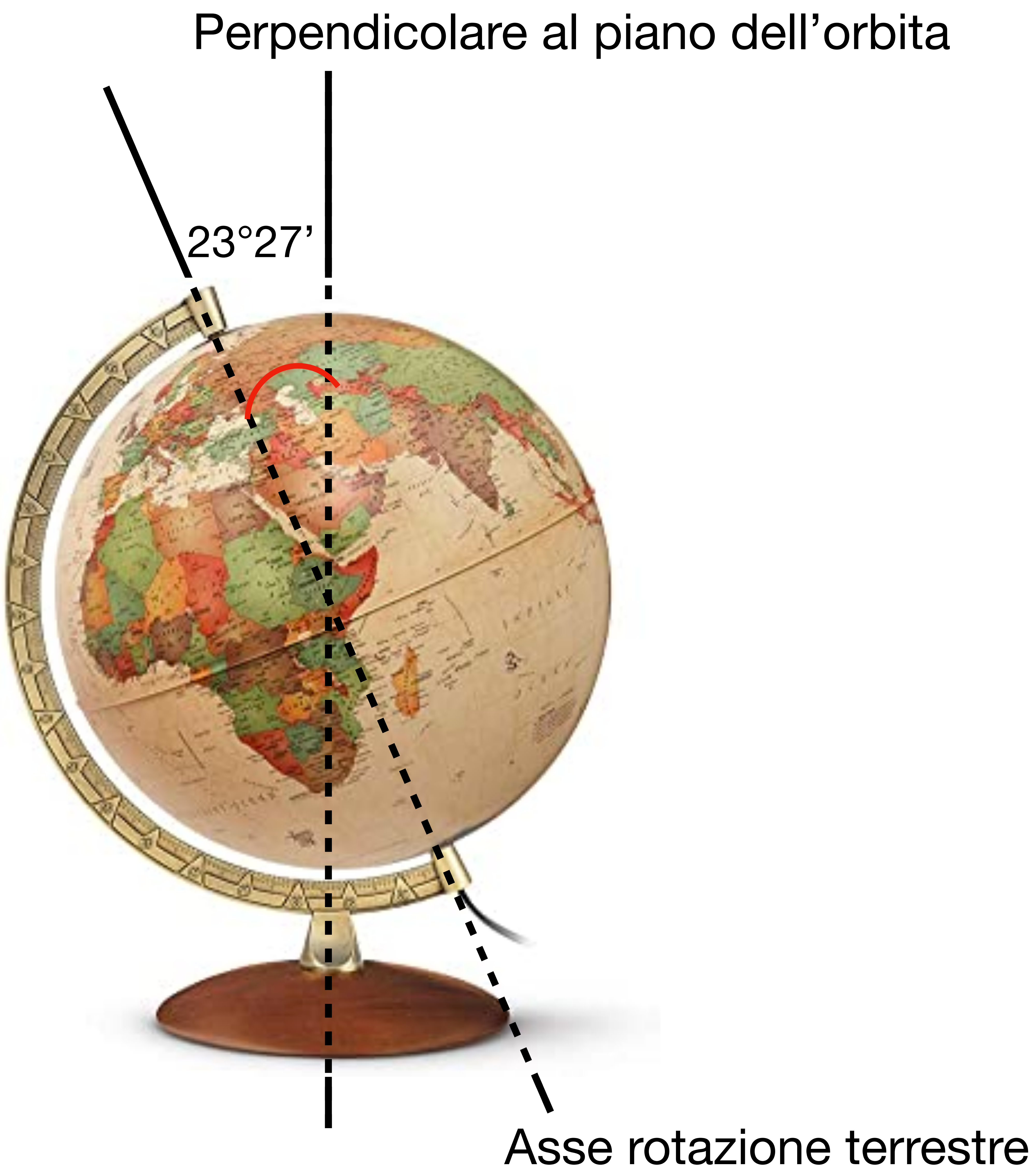
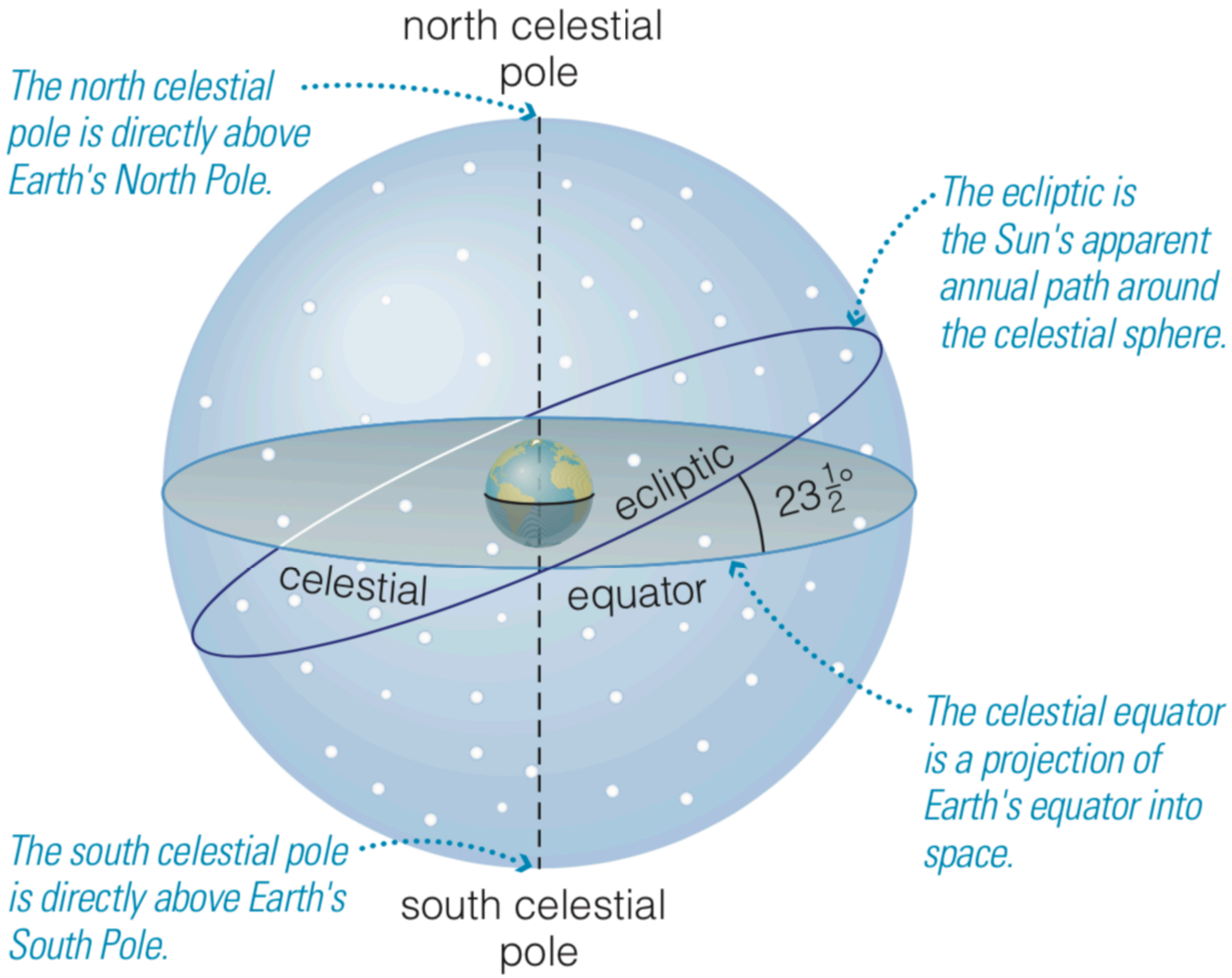
Astronomia sferica (2)

Argomento 1

Materiale da
Cap. 2 “Fundamental Astronomy” edition, by H. Karttunen, H. Oja, M. Poutanen, K. J. Donner
Cap. 2&S1 “The cosmic perspective”, by J. O. Bennett, M. O. Donahue, N. Schneider & M. Voit

