

Geodéziai alapkalkulások BSc

2020/21: előadások: ~~Ádám J.~~, Rózsa Sz., Tóth Gy., Völgyesi L.,
Ambrus B.: MS Teams

gyakorlatok: Rózsa Sz., Tuchband T.

számítási gyakorlatok: MS Teams

alapismeretek, vonatkoztatási rendszerek és időrendszerek,
függővonal iránymeghatározása, azimut meghatározás

alappontsűrítés GNSS technikával, transzformációs eljárások

vízszintes és magassági alaphálózatok, gravimetria, INGA, 4D
geodézia

műholdas radar interferometria

Tavalyi ütemterv

1. ea. (09.19.) (T.Gy.)	Bevezetés. Globális geodéziai alapok: Helymeghatározás természetes és mesterséges égitestekre végzett mérésekből. Égi vonatkozási rendszerek (ICRS), égi egyenlítői rendszerek és helymeghatározási adatok (α, δ). Időbeli változásaik (precesszió, prec. zavar).	
1. gy. 09.16. (T.T.)	RINEX formátumú GNSS állományok szerkezete, előállítása. A FÖMI virtuális RINEX szolgáltatása.	
2.ea. 09.26. (T.Gy.)	Időrendszerek (ismétlés). Szintfelületi koordináták és azimut meghatározása. Szintfelületi szélesség és hosszúság meghatározásának elve. Szintfelületi azimut fogalma és meghatározásának elve.	
3.ea. 10.03 (R.Sz.)	Vízszintes/3D alappontsűrítés GNSS technikával (módszerek, előírások, meghatározási terv, minőségbiztosítás, GNSS infrastruktúra szolgáltatásai)	
2. gy. 09.30 (R.Sz.)	Statikus GNSS mérések feldolgozása (észlelések szűrése, bázisvonalak feldolgozása, hálózatkiegyenlítés).	HF

4.ea. 10.10. (R.Sz.)	GNSS technikával meghatározott koordináták transzformációs eljárásai.	
3. gy. 10.14 (R.Sz.)	GNSS technikával meghatározott koordináták transzformálása hasonlósági transzformációval (transzformációs együtthatók számítása, az eredmények összehasonlítása egyéb eljárásokkal, pl. VITEL, EHT2).	HF
5.ea. 10.17. (Á.J.)	Vízszintes alaphálózatok, geodéziai dátumaik és vetületi síkkoordináta rendszereik.	
6. ea. 10.24 (Á.J.)	Magassági alaphálózatok és alapszintfelületeik.	
4. gy. 10.28. (R.Sz.)	GNSS technikával meghatározott koordináták transzformálása polinomos transzformációval, 2D hasonlósági transzformációval. Az építési hálózatok létrehozása.	HF

7. ea. 10.31. (Á.J.)	1. ZH. Nemzetközi vonatkoztatási rendszerek (ITRF, ETRF, stb.).	ZH
8. ea. 11.07 (V.L.)	A gravimetria szerepe a geodéziában. A nehézségi térerősség abszolút és relatív mérése. Műszerek kalibrációja.	
5. gy. 11.11 (V.L.)	Relatív gravimetria mérések végrehajtása. (VL)	
9. ea. 11.14 (Á.J.)	Gravimetriai hálózatok Magyarországon (felépítés, észlelése, alkalmazási lehetőségek). Magassági mérőszámok.	
10. ea. 11.21. (V.L.)	Négydimenziós geodézia.	

6. gy. 11.25. (R.Sz.)	Magassági mérőszámok számítása geopotenciális értékekből.	HF
11. ea. 11.28. (Á.J.)	2. ZH. Integrált Geodéziai Alaphálózat (INGA) és szerepe a geodéziában.	ZH
12. ea. 12.05. (A.B.)	A műholdas radar interferometria. Alkalmazási lehetőségei a geodéziában.	
7. gy. 12.09 R.Sz.	Vizsgakonzultáció, pót zárthelyi dolgozat	PZH
13. ea. 12.12. (A.B.)	Kéregmozgások meghatározása műholdas radar interferometriával.	

Bevezetés

- Globális geodéziai alapok
- A Föld mozgásai
- Csillagászati alapok
- Égi koordináta rendszerek

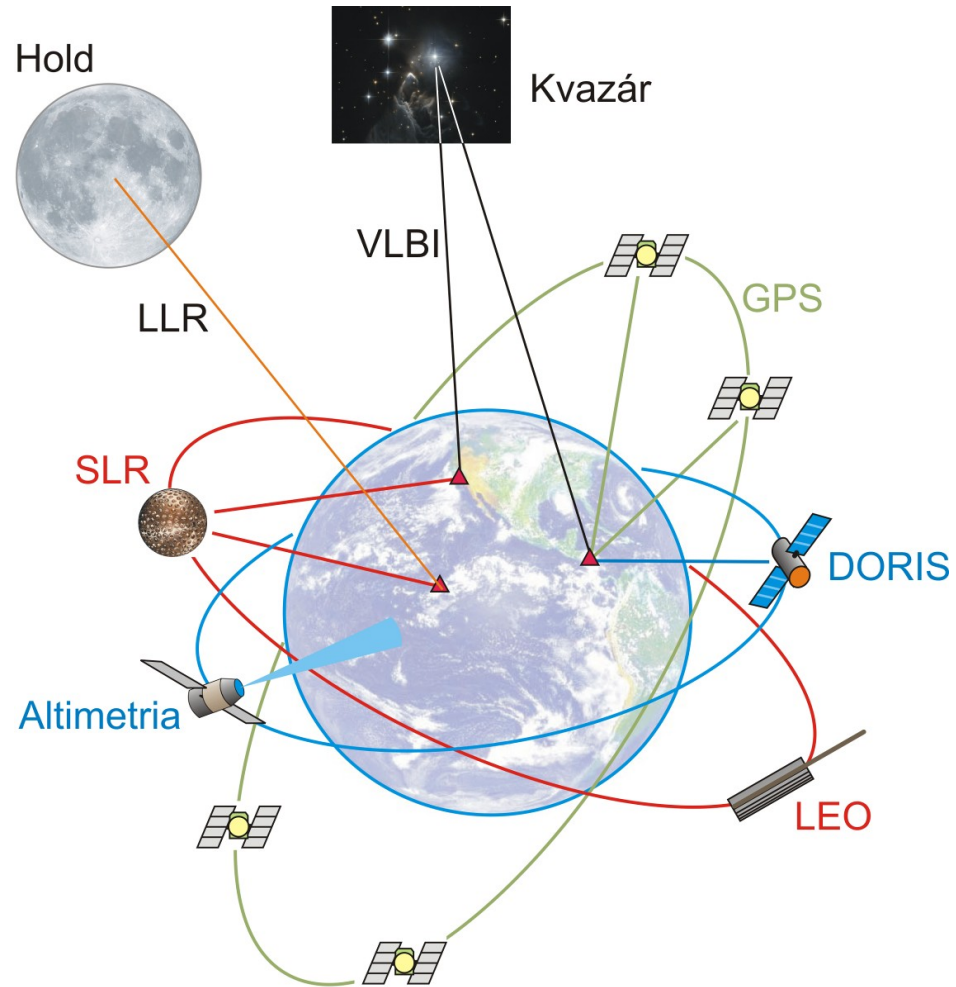
Globális geodéziai alapok

- A feladat helymeghatározás természetes és mesterséges égitestekre (ismert „alappontok”) végzett mérésekkel
- térbeli vonatkozások (helyzet, irány, méret, alak, mozgás, helyhez kötött egyéb információk, pl. nehézségi erő) mérése

A Föld mozgásai

- keringés a Nap (Naprendszer Bc) körül
 - ellipszis pálya
 - ekliptika síka
 - $T_{\text{ker}} = 365.24\dots$ nap
- forgás
 - iránya és nagysága is változik az időben
 - szögsebesség változásai (perdület = áll.)
 - irányváltozás: precesszió és csill. nutáció
 - 25800 év, $50.3''$ / év
 - IAU 1980 / 2000 precessziós és nutációs modellek
 - pólusmozgás: szögseb. vektor és a földtest egymáshoz viszonyított helyváltoztatása
 - pólusvándorlás (0.15 m/év) - IERS

Mérési technikák



Mérési eljárások

- a mesterséges holdra és a Holdra vonatkozó lézeres távolságmérés (Satellite Laser Ranging, **SLR** és Lunar Laser Ranging, **LLR**),
- nagyon hosszú alapvonalú rádióinterferometria (Very Long Baseline Interferometry, **VLBI**),
- globális navigációs műholdrendszerek (Global Navigation Satellite Systems, **GNSS**; a GPS és a GLONASSZ)
- a **DORIS** (Doppler Orbit Radiopositioning Integrated on Satellite) rendszer.

Felhasználói szolgálatok

- az **IVS** keretében szervezett VLBI-állomások globális hálózata,
- az **ILRS** keretében szervezett SLR- és LLR-állomások globális hálózata,
- az **IGS** keretében szervezett GPS/GLONASSZ követőállomások globális hálózata,
- az **IDS** keretében szervezett DORIS-állomások globális hálózata és
- a **BIPM** időszolgálat

Csillagászati alapok

- égitestek mozgása
- csillagkatalógusok

A csillagok látszólagos mozgása

égi pólus körüli látszólagos forgás
póluskörüli (cirkumpoláris) csillagok
kelés, delelés (kulminálás), nyugvás
nem látható csillagok

