

ŰRCSILLAGÁSZAT ŰRFOTOMETRIA

Összeállította: Szabados László

Szegedi Tudományegyetem
2019

Az űrfotometria jelentősége

- Mikrováltozások kimutatása: pontosság milli- és mikromagnitúdó között;
- Bolygókeresés fedéssel. Föld-típusú bolygók keresése, exobolygók pályaperturbációjának kimutatásával is
- Megszakítás nélküli, hosszú adatsor: asztroszeizmológia (tömeg, belső szerkezet, összetétel);

De általában csak 1 (optikai) sávban mérnek (színindex nem ismert). Emiatt pedig kooperáció szükséges más távcsövekkel.

Olcsóbb más űrcsillagászati projekteknél: kis országok önálló projektje: MOST, CoRoT, de „sérülékeny” (MONS, Eddington).

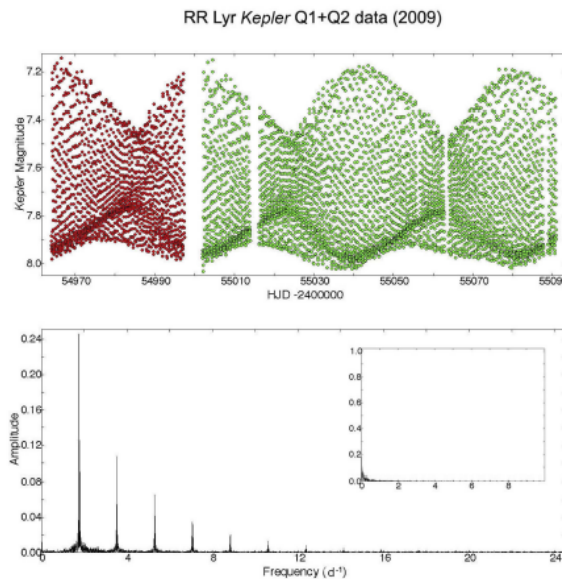
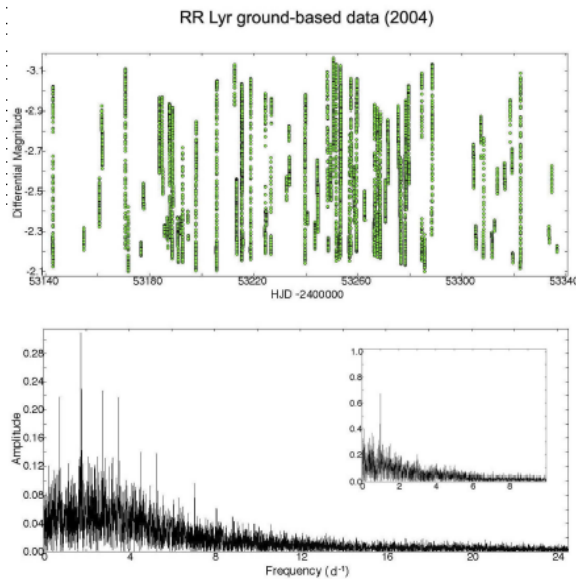
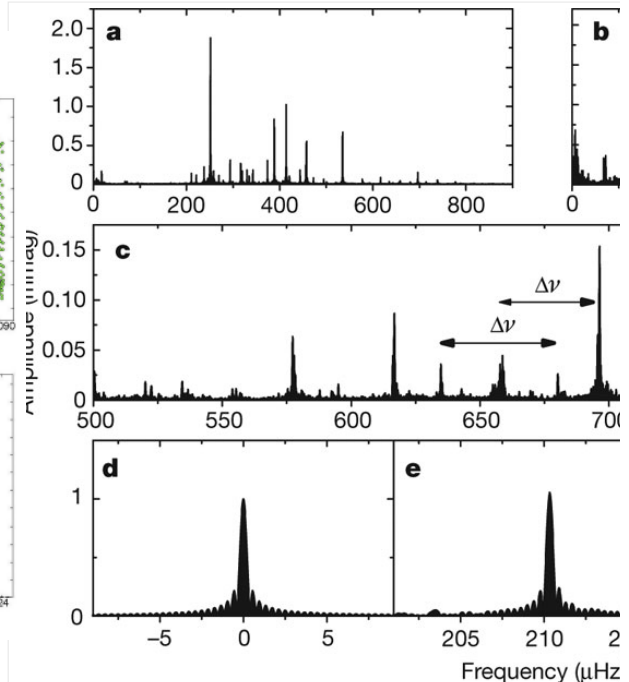


Figure 1: Fourier amplitude spectra of the Kepler light curve of HD 187547.



Név (időtartam)	Átmérő (cm)	Sáv (nm)	Megjegyzés
IUE (1978–1996)	45	széles	Fine Error Sensor, kalibrálatlan 0,03; vált.; vált.; UV színek készítése során
Hipparcos (1989–1993)	29	400–800 (<i>H_p</i>)	Tycho <i>B_T</i> : 350–500 nm; <i>V_T</i> : 460–600 nm 0,2; 30–380; 3 év; 118 000 (Tycho: $2,5 \times 10^6$)
HST (1990–)	240	460–700	Fine Guidance Sensor 0,001; vált.; vált.; több millió
WIRE (1999–2011)	5,2	<i>V + R_J</i>	csillagkövető 0,005; $> 10^3$; 21 nap; 200 fényes csillag
INTEGRAL (2002–)	5	Johnson <i>V</i>	Optical Monitoring Camera 0,04; vált.; vált.; $> 10^3$
Coriolis (2003–2011)	1,3	széles	a SMEI űrszondán 0,02; $> 10^3$; több év; a szabad szemmel látható csillagok
MOST (2003–2014)	15	380–800	limitált mező (CVZ) 0,0001; $> 10^3$; legfeljebb 60 nap; 5000 fényes csillag
CoRoT (2006–2012)	27	350–1000	nagyon limitált mező 0,0001; $> 10^5$; fél év; 120 000
Kepler (2009–2013)	95	400–900	nagyon limitált mező 0,00003; $> 10^5$; 4 év; 150 000
BRITe (2013/2014–)	3	550–700 vagy 390–460	5 űrszonda: 3 kék, 2 vörös sávban 0,001; $> 10^3$; 30–180 nap; ~1000 fényes csillag
Gaia (2013–)	68	330–1050 (<i>G</i>)	<i>G_{BP}</i> : 330–680 nm; <i>G_{RP}</i> : 640–1050 nm 0,001–0,020; ~70; > 5 év; 1,6 milliárd csillag
K2 (2014–2018)	95	400–900	kis mezők az ekliptika mentén 0,0005; 10^5 ; 80 nap; 350 000
TESS (2018–)	$4 \times 10,5$	600–1000	nagy látómező 0,0005; $> 10^4$; 27 nap; 200 000
CHEOPS (2019–)	30	400–1100	indításra vár 0,00002; n.a.; n.a.; exobolygók fényes gazdacsillagai

A megjegyzések
2. sorában szereplő
adatok:

- pontosság;
- észlelések száma
1-1 csillagra;
- az adatsor hossza;
- az észlelt csillagok
száma

Vannak fotometriai tárgyú cikkek az OAO–2 (1968–1973), a COBE (1989–1993) és a STEREO (2006–) mérései alapján is.

