

Bevezetés a csillagászatba IV

3. Modern asztrometria: földi és űrbéli parallaxisok

Utolsó frissítés: 2020. március **(Szabados László)**

Út az űrbéli parallaxisig

Első: Bessel, Struve, Henderson 1838-1840

Utána lassú fejlődés:

1900: ~100 csillag

1952: ~5800 csillag (Yale Parallax Catalog,
0,01"-es pontosság)

Földi mérésekkel a 0,001"=1 mas a
legprecízebb limit

Űrből: Hipparcos, Gaia, (HST)

The History of Astrometry

Michael Perryman, University of Bristol

Accepted for publication in EPJ–H, The European Physical Journal
(Historical Perspectives on Contemporary Physics), 28 Aug 2012
The final publication is available at www.epj.org

1 Abstract

The history of astrometry, the branch of astronomy dealing with the positions of celestial objects, is a lengthy and complex chronicle, having its origins in the earliest records of astronomical observations more than two thousand years ago, and extending to the high accuracy observations being made from space today. Improved star positions progressively opened up and advanced fundamental fields of scientific enquiry, including our understanding of the scale of the solar system, the details of the Earth's motion through space, and the comprehension and acceptance of Newtonianism. They also proved crucial to the practical task of maritime navigation. Over the past 400 years, during which positional accuracy has improved roughly logarithmically with time, the distances to the nearest stars were triangulated, making use of the extended measurement baseline given by the Earth's orbit around the Sun. This led to quantifying the extravagantly vast scale of the Universe, to a determination of the physical properties of stars, and to the resulting characterisation of the structure, dynamics and origin of our Galaxy. After a period in the middle years of the twentieth century in which accuracy improvements were greatly hampered by the perturbing effects of the Earth's atmosphere, ultra-high accuracies of star positions from space platforms have led to a renewed advance in this fundamental science over the past few years.

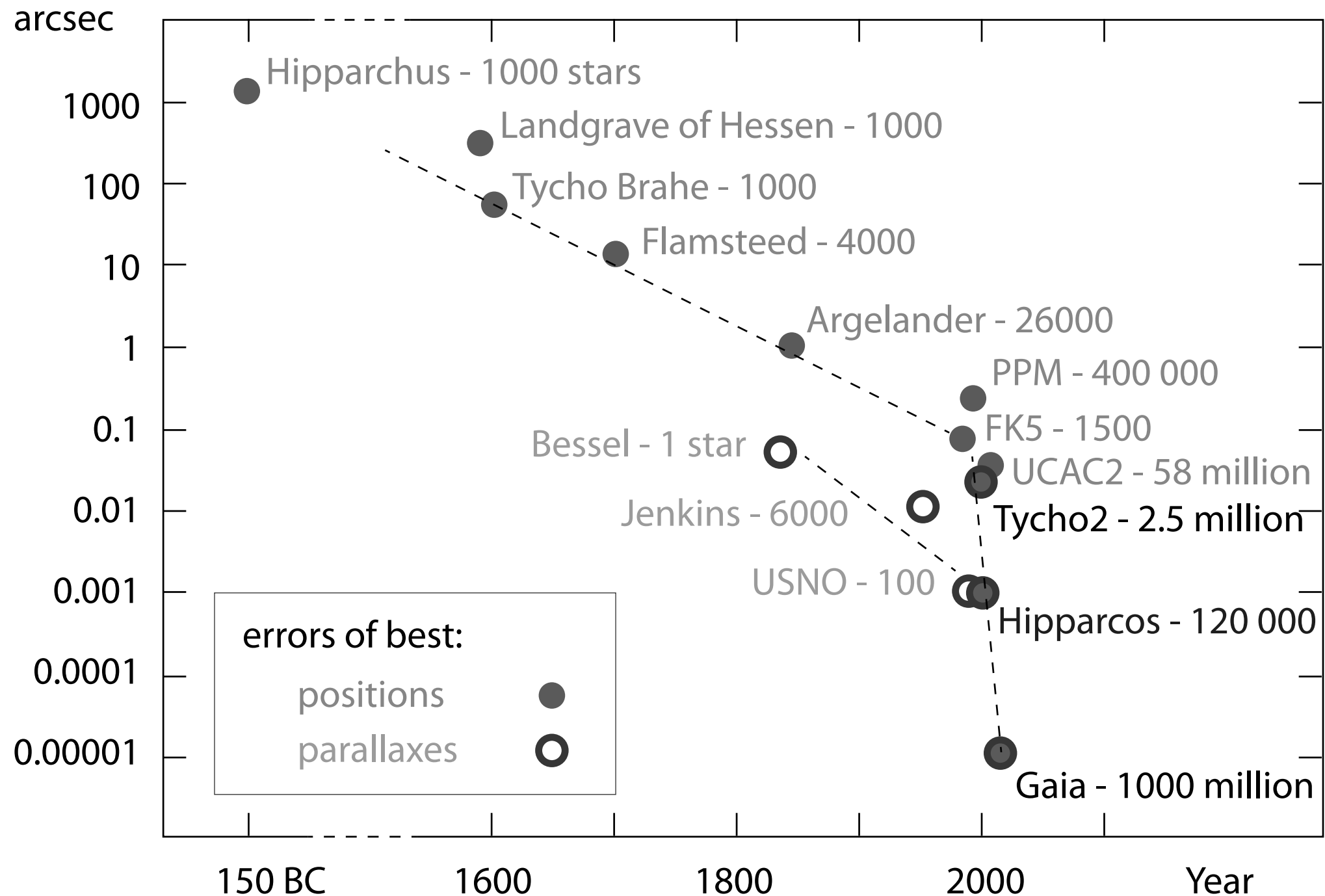


Figure 5: Astrometric accuracy versus time (adapted from Erik Høg). After several centuries of a more-or-less logarithmic improvement in accuracy with time, the advent of space-based measurement techniques (Hipparcos and Gaia) has led to an even more rapid improvement in accuracy. These space missions have also resulted in a unification in the accuracies achieved in star positions and parallaxes.

A közeli csillagok távolsága és fényessége

Fluxus: energia/egységnyi idő/egységnyi felület
— ezt mérik a műszereink

Magnitúdók: Hipparkhosz definíciója nyomán
1. fényrend: legfényesebb csillagok
6. fényrend: éppen látszó csillagok

Pogson (1856): 5 magnitúdónyi különbség
feleljen meg 100-szoros fluxuskülönbségnek

let us say, F_1, F_2 ; m_1, m_2

-8-

$$\frac{F_1}{F_2} = 100^{(m_2 - m_1)/5} = 10^{-0.4(m_1 - m_2)}$$

$$\Rightarrow m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \log \frac{F_1}{F_2} \quad - \text{ Pogon - gyelekt}$$

$\sqrt{100} \approx 2.512 \rightarrow$ egy mag. kritikus fluxuselőzse.

Sims: -1.44

Vann: -4.6

Tekhold: -12

Nagy: -26.78

Legnagyobb: ~ 30 mag

Metall antly uppebb luminositet? \neq Nep v. a Sirius?

$$m_0 = -26.78$$

$$d_s = 2.64 \text{ pc}$$

$$m_s = -1.44$$

$$d_0 = 1 \text{ CSF} = \frac{1}{206265} \text{ pc}$$

$$M_0 = m_0 - 5 \cdot \log(d_0/10 \text{ pc}) = -26.78 - 5 \cdot \log(1/2.06265 \cdot 10^6) = 4.79$$

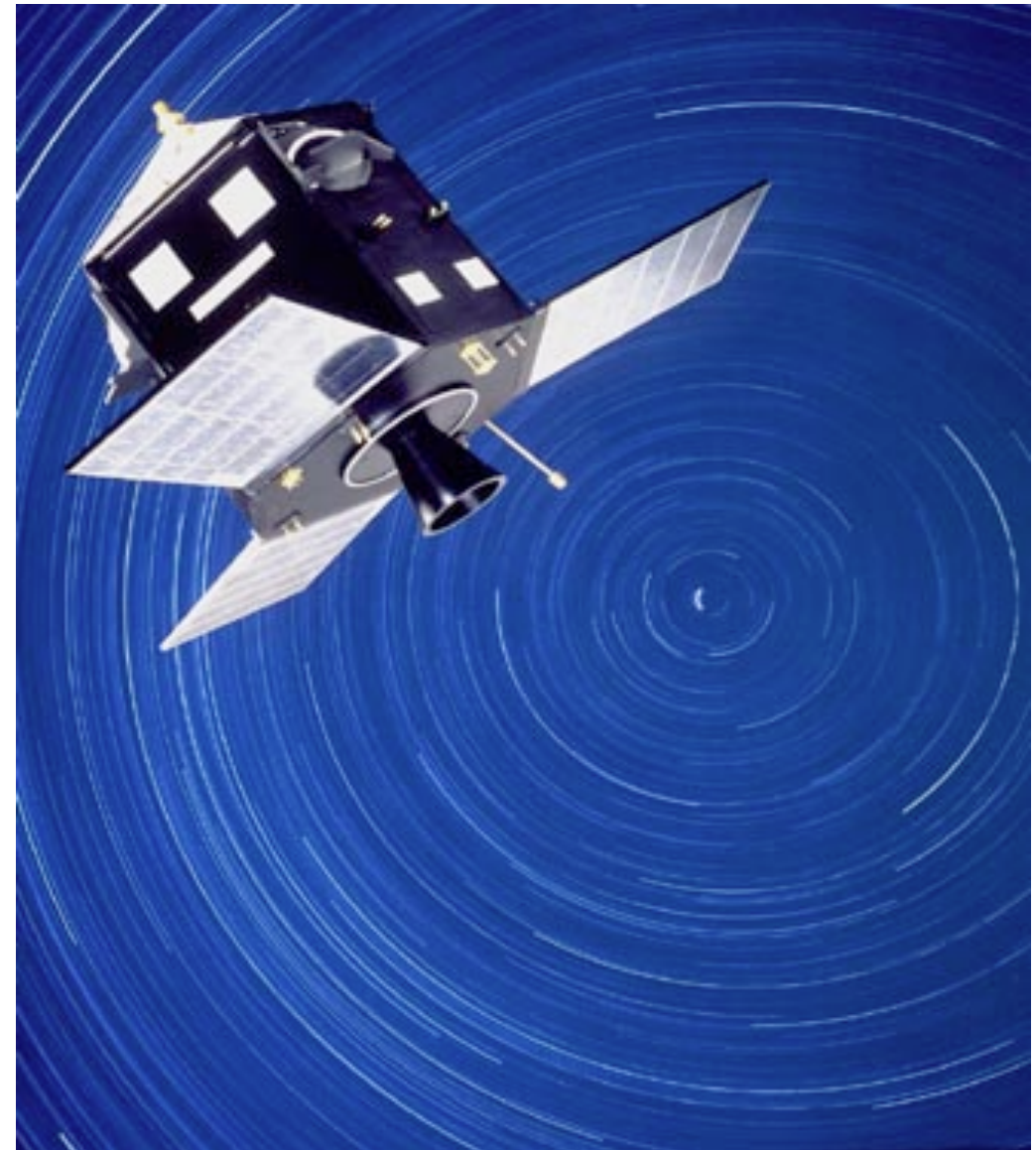
$$M_s = -1.44 - 5 \cdot \log 0.264 = 1.45$$

$$\frac{L_s}{L_0} = 10^{-0.4(1.45 - 4.79)} \approx 20$$

$$\frac{L_s}{L_0} \approx 20!$$

HIPPARCOS (High Precision PARallax Collecting Satellite)

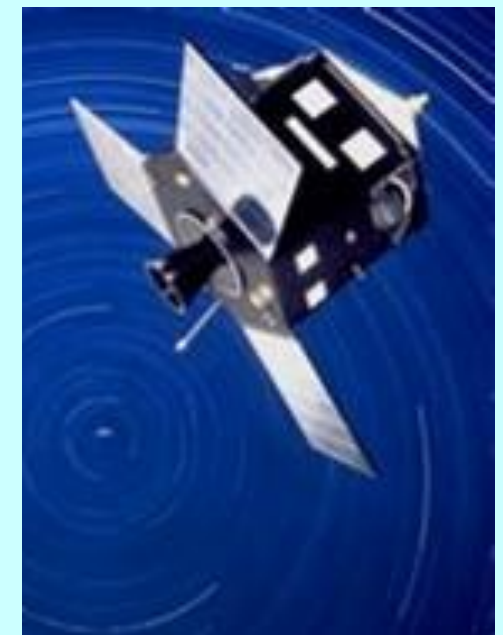
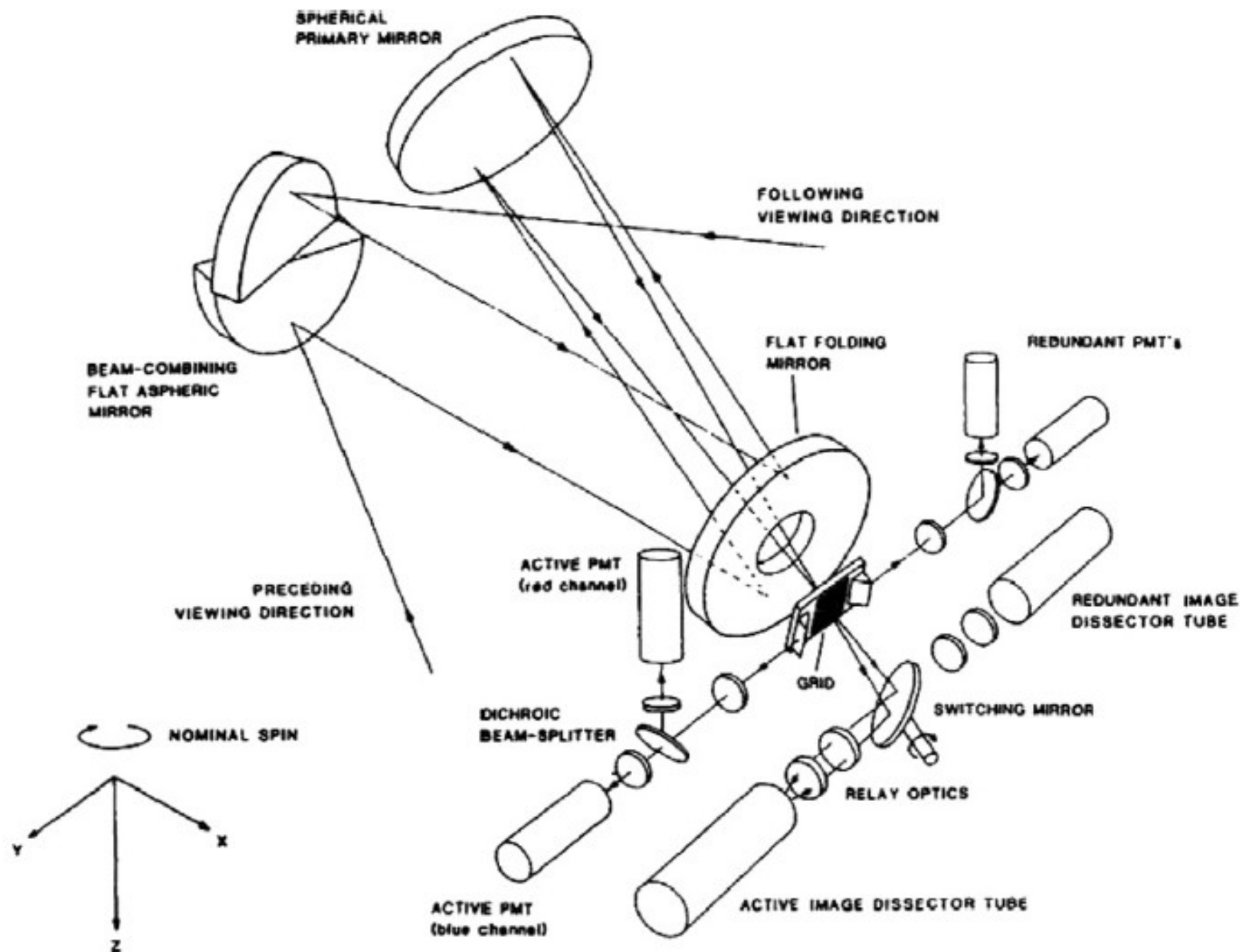
- ESA, 1989-1993
- Első űrbéli asztrometriai műhold
- 120,000 csillag, 1 mas pontosság
- Magnitúdólimit $M_V=12.5$
- 10% pontosság parallaxisban >10 mas, távolságban <100 pc 10% hibával
- 5% pontosság, <200 pc 20% hibával
- 1 kpc határig
- van Leeuwen (2007!): második adatredukálás



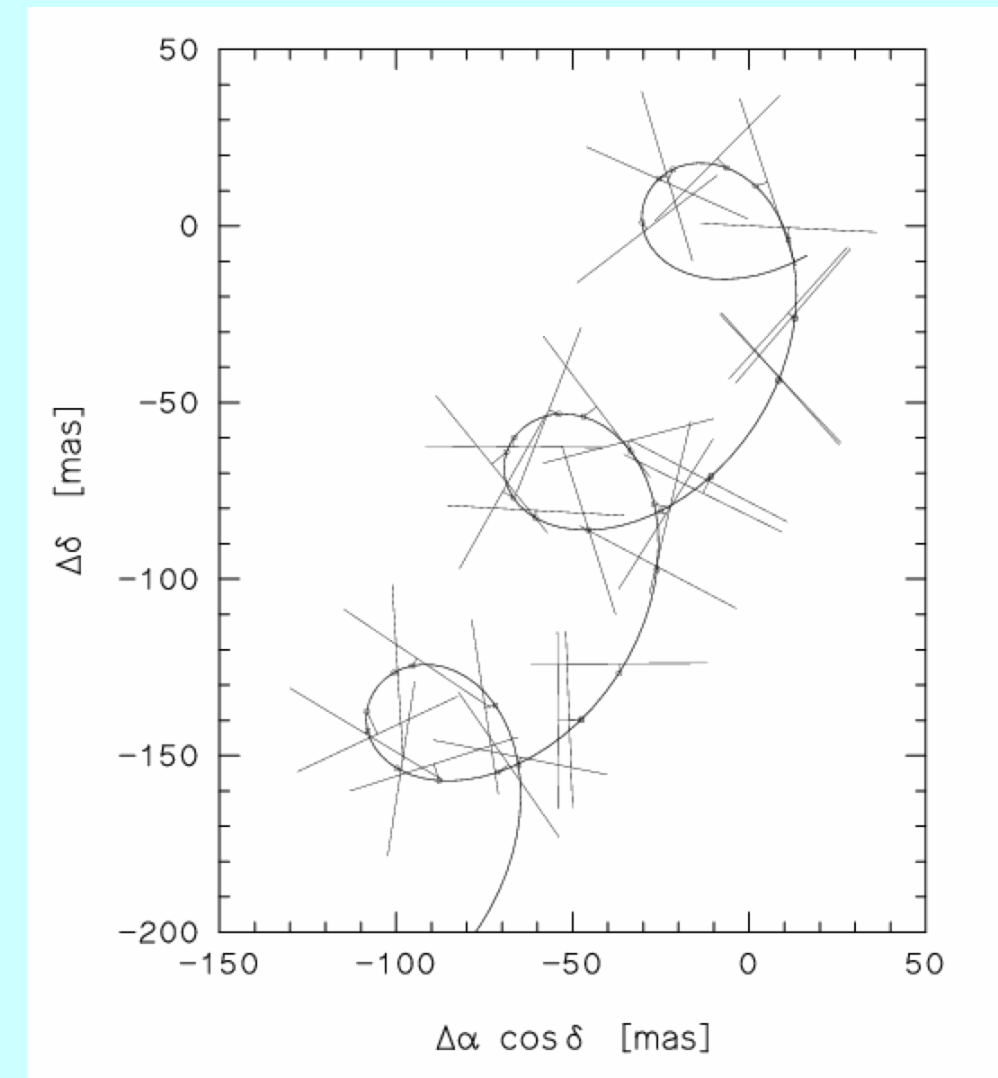
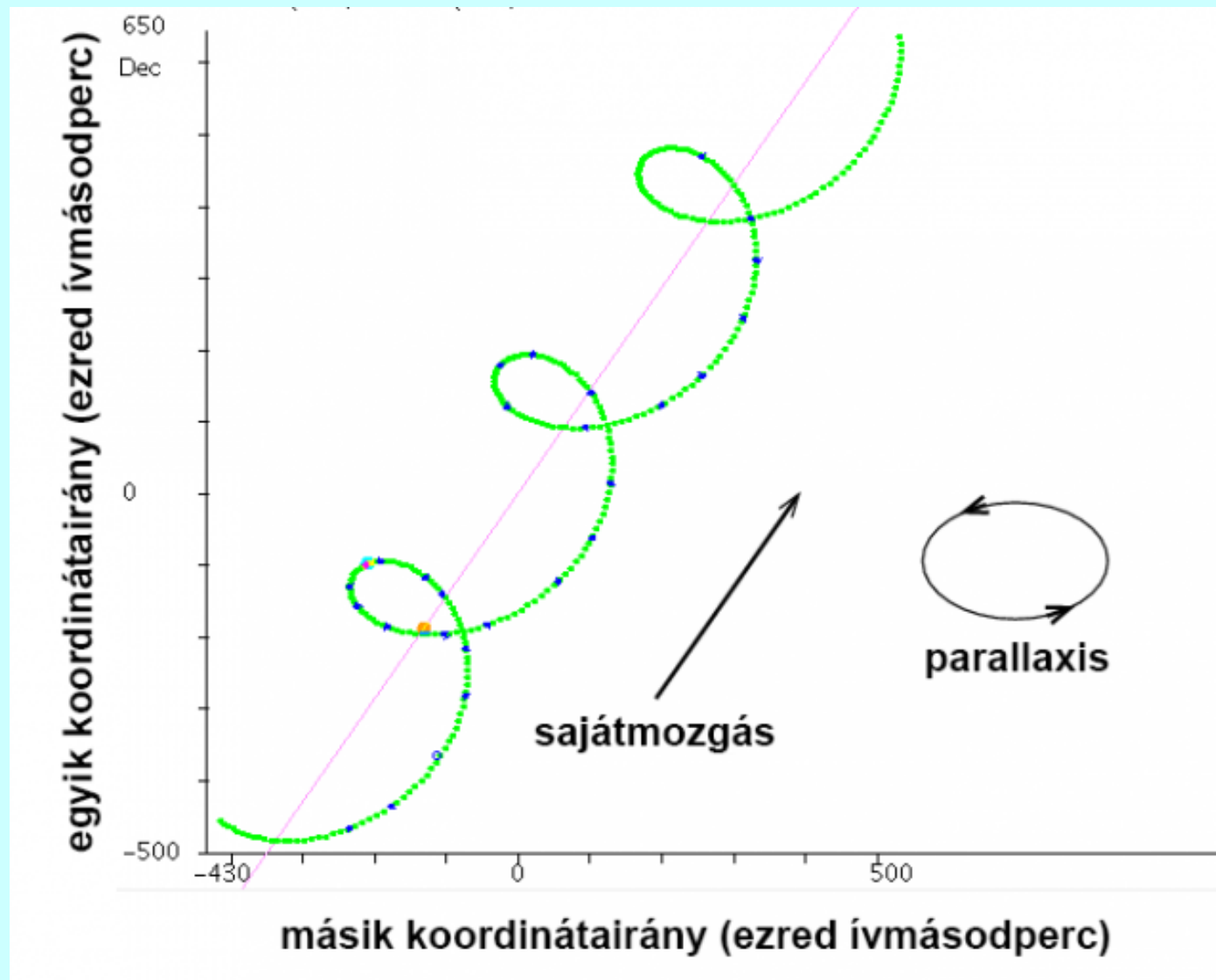
<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS>

Hipparcos (1989–1993)

High **P**recision **P**arallax **C**ollecting **S**atellite: az Európai Űrügynökség (ESA) asztrometriai célú mesterséges holdja, 29 cm átmérőjű űrtávcső. Helytelen a Hipparchos írásmód.



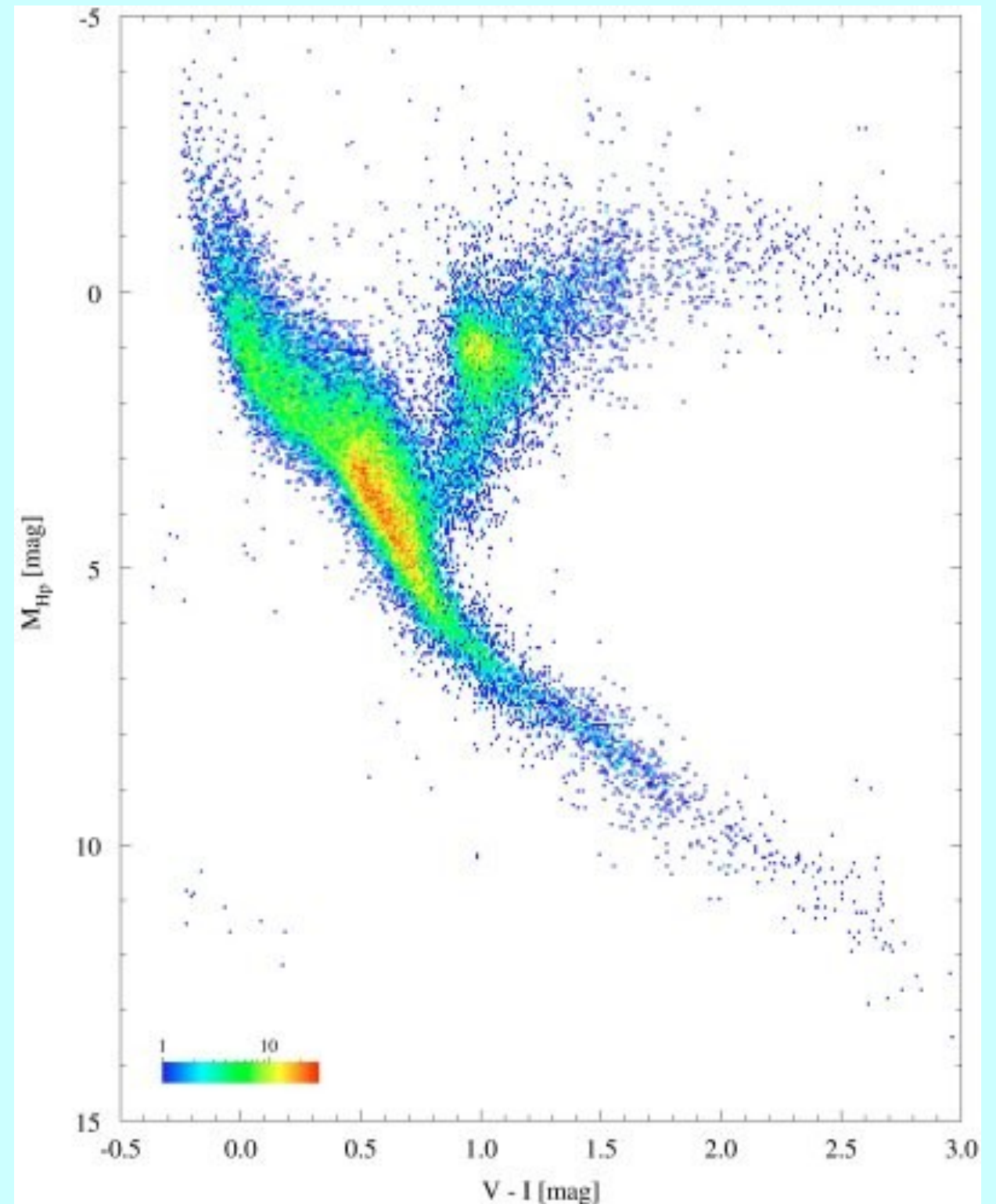
A mérés és feldolgozás elve

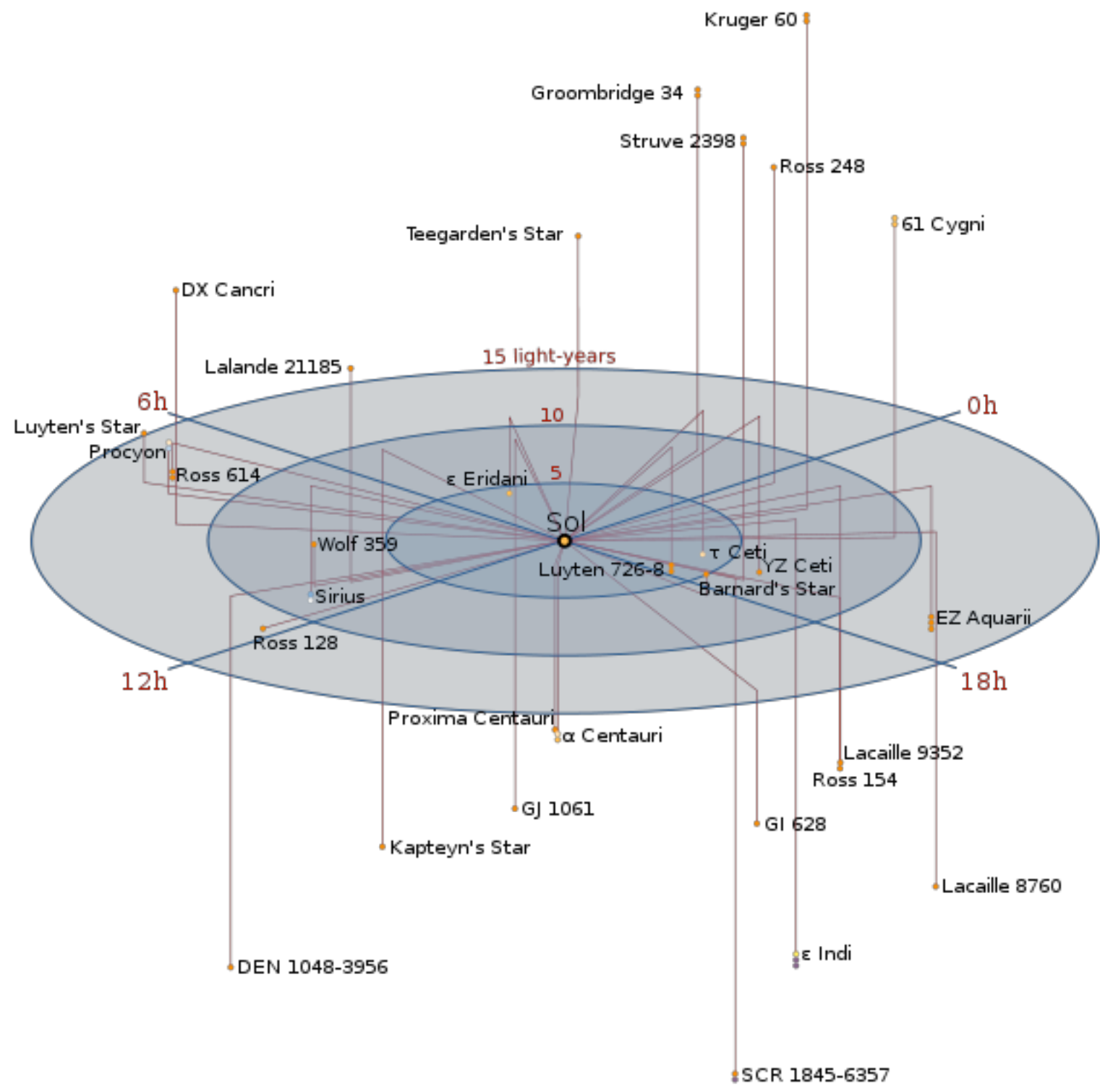


Két évnél hosszabb mérési sorozat kell a sajátmozgás és a parallaktikus elmozdulás szeparálásához.

