

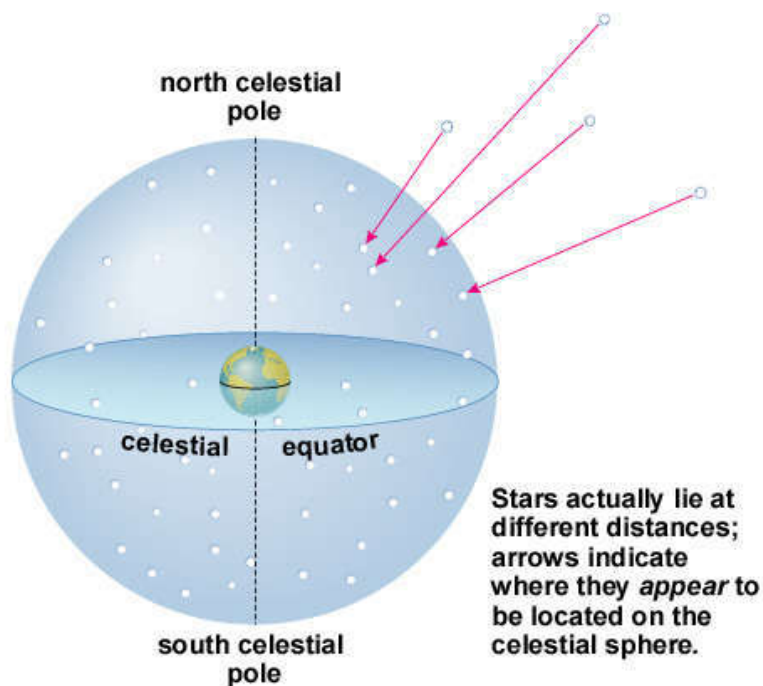
Koordinatni sistemi na nebesni krogli



M. Kuhar - Satelitska geodezija in navigacija

Nebesna krogla

- Nebesna krogla je pomožna, namišljena krogla s poljubnim, zelo velikim ("neskončno" velikim) polmerom, na katero projiciramo nebesna telesa (zvezde). Pogostokrat vzamemo, da je polmer nebesne krogle tako velik, da so smeri od opazovalca proti poljubni točki na njej med seboj vzporedne, ne glede na mesto kjer se nahaja opazovalec na površini Zemlje.
- Nebesna krogla ima lastnosti krogle ki so znane iz sferne trigonometrije.
- Izhodišče nebesne krogle:
 - masno središče Osončja*,
 - geocenter,
 - topocenter.



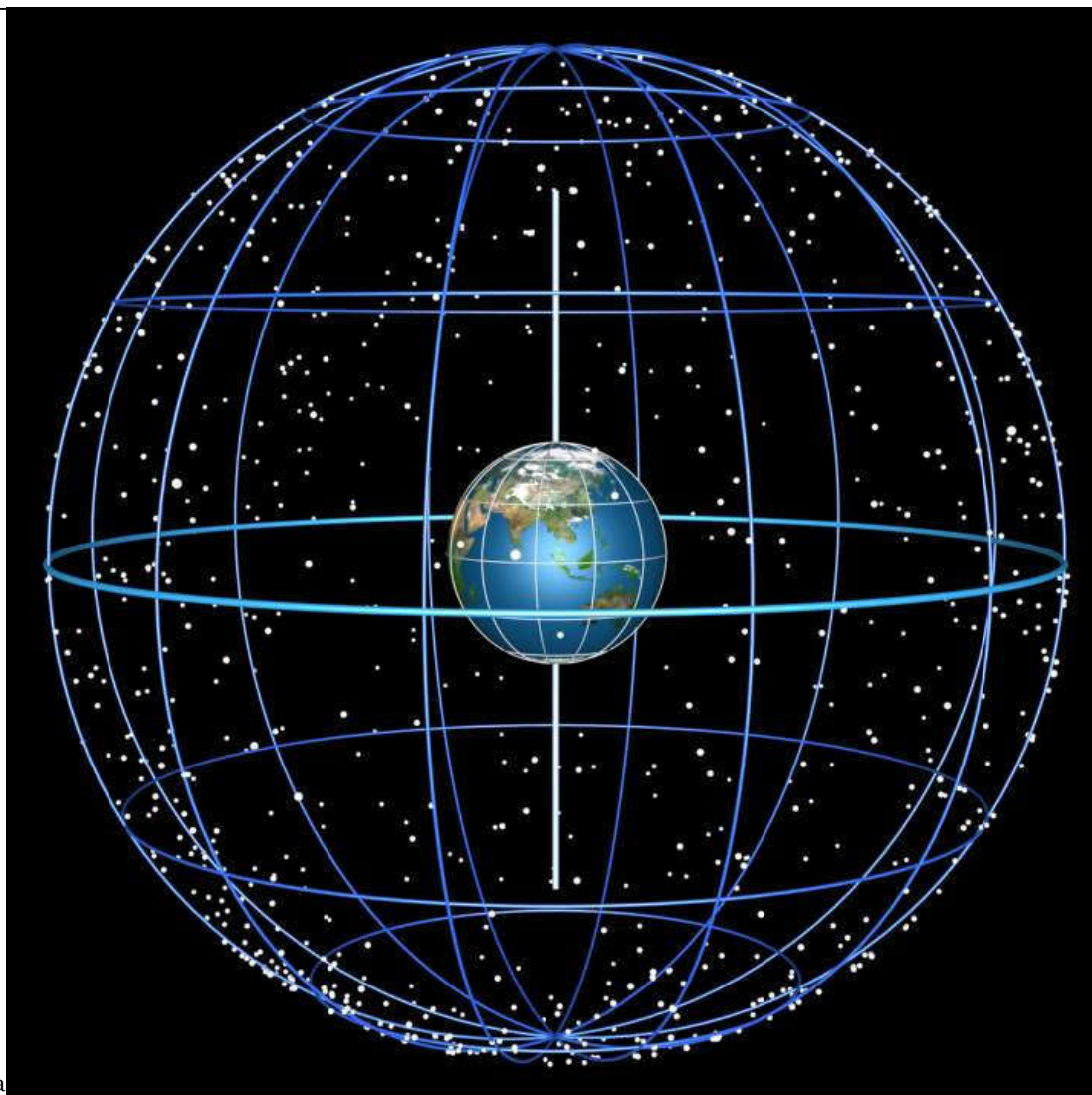
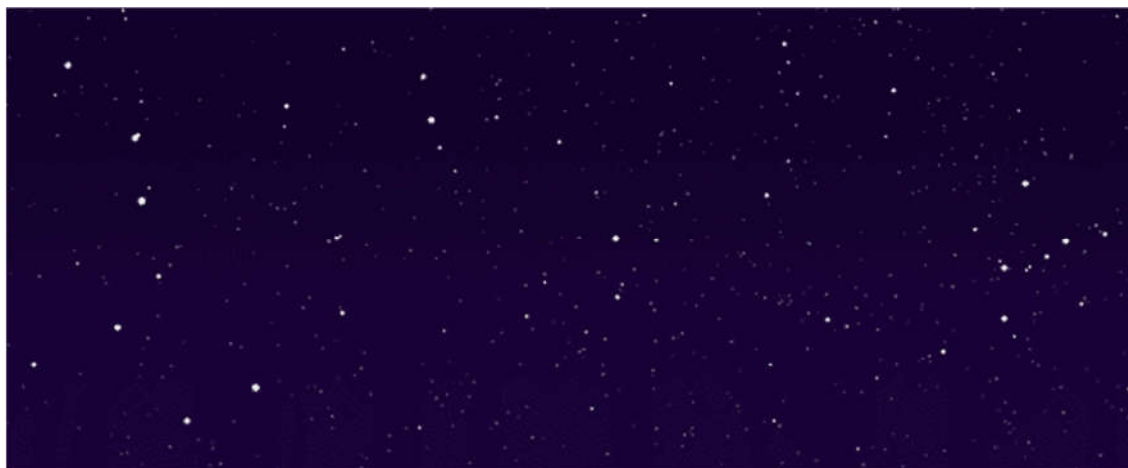
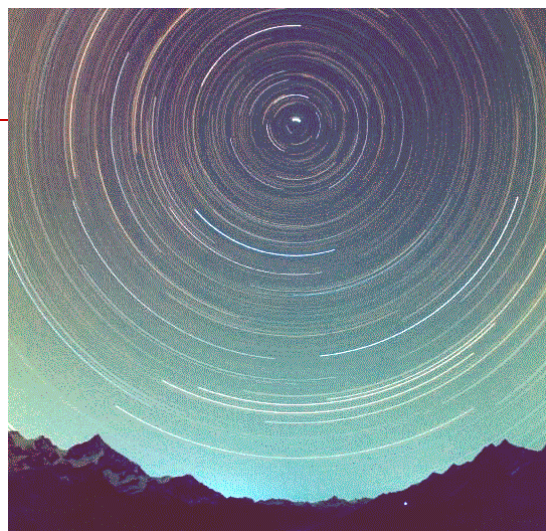
Stars actually lie at different distances; arrows indicate where they *appear* to be located on the celestial sphere.