Láthatóság: Nap a horizont alatt

Nap látszólagos mozgása

napi pályája 8-16 óra között

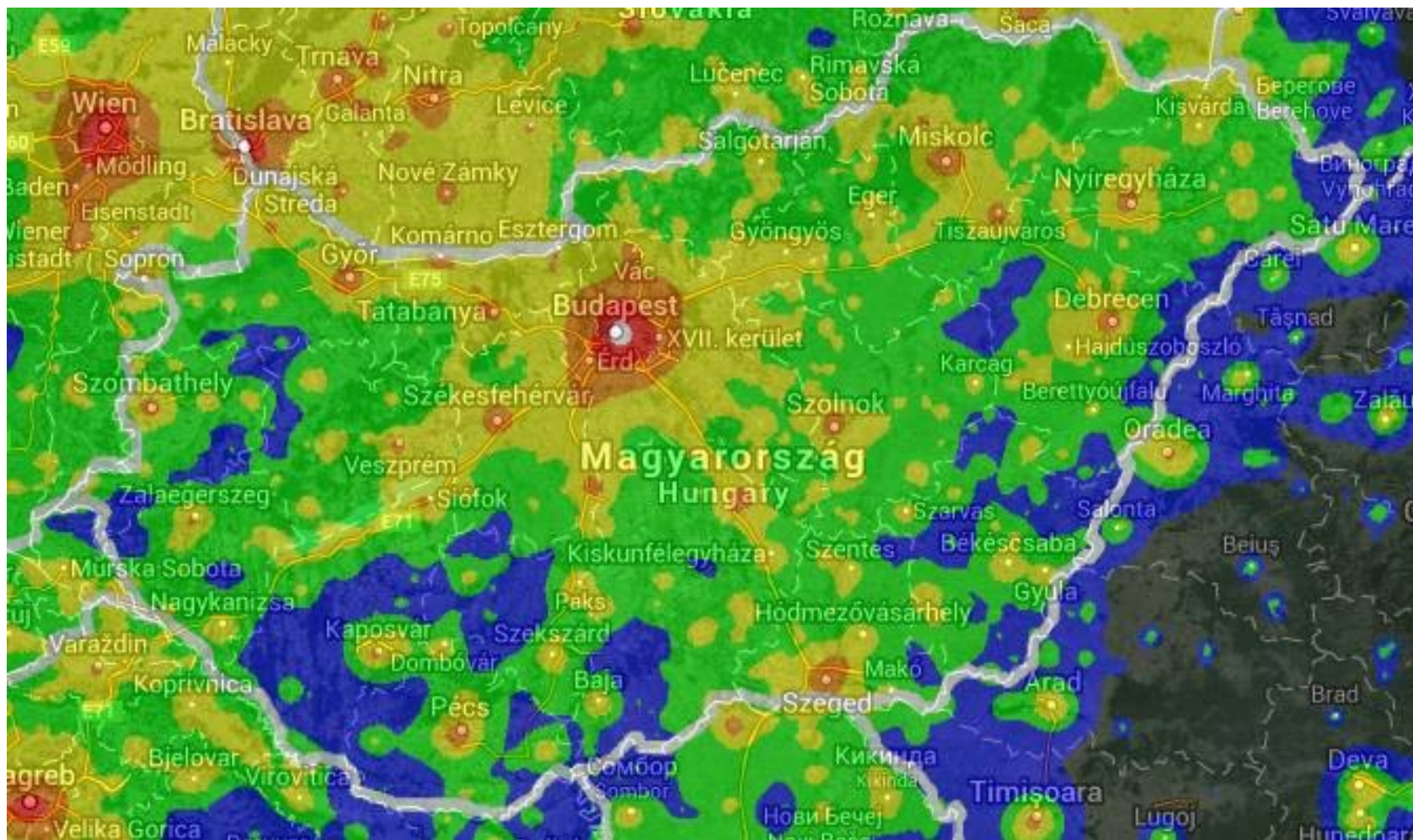


Oregon, USA

Fényszennyezés



az Orion csillagkép nem fényszennyezett (bal oldali kép) illetve nagyvárosi fényszennyezett helyről (jobb oldali kép) fotózva



A **zöld** és **kék** szín elfogadható minőségű eget jelent +6m-s határfényességgel.
A **sárga** szín külvárosi jellegű ég általában 5m határfényességgel, néha jobb.
A **vörös** és **narancs** szín városi, erősen fényszennyezett égboltot jelöl

A csillagképek

látszólag összetartozó csillagok csoportjai

távolságuk nagyon különböző lehet

elnevezésük mondabeli alakról vagy állatról

az égbolt részterületeit is jelentik

88 csillagkép, 3 betűs rövidítések (pl. UMi)

Csillagok megjelölése

csillagkép és görög betűk számok (fényesség alapján), pl
 α UMi

név (Poláris, azaz Sarkcsillag)

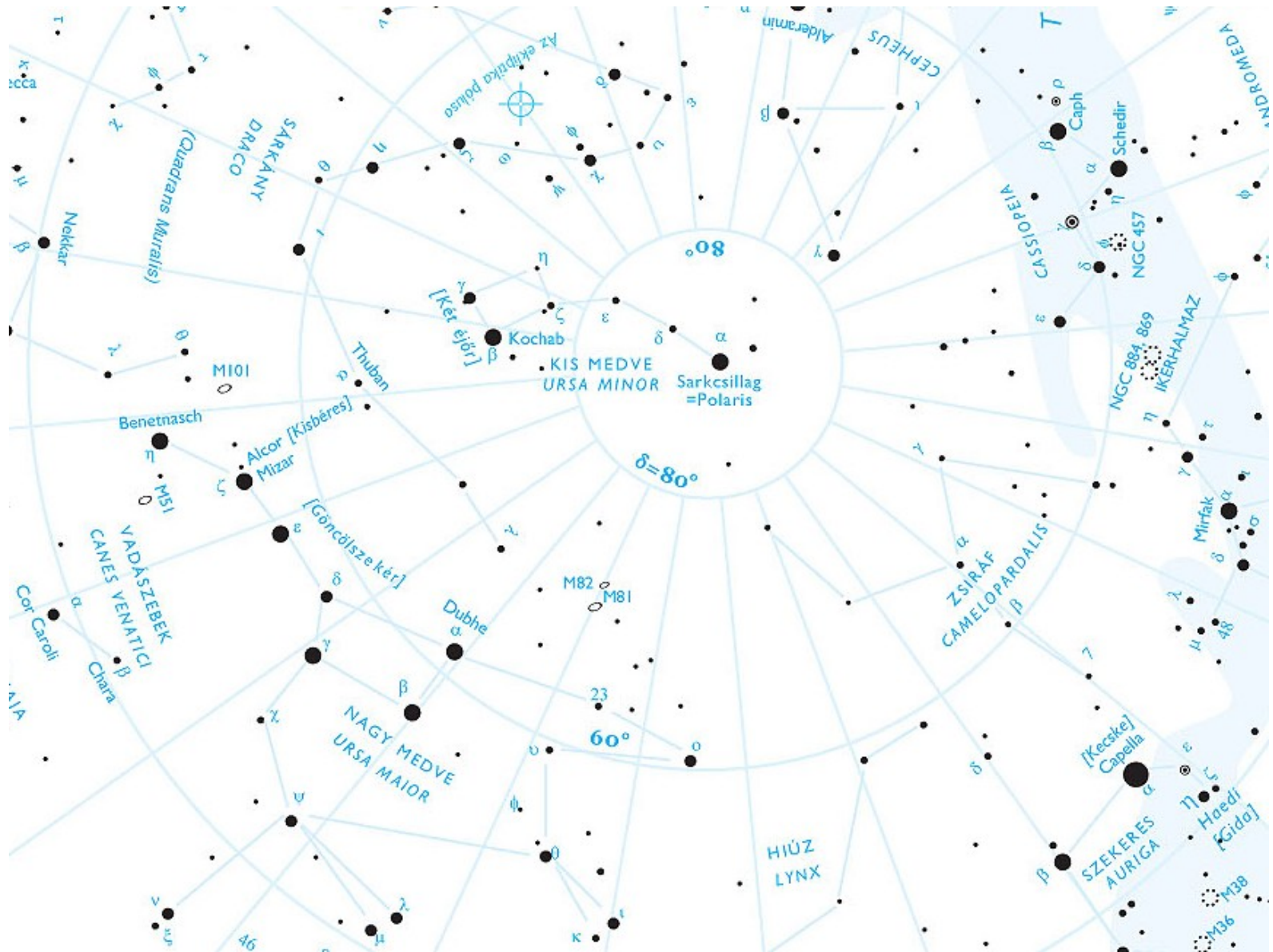
csillagkatalógus jele és csillag sorszáma

Helyzet megadása

égi koordinátákkal jegyzékben (katalógus, évkönyv,
adatbázis)

Frederik de Wit csillagtérképe (17. szd.)





Csillagtérképeken található koordináták

- égi egyenlítői koordinátarendszer
 - forgástengely, égi egyenlítő síkja, ekliptika síka
 - rektaszcenzió, deklináció

Csillagászati programok

HNSKY

"Hallo northern sky." By Han_Kleijn@hnsky.org. 2002-12-21 15... [X]

File Search IN OUT RESET Screen Objects Date Help

Field: 177.1 x 127.3 ° Az: 100.7 Alt: 11.6 2003-03-12 24:00

RA: 15:18:33.8 15: 17.1
DEC: +2d 04 58 +0d 22
Name: M5
Magn.: 5.8
Size: 20
Type: GC
Brightn.: 11.0
Rise 22:45 Set 11:13

M5 5.8

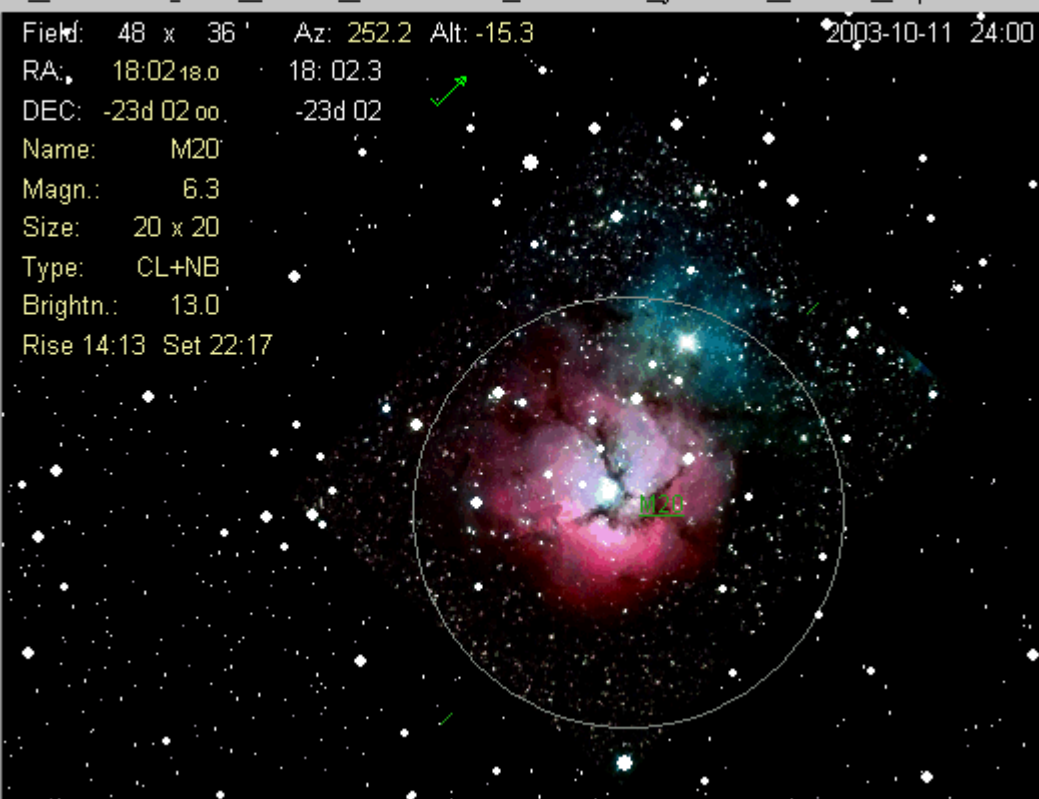
M5/NGC5904 Globular cluster.[V]. very remarkable object, very bright large, extremely compressed middle, extrem

HNSKY

"Hallo northern sky." By Han_Kleijn@hnsky.org. 2003-10-... [-] [□] [X]

File Search IN OUT RESET Screen Objects Date Help

Field: 48 x 36' Az: 252.2 Alt: -15.3 2003-10-11 24:00
RA: 18:02:18.0 18:02:3
DEC: -23d 02' 00" -23d 02' ✓
Name: M20
Magn.: 6.3
Size: 20 x 20
Type: CL+NB
Brightn.: 13.0
Rise 14:13 Set 22:17