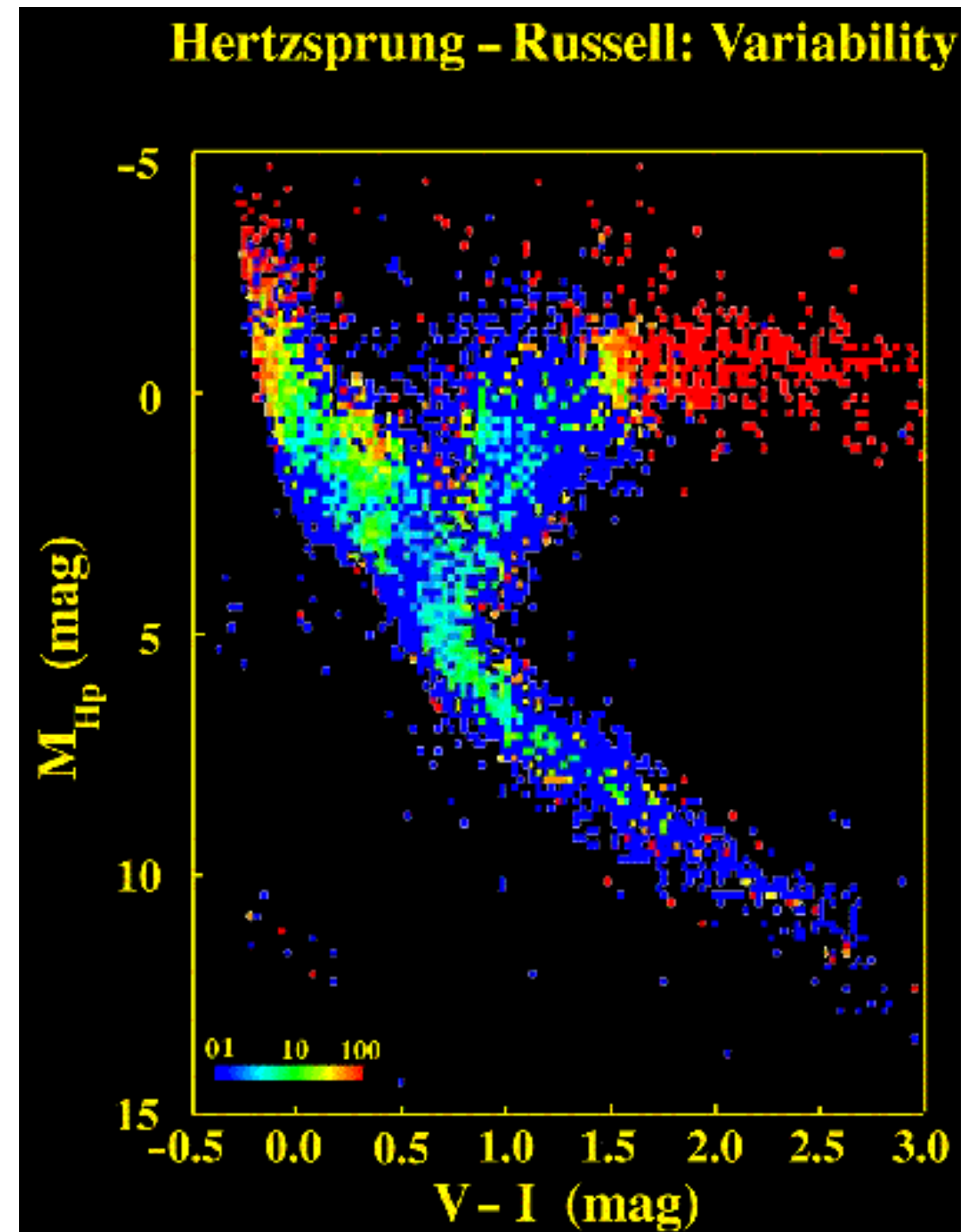
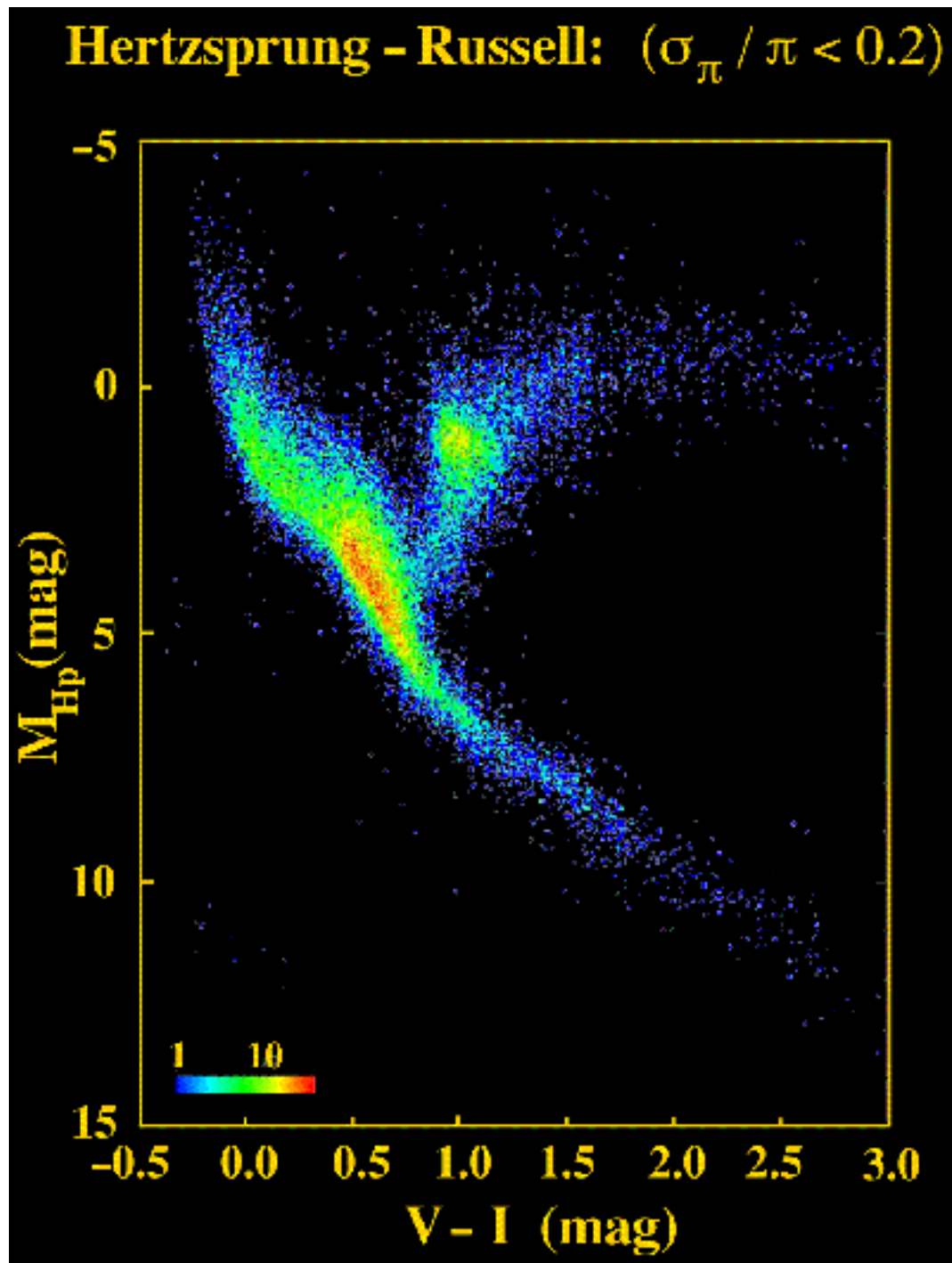
Hipparcos-eredmények

Hipparcos-katalógus (1997):
118218 (12^m -nál fényesebb)
csillag asztrometriai adatai
(koordináták, sajátmozgások,
parallaxis) az 1991,25
epochára, az ICRS
vonakoztatási rendszerben.
Kb. 3 csillag van
négyzetfokonként (teljes a
minta 7,3 és 9 magnitúdó
között). 2007-ben
újraredukálták.
Pontosság: kb. $0,001''$, illetve
 $0,001''/\text{év}$.
A Tycho-2 katalógusban 2,5
millió csillagra kevésbé
pontos asztrometriai adatok +
B-V színindex is.





Common Name	Scientific Name	Distance (light years)	Apparent Magnitude	Absolute Magnitude	Spectral Type
Sun		-	-26.72	4.8	G2V
Proxima Centauri	V645 Cen	4.2	11.05 (var.)	15.5	M5.5Vc
Rigil Kentaurus	Alpha Cen A	4.3	-0.01	4.4	G2V
	Alpha Cen B	4.3	1.33	5.7	K1V
Barnard's Star		6.0	9.54	13.2	M3.8V
Wolf 359	CN Leo	7.7	13.53 (var.)	16.7	M5.8Vc
	BD +36 2147	8.2	7.50	10.5	M2.1Vc
Luyten 726-8A	UV Cet A	8.4	12.52 (var.)	15.5	M5.6Vc
Luyten 726-8B	UV Cet B	8.4	13.02 (var.)	16.0	M5.6Vc
Sirius A	Alpha CMa A	8.6	-1.46	1.4	A1Vm
Sirius B	Alpha CMa B	8.6	8.3	11.2	DA
Ross 154		9.4	10.45	13.1	M3.6Vc
Ross 248		10.4	12.29	14.8	M4.9Vc
	Epsilon Eri	10.8	3.73	6.1	K2Vc
Ross 128		10.9	11.10	13.5	M4.1V
	61 Cyg A (V1803 Cyg)	11.1	5.2 (var.)	7.6	K3.5Vc
	61 Cyg B	11.1	6.03	8.4	K4.7Vc
	Epsilon Ind	11.2	4.68	7.0	K3Vc
	BD +43 44 A	11.2	8.08	10.4	M1.3Vc
	BD +43 44 B	11.2	11.06	13.4	M3.8Vc
Luyten 789-6		11.2	12.18	14.5	
Procyon A	Alpha CMi A	11.4	0.38	2.6	F5IV-V
Procyon B	Alpha CMi B	11.4	10.7	13.0	DF
	BD +59 1915 A	11.6	8.90	11.2	M3.0V
	BD +59 1915 B	11.6	9.69	11.9	M3.5V
	CoD -36 15693	11.7	7.35	9.6	M1.3Vc



A Hipparcos nagyon fontos eredményekre vezetett, de a pontosság igénye megnőtt -- Gaia

**(Öreg távcső nem vén
távcső)**

Pre-discovery transits of the exoplanets WASP-18 b and WASP-33 b from *Hipparcos*

I. McDonald^{1*}, E. Kerins¹

¹*Jodrell Bank Centre for Astrophysics, Alan Turing Building, Manchester, M13 9PL, UK*

Accepted XXX. Received YYY; in original form ZZZ

ABSTRACT

We recover transits of WASP-18 b and WASP-33 b from *Hipparcos* (1989–1993) photometry. Marginal detections of HAT-P-56 b and HAT-P-2 b may be also present in the data. New ephemerides are fitted to WASP-18 b and WASP-33 b. A tentative ($\sim 1.3\sigma$) orbital decay is measured for WASP-18 b, but the implied tidal quality factor ($Q' \sim 5 \times 10^5$) is small and survival time ($< 10^6$ years) is too short to be likely. No orbital decay is measured for WASP-33 b, and a limit of $Q' > 2 \times 10^5$ is placed. For both planets, the uncertainties in published ephemerides appear underestimated: the uncertainty in the period derivative of WASP-18 b would be greatly reduced if its current ephemeris could be better determined.

Key words: planets and satellites: dynamical evolution and stability — planets and satellites: gaseous planets — planets and satellites: individual: WASP-18 b — planets and satellites: individual: WASP-33 b — planet–star interactions — stars: variables: δ Scuti

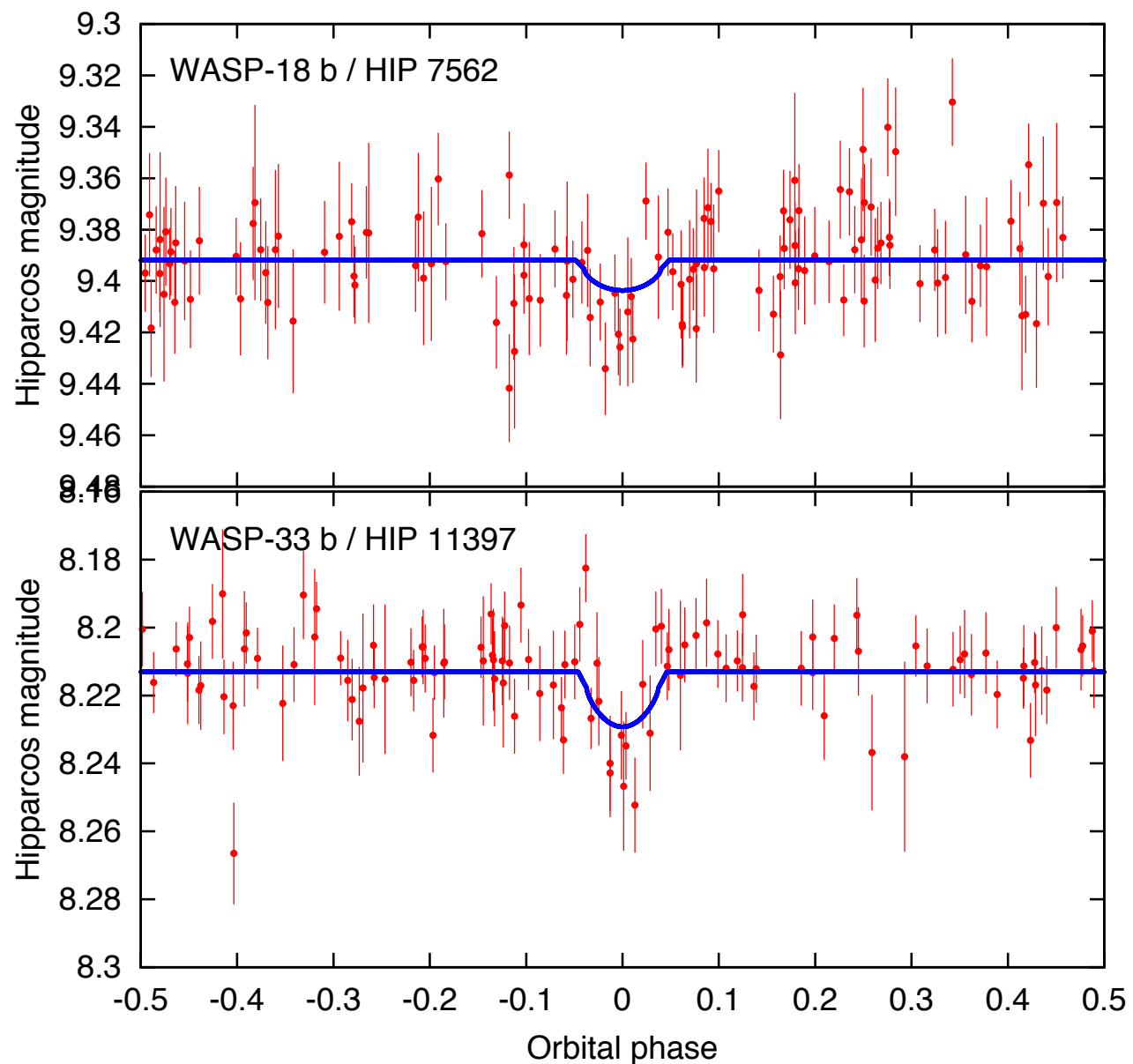


Figure 1. *Hipparcos* photometry, phase-folded on a modern ephemeris. Lines show the expected transit position, width and depth.

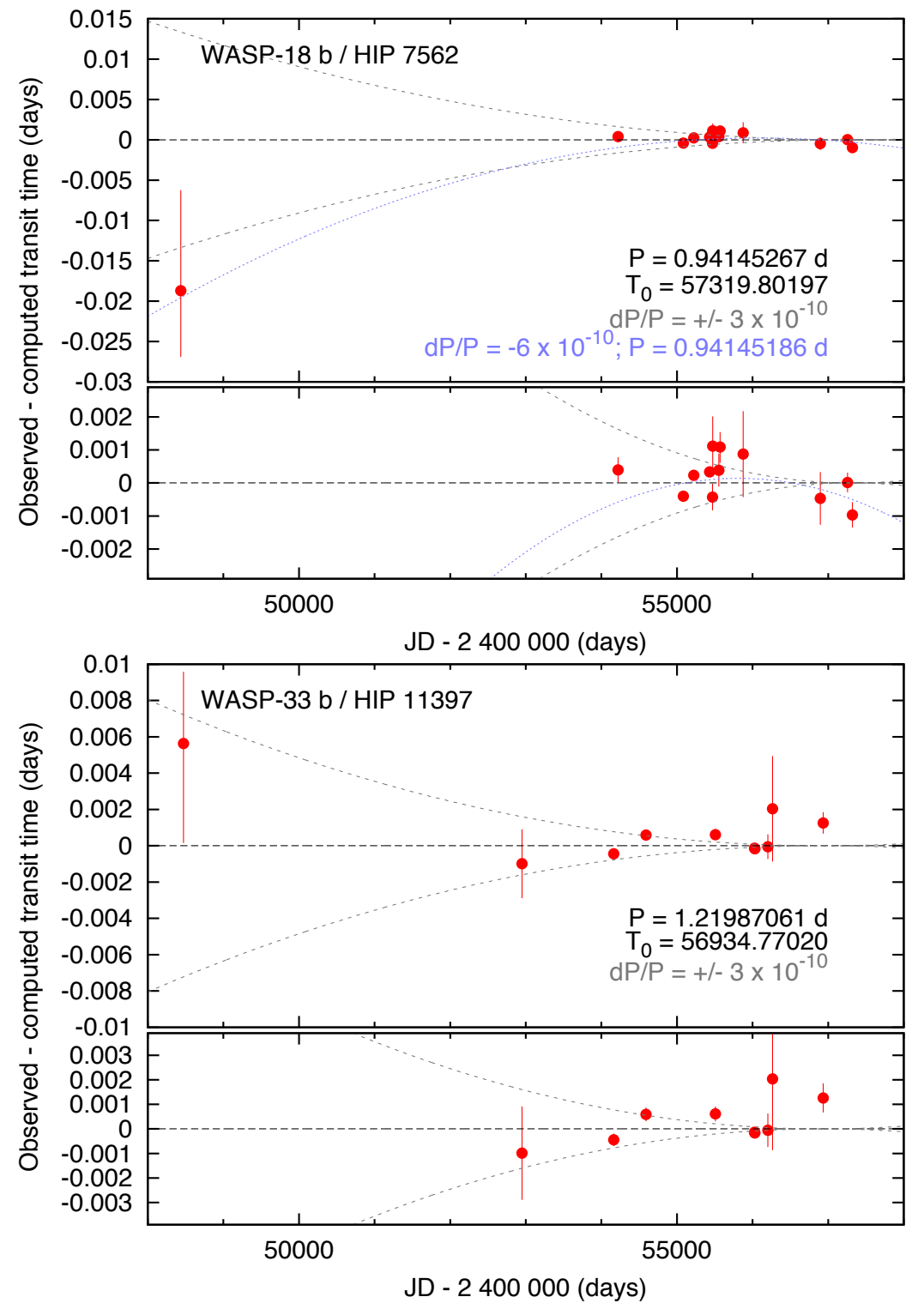
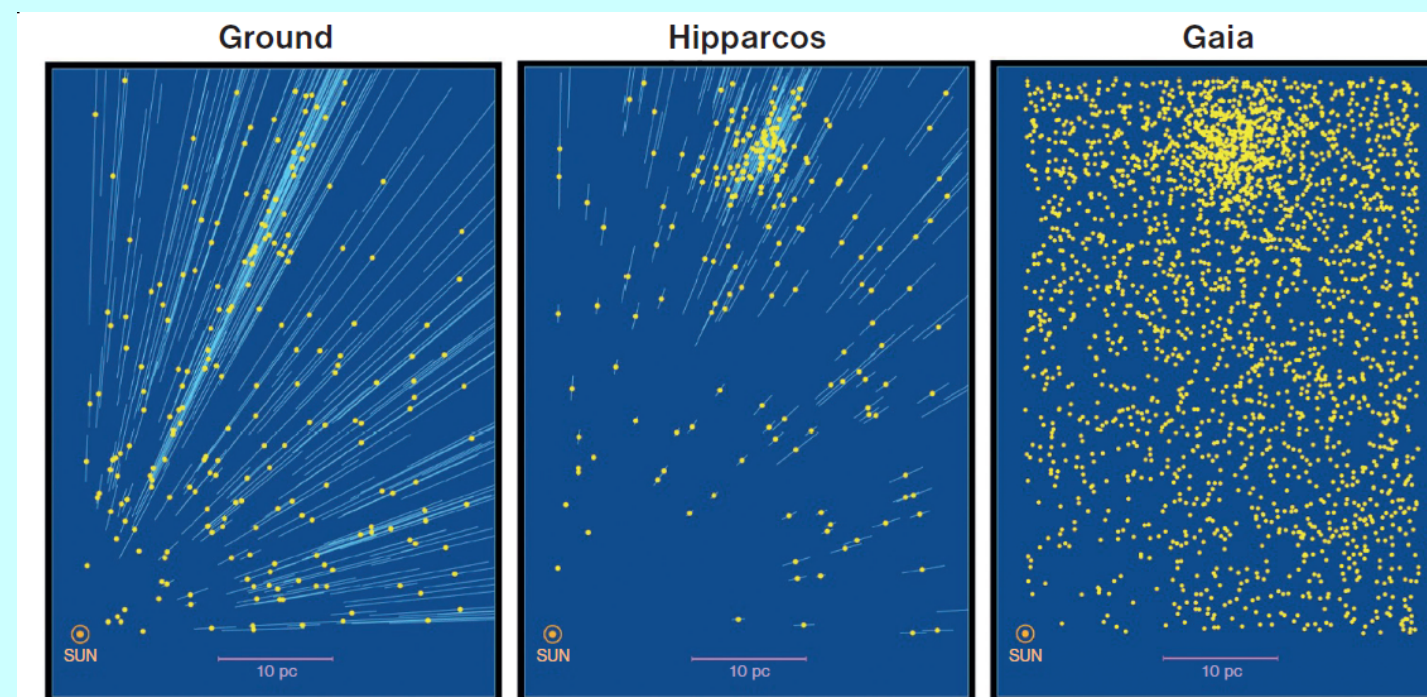
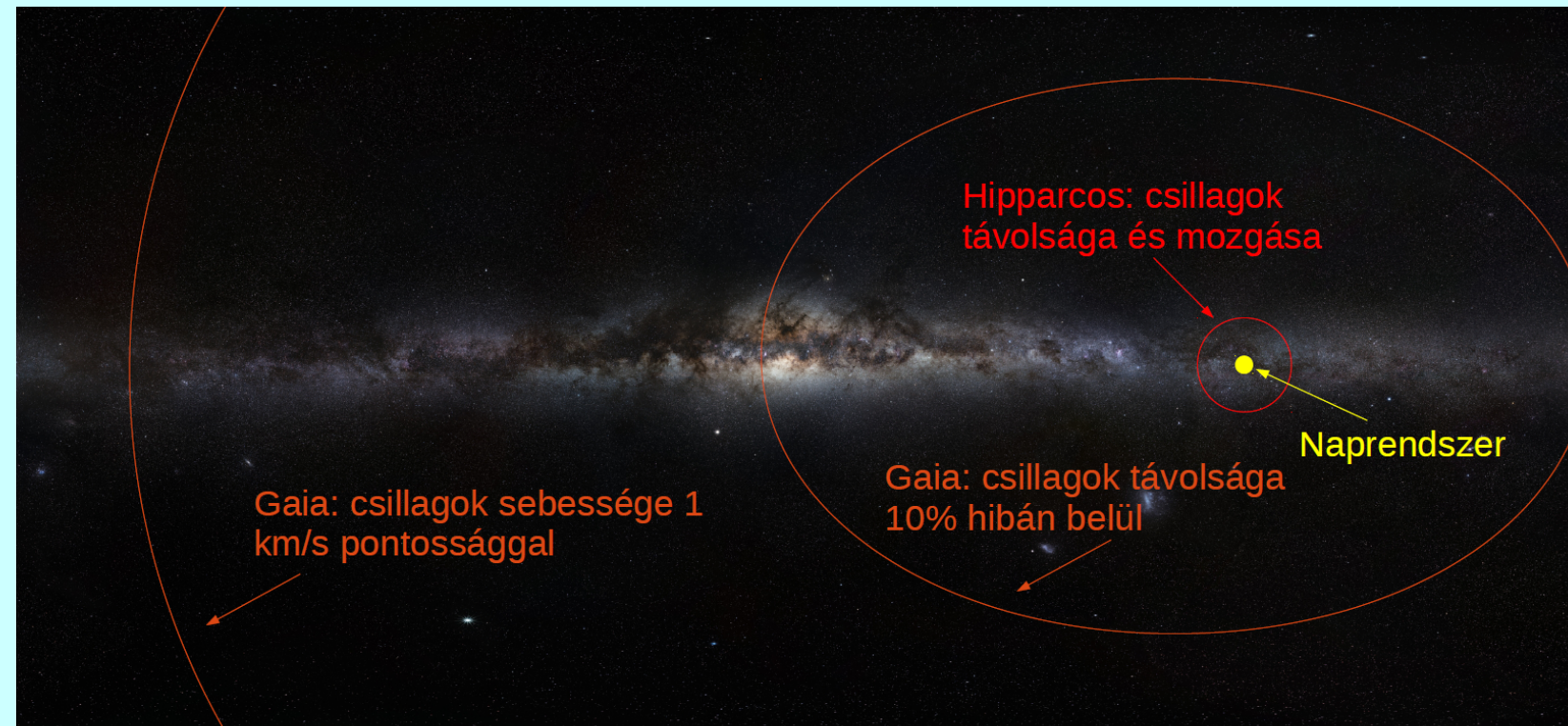


Figure 3. $O - C$ diagrams for WASP-18 b and WASP-33 b, modelled against the best-fit ephemeris. Curves show models with period changes (dP/P), as indicated on each plot.

Hipparcos és Gaia – összehasonlítás

A Hipparcos minőségi ugrást jelentett az asztrometriában, de a pontosság további fokozására volt szükség.

