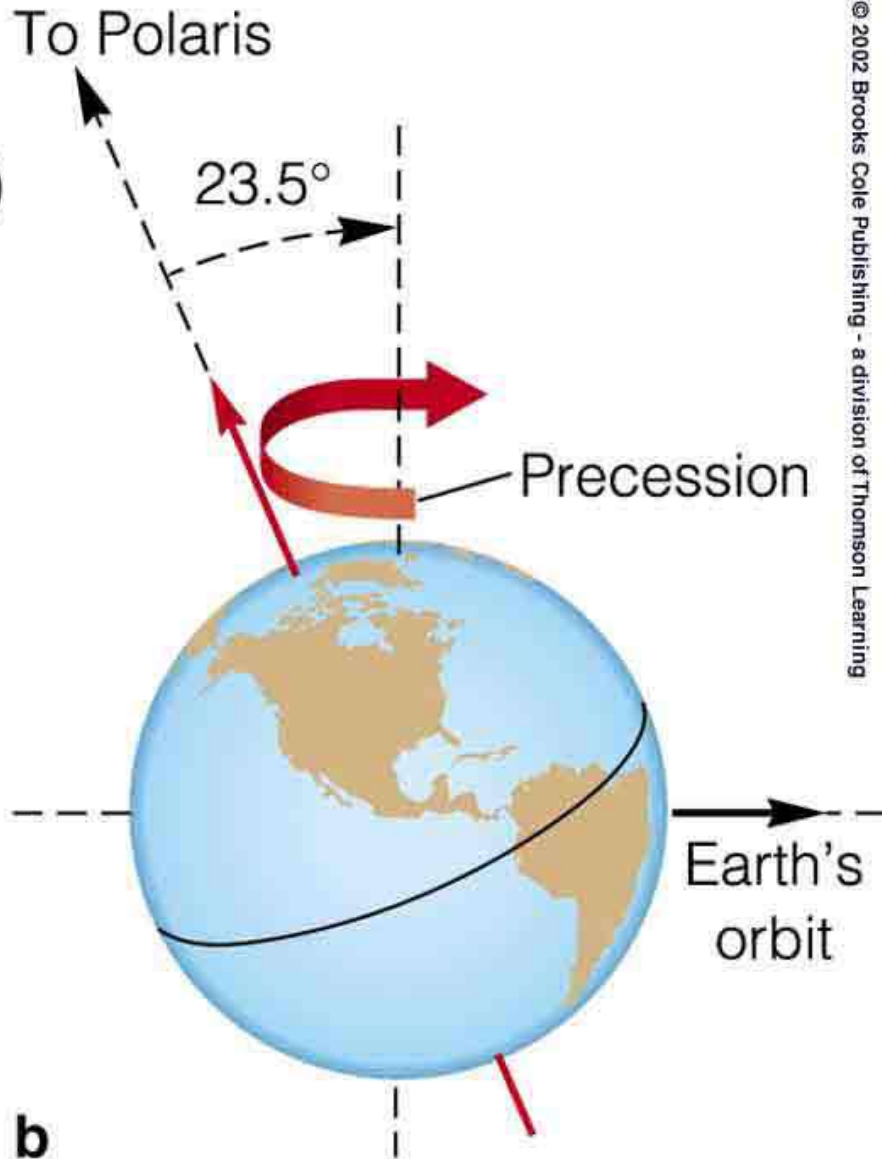
ασκηση

Η επίδραση της σελήνης είναι περισσότερο από δυο φορές μεγαλύτερη από του ήλιου αλλά είναι πολυπλοκότερη διότι το επίπεδο της τροχιάς της δεν είναι σταθερό



