

COORDINAATSYSTEMEN

2 Hoeken + Oorsprong, i.e 2 vaste (nul)punten + (Orthogonale) Richtingsconventie

1. EGOCENTRISCH (HORIZONTALAAL) SYSTEEM

Zenith (Nadir)

hoogte h
bepaald door
zwaartekracht
+ richting zenith

Azimuth Cirkel

azimuthale lengte A
G.P. (zenith - 90°)
nulpunt: Noorden
+ richting O, Z, W, N

2. AARDBOL: GEOCENTRISCH SYSTEEM

(Noord)Pool

geografische breedte B
bepaald door
rotatie-as
Aarde
+ richting noordpool
.

Equator Cirkel

geografische lengte L
G.P. (noordpool - 90°)
nulpunt: meridiaan Greenwich
(Parijs, Potsdam, Leiden ...)
+ richting west
(tegen draaiing Aarde in)

3. HEMELBOL: EQUATORIAAL SYSTEEM

HemelPool

declinatie δ
bepaald door
rotatie-as
Aarde
+ richting noordpool
.

Hemel-Equator Cirkel

rechte klimming α
G.P. (hemelpool - 90°)
nulpunt: lentepunt
(snijpunt met ecliptica)
+ richting oost
(mèt draaiing Aarde mee!)

4. ZONNESTELSEL: ECLIPTICAAL SYSTEEM

Ecliptica Pool

eclipticale breedte β
bepaald door
ecliptica + 90°
Aarde
+ richting 'noord'

Ecliptica Cirkel

eclipticale lengte λ
projectie baanvlak Aarde
nulpunt: lentepunt
(snijpunt met hemelequator)
+ richting oost

5. MELKWEG: GALACTISCH SYSTEEM

Galactische Pool

galactische lengte l
bepaald door
galactisch vlak + 90°
.
+ richting noord

Galactisch Vlak

galactische breedte b
G.P. (hemelpool - 90°)
'zwaartevlak' melkweg
nulpunt: centrum melkweg
+ richting oost

COORDINATEN VERANDEREN VOORTDUREND EN SYSTEMATISCH OVER DE HELE HEMEL

Lunisolaire Precessie

Tolbeweging aardas gevolg van koppel door Maan en Zon op Aarde uitgeoefend door: a. rotatie-afplatting Aarde (0.997) en b. equator en ecliptica niet in zelfde vlak (hoek 23.45°)

Precessie: voortdurende westwaartse verplaatsing lentepunt

Newcomb: 50.25 " per jaar (t = 25800 jaar)

Werkelijke posities α, δ verschillen i.h.a van catalogus/kaart posities α_o, δ_o :

$$\alpha = \alpha_o + \Delta t \Delta \alpha \qquad \Delta \alpha = m + n \sin \alpha \tan \delta$$

$$\delta = \delta_o + \Delta t \Delta \delta \qquad \Delta \delta = n \cos \alpha$$

$$\Delta \delta = n \cos \alpha$$

Δt in jaren

Nutatie

Baanvlak Maan en Ecliptica (\equiv baanvlak Aarde) niet identiek: extra schommeling met periode 18.6 jaar (omlooptijd knopenlijn) gesuperponeerd op precessie.

Daarom: ‘Gemiddelde’ Pool en ‘Gemiddeld’ Lentepunt

Planetaire precessie:

‘constanten’ m, n veranderen *zelf* ook langzaam (semi-lineair) met epoche als gevolg van koppeling met andere planeten (Jupiter).

Epoche	m	n	
	(sec)	(sec)	(")
B1950.0	3.07327	1.33617	20.0426
J2000.0	3.07420	1.33589	20.0383
2050.0	3.07523	1.33560	20.0341

Lokale complicaties:

- a. Willekeurige beweging rotatie-as Aarde (‘polar wandering’), bijv. gevolg van stromingen in inwendige Aarde
- b. Aswenteling Aarde vertraagt door getijde-wisselwerking met de Maan (dag wordt langer)
- c. Onregelmatige aswenteling Aarde, bijv. gevolg van kleine veranderingen in impulsmoment (seizoensoscillatie dampkring, stuwmeren, smelten gletschers, opwarming oceaan etc)

COORDINATEN VERANDEREN PERIODIEK ALS FUNCTIE VAN DE AFSTAND

Stellaire Parallax

- Gezien vanaf Aarde beschrijft elke ster in een jaar een ellipsje aan de hemel.
- Stellaire parallax: halve grote as p van dat ellipsje.
Voor alle sterren: $p < 1''$
- Parallax ellips \equiv projectie aardbaan op hemelbol.
- als: $p = 1'' \equiv R = 1$ A.E.
dan: $D = 1 / \tan 1'' \times R \rightarrow D = 206\,264.8$ A.E.
- Definitie: 1 parsec is afstand ster met $p = 1''$
Dus ook: $1 \text{ pc} = 206\,264.8$ A.E.

Stellaire Aberratie

Gevolg van de beweging van de Aarde. Amplitude = v_A/c constant over hemel. Ellips met constante grote as $20.5''$, korte as functie van δ .

COORDINATEN VERANDEREN VOORTDUREND VOOR ELKE STER AFZONDERLIJK

Eigenbeweging

Drie componenten ruimtelijke beweging ster: 1 radiële component radiële snelheid v_r en 2 tangentiële componenten v_t die samen de **eigenbeweging** $\mu = v_t/D$ vormen.

