



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



International
Year of Light
2015



A FÉNY
NEMZETKÖZI ÉVE
2015

KOZMIKUS

FÉNY 

Csillagászati észlelési technikák

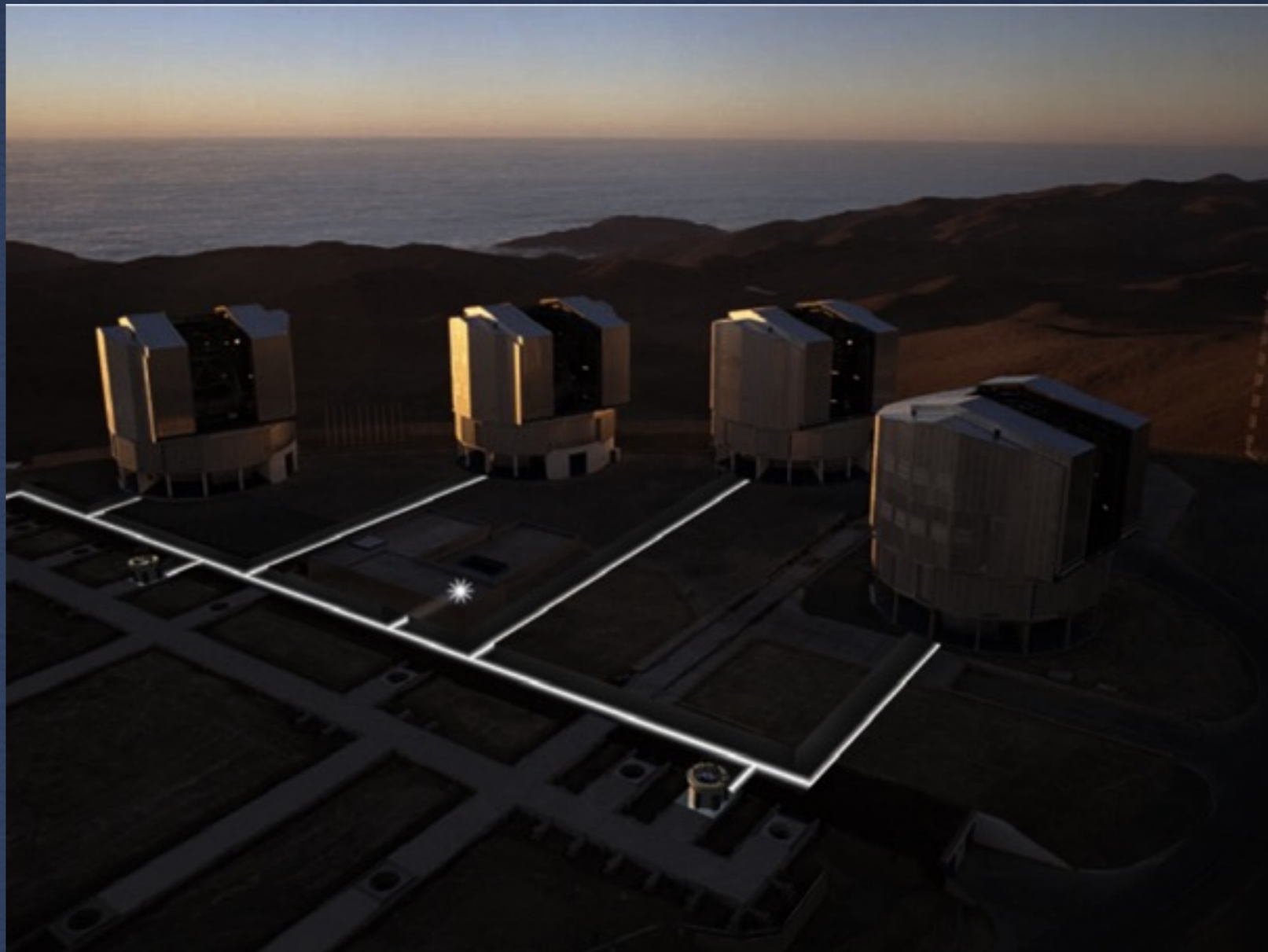
Kiss L. László

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

www.csillagaszat.hu



Tycho Brahe, 1590



ESO VLTI, 2010

(Optikai) csillagászat mért mennyiségei

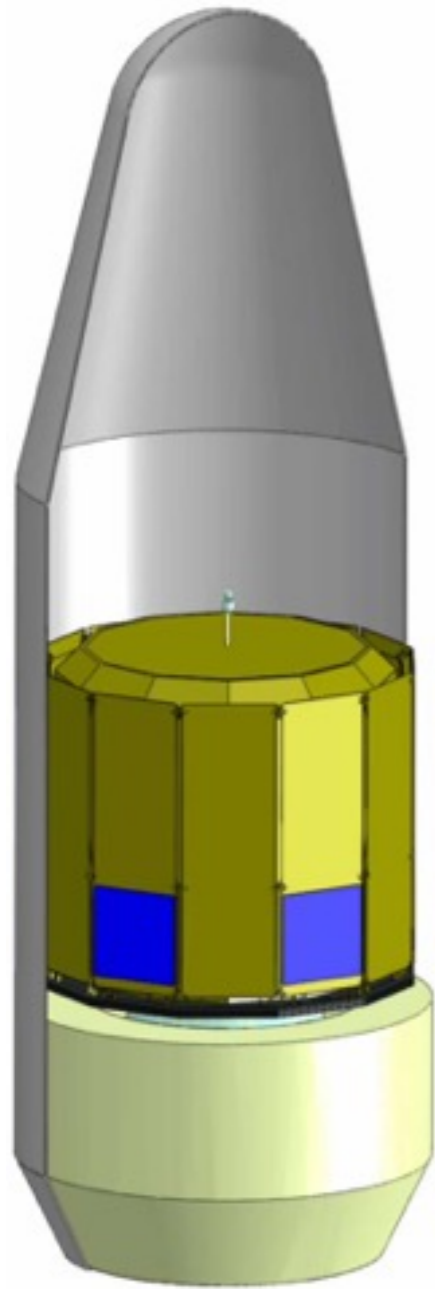
- **Égi irányok** - koordináták
- **Fényesség** - pontszerű és kiterjedt objektumok
- **Színkép** - folytonos és vonalas spektrumok
- **Sokaságok vizsgálata** - égboltfelmérések

A pontosság növelése, “régi” technikák újszerű alkalmazásai új fizikai jelenségek felfedezéséhez vezethet!

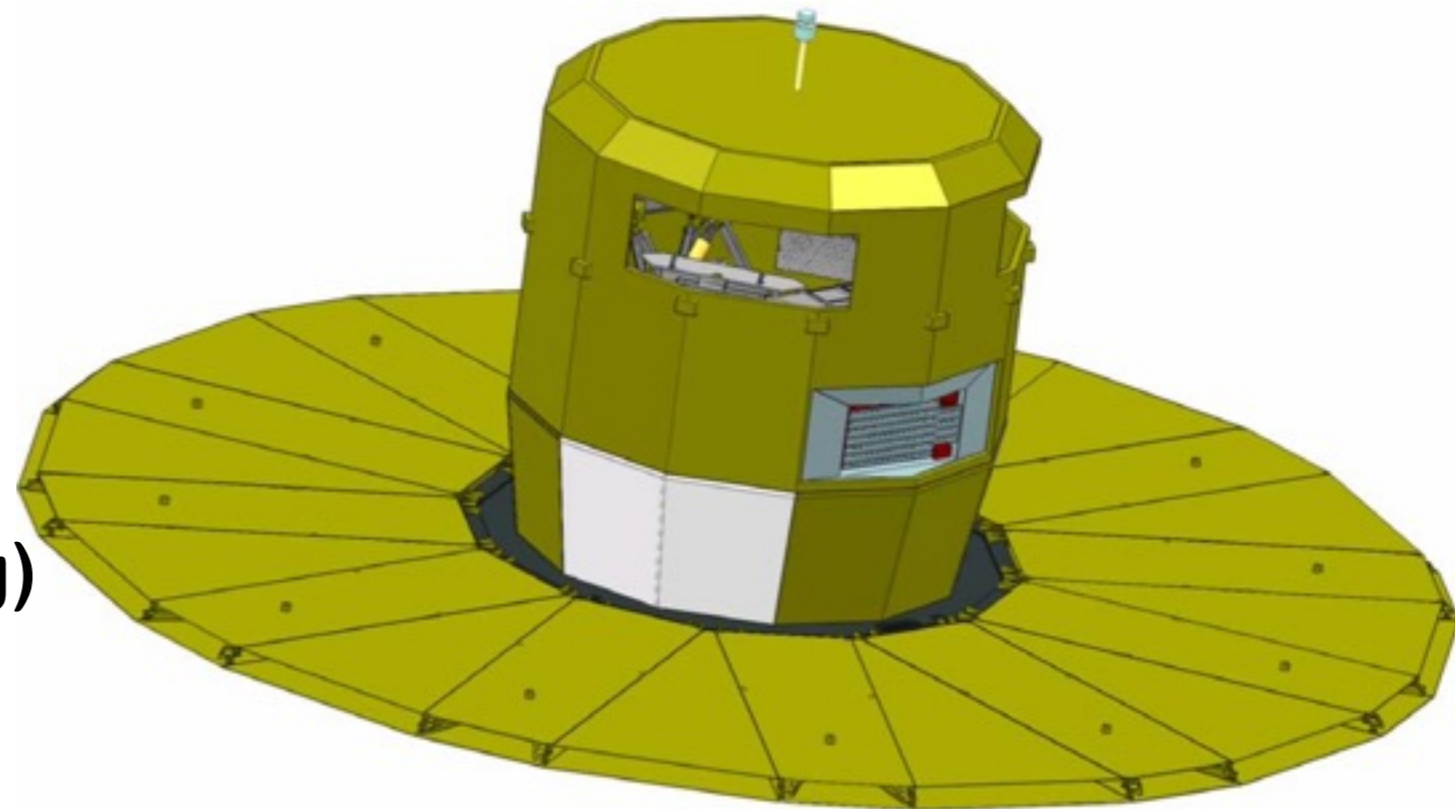
SZÖGMÉRÉS FEJLŐDÉSE

- Nagyságrendi ugrások:
 - 1 ívperc: szabadszemes mérések, csillagkatalógus, sajátmozgás, bolygókoordináták, felső becslések parallaxisokra
 - 1 ívmásodperc: kettőscsillagok, Naprendszer mérete, kis égitestek pályaszámítása
 - 0,1- 0,001 ívmásodperc (1 mas=4,8 nrad): csillagok parallaxisa, bolygók asztrometriai hatása
 - 0,1-0,001 mas: csillagok & exobolygók felszíni részletei, exoholdak, Tejútrendszer és közeli galaxisok térbeli feltérképezése, ???????

Gaia: asztrometriai űrobszervatórium

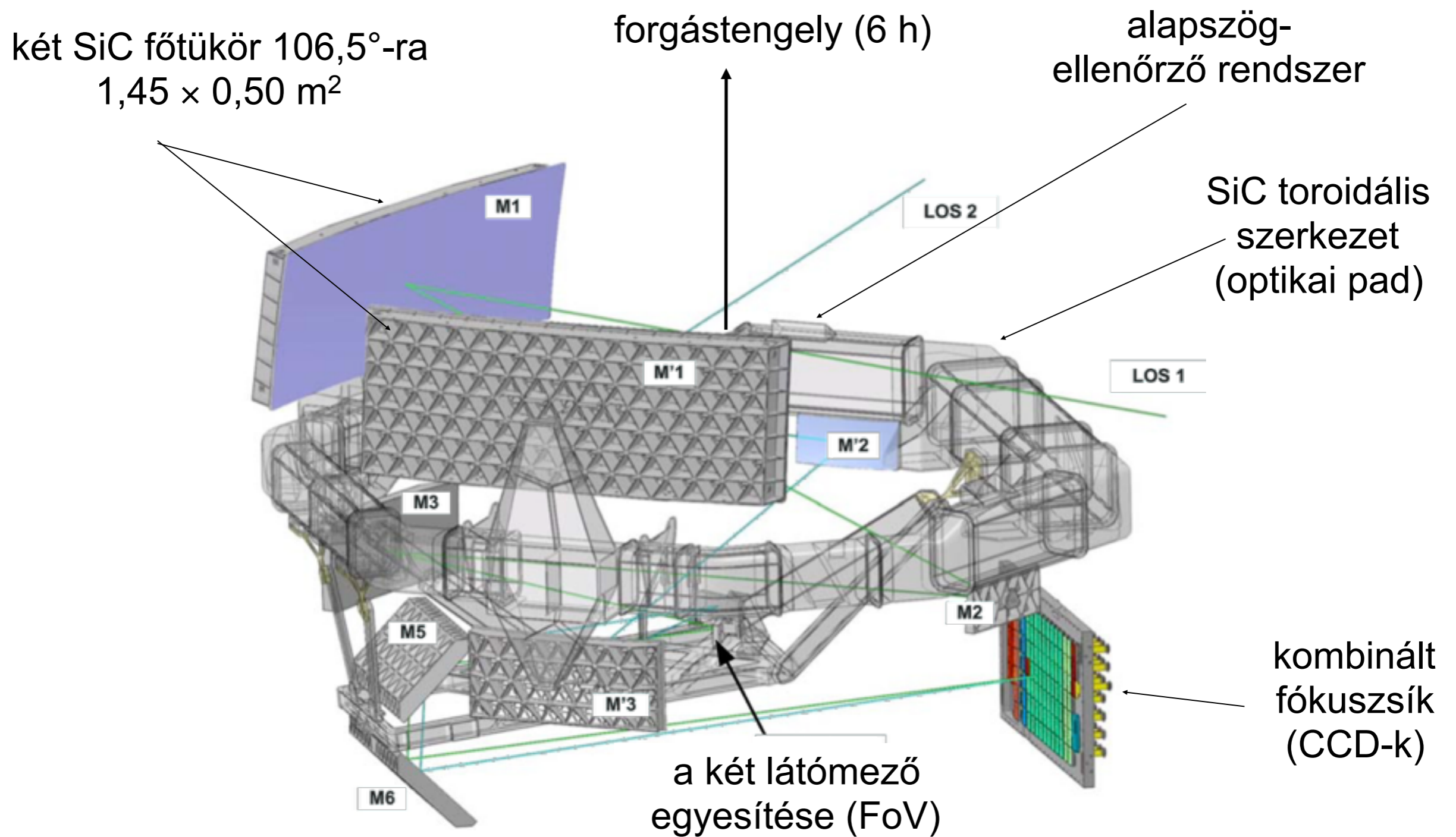


- kizárólag ESA-misszió
- indítás: **2013. december 20.**
- 5 év működés (esetleg 1 év hosszabbítás)
- hordozórakéta: Szojuz–Fregat
- pálya: Lissajous-pálya az L2 pont körül
- adattovábbítás: 4–8 Mbps