a

© 2004 Thomson - Brooks Cole



b

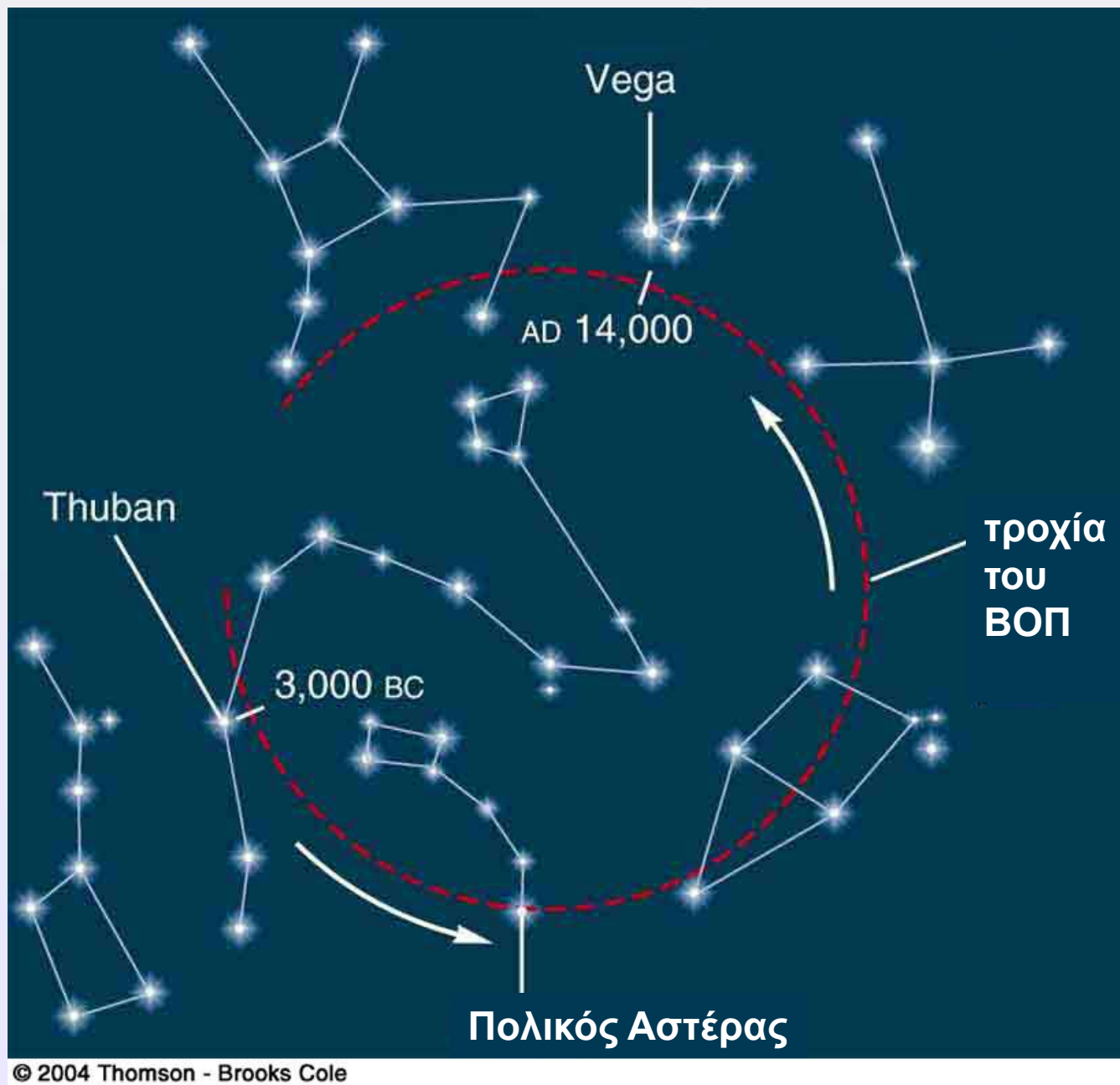
© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

Διορθώσεις λόγω της μετάπτωσης του άξονα του κόσμου

Σεληνοηλιακή Μετάπτωση των ισημεριών

- ❑ Ο συνδυασμός των ροπών από την σελήνη και τον ήλιο προκαλούν την κίνηση του άξονα περιστροφής
- ❑ Η επίδραση της σελήνης είναι η σημαντικότερη (λόγω εγγύτητας), αλλά και τα δυο σώματα ασκούν ροπές στο ισημερινό εξόγκωμα προσπαθώντας να ευθυγραμμίσουν τον γήινο ισημερινό με την εκλειπτική. Λόγω διατήρησης της στροφορμής, η επίδραση των ροπών είναι η μετάπτωση του άξονα περιστροφής (κίνηση σβούρας). Η γωνία του κώνου που διαγράφει ο άξονας είναι ίση με την λόξωση
- ❑ Η μετάπτωση του άξονα έχει περίοδο 25800 yr
- ❑ Έτσι οι θέσεις των ισημεριών δεν είναι σταθερές, αλλά «κινούνται» πάνω στην εκλειπτική, προς τα δυτικά (ανάδρομα) , περίπου $50.26''$ /χρόνο ($360 \cdot 3600 / 25800$)
- ❑ Επομένως οι ουρανογραφικές συντεταγμένες μεταβάλλονται με την ίδια περιοδικότητα (εφόσον αλλάζει –αντίστοιχα- η θέση της εαρινής ισημερίας πάνω στην εκλειπτική που είναι το σημείο αναφοράς)
- ❑ Οι ουράνιοι πόλοι ακολουθούν κύκλους γύρω από τους εκλειπτικούς πόλους μία φορά κάθε 25800 χρόνια με ακτίνα 23.5°
- ❑ Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες πρέπει να ακολουθούνται πάντα από το έτος αναφοράς, π.χ $RA=18^h 36^m 56^s$, $dec=38^\circ 47' 01''$ (equinox J2000.0)

Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η κυκλική τροχιά που διανύει το «ίχνος» του βόρειου ουρανογραφικού πόλου (ΒΟΠ)



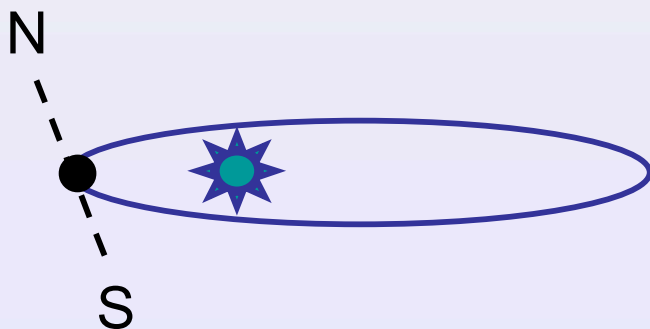
Χρειάζονται 25800 χρόνια για να συμπληρωθεί ένας πλήρης κύκλος.

Ποιος αστέρας είναι πλησίον του βόρειου ουρανογραφικού πόλου:

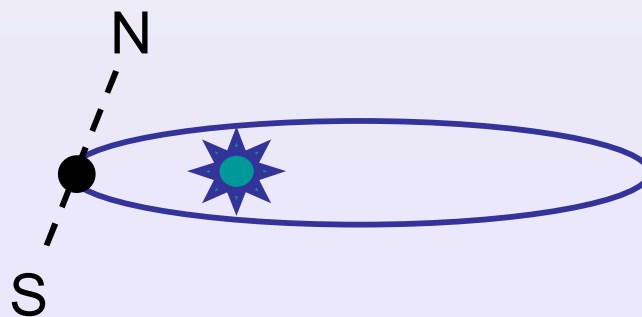
 Πολικός αστέρας

 Vega

Σήμερα

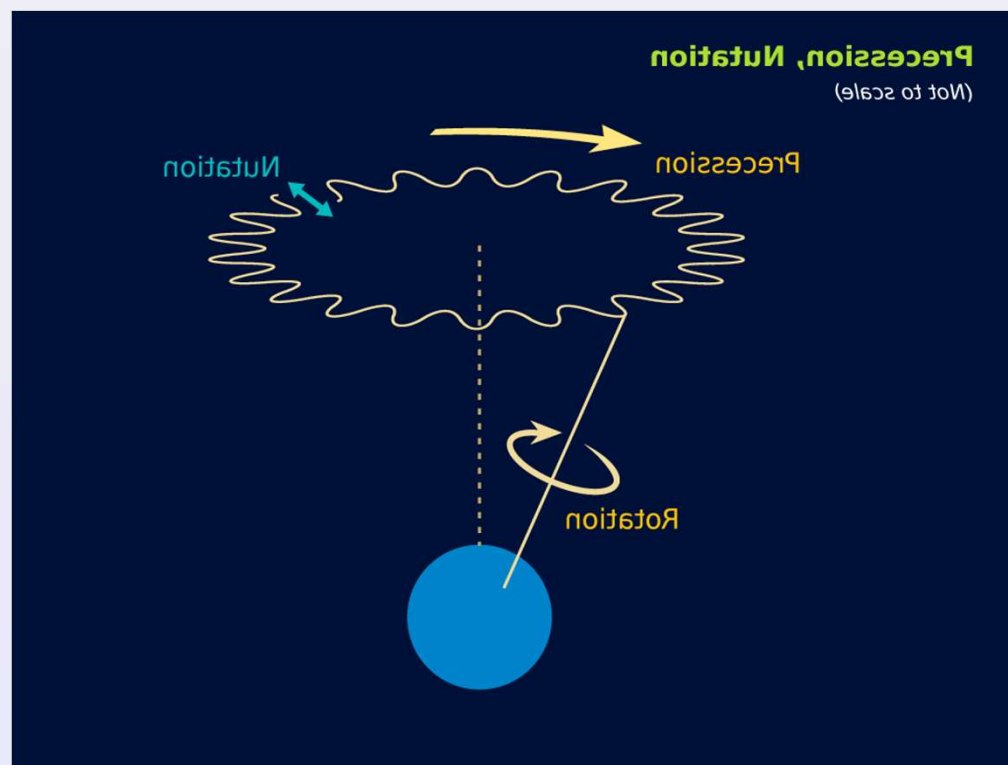


Πριν από ~13,000 yr



Κλόνηση του άξονα (Nutation)

- Η κλόνηση του άξονα περιστροφής (αλλαγή της γωνίας των 23.5° οφείλεται κυρίως στην επίδραση της σελήνης: τροχιακό επίπεδο της σελήνης σχηματίζει 6° με την εκλειπτική
- Περίοδος 18.6 yr
- Η μέγιστη απομάκρυνση από τον μέσο κύκλο που διαγράφεται από τον κάθε πόλο, είναι μόλις $9.23''$
- Η επιπλέον επίδραση των πλανητών του ηλιακού συστήματος αυξάνουν την κλόνηση του άξονα και προκαλούν ανωμαλίες στη μεταπτωτική κίνηση – **πλανητική μετάπτωση** λόγω μικρών μετατοπίσεων του επιπέδου της εκλειπτικής μείωση των ορθών αναφορών κατά $0.13''/\text{έτος}$



Υπολογισμός διόρθωσης συνταταγμένων – από B1950.0 σε J2000.0

B1950.0 – αναφέρεται στην εαρινή ισημερία και το μέσο ισημερινό την
31/12/1949 , 22:09 UT

(B: Besselian date δεν χρησιμοποιείται πια)

J2000.0 - αναφέρεται στην εαρινή ισημερία και το μέσο ισημερινό
1/1/2000 12:00 UT

(J : Julian year – Ιουλιανό έτος = 365.25d)

Μετατροπή από B1950.0 (RA,dec) σε J2000 (RA,dec)