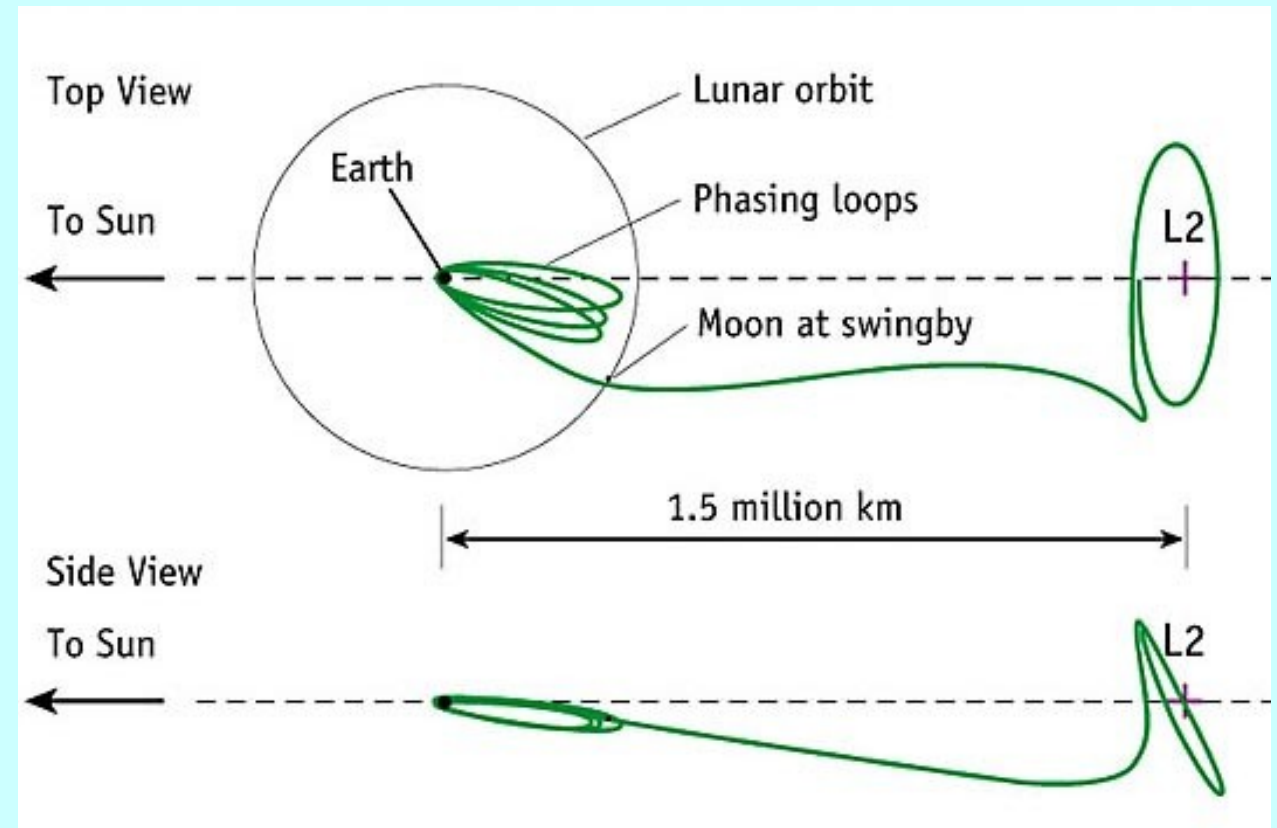
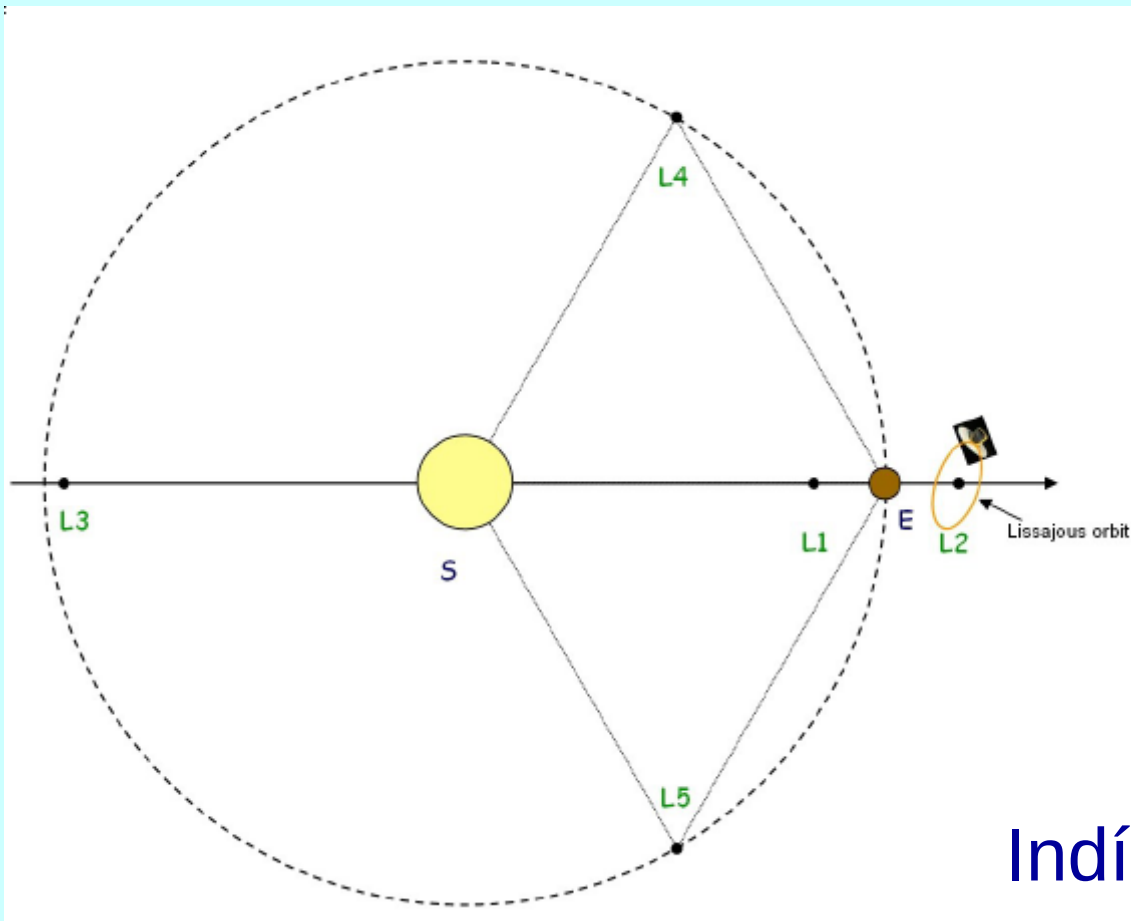
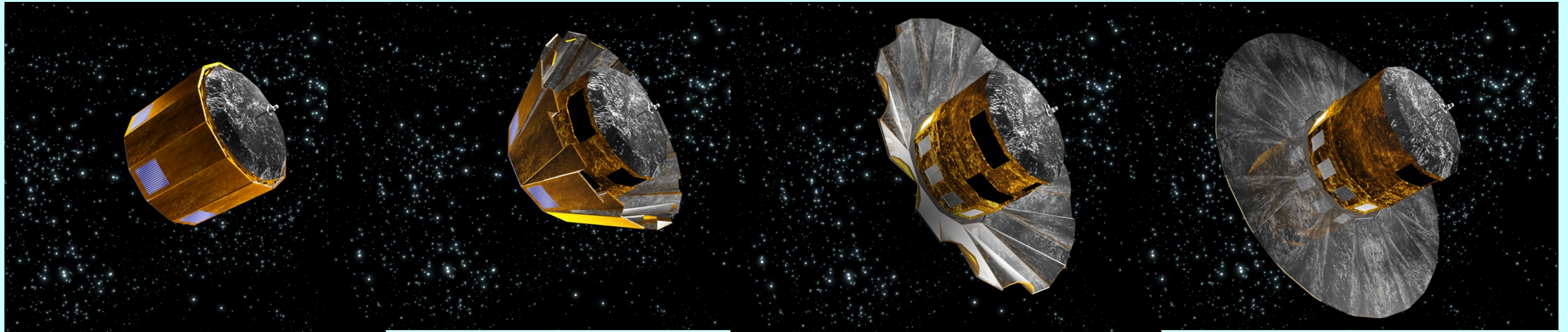


Hipparcos és Gaia – összehasonlítás

	<i>Hipparcos</i>	<i>Gaia</i>
Fényességhatár	12	20 20,7
Teljesség (magnitúdó)	7,3–9,0	20 20,7
Legfényesebb objektumok (magnitúdó)	0	<6 2
Égitestek száma	118 000	26 millió ($V < 15^m$) 250 millió ($V < 18^m$) 1000 millió ($V < 20^m$)
Effektív távolsághatár	1 kpc	50 kpc
Kvazárok	1 (3C 273)	500 000
Galaxisok	nincs	1 000 000
Pontosság	1 ezred ívmásodperc	7 milliomod ívmásodperc ($V < 10^m$) 10–25 milliomod ívmásodperc ($V < 15^m$) 300 milliomod ívmásodperc ($V < 20^m$)
Fotometria	2 sávban (B és V)	kis felbontású spektrum ($V < 20^m$)
Radiális sebesség	nem mért	15 km/s ($V < 17^m$) 16^m
Észlelési program	előre kiválasztott	teljes, torzítatlan

**1,6 milliárd csillag
20,7 magnitúdóig**

A Gaia asztrometriai űrszonda



Indítás: 2013. december 19.

A Gaia asztrometriai űrszonda

Figyelem! A név helyesen Gaia és *nem* GAIA; *nem* műhold, mert nem a Föld körül kering; és *nem* is az L2 pontban, hanem körülötte.

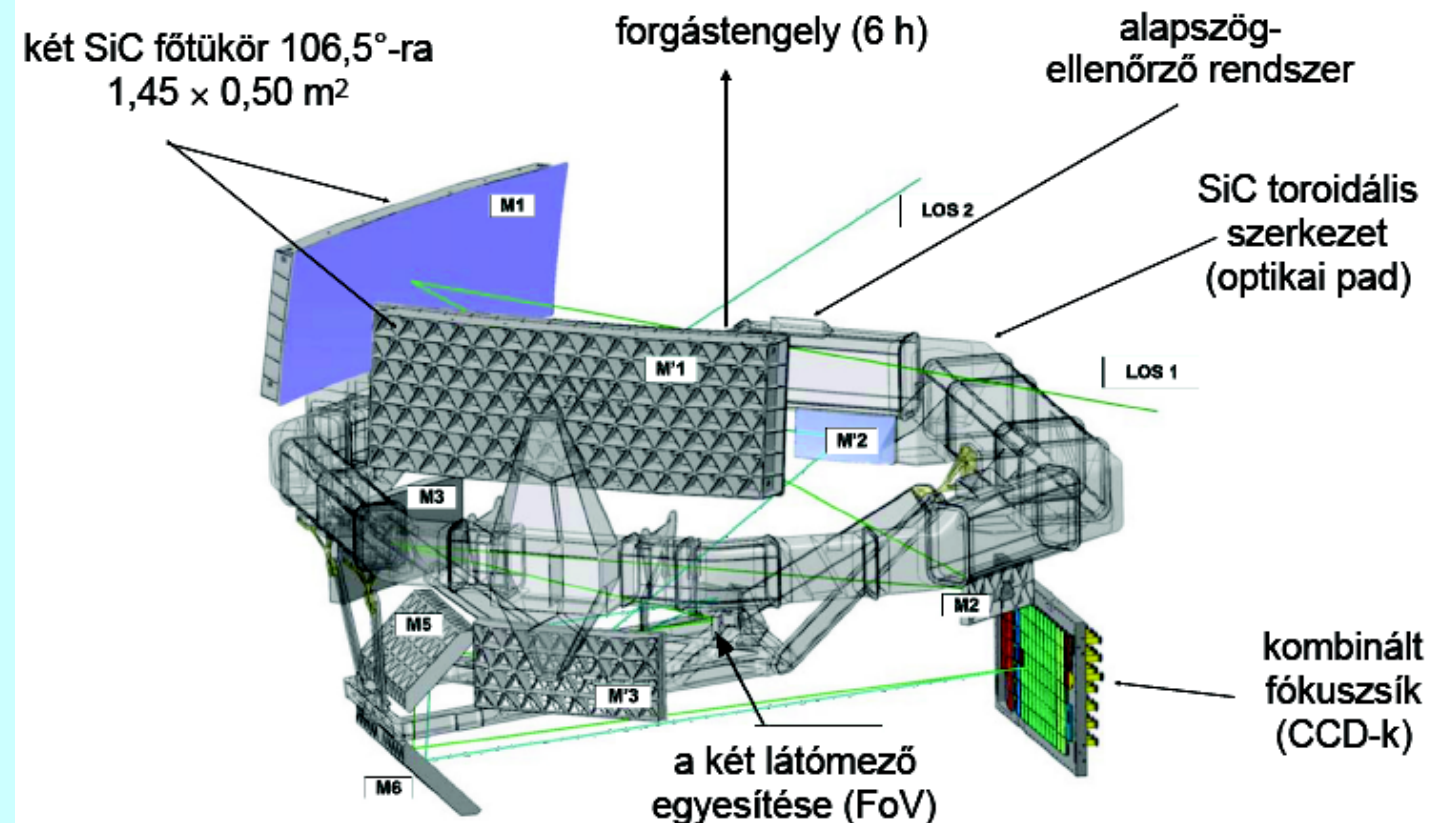
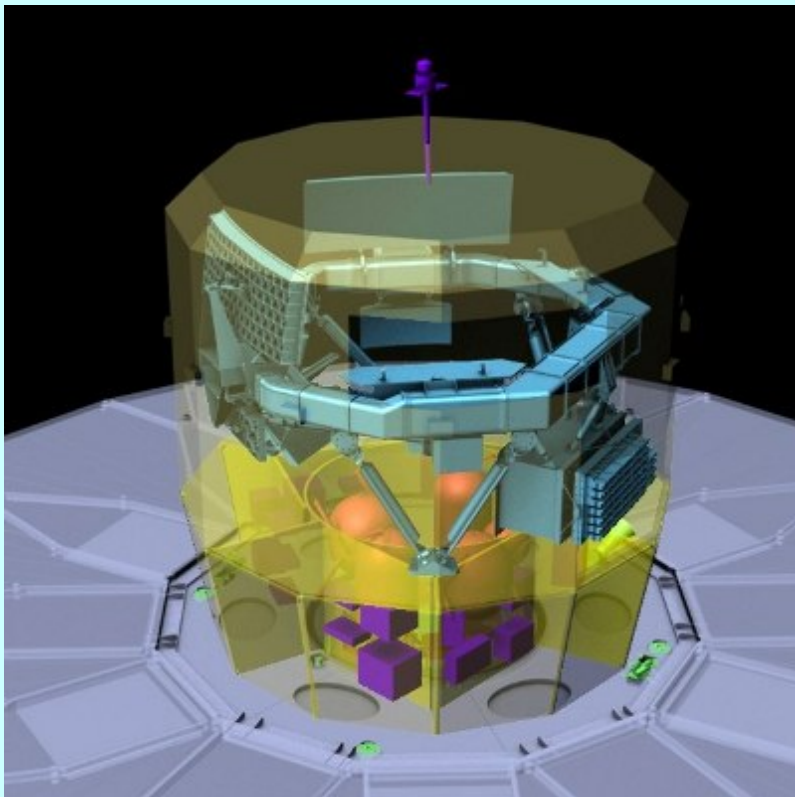
Indítási tömeg: 2030 kg (ebből 400 kg üzemanyag).

Mérete: 4,3 m · 2,3 m, nyitott napelemekkel 10 m átmérőjű.

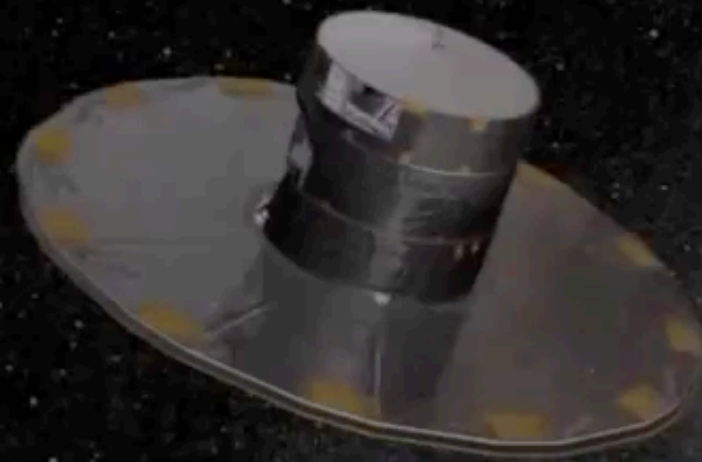
Két azonos optikai teleszkóp leképezőrendszerrel, a fókuszsíkban 0,5 m · 1 m-es CCD-mátrix 1 milliárd pixellel, az űrben ez a legnagyobb CCD-kamera.

Földi távközlési kapcsolat: Cebreros (ESP), New Norcia (AUS), Malargüe (ARG)

Földi irányítás: ESOC, Darmstadt (műszaki), Villafranca del Castillo (tudományos)



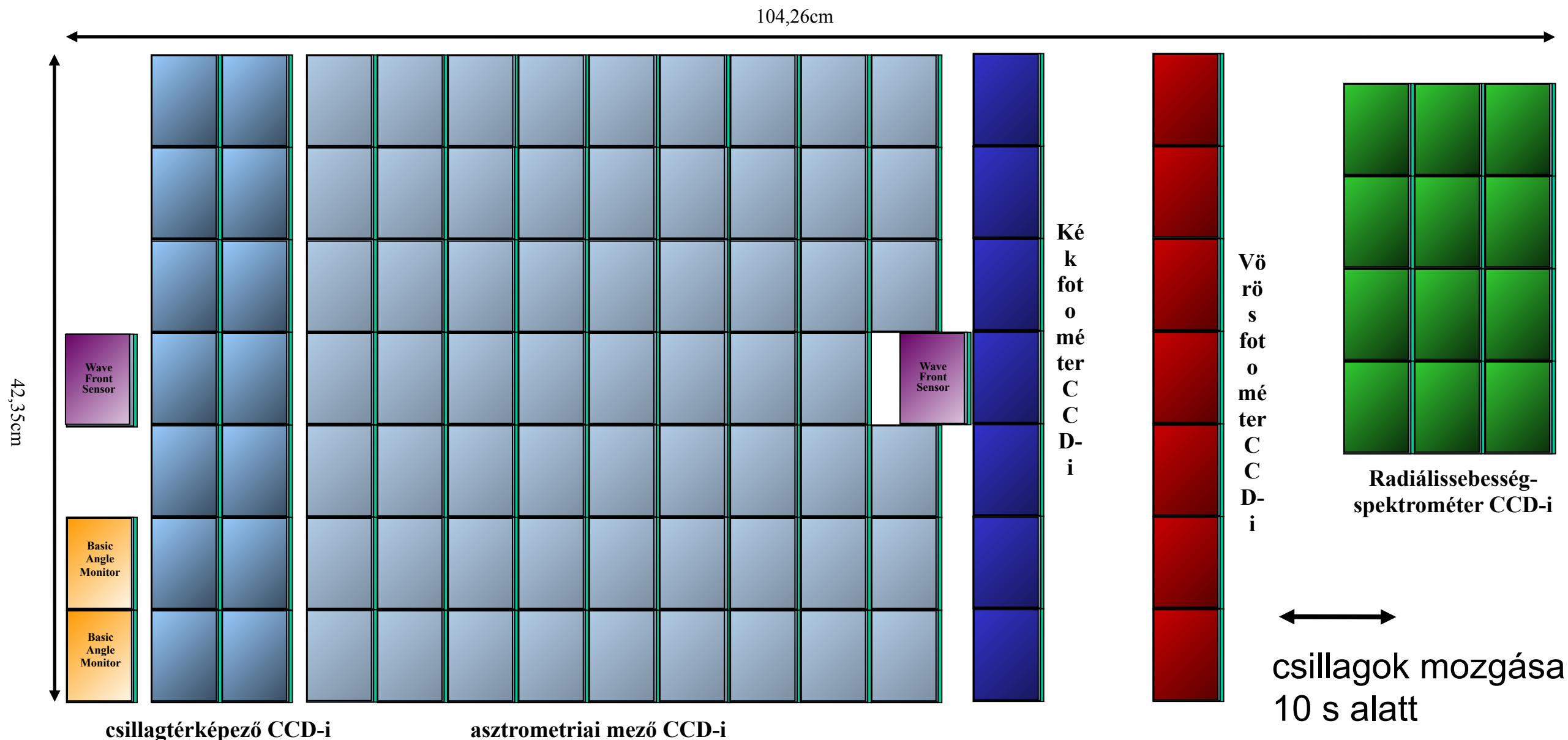
• esa



Az elkészült tórusz



fókuszszík



teljes látómező:

- aktív terület: 0,75 négyzetfok
- CCD-k: 14 + 62 + 14 + 12
- 4500 x 1966 pixel (TDI)
- pixelméret = 10 μm x 30 μm
= 59 mas x 177 mas

csillagtérképező:

- mindent detektál 20 m-ig
- kozmikus sugárzást kihagy

asztrometria:

- detektálási zaj: $\sim 6 e^-$

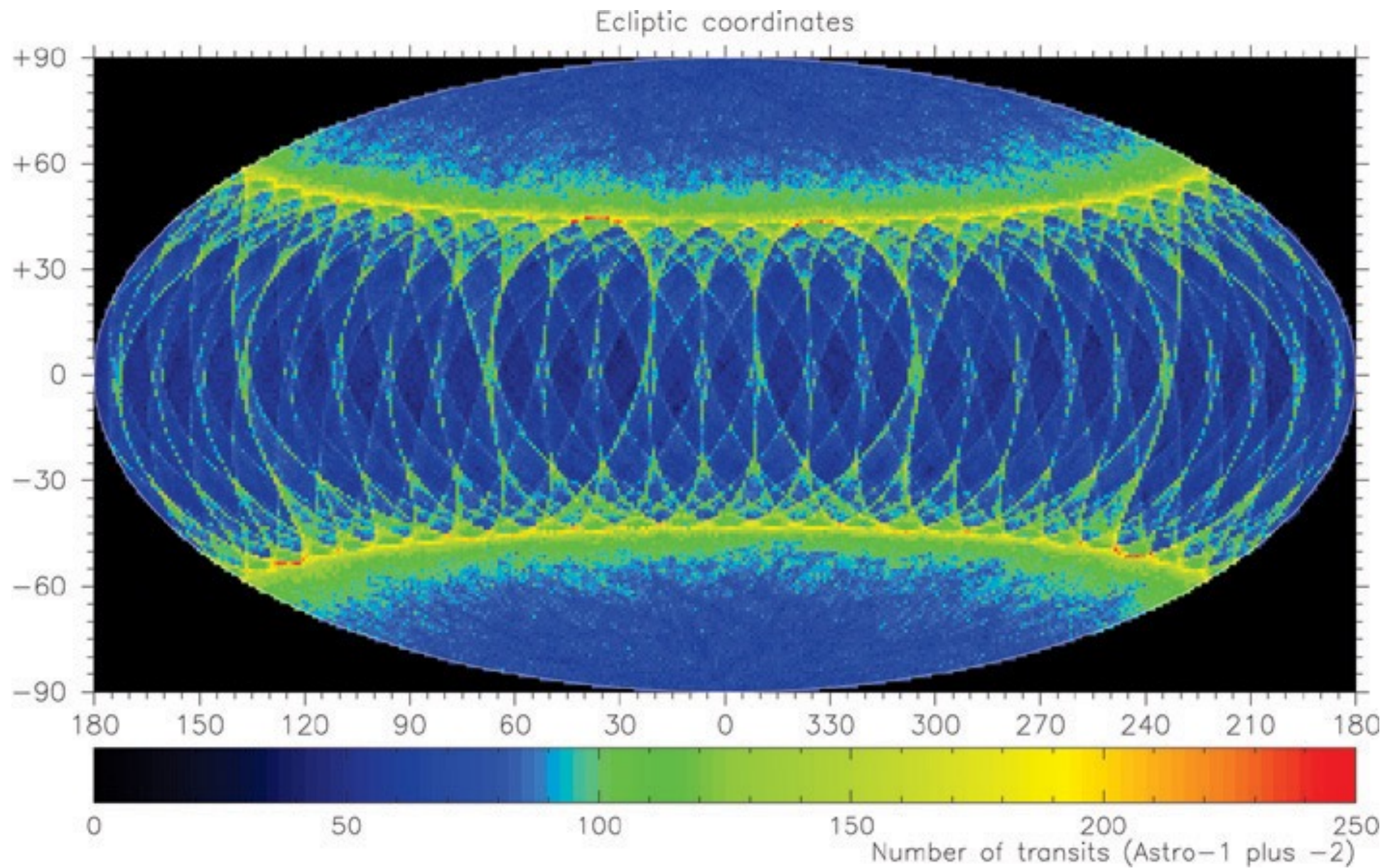
fotometria:

- spektrofotométer
- kék és vörös CCD-k

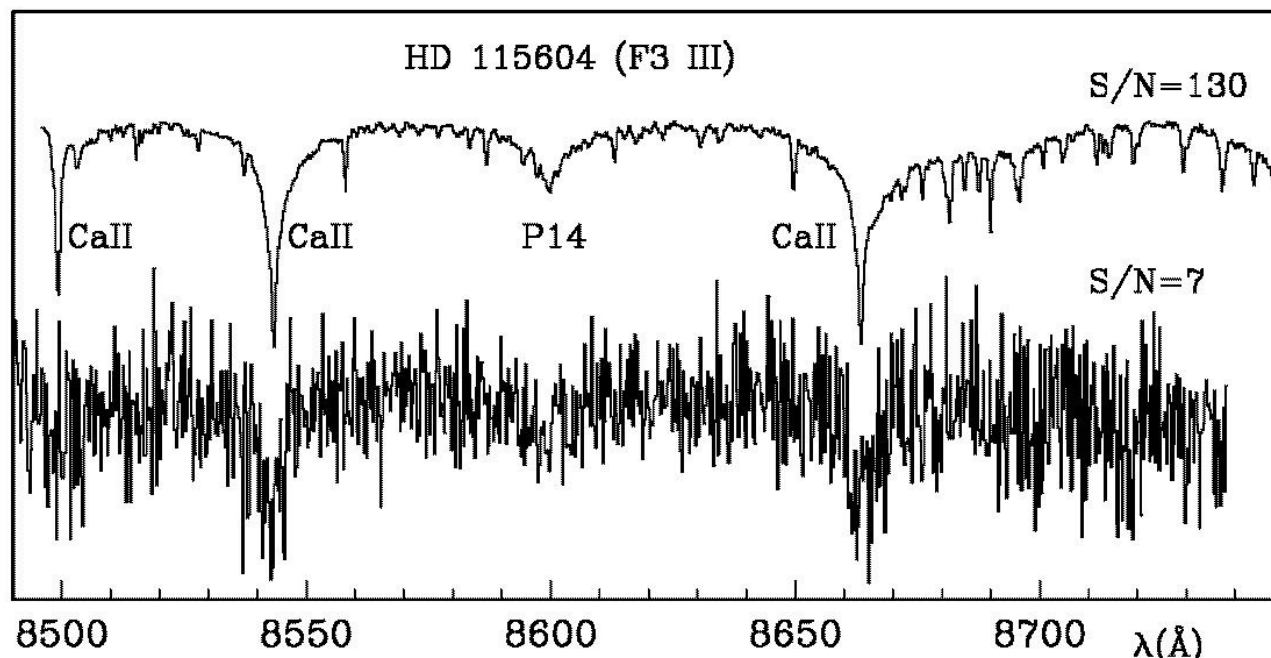
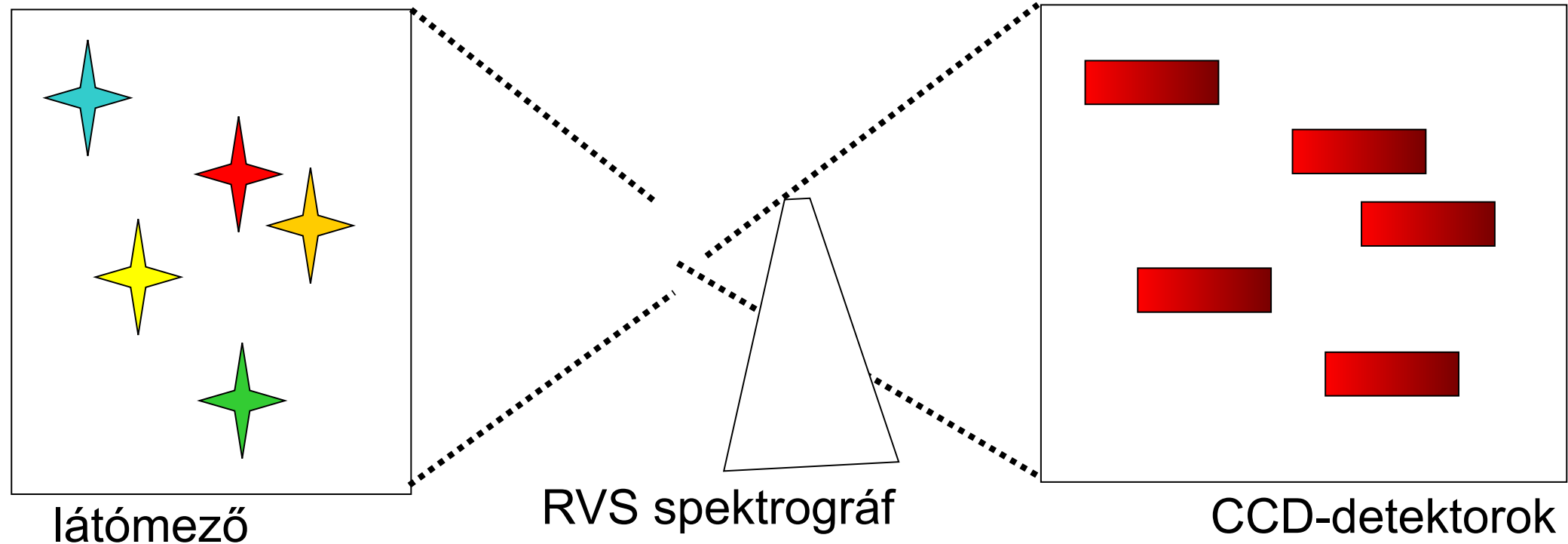
spektroszkópia:

- nagy felbontású színeképek
- vörös CCD-k

A szkennelés eredménye



A radiális sebesség mérése



F3 óriás RVS spektrumai ($V=16^m$)
S/N = 7 (egyetlen mérés)
S/N = 130 (a misszióra
összegezve)

Mit várunk a Gaia missziótól?

Mérések: 2014 nyarától 5 évig. 2020 végéig már jóváhagyták a támogatást, további 1-2 évre komoly ígéret van.

Az 1 mikroívmásodperces asztrometriai pontosság eléréséhez a Gaia szonda helyzetét kb. 8 mm-es pontossággal kell ismerni!