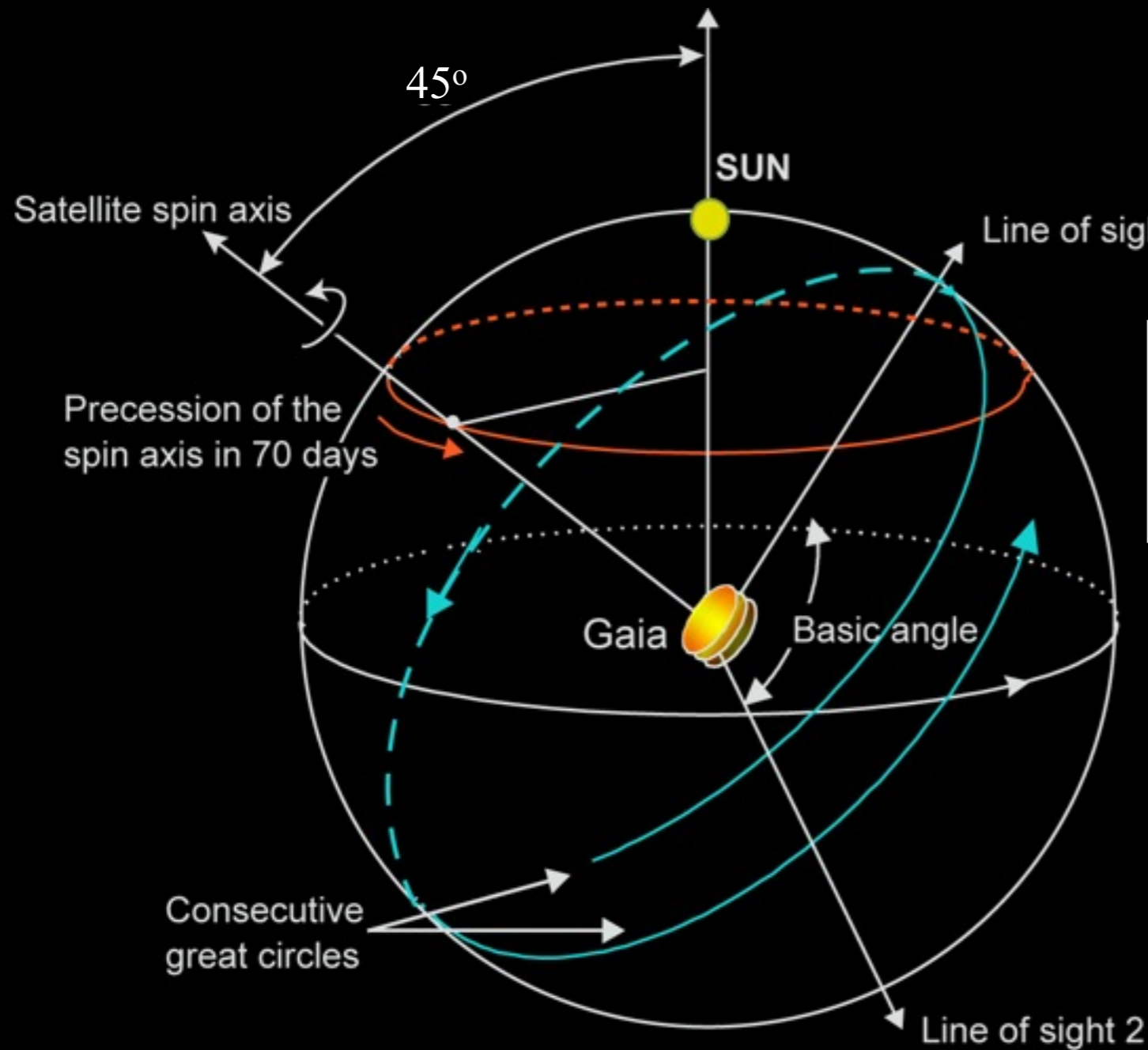


- tömeg: 2120 kg (hasznos 743 kg)
- teljesítmény: 1631 W
(hasznos 815 W)

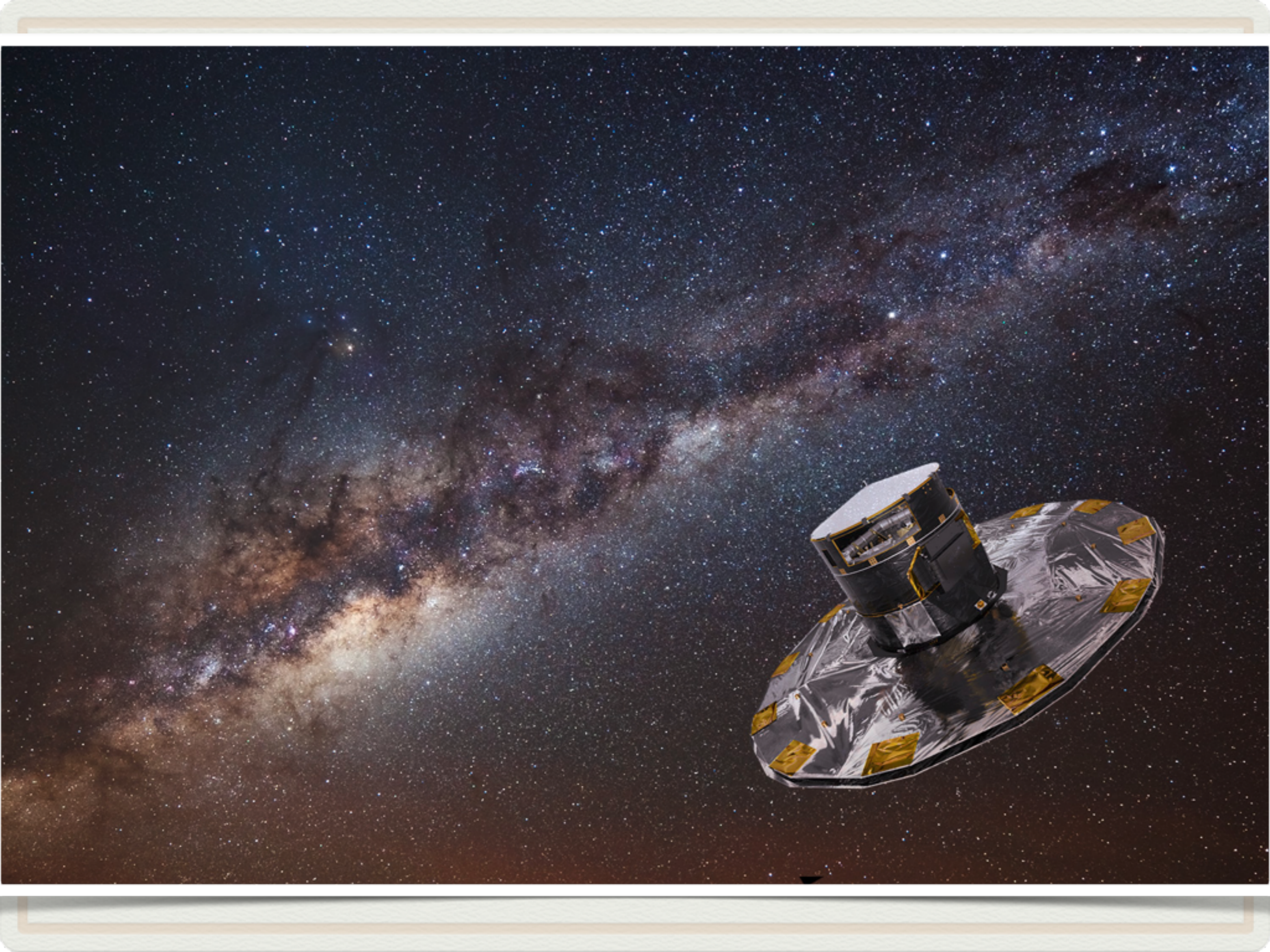
A távcső és a műszerek

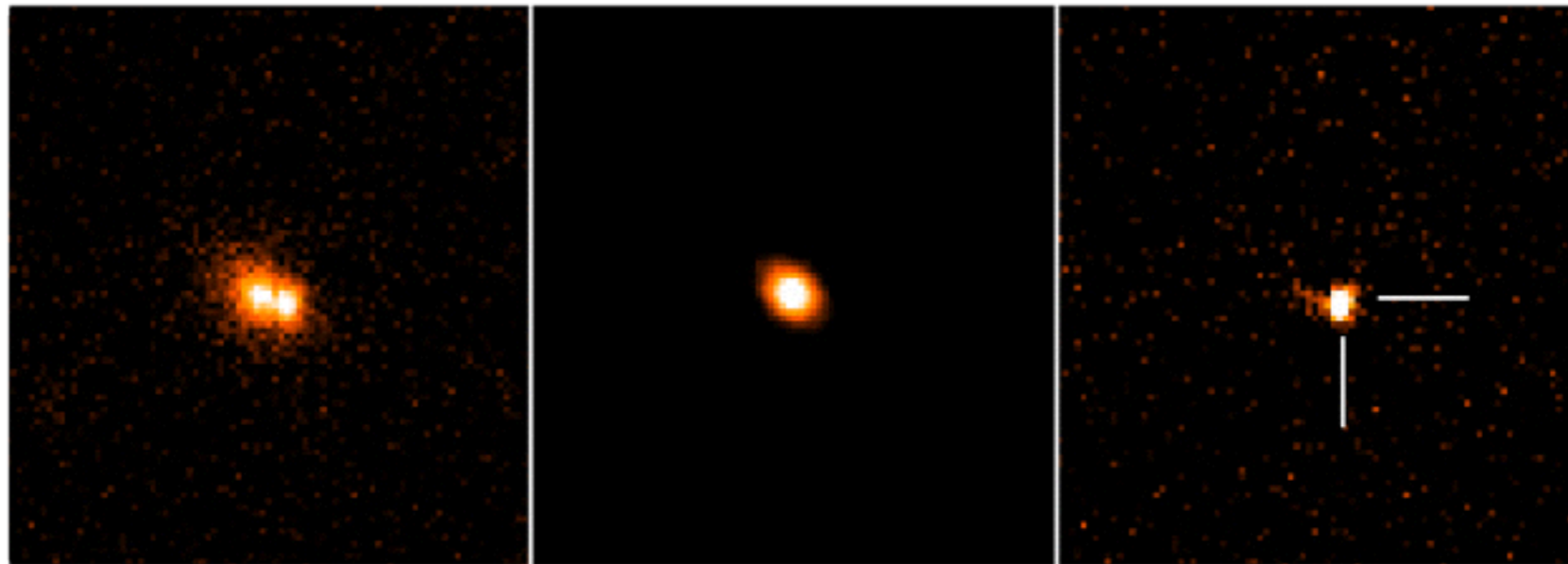
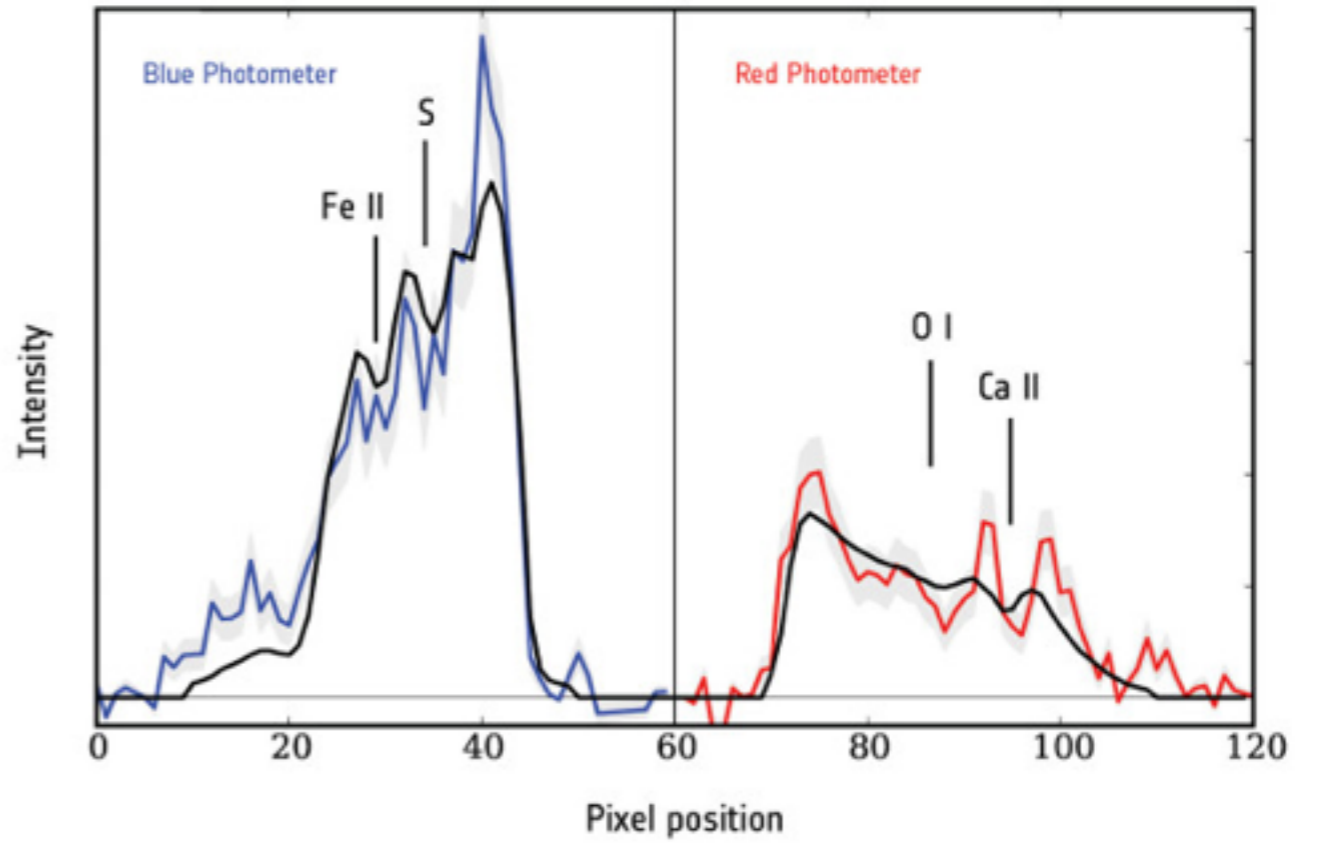
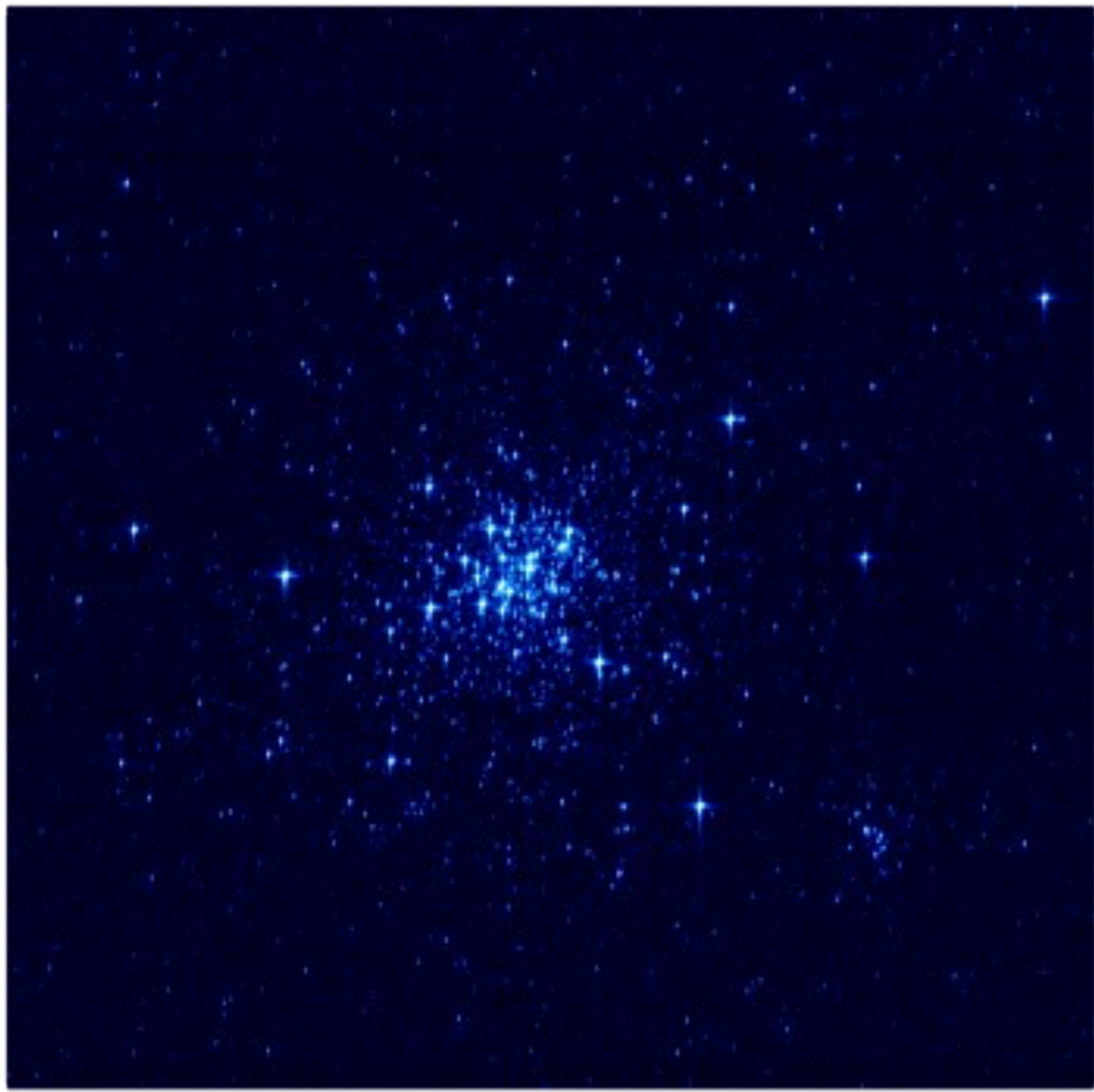