$$RA_{2000} = RA + 0.640265 + 0.278369 * \sin(RA) * \tan(DEC)$$

$$DEC_{2000} = DEC + 0.278369 * \cos(RA)$$

Υπενθύμιση: Ισημερινές συντεταγμένες

Ουράνια σφαίρα με κέντρο το κέντρο της γης

Βασικός κύκλος: ο ουράνιος ισημερινός

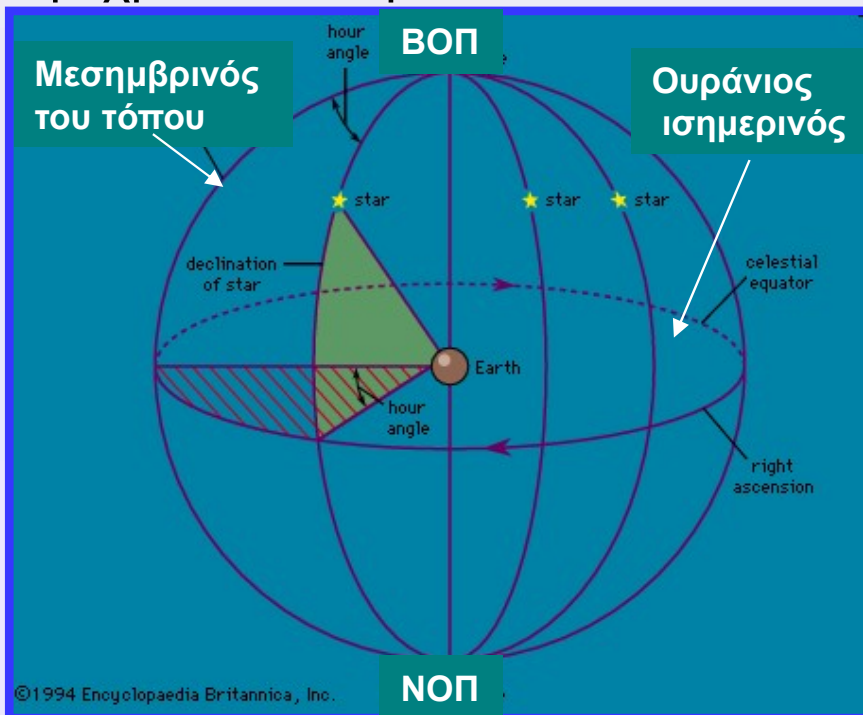
Πρώτος κάθετος: ο μεσημβρινός του τόπου

Ωριαίος κύκλος: μέγιστος κύκλος που περνά από τον αστέρα και τον βόρειο ουράνιο πόλο

ισημερινές συντεταγμένες:

ωριαία γωνία , HA (hour angle): τόξο πάνω στον ουράνιο ισημερινό, μεταξύ μεσημβρινού του τόπου και ωριαίου του αστέρα 0° - 360° (ή 0 - 24^h) **αυξάνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά (κατά την ανάδρομη φορά) (*)** \Rightarrow **μέτρηση χρόνου**