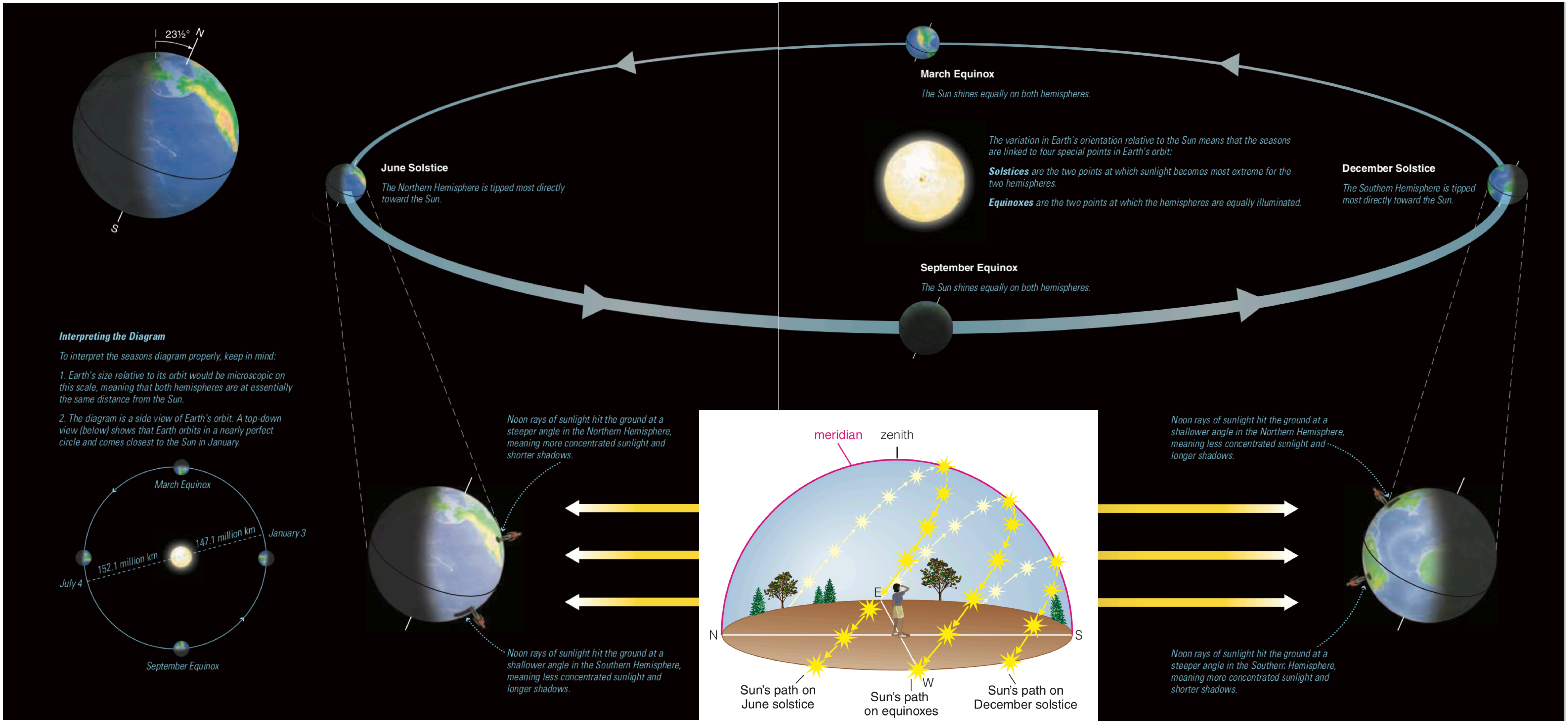
Sistema eclittico





Università degli Studi di Padova

Stagioni



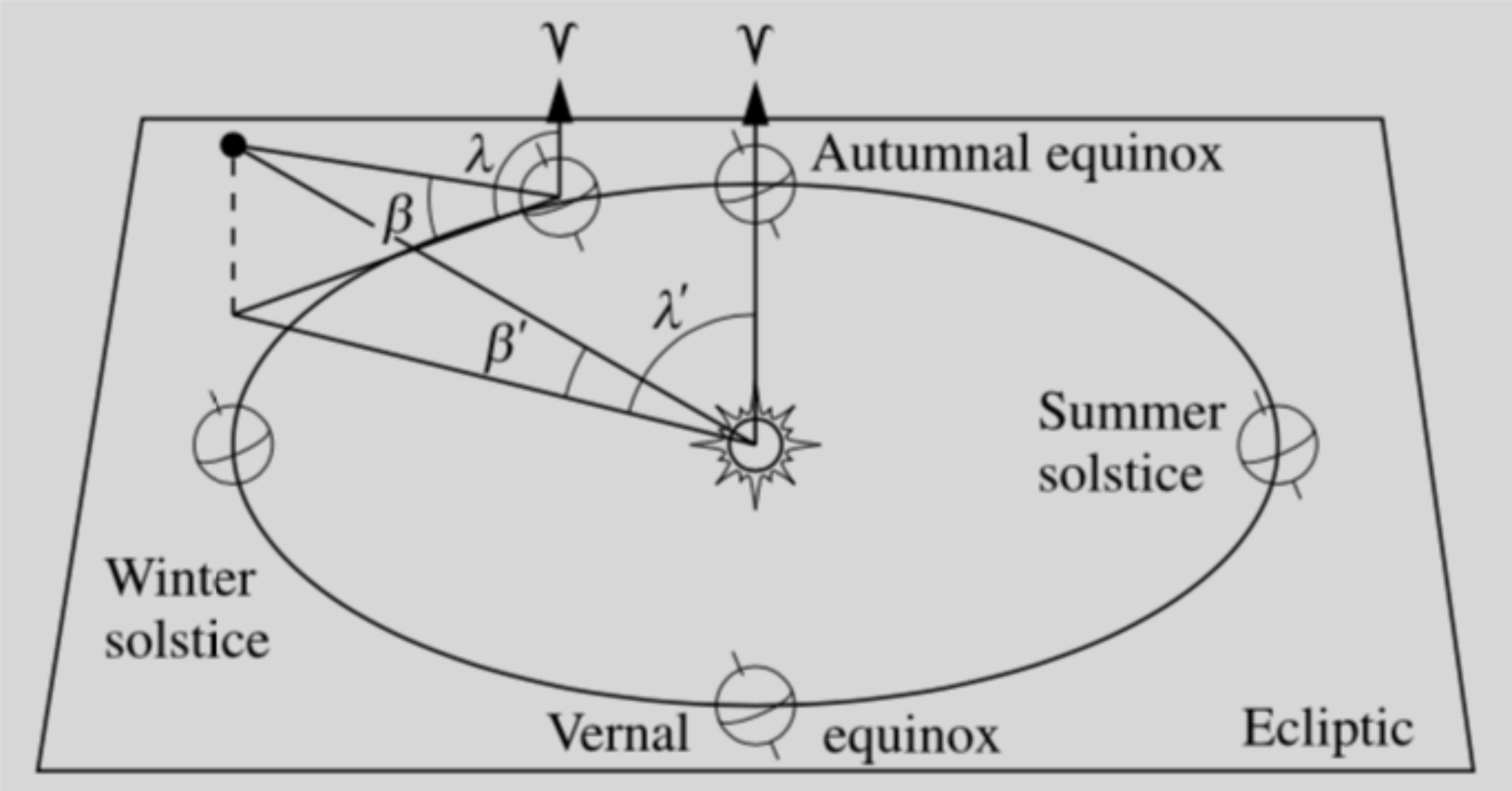
Sistema eclittico

Eclittica
Orbita apparente del Sole in cielo

Attraversa 13 costellazioni (12 formano lo zodiaco)(a causa della precessione, le costellazioni non sono più allineate ai segni zodiacali)

In primavera, il Sole attraversa l’equatore dall’emisfero sud a quello nord. Quell’istante si chiama equinozio di primavera; allora RA e dec (o α e δ) sono =0.

Sistema eclittico



Latitudine eclittica β: distanza angolare dall'eclittica

Longitudine eclittica λ: anti-oraria dall'equinozio di primavera

ε angolo tra l'equatore e l'eclittica, o inclinazione asse terrestre

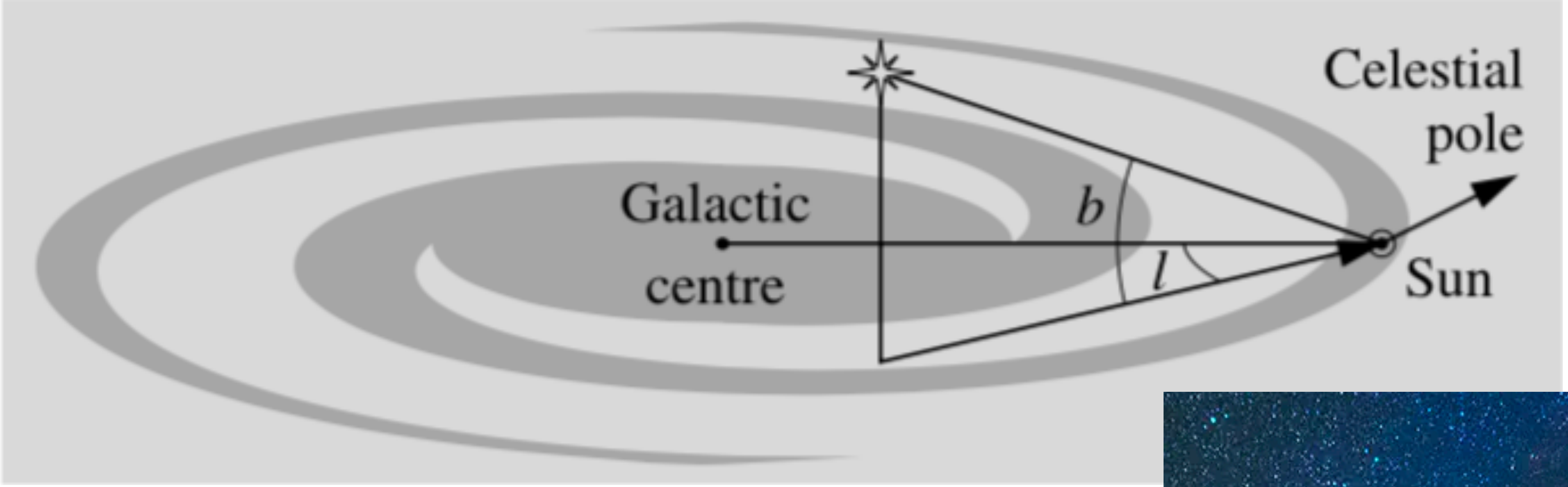
N.B.: coord. eclittiche geo o eliocentriche sono in generale diverse; differenze piccole per oggetti lontani (ma non per corpi del sistema solare)

Trasformazioni da sistema equatoriale ad eclittico

$$\sin\lambda\cos\beta = \sin\delta\sin\varepsilon + \cos\delta\cos\varepsilon\sin\alpha,$$
$$\cos\lambda\cos\beta = \cos\delta\cos\alpha,$$
$$\sin\beta = \sin\delta\cos\varepsilon - \cos\delta\sin\varepsilon\sin\alpha,$$

$$\sin\alpha\cos\delta = -\sin\beta\sin\varepsilon + \cos\beta\cos\varepsilon\sin\lambda,$$
$$\cos\alpha\cos\delta = \cos\lambda\cos\beta,$$
$$\sin\delta = \sin\beta\cos\varepsilon + \cos\beta\sin\varepsilon\sin\lambda.$$

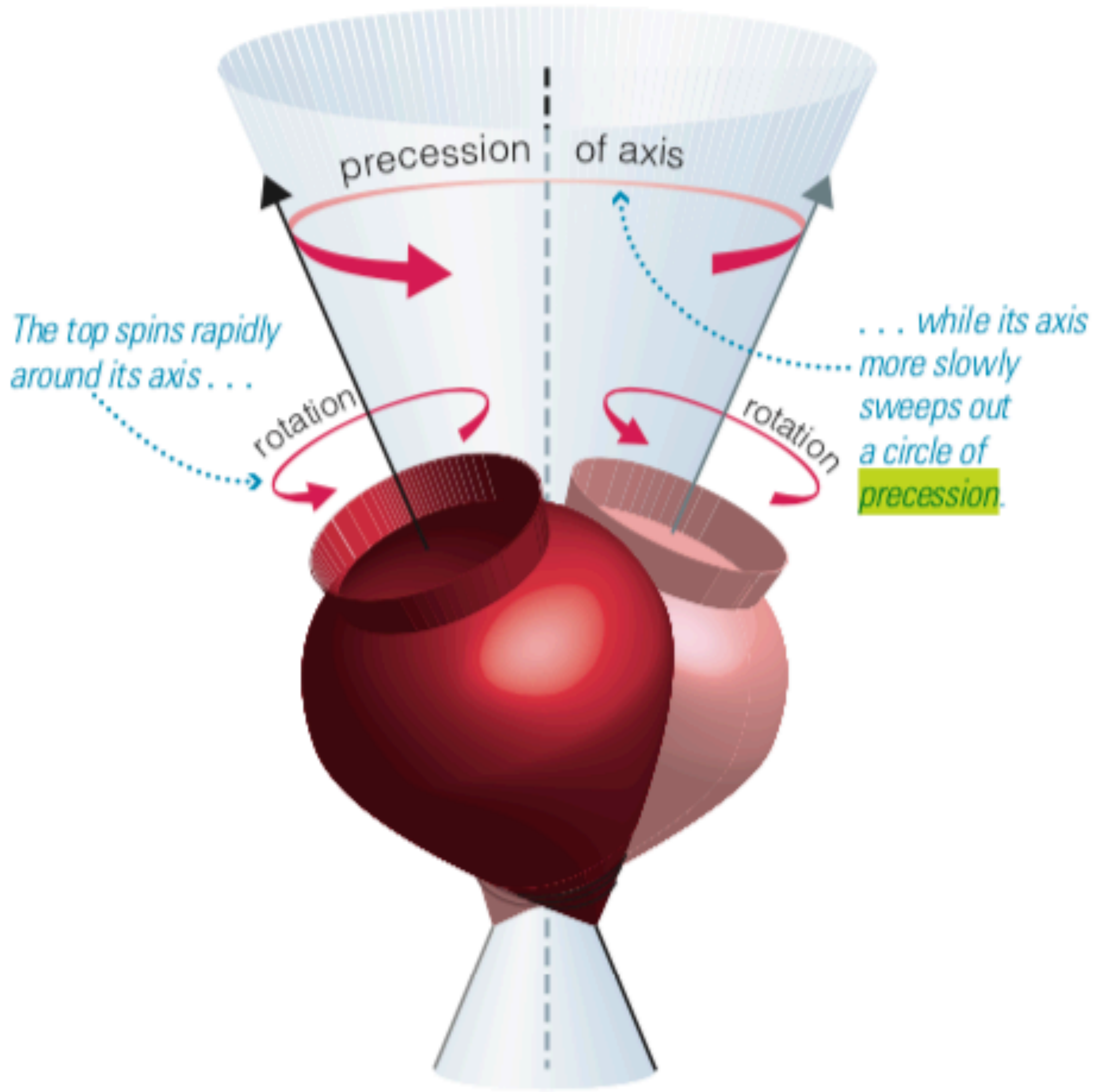
Coordinate galattiche



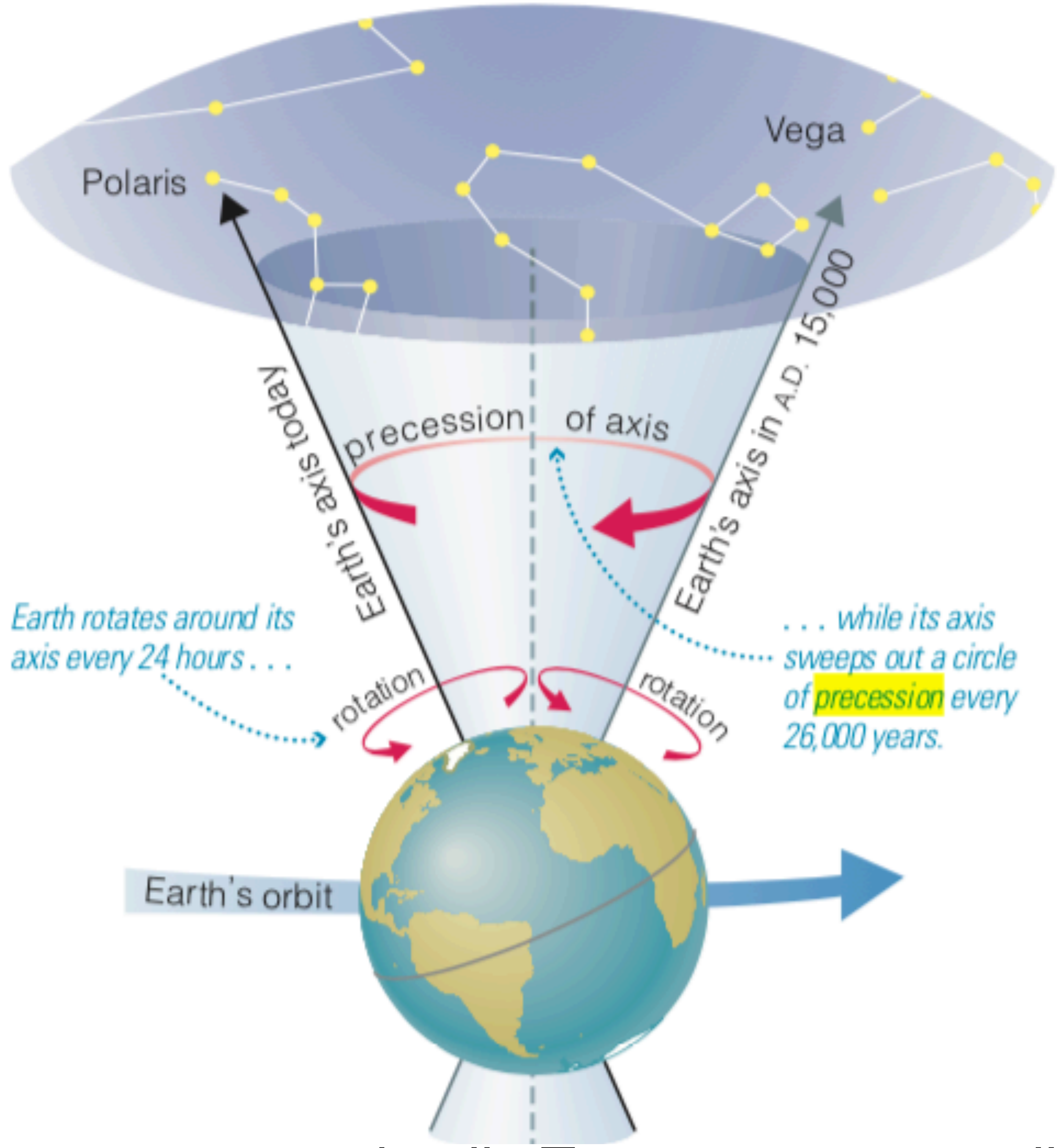
Latitudine galattica b: distanza angolare dal piano della galassia