Fotometriai űrprojektek összehasonlítása

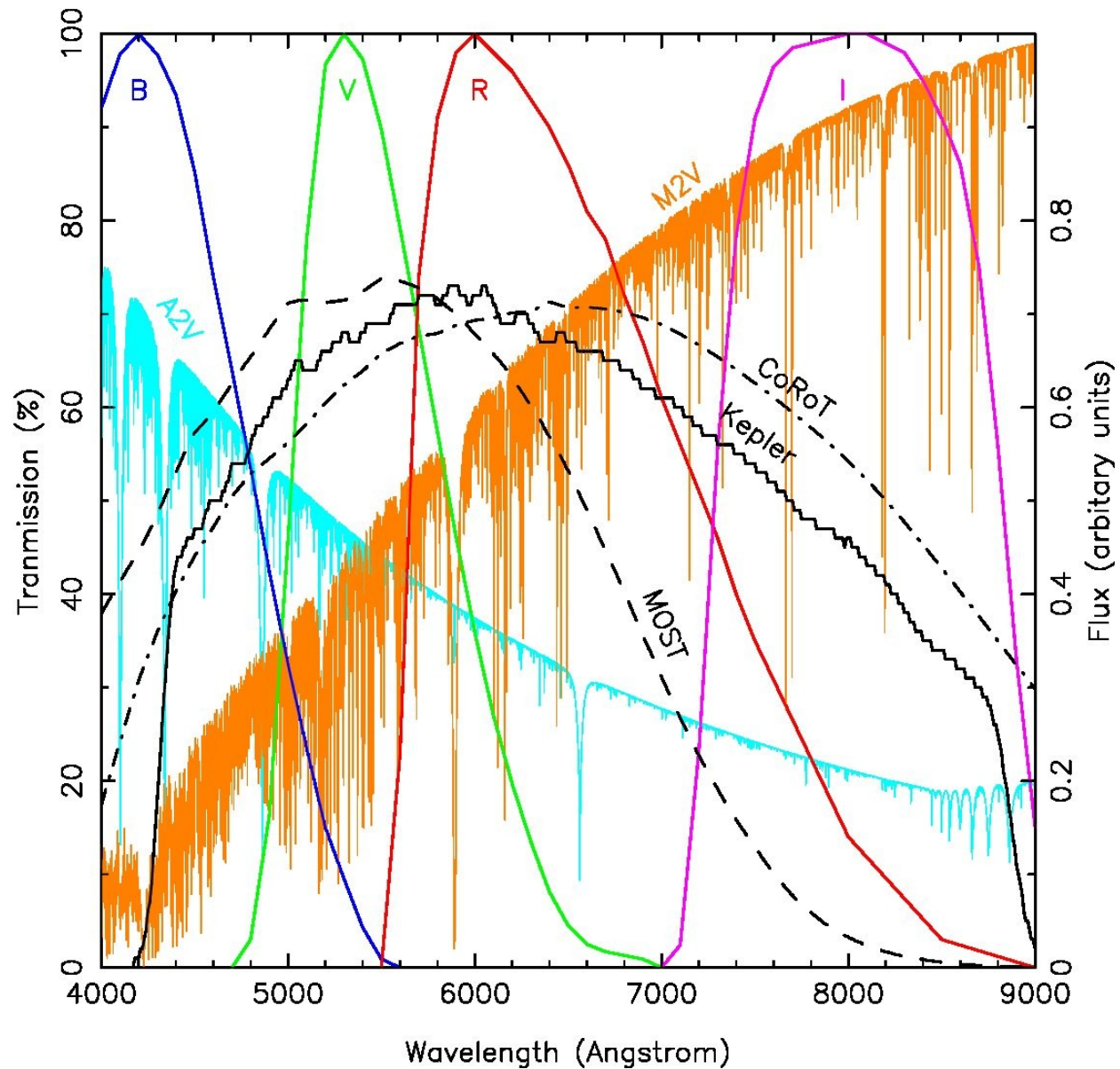
Table 1. Comparison among different past, current, and future space missions with asteroseismology

	MOST	CoRoT	<i>Kepler</i>	
			<i>Kepler</i>	K2
Mission years	≥ 13	6.5	4	≥ 4
Telescope aperture (cm)	15	27	95	
Orbit	Geocentric polar	Geocentric polar	Earth-trailing heliocentric	
Duty cycle (in %)	Variable	>90	>95	
Cadence	<1 min	32/512 s	59 s/29 min	
Pointing freedom	Free	Several fixed FOVs	Fixed FOV	Free
Sky coverage (in square degrees)	PIT ^b	<600	100	$\approx 80\%$ ecliptic plane

Notes. ^(a)Weak coverage for Dec in the range $[-6^\circ, 6^\circ]$. ^(b)PIT = pointing individual targets.

BRITE	TESS	CHEOPS
≥ 4	≥ 2	≥ 3.5
5×3	4×10.5	32
Geocentric low Earth	High Earth elliptical	Geocentric sun-synchronous
Variable	>95	[60, 100]
1 s	20 s/2/30 min	60 s
Ecliptic plane PIT ^b	All sky monitoring Almost full ^a	Free PIT ^b

Fotometriai űrprojektek összehasonlítása



Az űrfotometria kezdetei

Nehezen indult el, mert az optikai tartomány a Földről is észlelhető. Először más célú űreszközökkel végeztek fotometriát.

VV Ori (B1V + B7V): az **OAO-2**-vel mérték (jobbra).

Fedési kettősök fontossága: pontos csillagtömeg és -sugár fénygörbe és rad.seb.-adatok alapján. (T_{eff} ismeretében luminozitás és távolság is.)

Voyager szondákkal spektrális méréseket végeztek fedési kettősökről.

β Lyrae: **OAO-2**-vel UV-fotometria 2 héten át (lent), + IUE + Voyager (spektr.)

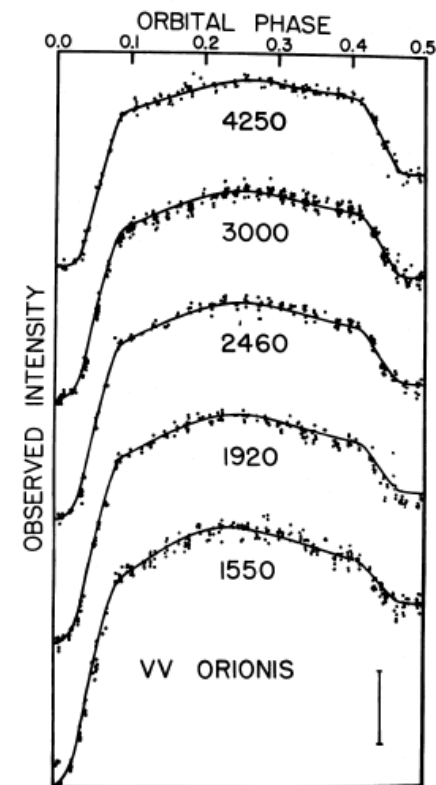
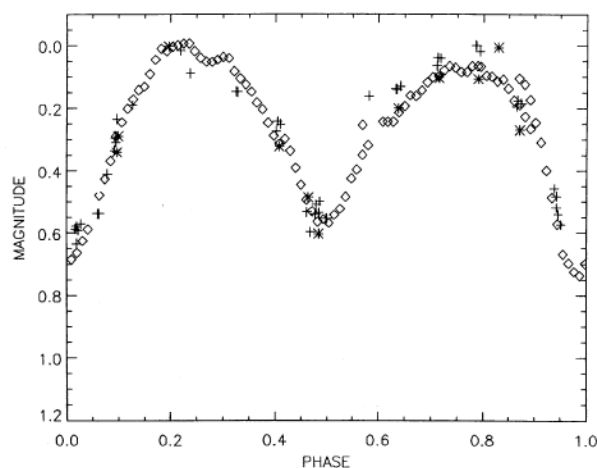
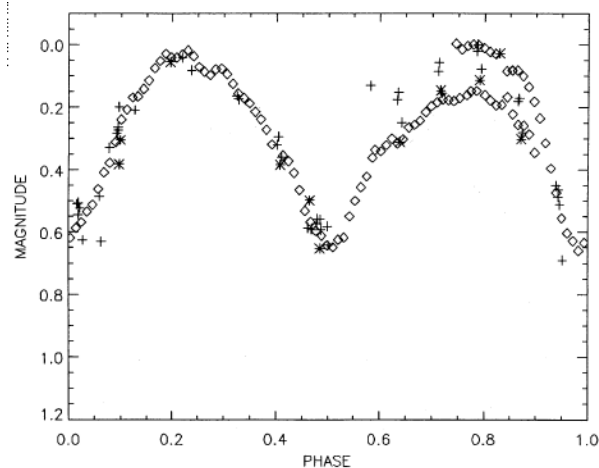


FIG. 2.—The best fit of the five OAO 2 light curves for VV Ori. The flux through the photometer, normalized to

Az űrfotometria kezdetei

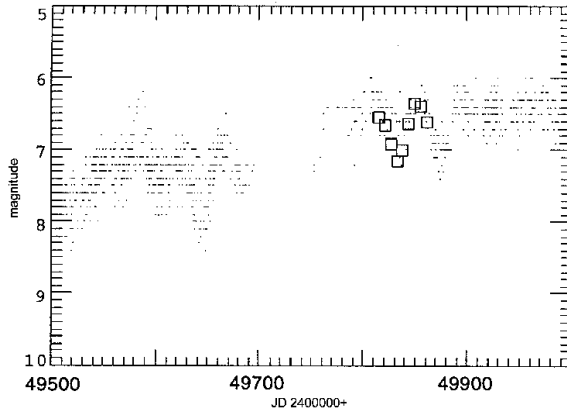
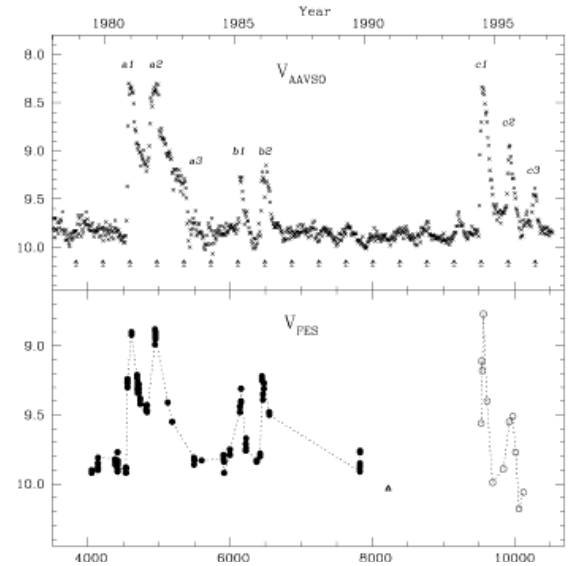
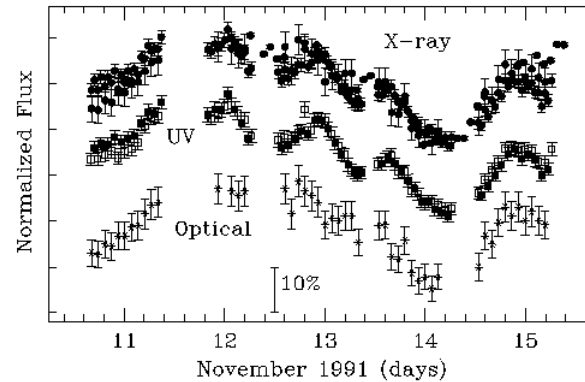