Az égbolt szkennelésének elve



forgástengely: 45° a Naphoz;
haladás: 60 ívmásodperc s^{-1} ;
forgási periódus: 6 óra





FOTOMETRIAI FEJLŐDÉS

- Nagyságrendi ugrások:
 - 1 magnitúdó: Mirák, (szuper)nóvák
 - 0,1-0,01 magnitúdó: geometriai és fizikai (pulzáló, eruptív és kataklizmikus) változócsillagok
 - 0,001 magnitúdó (1 mmag): fedési exobolygók - forró jupiterek
 - 0,1-0,001 mmag: Nap típusú csillagrezgések, exoholdak, exoföldek, ???????

Kepler-űrtávcső

A Kepler célja Föld típusú, lakható bolygók felfedezése a fedési módszerrel

Szimultán észlelt több mint 150 ezer csillagot

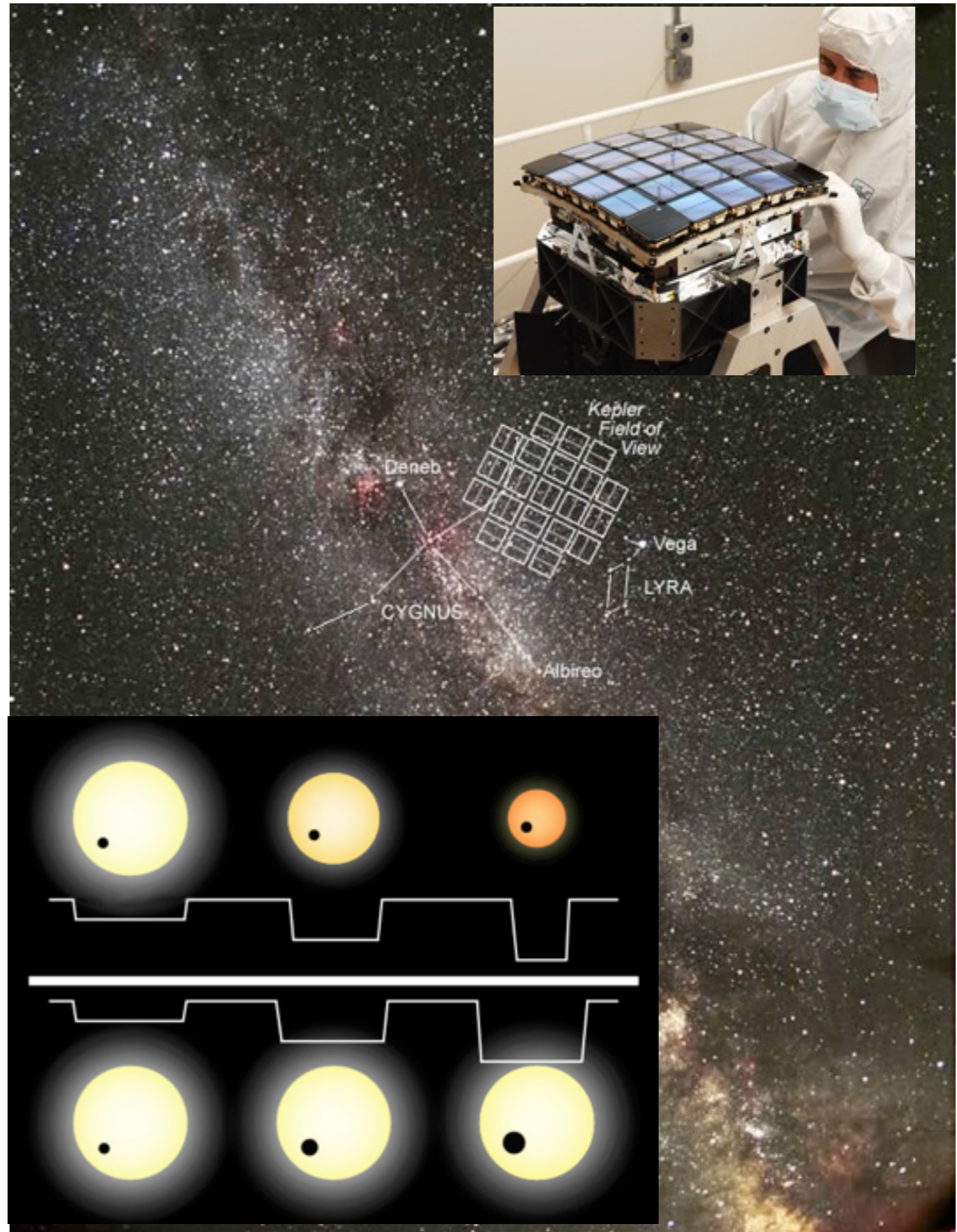
95 cm-es belépő nyílású Schmidt-távcső, látómezeje mintegy 100 négyzetfok, 42 CCD-ből álló mozaikkal

Fotometriai pontosság:

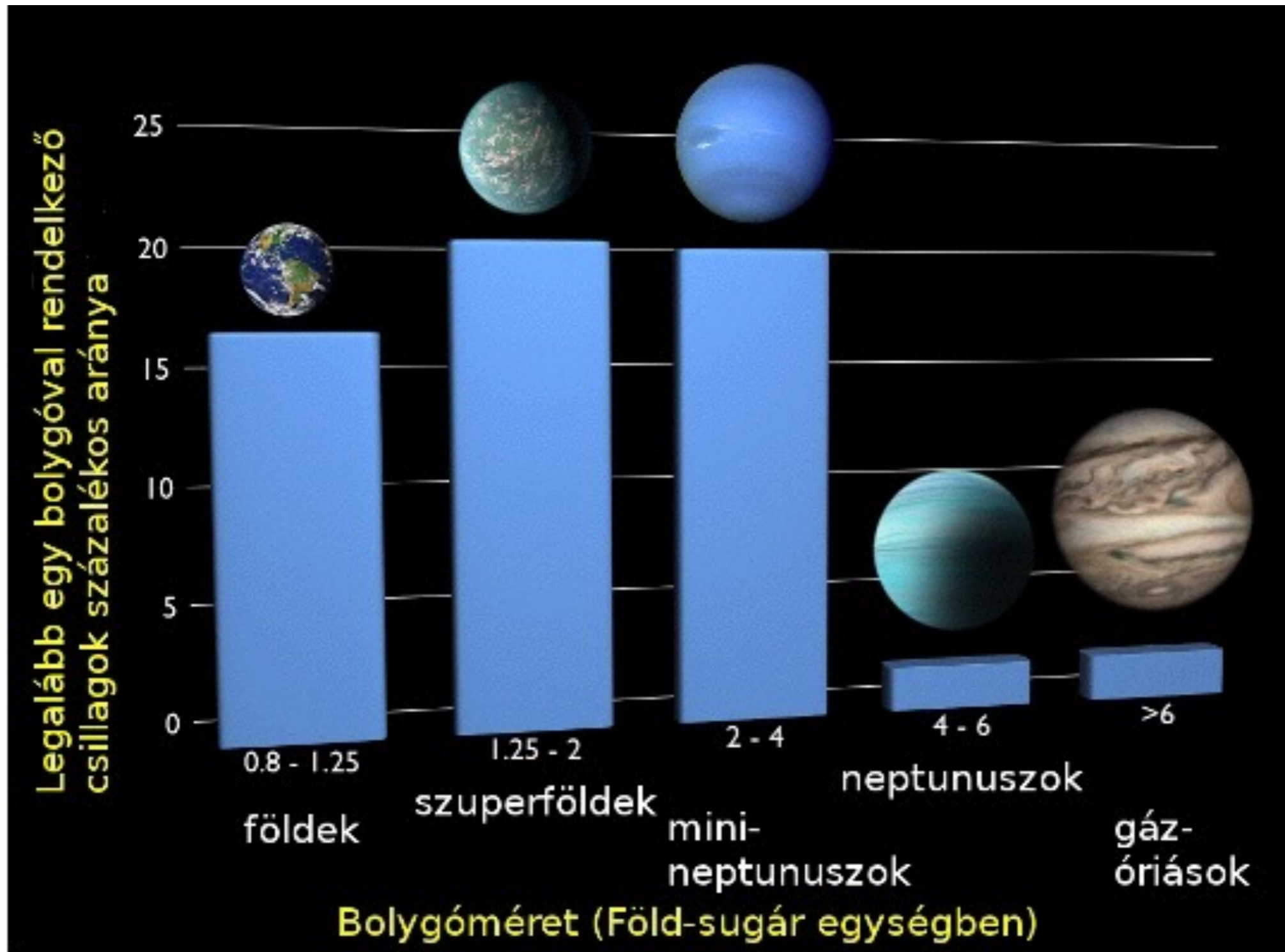
A zaj < 20 ppm 6,5 órányi mérés után egy 12 magn. Nap típusú csillagra

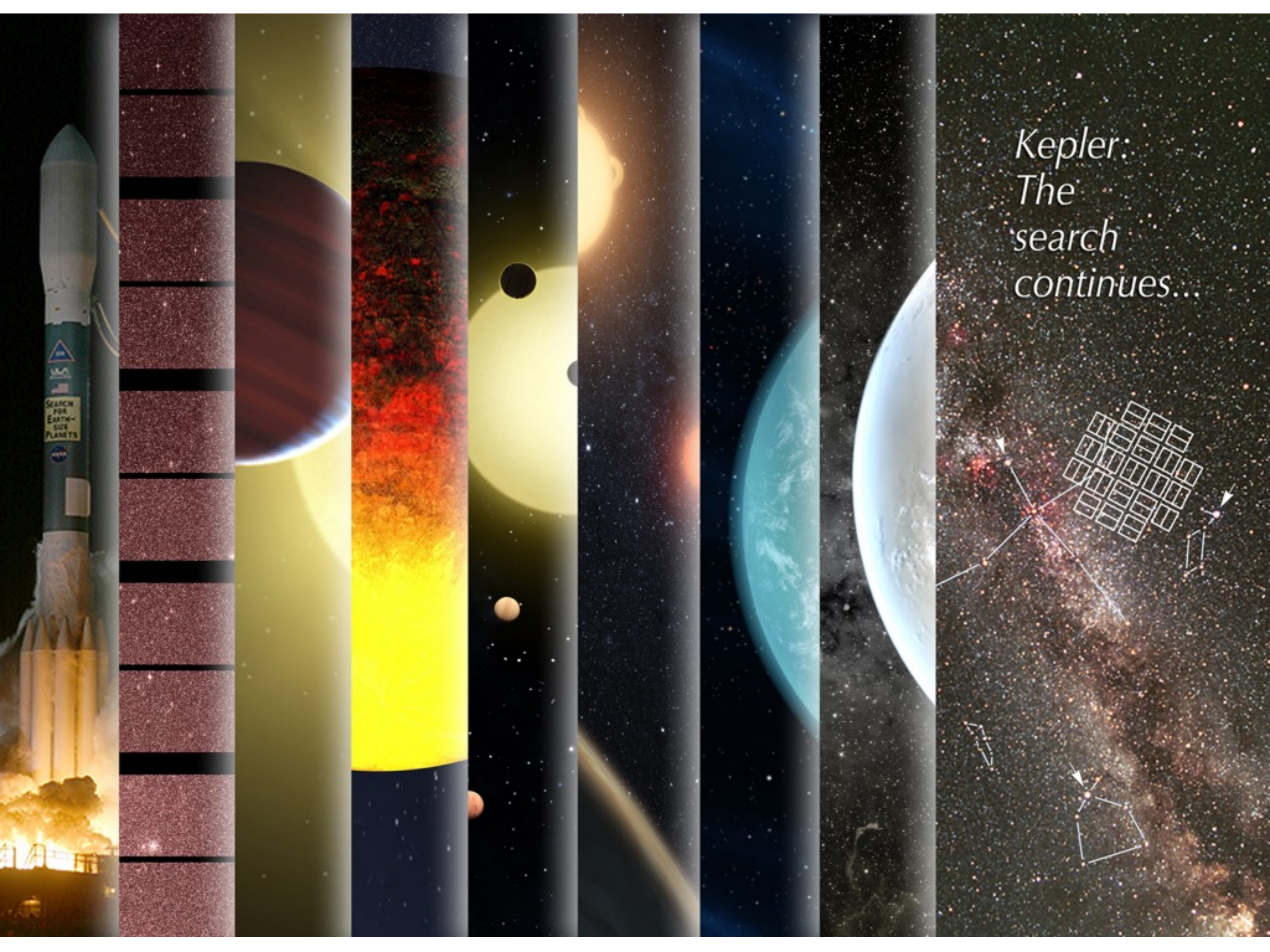
=> 4-sigma detektálás egy exoföld tranzitja esetén.