Longitudine galattica l: anti-oraria dalla direzione del centro della galassia (costellazione Sagittario, α=17h 45.7min; δ=-29°00')

Perturbazioni di coordinate



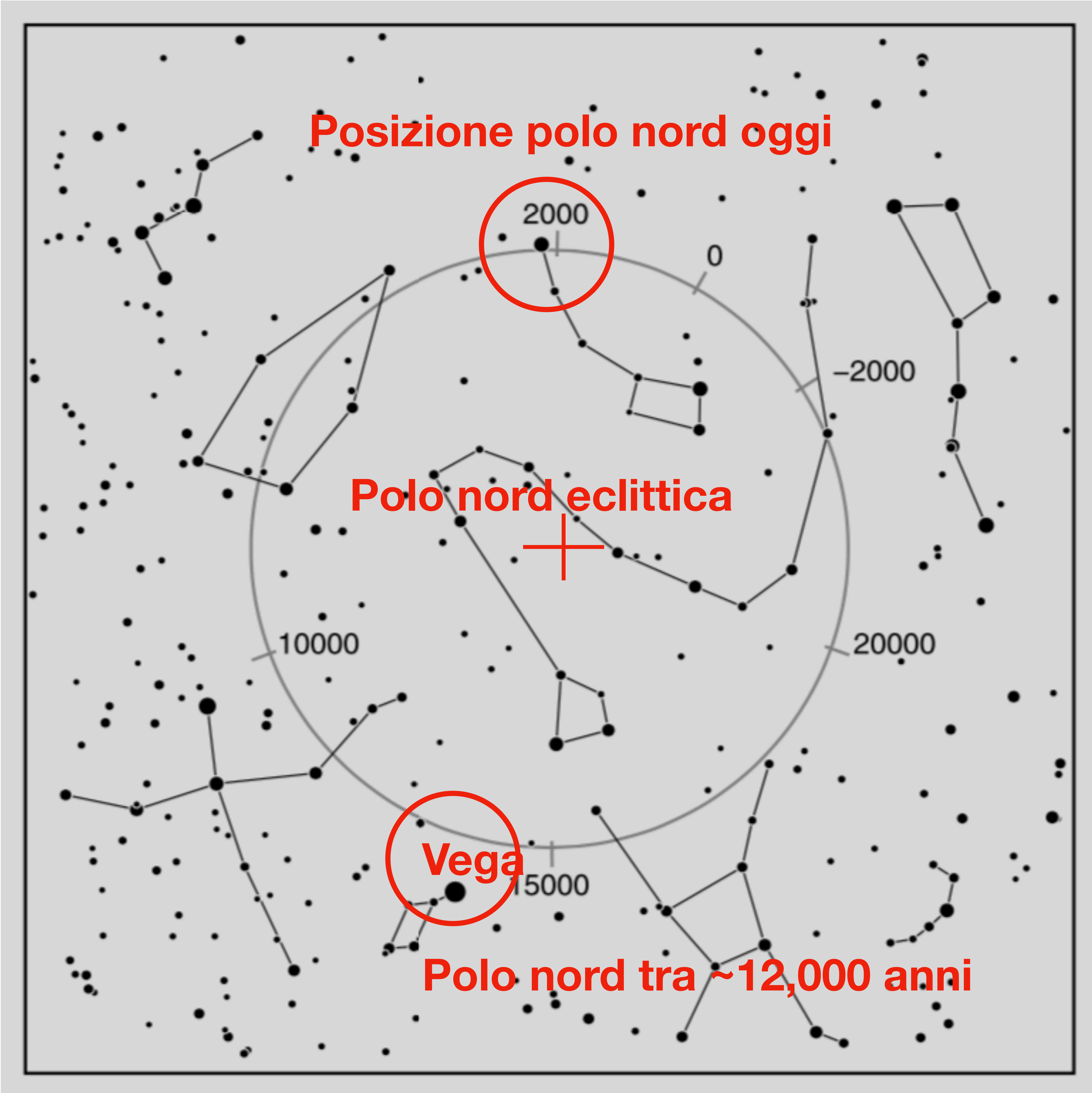
Una trottola ruota intorno al suo asse, ma la forza di gravità applicata all'asse di rotazione (non verticale) fa cambiare direzione all'asse stesso (*precessione nello stesso verso della rotazione*)



Lo stesso succede alla Terra, sottoposta alle forze dovute a Sole e Luna (precessione in verso opposto alla rotazione)

La direzione dell'asse cambia nel tempo (ma non cambia l'angolo di inclinazione dell'asse, che resta 23° 26')

Precessione



Non cambia l'angolo di rotazione dell'asse terrestre
→ l'equatore non coinciderà mai con l'eclittica

Nel suo moto di precessione, l'asse si trascina il punto γ:
ciclo intero ~26,000 anni, ~50"/anno
→ la longitudine eclittica λ aumenta di ~50"/anno
→ α e δ degli oggetti cambiano di conseguenza

Dobbiamo sapere per che epoca sono date le coordinate: di solito, J2000.0 (che significa l'inizio dell'anno 2000, o meglio mezzogiorno del 1 gennaio 2000)

Precessione

Dalle equazioni di trasformazione tra sistema equatoriale e eclittico

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

Differenzio (N.B. $\epsilon = cost$, $\beta = cost$) :

$$\cos\delta d\delta = \sin\epsilon\cos\beta\cos\lambda d\lambda$$

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

e la sostituisco a dx

$$\cos\delta d\delta = \sin\epsilon\cos\delta\cos\alpha d\lambda$$

e quindi:

$d\delta = \sin\epsilon\cos\alpha d\lambda$

variazione della declinazione per $d\lambda$

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

Differenzio (N.B. $\beta = cost$) :

$$-\sin\alpha\cos\delta d\alpha - \cos\alpha\sin\delta d\delta = -\cos\beta\sin\lambda d\lambda$$

uso: $d\delta = \sin\epsilon\cos\alpha d\lambda$ e:

$$\cos\beta\sin\lambda = \sin\delta\sin\epsilon + \cos\delta\cos\epsilon\sin\alpha$$

$$-\sin\alpha\cos\delta\, d\alpha - \cos\alpha\sin\delta\sin\epsilon\cos\alpha\, d\lambda = -\sin\delta\sin\epsilon\, d\lambda - \cos\delta\cos\epsilon\sin\alpha\, d\lambda$$

$$\sin\alpha\cos\delta\, d\alpha = \left(-\cos^2\alpha\sin\delta\sin\epsilon + \sin\delta\sin\epsilon + \cos\delta\cos\epsilon\sin\alpha\right) d\lambda$$

$$\sin\alpha\, d\alpha = \left(-\cos^2\alpha\tan\delta\sin\epsilon + \tan\delta\sin\epsilon + \cos\epsilon\sin\alpha\right) d\lambda$$

$$\sin\alpha\, d\alpha = \tan\delta\sin\epsilon\left(1-\cos^2\alpha\right) d\lambda + \cos\epsilon\sin\alpha\, d\lambda$$

$d\alpha = d\lambda(\sin\epsilon\sin\alpha\tan\delta + \cos\epsilon)$

variazione dell'ascensione retta per $d\lambda$

Precessione

$$d\delta = \sin\epsilon\cos\alpha d\lambda$$

variazione della declinazione per $d\lambda$

$$d\alpha = d\lambda(\sin\epsilon\sin\alpha\tan\delta + \cos\epsilon)$$

variazione dell'ascensione retta per $d\lambda$

$d\lambda$ = 50"/anno
sin ε = cost
cos ε = cost

$$d\delta = n\cos\alpha$$
$$d\alpha = m + n\sin\alpha\tan\delta$$

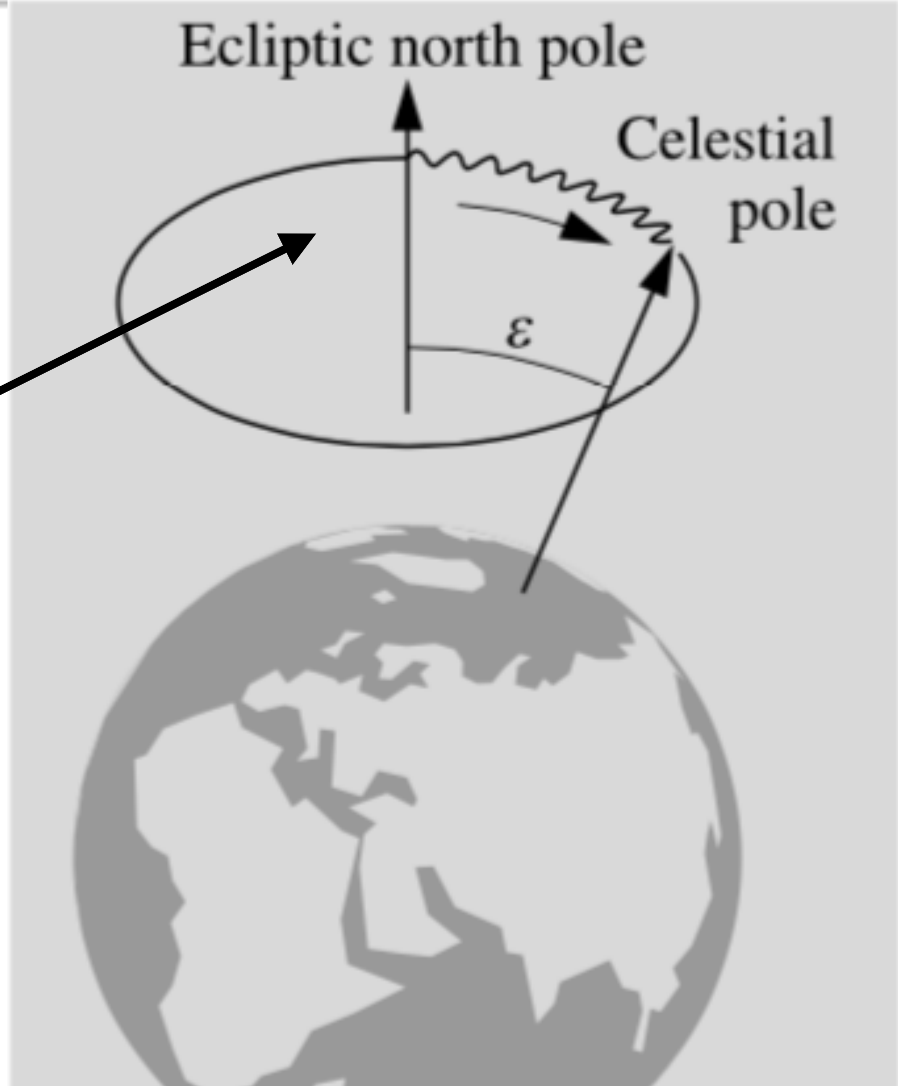
con
$$m = d\lambda\cos\epsilon$$
$$n = d\lambda\sin\epsilon$$

costanti di precessione

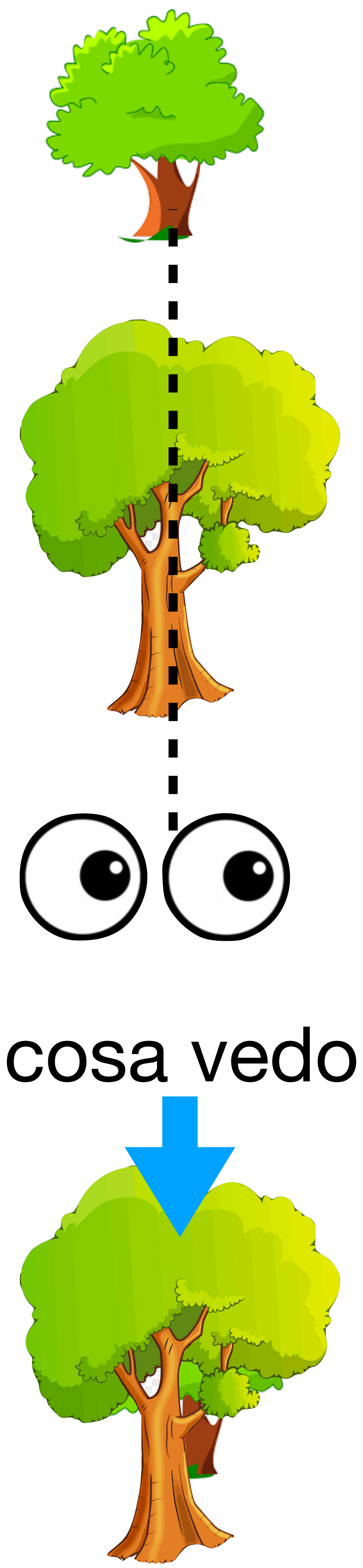
Table 2.1 Precession constants m and n. Here, "a" means a tropical year