Copyright © Addison Wesley

*masno središče Osončja –
"barycenter of Solar system"

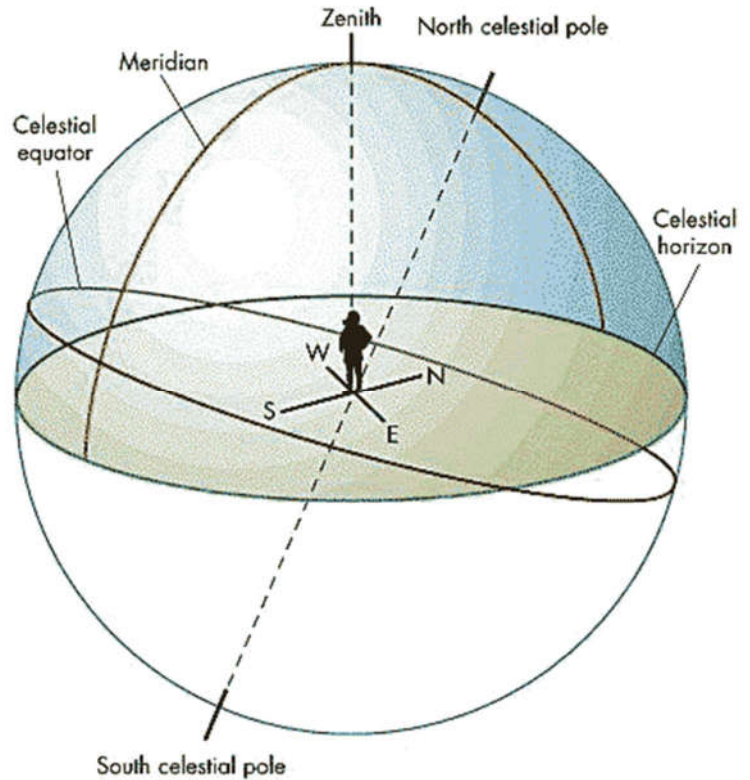
Navidezno dnevno gibanje

- Smeri v katerih nebesna telesa vidimo, se s časom spreminjajo iz različnih vzrokov:
 - navidezno dnevno gibanje nebesne krogle (rotacija Zemlje);
 - navidezno letno gibanje nebesne krogle (revolucija Zemlje).