Heliocentrikus pálya, 2009-2013

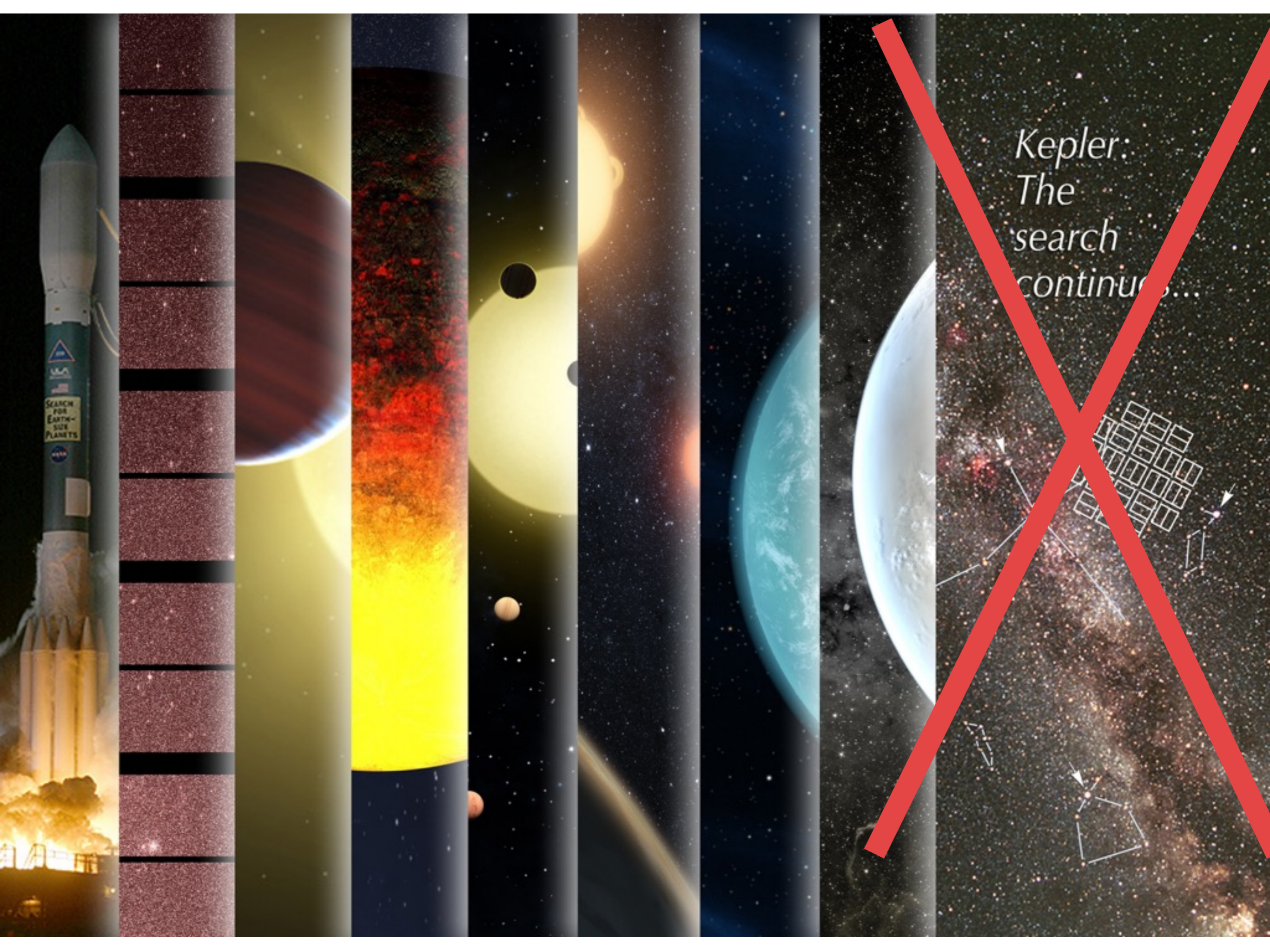


Rövidperiódusú bolygók gyakorisága



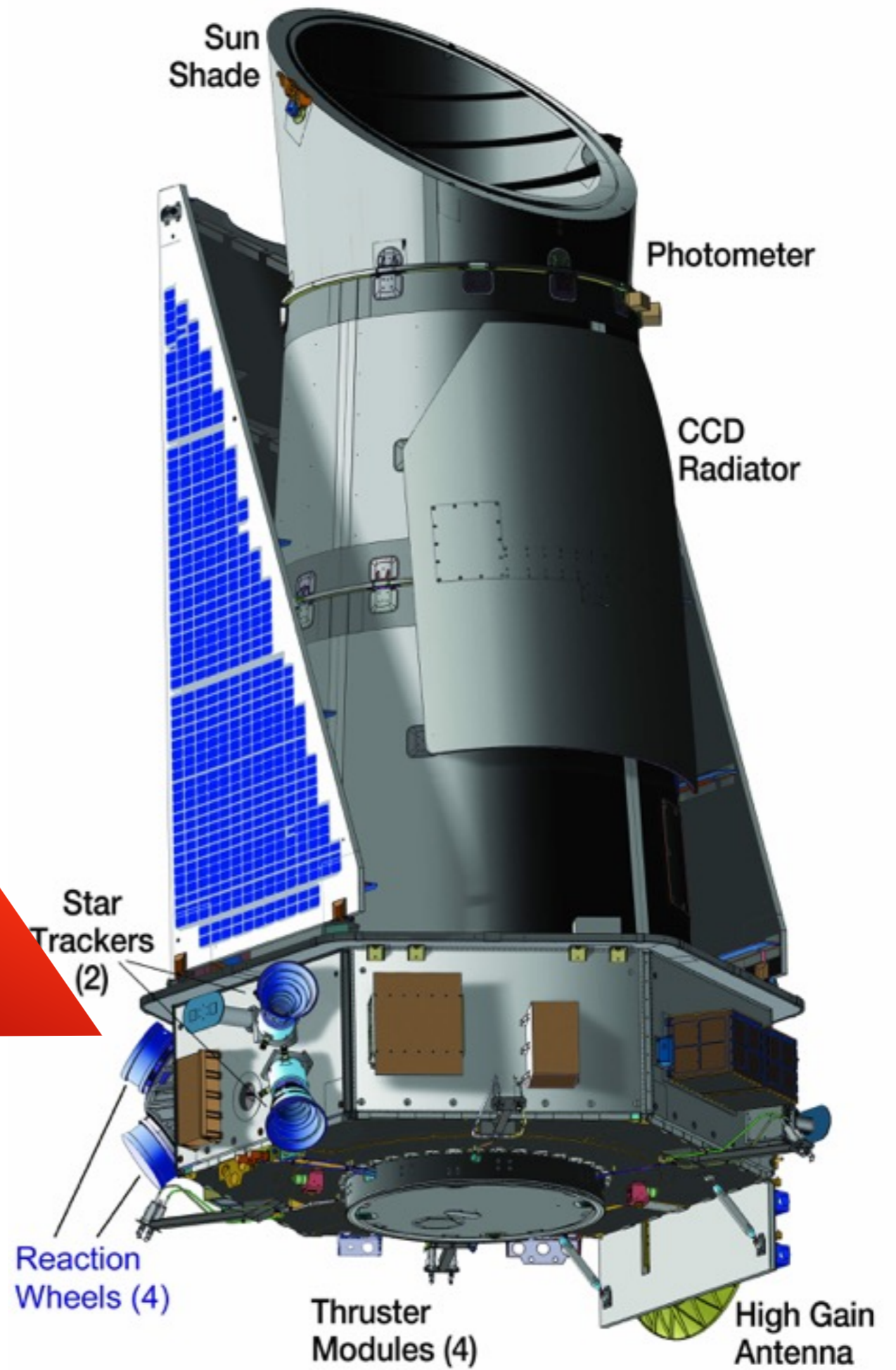


*Kepler:
The
search
continues...*



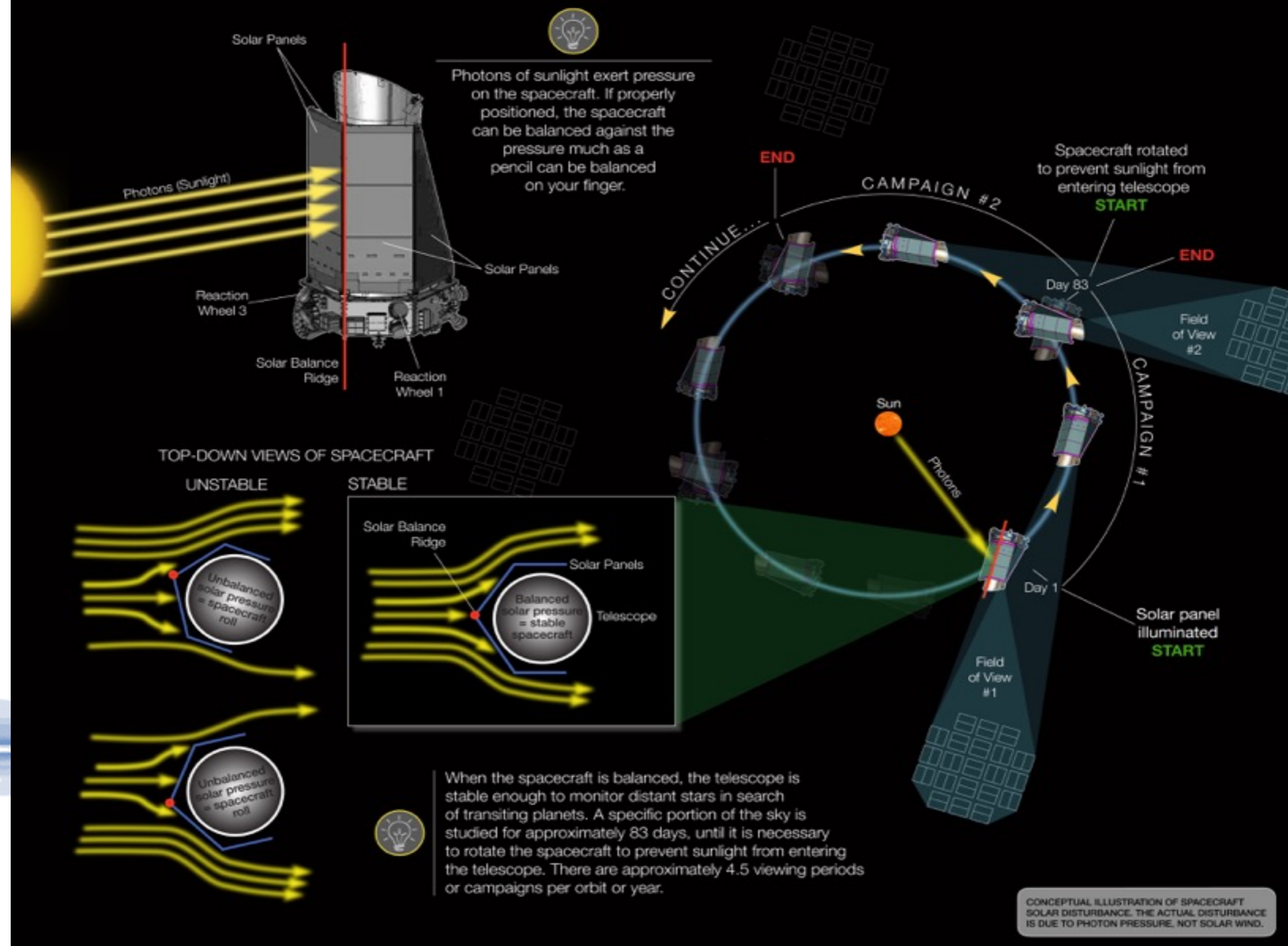
SEARCH FOR EARTH-SIZE PLANETS

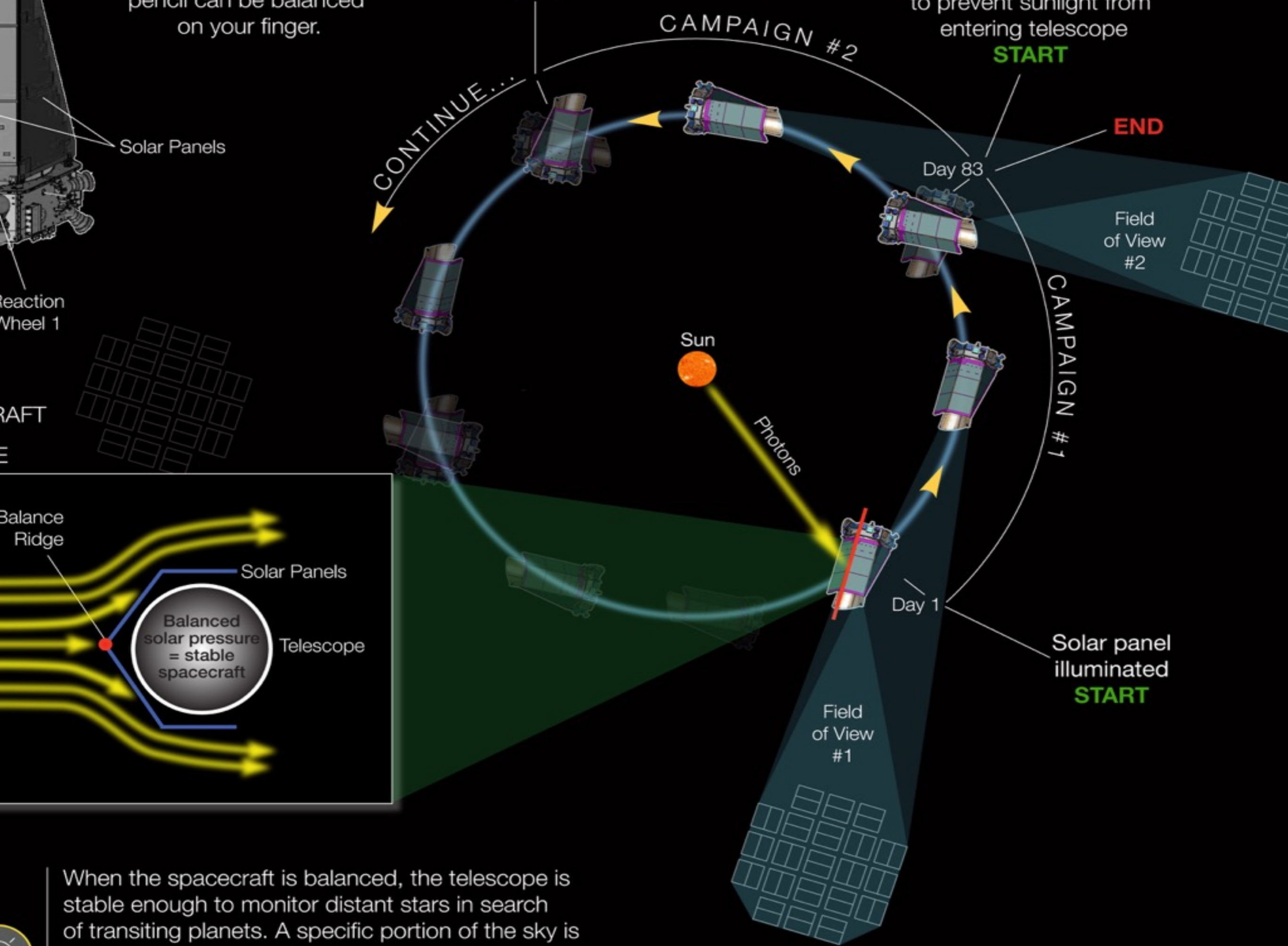
Kepler:
The
search
continues...





Kepler's Second Light: How K2 Will Work





When the spacecraft is balanced, the telescope is stable enough to monitor distant stars in search of transiting planets. A specific portion of the sky is studied for approximately 83 days, until it is necessary

PUSHING THE LIMITS: K2 OBSERVATIONS OF THE TRANS-NEPTUNIAN OBJECTS 2002 GV₃₁ AND 2007 JJ₄₃

A. PÁL^{1,2}, R. SZABÓ¹, GY. M. SZABÓ^{1,3,4}, L. L. KISS^{1,4}, L. MOLNÁR¹, K. SÁRNECZKY¹, AND CS. P. KISS¹

Draft version March 26, 2015

ABSTRACT

We present the first photometric observations of trans-Neptunian objects (TNOs) taken with the *Kepler* space telescope, obtained in the course of the K2 ecliptic survey. Two faint objects have been monitored in specifically designed pixel masks that were centered on the stationary points of the objects, when their daily motion was the slowest. The design of the experiment was such that the observational costs in terms of Kepler pixels were minimized. Because of the faintness of the targets... We measure rotational periods and amplitudes in the unfiltered Kepler band as follows: Besides demonstrating the feasibility of this pioneering observing mode, the results indicate that...

Future space missions, like TESS and PLATO are not well suited to this kind of observations, therefore we encourage to include the brightest TNOs around their stationary points in each K2 observing campaigns to exploit this unique capability of the Mission.