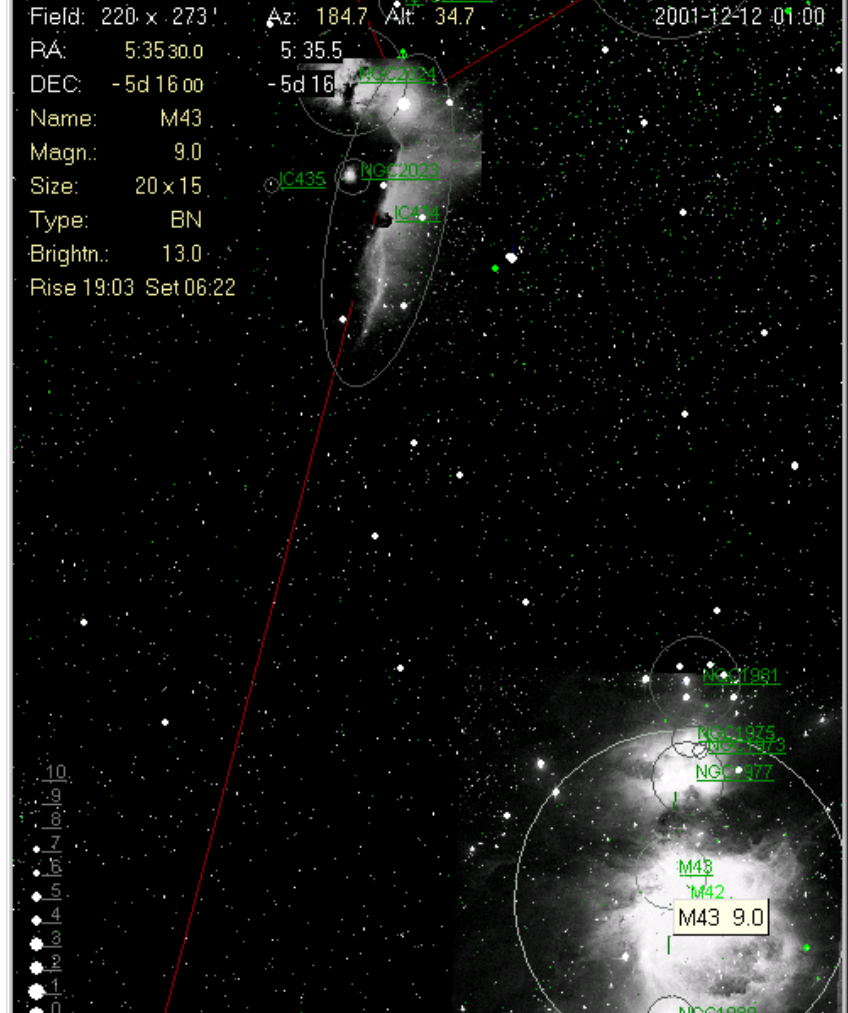


M20/NGC6514 Cluster with nebulosity,[E+ star(s)], very bright, very large, Trifid,D star(s) inv.;

"Hallo northern sky." By Han_Kleijn@hn... [-] [□] [X]

File Search IN OUT RESET Screen Objects Date Help

Field: 220 x 273' Az: 184.7 Alt: 34.7 2001-12-12 01:00
RA: 5:35:30.0 5:35.5
DEC: -5d 16' 00" -5d 16'
Name: M43
Magn.: 9.0
Size: 20 x 15
Type: BN
Brightn.: 13.0
Rise 19:03 Set 06:22

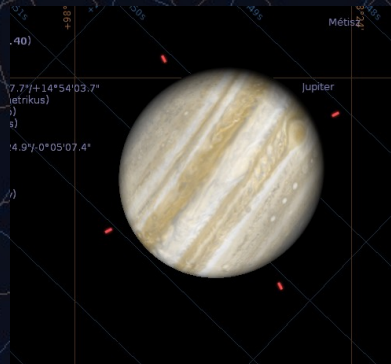


M43/NGC1982 Bright nebula,[E], remarkable object, very bright, very large, round

Hold

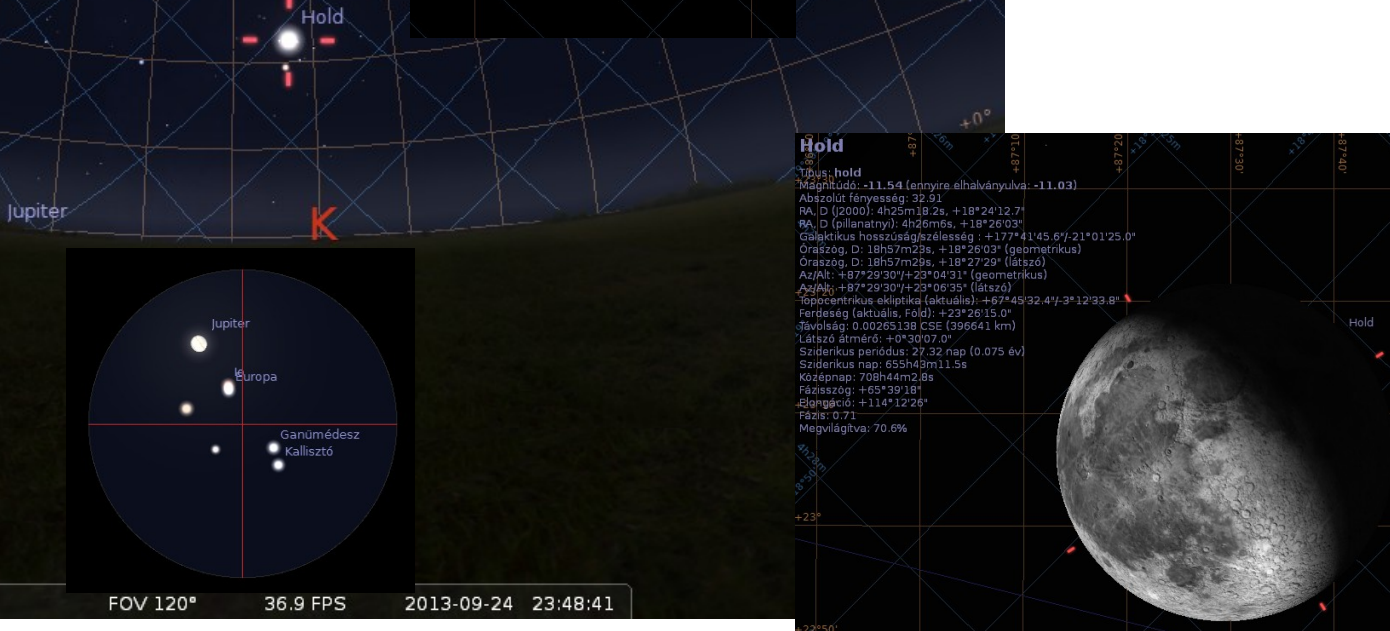
Típus: hold
Magnitúdó: -11.54 (ennyire elhalványulva: -11.02)
Abszolút fényesség: 32.91
RA, D (J2000): 4h25m12.4s, +18°23'56.7"
RA, D (pillanatnyi): 4h26m0s, +18°25'47"
Galaktikus hosszúság/szélesség: +177°41'02.6"/-21°02'37.9"
Óraszög, D: 18h54m34s, +18°25'47" (geometrikus)
Óraszög, D: 18h54m40s, +18°27'16" (látszó)
Az/Alt: +86°59'07"/+22°35'49" (geometrikus)
Az/Alt: +86°59'07"/+22°37'57" (látszó)
Topocentrikus ekliptika (aktuális): +67°44'09.2"/-3°12'36.6"
Ferdesség (aktuális, Föld): +23°26'15.0"
Távolság: 0.00265166 CSE (396683 km)
Látszó átmérő: +0°30'06.8"
Sziderikus periódus: 27.32 nap (0.075 év)
Sziderikus nap: 655h43m11.5s
Középnap: 708h44m2.8s
Fázisszög: +65°38'02"
Elongáció: +114°13'42"
Fázis: 0.71
Megvilágítva: 70.6%

Stellarium



Nap

Típus: csillag
Magnitúdó: -26.74 (ennyire elhalványulva: -26.42)
Abszolút fényesség: 4.83
RA, D (J2000): 12h05m10.4s, -0°33'45.5"
RA, D (pillanatnyi): 12h05m53s, -0°38'20"
Galaktikus hosszúság/szélesség: -80°49'40.2"/+60°09'26.7"
Óraszög, D: 1h21m16s, -0°38'20" (geometrikus)
Óraszög, D: 1h21m15s, -0°37'33" (látszó)
Az/Alt: +206°24'48"/+38°41'43" (geometrikus)
Az/Alt: +206°24'48"/+38°42'32" (látszó)
Topocentrikus ekliptika (aktuális): +181°36'07.3"/-0°00'06.8"
Ferdesség (aktuális, Föld): +23°26'15.0"
Távolság: 1.00302692 CSE
Látszó átmérő: +0°31'53.5"



Hold

Típus: hold
Magnitúdó: -11.54 (ennyire elhalványulva: -11.03)
Abszolút fényesség: 32.91
RA, D (J2000): 4h25m18.2s, +18°24'12.7"
RA, D (pillanatnyi): 4h26m6s, +18°26'03"
Galaktikus hosszúság/szélesség: +177°41'45.6"/-21°01'25.0"
Óraszög, D: 18h57m28s, +18°26'03" (geometrikus)
Óraszög, D: 18h57m28s, +18°27'29" (látszó)
Az/Alt: +87°29'30"/+23°04'31" (geometrikus)
Az/Alt: +87°29'30"/+23°06'35" (látszó)
Topocentrikus ekliptika (aktuális): +67°45'32.4"/-3°12'33.8"
Ferdesség (aktuális, Föld): +23°26'15.0"
Távolság: 0.00265138 CSE (396641 km)
Látszó átmérő: +0°30'07.0"
Sziderikus periódus: 27.32 nap (0.075 év)
Sziderikus nap: 655h43m11.5s
Középnap: 708h44m2.8s
Fázisszög: +65°39'18"
Elongáció: +114°12'26"
Fázis: 0.71
Megvilágítva: 70.6%

Csillagkatalógusok

csillagok koordinátái

asztrometriai módszerrel (pozíciós csillagászat)

t_0 vonatkoztatási időpont

vonatkoztatási rendszer (csillagászati alaprendszer)

közepes égi egyenlítői (ICRS) koordinátái: rektaszcenzió,
deklináció

100 évre vonatkoztatott sajátmozgás

Fundamental Katalog

FK4 (1963): 1535 alapcsillag (1950.0, 1975.0)

FK5 (1988): 1535 alapcsillag (2000.0)

FK5(II) kiegészítés: további 3117 csillag

FK6 (2000): ICRF-el összekapcsolt rendszerben (FK5 +
Hipparcos asztrometriai mesterséges hold, ESA, 1989-1993)

FK6(I): 878 csillag, FK6(III): 3272 csillag

FK5 adatok

Line#	RA	DEC	Epoch	RA PM	DEC PM	MAG V	FK5 No.	Comments: Spec	HD and BD Numbers
1501	05:37:16.854	+44:04:14.80	2000.00	+00.028	-000.71	7.27	4509	# F8 +A0	HD 36947 BD+43 1315
1502	05:37:21.725	+31:19:52.56	2000.00	+00.151	-004.90	8.29	4510	# F5	HD 37097 BD+31 1025
1503	05:37:40.215	+58:32:56.88	2000.00	+00.023	-004.15	8.57	4511	# F5	HD 36754 BD+58 845