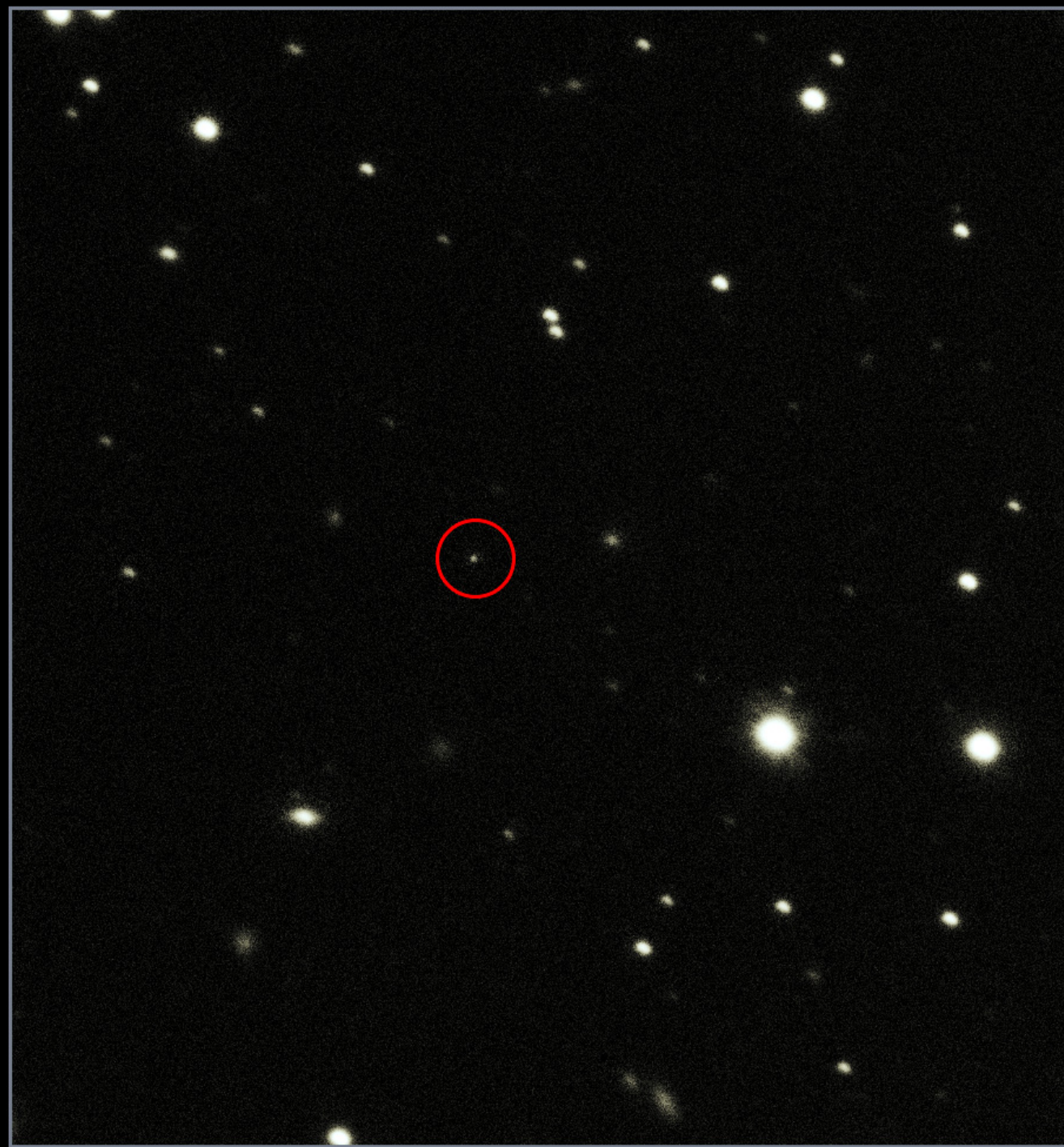
Várható eredmények:

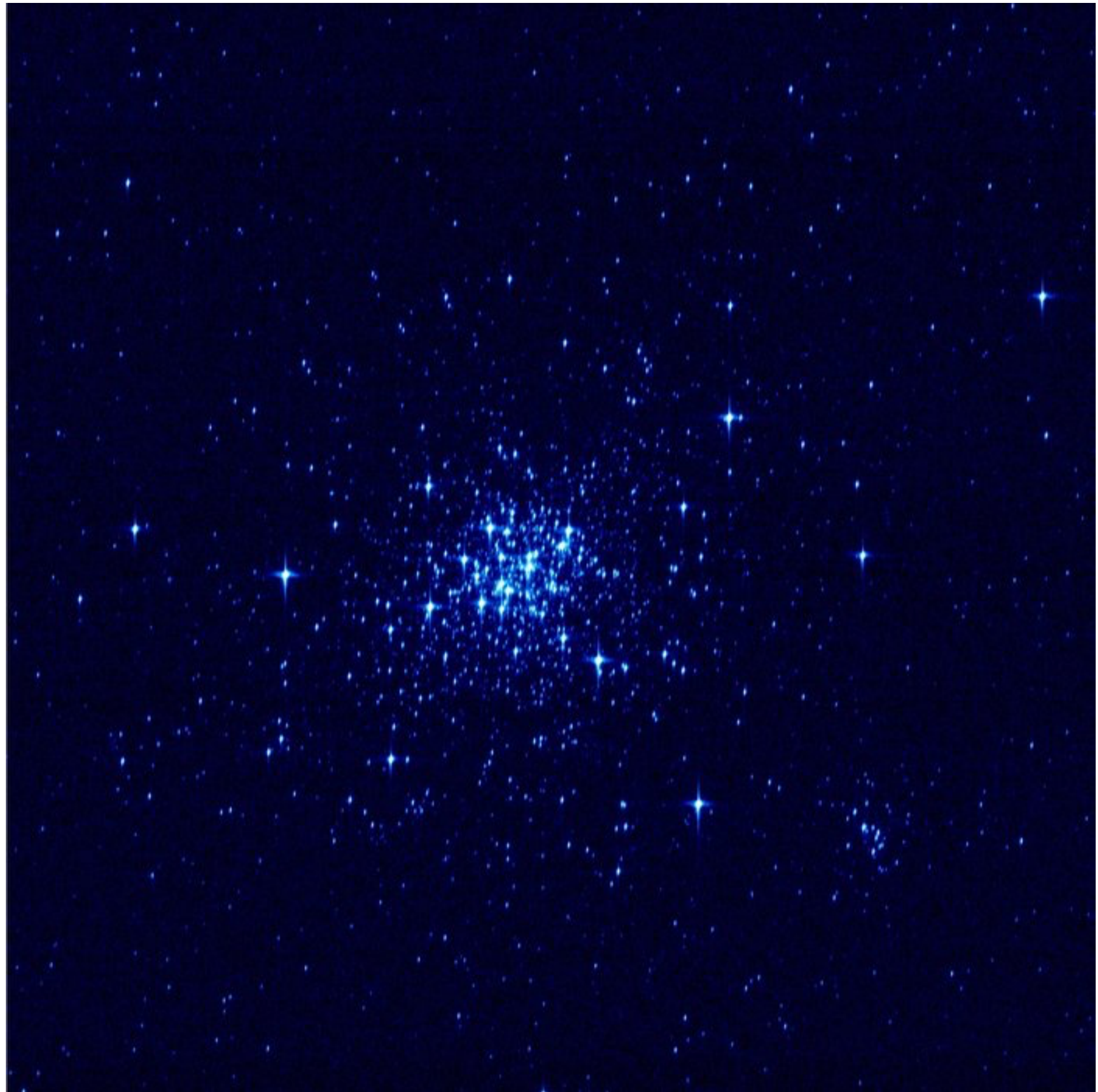
- A Tejútrendszer 3-dimenziós térképe (a sötét anyag eloszlása is);
- A csillagászati vonatkoztatási rendszer pontosítása (kvazárok segítségével, kb. félmillió kvazár észlelése);
- Exobolygók fotometriai és asztrometriai kimutatása (kb. 10000-re számítanak);
- A Földet veszélyesen megközelítő kisbolygók észlelése;
- Az általános relativitáselmélet numerikus paramétereinek pontosítása (a gravitációs fényelhajlásból);
- 20 Tbyte adat alapján a végső katalógus 2022 után lesz nyilvános.

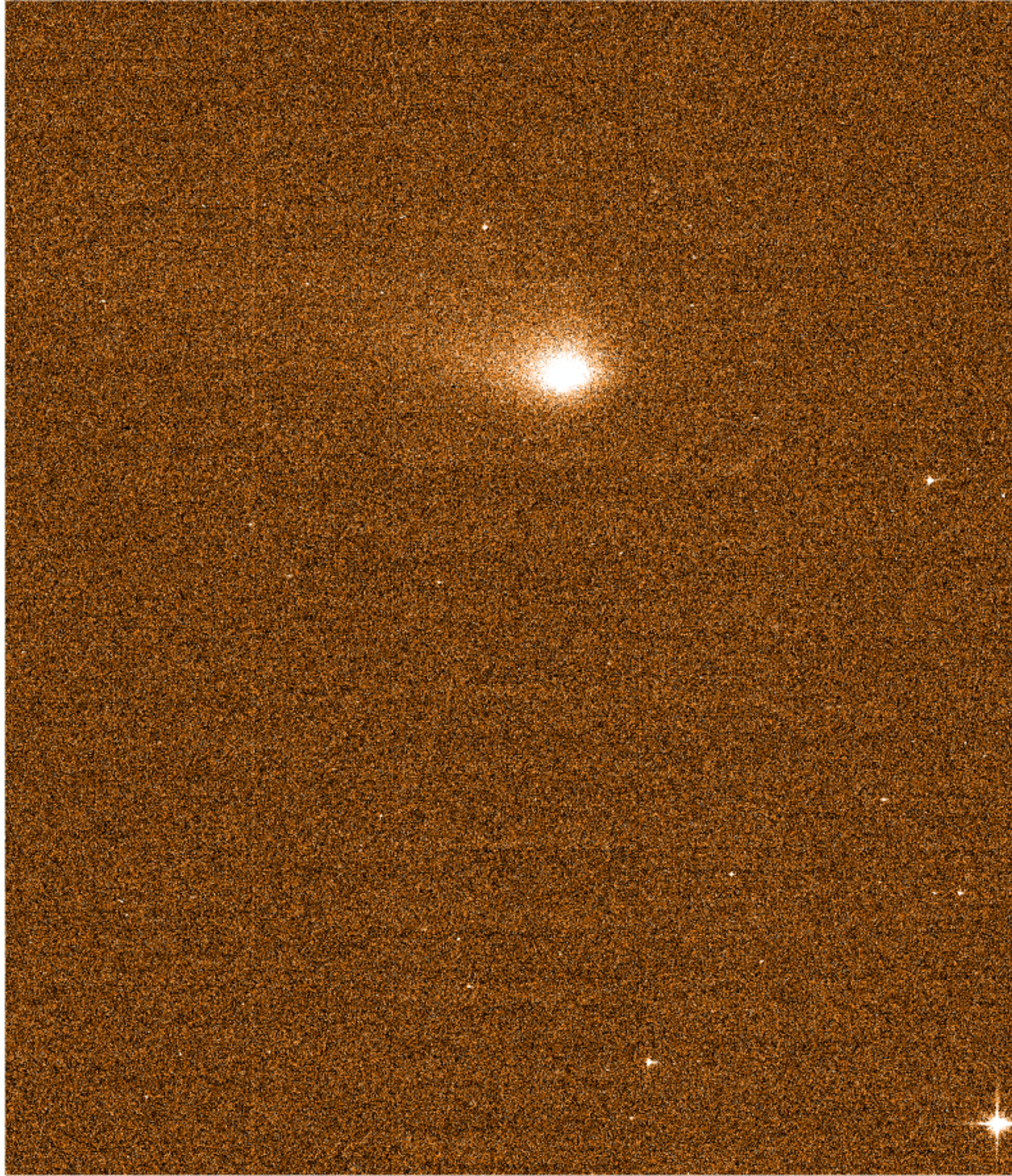
Adatközlések:

DR1: 2016. szeptember; DR2: 2018. április; DR3: majd két részben.

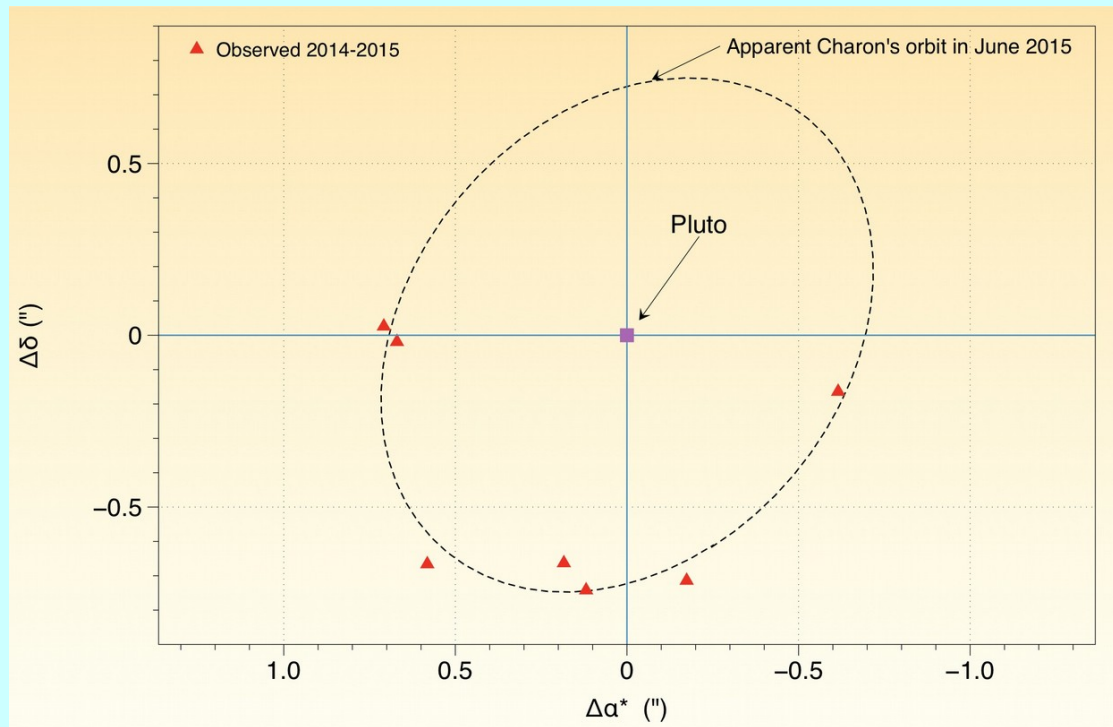
A Gaia-archívum itt érhető el: <http://archives.esac.esa.int/gaia/DR2>





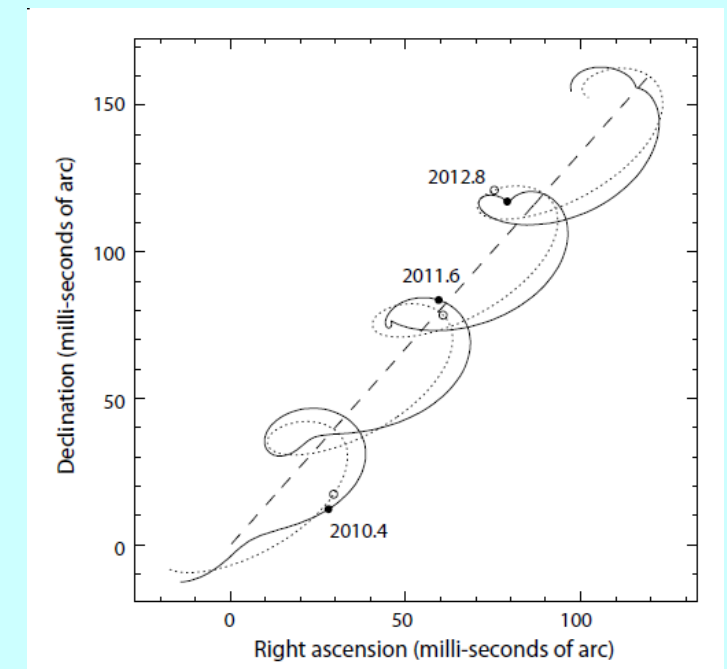
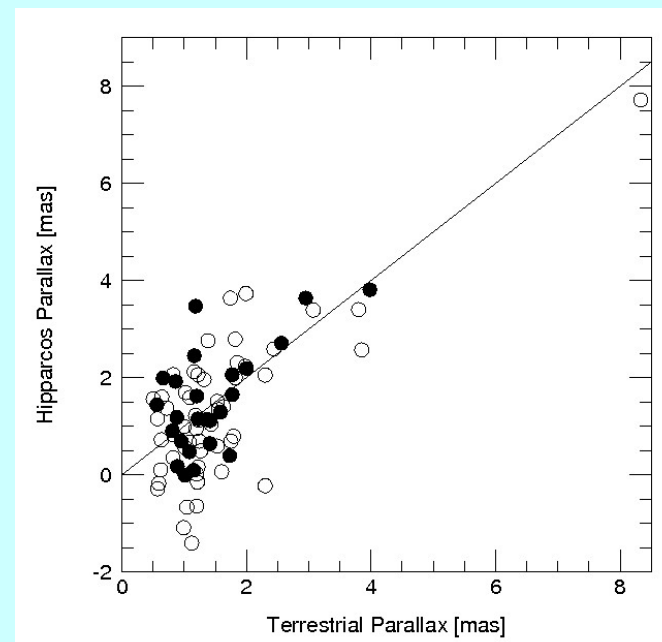
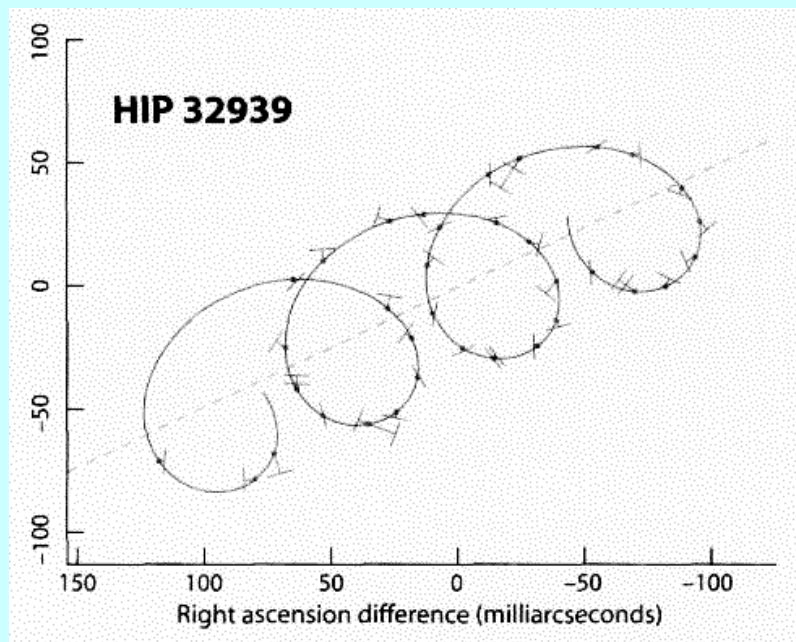


A Gaia első eredményei

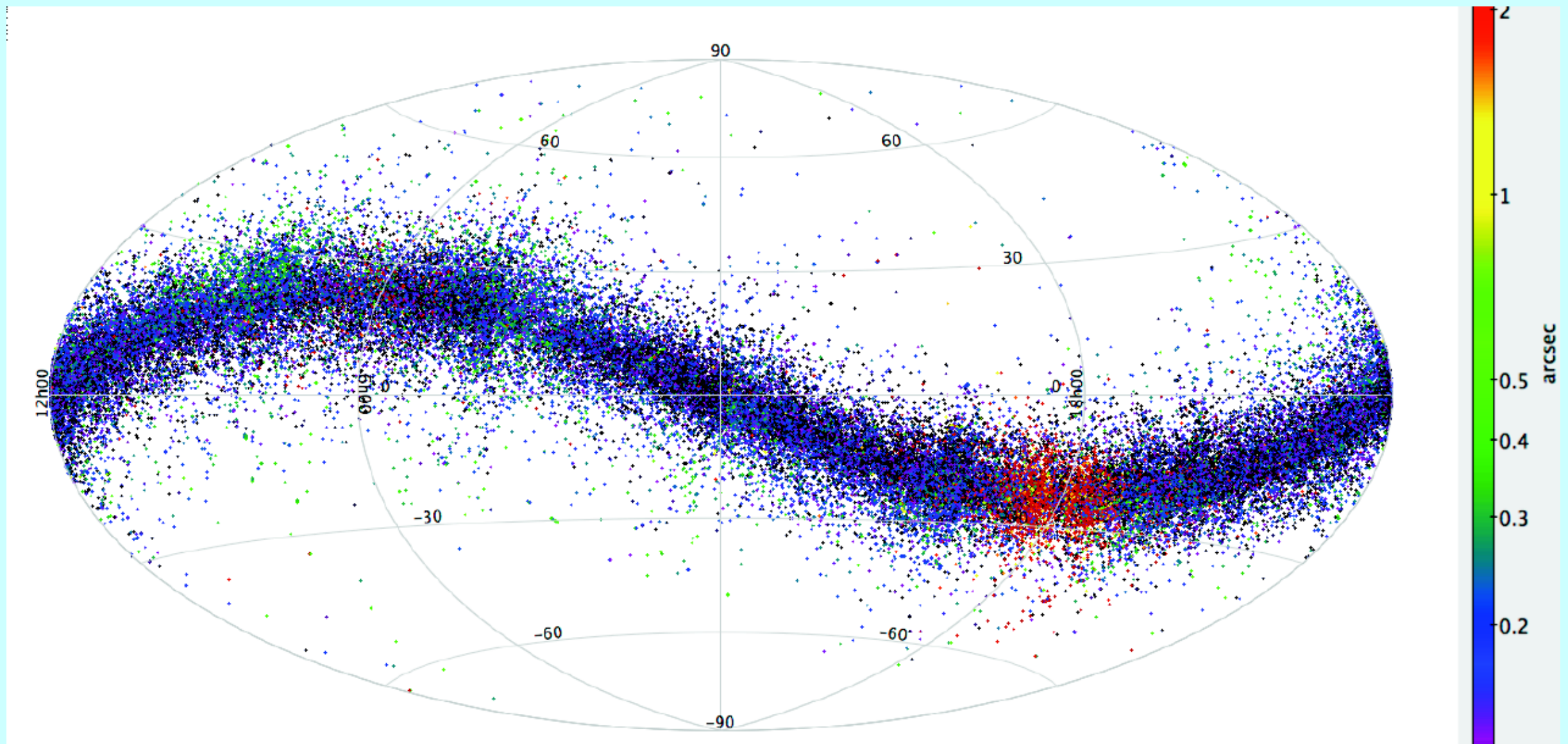


Példa a *szögfelbontásra*: a Pluto és a Charon mint kettős rendszer. A Gaia-mérések szögfelbontása ennél sokkal jobb.

Rengeteg kettőscsillag vizuális pályáját is meg lehet majd határozni. A cefeida típusú változócsillagoknál ez különösen fontos.

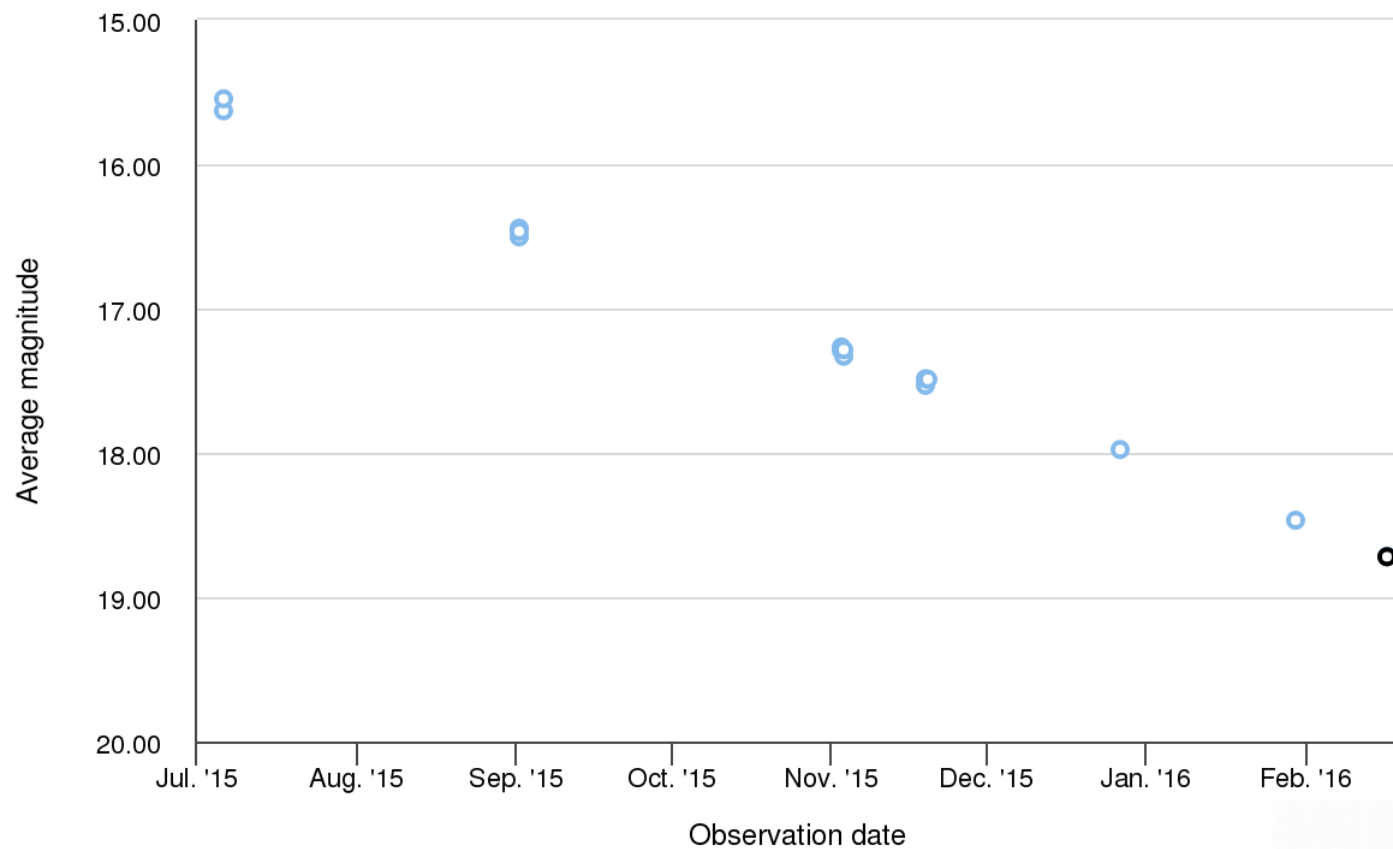


A Gaia első eredményei



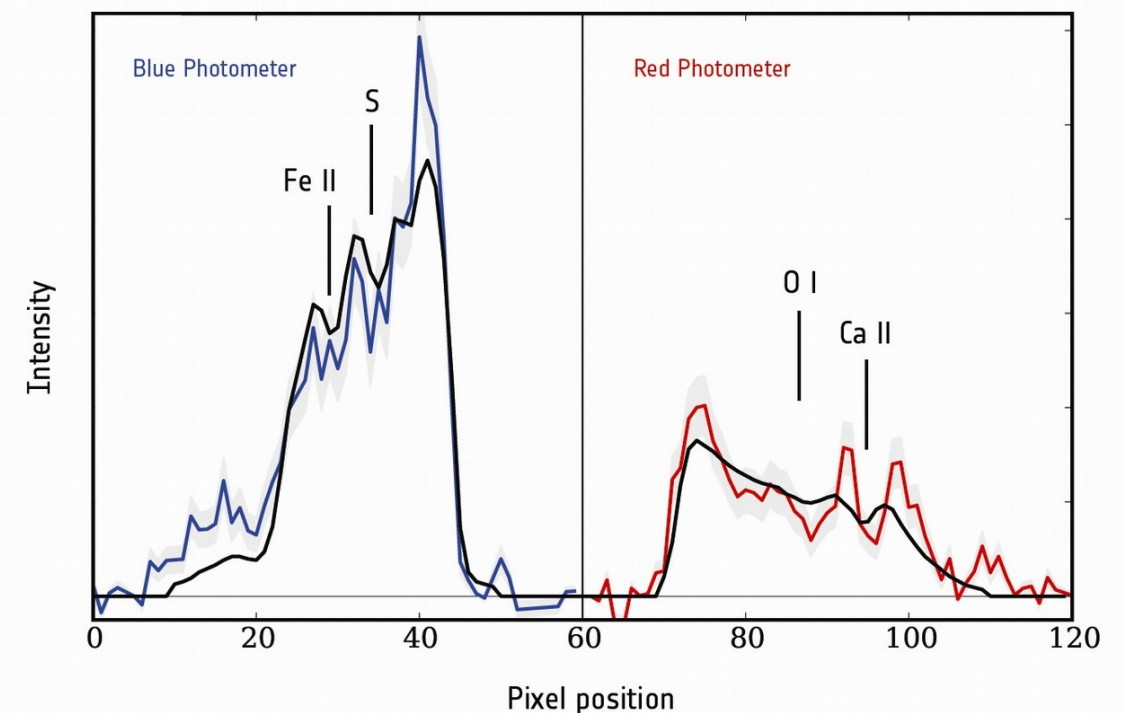
A Gaia által észlelt kisbolygók a mérések első 8 hónapjában.
A (gyorsan) *mozgó objektumok* azonosítása bonyolult szoftvert igényel.
A színskála a mérések hibáját mutatja.