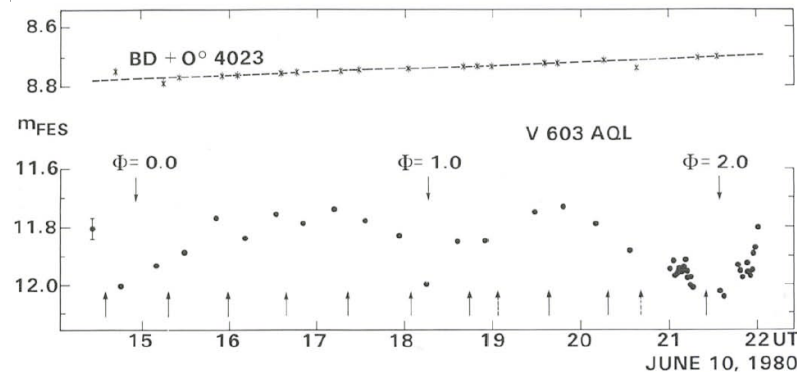
Figure 1. RY Sgr light curve from AAVSO visual observations (dots) and IUE's fine error sensor (squares). At the time of the IUE observations, the star appears to be almost fully recovered from its deep minimum of JD 2449160 to JD 24492270.



IUE (1978-1995): FES (helyzetérzékelő), de nem volt kalibrálva a fotometriai rendszer, és nem volt stabil, viszont jól mutatta az űrfotometriában rejlő lehetőséget.

IUE-vel 300 fedési kettősről van fénygörbe (de az időbeli mintavételezés nem jó)

Fent: RY Sgr, kvazár, AG Dra (szimbiotikus, K3III); jobbra: V603 Aql (nóva+EB)



Hipparcos + Tycho

1989-1993 között működött, de az idősor mintavételezése az asztrometria céljaihoz volt igazítva. 11597 változócsillag (>8000 új) a 118218 programcsillag között. Még fényes cefeidákat is talált és rengeteg SPB-csillagot (periódus 1 naphoz közeli).

Tycho projekt: B-V adatok is.

Waelkens et al. (1998): 267 újonnan felfedezett B-csillag: 4 β Cep, 72 SPB, 34 változó CP, 32 szuperóriás alfa Cyg, 7 változó Be, 7 fedési, 17 nem klasszifikálható.

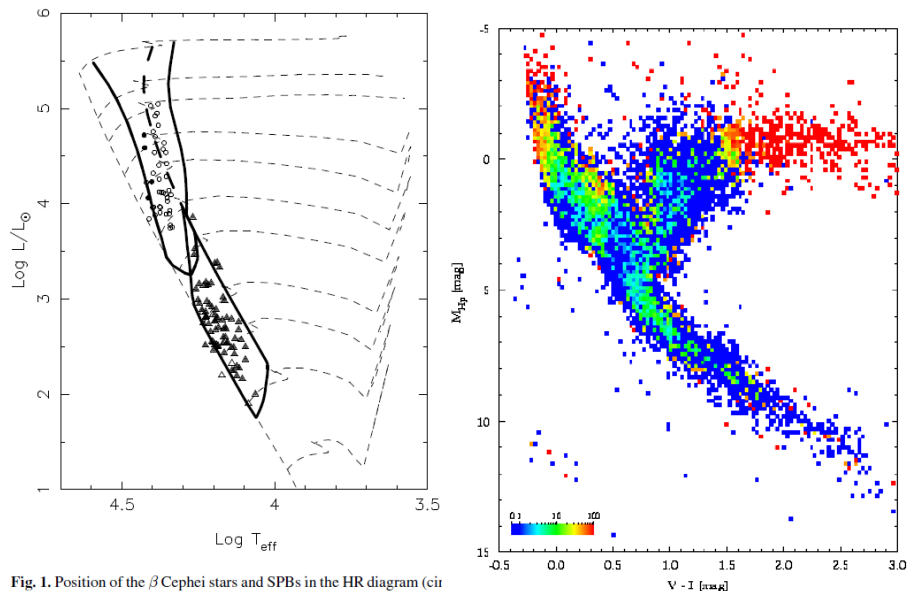
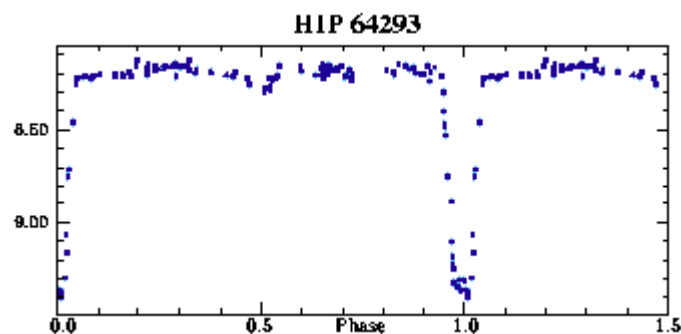
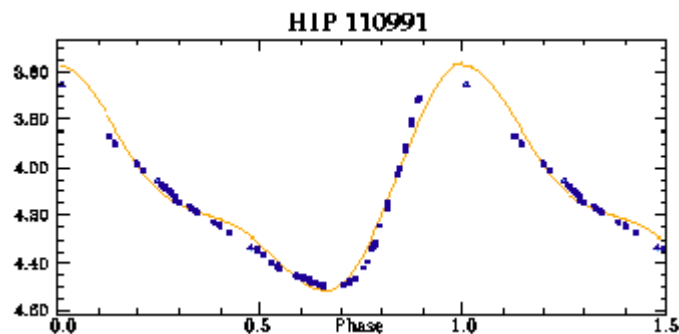


Fig. 1. Position of the β Cephei stars and SPBs in the HR diagram (circles: β Cephei stars, triangles: SPBs). The previously known variables are indicated by the open symbols while the variables discovered by Hipparcos are denoted by the filled symbols. The instability strips were

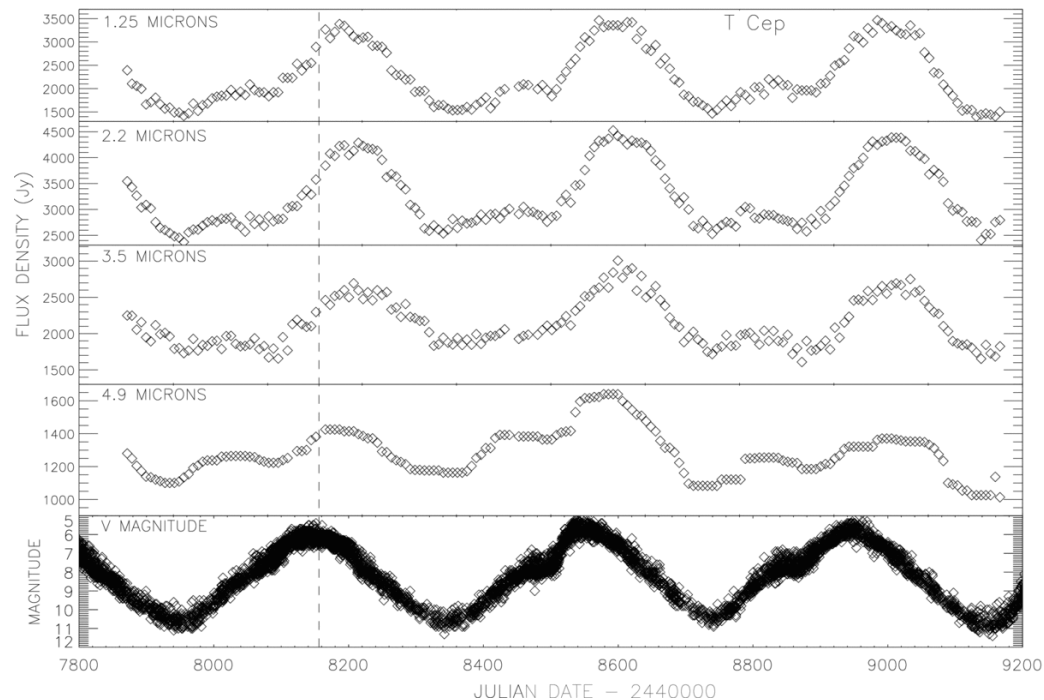


Fotometria a COBE szondával

COBE (1989-ben indították): 10 hónapig mért hűtött műszerekkel
+ 2,75 év meleg üzemmód = 3,6 éves idősor az archivált adatokban.