RA: rektaszcenzió

DEC: deklináció

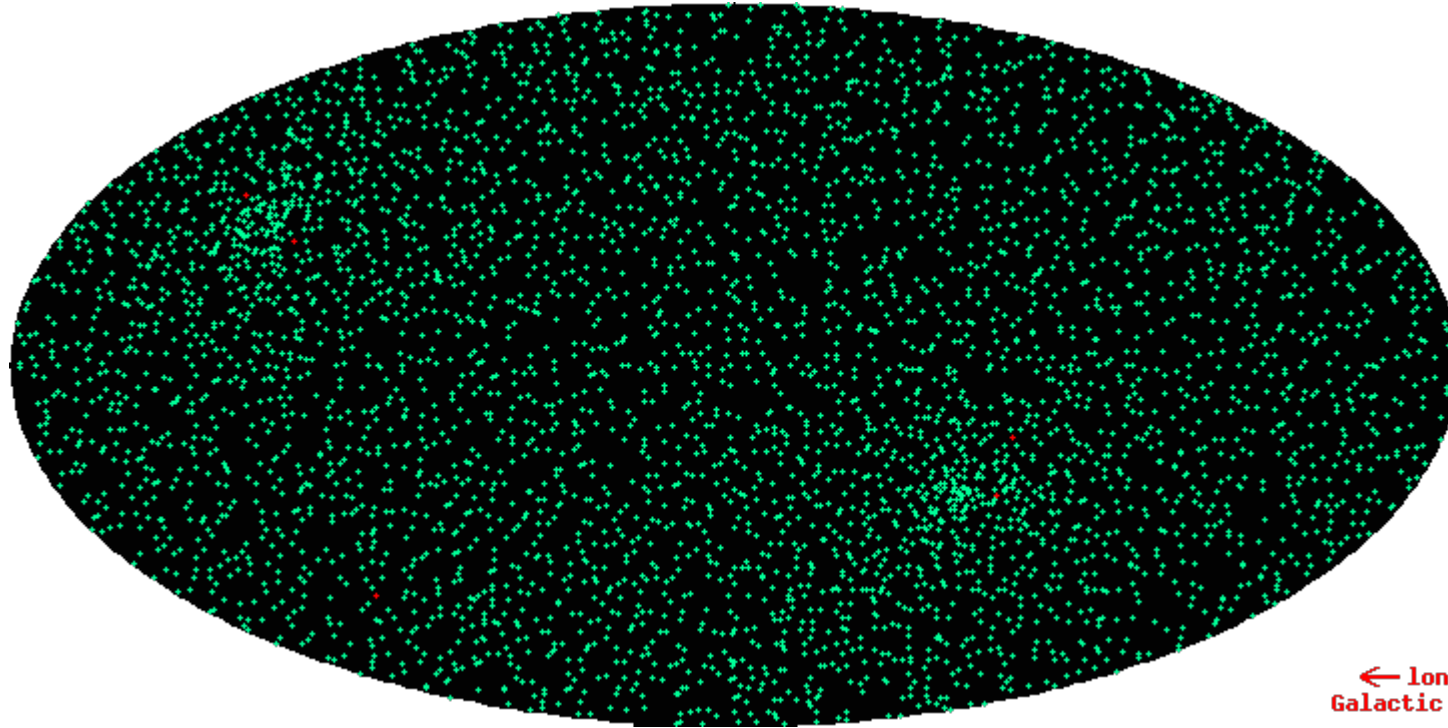
RA, DEC PM: sajátmozgás

MAG: látszó magnitúdó

FK5 No. : katalógus szám

Spec: színeképosztály

FK6 katalógus csillagai



Csillagkatalógusok 2.

HIPPARCOS (ESA, 1997)

>9^m, 118 218 csillag, 0.001" pontosság

SAO

>9.5^m, 258 000 csillag

Tycho-2

>9.5^m, 2 563 686 csillag, 23 MB

GSC-I, II (Guide Star Catalog)

6^m-15^m(21^m), 20(946) millió csillag

UCAC3 (2009), UCAC4 (2012)

USNO CCD Astrometry C.

>16^m, 101 millió csillag (<0.02" 10^m-14^m), 2.4 GB

Csillagkatalógusok 3.

USNO-A 2.0, USNO B 1.0

>21_m, 526/1043 millió csillag (<0.2" pontosság, 6/80 GB)

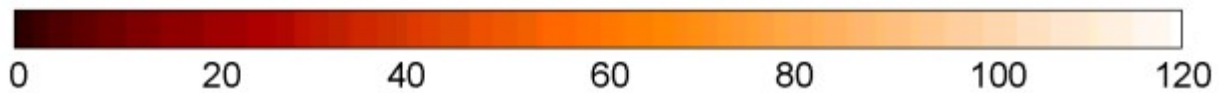
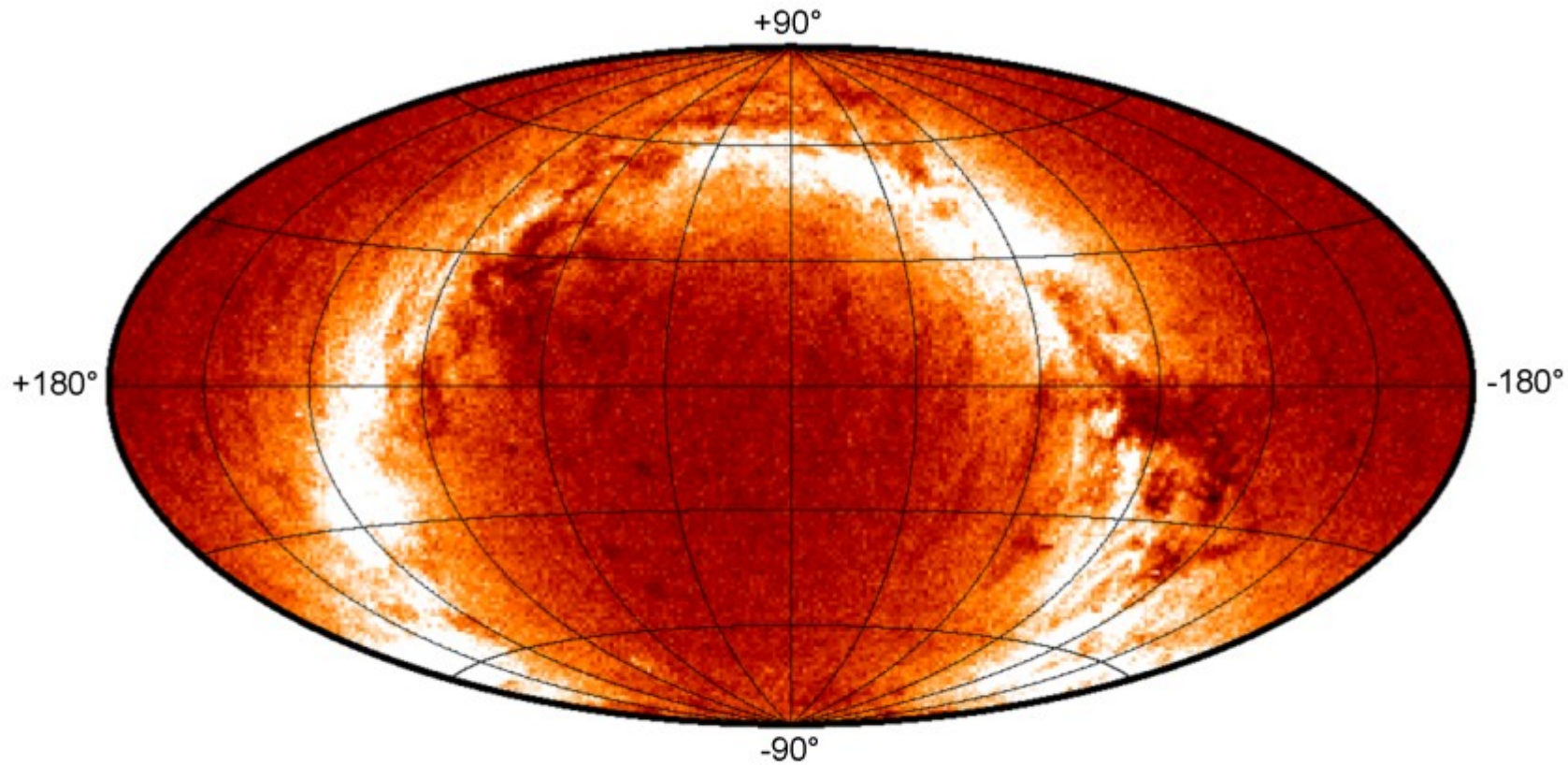
PPMXL

>20_m, 910,468,710 égi objektum (USNO-B1.0 és az infravörös 2MASS katalógus kombinációja (39.4 GB)

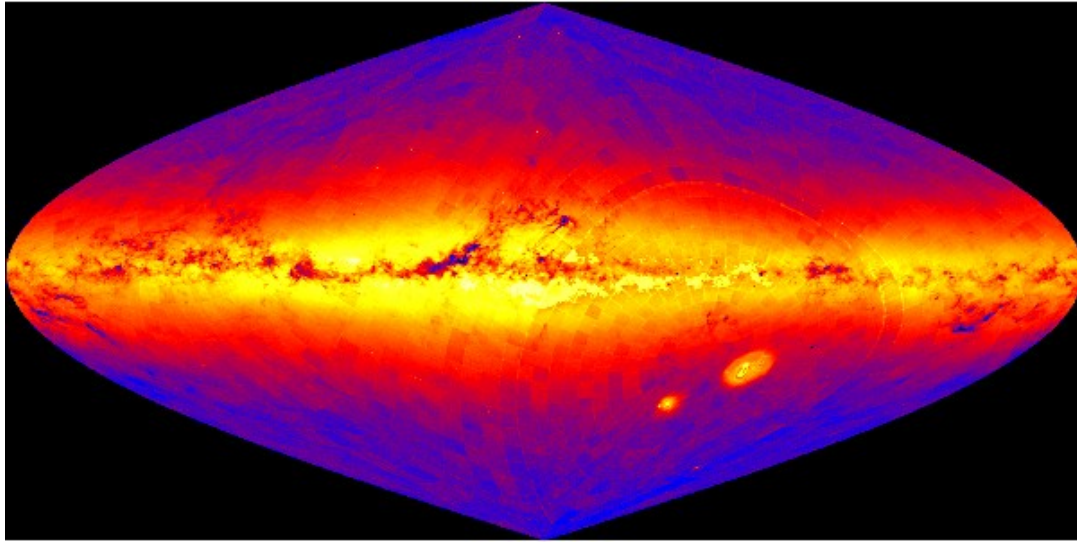
GAIA (ESA)

DR2: >21_m, kb. 1.7 md égi objektum, 0.01 mas
<15_m (200 TB, DR1)