απόκλιση , δ (declination, Dec) τόξο πάνω στον ωριαίο, από το ισημερινό επίπεδο μέχρι τον αστέρα



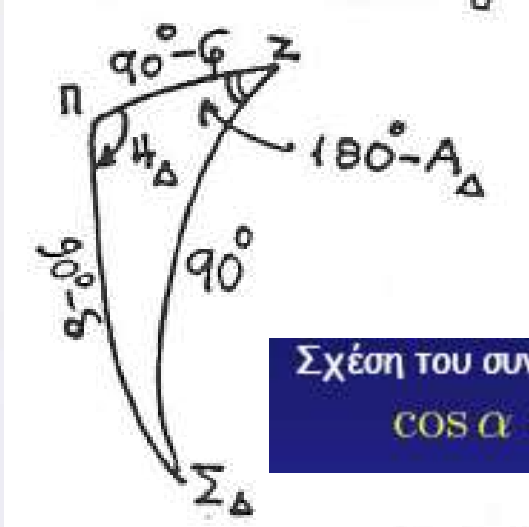
0° έως 90° από τον ισημερινό προς τον ΒΠ
 0° έως -90° από τον ισημερινό προς τον ΝΠ

Παρατηρήσεις

- ❖ Η ωριαία γωνία εξαρτάται από το γεωγραφικό μήκος και τον χρόνο
- ❖ Η απόκλιση είναι ανεξάρτητη από τον τόπο και τον χρόνο
- ❖ Συνολικά, οι ισημερινές συντεταγμένες αποτελούν ένα Τοπικό Σύστημα Συντεταγμένων

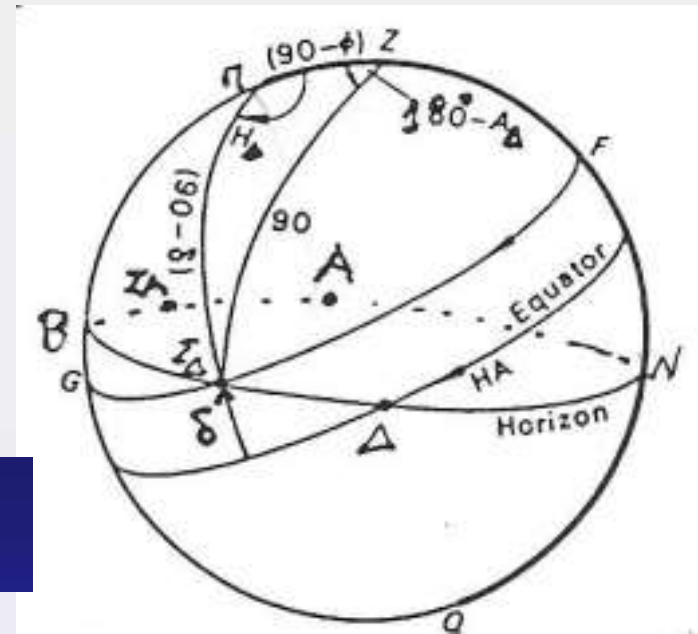
(*) π.χ. 1 ώρα αφού περάσει το άστρο από τον μεσημβρινό, έχει $HA=1^h=15^{\circ}$