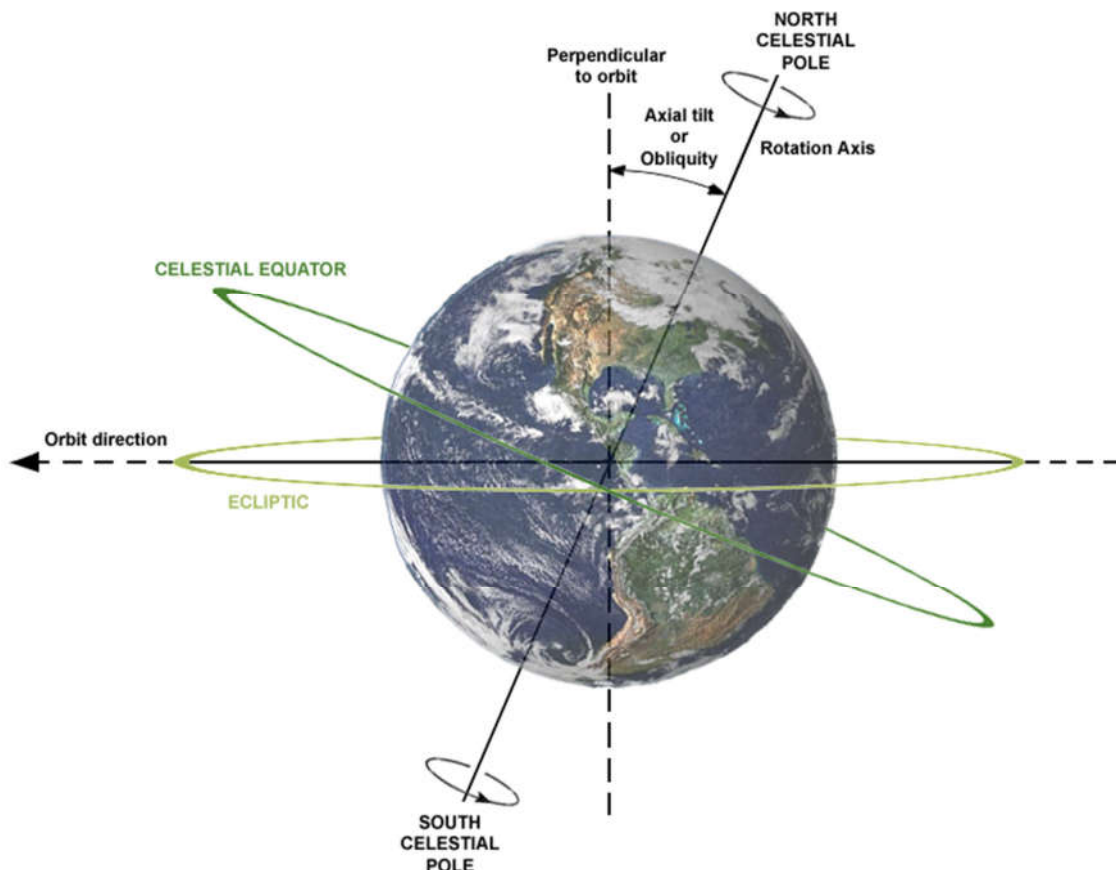


Osnovne točke in krogi na nebesni krogli

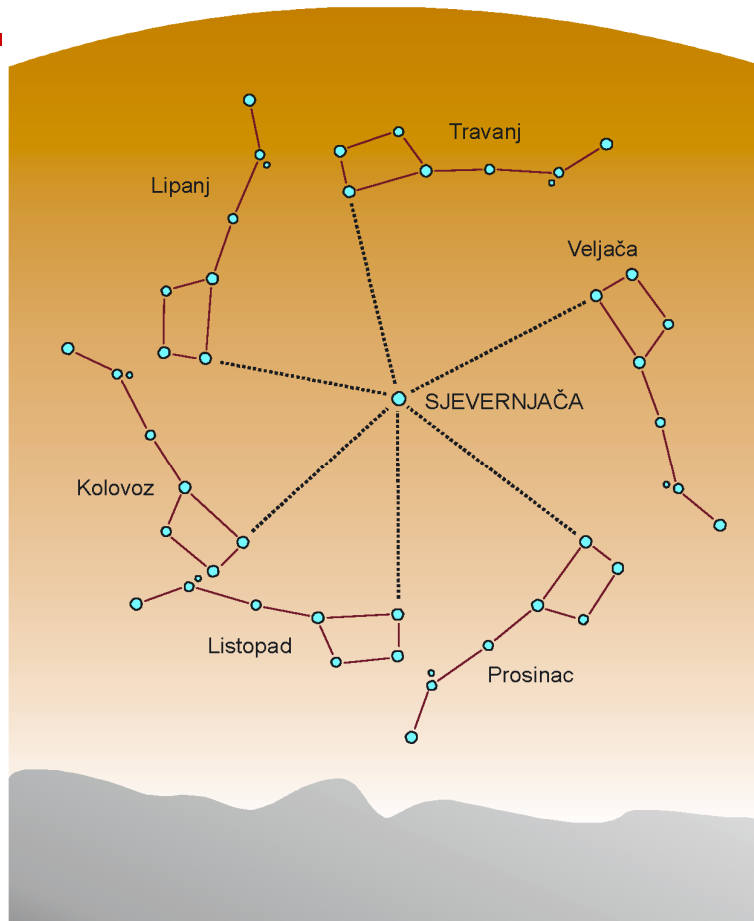
- Zenit, Nadir,
- Horizont točki E,W, N,S
- vertikalni krog (**vertikal**),
- Mali krog – **almukantarat**.
- Nebesna (svetovna, polarna) os; sev. nebesni pol, nebesni ekvator.
- Nebesni meridian (poldnevnik), prv vertikal.
- Ekliptika
- Točki presečišči z ekvatorjem: pomladišče ("vernal equinox") Υ , jesenišče ("autumnal equinox") Ω .
- Veliki krog med tema dvema točkama \Rightarrow **kolur enakonočja**.
- Naklon ekliptike $\varepsilon = 23^\circ 27'$, "obliquity of the ecliptic".