Tycho-2 katalógus



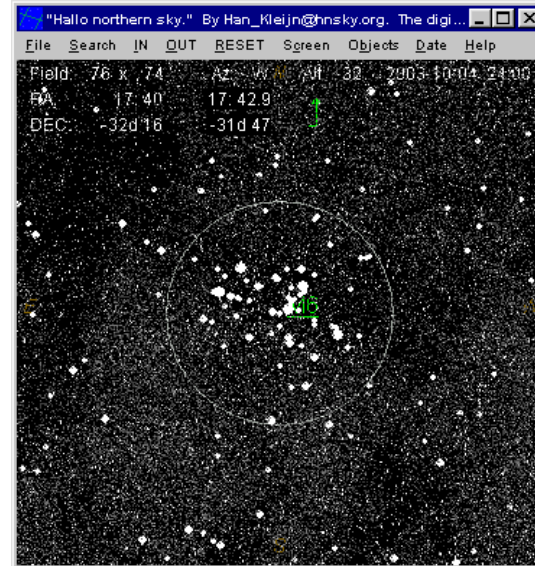
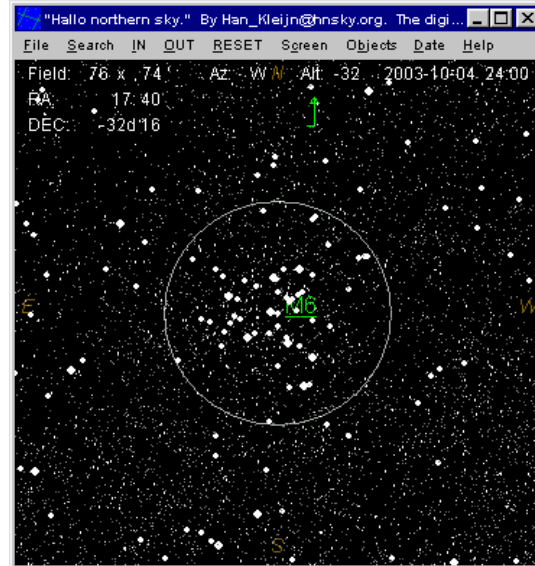
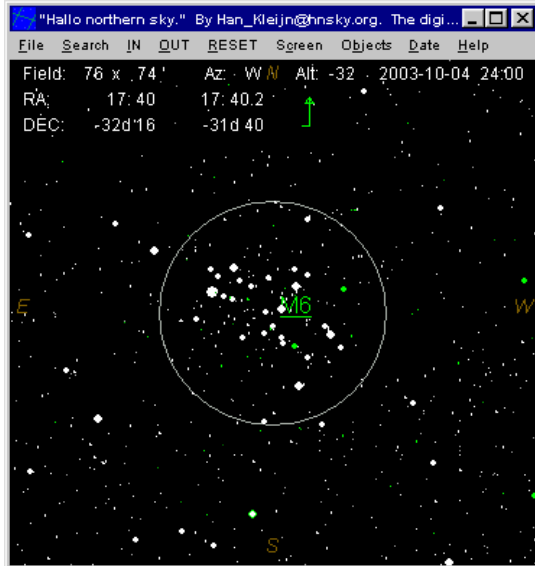
csillagsűrűség [csillag/négyzetfok]



GSC

UCAC2

USNO A 2.0



Gaia

ESA asztrometriai űrprojektje

felbocsátása: 2013.12.19. (L2 Lagrange-pont)

5,5 éves mérési idő, >1 milliárd csillag, 70
mérés/csillag, 1 Gpixeles kamera

mérési pontosság: <math><10^m</math>:

7 μ as, 0.000007" (hajszál

2000 km-ről, 100x pontosabb
a Hipparcos-nál)

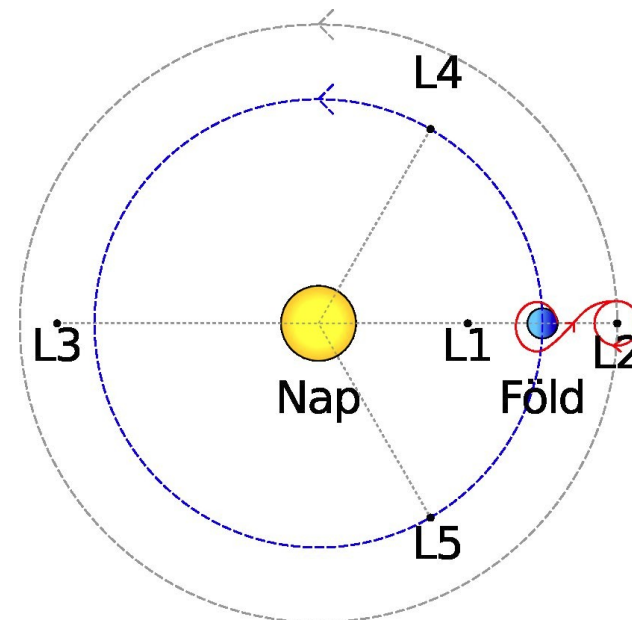
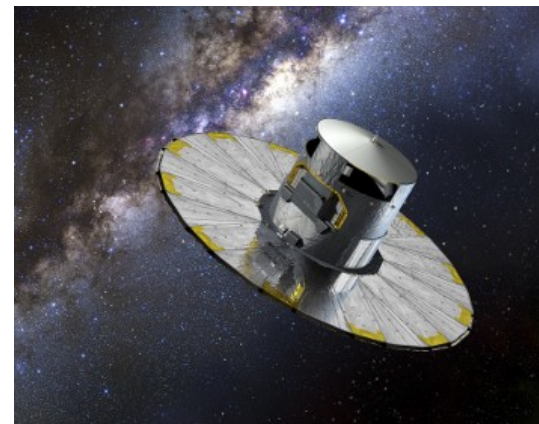
színkép, radiális sebesség

archivált adatmennyiség

1 millió GB (200 ezer DVD)

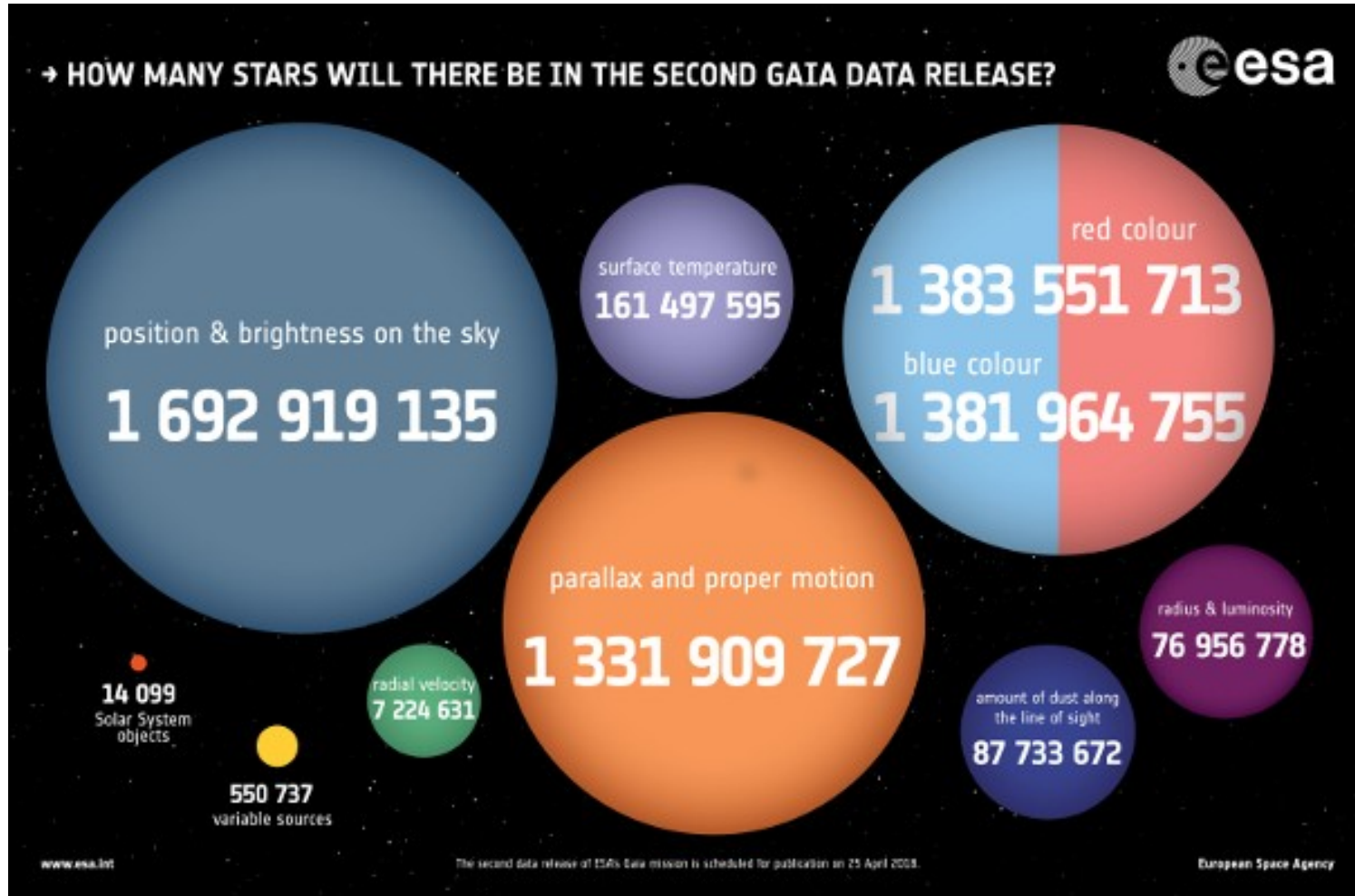
Gaia DR2 (2018): 1.3 md csillag helyzete, fényessége,
> 7 millió csillag parallaxisa, mozgása (Gaia-CRF2)