2652 csillag közeli-IR fluxusát mérték ki a DIRBE (Diffuse Infrared Background Experiment) adataiból. Vörös óriás és AGB-csillagok körüli burok viselkedése, fáziskülönbség az optikai és IR-fénygörbe között.

Példa: T Cephei (2010-ben megjelent cikk).



Fotometria a HST-vel

Hubble-űrtávcső (1990–): volt rajta gyorsfotométer (HSP) optikai és UV fotometriára, de a COSTAR miatt feláldozták.

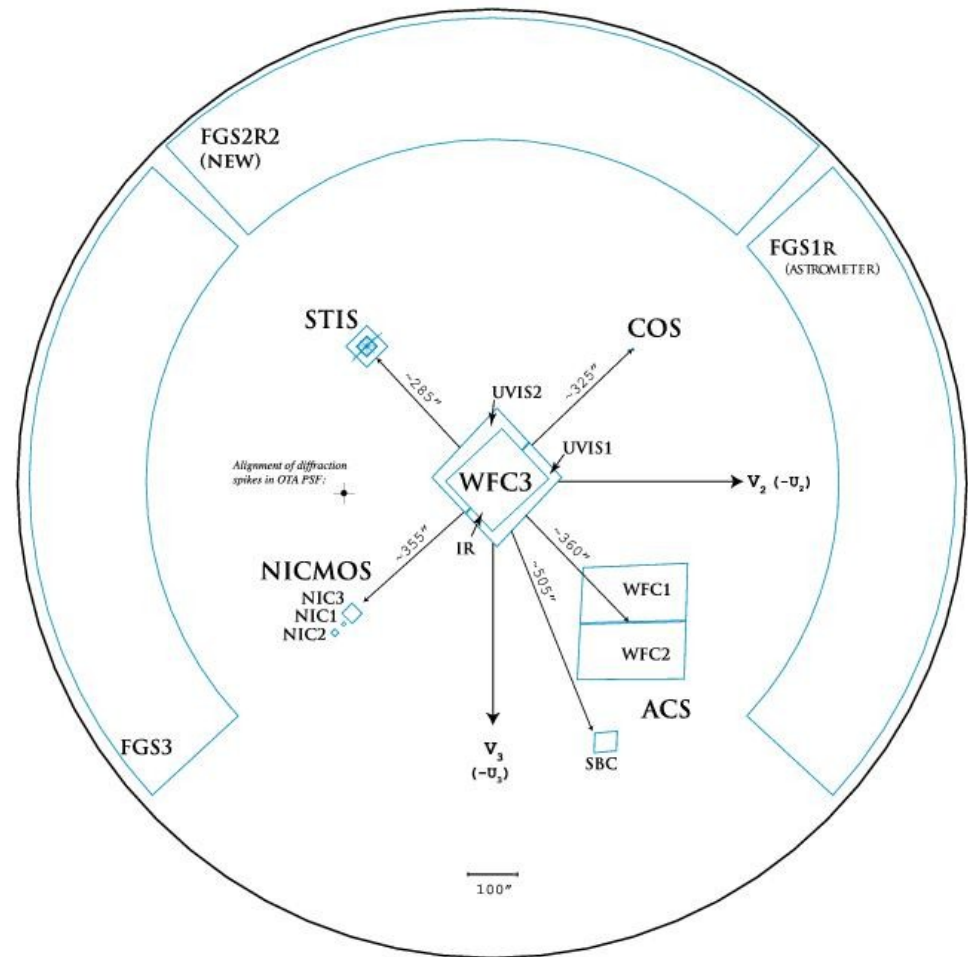
Az FGS lényegében gyorsfotometriát végez a GSC kiválasztott csillagairól 25 ms integrálással. A 3 FGS-ből legalább kettő folyamatosan működik.

A pontosság jobb 0,001 magnitúdónál.

Minden adat archiválva van.

Adatbányászattal új változócsillagok, de a GSC-ben nincs asztrofizikai információ (színindex, spektráltípus). A fénygörbe nem mindig elég a típusba soroláshoz.

Sőt a képek is kiértékelhetők fotometriai célból.



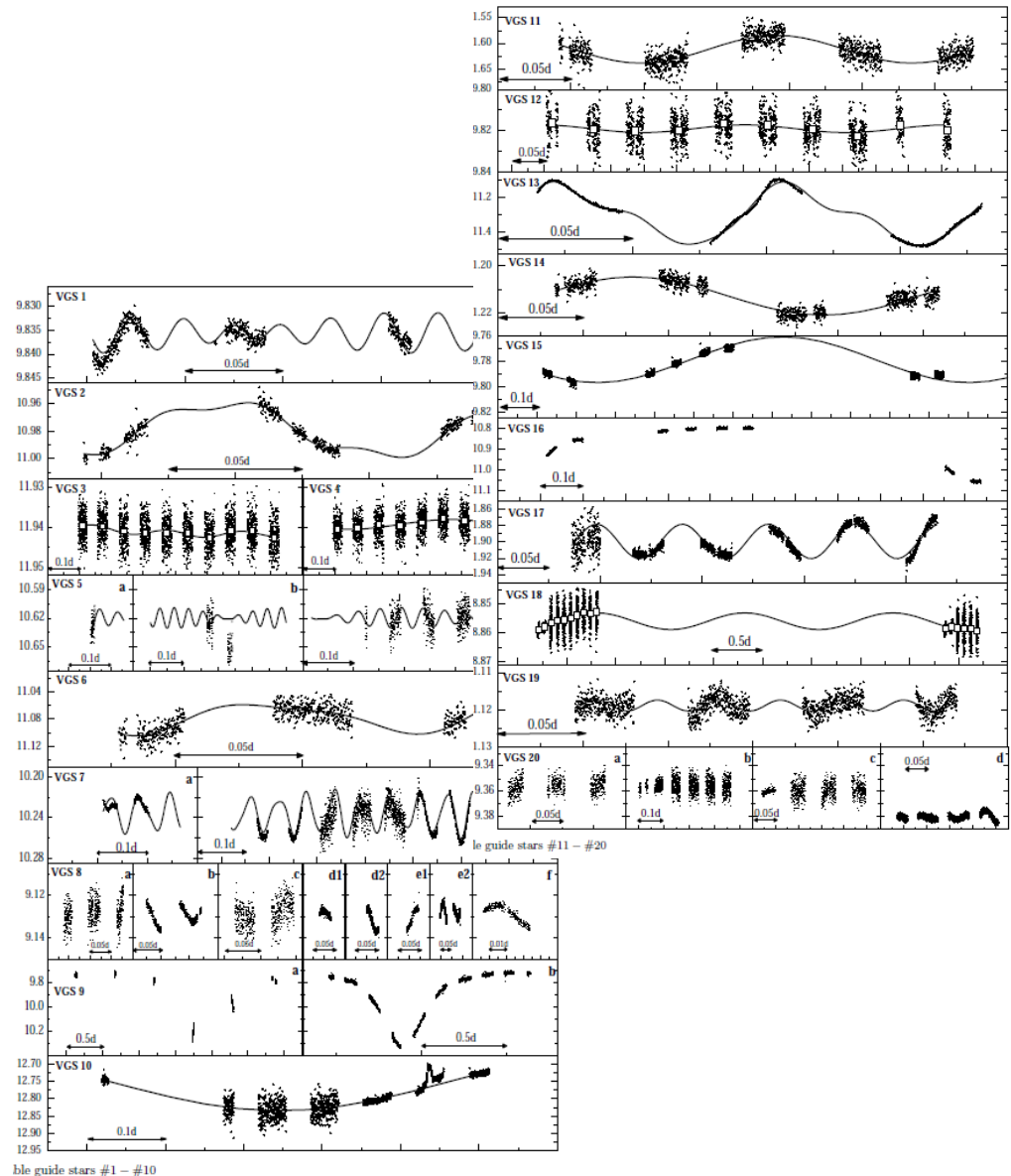
Fotometria a HST-vel

Találomra választott 5000 csillag 18%-a változik. Sok δ Sct és fedési változó, és a K-óriások között is sok változócsillag (nem a forgási periódussal).

A fotometriát megzavaró tényezőket ki kell szűrni:

- A műszert zavarja a dél-atlanti anomália (az idő 15%-ában);
- A Föld szórt fénye (600 km-re a felszíntől!).