Εφαρμογή: Ανατολή-δύση αστέρων



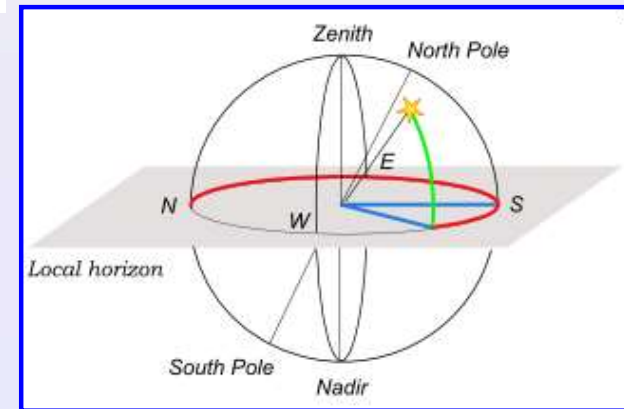
Σχέση του συνημιτόνου:

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



$$\sin 90^\circ = \sin(90^\circ - \varphi) \sin(90^\circ - \delta) + \eta\mu(90^\circ - \varphi) \eta\mu(90^\circ - \delta) \sin H_\Delta$$

$$\sin H_\Delta = -\epsilon\varphi\epsilon\delta$$



Από την σχέση αυτή προκύπτουν δυο τιμές για την ωριαία γωνία H_Δ για την οποία ο αστέρας βρίσκεται στον ορίζοντα, μία για την ανατολή ($>12h$) και μια για τη δύση ($<12h$)

$$\sin(90^\circ - \delta) = \sin(90^\circ - \varphi) \sin 90^\circ + \eta\mu(90^\circ - \varphi) \eta\mu 90^\circ \sin(180^\circ - A)$$

$$\sin A = -\eta\mu\delta / \sin\varphi$$

Από την σχέση αυτή προκύπτουν δυο τιμές για το αζιμούθιο A_Δ για το οποίο ο αστέρας βρίσκεται στον ορίζοντα, μία για την ανατολή ($<12h$) και μια για τη δύση ($>12h$)

Άνω και κάτω μεσουράνηση αστέρα

- **Μεσουράνηση:** Η διέλευση ενός αστέρα από τον ουράνιο μεσημβρινό ενός τόπου. Εξαιτίας της περιστροφής της Γης, το φαινόμενο συμβαίνει δύο φορές την ημέρα, μόνο όμως στην περίπτωση των αειφανών αστέρων μπορούν να παρατηρηθούν και οι δύο μεσουρανήσεις.
- **Άνω μεσουράνηση:** Ο αστέρας φθάνει στο ανώτατο ύψος, όταν ο αστέρας φθάνει στον μεσημβρινό που περνά από τον βόρειο ουράνιο πόλο και το νότιο σημείο του ορίζοντα (βόρειο ημισφαίριο) ή από τον νότιο πόλο και το βόρειο σημείο του ορίζοντα (νότιο ημισφαίριο).
- Η άλλη διέλευση από τον μεσημβρινό είναι η **κάτω μεσουράνηση** οπότε το ύψος πάνω ή κάτω από τον ορίζοντα θα είναι ελάχιστο.
- **$M=(A+\Delta)/2$**

Αστρικός χρόνος

- Ο **αστρικός χρόνος ST** (sidereal time) ενός τόπου ορίζεται σαν η ωριαία γωνία H_A του εαρινού ισημερινού σημείου γ στον τόπο αυτό.