Nebesni ekvator in ekliptika



Navidezno letno gibanje



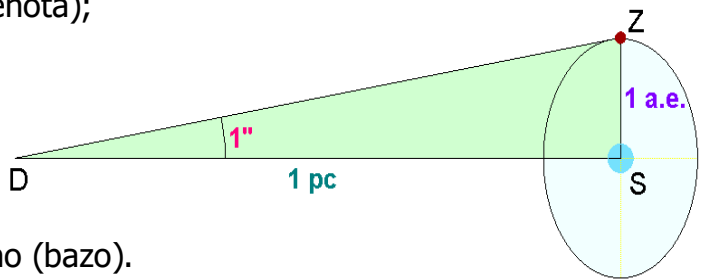
Orientacija nebesne krogle in orientacija na Zemlji

Orientacija

Razdalje v Vesolju

□ Osnovne razdalje:

- 1 a.e. = 149 600 000 km (astronomoska enota);
- 1 sv. leto = $365 \times 24 \times 60 \times 60 \cdot \text{hitrost.sv.} = 9,461 \cdot 10^{12} \text{ km} = 63,241 \text{ a.e.}$
- Parsek (pc): ime parsek izhaja iz okrajšav besed "paralaksa ene sekunde". Enota temelji na trigonometrični paralaksi oz. kotu pod katerim vidimo izbrano dolžino (bazo).
- Parsek je tako določen kot razdalja med Zemljo in zvezdo, katere paralaksa je enaka 1 ločni sekundi (1").



$$1 \text{ pc} = \frac{ZS}{DS} = \frac{1 \text{ a.e.}}{\tan 1''} \approx \frac{1 \text{ a.e.}}{1''} = \frac{1 \text{ a.e.}}{\tan\left(\frac{2\pi}{360 \cdot 60 \cdot 60}\right)} = 206295 \text{ a.e.} = 3,085677 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

- Največja paralaksa: zvezda Proxima Centauri $\pi = 0,772''$ (najbližja zvezda Soncu), oddaljena 1,312 pc (4,24 sv. let).

Razdalje v Osončju

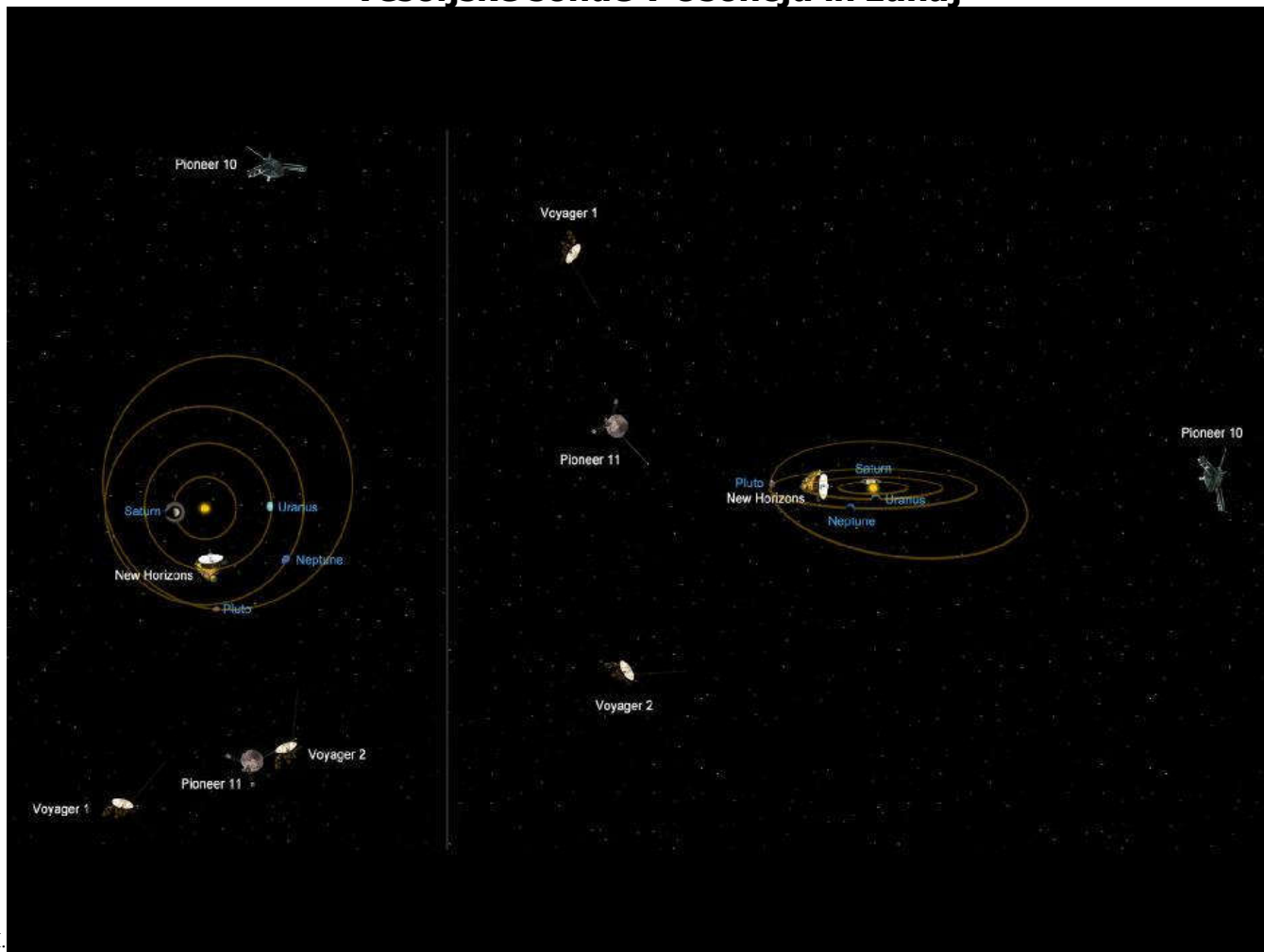
□ Razdalja Zemlja – Luna 384 000 km.