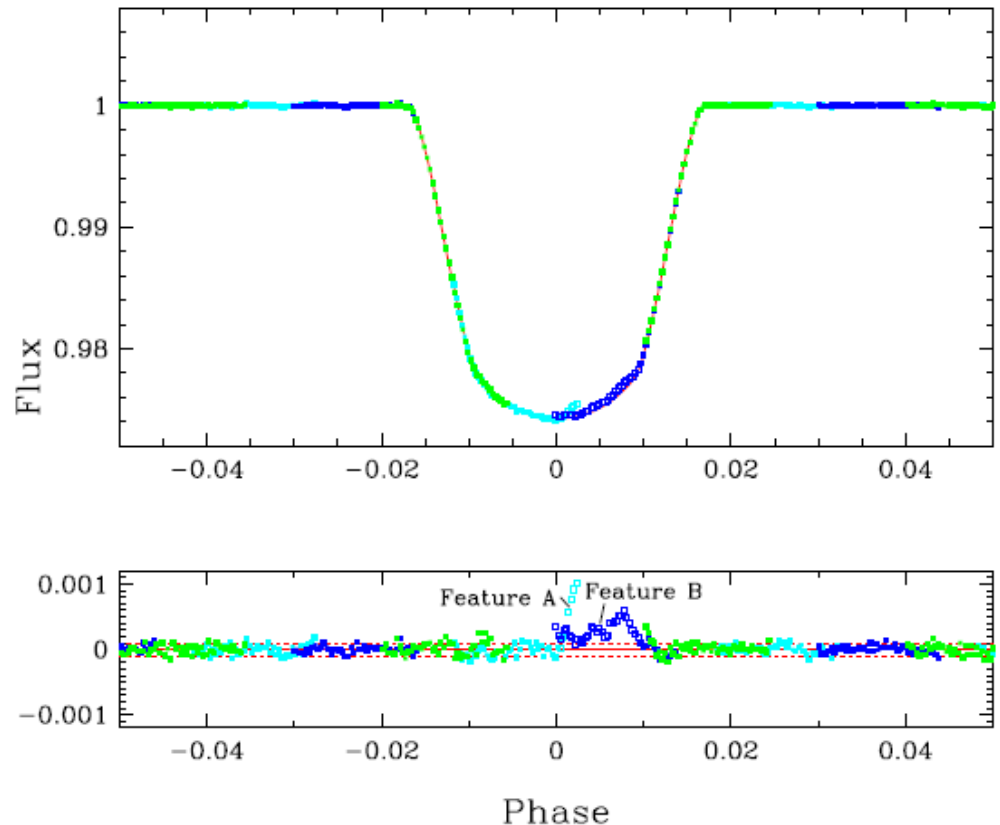
Ezek hatását a HDF-N 10 napos folyamatos észlelése alapján mérték ki.



Fotometria a HST műszereivel

Exobolygó-fedési fénygörbe: HD 189733b: $P=2,218583$ nap; az ACS-sel észlelt fénygörbe finomszerkezete alapján hold és gyűrű léte kizárható; az átlagos fedési fénygörbétől való eltérést csillagfoltok okozzák.

Aktív változócsillag
V452 Vul néven,
röntgenaktivitását
az Exosat és a ROSAT
is észlelte.
Korábban észlelt foltok
alapján $P_{\text{rot}}=13,4$ nap.
Az újabban végzett
MOST-fotometria alapján
viszont 11,8 nap.
Az eltérés a foltok
migrációjának hatása
lehet.



Fotometria a HST műszereivel

Kétféle fotometriai program:

- idősor-fotometria egy vagy több objektumra,
- a teljes látómező pontos fotometriája.

Csillagok tömeges fotometriája alapján (főleg az ACS-sel):

- szín-fényesség diagram finomszerkezete;
- populációk eloszlása gömbhalmazokban és extragalaxisokban (eltérő fémtartalmú csillagnemzedékek; előtér- és háttércsillagok megbízható kizárása); a gömbhalmazok csillagpopulációiban nemcsak a fémtartalom eltérő, hanem a He-tartalom is (meglepő).

Az ω Cen fősorozata 2 párhuzamos sávra hasad: 2 csillagképződési epizód volt;

NGC 2808: fősorozata 3 párhuzamos sáv;

NGC 1851: szubóriás ága kettős (0,12 magnitúdó különbséggel). A horizontális ágon kék és vörös populáció lesz majd. A fényesebbikből lesz a vörös (normális kémiai összetétel), a halványabbakban C- és N-többség, s-folyamat során kialakuló elemek többlete (10-100 millió évvel fiatalabbak).

A felbontható galaxisokban vizsgálható a csillagkeletkezés története és a halmazok kezdeti tömegfüggvénye (pl. Magellán-felhők).

Az eddigiek tanulsága + a véletlen szerepe

Érdemes megfelelő tervezésű (távcső, detektor, pálya) fotometriai űrszondákat készíteni. MOST, MONS, CoRoT egy időben indult projektek, később az Eddington, de részben elbuktak. Ezek előtt a véletlen és Derek Buzasi ötlete segített.

WIRE (Wide Field Infrared Explorer):

1999. III. 4: infravörös-szonda csillagontó galaxisok vizsgálatára. A kamerát hűtő cseppfolyós H napok alatt elillant. 1999. májustól a csillagkövetővel (52 mm $\varnothing$ + 512 $\times$ 512 [27 μ m] pixel) fényes csillagok fotometriája (V+R sávra érzékeny, 1 pixel $\approx$ 1 ívperc). Földi távcsővel ráadásul nem is észlelnék ilyen fényes csillagokat.

Napszinkron pálya, 96 perces keringési periódussal. (2006-ra 93 perc lett). (2011. V.: a légkörbe érve megsemmisült, de csak 250 kg volt.)

A napelemek helyzete miatt a Nap-Föld-irányra merőleges kb. 30 fokos sáv volt észlelhető. Az idő 30-40%-át használták ki (szoftvermódosítás után).

1999-2000-ben észleltek, majd támogatás híján szünet, és csak 2003. decembertől folytatták, pedig kezdettől rengeteg érdekes eredmény született (kooperációban más földi és űrtávcsövekkel).

WIRE

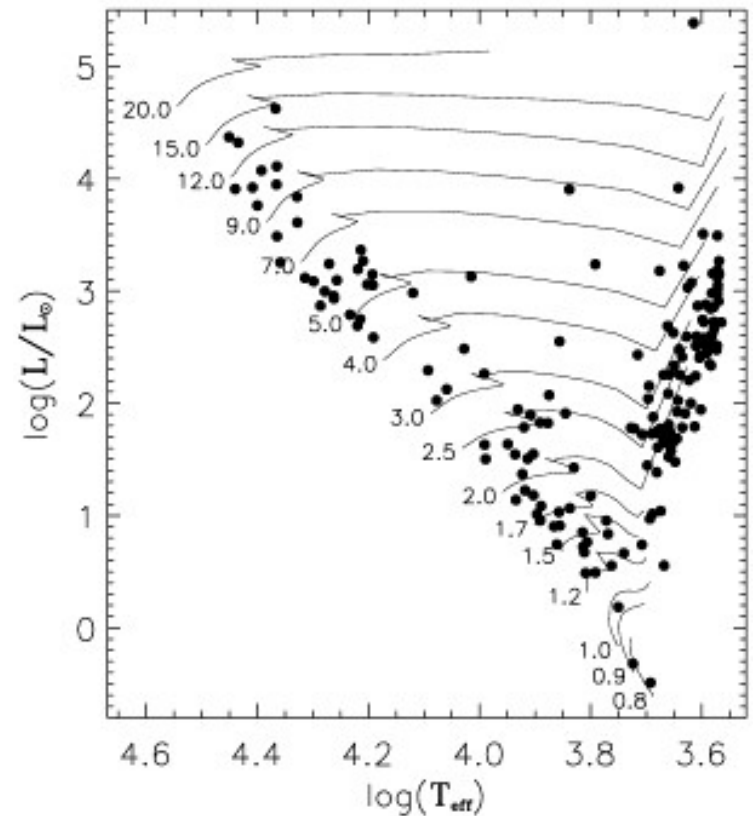
Az első két évben a látómező elfordult a CCD-képen, nehezítve a másodlagos forrásokról kapott adatok kiértékelését (flat-field képet nem lehetett készíteni).

2003. XI.-tól más észlelési mód, a másodlagos célpontok is mozdulatlanok a CCD-képen. A látómezőben 4 másodlagos célpont észlelhető, a fő programcsillaghoz kell igazodni. A fedélzeti számítógép választott a látszó fényesség alapján (8 négyzetfokos látómező).

A pontosan vizsgált források száma néhány tucatról 200 fölé nőtt.

A jobb frekvenciafelbontás (hegyesebb csúcsok) érdekében néhány többmódusú pulzátort fél év elteltével újra mértek.

IR-holdként 4 hónapig működött volna. Így 2 ciklusban majdnem 8 évig mértek vele. (1999. V.-2000. IX., 2003. XII.-2006. X.)



re 2: Hertzsprung-Russell diagram of about 200 stars observed with WIRE.