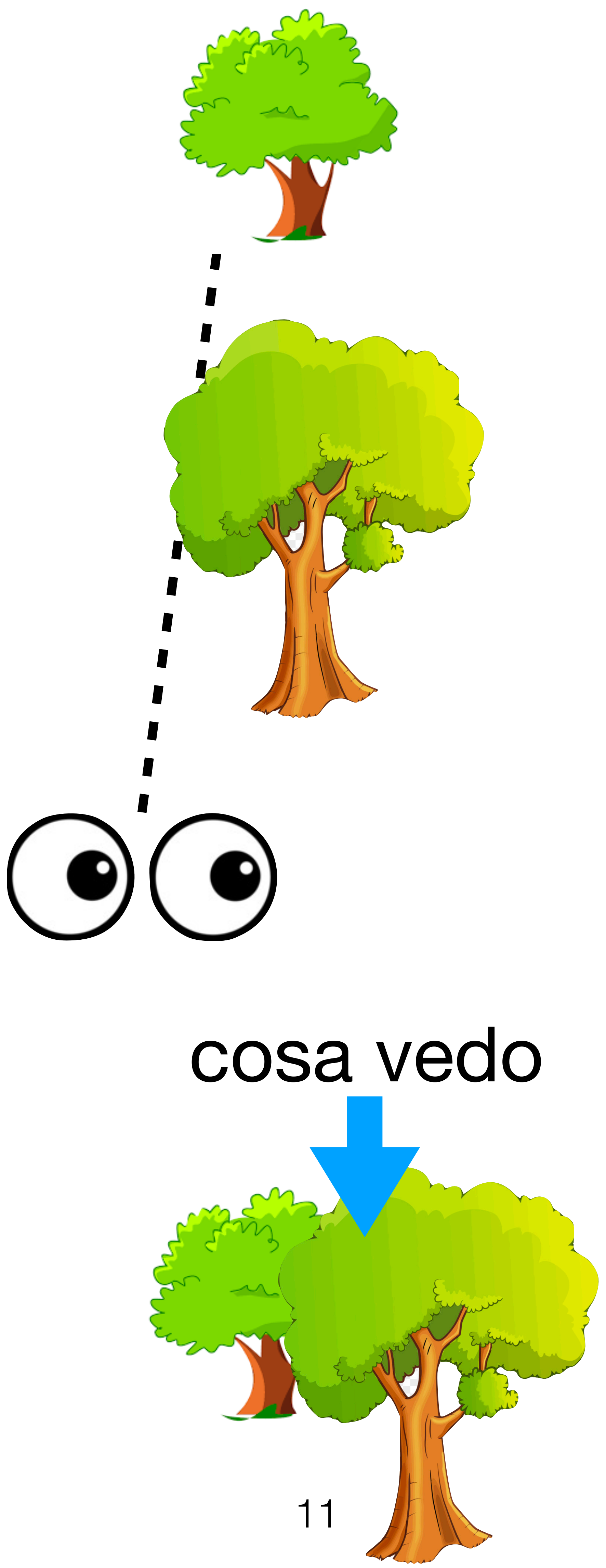
Epoch	m	n	
1800	3.07048 s/a	1.33703 s/a =	20.0554″/a
1850	3.07141	1.33674	20.0511
1900	3.07234	1.33646	20.0468
1950	3.07327	1.33617	20.0426
2000	3.07419	1.33589	20.0383

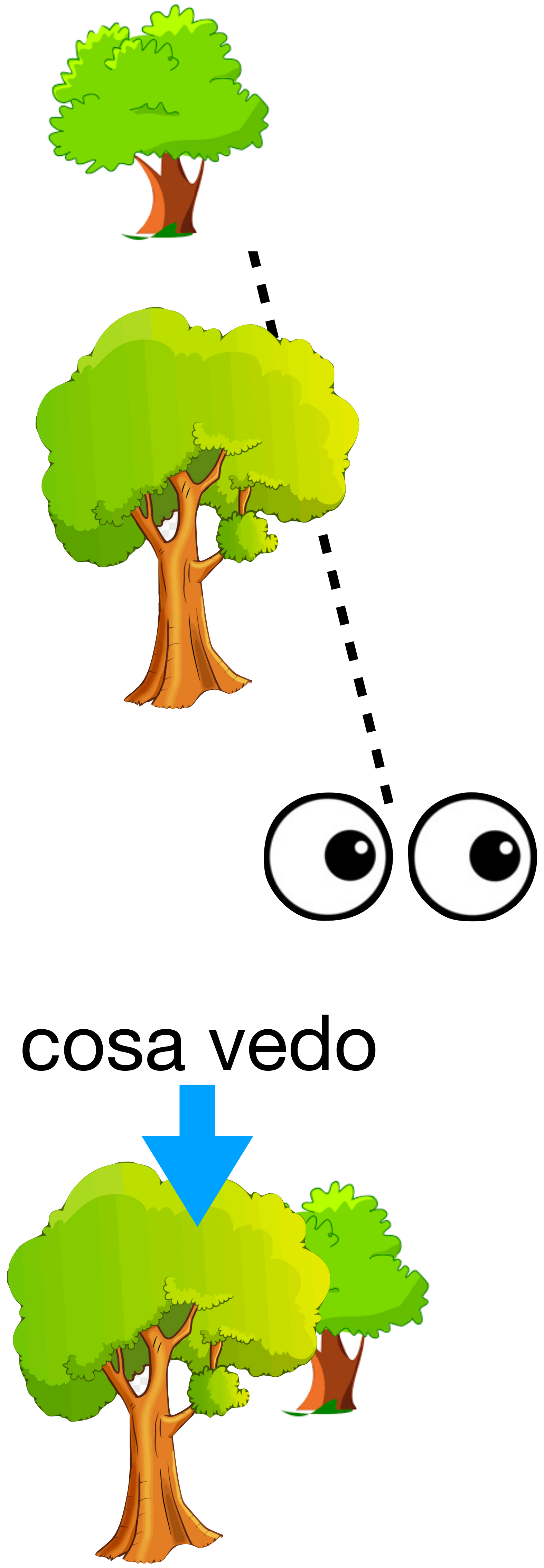
non esattamente costanti a causa della **nutazione**



Parallasse







Parallasse

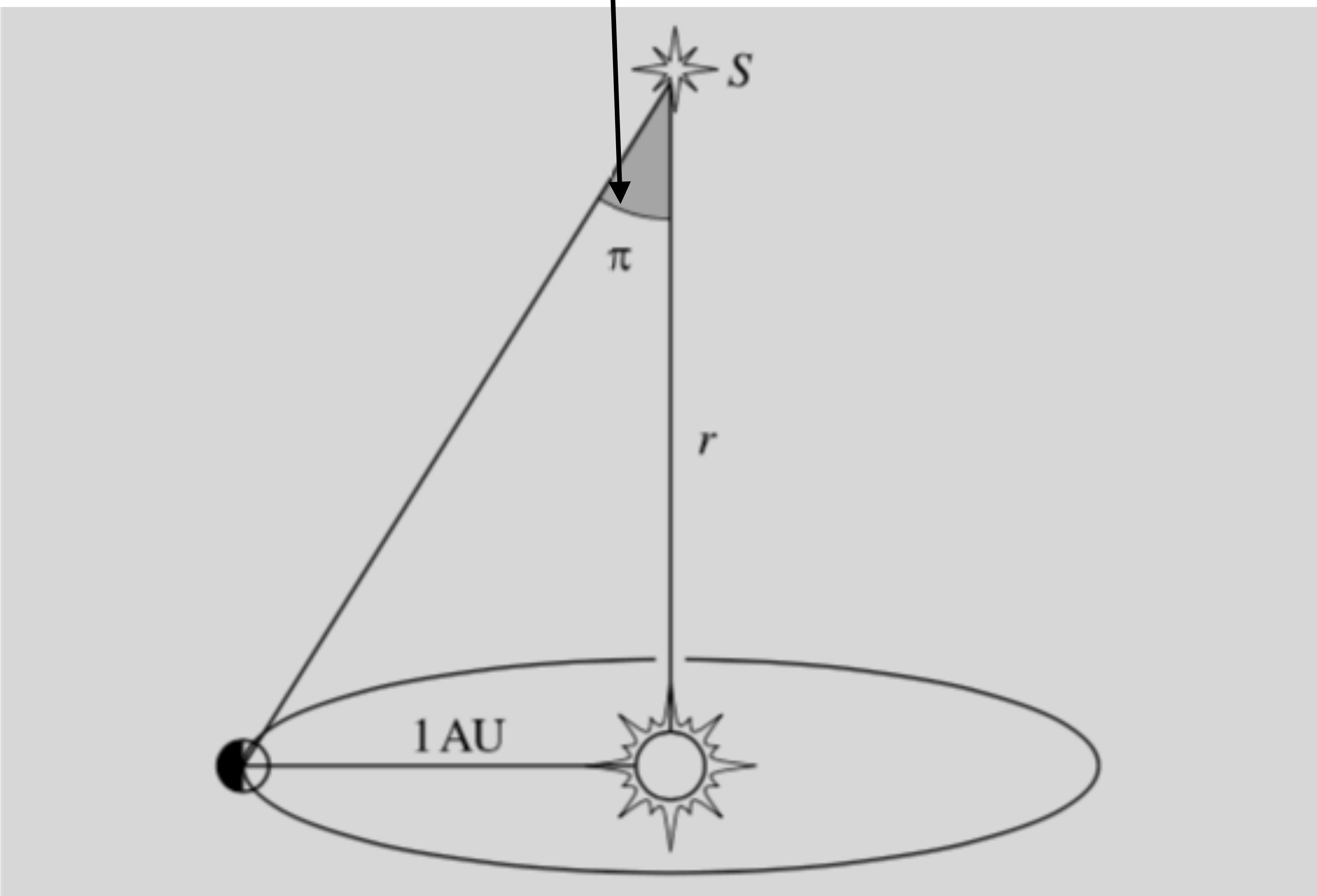
Gli effetti di parallasse cambiano le coordinate degli oggetti

Più vicino l'oggetto, maggiore l'effetto

Parallasse annua: dovuta al moto di rivoluzione della terra attorno al Sole (utile per misurare le distanze dalle stelle più vicine)

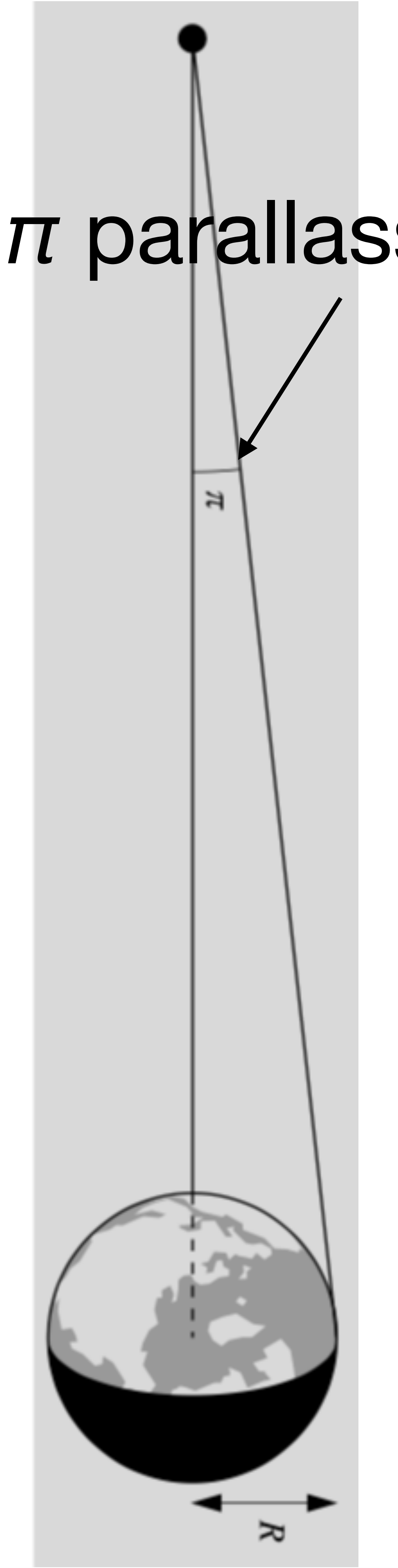
Parallasse diurna: dovuta al moto di rotazione della terra intorno al suo asse (dipende anche dalla latitudine dell'osservatore