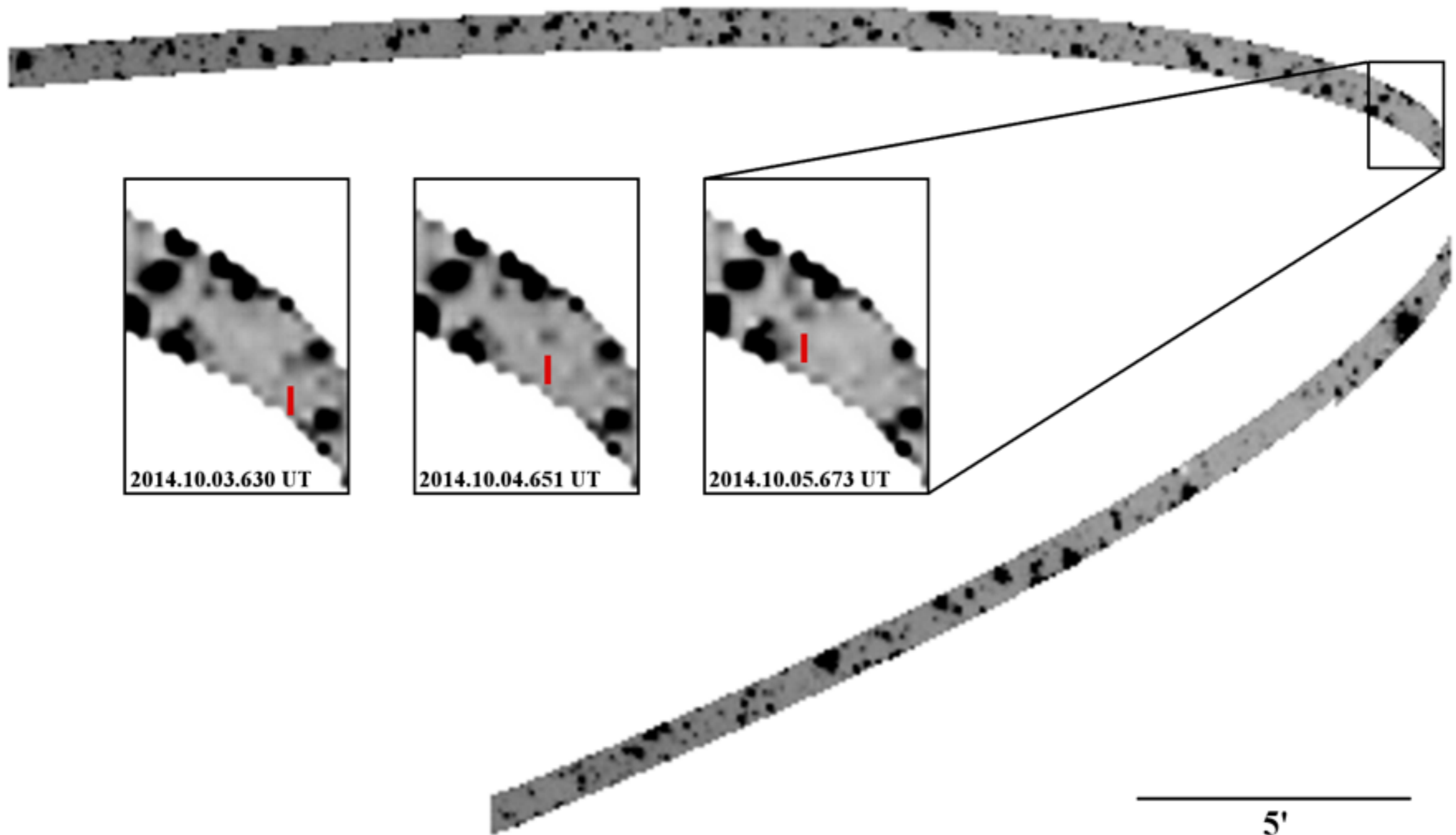
Subject headings: methods: observational — techniques: photometric — astrometry — minor planets, asteroids: general — Kuiper belt objects: individual (2002 GV₃₁, 2007 JJ₄₃)

1. INTRODUCTION

Kepler has provided incredible results on extrasolar planets and planetary systems, as well as on stellar astrophysics. After analysing main-belt asteroids (Szabó et al. 2015), here we continue the exploration of our own Solar System by pushing the limits of the spacecraft and observing faint, trans-Neptunian objects.

The *Kepler* spacecraft is equipped with a 0.05 m

at the detection limit of the telescope ($V = 20\text{--}22$ mag), with an expected precision of a few tenths of a magnitude for a single long-cadence (30-min) observation. Moreover, TNOs exhibit quadratically increasing proper motions away from the stationary points. Since the pixel mask allocation is fixed for an entire campaign, the whole length of the orbital arc has to be observed continuously. Despite these challenges, the K2 mission is in a unique

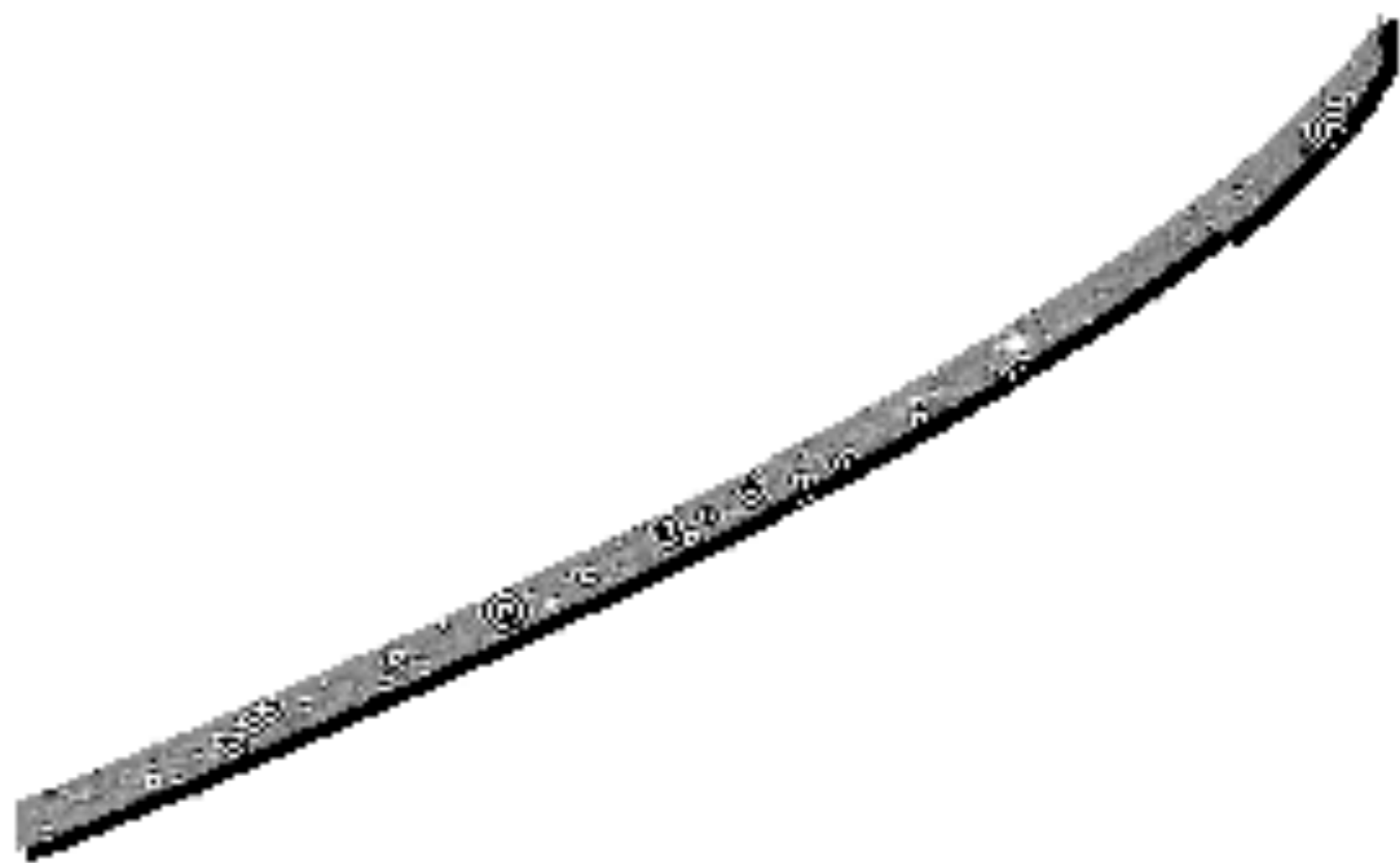


2014.10.03.630 UT

2014.10.04.651 UT

2014.10.05.673 UT

5'



TNO observations with K2

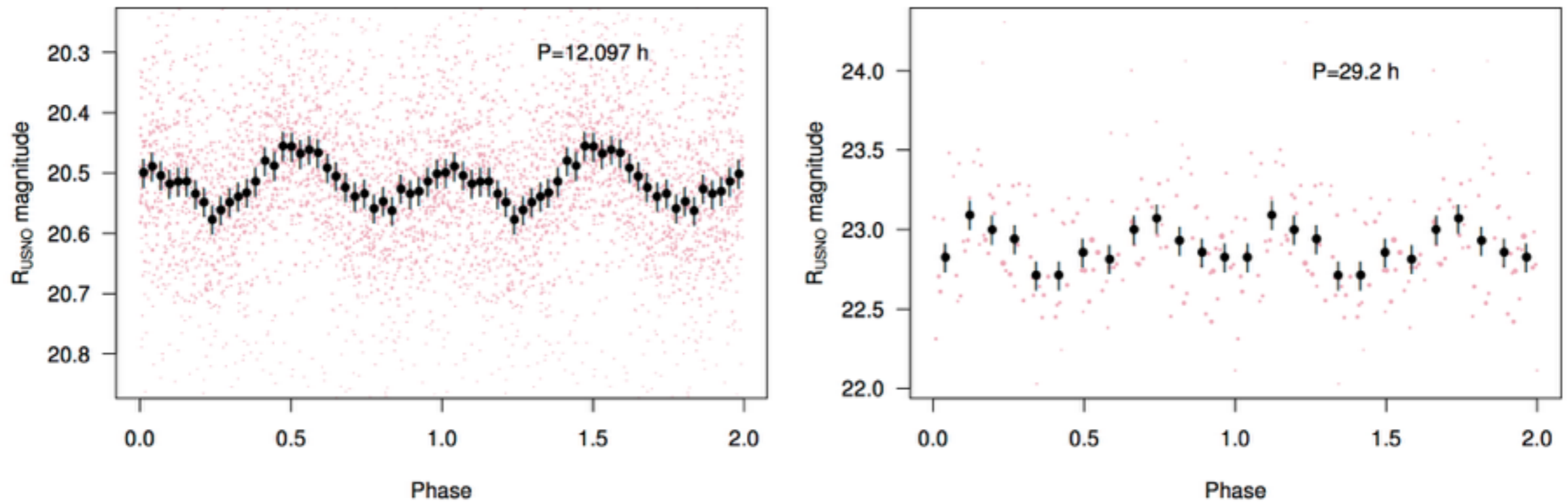
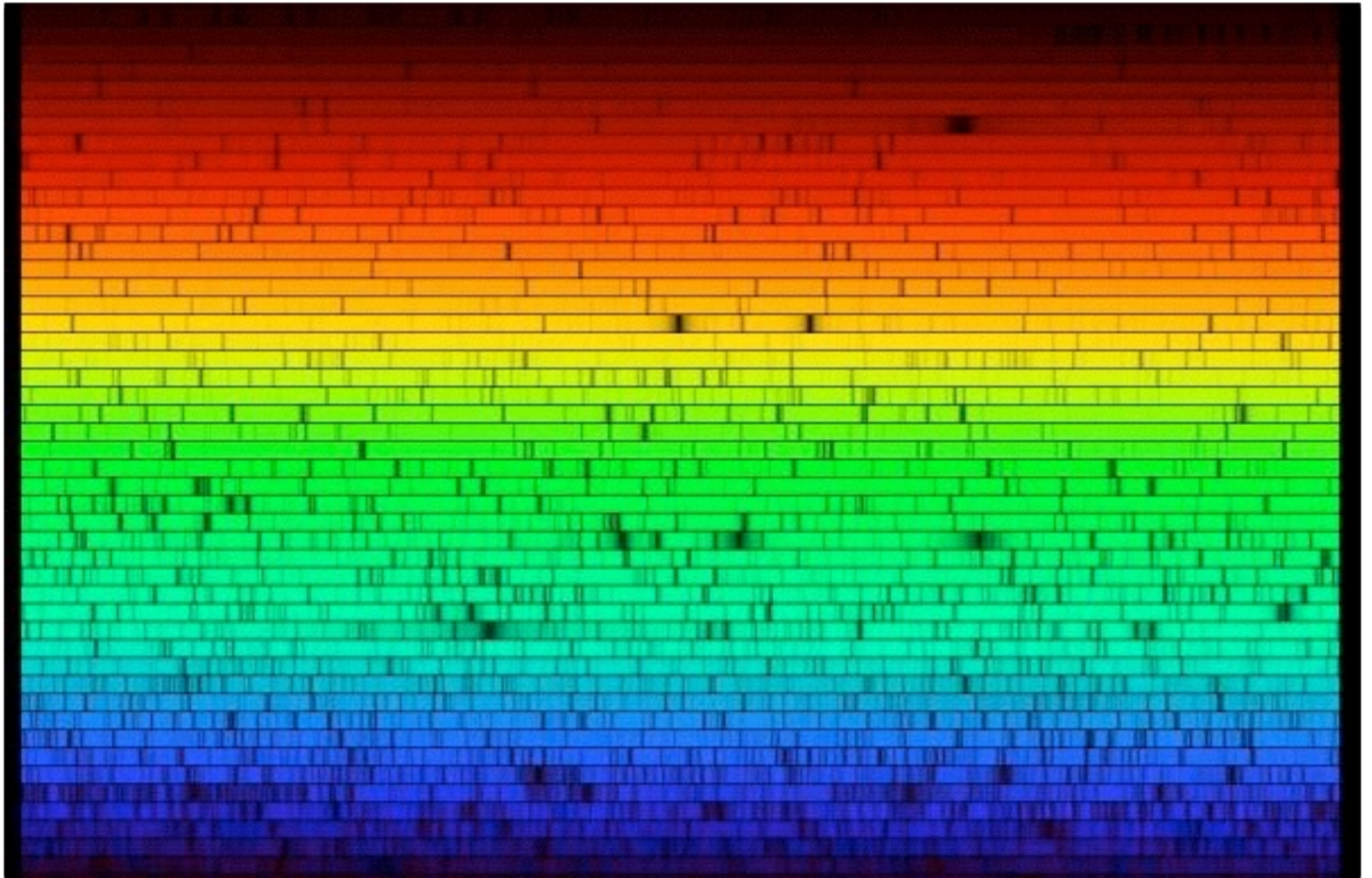


FIG. 3.— Left: phased light curve of 2007 JJ₄₃ (red points). The bold symbols with the error bars are binned values. Right: K2 light curve of 2002 GV₃₁