A Gaia első eredményei

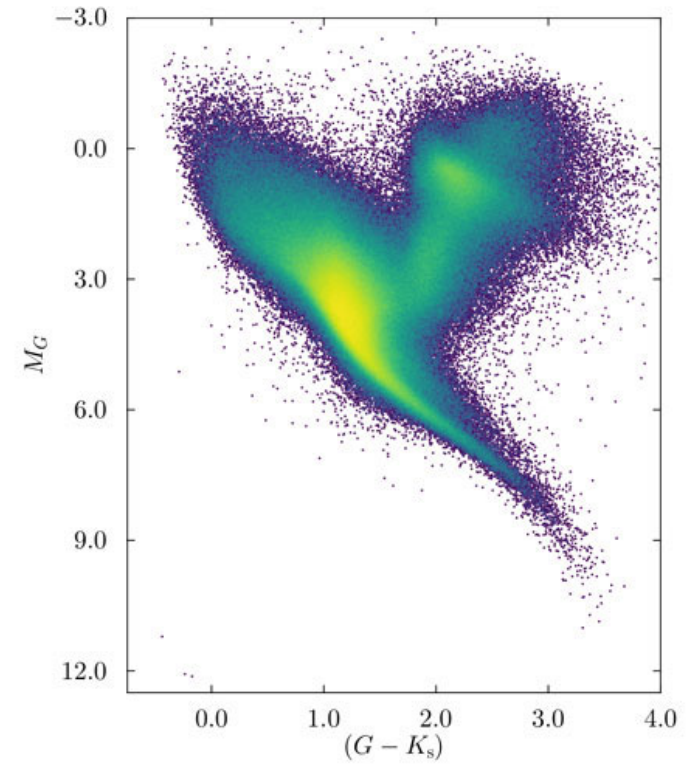
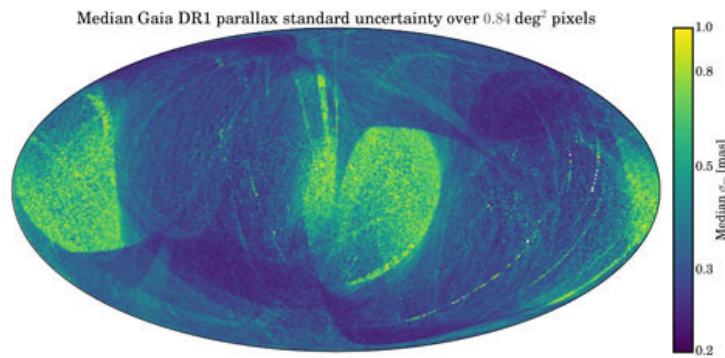
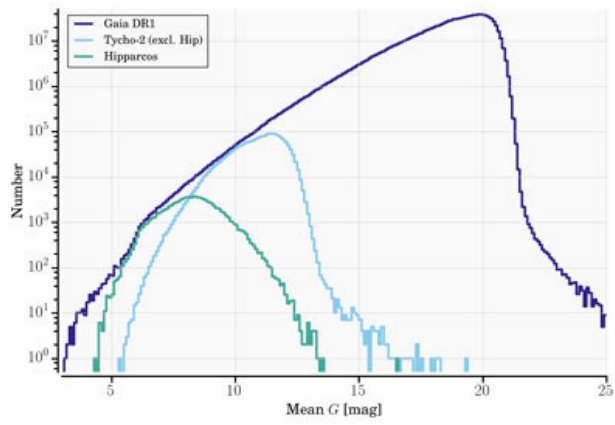
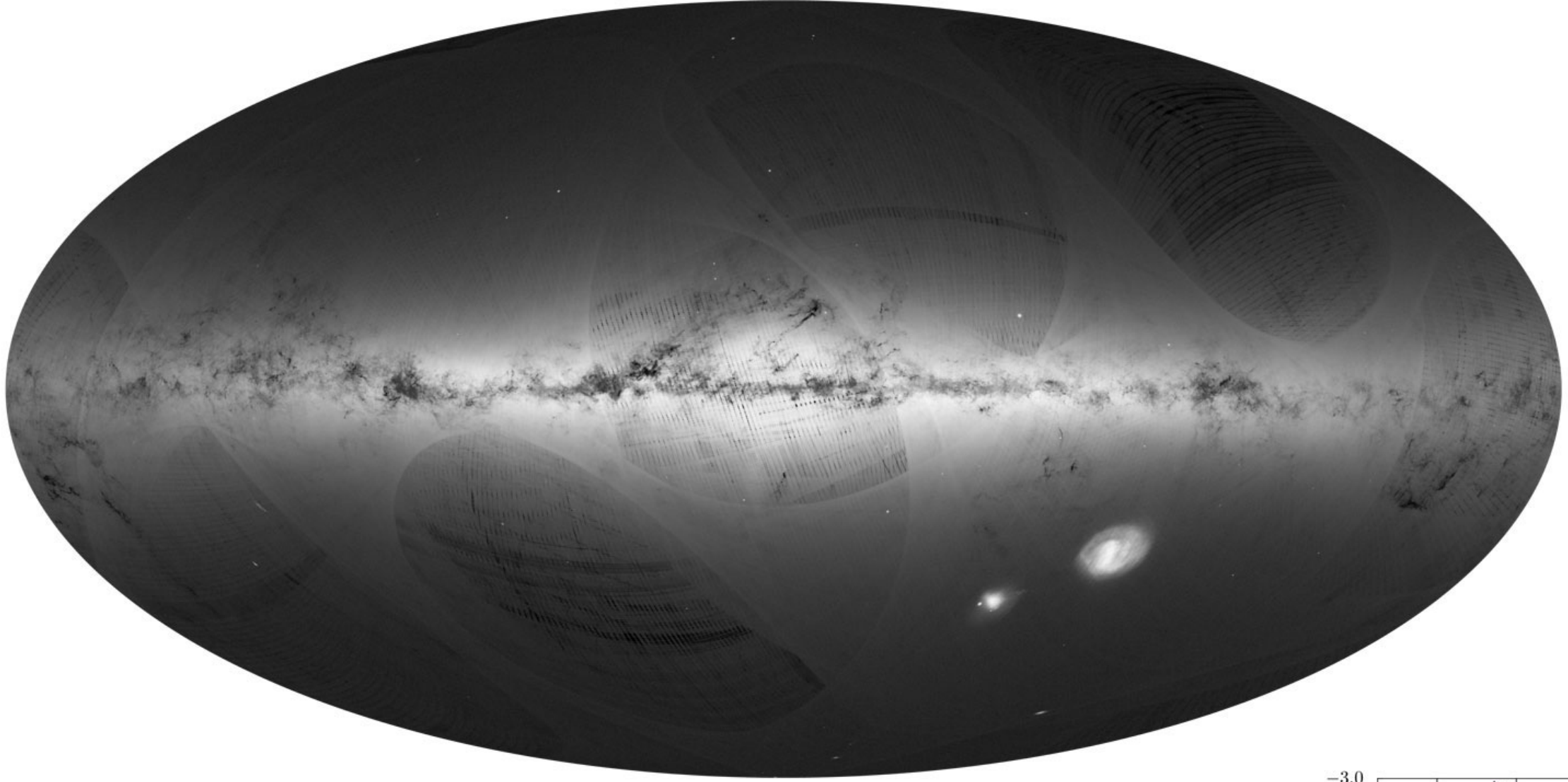


A Gaia Science Alert
fontos kiegészítő program
(földfelszíni távcsövekkel).
A Gaia16aeg szupernóva
fénygörbéje. Típusa:
SNI**b**, távolsága: 200
millió fényév.

A Gaia14aaa spektruma.
A színeképvonalak létéből
és erősségéből
meghatározható a szupernóva
típusa: SN **Ia**.



**2016. szeptember:
Gaia DR1**



Clockwise from top: *Gaia* DR1 Milky Way panorama, Hertzsprung-Russell diagram based on one million *Tycho-Gaia* astrometric solution parallaxes, median parallax error as a function of celestial position, and the *Gaia* DR1 magnitude distribution

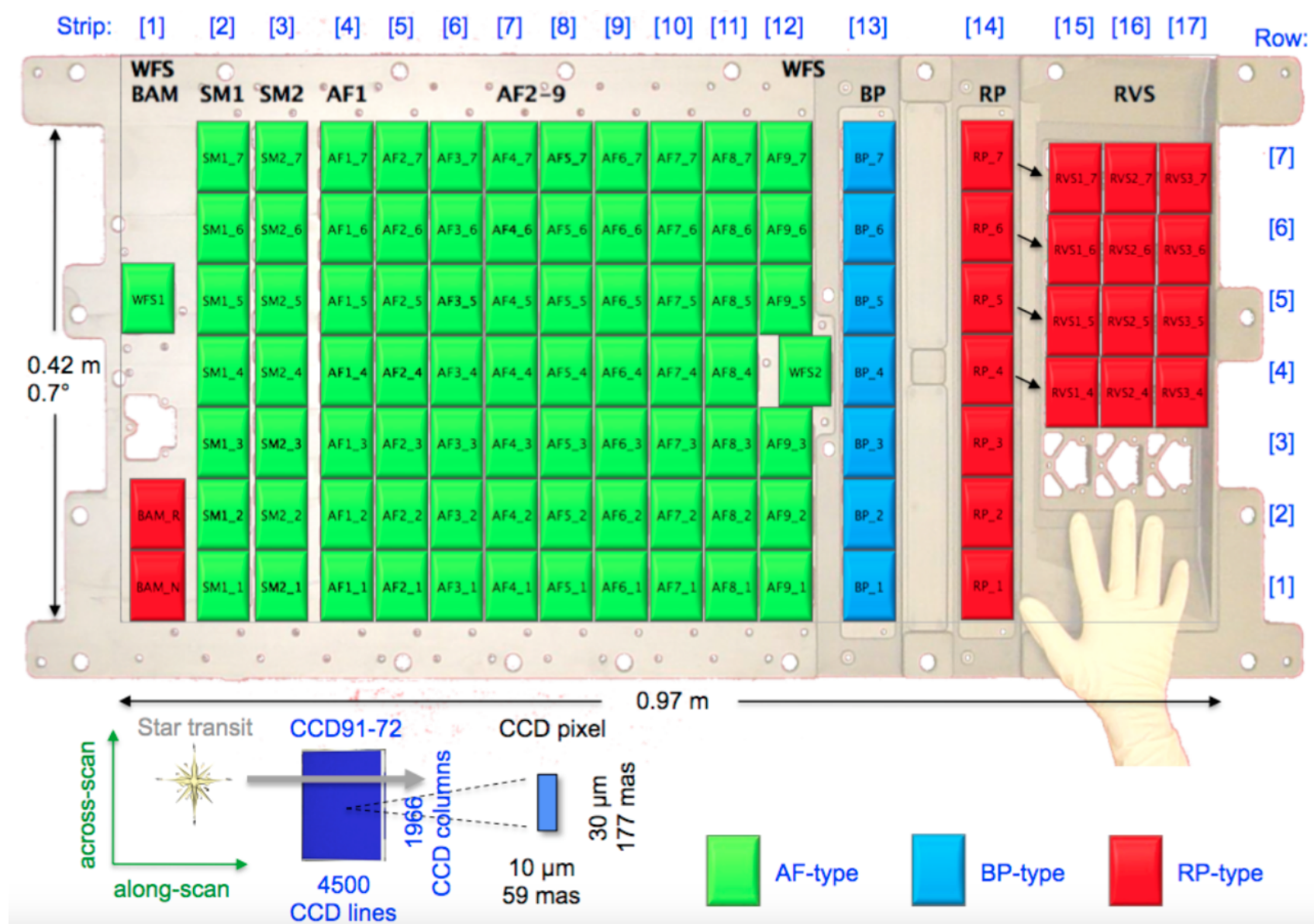


Fig. 4. Schematic image of the focal plane assembly, superimposed on a real picture of the CCD support structure (with a human hand to indicate the scale), with *Gaia*-specific terminology indicated (e.g. CCD strip and row, TDI line and pixel column). The RVS spectrometer CCDs are displaced vertically (in the across-scan direction) to correct for a lateral optical displacement of the light beam caused by the RVS optics such that the RVS CCD rows are aligned with the astrometric and photometric CCD rows on the sky; the resulting semi-simultaneity of the astrometric, photometric, and spectroscopic transit data is advantageous for stellar variability, science alerts, spectroscopic binaries, etc. Image from [de Bruijne et al. \(2010a\)](#), [Kohley et al. \(2012\)](#), courtesy Airbus DS and Boostec Industries.

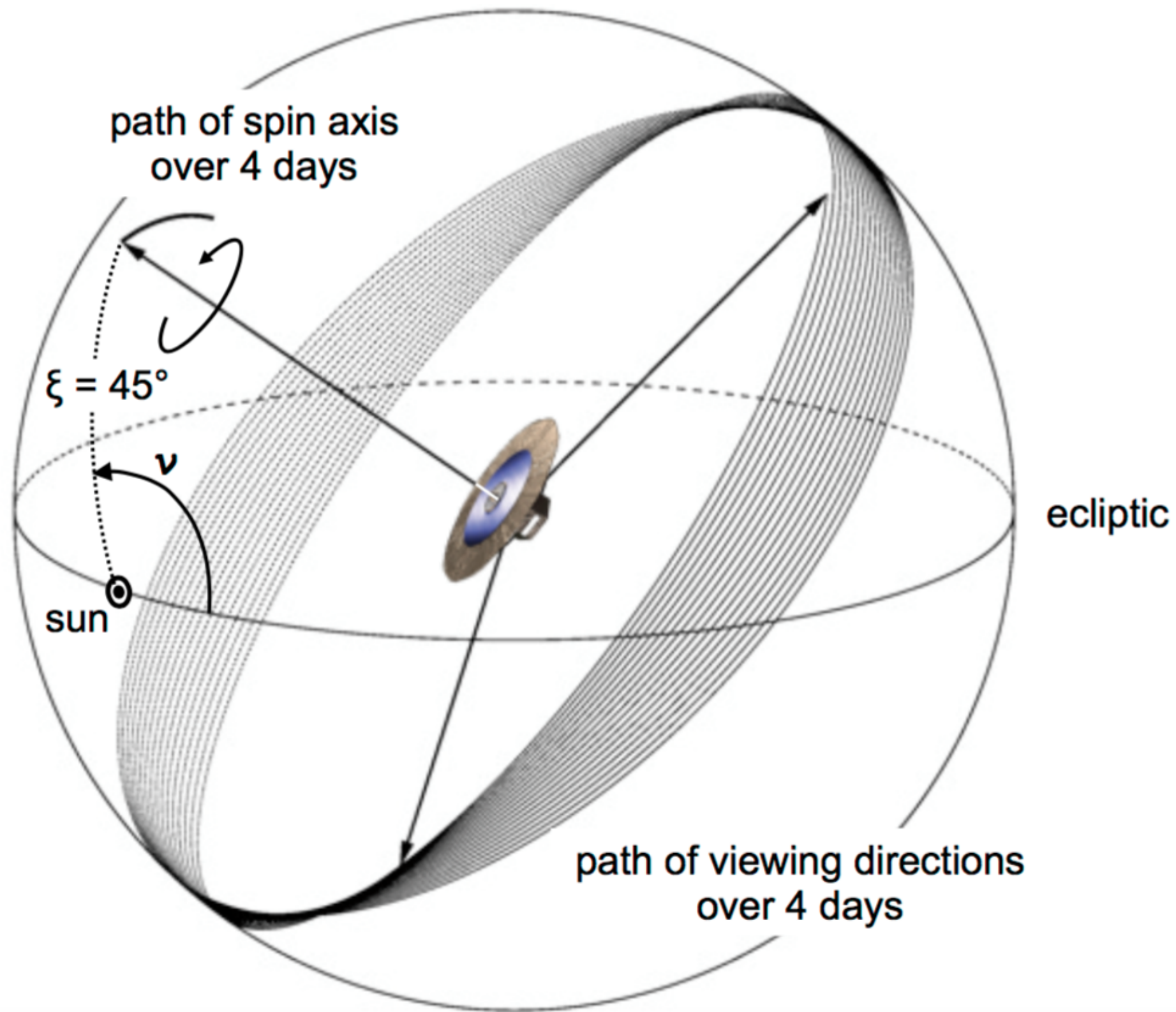


Fig. 6. Illustration of the scanning law of *Gaia*, showing the path of the spin axis (z), and the corresponding path of the preceding viewing direction, during four days. For clarity, the path of the following viewing direction is not shown. Image courtesy Lennart Lindegren.

Gaia Data Release 1

Summary of the astrometric, photometric, and survey properties

Gaia Collaboration, A. G. A. Brown^{1,★}, A. Vallenari², T. Prusti³, J. H.J. de Bruijne³, F. Mignard⁴, R. Drimmel⁵, C. Babusiaux⁶, C. A.L. Bailer-Jones⁷, U. Bastian⁸, M. Biermann⁸, D. W. Evans⁹, L. Eyer¹⁰, F. Jansen¹¹, C. Jordi¹², D. Katz⁶, S. A. Klioner¹³, U. Lammers¹⁴, L. Lindegren¹⁵, X. Luri¹², W. O'Mullane¹⁴, C. Panem¹⁶, D. Pourbaix^{17,18}, S. Randich¹⁹, P. Sartoretti⁶, H. I. Siddiqui²⁰, C. Soubiran²¹, V. Valette¹⁶, F. van Leeuwen⁹, N. A. Walton⁹, C. Aerts^{22,23}, F. Arenou⁶, M. Cropper²⁴, E. Høg²⁵, M. G. Lattanzi⁵, E. K. Grebel⁸, A. D. Holland²⁶, C. Huc¹⁶, X. Passot¹⁶, M. Perryman³, L. Bramante²⁷, C. Cacciari²⁸, J. Castañeda¹², L. Chaoul¹⁶, N. Cheek²⁹, F. De Angeli⁹, C. Fabricius¹², R. Guerra¹⁴, J. Hernández¹⁴, A. Jean-Antoine-Piccolo¹⁶, E. Masana¹², R. Messineo²⁷, N. Mowlavi¹⁰, K. Nienartowicz³⁰, D. Ordóñez-Blanco³⁰, P. Panuzzo⁶, J. Portell¹², P. J. Richards³¹, M. Riello⁹, G. M. Seabroke²⁴, P. Tanga⁴, F. Thévenin⁴, J. Torra¹², S. G. Els^{32,8}, G. Gracia-Abril^{32,12}, G. Comoretto²⁰, M. Garcia-Reinaldos¹⁴, T. Lock¹⁴, E. Mercier^{32,8}, M. Altmann^{8,33}, R. Andrae⁷, T. L. Astraatmadja⁷, I. Bellas-Velidis³⁴, K. Benson²⁴, J. Berthier³⁵, R. Blomme³⁶, G. Busso⁹, B. Carry^{4,35}, A. Cellino⁵, G. Clementini²⁸, S. Cowell⁹, O. Creevey^{4,37}, J. Cuypers³⁶, M. Davidson³⁸, J. De Ridder²², A. de Torres³⁹, L. Delchambre⁴⁰, A. Dell'Oro¹⁹, C. Ducourant²¹, Y. Frémat³⁶, M. García-Torres⁴¹, E. Gosset^{40,18}, J.-L. Halbwachs⁴², N. C. Hambly³⁸, D. L. Harrison^{9,43}, M. Hauser⁸, D. Hestroffer³⁵, S. T. Hodgkin⁹, H. E. Huckle²⁴, A. Hutton⁴⁴, G. Jasiewicz⁴⁵, S. Jordan⁸, M. Kontizas⁴⁶, A. J. Korn⁴⁷, A. C. Lanzafame^{48,49}, M. Manteiga⁵⁰, A. Moitinho⁵¹, K. Muinonen^{52,53}, J. Osinde⁵⁴, E. Pancino^{19,55}, T. Pauwels³⁶, J.-M. Petit⁵⁶, A. Recio-Blanco⁴, A. C. Robin⁵⁶, L. M. Sarro⁵⁷, C. Siopis¹⁷, M. Smith²⁴, K. W. Smith⁷, A. Sozzetti⁵, W. Thuillot³⁵, W. van Reeve⁴⁴, Y. Viala⁶, U. Abbas⁵, A. Abreu Aramburu⁵⁸, S. Accart⁵⁹, J. J. Aguado⁵⁷, P. M. Allan³¹, W. Allasia⁶⁰, G. Altavilla²⁸, M. A. Álvarez⁵⁰, J. Alves⁶¹, R. I. Anderson^{62,10}, A. H. Andrei^{63,64,33}, E. Anglada Varela^{54,29}, E. Antiche¹², T. Antoja³, S. Antón^{65,66}, B. Arcay⁵⁰, N. Bach⁴⁴, S. G. Baker²⁴, L. Balaguer-Núñez¹², C. Barache³³, C. Barata⁵¹, A. Barbier⁵⁹, F. Barblan¹⁰, D. Barrado y Navascués⁶⁷, M. Barros⁵¹, M. A. Barstow⁶⁸, U. Becciani⁴⁹, M. Bellazzini²⁸, A. Bello García⁶⁹, V. Belokurov⁹, P. Bendjoya⁴, A. Berihuete⁷⁰, L. Bianchi⁶⁰, O. Bienaymé⁴², F. Billebaud²¹, N. Blagorodnova⁹, S. Blanco-Cuaresma^{10,21}, T. Boch⁴², A. Bombrun³⁹, R. Borrachero¹², S. Bouquillon³³, G. Bourda²¹, H. Bouy⁶⁷, A. Bragaglia²⁸, M. A. Breddels⁷¹, N. Brouillet²¹, T. Brüsemeister⁸, B. Bucciarelli⁵, P. Burgess⁹, R. Burgon²⁶, A. Burlacu¹⁶, D. Busonero⁵, R. Buzzzi⁵, E. Caffau⁶, J. Cambras⁷², H. Campbell⁹, R. Cancelliere⁷³, T. Cantat-Gaudin², T. Carlucci³³, J. M. Carrasco¹², M. Castellani⁷⁴,

Table 1. Basic statistics on the contents of *Gaia* DR1.

Source numbers	
Total number of sources	1 142 679 769
No. of primary (TGAS) sources	2 057 050
HIPPARCOS	93 635
<i>Tycho-2</i> (excluding HIPPARCOS stars)	1 963 415
No. of secondary sources	1 140 622 719
No. of sources with light curves	3194
Cepheids	599
RR Lyrae	2595
Magnitude distribution percentiles (<i>G</i>)	
0.135%	11.2
2.275%	14.5
15.866%	17.1
50%	19.0
84.134%	20.1
97.725%	20.7
99.865%	21.0

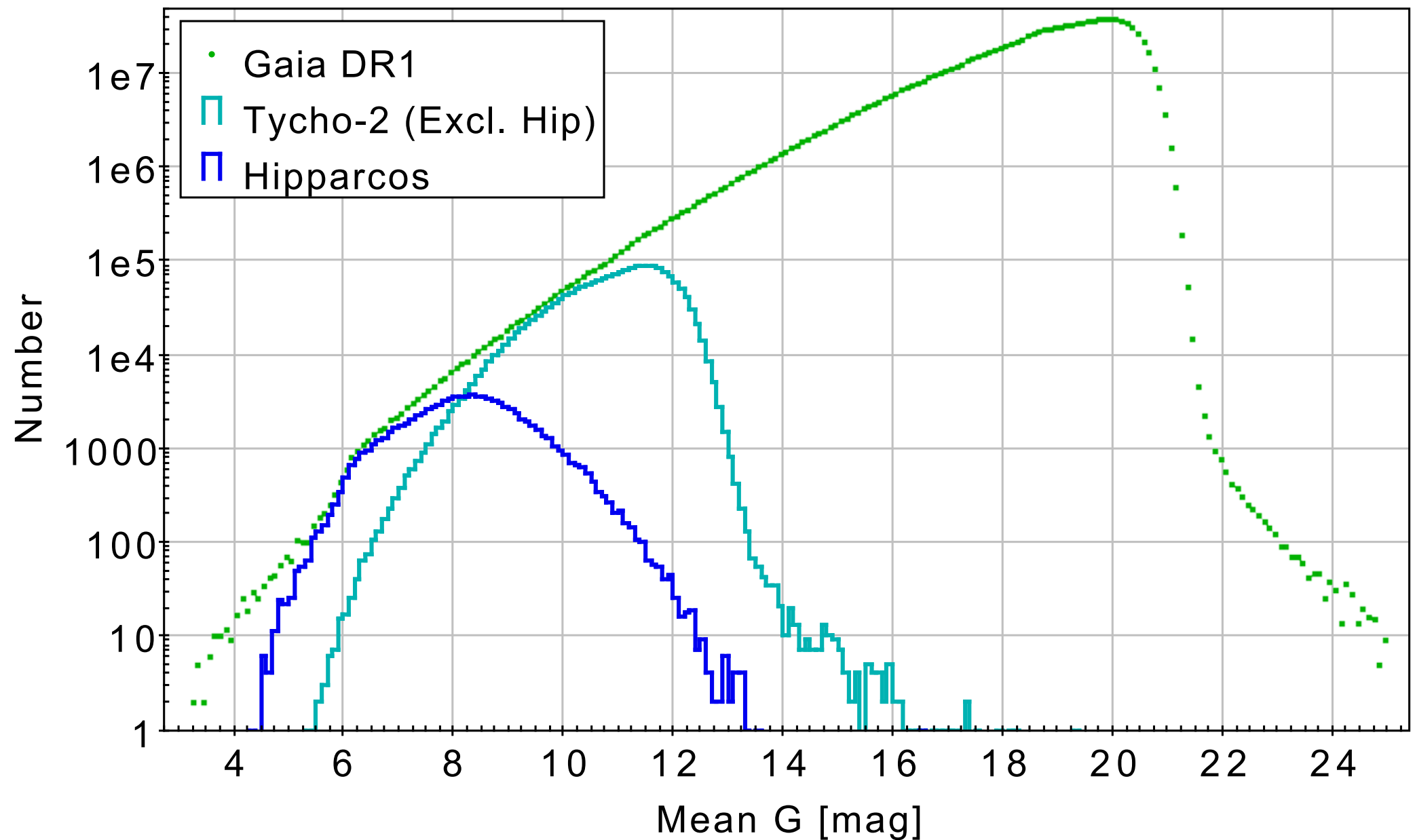


Fig. 1. Distribution of the mean values of G for all *Gaia* DR1 sources shown as histograms with 0.1 mag wide bins. The distributions for the HIPPARCOS and *Tycho-2* (excluding the HIPPARCOS stars) subsets are also shown. Note the lack of bright sources at $G \lesssim 7$.

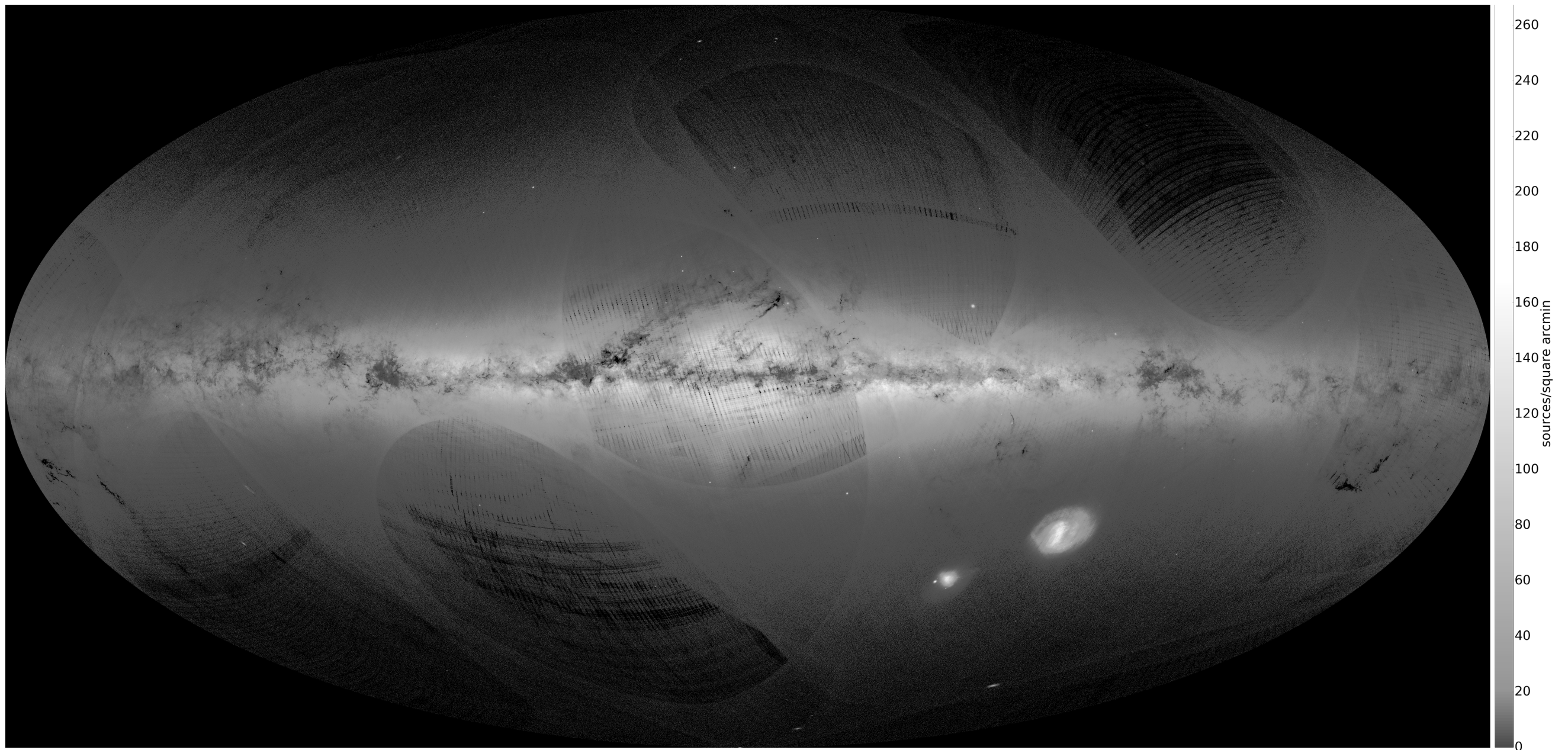


Fig. 2. Sky distribution of all *Gaia* DR1 sources in Galactic coordinates. The source density is shown with a grey scale chosen to highlight both the impressive amount of detail in the outlines of the well-known dust features along the Galactic plane, and the non-astronomical artefacts in the source distribution (see text). Image credits: CENTRA – University of Lisbon (part of the DPAC-CU9 visualisation team).