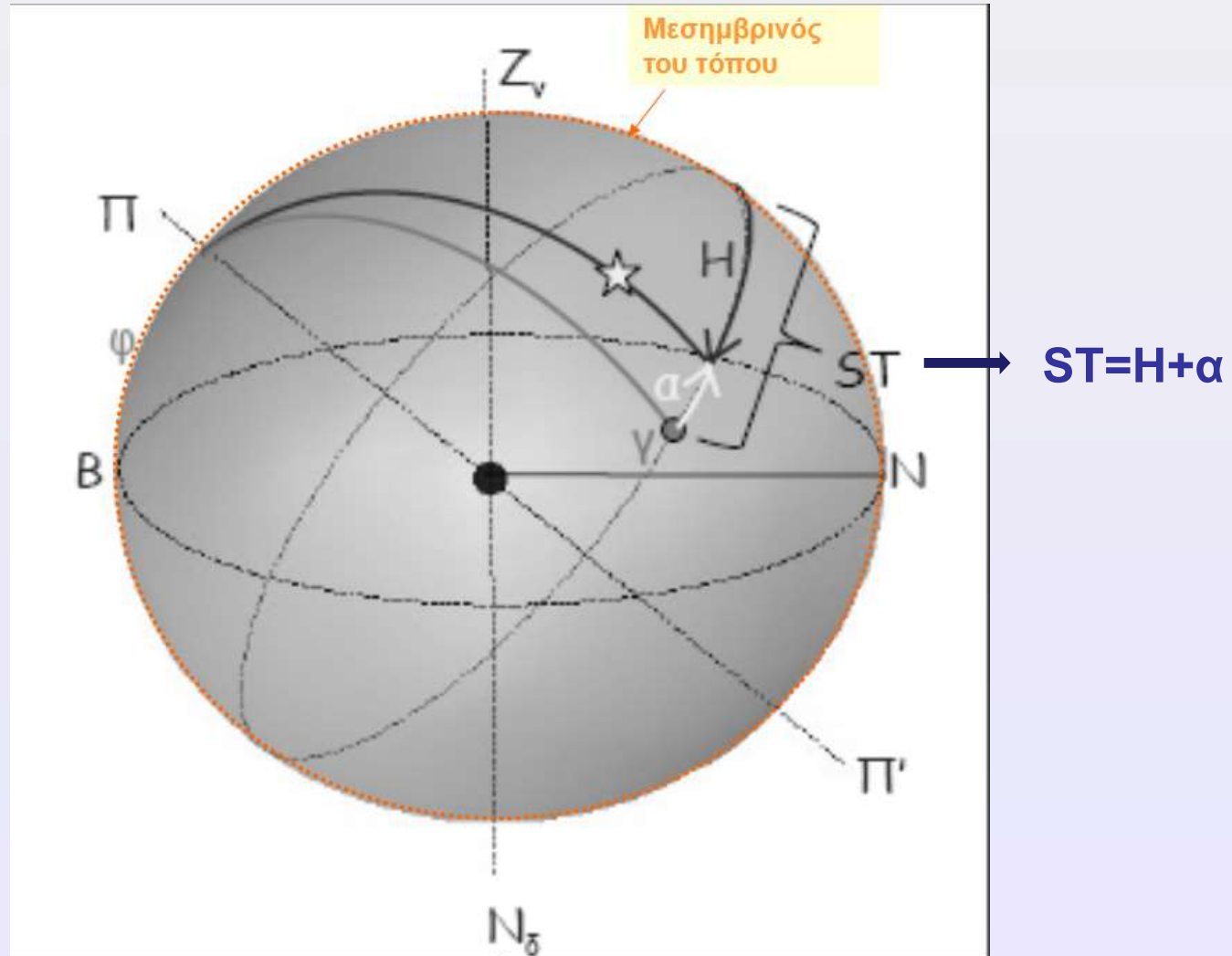
$$ST = H_\gamma$$

- **Σχέση μεταξύ αστρικού χρόνου, ωριαίας γωνίας και ορθής αναφοράς**

$$ST = H + \alpha,$$

όπου H η ωριαία γωνία ενός αστέρα και α η ορθή αναφορά του αστέρα

Σχέση μεταξύ αστρικού χρόνου, ωριαίας γωνίας και ορθής αναφοράς



Ιουλιανή ημερομηνία (Julian date)

- Σε αρκετές παρατηρήσεις, κυρίως μεταβλητών αστέρων, χρησιμοποιείται ως χρόνος μέτρησης η Ιουλιανή ημερομηνία.
- Αρχή της μέτρησης αυτής είναι η μέση μεσημβρία της 1 Ιανουαρίου του 4713 π.Χ. : JD0.0
- J2000.0 → JD 2451545.0
- Η Ιουλιανή ημερομηνία του «6 μμ 1/1/2000.0» είναι JD 2451545.25
- $T = (JD - 2451545.0) / 365.25$ (Ιουλιανό έτος 365.25d)
- Τροποποιημένη Ιουλιανή ημερομηνία (Modified Julian Date):
 $MJD = JD - 2400000.5$ (η MJD αρχίζει τα μεσάνυχτα UT, αντί της μεσημβρίας)