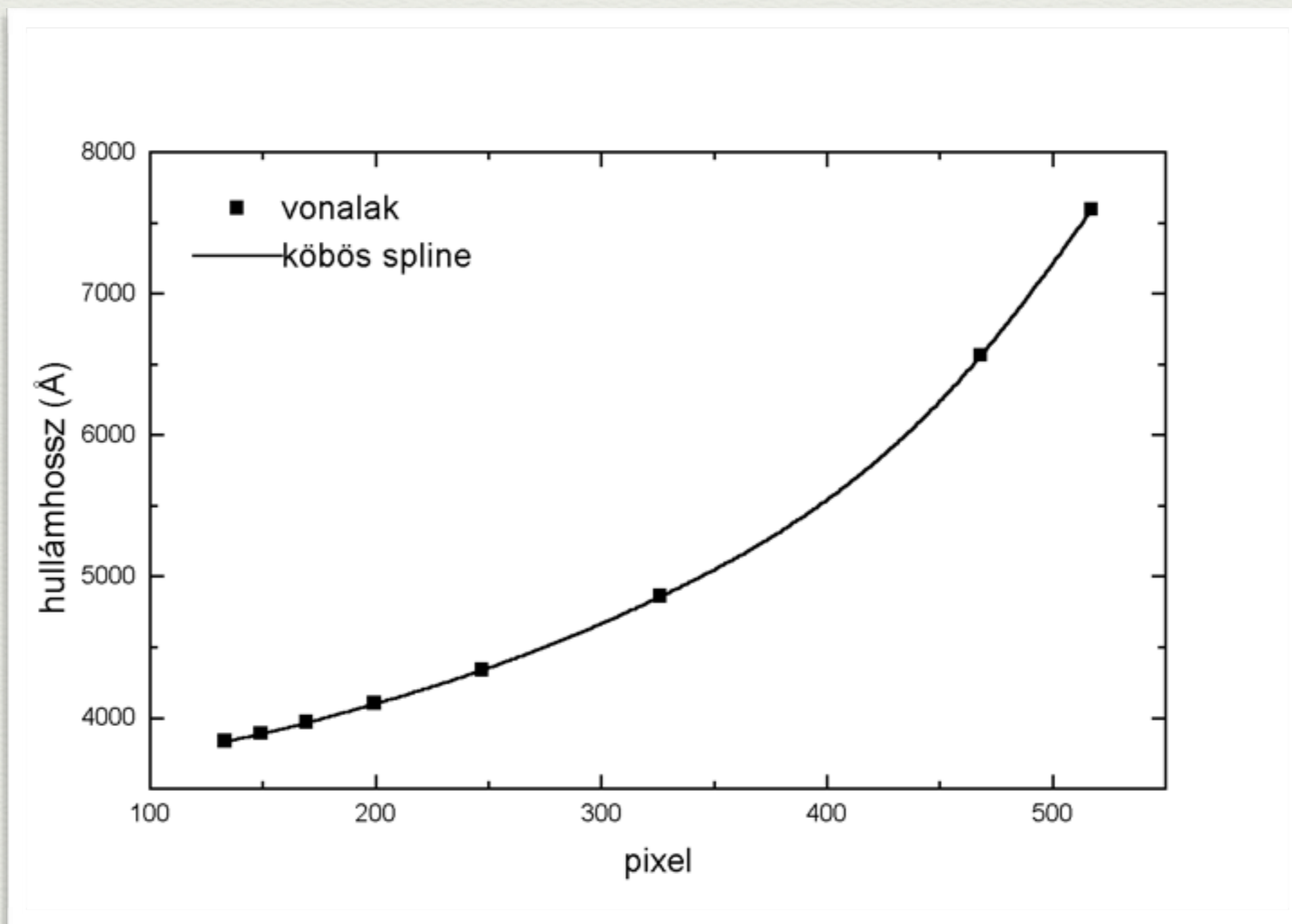
SPEKTROSZKÓPIAI FEJLŐDÉS: KOZMIKUS TRAFFIPAX

- Nagyságrendi ugrások:
 - 10 km/s: szoros kettőscsillagok, galaxisok vöröseltolódása
 - 1 km/s: kettőscsillagok tömegei, klasszikus pulzáló csillagok, sötét anyag gravitációs hatása
 - 1-100 m/s: exobolygók (szuperföld-Neptunusz-Jupiter), Nap típusú rezgések
 - 1- 10 cm/s: kozmológiai tesztek, exoföldek, exoholdak, ???

Színképvonalak - kozmikus traffipax



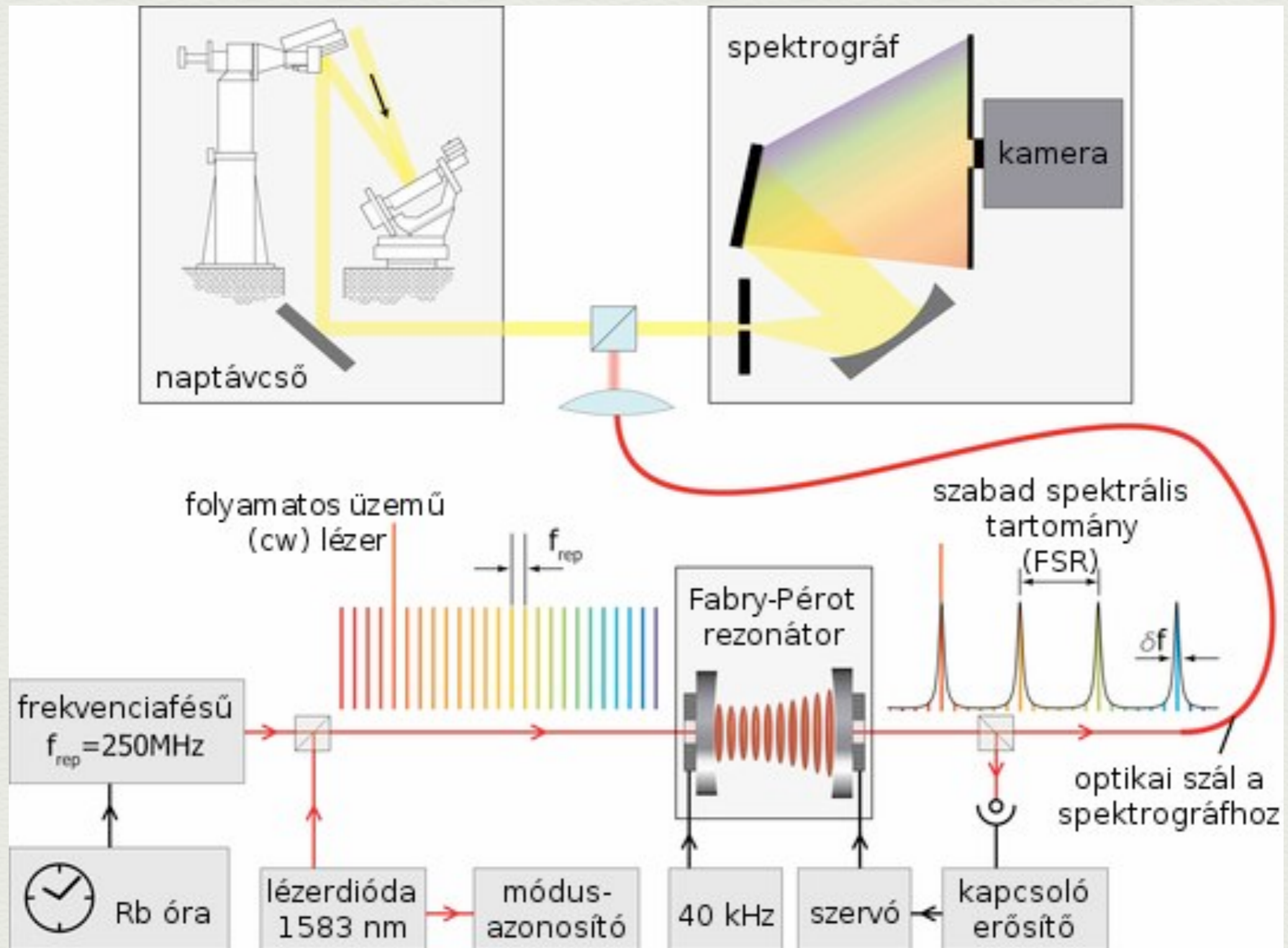
Hullámhossz-kalibráció: a pontosság kulcsa



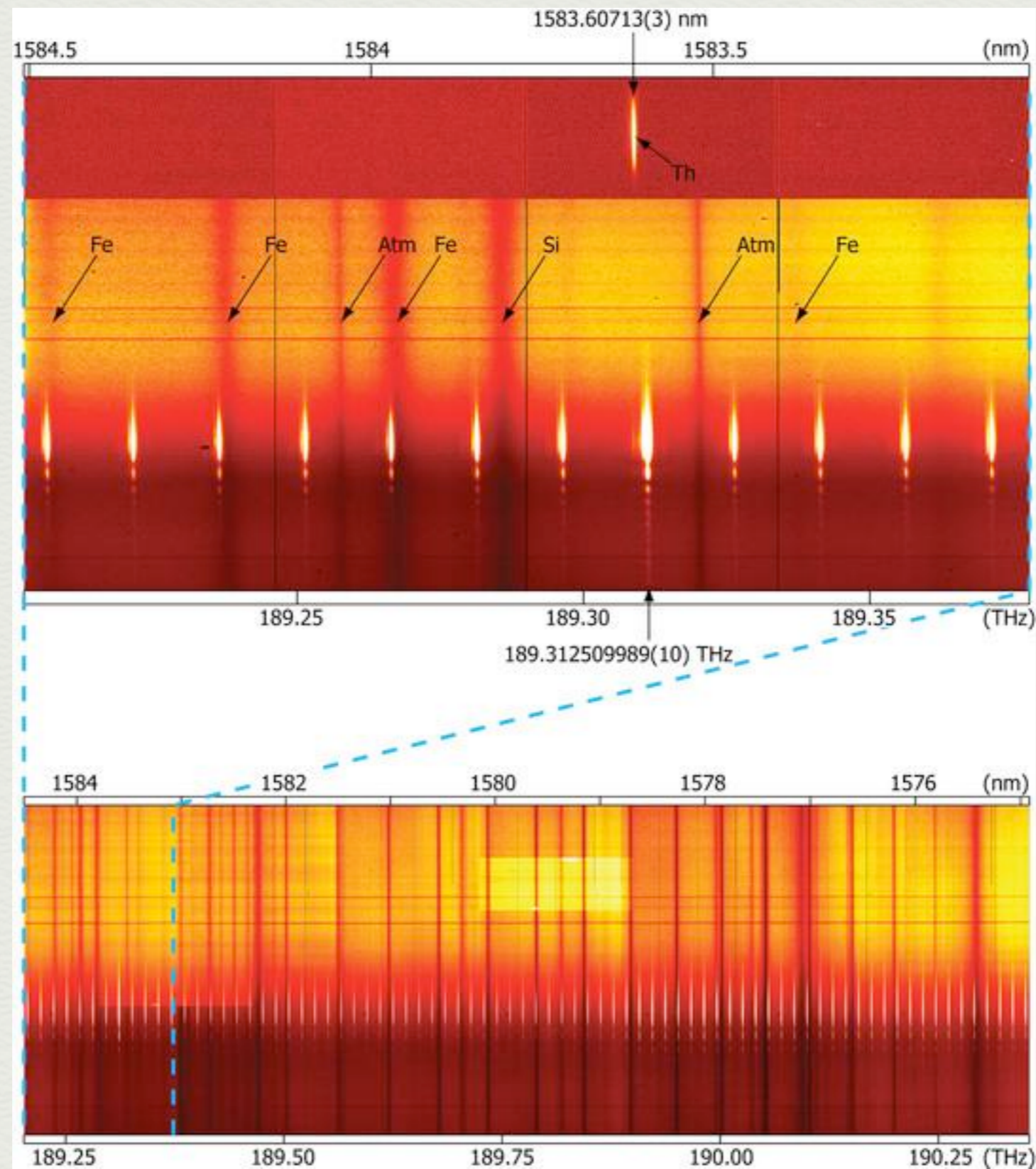
Egy jódcella



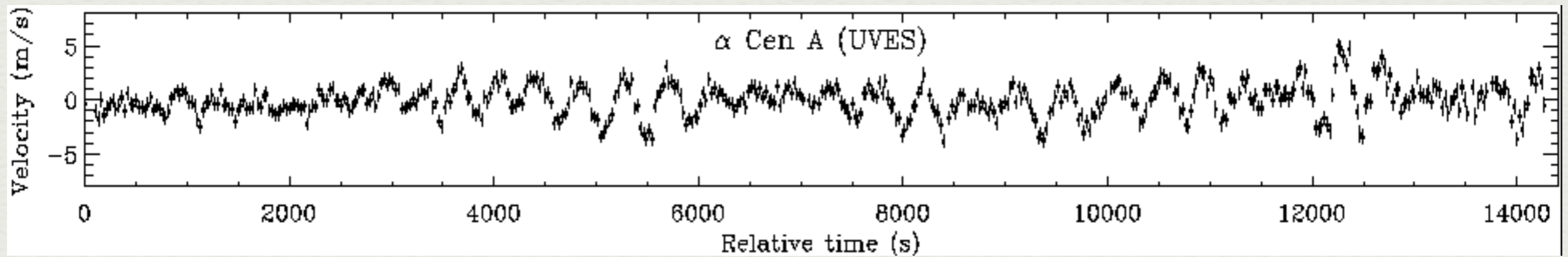
Lézerfésűk: továbblépés a cm/s pontosság irányába?



Napfény és a lézerefésű szimultán spektruma



Az alfa Cen A az UVES/VLT műszerrel



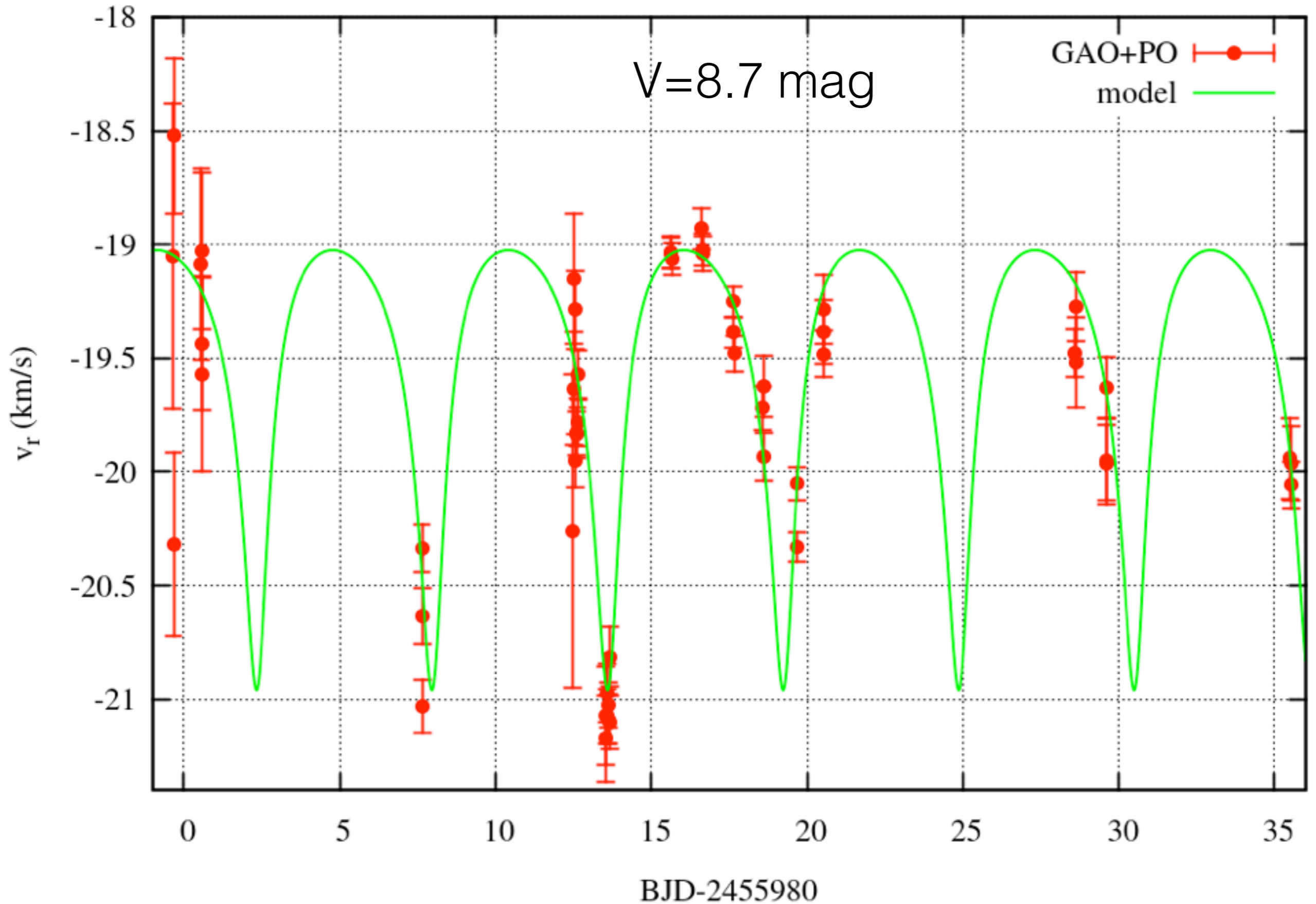
Pontosság: 50-70 cm/s. 3 s expozíciók, 8m-es távcső, a déli ég 3. legfényesebb csillaga