végző katalógus: 2022

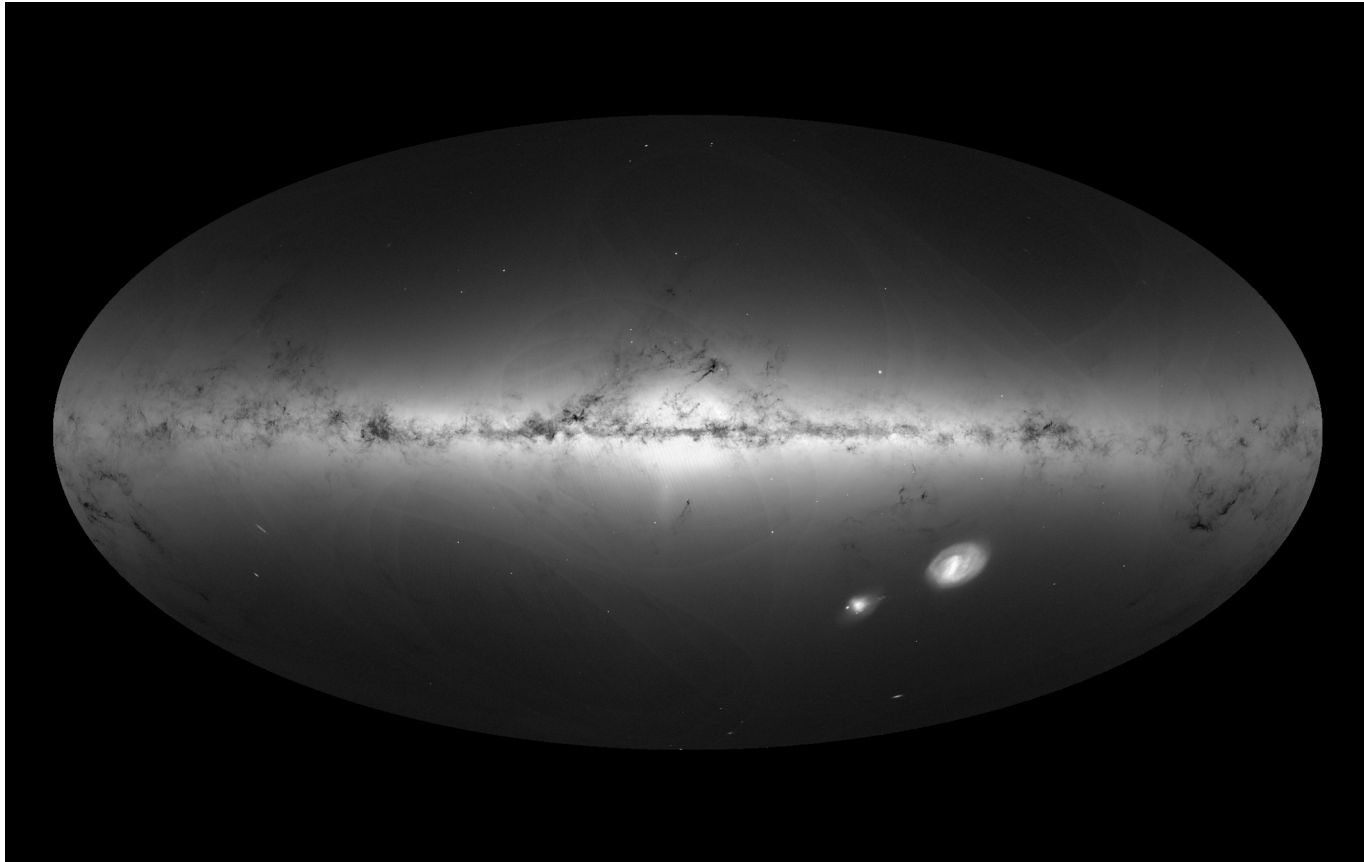


Gaia Data Release 2

Image credit: ESA



Gaia – csillagok sűrűsége



2018 ápr. 25. (ESA)

<https://sci.esa.int/web/gaia/-/60170-gaia-s-new-map-of-star-density>

Kellenek-e ilyen részletes csillagkatalógusok?

egy $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ -os területet ábrázoló CCD felvételen látható csillagok ($>14^m$) átlagos száma:

- Tycho-2: 2 50 (Tejút)
- GSC: 135 >100 (Tejút)
- UCAC3/4: 135 >100 (Tejút)

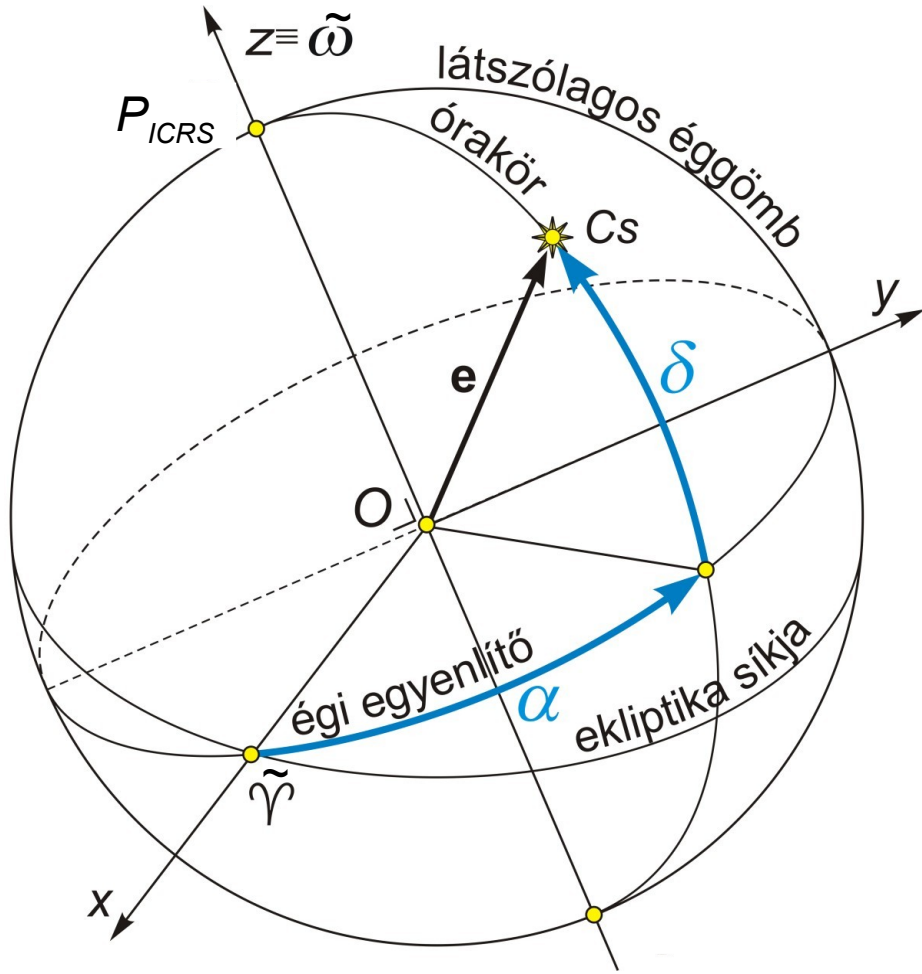
Égi vonatkoztatási rendszer

- a Föld térbeli tájékozásának meghatározása
 - globális geodéziai módszerek igénylik
- az égi pontok ismert helyzetének megadása
 - mozdulatlan égi keretpontok
- gyorsulásmentes (inerciális) rendszer
 - Megegyezékes Inercia Rendszer (CIS, Conventional Inertial System)
- alapirányok
 - ω forgási szögsebesség vektora (égi pólus)
 - égi egyenlítő alapsíkjában a Υ Tavaszpont iránya

Nemzetközi Égi Vonatkoztatási Rendszer (International Celestial Ref. System, ICRS)

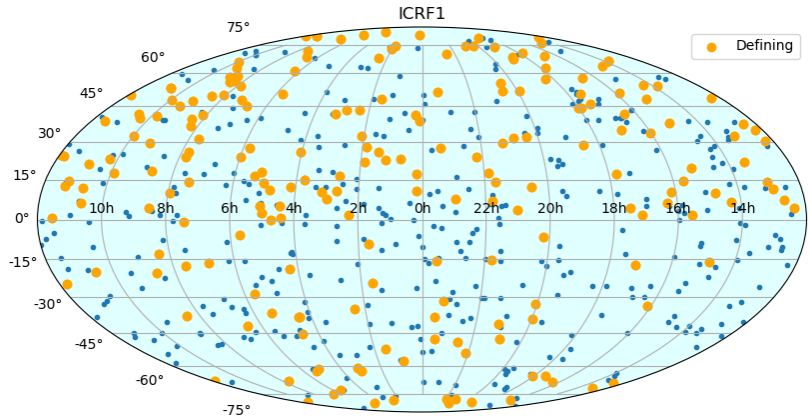
- Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) 1991-2001 között vezette be határozatok formájában
- keretpontok: korábban az FK5 csillagászati alapkatalógusban található 1535 alapcsillag
- keretpontok: 1998-tól extragalaktikus rádióforrások (kvazárok; észlelés: VLBI technika)
- origója: Naprendszer tömegközéppontja (Bc)
- alapirányok (térben rögzítettek, nem változnak, pontosságuk $\pm 20 \mu\text{s}$ ($\sim 0.7 \text{ mm}$ a föld felszínén))
 - $\sim \omega$ forgási szögsebesség vektora (égi pólus)
Égi Vonatkoztatási Pólus (CRP)
 - égi egyenlítő alapsíkjában a $\sim \Upsilon$ Tavaszpont iránya
(3C27B rádióforrás = Hazard et al. FK5 (J2000.0))

ICRS = közepes égi egyenlítői rendszer

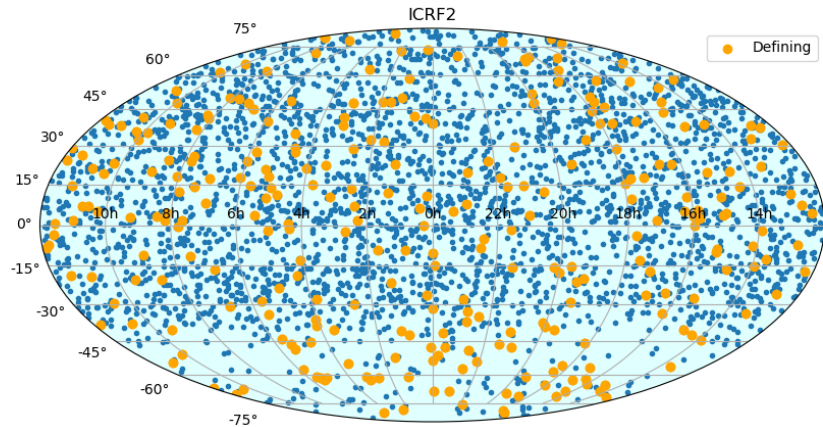


- α rektaszcenzió ($0^h - 24^h$)
- δ deklináció ($-90^\circ - +90^\circ$)
- ω forgástengely
- $\tilde{\gamma}$ Tavaszpont
- O Naprendszer tömegközéppontja (Bc)

ICRF 1 (1997), ICRF 2 (2009), ICRF 3 (2018)