Planet	srednja razdalja od Sonca astro. en.	10^6 km	svetloba od Sonca	siderska revolucija
Merkur	0,39	58	2,5m	88d
Venera	0,72	108	6m	225d
Zemlja	1	149,6	8,3m	1 leto
Mars	1,52	228	12m	11 322d
Jupiter	5,20	778	0,7h	111 315d
Saturn	9,54	1427	1,3h	291 167d
Uran	19,18	2870	2,5h	84 let
Neptun	30,06	4497	4h	164 let
Pluton	39,44	5800	5,5h	247 let

□ Kje je Rosetta? http://sci.esa.int/where_is_rosetta/

□ Kje sta sondi Voyager1 in 2? <http://voyager.jpl.nasa.gov/>

Vesoljske sonde v Osončju in zunaj

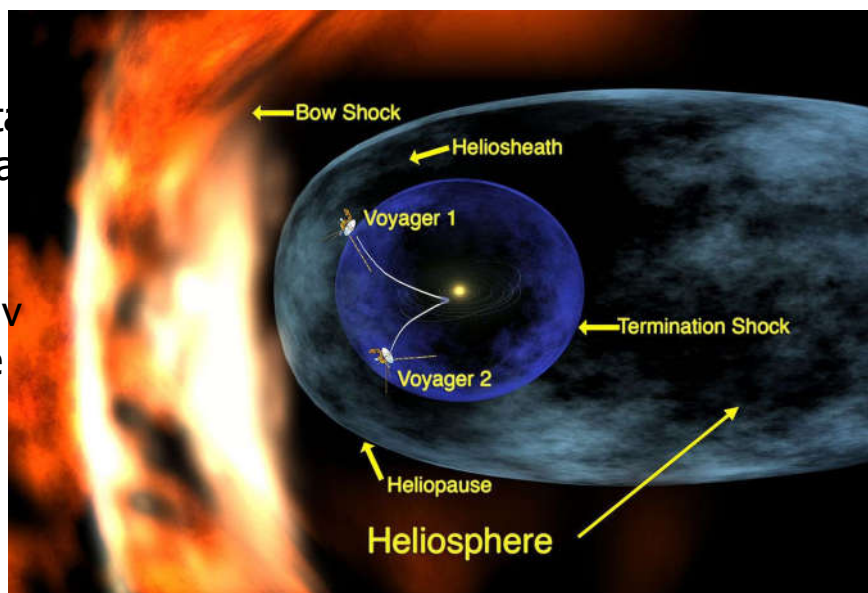


M.

11

Vesoljske sonde v Osončju - 2

- ❑ [Pioneer 10](#) – lansiran leta 1972, letel mimo Jupitra leta 1973. Leti v smeri Aldebarana u ozvezdju Bika. Kontakt sa satelitom so zgubili januarja 2003.
- ❑ [Pioneer 11](#) – lansiran leta 1973, letel mimo Jupitra leta 1974 in Saturna leta 1979. Satelit leti proti ozvezdju Ščit. Kontakt s sondo so zgubili septembra leta 1995.
- ❑ [Voyager 2](#) – lansiran avgusta 1977, letel mimo Jupitra leta 1979, Saturna leta 1981, Urana leta 1986 in Neptuna leta 1989. Satelit je na poti v medzvezdni prostor (letel je skozi helioščit - zunanja meja heliosfere) in je še aktiven.



Vesoljske sonde v Osončju - 3

- [Voyager 1](#) – lansiran septembra leta 1977, letel mimo Jupitra leta 1979 in Saturna leta 1980 in zelo blizu Saturnove lune Titan. Sonda je šla skozi heliopavzo leta 2012, ter vtopila v medzvezdni prostor, še je aktiven.
- [New Horizons](#) – lansiran leta 2006, letel mimo Jupitra leta 2007 in Plutona julija 2015. Čaka ga let skozi Kuiperjev pas in prelet mimo Plutona.
- Čeprav so bili druge sonde lansirane prej, jih je Voyager 1 prehitel in je 17.02.1998. postal najbolj oddaljen umetni satelit (sonda) satelit od Zemlje.

Koordinatni sistemi na nebesni krogli

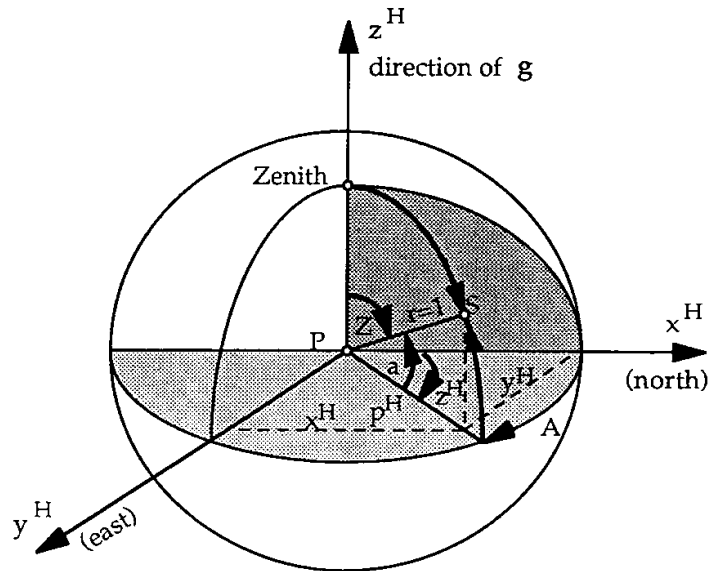
- Določeni so s tremi pojavi:

1. horizontski sistem	težnost (navpičnica)
2. krajevni ekvatorski sistem	⇒ rotacija Zemlje (os rotacije)
3. nebesni ekvatorski sistem	
4. ekliptični sistem	revolucija Zemlje

- Vsi astronomski koordinatni sistemi na nebesni krogli so sferni. Položaj točke je v astronomskem koordinatnem sistemu na nebesni krogli enolično določen z dvema koordinatama:
 - dva sferna kota (enotski polmer krogle, $r = 1$).
 - Smer do točke pa je lahko podana tudi z enotskim smernim vektorjem e .

Horizontski k.s.