Butler et al. (2003)

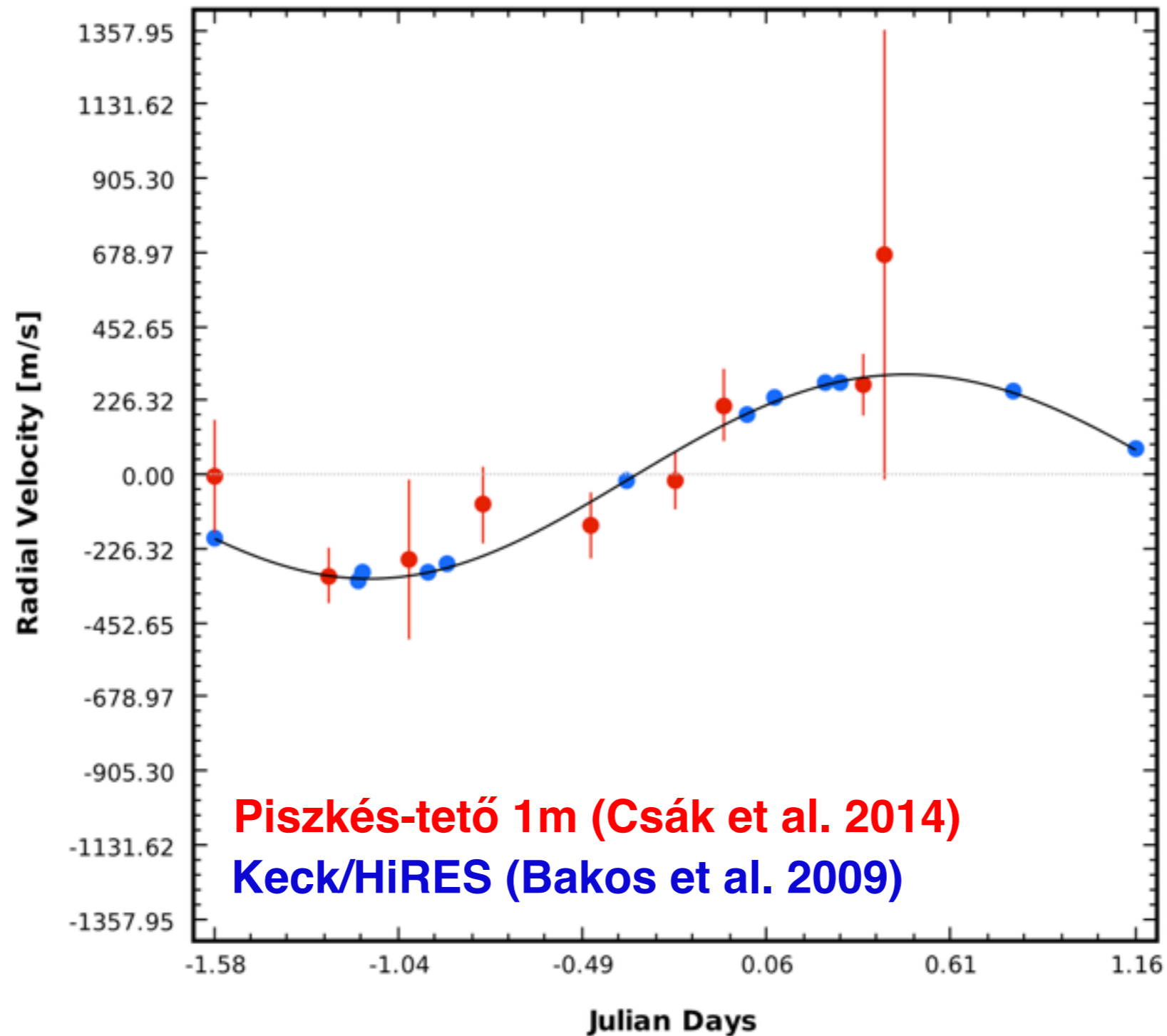
Pontosság: 10-50 cm/s. 10-20 perc expozíciók, 1-4m-es távcsövek, szabad szemmel látszó csillagok (kb. 6000)

Néhány csoport (2013)

HAT-P-2b (Csák et al. 2014)



HAT-P-22b (Csák et al. 2014)



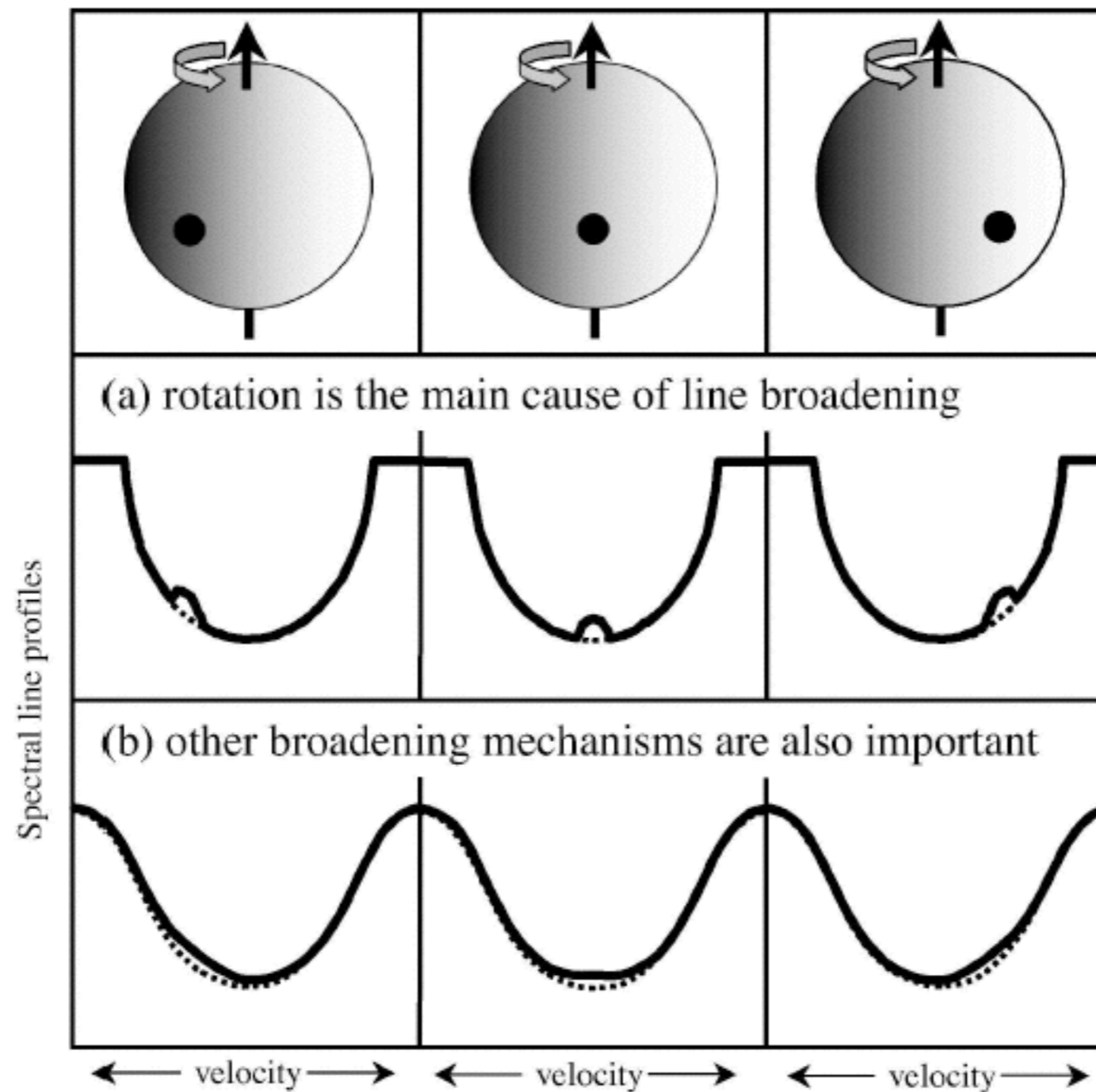


Fig. 5.— Illustration of the Rossiter-McLaughlin (RM) effect. The three columns show three successive phases of a transit. The first row shows the stellar disk, with the grayscale representing the projected rotation velocity: the approaching limb is black and the receding limb is white. The second row shows the corresponding stellar absorption line profiles, assuming rotation to be the dominant broadening mechanism. The “bump” occurs because the planet hides a fraction of the light that contributes a particular velocity to the line-broadening kernel. The third row shows the case for which other line-broadening mechanisms are important; here the RM effect is manifested only as an “anomalous Doppler shift.” Adapted from Gaudi & Winn (2007).

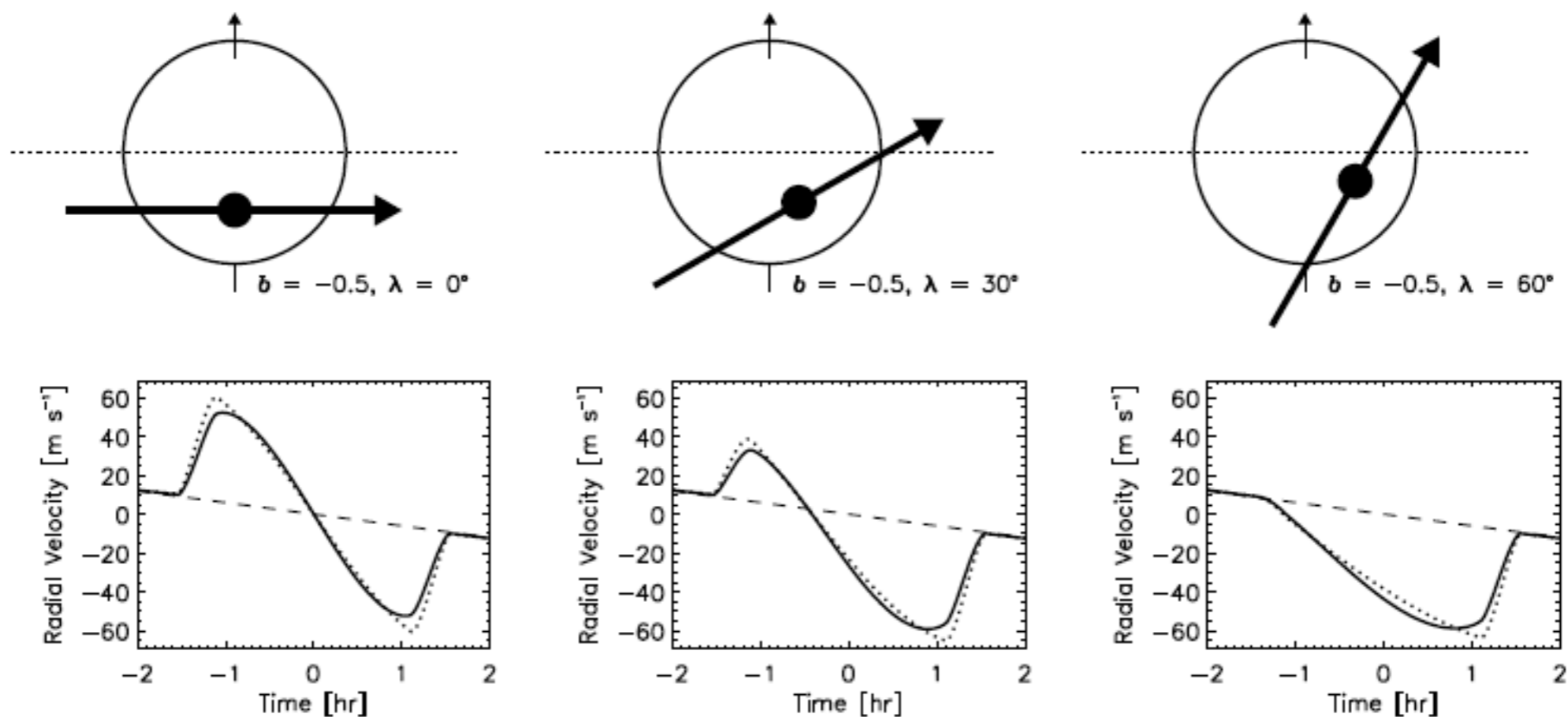


Fig. 6.— Using the RM effect to measure the angle λ between the sky projections of the orbital and stellar-rotational axes. Three different possible trajectories of a transiting planet are shown, along with the corresponding RM signal. The trajectories all have the same impact parameter and produce the same light curve, but they differ in λ and produce different RM curves. The dotted lines are for the case of no limb darkening, and the solid lines include limb darkening. From Gaudi & Winn (2007).