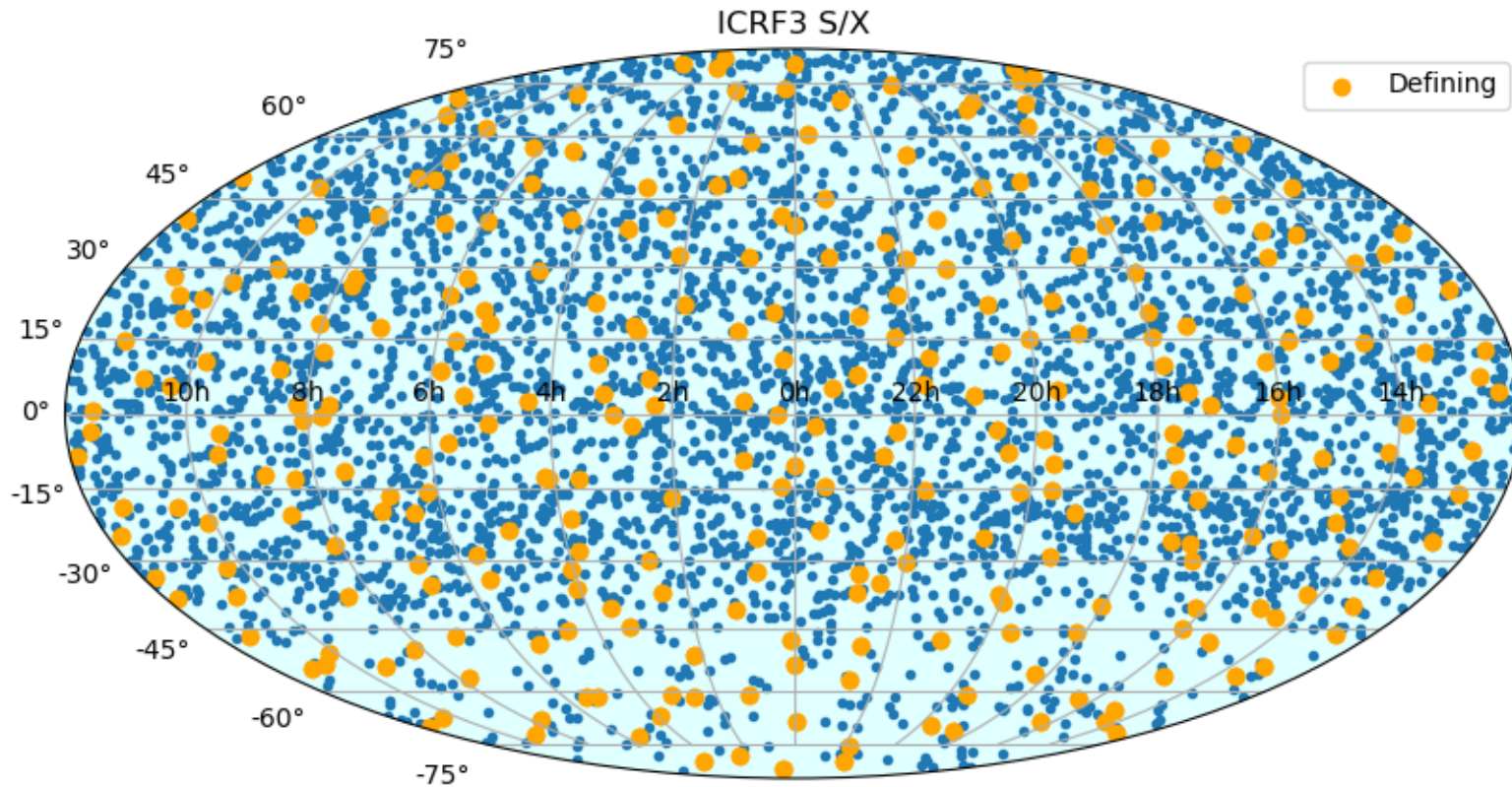


ICRF 1:
212 (608) rádióforrás



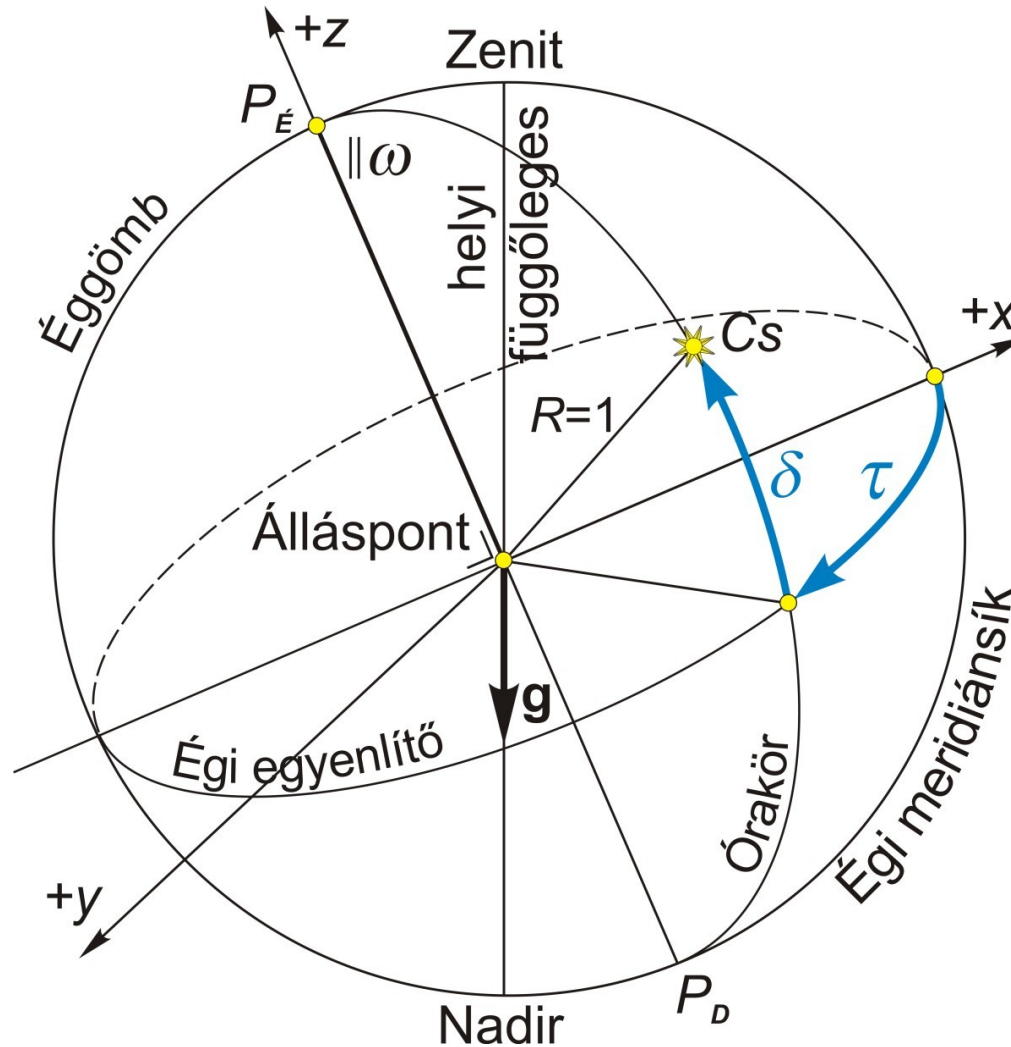
ICRF 2:
295 (3414) rádióforrás

ICRF 3: 303 (4536) rádióforrás

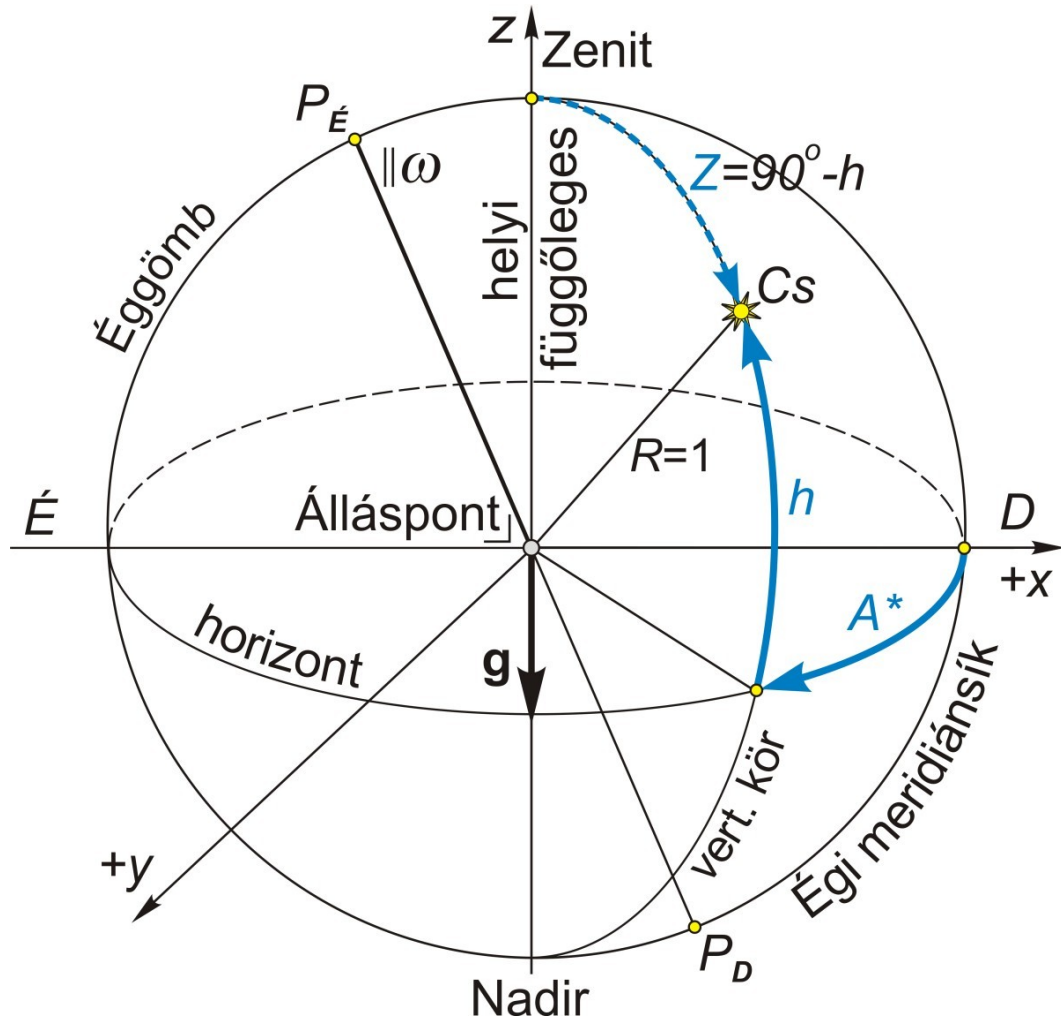


Az ICRF3-at 2018. augusztus 30-án Bécsben az IAU XXX. Általános Közgyűlésén fogadták el új alapvető égi vonatkoztatási keretként, mely 2019. január 1-től felváltotta az ICRF2-t.