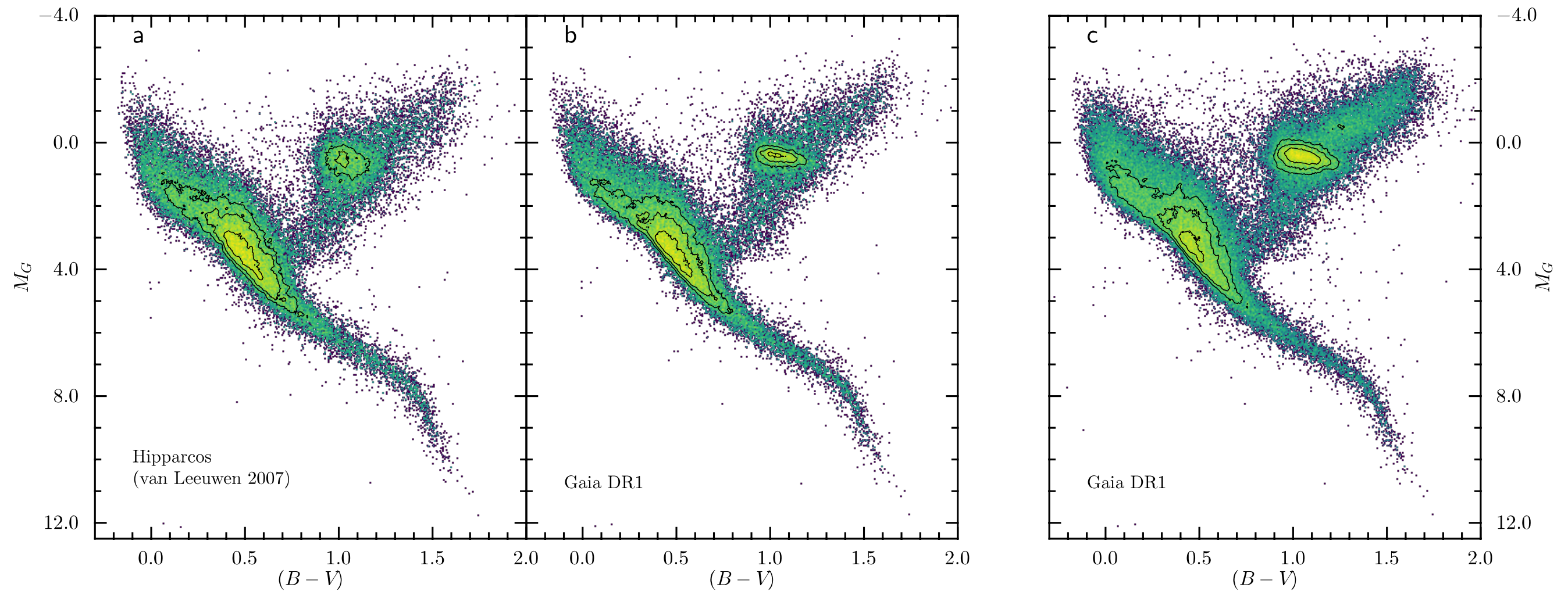


Fig. 3. Comparison of the observational HR diagram in the M_G vs. $(B - V)$ plane for the HIPPARCOS stars in *Gaia* DR1, using their HIPPARCOS (van Leeuwen 2007) parallaxes (a) and their parallaxes as listed in *Gaia* DR1 (b), c). The relative standard uncertainties on the parallax are less than 20% for both the HIPPARCOS and *Gaia* DR1 parallaxes in panels a) and b), while in panel c) all stars with relative parallax uncertainties better than 20% in *Gaia* DR1 are shown. The stars were otherwise selected as described in the text. All panels show the stars as individual symbols where possible and where the symbols overlap the relative source density is shown, with colours varying from purple (dark) to yellow (light) indicating increasing density on a logarithmic scale. The contours enclose 10, 30, and 50 per cent of the data.

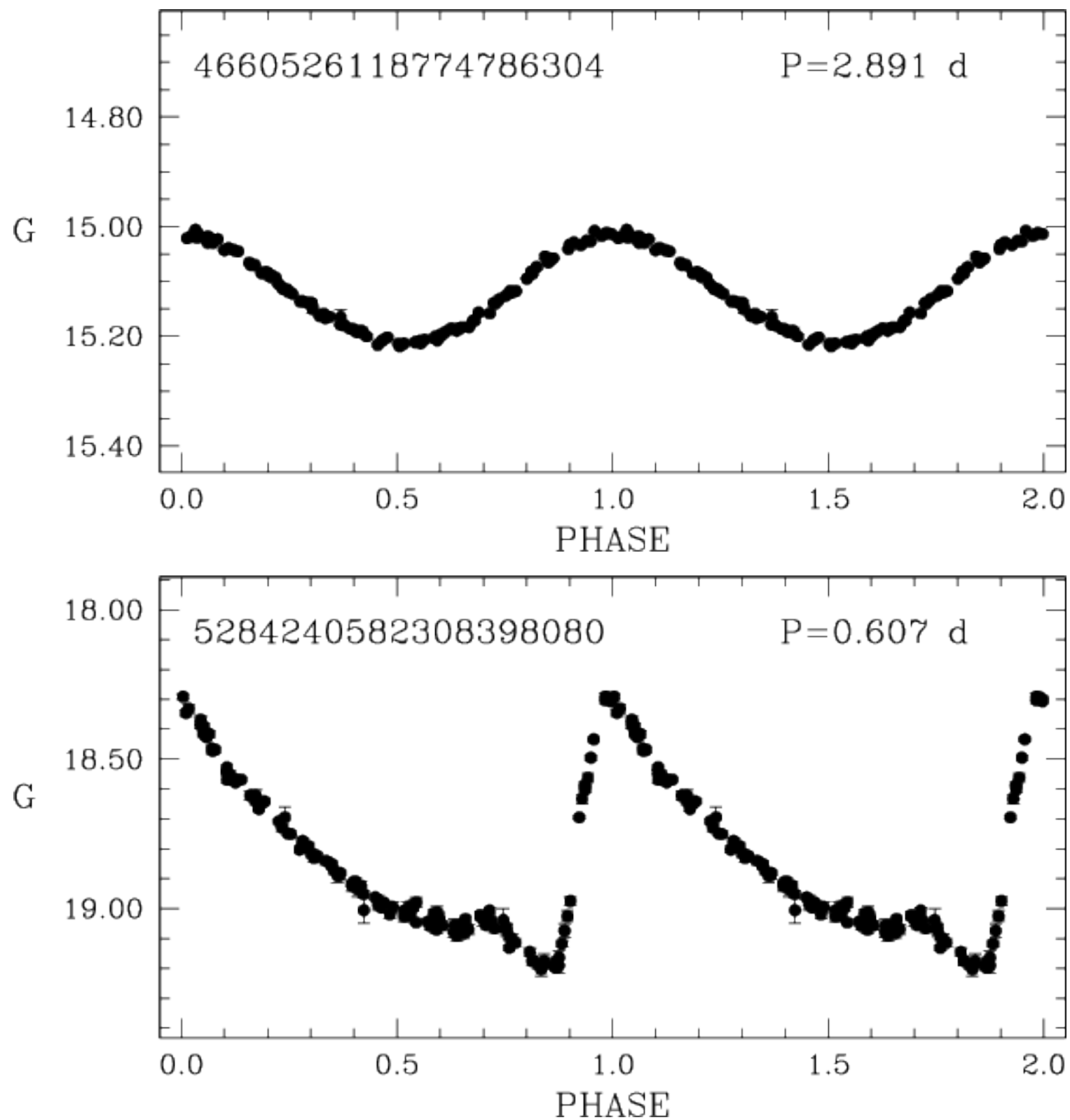


Fig. 7. Example light curves from the Cepheids and RR Lyrae data set in *Gaia* DR1. The *top panel* shows the light curve for a fundamental mode classical Cepheid in the Large Magellanic Cloud (period 2.891 days), while the *bottom panel* shows the light curve for a fundamental mode RR Lyrae star (RRab, period 0.607 days), also in the Large Magellanic Cloud.

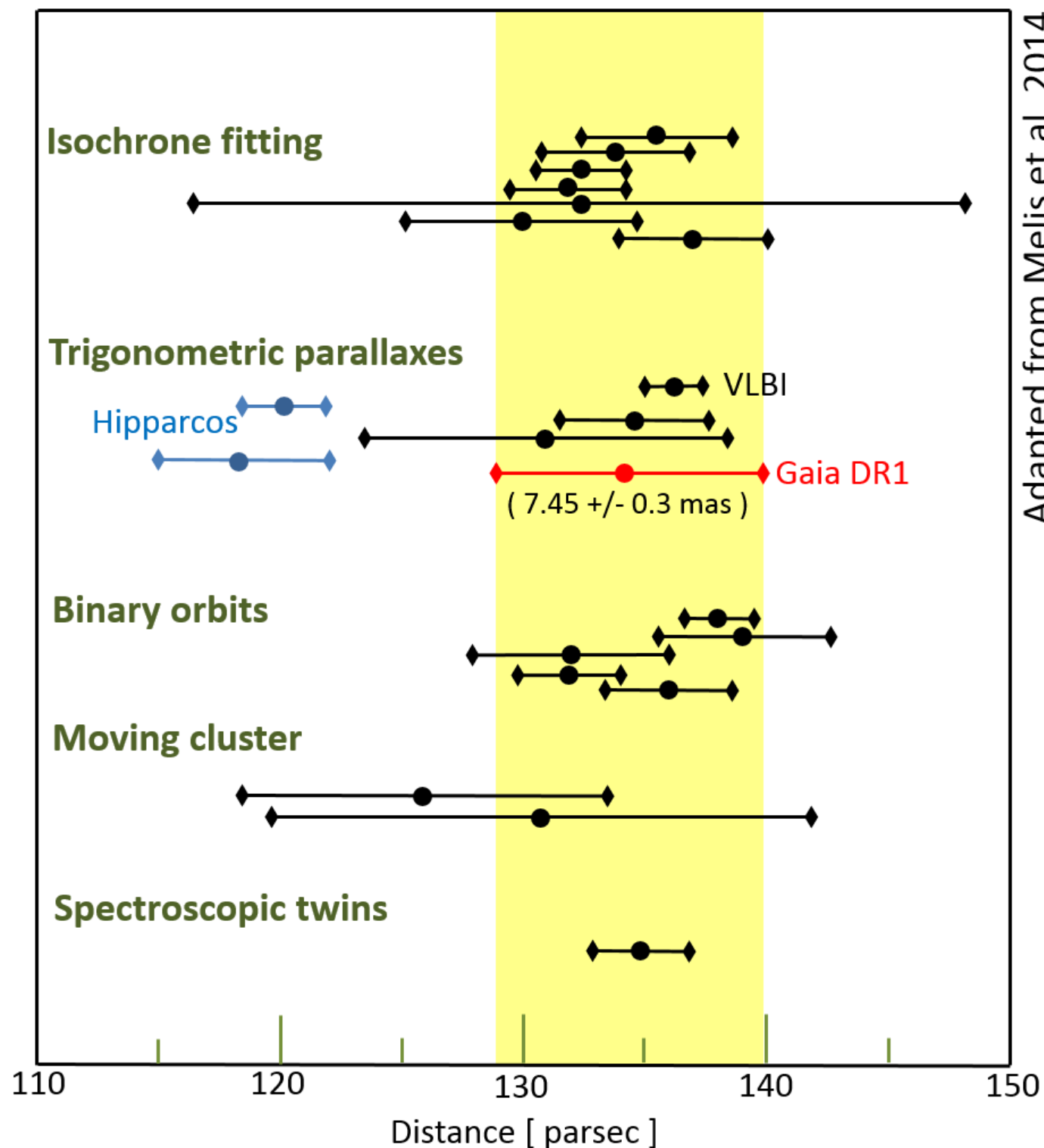


Fig. 8. Existing measurements of the parallax or distance modulus for the Pleiades cluster or individual cluster members, all expressed in parsecs. Figure adapted from [Melis et al. \(2014\)](#). The point indicated with “VLBI” is the distance corresponding to the parallax determined by [Melis et al. \(2014\)](#), while the point indicated with “Spectroscopic twins” is the distance corresponding to the parallax determined by [Mädler et al. \(2016\)](#). The references for the rest of the points can be found in [Melis et al. \(2014\)](#).

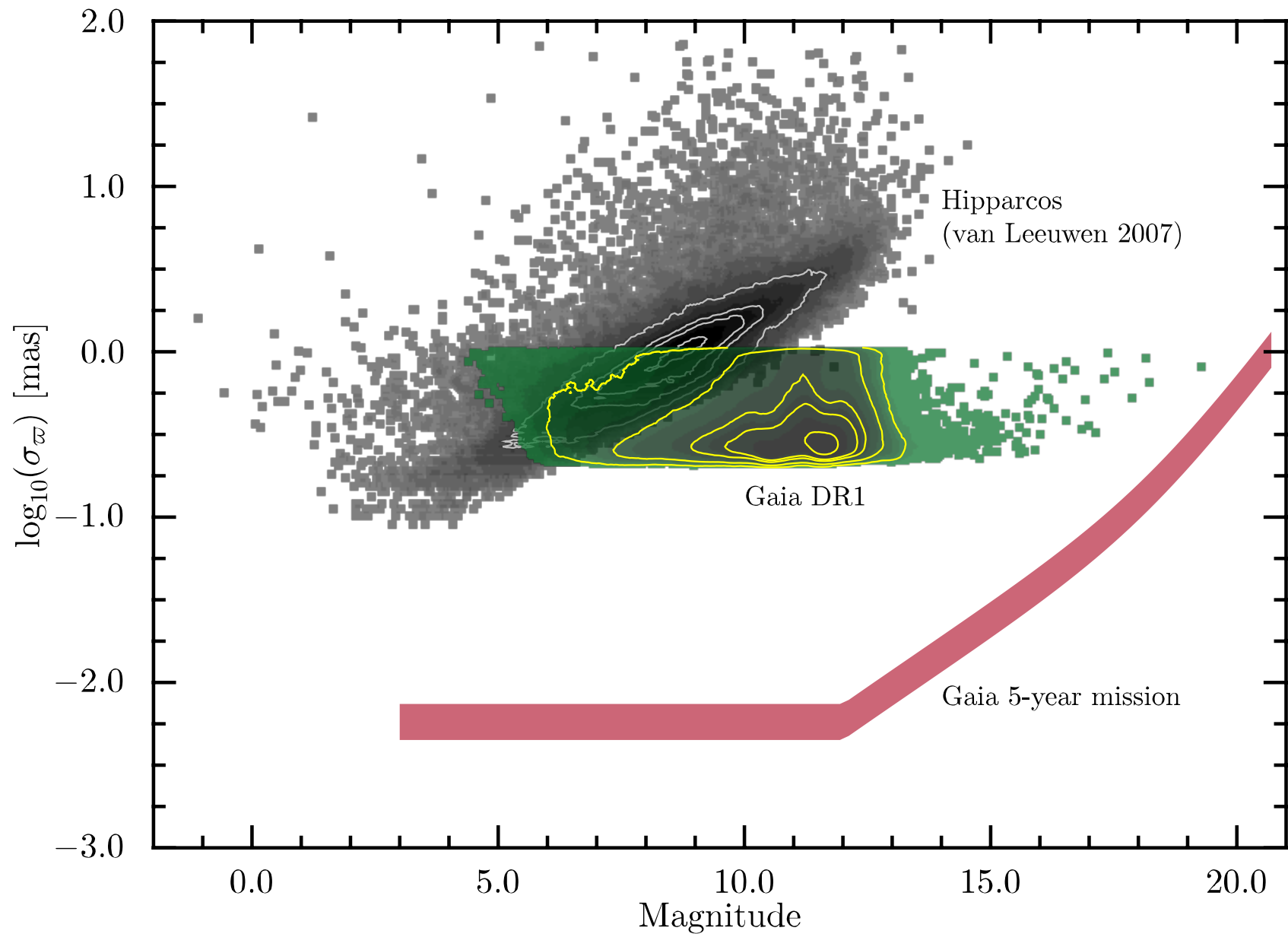
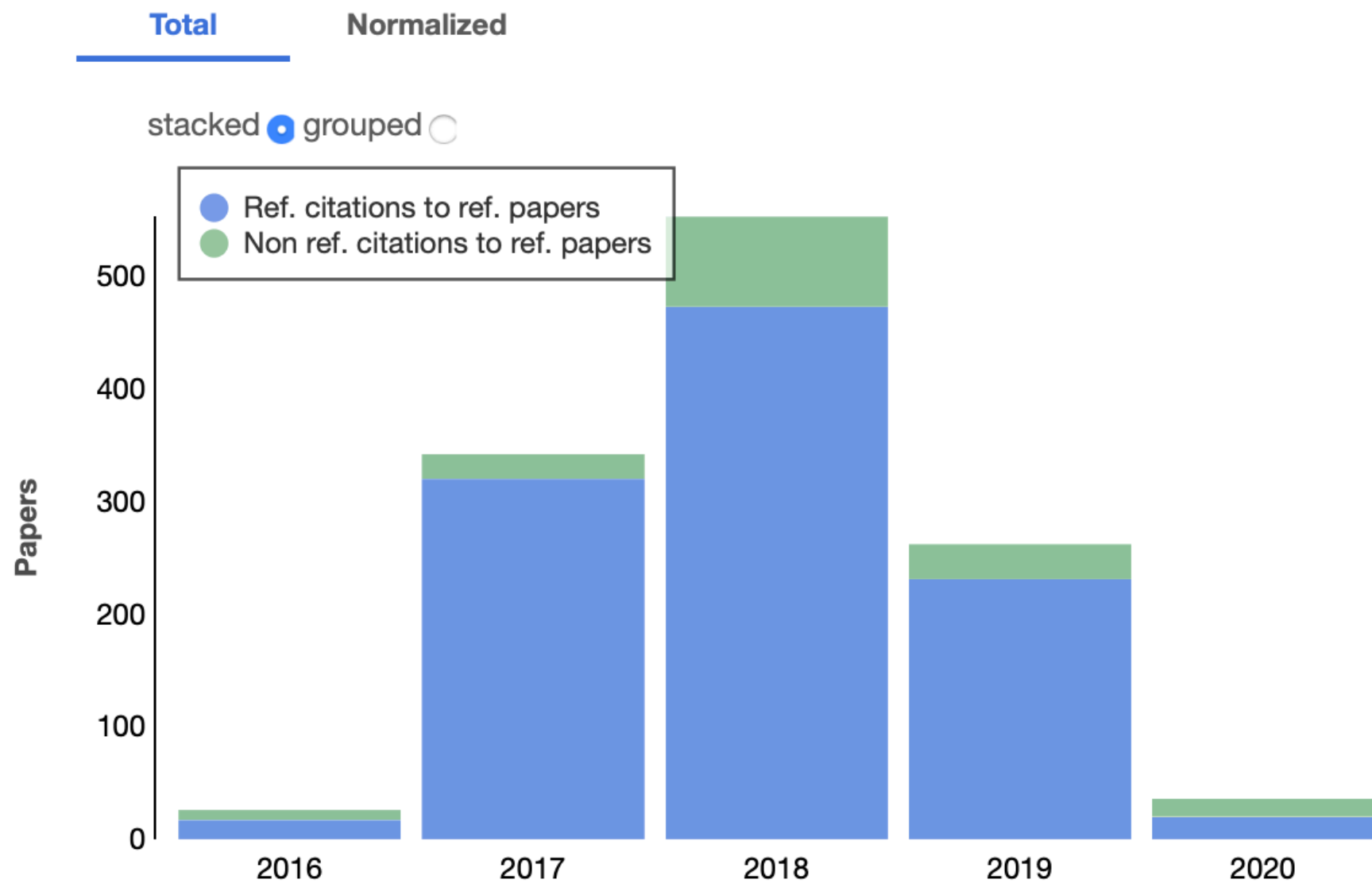


Fig. 13. Parallax standard uncertainties as a function of magnitude for HIPPARCOS (van Leeuwen 2007) and the primary astrometric data set in *Gaia* DR1, compared to the predicted 5-yr *Gaia* mission parallax standard uncertainties. The band for the 5-yr mission predictions indicates the expected variation as a function of celestial position. The colour coding for the HIPPARCOS and *Gaia* DR1 parallax uncertainty distributions indicates increasing numbers of sources from light to dark colours (logarithmic scale). The contours enclose 10, 50, 68.3, and 90 per cent of the data in the case of HIPPARCOS, while for *Gaia* DR1 they enclose 10, 50, 68.3, 95.4, and 99.7 per cent of the data.

Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties

Citations

Total citations	?	1219
Normalized citations	?	2.1
Refereed citations	?	1061
Normalized refereed citations	?	1.8



Gaia DR2: 2018.

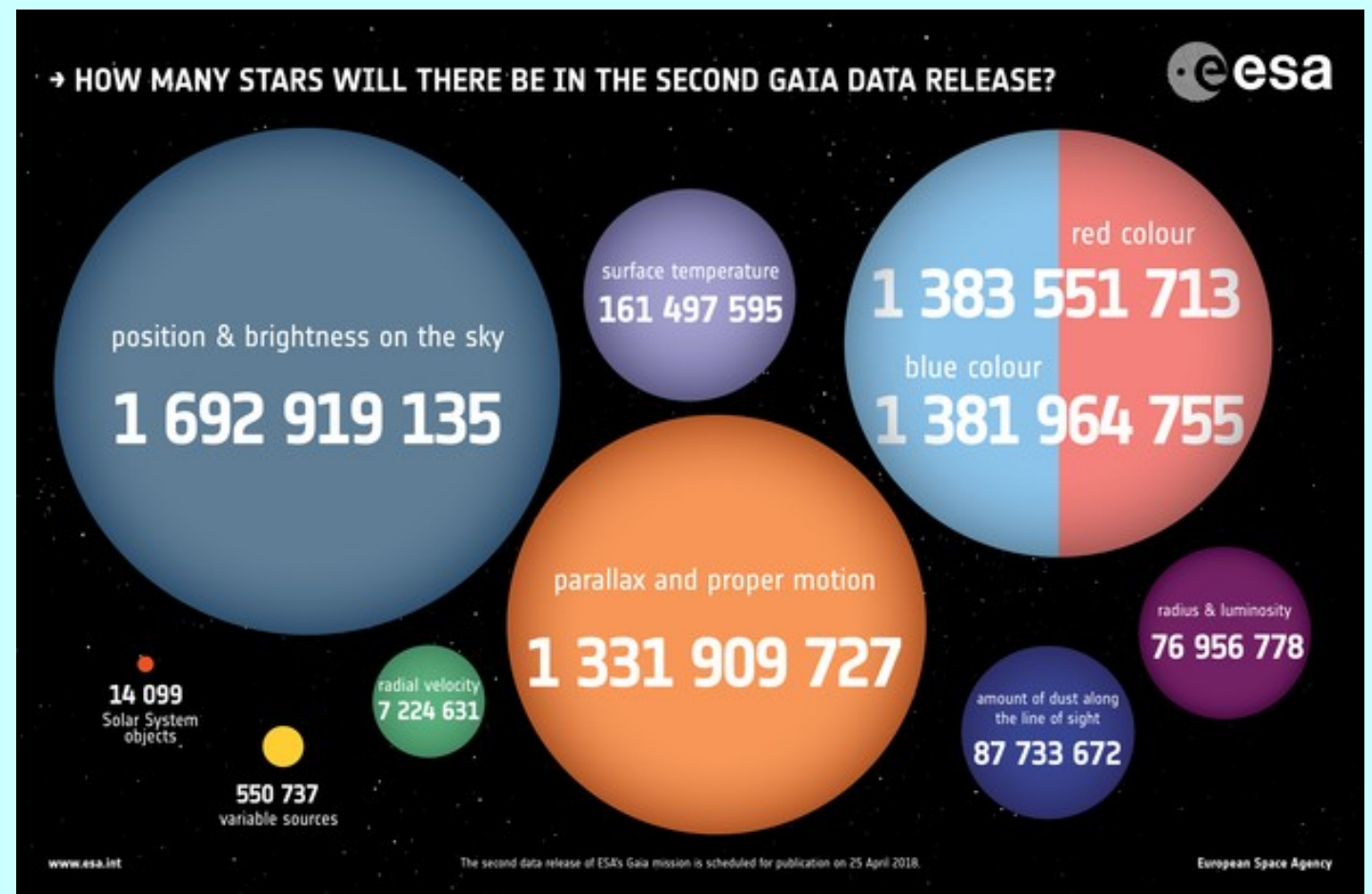
április

A Gaia DR2

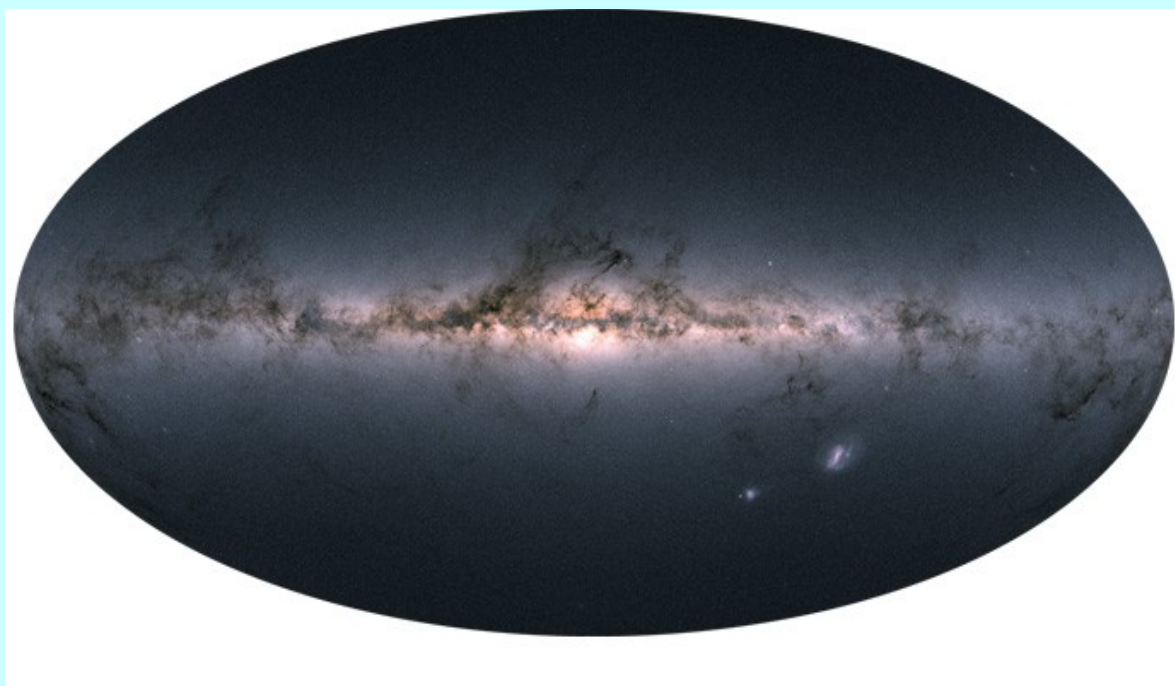
A Gaia működésének első 22 hónapjában kapott mérések alapján.

Közzététel: 2018. április 25. Tartalma:

- 1,7 milliárd csillagra égi pozíció és G magnitúdó;
- több mint 1,3 milliárd csillagra parallaxis, sajátmozgás, G_{BP} és G_{RP} ;
- több mint 7 millió csillagra átlagos radiális sebesség;
- 161 millió csillagra felszíni hőmérséklet, 88 millió csillagra extinkció és vörösödés, 77 millió csillagra a sugár és a luminozitás értéke is;
- félmillió változócsillag fénygörbéje és típusba sorolása;
- 14 ezer naprendszerbeli kisbolygó aktuális helyzete az elvégzett 1,5 millió mérés idején;
- félmillió kvazár helyzete és G magnitúdója az égi vonatkoztatási rendszer rögzítésére kizárólag optikai mérésekből.



A Gaia DR2



A Gaia DR2 minden adata elérhető:
<http://archives.esac.esa.int/gaia>
 vagy
<http://cdsweb.u-strasbg.fr/gaia>

Table 3. Properties of *Gaia* DR2 and external catalogues.