- Azimut (A),
- zenitna razdalja (z).
 - (angl. azimuth, zenith angle)
 - komplement zenitni razdalji: višina (altitude a).
- Lastnosti:
 - Azimute štejemo od severa.
 - k.s. je levi.
 - K.s. je odvisen od kraja in časa ⇒ krajevni sistem

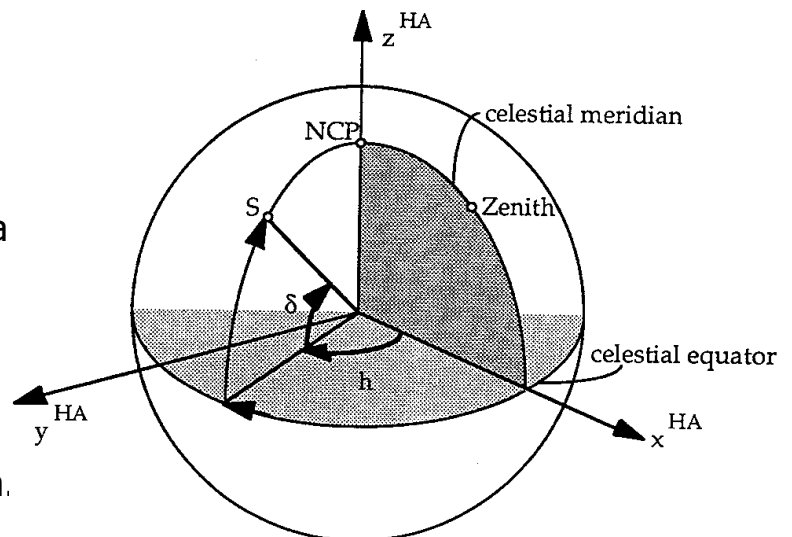


- Enotski vektor:

$$\mathbf{e}^H = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}^H = \begin{pmatrix} \sin z \cos A \\ \sin z \sin A \\ \cos z \end{pmatrix}$$

Krajevni ekvatorski ks. ("HA" coord. system)

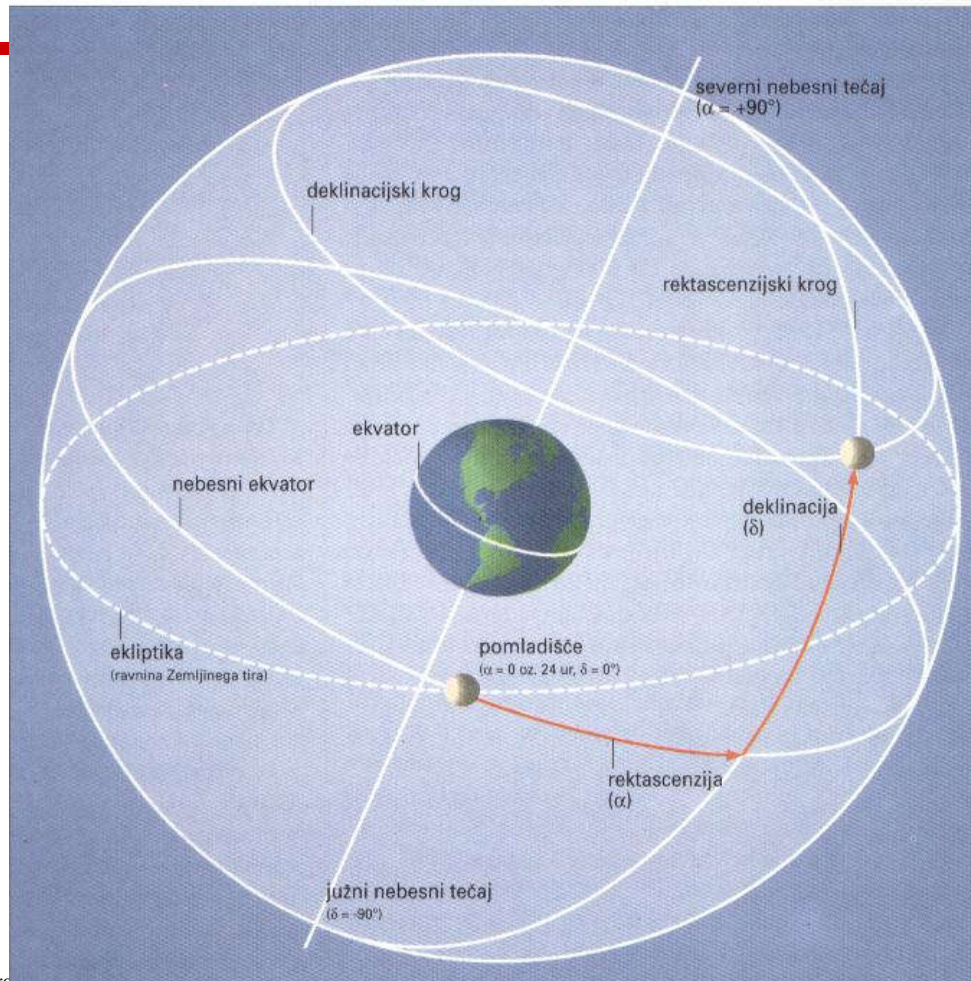
- Deklinacija (δ),
- Časovni kot (t), "hour angle".
- Lastnosti:
 - časovne kote štejemo od južišča
 - deklinacije štejemo severno in južno od ekvatora;
 - polarna razdalja $p = 90^\circ - \delta$
 - k.s. je levi,
 - k.s. je krajeven, odvisen od časa.