Az átmeneti koordináta-rendszer



A horizonti koordináta-rendszer



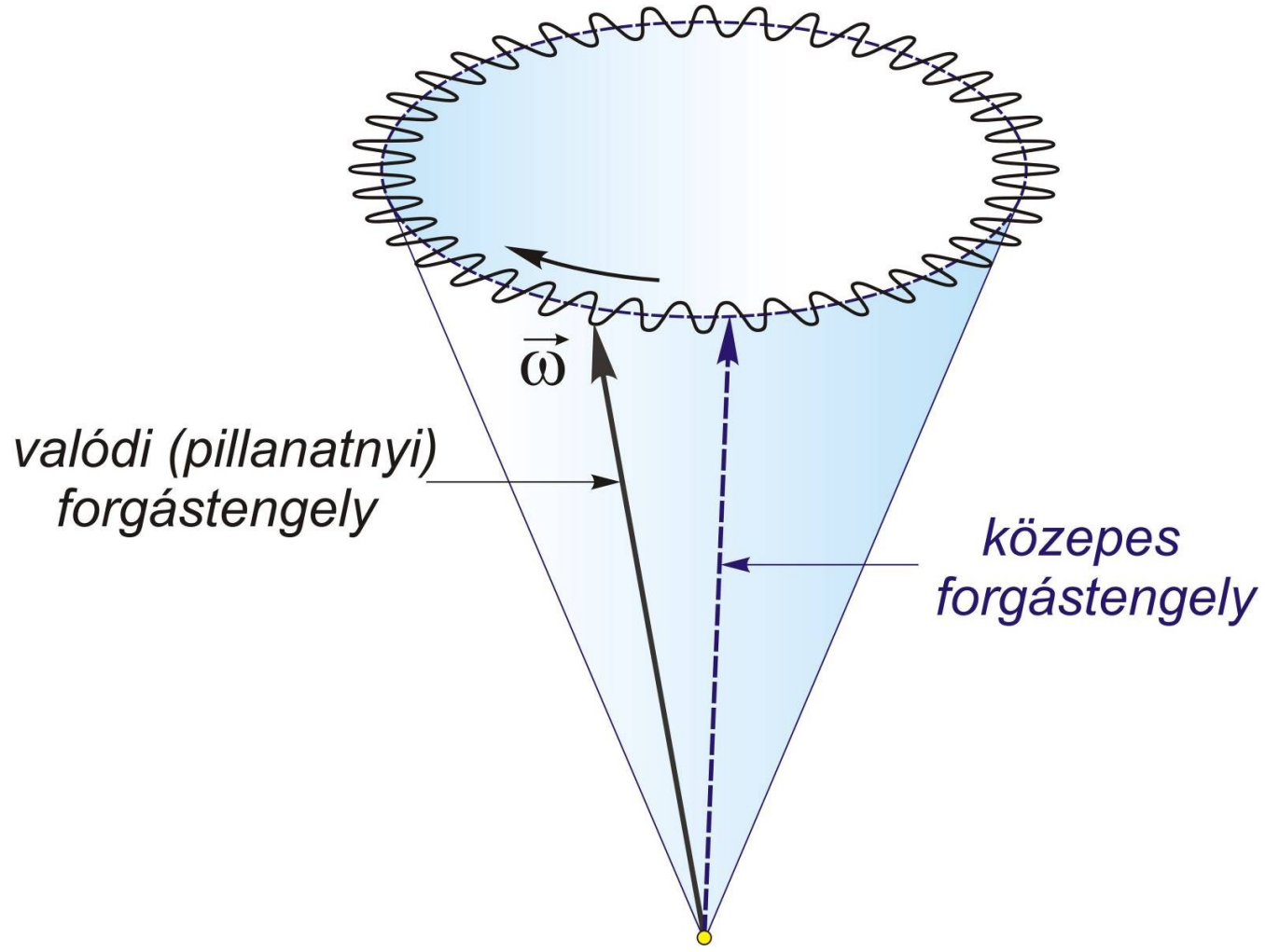
észleléseink
koordináta-rendszere

Időbeli koordináta-változások

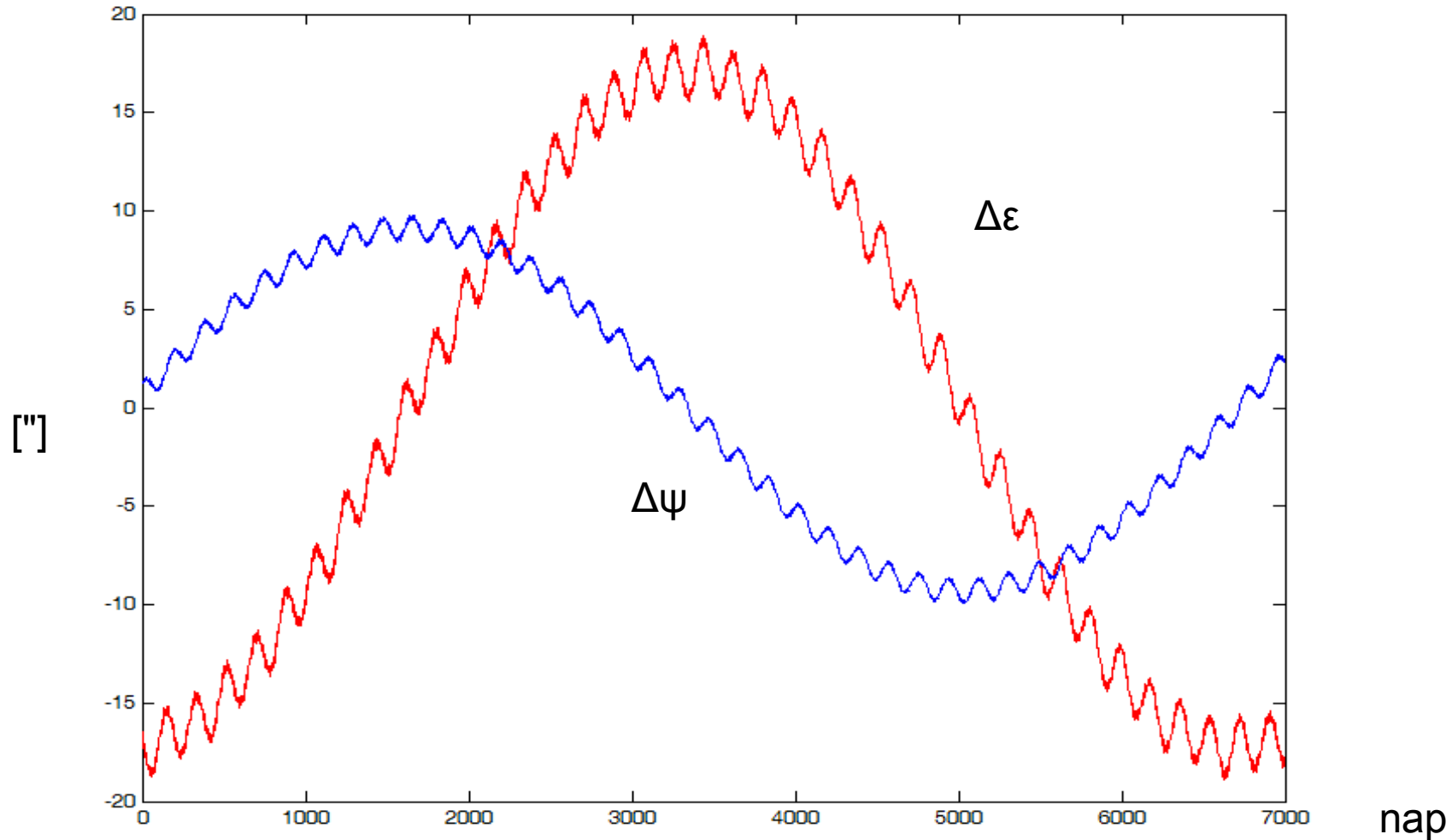
- Precesszió
- Precessziózavar (csillagászati nutáció)
- Precesszió-nutáció modellek
 - IAU 1980
 - IAU 2006/2000A
- átszámítás adott időpontra

$$\mathbf{r}(t) = R^N(t) \cdot R^P(t - t_0) \mathbf{r}(t_0)$$

Precesszió, nutáció (prec. zavar)



Nutáció (IAU 1980)



IAU 2000A modell

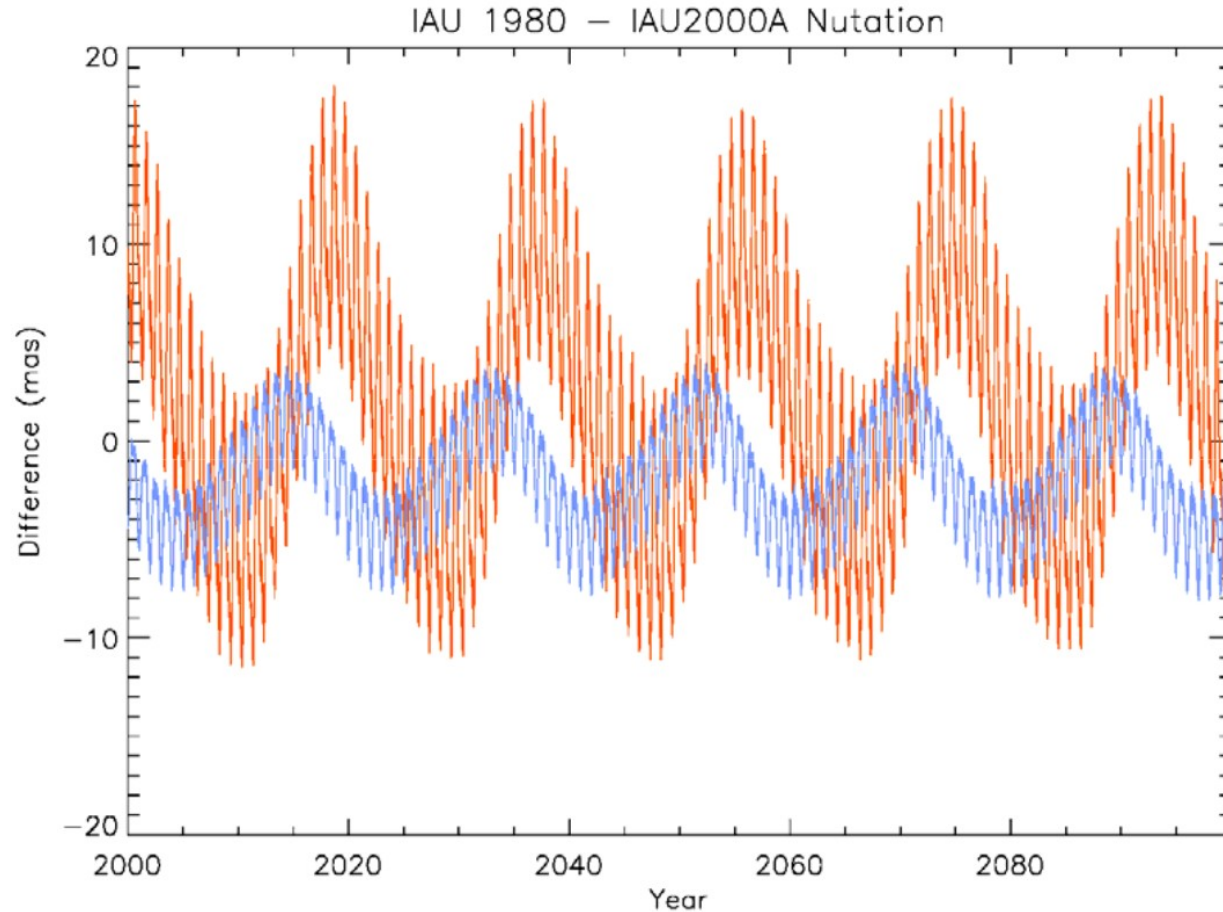


Figure 1. Difference between IAU 1980 nutation and IAU 2000A nutation over the 21st century. $\Delta\psi$ is shown in red and $\Delta\epsilon$ is shown in blue.

IERS

- Nemzetközi Földforgási és Vonatkoztatási Rendszerek Szolgálat (International Earth Rotation and Reference Systems Service, www.iers.org)
- megalakulása: 1987 (1895)
- Az IERS fogalmilag meghatározza, és folyamatosan fenntartja a földi és égi vonatkoztatási rendszereket
- Meghatározza a két vonatkoztatási rendszer közötti transzformációt, ([földtájékozási paraméterek](#))
- Erre a célra a geodézia korszerű technikai eszközeit és mérési módszereit alkalmazzák

IERS adatszolgáltatás

[> Home](#) [> Data / Products](#)

Data / Products

Earth Orientation Data

IERS provides rapid, monthly and long term earth orientation data as well as leap second announcements and announcements of DUT1 in the form of bulletins or data files.

[more...](#)

ICRF / ICRS

The International Celestial Reference Frame (ICRF) consists of equatorial coordinates of extragalactic radio sources observed with VLBI, realizing an ideal reference system, the International Celestial Reference System (ICRS).

[ICRF](#) [ICRS](#)

ITRF / ITRS

The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) is a set of points with their 3-dimensional cartesian coordinates which realize an ideal reference system, the International Terrestrial Reference System (ITRS).

[ITRF](#) [ITRS](#)