Catalogue	N Sources	PosErr _{max} ^a (arcsec)	Effective resolution (arcsec)	Δ Epoch _{max} (yr)	SysErr _{max} ^b (arcsec)	Survey type ^c
<i>Gaia</i> DR2	1 692 919 135	0.1	0.4 ^d			
Pan-STARRS1 DR1	2 264 263 282	1.0	~1.1	18.02	0.18	Dense
GSC 2.3	945 592 683	1.6	~2 ^f	62.79	0.63	Dense
PPMXL	910 468 688	1.342 ^e	~2 ^f	15.5	0.155	Dense
SDSS DR9	469 029 929	10.0	~0.7 ^f	16.79	0.17	Dense
URAT-1	228 276 482	0.429	~2.5 ^f	3.189	0.03	Dense
2MASS PSC	470 992 970	1.21	~2.5	17.29	0.173	Dense
allWISE	747 634 026	35.944	6.1, 6.8, 7.4, 12.0 ^g	5.47	0.055	Dense
APASS DR9	61 176 401	2.359	~5	3.5	0.035	Dense
HIPPARCOS2	117 955	0.1684	~0.3	24.25	0.2425	Sparse
<i>Tycho-2</i>	2 539 913	0.254	~0.8	24.275	0.2475	Sparse
RAVE 5	457 555 ^h	0.6 ⁱ	3.5 ^j	15.5 ⁱ	0.155	Sparse

A Gaia DR2 eredményeiből

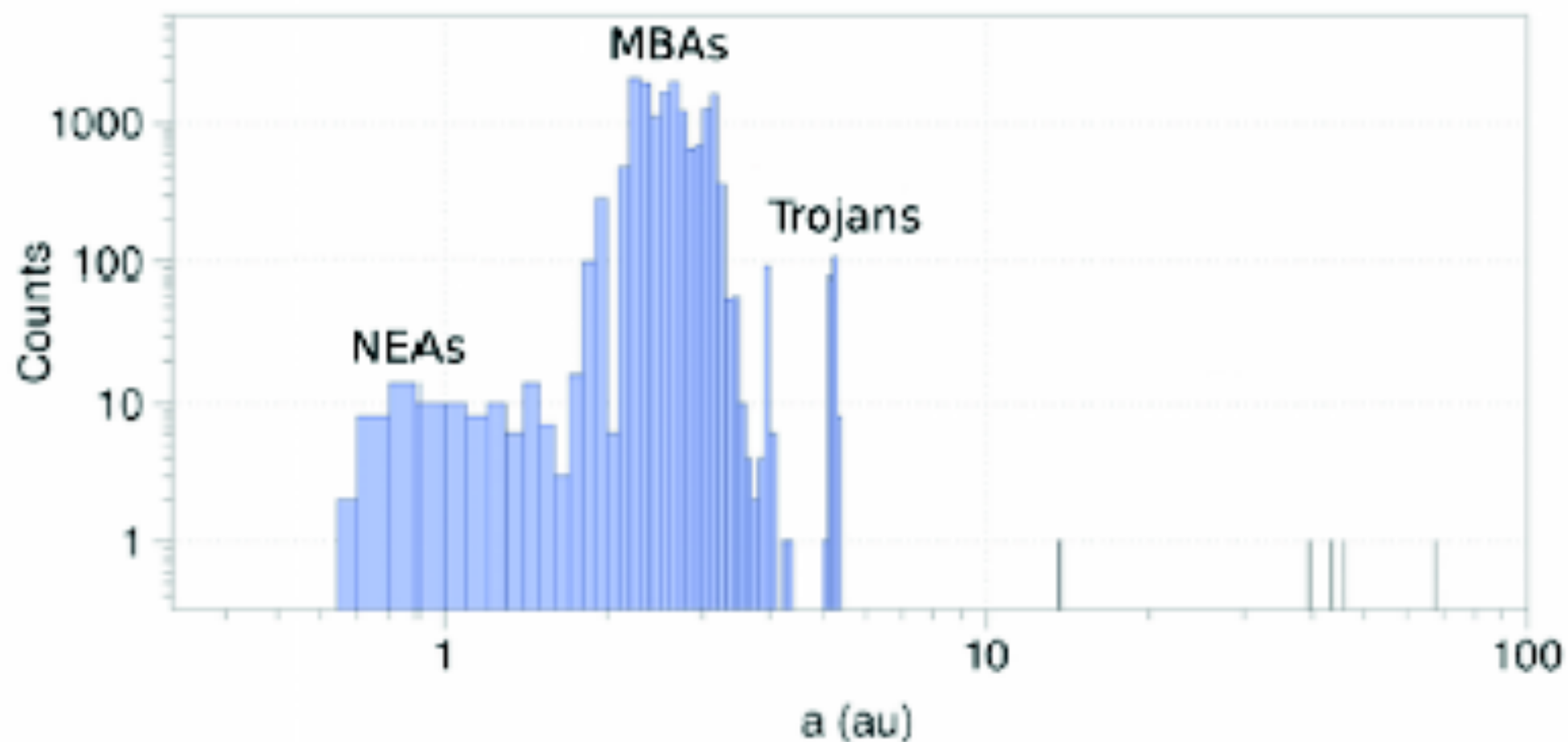
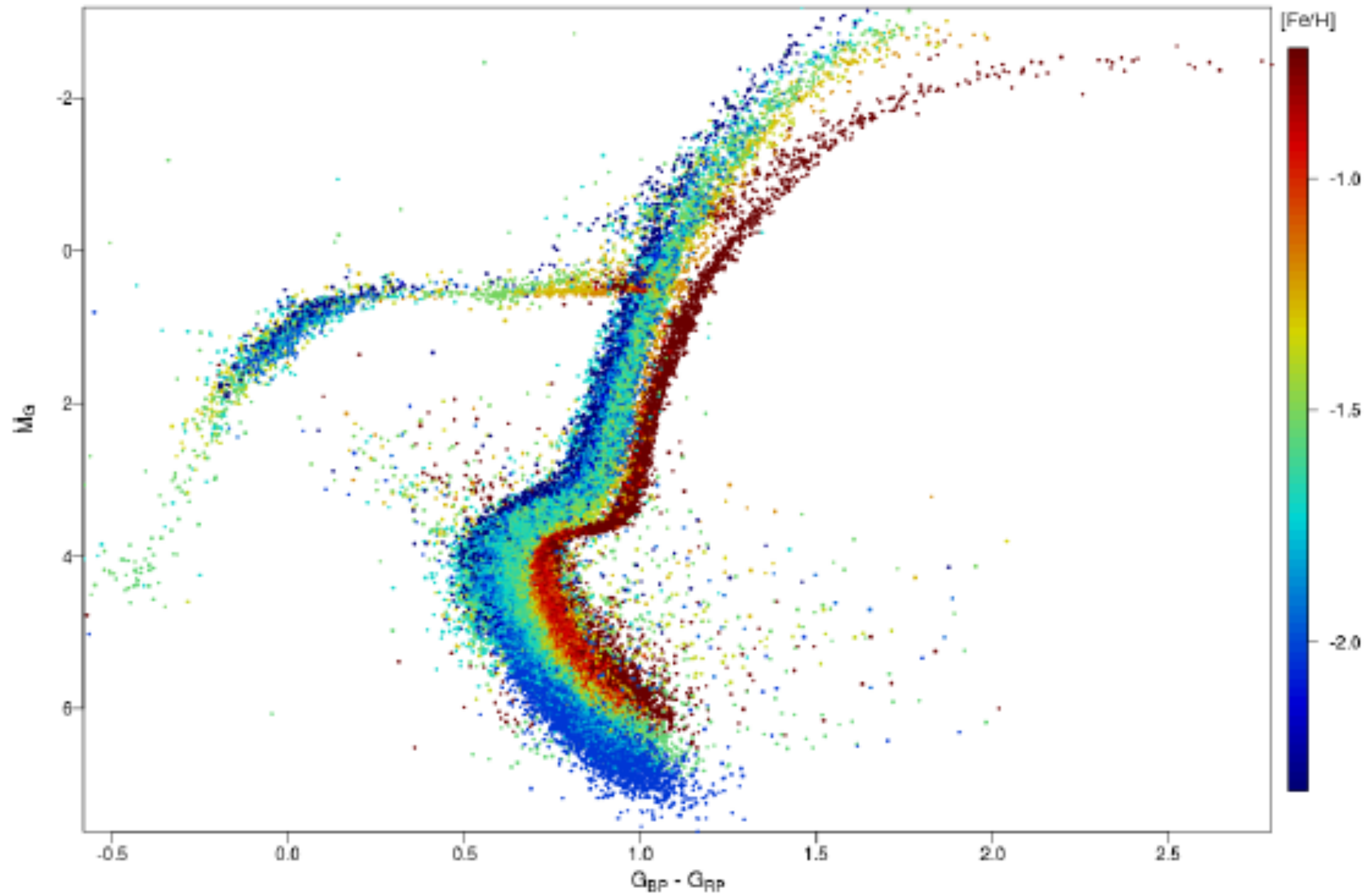


Fig. 1. Distribution of the semi-major axes of the 14 125 SSOs contained in the final input selection. Not all the bodies shown in this figure are included in *Gaia* DR2: 26 objects were filtered out for different reasons (see Sect. 3.2 and 5).

A Gaia DR2 eredményeiből



3. Composite HRD for 14 globular clusters, coloured according to metallicity (Table 3).

Babusiaux et al. (2018)

A Gaia DR2 eredményeiből

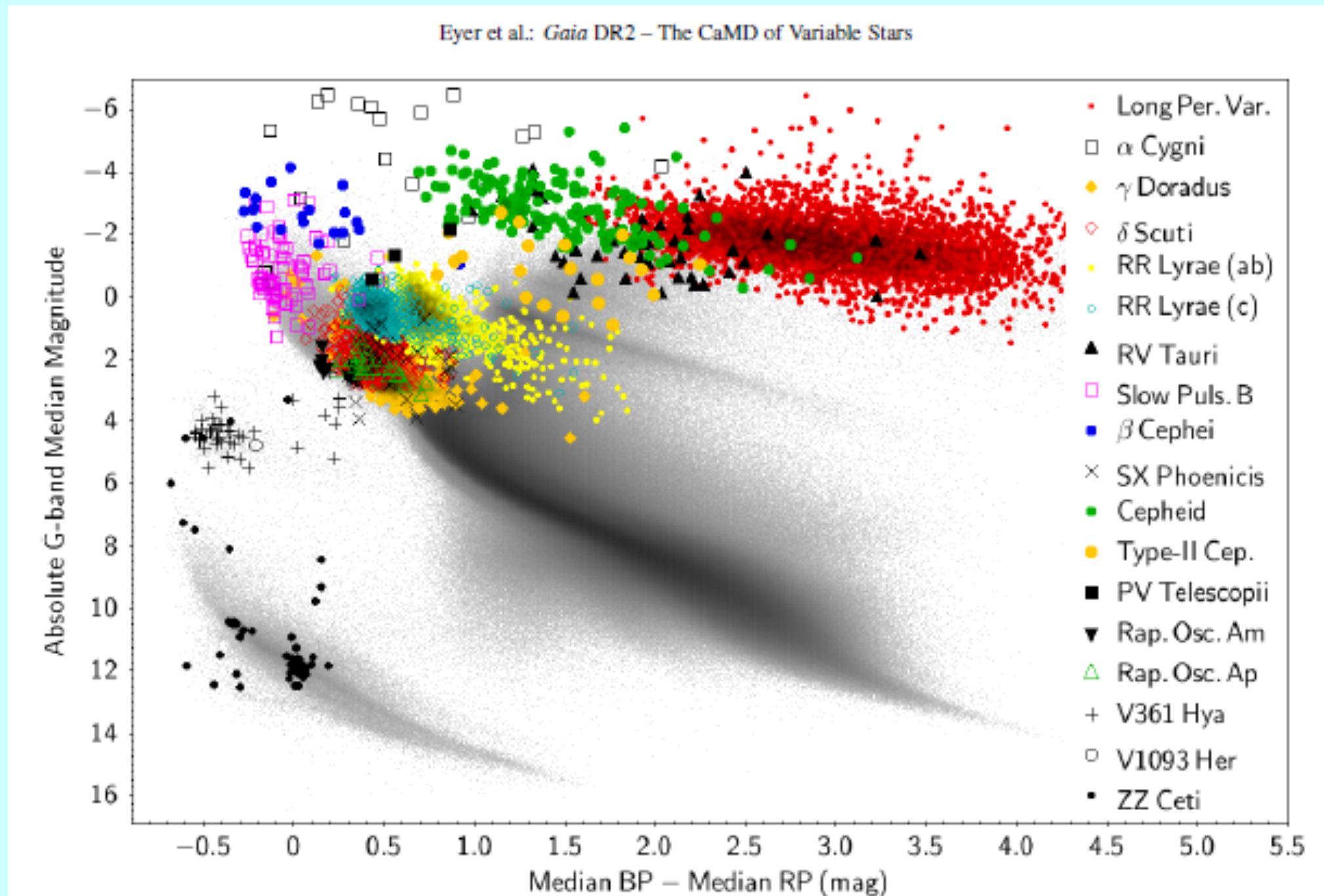


Fig. 2. Known pulsating variable stars retrieved from published catalogues are placed in the observational CaMD, with symbols and colours representing types as shown in the legend (see [A.1](#) for the references from literature per type). All stars satisfy the selection criteria described in

Eyer et al. (2019)

A Gaia DR2 eredményeiből

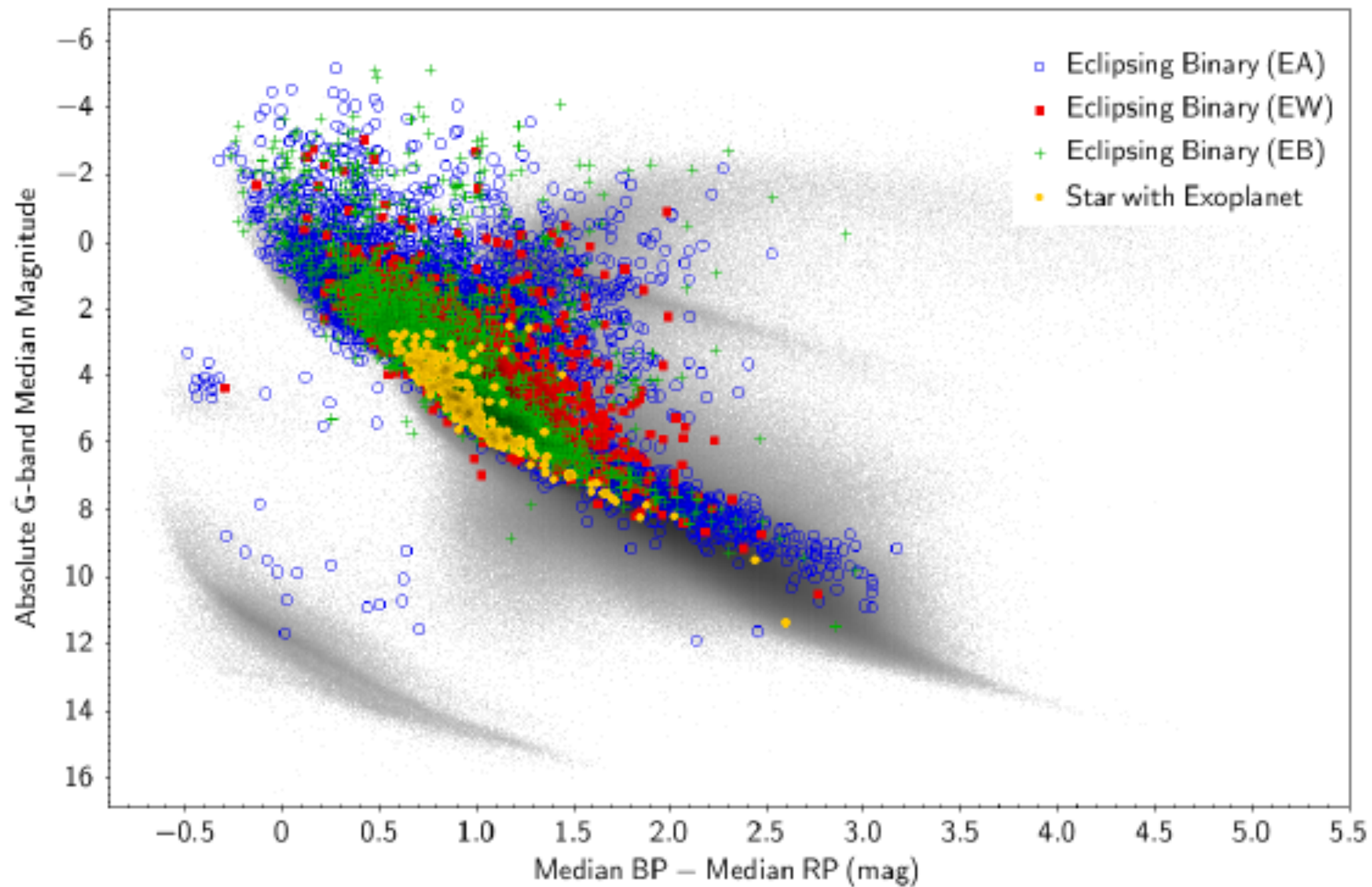
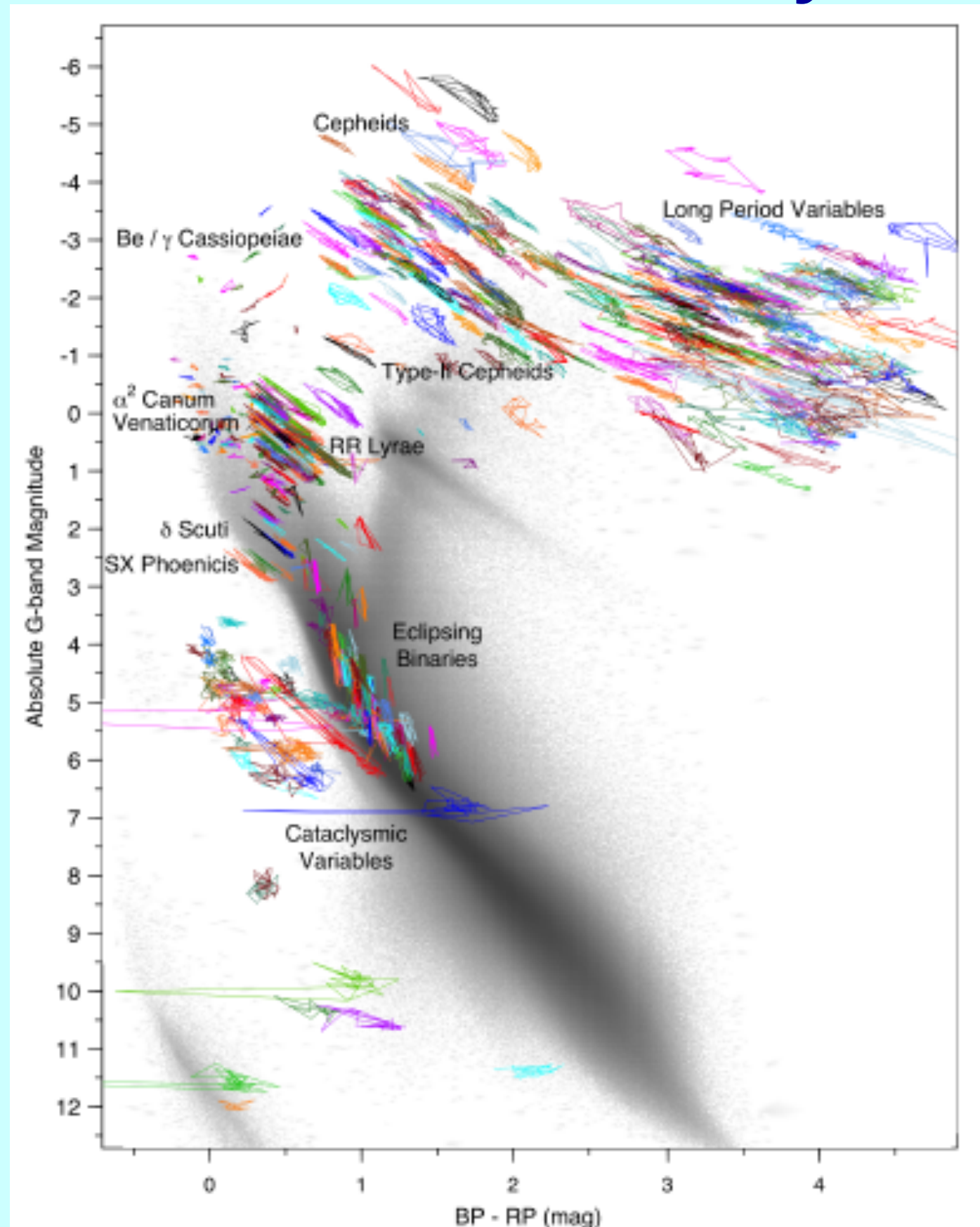


Fig. 4. Same as Fig. 2 but for eclipsing binaries (of types EA, EB, EW) and known host-stars exhibiting exoplanet transits. As expected, eclipsing binaries can be anywhere in the CaMD, that explains why they are a main source of contamination for instance of pulsating stars.

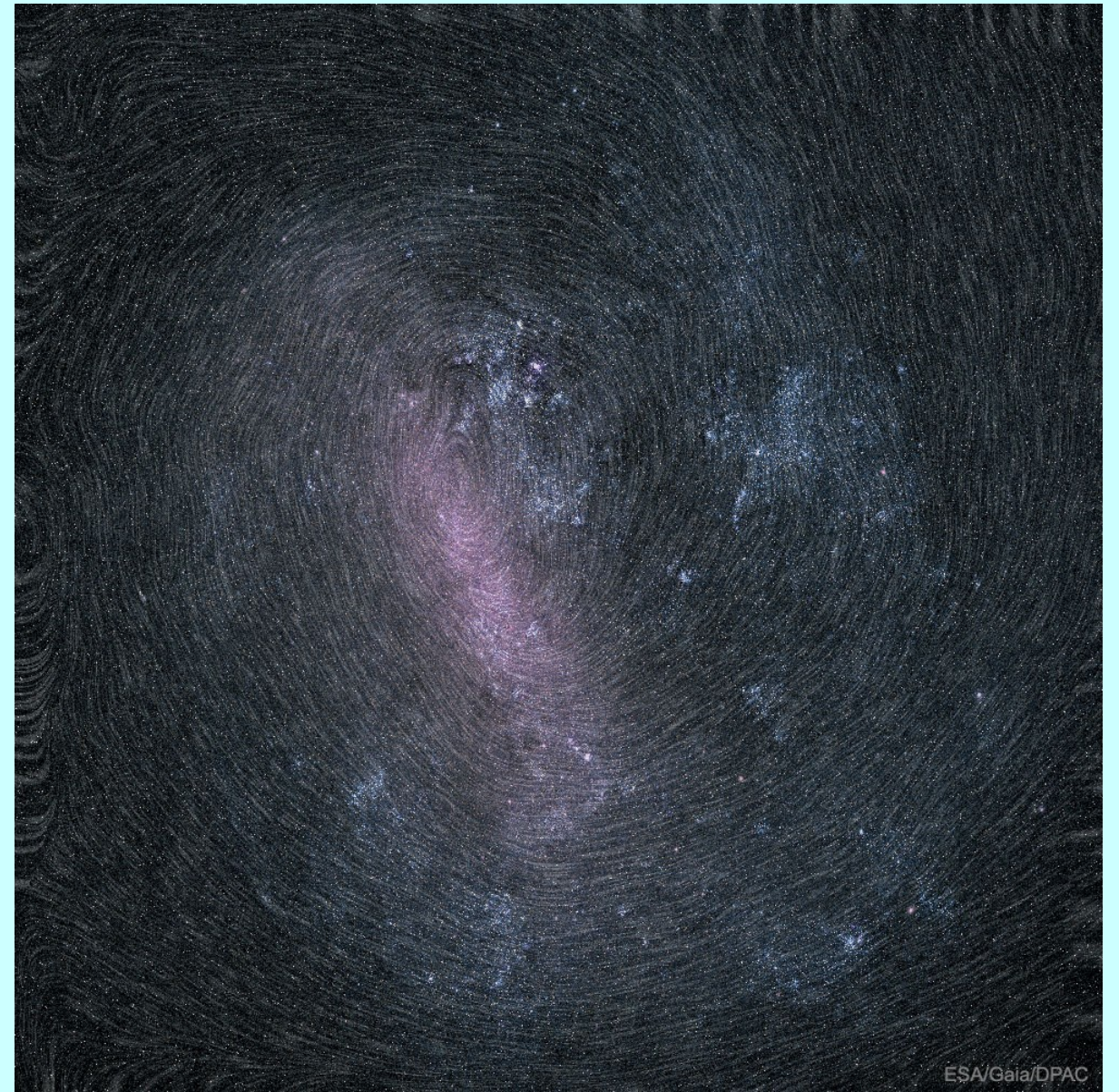
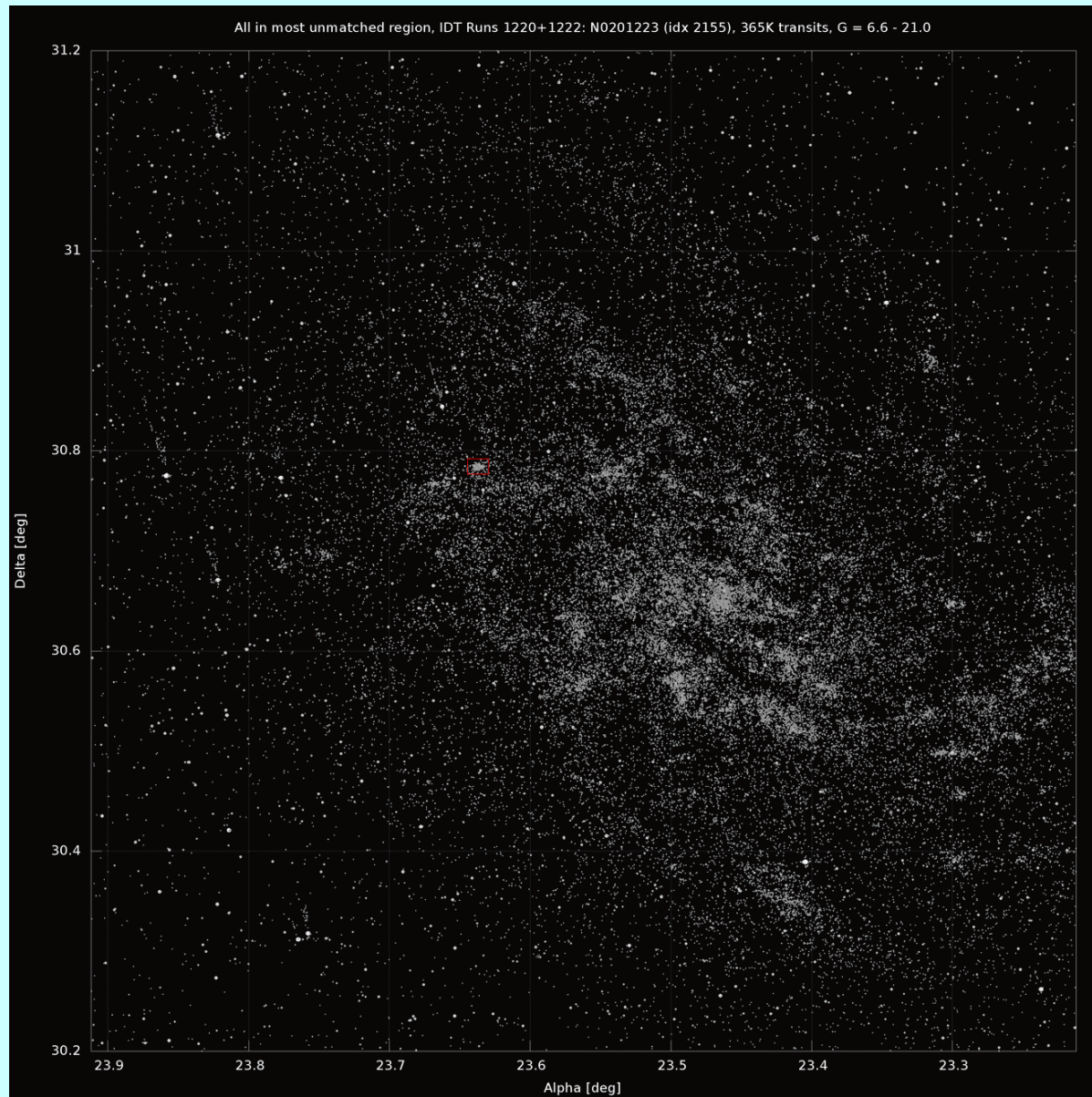
Eyer et al. (2019)

A Gaia DR2 eredményeiből

Eyer et al.
(2019)