- Enotski vektor:

$$\mathbf{e}^{KE} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}^{KE} = \begin{pmatrix} \cos \delta \cos t \\ \cos \delta \sin t \\ \sin \delta \end{pmatrix}$$

Nebesni ekvatorski k.s. ("RA" coord. system)

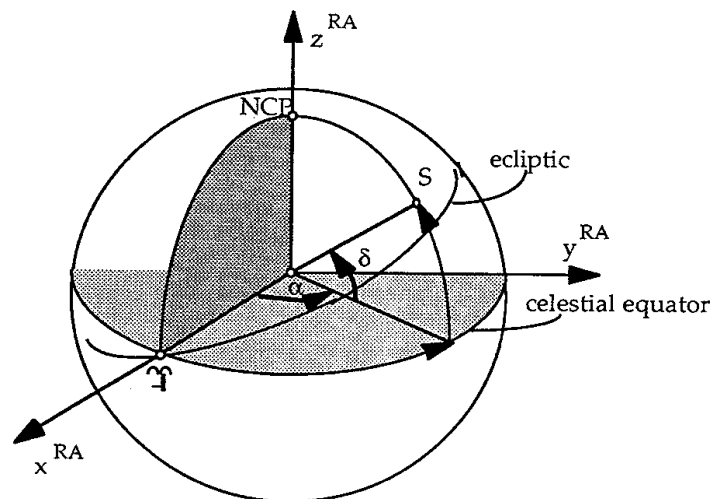


M. Kuhar - Satelitska geodezija in navigacija

17

Nebesni ekvatorski k.s. ("RA" coord. system)

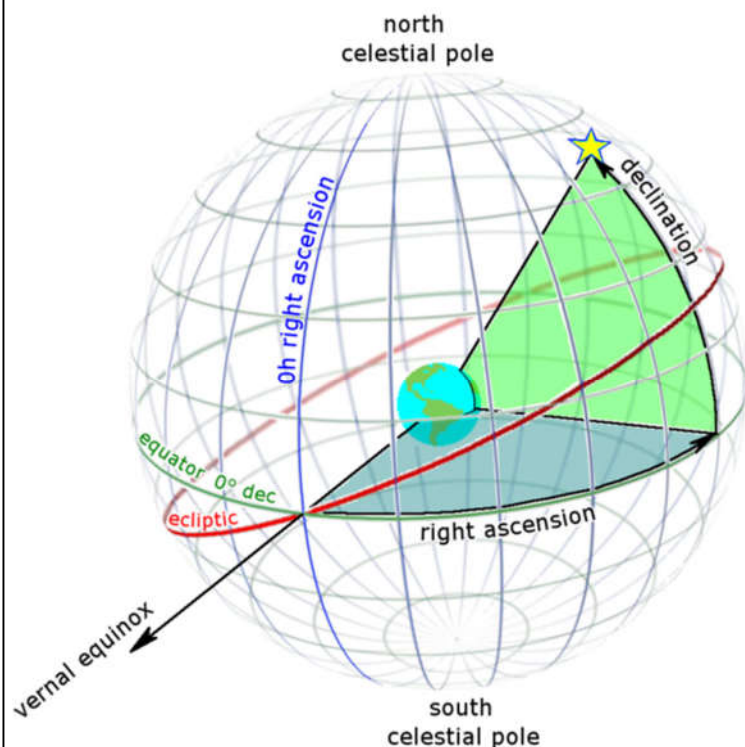
- Deklinacija (δ),
- Rektascenzija (α).
 - angl. declination, right ascension.
- Lastnosti:
 - Rektascenzije štejemo od Υ , v časovnih enotah;
 - k.s. je desni,
 - k.s. je neodvisen od kraja in časa.



- Enotski vektor:

$$\mathbf{e}^{\text{NE}} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}^{\text{NE}} = \begin{pmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{pmatrix}$$

Nebesni ekvatorski k.s. ("RA" coord. system)



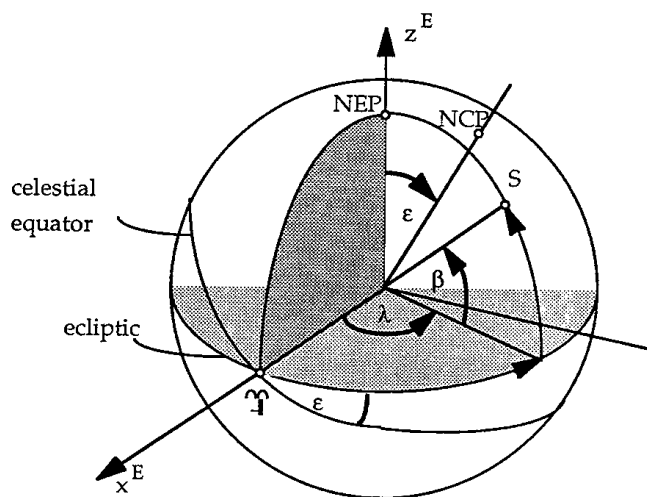
Koordinate zvezd (nebesnih teles) so podane v nebesnem ekvatorskem k.s.

V navigaciji se namesto rektascenzije pogosto uporablja koordinata: SHA - Siderial Hour Angle.

Ekliptični koordinatni sistem

- Astron. širina (β),
- Astron. dolžina (λ),
- Lastnosti:
 - As. dolžine štejemo od Υ ;
 - k.s. je desni,
 - k.s je neodvisen od kraja in časa.
- Enotski vektor:

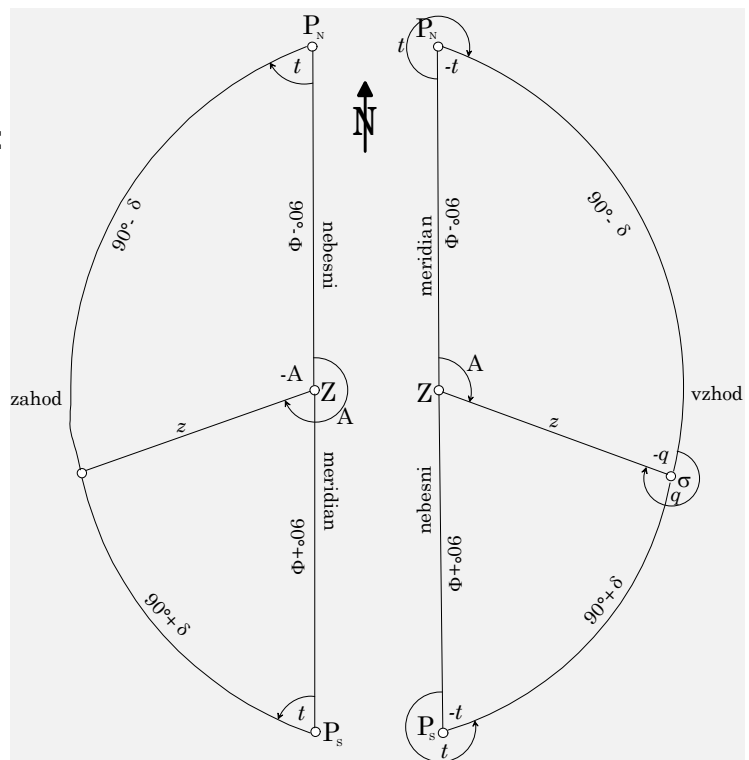
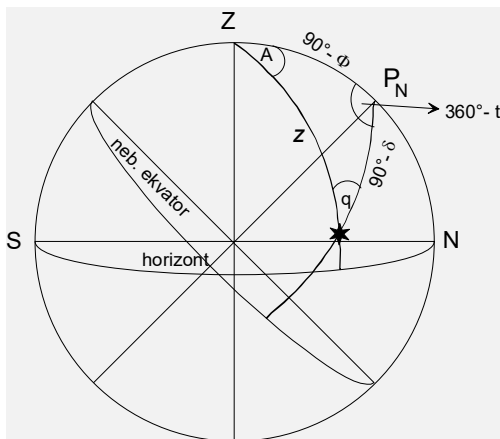
$$\mathbf{e}^{\text{Ekl}} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}^{\text{Ekl}} = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \lambda \\ \cos \beta \sin \lambda \\ \sin \beta \end{pmatrix}$$



- Koordinate Sonca so podane v ekliptičnem k.s.

Astronomski trikotnik

- Meridian opazovališča ter vertikalni in časovni krog skozi nebesno telo tvorijo na nebesni krogli sferni trikotnik z oglišči: severni nebesni pol - zenit – zvezda \Rightarrow **astronomski (navtični, pozicijski, paralaktični) trikotnik**. Služi za pretvorbo koordinat iz enega v drugi koord. sistem.
- Uporaba: astronomska navigacija, geodetska astronomija, opazovanje satelitov (neb. teles).



astronomski trikotnik na severni in južni polobli

Zveza med krajevnimi in nebesnimi ekv. koordinatami – zvezdni čas

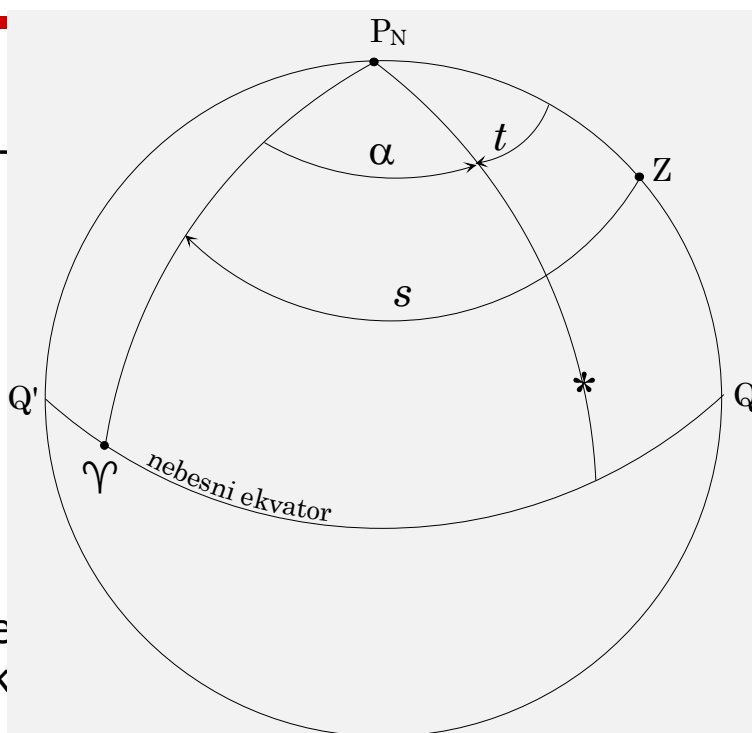
- Nebesna telesa pri svojem navideznem dnevnem gibanju opisujejo v teku dneva (24h) male kroge ali dnevne vzporednike na nebesni krogli. Vsako neb. telo v teku dneva in noči dvakrat preseka meridian. Pri tem doseže enkrat najvišjo lego (telo ima največjo višino), govorimo o **zgornji kulminaciji**, drugač pa najnižjo lego (telo ima najmanjšo višino), govorimo o **spodnji kulminaciji**.
- Kulminacija je prehod nebesnega telesa čez meridian.**
- Zvezdni čas je časovni kot pomladišča (s) – "siderial time".**

Zvezdni čas (2)

- Ob zgornjem prehodu pomladišča čez meridian je 0^h , ob spodnjem prehodu pa je 12^h zvezdnega časa. Vsi kraji na istem meridianu imajo v istem trenutku isti zvezdni čas. V tem trenutku imajo kraji na drugem meridianu drugačen zvezdni čas. Zvezdni čas je krajevni čas, na vsakem meridianu je drugačen.
- **Zvezdni dan** je časovni presledek med dvema zaporednima kulminacijama pomladišča.

Zvezdni čas (3)

- Zvezdni čas je neposredno merilo Zemljine rotacije in ga lahko določimo z opazovanjem nebesnih teles.
- Če v danem trenutku zvezdnega časa, nebesno telo ima časovni kot t , rektascenzijo α , zveza med t in α znaša:
- $s = \alpha + t$
- Ta izraz predstavlja tudi zvezo med krajevnimi in nebesnimi ekvatorskimi koordinatami.



Zveza med geografskimi in nebesnimi koordinatami – višina pola

- Zveze med koti na sliki:
- $\angle ZMQ = \Phi$
- $\angle NMP = h_p$ (višina pola),
- $\angle ZMQ = \angle NMP = \Phi$

- Geografska širina kraja je enaka višini pola nad horizontom.
- $\angle ZMQ = \delta_z$
- Geografska širina kraja je enaka deklinaciji zenita.
- Princip določitve astron. geogr. širin