A WIRE eredményeiből

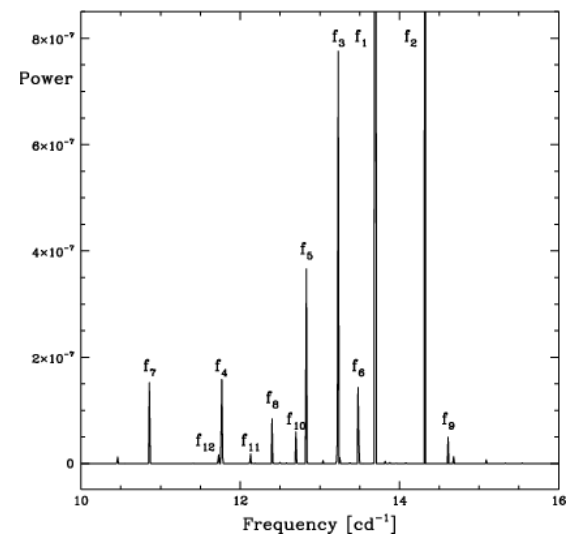
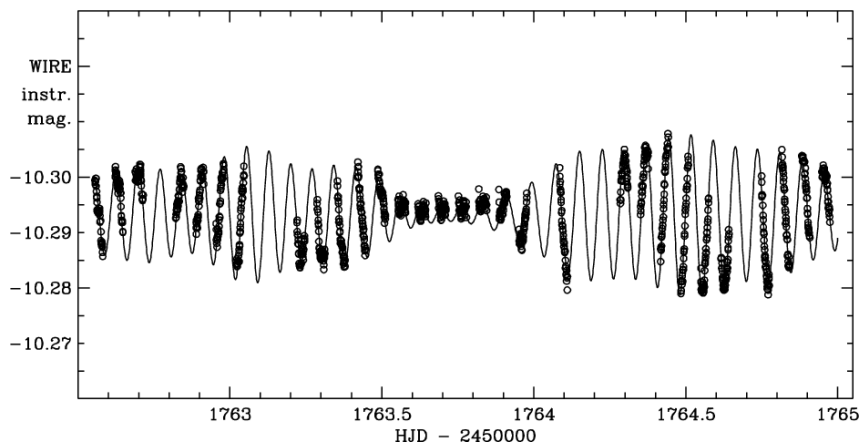
Nap-típusú csillagok oszcillációi (jellemzői: kis amplitúdó, rövid élettartam, módusfrekvenciák fésűfogszerű eloszlása állandó értékű felhasadással)

α Cen (Rigel Kentaurus, G2V): 50 napos adatsor, fésűszerű teljesítmény-színkép, p-módusú oszcillációk (v_{rad} -észlelésekkel utóbb megerősítve, 40 módus); a módusok élettartama kb. 2,5 nap.

β Hyi (G2IV): már elfejlődött a fősorozatról, de fésűfogas a teljesítményszínképe, kb. 4 napos módusélettartammal.

δ Scuti típusú változócsillagok: radiális + több nem radiális módus kis amplitúdóval, jellemzően mikrováltozók.

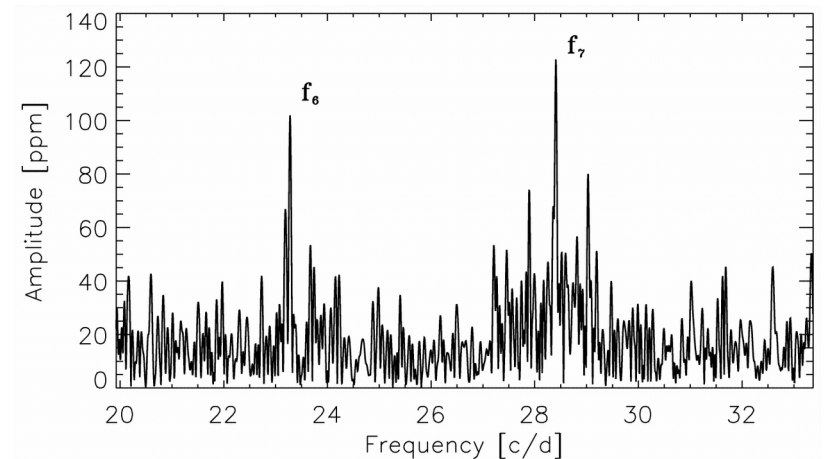
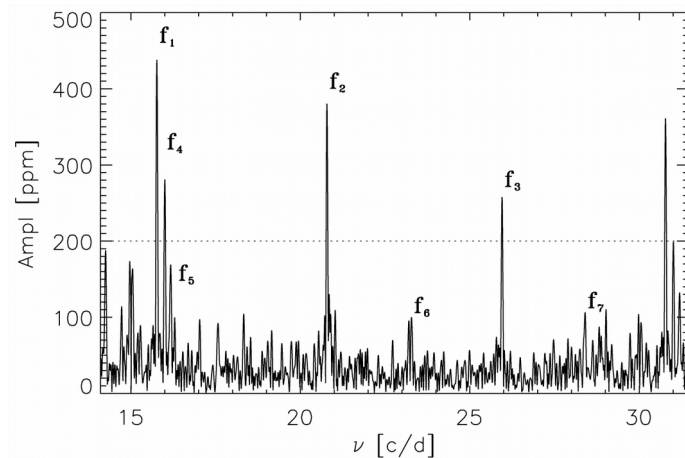
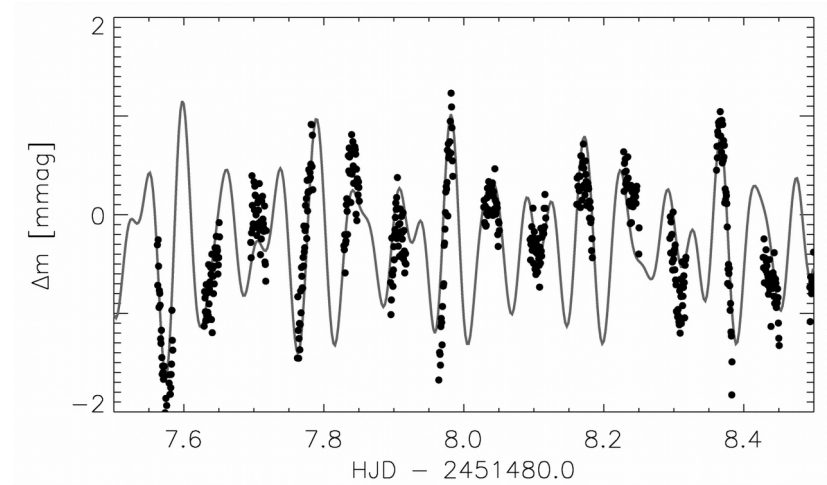
θ^2 Tauri (A7III + kísérő): 2000-ben 20 napon át 1 millió adat; 12 frekvencia, összhangban a földi kampány eredményeivel, spektroszkópiai kettős, keringési periódusa 140,7 nap.



A WIRE eredményeiből

A nagyon fényes csillagok földi távcsövekkel nehezen vagy nem észlelhetők (fotometrálni 40–100 cm-es távcsövekkel szoktak).

Altair (A7IV-V) a legfényesebb DSCT-csillag lett ($V=0,75$, a 12. legfényesebb csillag). 1999-ben 1 hónapig mérték, és 7 frekvenciát találtak 0,1–0,5 mmag közötti amplitúdóval.



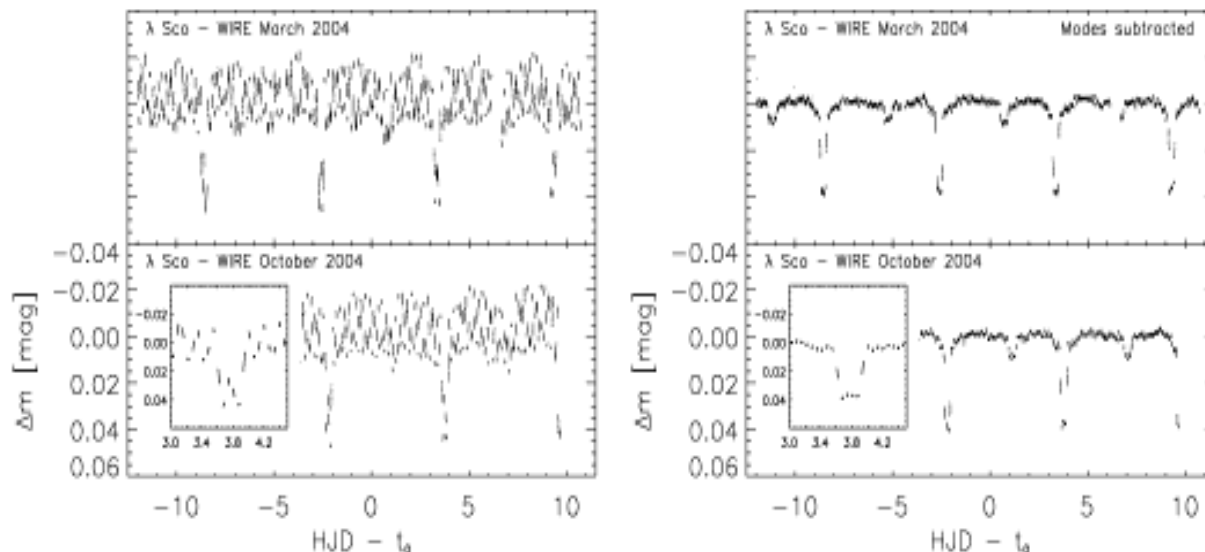
A WIRE eredményeiből

B típusú csillagok: 30-nál több BCEP és SPB-csillagot észleltek a WIRE-rel.