π parallasse annua



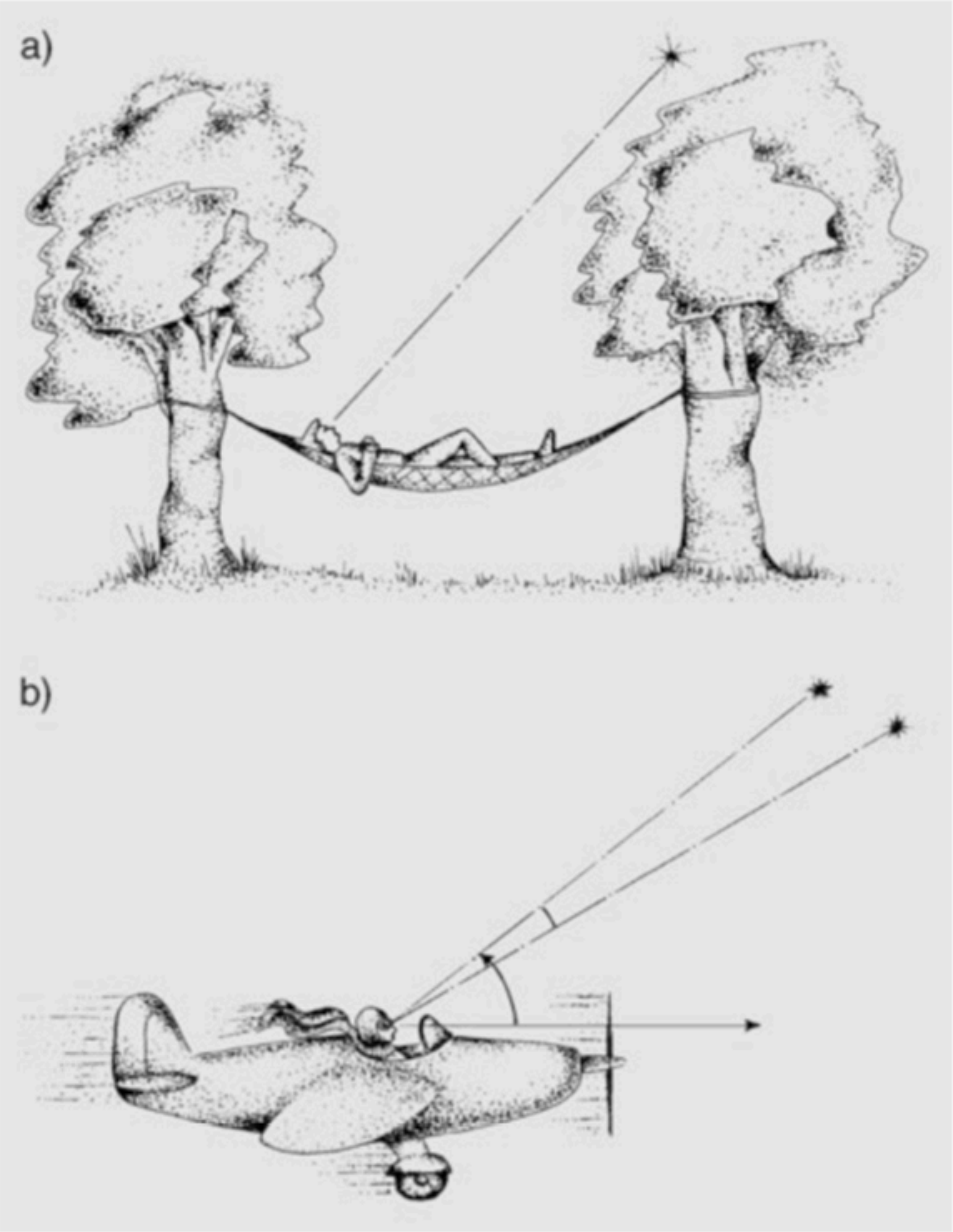
R = 1 AU = 1.5×10^{11} m

π parallasse diurna



R = 6378 km

Aberrazione



A causa del fatto che la velocità della luce è finita, un osservatore in moto vede un oggetto spostato verso la direzione del suo moto

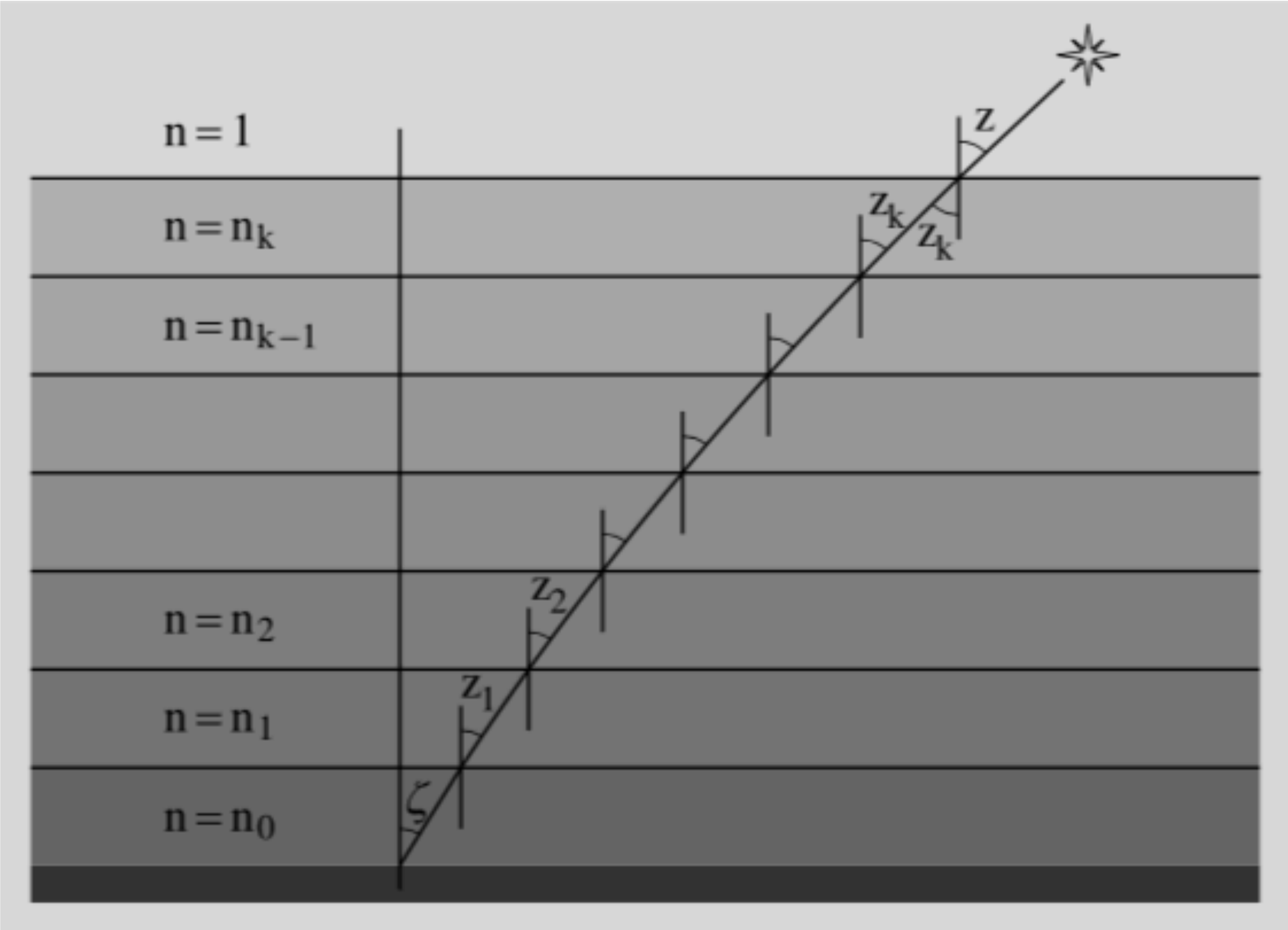
$$a = \frac{v}{c} \sin\theta, \qquad [a] = \text{rad},$$

θ vera direzione dell'oggetto

velocità di rivoluzione Terra: 30 km/s → a_{max} ~ 20"

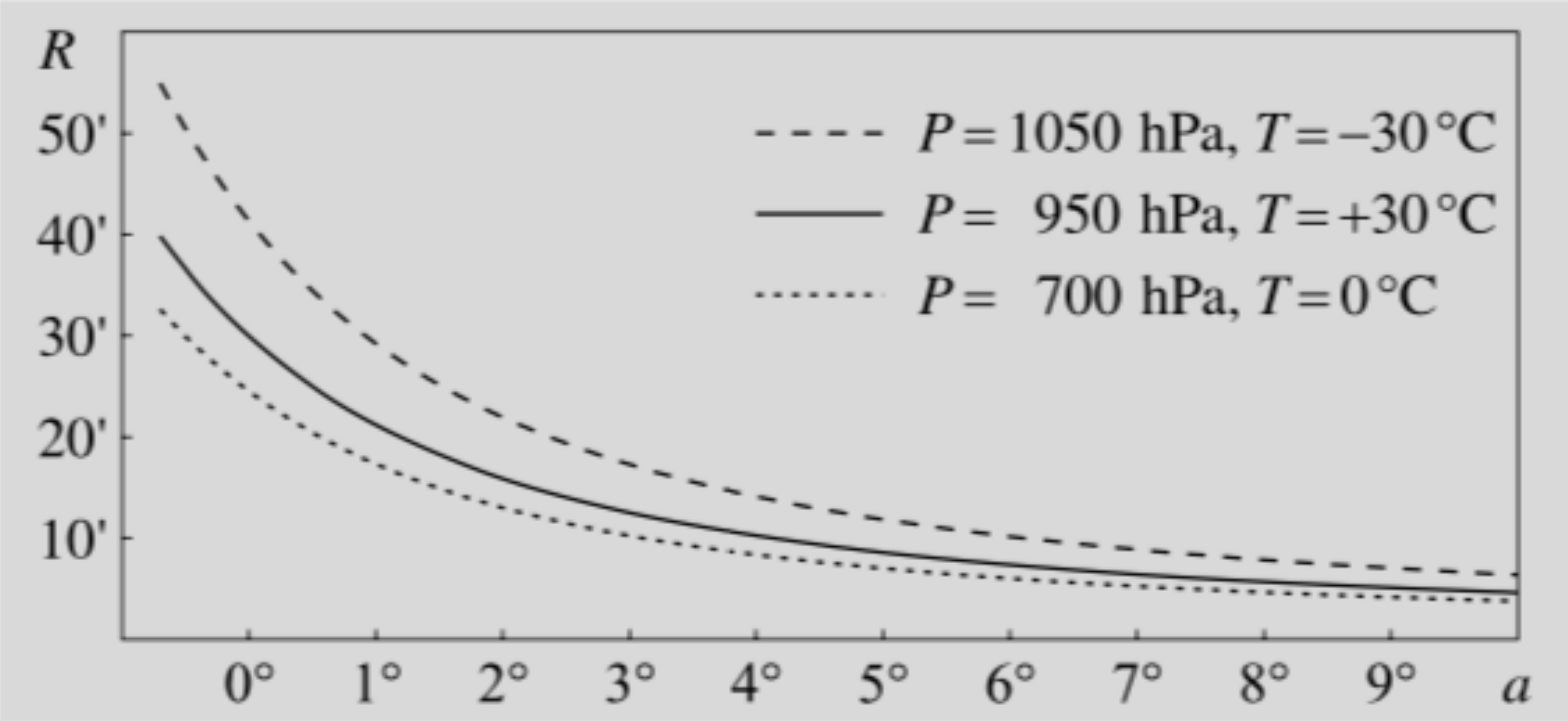
velocità di rotazione Terra: 1668 km/h → a_{max} ~ 0.3"

Rifrazione atmosferica



Assumiamo per semplicità che l'atmosfera sia una sovrapposizione di strati di diverse densità (e quindi diversi indice di rifrazione n_i)