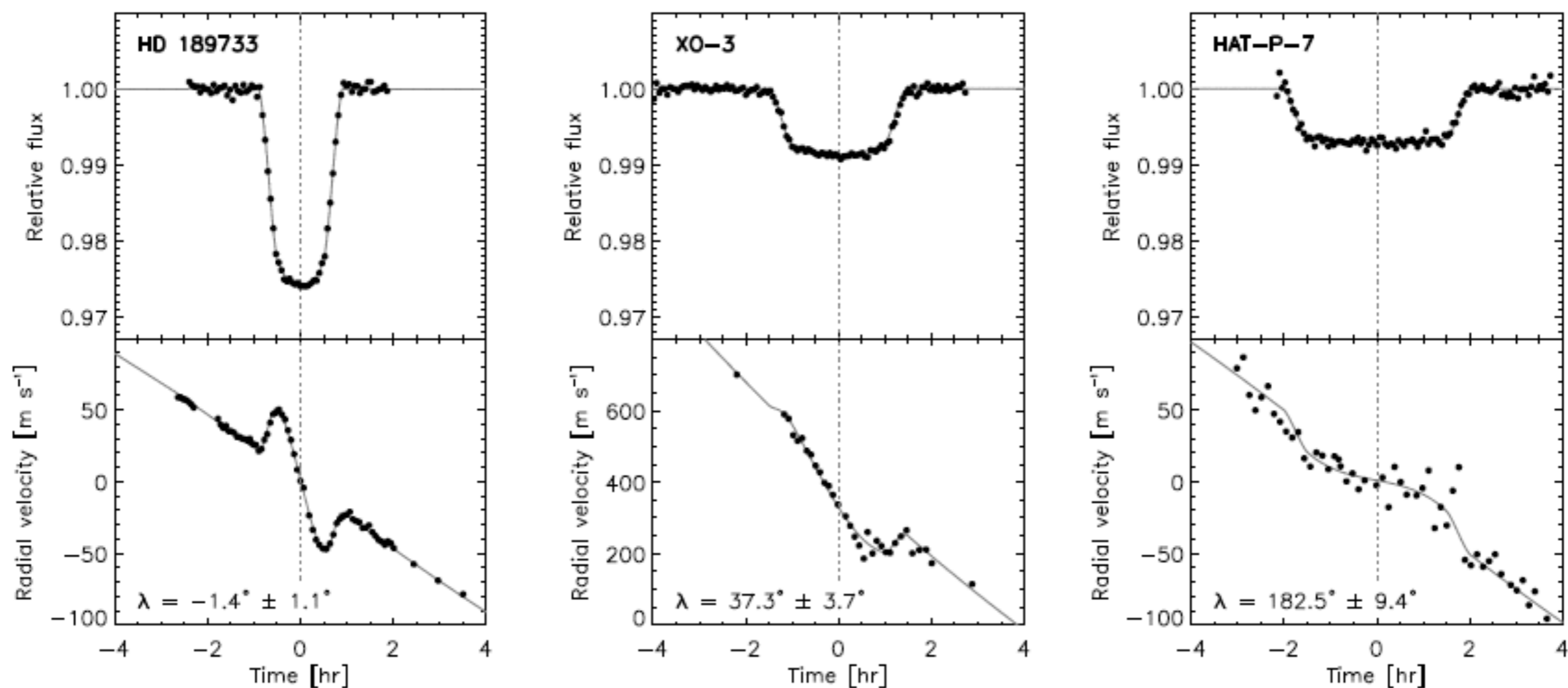


Fig. 14.— Examples of data used to measure the projected spin-orbit angle λ . The top panels show transit photometry, and the bottom panels show the apparent radial velocity of the star, including both orbital motion and the anomalous Doppler shift (the Rossiter-McLaughlin effect). The left panels show a well-aligned system and the middle panels show a misaligned system. The right panels show a system for which the stellar and orbital “north poles” are nearly *antiparallel* on the sky, indicating that the planet’s orbit is either retrograde or polar (depending on the unknown inclination of the stellar rotation axis). References: Winn et al. (2006; 2009a,b).

ÉGBOLTFELMÉRÉSEK

- **Nagyságrendi ugrások:**
 - **5000 csillag: szabad szemmel látszó égbolt**
 - **100 ezer csillag: távcsöves, vizuális felmérés - a Tejútrendszer szerkezete**
 - **10 millió csillag: fotografikus felmérés, égbolt homogén határfényességű lefedése**
 - **1 milliárd csillag: digitális felmérés - a Tejútrendszer 1%-a**
 - **Pánkromatikus és spektroszkópiai felmérések: populációk elkülönítése, precíziós kozmológia**

LSST: a digital color movie of the Universe

színes, digitális mozgóképek az Univerzumról

Željko Ivezić, LSST Project Scientist

University of Washington and

Konkoly Observatory

Research Centre for Astronomy and Earth Sciences

Hungarian Academy of Sciences, Budapest

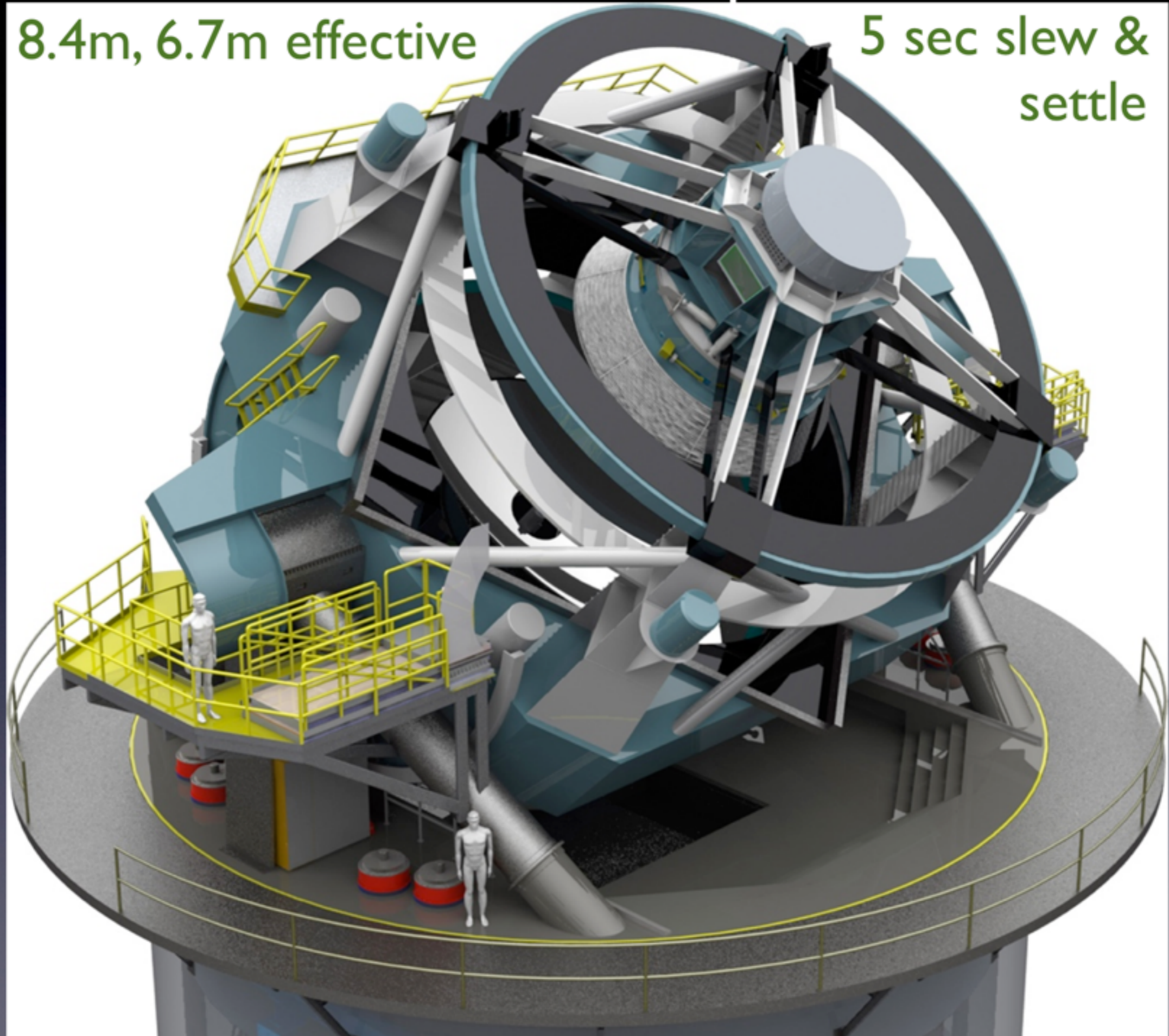
June 10, 2013



LSST Telescope

8.4m, 6.7m effective

5 sec slew &
settle



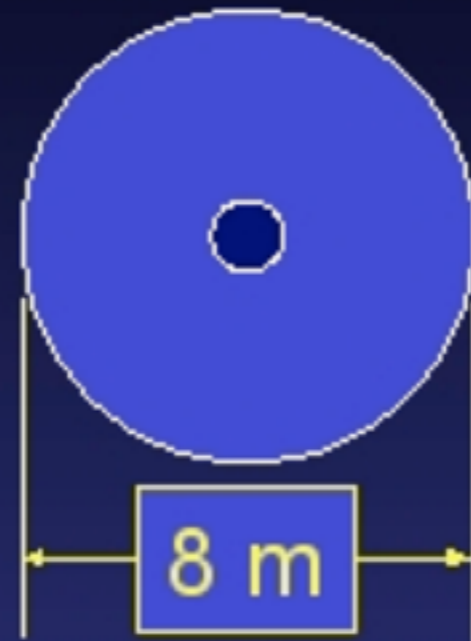
The field-of-view comparison: Gemini vs. LSST

Primary Mirror Diameter

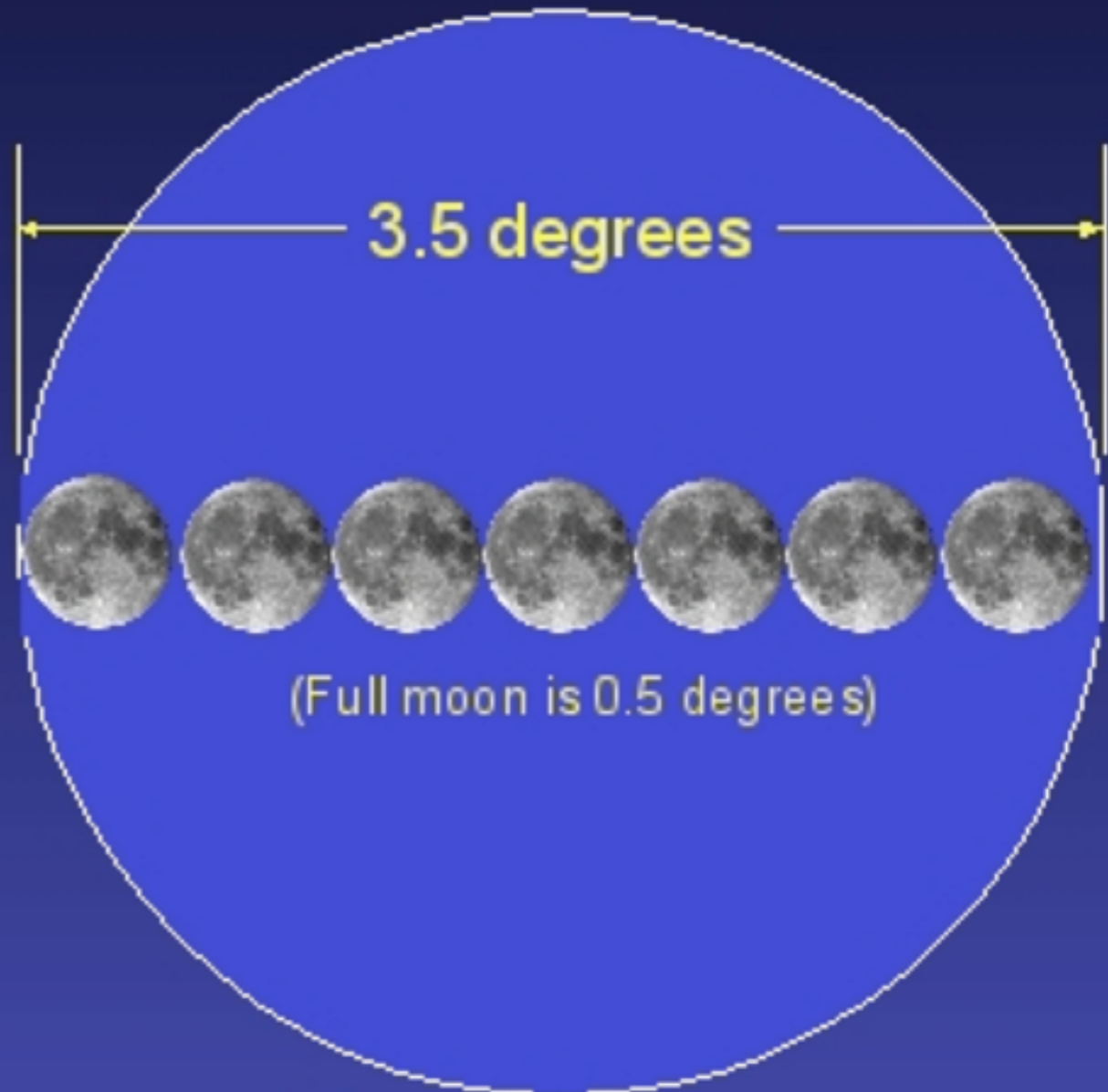
Field of View



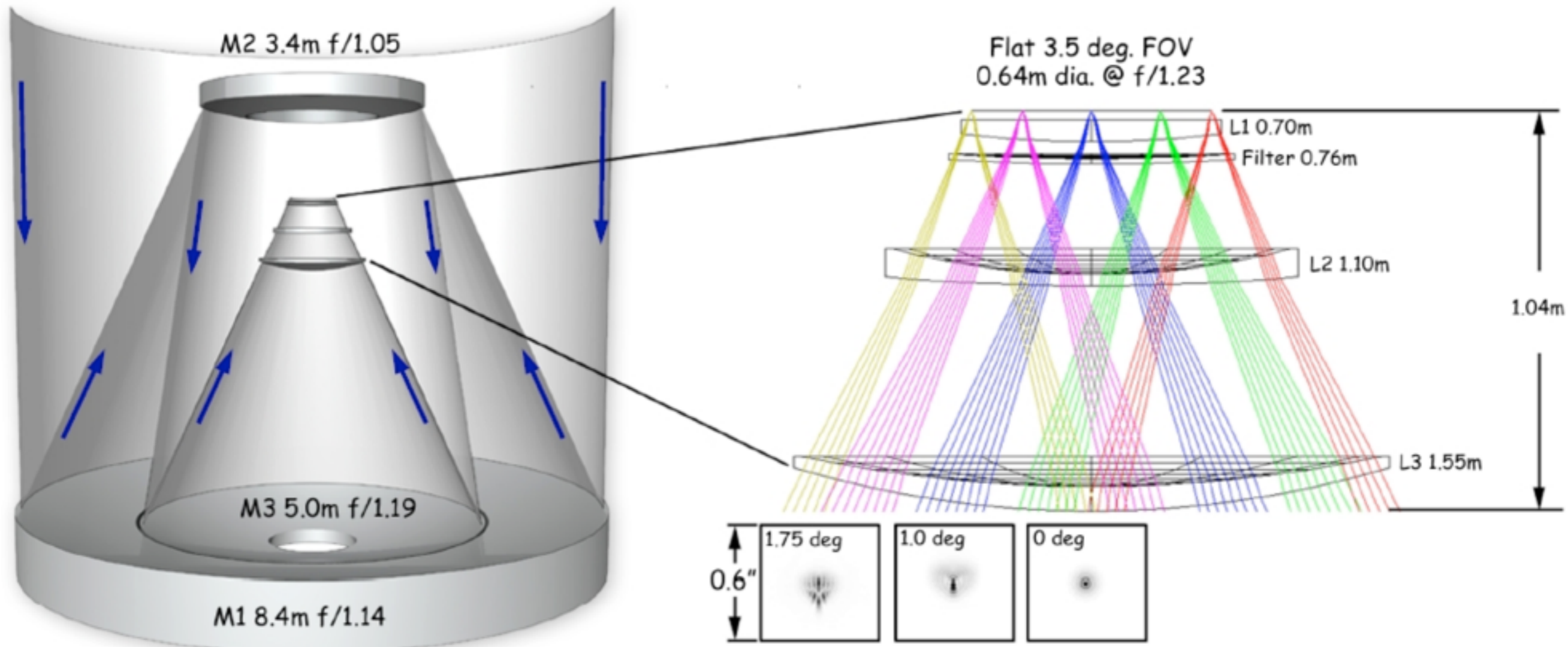
Gemini South Telescope



LSST



Optical Design for LSST



Three-mirror design (Paul-Baker system)
enables large field of view with excellent image quality:
delivered image quality is dominated by atmospheric seeing

The largest astronomical camera: 2800 kg, 3.2 Gpix