β Cru (Mimosa, B0,5IV): a spektrum alapján talált változását fotometriával megerősítették + 4 további módust találtak 0,2-0,3 mmag amplitúdóval.

κ Sco (Girtab, B1,5III): ismert többperiódusos BCEP volt, de újabb kis amplitúdójú módusokat fedeztek fel.

λ Sco (Shaula, B2IV): az 1083 napos SB egyik komponense BCEP csillag. A pulzációt levonva fedési változás is előtűnt, tehát hármas rendszer. A komponensek tömege és sugara is kiszámítható.



A WIRE eredményeiből

Fedési fénygöréből a komponensek fizikai tulajdonságainak meghatározása
 ψ Cen (A0IV): fedések felfedezése + SMEI 2 évnyi adatsora a periódus-meghatározáshoz; B9+A2, $P=38,813$ nap; a relatív sugarak 0,1% pontosak. A főcsillagban g-módusú oszcillációt is találtak, pedig kissé hidegebb, mint az SPB-csillagok instabilitási sávjának jobb széle.

β Aur (Menkalinan, A2IV): az addig kapott legpontosabb fénygörbe szétválasztott kettőscsillagra; a szélsőtétedési törvényt is vizsgálni tudták.

$$R_1 = 2,762 \pm 0,017 R_{\text{Nap}} ; M_1 = 2,376 \pm 0,027 M_{\text{Nap}}$$

$$R_2 = 2,568 \pm 0,017 R_{\text{Nap}} ; M_2 = 2,291 \pm 0,027 M_{\text{Nap}}$$

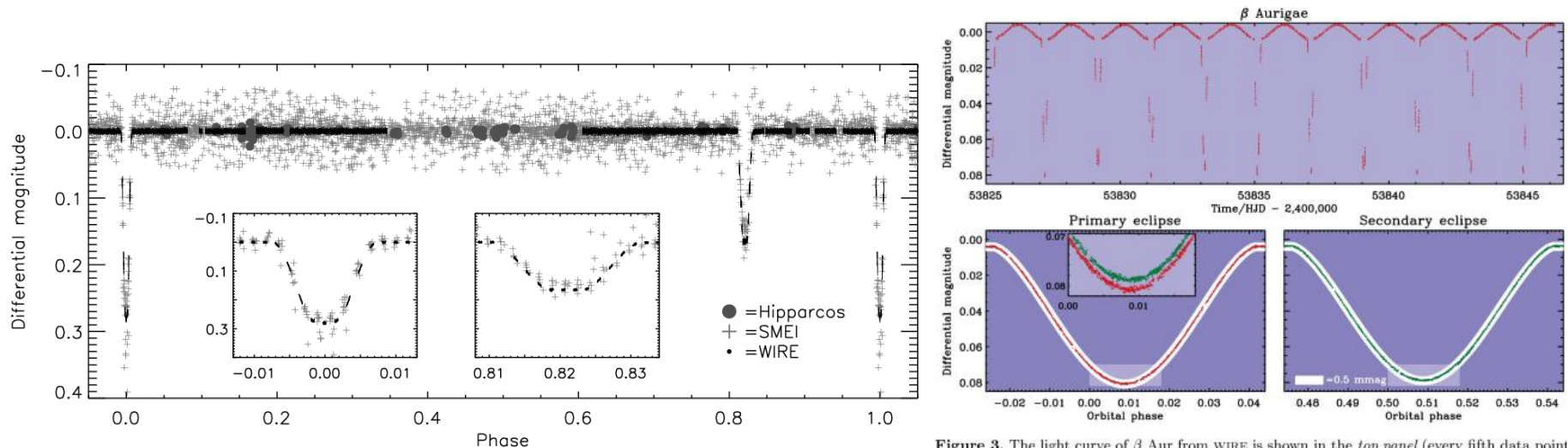


Figure 3. The light curve of β Aur from WIRE is shown in the *top panel* (every fifth data point is plotted). The *bottom panels* show the phased light curve around the primary and secondary eclipses. The slight difference in the depths of the primary and secondary eclipses is seen in the inset in the *bottom left panel*.

Az INTEGRAL OMC mérési adatai

INTEGRAL: ESA-szonda
2002-től.

OMC: Optical Monitoring
Camera.

V=18 magnitúdónál
fényesebb 70000
pontforrás fénygörbéje;
5263 forrás bizonyult
változónak (sok ismert
változócsillag, de eddig
téves periódussal).

J. Alfonso-Garzón et al.: The first INTEGRAL-OMC catalogue of optically variable sources

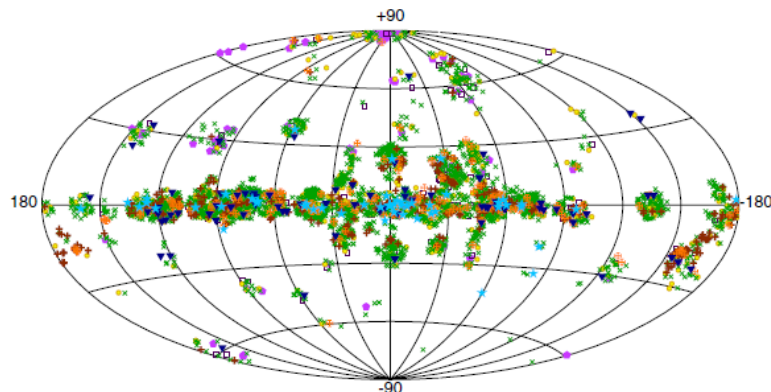
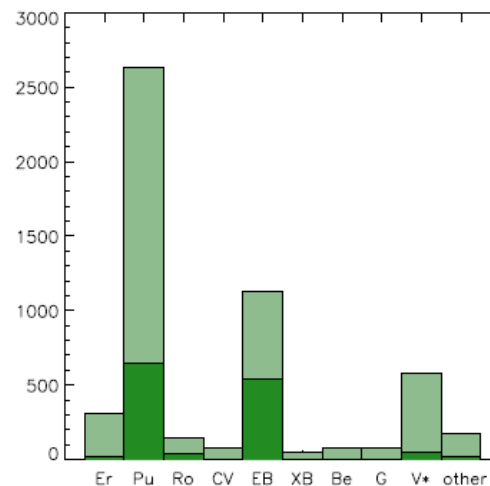
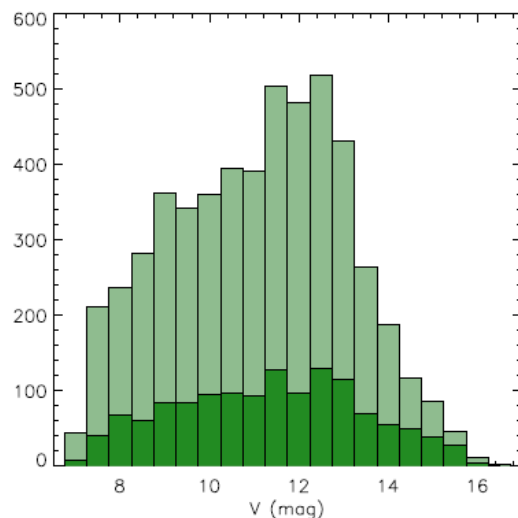
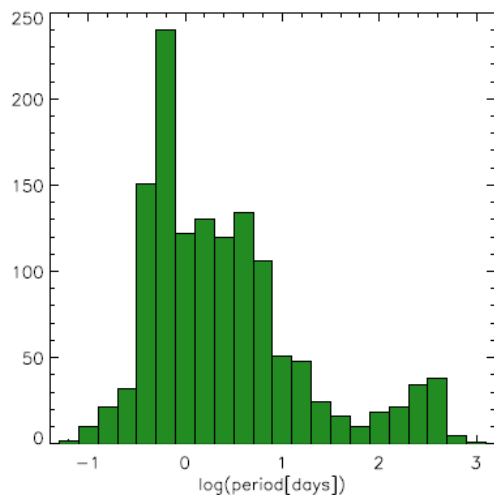


Fig. 6. Distribution in galactic coordinates of all the sources in the catalogue. The green crosses represent pulsating stars, the red filled points correspond to eclipsing binaries, the brown pluses are eruptive stars, the orange complex pluses represent rotating stars, the inverted dark blue filled triangles represent cataclysmic variables, the light blue filled stars are X-ray binaries, the yellow filled points correspond to objects simply classified as variable stars, the purple filled pentagons represent extragalactic objects and the empty purple squares are other types of objects.