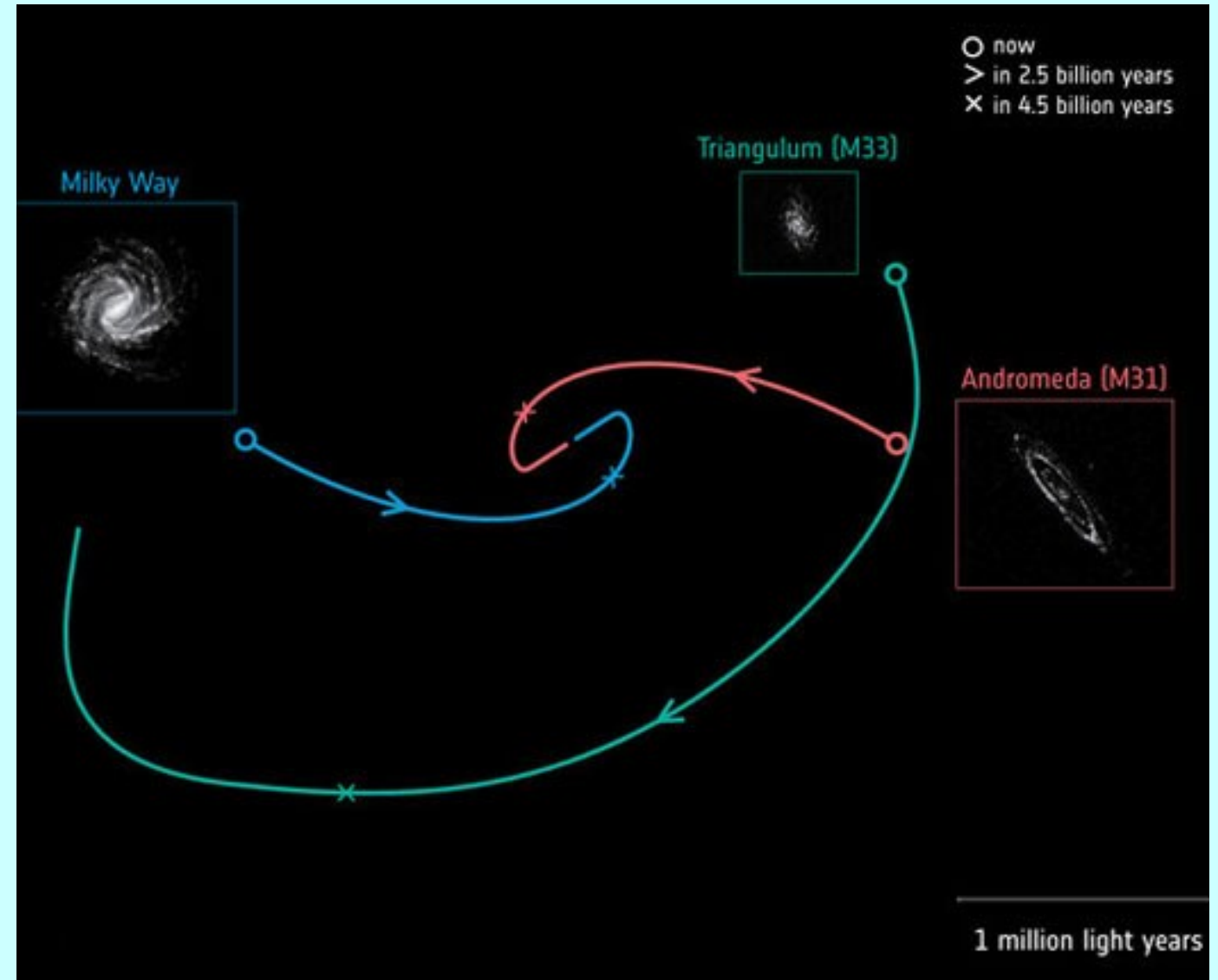
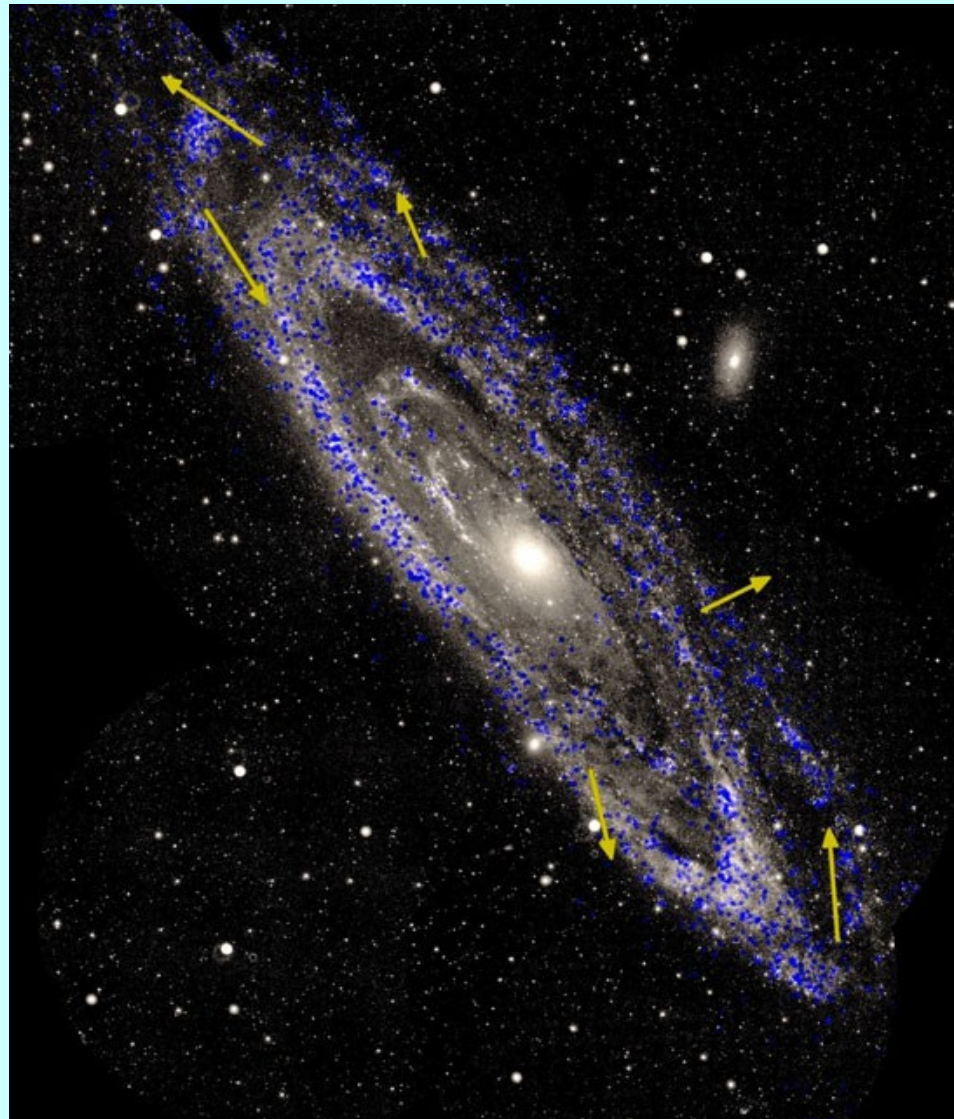
A Gaia DR2 eredményeiből



M33 – ESA/Gaia/DPAC/IEEC-UB

a Nagy-Magellán-felhő rotációja

A Gaia DR2 eredményeiből



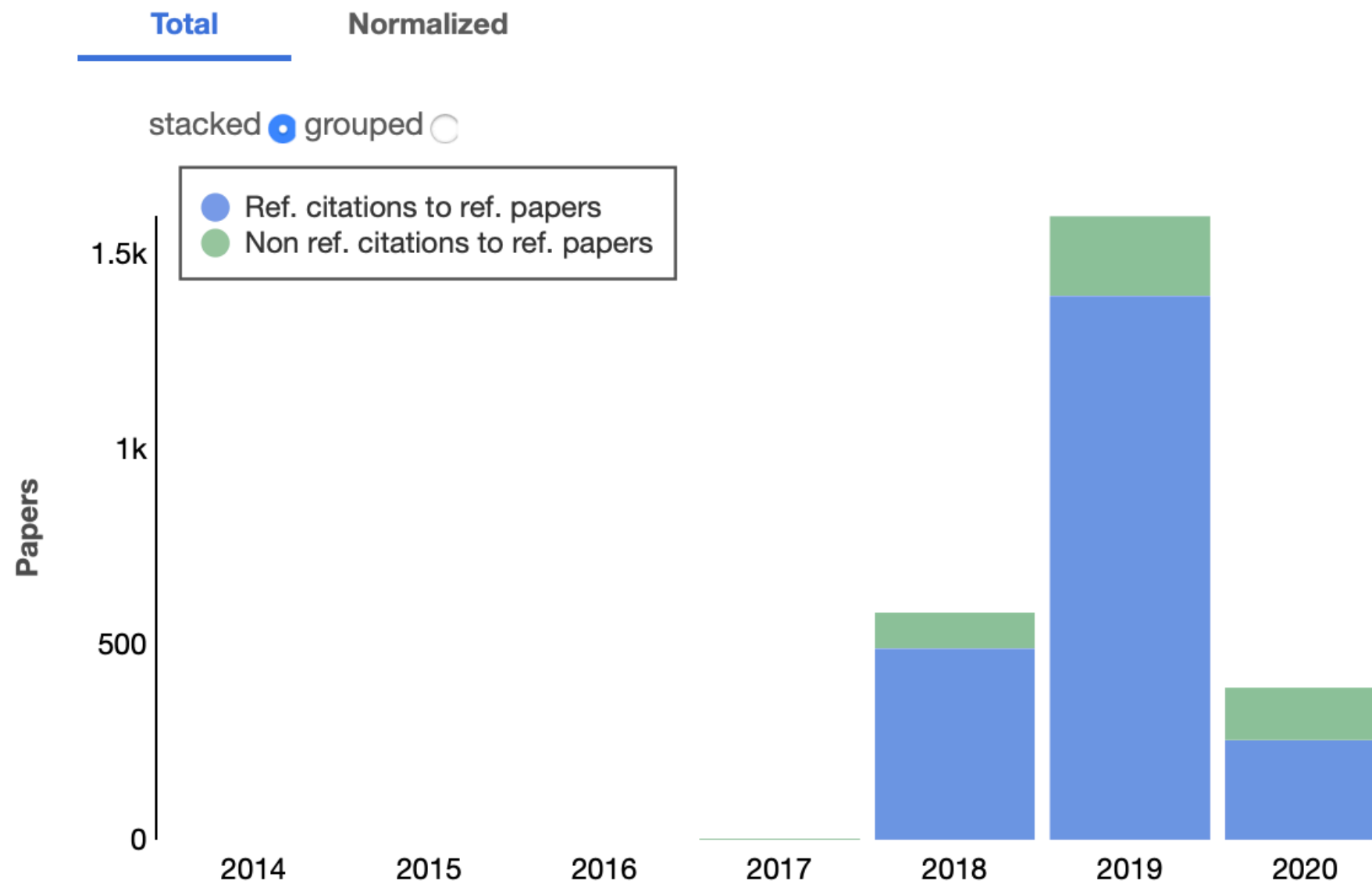
Van der Marel et al. (2019)

Az Andromeda-köd 110 km/s sebességgel közeledik a Tejútrendszerhez.

Az oldalirányú mozgás a HST (2012) alapján 17 km/s, de a HST+Gaia DR2 (2019) alapján 50 km/s. Ütközés helyett koccanás lesz 4,5 milliárd év múlva.

Citations

Total citations	?	2568
Normalized citations	?	5.7
Refereed citations	?	2135
Normalized refereed citations	?	4.7



Jöhet a DR3 – és a folytatás

Az eredetileg tervezett 5 éves mérési sorozat 2019 nyarán véget ér, de a Gaia már 2020 végéig megkapta az ESA-támogatást. Sőt ígéret van a 2022 végéig történő támogatásra (pályázni később kell erre).

A végső Gaia-katalógus ezért 2024-nél korábban nem várható.

Az adatközlések eddig is késtek a tervezetthez képest, de a Gaia DPAC csak biztos(nak tűnő) adatokat akar nyilvánosságra hozni. A DR3-at ezért két részre is bontották, hogy a késés ne fokozódjon.

Gaia EDR3 (early release): 2020. III. negyedév, teljes asztrometria és fotometria.

Gaia DR3: 2021. II. félév, a Gaia EDR3 adatain túl

- radiális sebességek (az eddig elérhetőnél halványabb csillagokra is)
- BP/RP/RVS spektrumok
- naprendszerbeli objektumok adatai (a lehető legnagyobb mintára)
- változócsillagászati információk (a hosszabb mérési időszak miatt a korábbinál nagyobb mintára)
- asztrofizikai információk (a színek alapján)
- a kettős és többszörös csillagokra vonatkozóan külön asztrometriai információ



PARALLAX OF GALACTIC CEPHEIDS FROM SPATIALLY SCANNING THE WIDE FIELD CAMERA 3 ON THE *HUBBLE SPACE TELESCOPE*: THE CASE OF SS CANIS MAJORIS

STEFANO CASERTANO^{1,2}, ADAM G. RIESS^{1,2},
 JAY ANDERSON¹, RICHARD I. ANDERSON^{2,3}, J. BRADLEY BOWERS², KELSEY I. CLUBB⁴, AVIV R. CUKIERMAN^{2,5},
 ALEXEI V. FILIPPENKO⁴, MELISSA L. GRAHAM⁴, JOHN W. MACKENTY¹, CARL MELIS⁶,
 BRAD E. TUCKER^{4,7}, AND GAUTAM UPADHYA^{1,8}

¹ Space Telescope Science Institute, 3700 San Martin Drive, Baltimore, MD 21218, USA; stefano@stsci.edu

² Department of Physics and Astronomy, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218, USA

³ Département d'Astronomie, Université de Genève, Ch. des Mailletes 51, CH-1290 Sauverny, Switzerland

⁴ Department of Astronomy, University of California, Berkeley, CA 94720-3411, USA

⁵ Department of Physics, Stanford University, Stanford, CA 94305-4060, USA

⁶ Center for Astrophysics and Space Sciences, University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093-0424, USA

⁷ The Research School of Astronomy and Astrophysics, Australian National University, Mount Stromlo Observatory, Canberra, ACT 2611, Australia

⁸ Department of Physics, University of Chicago, Chicago, IL 60637, USA

Received 2015 December 28; accepted 2016 March 30; published 2016 June 27

ABSTRACT

We present a high-precision measurement of the parallax for the 12-day Cepheid SS Canis Majoris, obtained via spatial scanning with the Wide Field Camera 3 (WFC3) on the *Hubble Space Telescope* (*HST*). Spatial scanning enables astrometric measurements with a precision of 20–40 μas , an order of magnitude better than pointed observations. SS CMA is the second Cepheid targeted for parallax measurement with *HST* and is the first of a sample of 18 long-period ($\gtrsim 10$ days) Cepheids selected in order to improve the calibration of their period–luminosity relation and eventually permit a determination of the Hubble constant H_0 to better than 2%. The parallax of SS CMA is found to be $348 \pm 38 \mu\text{as}$, corresponding to a distance of 2.9 ± 0.3 kpc. We also present a refinement of the static geometric distortion of WFC3 obtained using spatial scanning observations of calibration fields, with a typical magnitude $\lesssim 0.01$ pixels on scales of 100 pixels.

Key words: cosmology: observations – distance scale – parallaxes – stars: individual (SS CMA) – stars: variables: Cepheids – supernovae: general

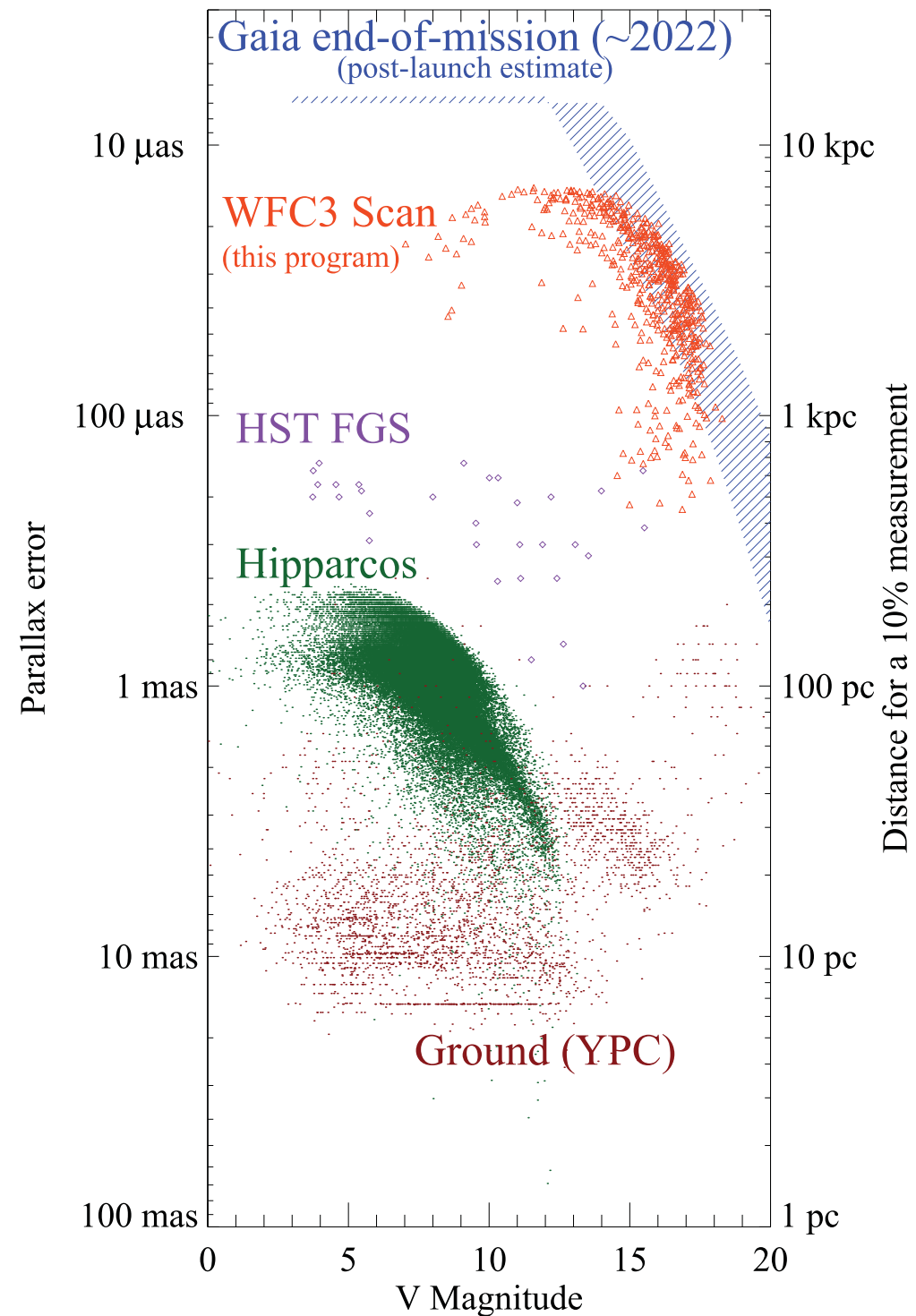
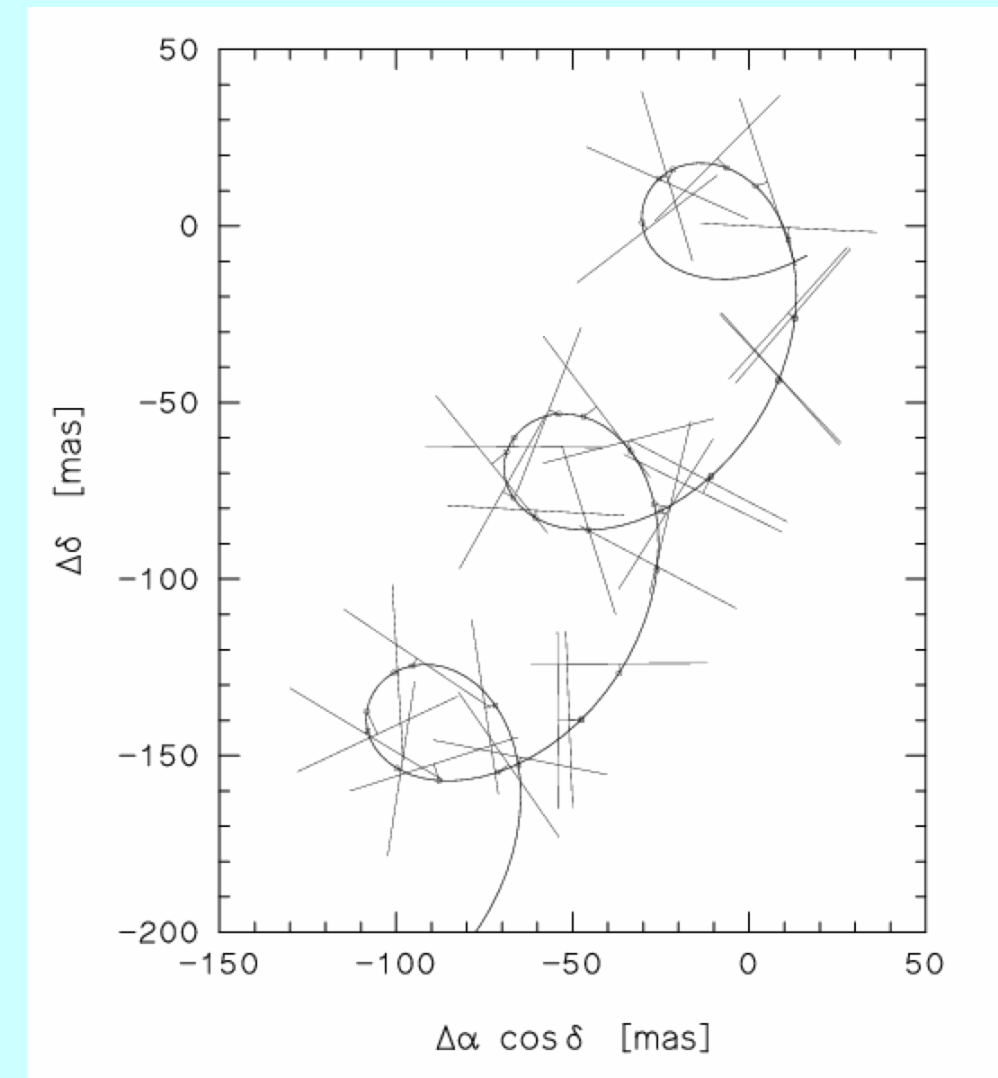
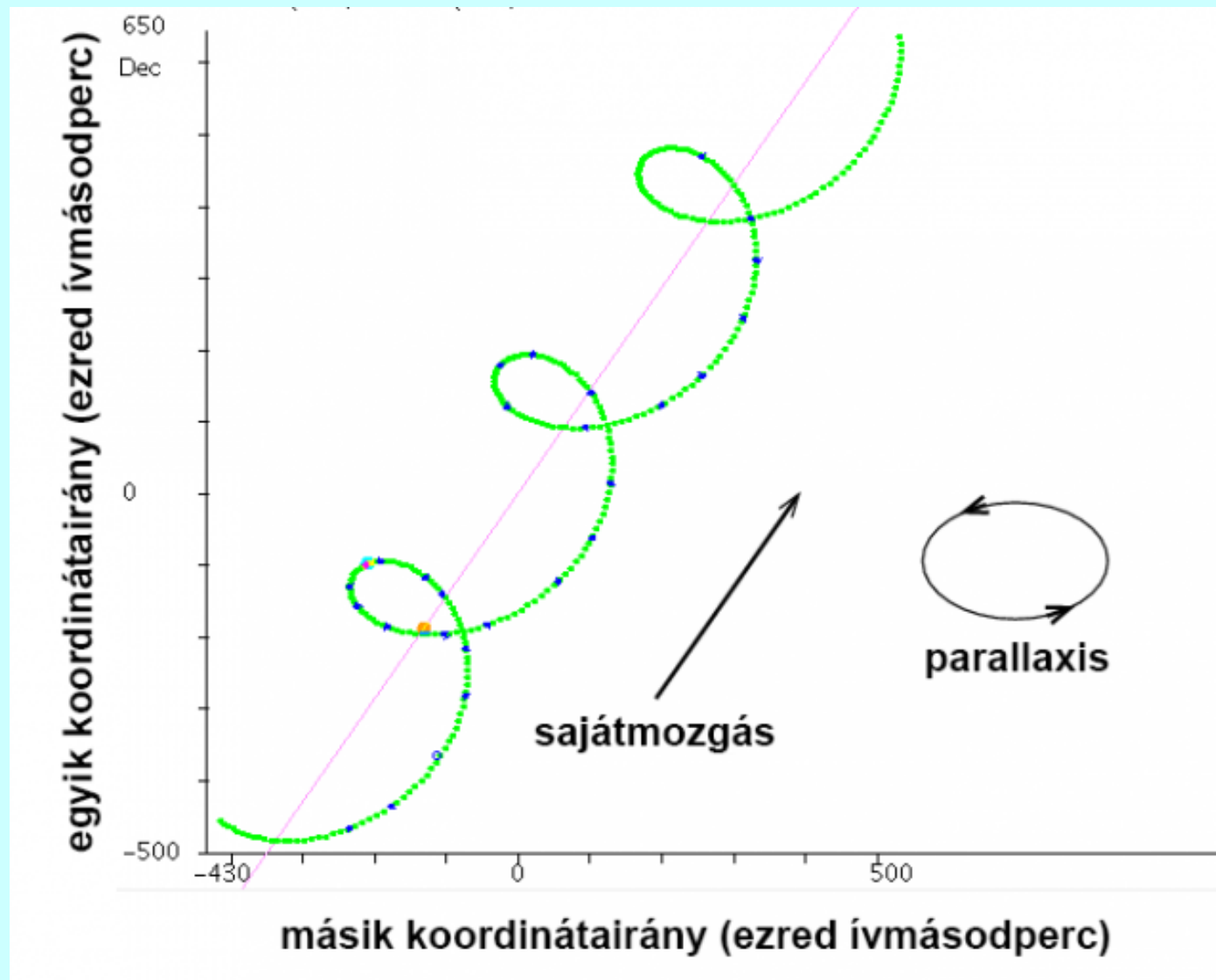


Figure 1. Precision of parallax measurements vs. apparent luminosity from ground and from space, 1995–2022. The right-hand ordinate axis shows the distance at which the error exceeds 10%. Brown: ground-based measurements from the Yale Parallax Catalog (van Altena et al. 1995). Green: stars with a better than 3σ measurement from *Hipparcos* (Perryman 2009). Purple: measurements based on *HST*/FGS data (MacConnell et al. 1997; Hershey & Taff 1998; Benedict et al. 2000, 2001, 2002, 2007, 2009, 2011; Nelan & Bond 2013). Orange: projected five-epoch precision for target and reference stars from the Cepheid fields observed with *HST*/WFC3 using spatial scanning. Blue: range of expected precision for *Gaia* observations, according to the post-launch estimates in de Bruijne et al. (2015). With the exception of a few radio-wavelength measurements (Reid & Honma 2014), only *HST* spatial scanning and *Gaia* can push the 10% precision horizon beyond 1 kpc.

A mérés és feldolgozás elve



Két évnél hosszabb mérési sorozat kell a sajátmozgás és a parallaktikus elmozdulás szeparálásához.

Milyen feladatokig működik a trigonometriai parallaxis?

$$d = \frac{1}{\pi''}$$

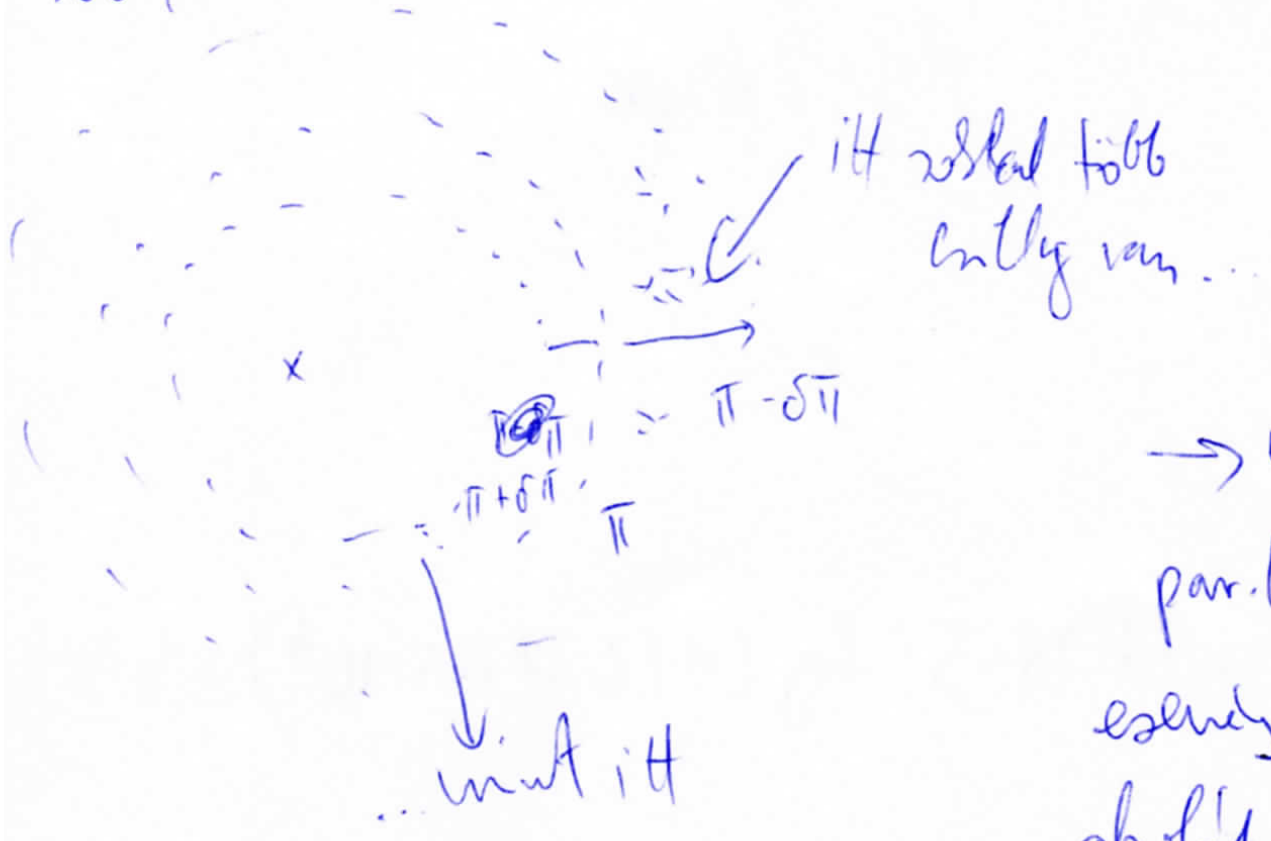
Mennyi π'' hibája? Hogyan befolyásolja d hibáját?

$$\delta d = \frac{1}{\pi^2} \delta \pi = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{\delta \pi}{\pi} \right) \text{ hibás parameter a parallaxisvesztés!}$$

5-10-20% a lapantáblát szerint
a lóvált.

lutz-keller-konvenció („kias”)

A parallaxidól méretét abszolút méresekkel \leftarrow parallaxis lutzji aszimmetria
keletkezés



\rightarrow Egy adott csillagrendszer parallaxisadatok +
parallaxisadatok a csillagok relatív mozgásai
esemény, hogy relatívban tartózkodni, és az abszolút
abszolút méresekkel csillagok van az.

Lutz & Keller amerikai statisztikusok. 1974-ben észrevették, hogy parallaxisadatok
csillagok között 0.175-re csökken abszolút méretek felé már nem meghatározhatók
a távolságok.

A. Az abszolút méretek már 175 pc-en felé nem meghatározhatók.