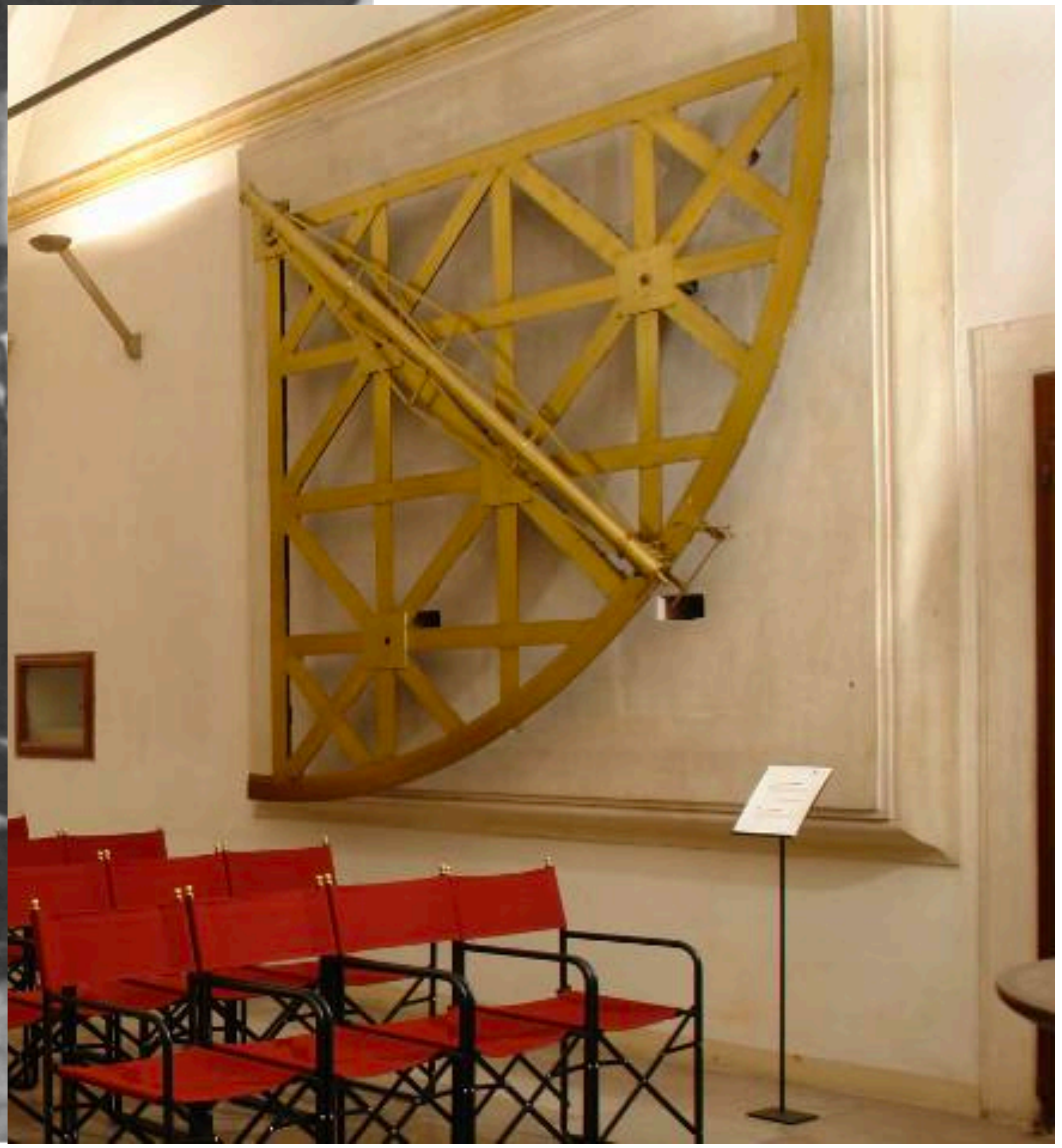
La luce entra in atmosfera con un angolo z rispetto alla verticale, e arriva a terra con un angolo $\zeta < z$ (l'altezza aumenta sempre)



L'effetto è maggiore al diminuire dell'altezza a

Posizione assoluta

Meridiana
telescopio che si muove solo nel piano meridiano



Quando una stella culmina, si segna il tempo siderale Θ del transito

considerando che al passaggio dal meridiano h=0, da:

$$\Theta = h + \alpha$$

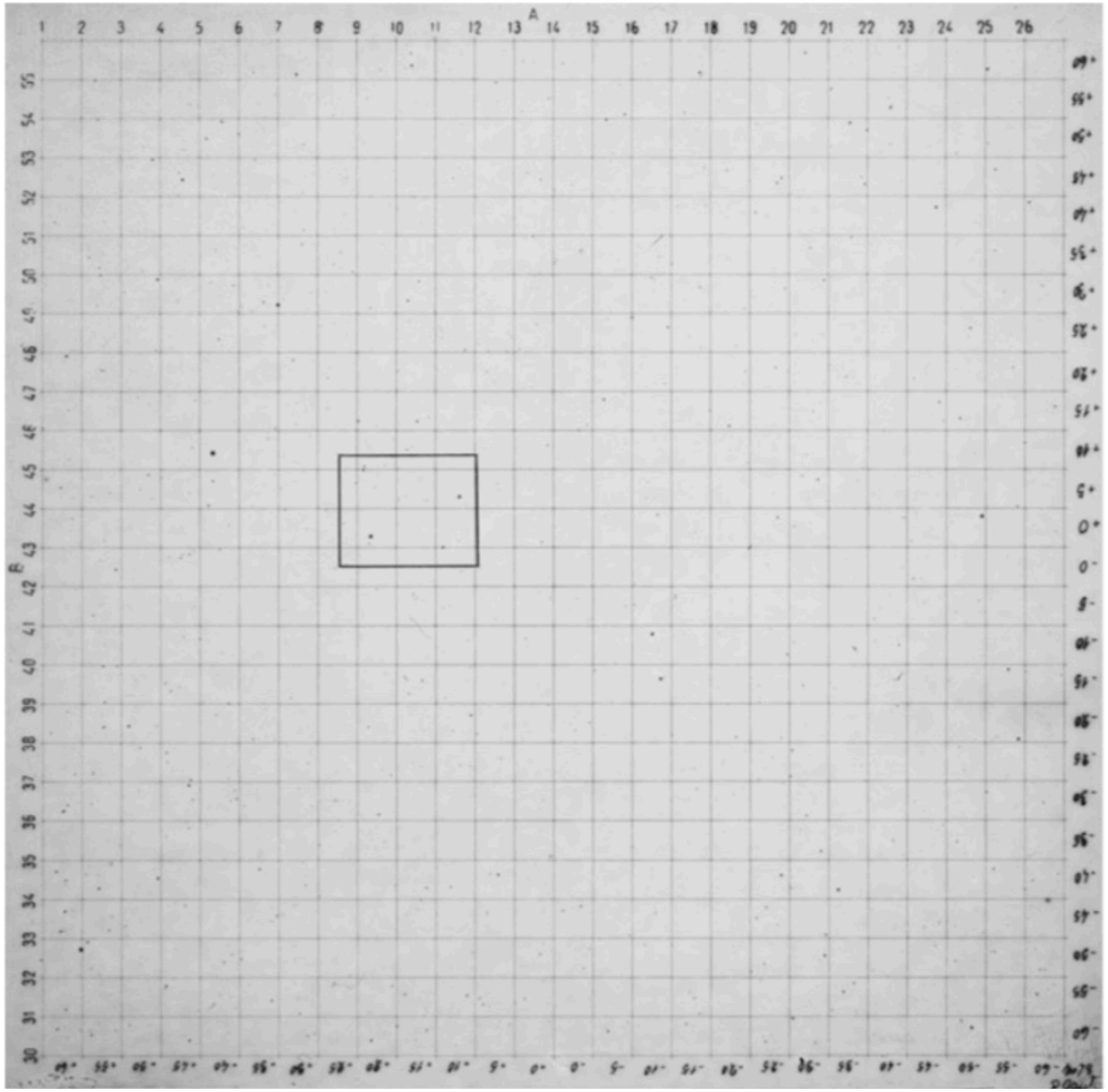
ottengo l'ascensione retta α. La declinazione si ottiene da

$$\delta = a - (90^\circ - \phi)$$

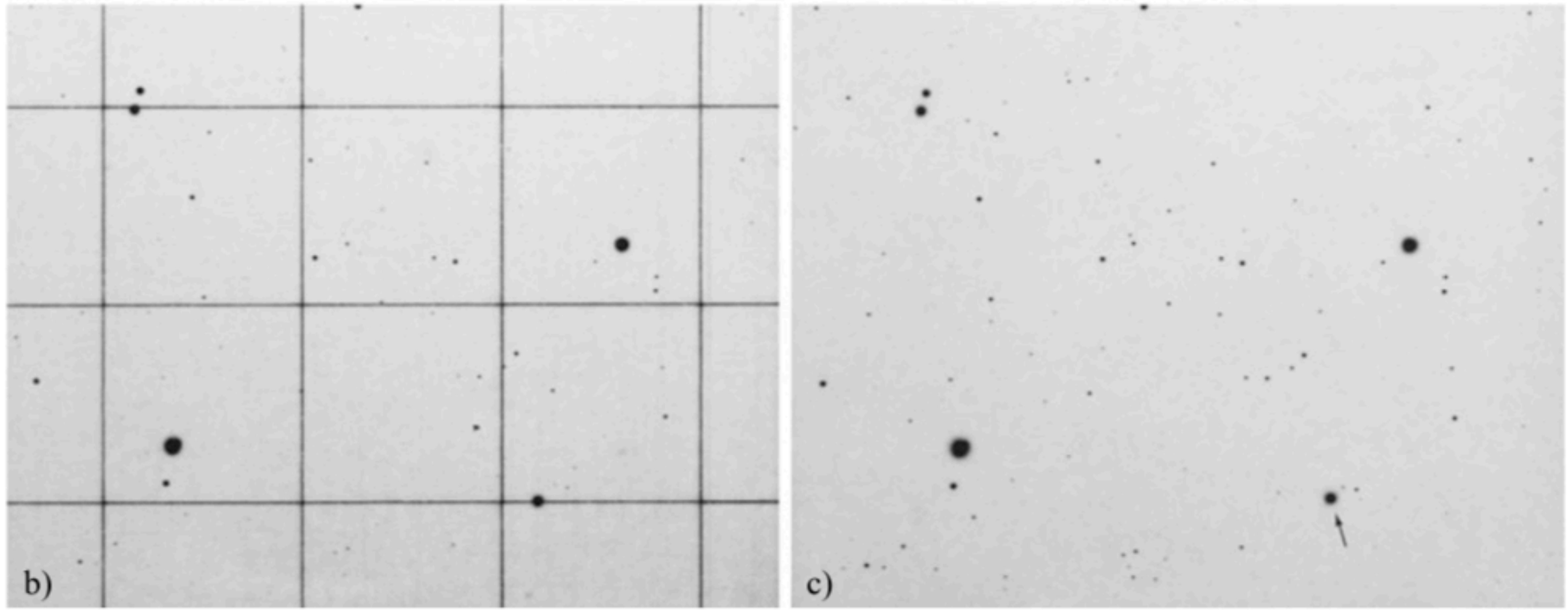
dove a è l'altezza osservata e ϕ è la latitudine del luogo

coordinate assolute

Coordinate relative



a)