Op hemelbol-coördinaten α, δ :

$$\mu_\alpha = d\alpha/dt \times \cos\delta$$

$$\mu_\delta = d\delta/dt$$

$$\mu_{tot} = (1/dt)[(d\alpha \cos\delta)^2 + (d\delta)^2]^{1/2}$$

SAMENVATTING STERPOSITIES

Voor de hand liggend: sterposities in systeem 3 (α, δ), maar die veranderen voortdurend:

	Fenomeen	Periode	Aard
1	Parallax	1 jaar	jaarlijkse beweging Aarde
2	Aberratie	1 jaar	jaarlijkse beweging Aarde
3	Eigenbeweging	continu	beweging sterren t.o.v. Zon
4	Precessie	25800 jr	tolbeweging aardas o.i.v Maan, Zon en planeten
5	Nutatie	18.6 jr	niet samenvallen baanvlakken Aarde en Maan

Daarom: bij sterposities etc. *altijd* vermelden welke **EPOCHE** (gerelateerd aan lentepunt) wordt gebruikt.

bijv. B1950.0 posities op precies 0^h GST, 20 maart 1950

bijv. J2000.0 posities op precies 0^h GST, 20 maart 2000

HIPPARCOS

Europese satelliet 1989-1993

118 000 sterren, $V < 12.4$ mag

$\rightarrow \Delta p \approx 0.001''$

$\Delta v_t \approx 0.00115''/\text{jaar}$

20853 sterren met $\Delta D \leq 10\%$

49399 sterren met $\Delta D \leq 20\%$

Hoogste eigenbeweging: Barnard's Ster $10.3''/\text{jaar}$

Beste resultaat: accurate Hipparcos positie samen met veel minder accurate positie op oude platen!

VOORAL NIET UIT HET OOG VERLIEZEN: Gliese 710

$M_V = 9.66$, spectraaltype K5 - dM1, massa $\approx 0.5 M_\odot$

Coördinaten J2000.0: $\alpha = 18^h 19^m 50.8^s$, $\delta = -01^\circ 56' 19''$.

In sterrebeeld Slang op afstand $19.3 \text{ pc} \equiv 63 \text{ lichtjaar}$

$$\mathbf{v}_t \approx 0, \quad \mathbf{v}_r = -14 \text{ km/s}$$

Over 14 miljoen jaar: $\Delta R = 40\,000 - 60\,000 \text{ A.E.}$

TIJDREKENING

Zonnedag: tijd tussen opeenvolgende culminaties van de Zon. Per definitie 24 uren.

Ware Zonnetijd

Gebaseerd op werkelijke positie van de Zon: tijd aangegeven door zonnwijzer. Maar: a. ecliptica maakt hoek van 23.45° met equator, b. aardbaan is elliptisch. \rightarrow lengte ware zonnedag variabel

Middelbare Zonnetijd

Gebaseerd op *gemiddelde* beweging van de Aarde; tijd aangegeven door klok.
Het *verschil* tussen de middelbare en de ware zonnetijd is de **Tijdvereffening**

Zon in:	datum	α	δ	
lentepunt	20 maart	0^h	0°	voorjaars dag- en nacht-evening 'vernal equinox'
zomerpunt	21 juni	6^h	$+23.45^\circ$	zomersolstitium kreeftskeerkring 'tropic of cancer'
herfstpunt	23 september	12^h	0°	najaars dag- en nacht-evening 'autumnal equinox'
winterpunt	21 december	18^h	-23.45°	wintersolstitium steenbokskeerkring 'tropic of capricorn'

Lokale Sterretijd LST

Definitie: $LST \equiv \alpha$ culminerend op de meridiaan. Bijvoorbeeld: $\alpha_{Zon} \approx LST$ om 12:00 Lokale Tijd. Niet precies vanwege de Tijdvereffening!

1 sterredag = $23^h 56^m$

Definitie: Uurhoek H van een ster: tijd verlopen sinds sterculminatie (meridiaan-doorgang.

Definitie: LST van Greenwich \equiv GST

Dan: $\mathbf{H} = \mathbf{GST} - \alpha - \mathbf{L}$

Juliaanse datum (Julian day number JDN) is het aantal dagen verlopen sinds since the initial epoch defined as noon Universal Time (UT) Monday, January 1, 4713 BC in the proleptic Julian calendar [1]. That noon-to-noon day is counted as Julian day 0. Thus the multiples of 7 are Mondays. Negative values can also be used, although those predate all recorded history.

COORDINAAT-TRANSFORMATIES

Grootcirkel:

- middelpunt cirkel valt samen met middelpunt bol
- hoeken en zijden (bogen): altijd grootcirkels op bol

Boldriehoeken

Cosinusregel hoeken A, B, C:

$$\cos A = -(\cos B \cos C) + (\sin B \sin C \cos a)$$

Cosinusregel zijden a, b, c:

$$\cos a = -(\cos b \cos c) + (\sin b \sin c \cos A)$$

Sinusregel:

$$(\sin a/\sin A) = (\sin b/\sin B) = (\sin c/\sin C)$$

Hiermee te bepalen:

Transformatie (A,z) en (α, δ)

$$\begin{aligned}\cos z &= (\cos B \cos H \cos \delta) + (\sin B \sin \delta) \\ (\cos A \cos B \sin z) &= (\sin \delta) - (\sin B \cos z)\end{aligned}$$

waarin:

$$z = 90^\circ - h$$

$$H = \text{GST} - \alpha - L = \text{LST} - \alpha$$

$$\sin H < 0 \rightarrow A = \arccos(\cos A)$$

$$\sin H > 0 \rightarrow A = 360^\circ - \arccos(\cos A)$$