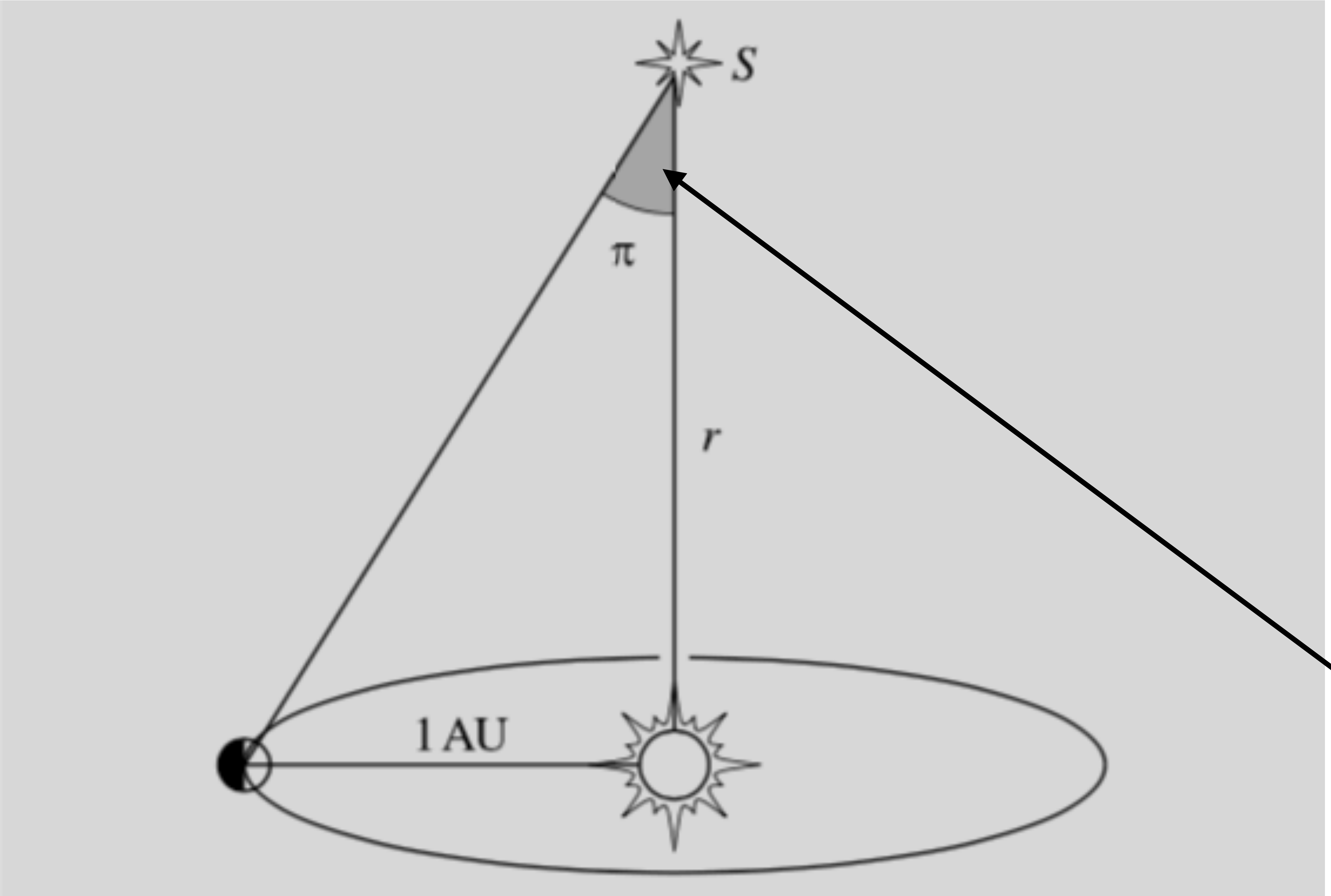
b) c)

le **coordinate relative** si misurano su carte fotografiche

1. si “calibra” la carta usando stelle conosciute
2. si ottengono le posizioni di tutti gli altri oggetti

Parallasse: misura distanze

π parallasse annua



R = 1 AU = 1.5×10^{11} m

È il metodo classico per misurare la distanza di stelle vicine, e sta alla base della "scala delle distanze"

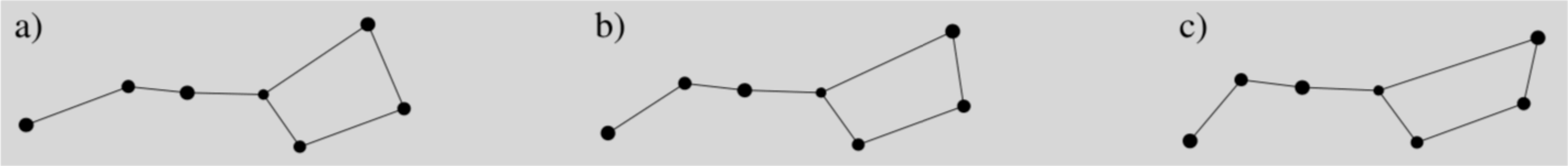
Nel corso di un anno:
- una stella al polo eclittico compie un cerchio perfetto;
- una stella sull'eclittica si muove su un segmento;
- un'altra stella si muove su un ellisse

Il semiasse maggiore di questa ellisse si chiama **parallasse** *π;* è uguale all'angolo sotteso dal raggio dell'orbita terrestre visto dalla stella

le distanze in astronomia si misurano in parsec, pc: 1 pc è la distanza r a cui 1AU è vista sotto un angolo di 1"

1 rad = 206265" → 1 pc = 206265 AU (3.086×10^{16} m)

Moti propri

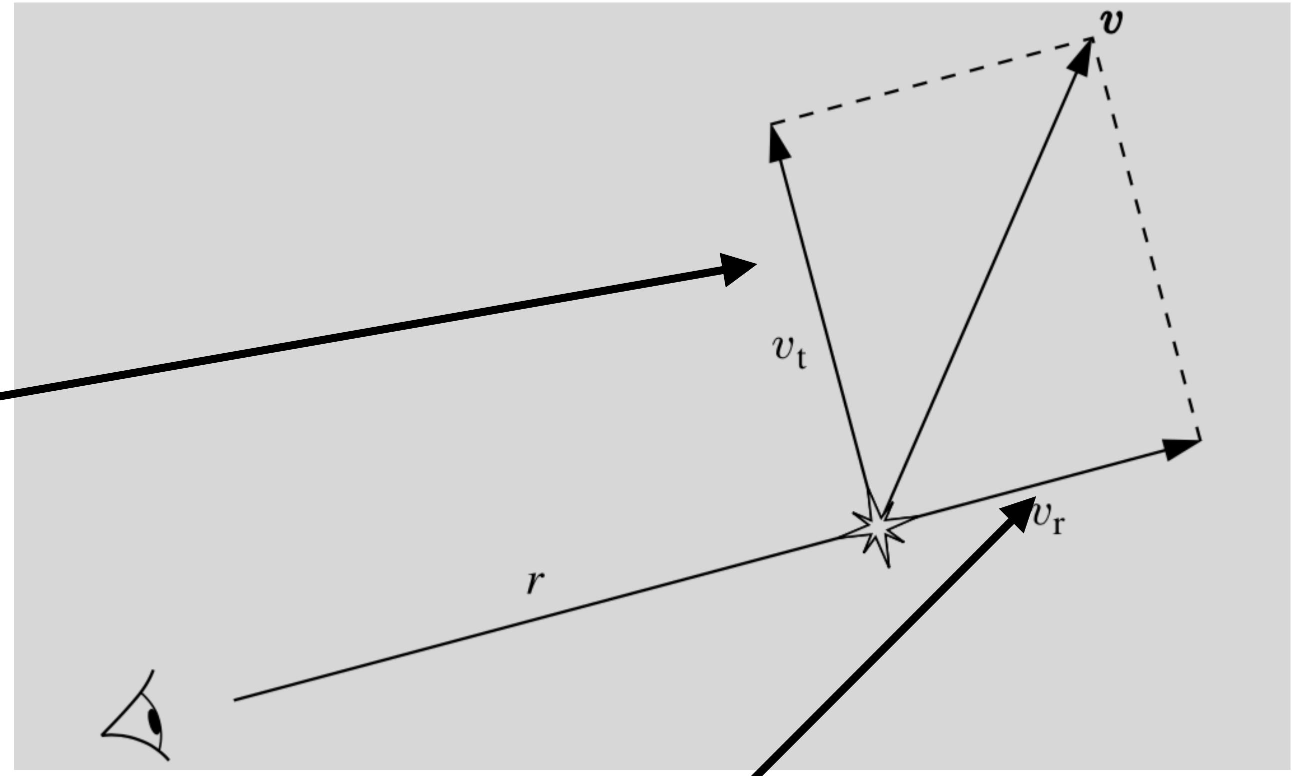


30,000 anni fa | oggi | tra 30,000 anni

Moto proprio
In aggiunta al moto di parallasse, alcune stelle si muovono in una direzione costante

Si può determinare monitorando la posizione delle stelle nel tempo

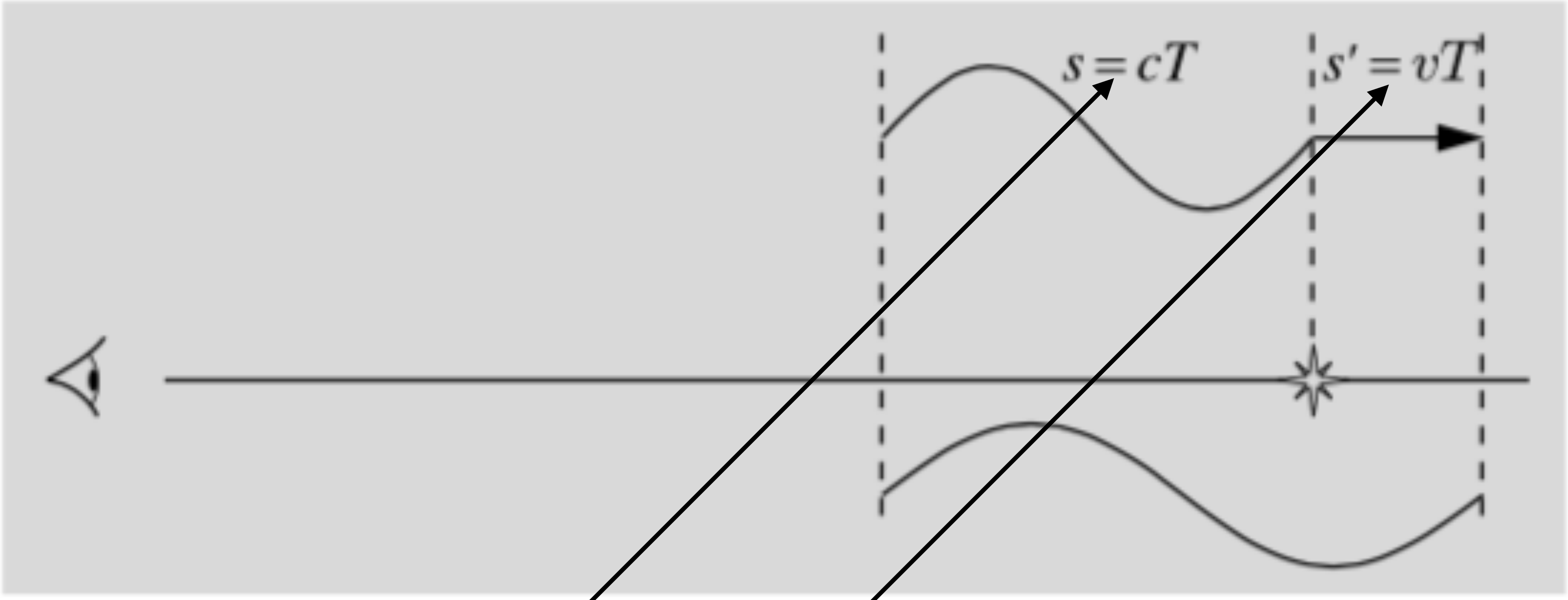
Questo moto rispecchia il vero moto della stella rispetto a sistema Terra-Sole, e in particolare *il moto trasversale*



Come determino il moto radiale?

Effetto Doppler

Una sorgente emette radiazione di periodo temporale *T*, e si allontana dall'osservatore con velocità *v*



$$\lambda = s + s' = cT + vT$$

λ è la lunghezza d'onda misurata dall'osservatore

$$\lambda_0 = cT$$

λ_0 è la lunghezza d'onda che sarebbe misurata se v=0

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = cT + vT - cT = vT$$

e quindi $$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$ *valida solo nel caso non relativistico v<<c*

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} - 1$$ *valida per tutte le velocità*

$\Delta\lambda$ positivo se v>0, λ aumenta: *redshift*
negativo se v<0, λ diminuisce: *blueshift*

Misura del tempo

Rotazione della Terra → Tempo solare

Rivoluzione della Terra attorno al Sole → Tempo siderale

Orologi atomici

Il suo scorrere è costante quanto è costante la velocità di rotazione terrestre; tale velocità diminuisce, pertanto la durata del giorno siderale aumenta

Tempo siderale apparente: dipende dal vero punto γ, si può ottenere dalle osservazioni

Tempo siderale medio: determinato dalla posizione di γ se non ci fosse nutazione

Giorno siderale

Tempo necessario perché le stelle tornino nella stessa posizione in cielo

Definizione pratica: tempo tra due culminazioni successive del punto γ al meridiano

Dura meno di un giorno solare (il punto γ ci mette meno del Sole tra 2 culminazioni successive)

Misura del tempo

Rotazione della Terra → Tempo solare

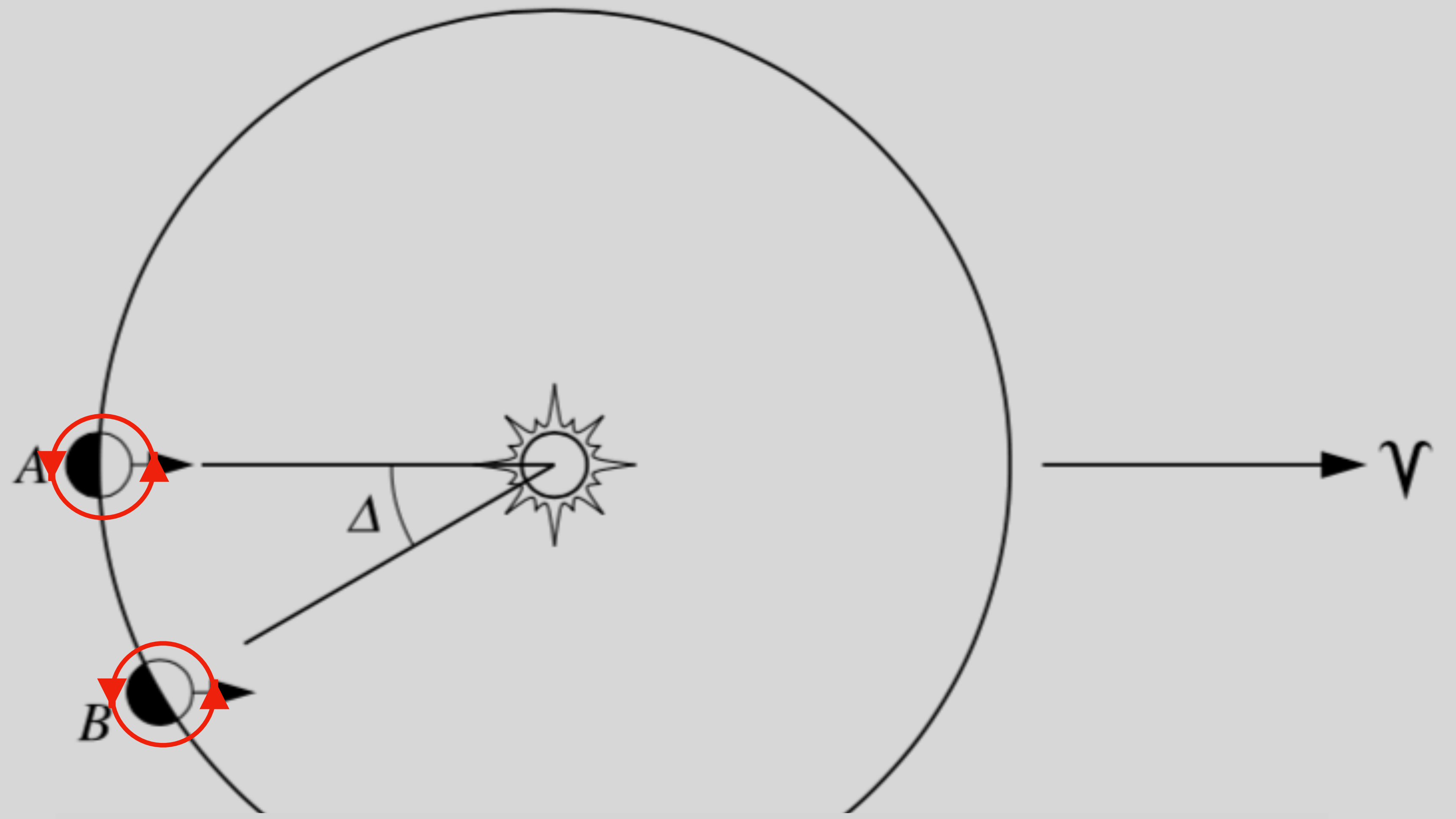
Rivoluzione della Terra attorno al Sole → Tempo siderale

Orologi atomici

Giorno solare

Tempo necessario perché le il sole torni nello stesso punto in cielo

Definizione pratica: tempo tra due culminazioni successive del Sole al meridiano



Giorno solare > giorno siderale

Dopo una rotazione, la terra è nella stessa posizione rispetto al punto γ

In quell'intervallo di tempo, la Terra si sarà spostata nella sua orbita attorno al sole di un angolo Δ (esagerato nella figura)

Deve fare quindi un altro po' di rotazione per tornare nella stessa posizione rispetto al Sole

Tempo solare

La nostra vita segue l'alternarsi del giorno e della notte, quindi è più pratico usare il tempo solare

Problema: il tempo solare non scorre a un ritmo costante

- l'orbita del Sole è ellittica e non circolare, pertanto la sua velocità di rivoluzione non è costante
- il Sole si muove lungo l'eclittica e non lungo l'equatore, quindi la sua RA non aumenta in modo costante

Soluzione: ci inventiamo un "Sole medio", il quale:

- si muove di velocità angolare costante
- si muove lungo l'Equatore
- compie un giro in un *anno tropicale* (tempo necessario ad andare da equinozio ad equinozio, 365d 5h 48m 46s)*

Tempo medio solare
angolo orario del centro del sole medio +12h

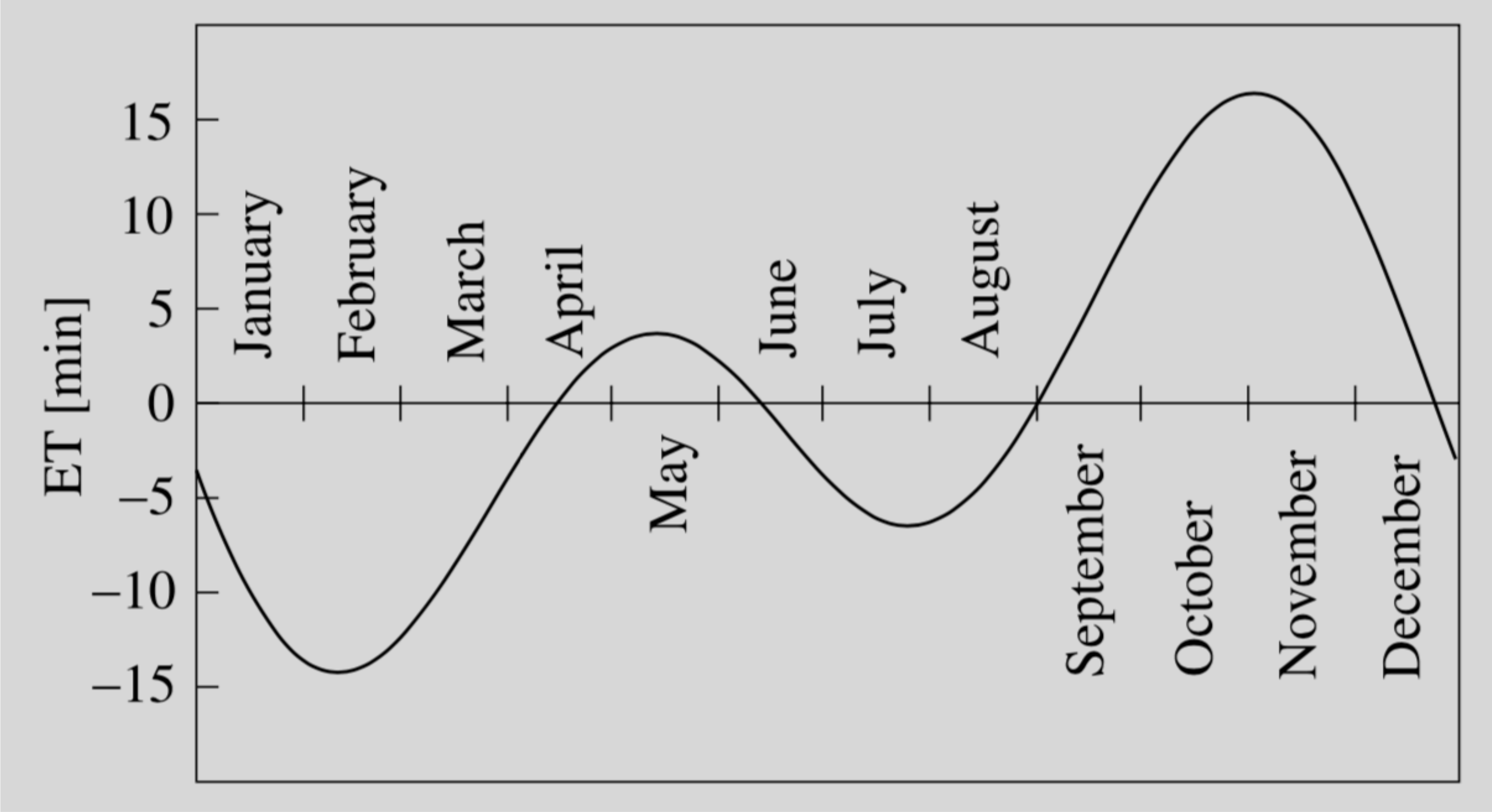
$T_M = h_M + 12h$

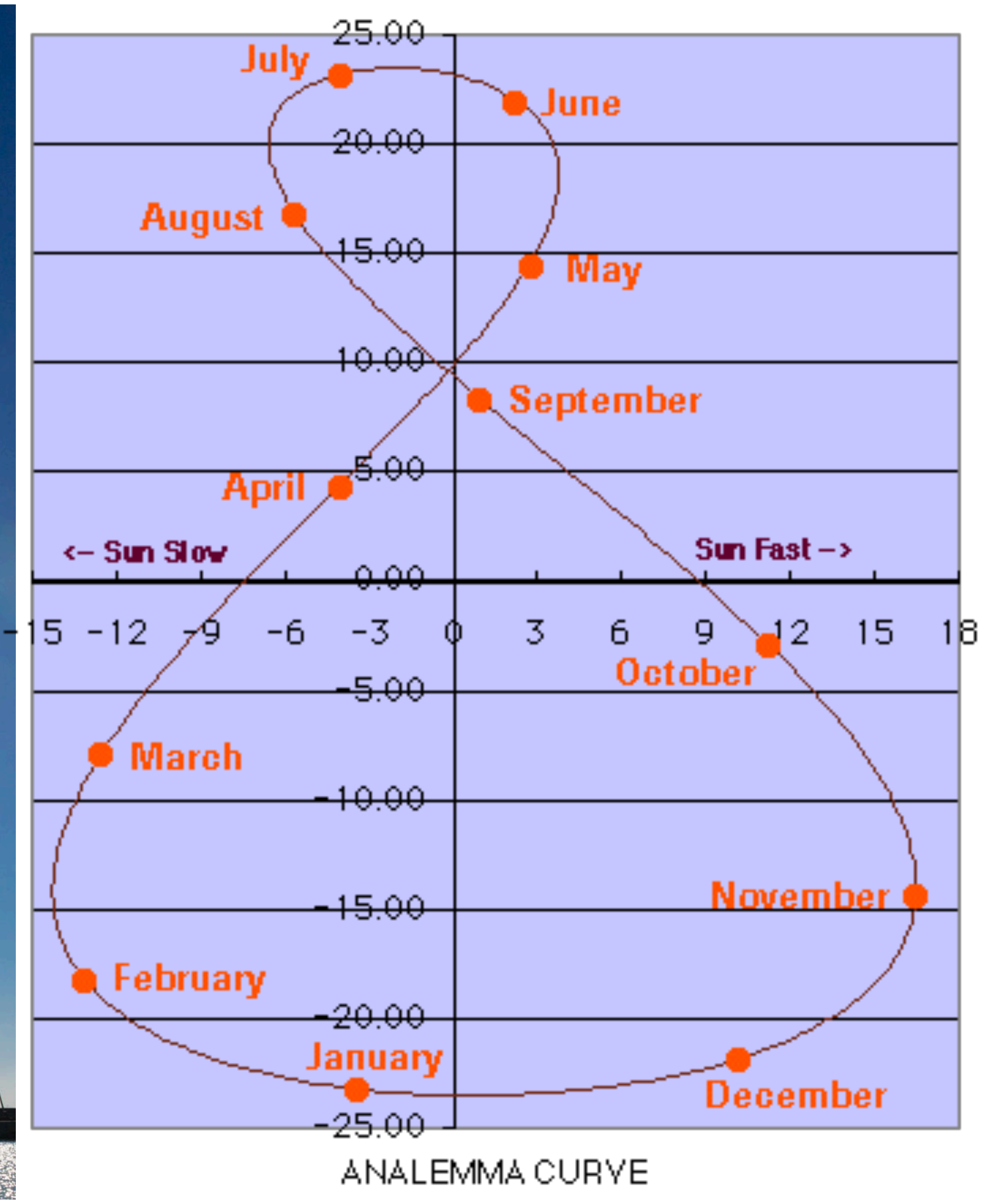
* anno tropicale ≠ anno siderale a causa della precessione; anno siderale = tempo in cui il Sole torna alla stessa posizione rispetto alle stelle

Equazione del tempo

La differenza tra tempo solare vero e tempo solare medio è l'equazione del tempo:

E.T. = $T - T_M$





Analemma: posizione del Sole alla stessa ora solare media nel corso di un anno

Tempo locale e fusi orari

Il tempo segnato dagli orologi digitali la maggior parte delle volte differisce sia dal tempo solare vero e da quello medio (e tantomeno da quello siderale)

Il tempo di uso quotidiano è diviso in zone o *fusi orari*