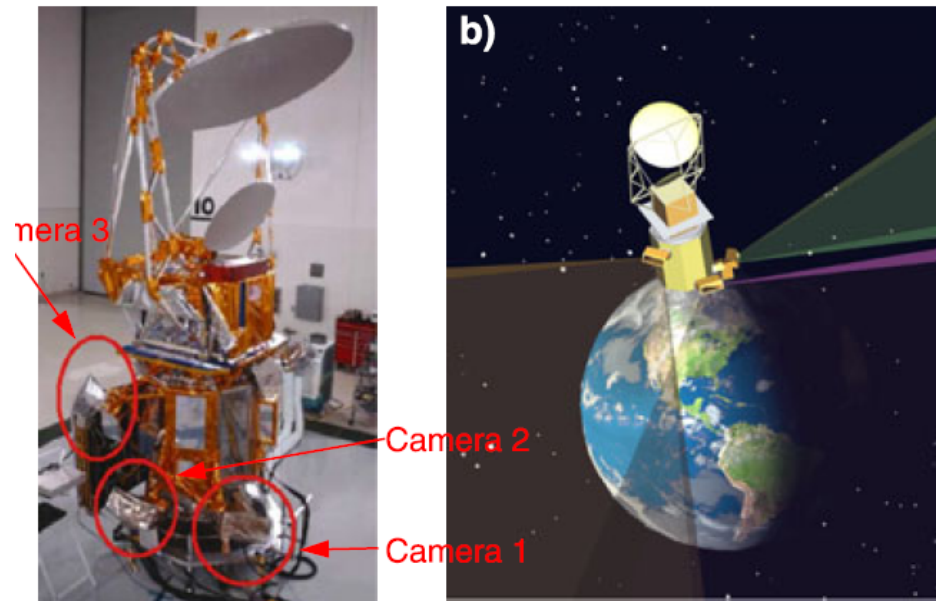


SMEI a Coriolis szondán

SMEI: Solar Mass Ejection Imager, koronakitörések gázanyagának követése képalkotással. A US Air Force által 2003. jan. 2-án felbocsátott Coriolis légkörkutató szondán Titan–2 rakétával 830 km magasra juttatott, poláris napszinkron pályán, 101 perces periódussal keringő szonda. 2011 őszén deaktiválták.

A SMEI-n 3 kamera volt, egyenként 60×3 fokos látómezővel. 170×3 fokos csíkot észlelt. Minden keringés alatt végigészlelte a teljes eget. A fényes csillagokról 0,01-0,001 magnitúdó pontosságú fotometriai adat.

A változócsillagászat számára előnye a több év hosszú adatsor (a WIRE adatai rövid időszakot fognak át).



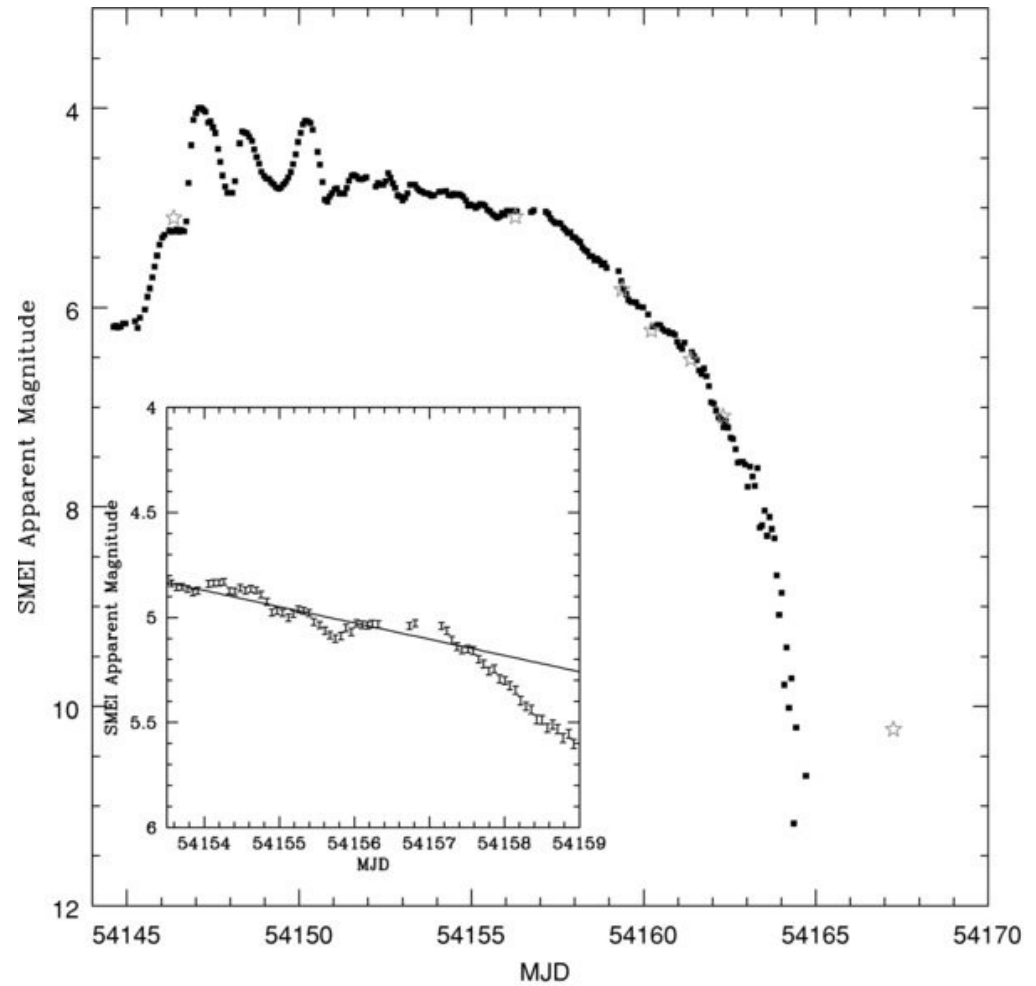
SMEI a Coriolis szondán

Példák a SMEI fotometriai adatai alapján elért eredményekre:

Arcturus (K1.5III): G-K óriásokra jellemzőek a konvekció által sztochasztikusan gerjesztett oszcillációk. Radiális p-módusú rezgés, $3,45 \pm 0,03$ μHz erős módus $21,7 \pm 0,5$ napos csillapodási idővel.

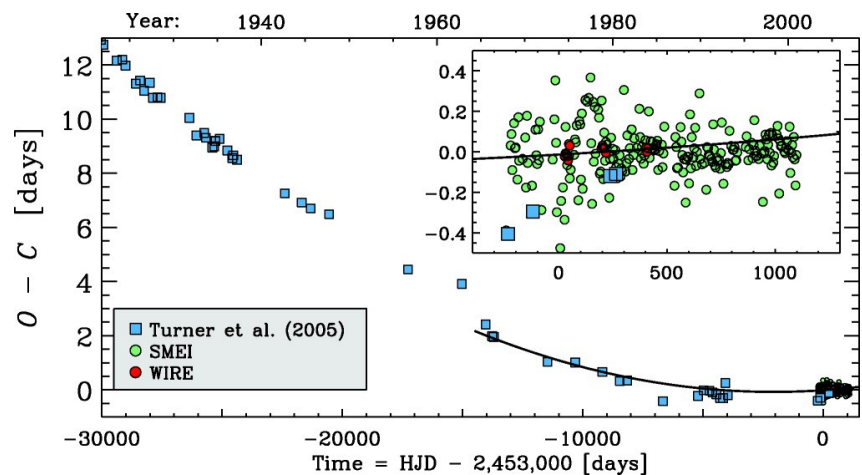
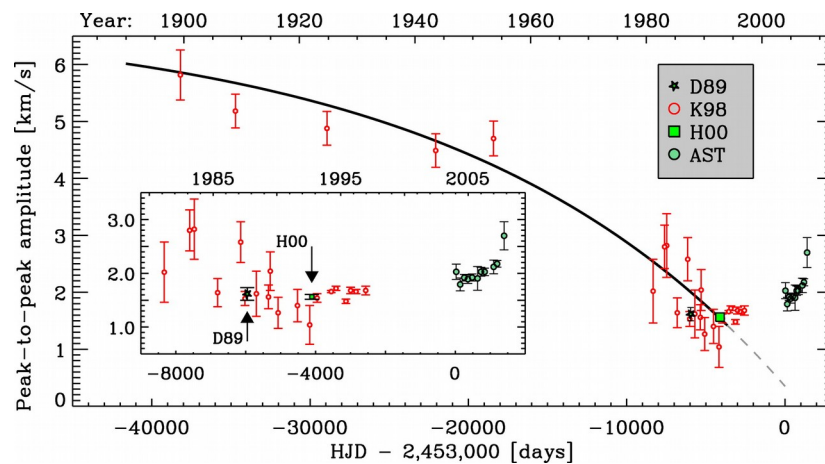
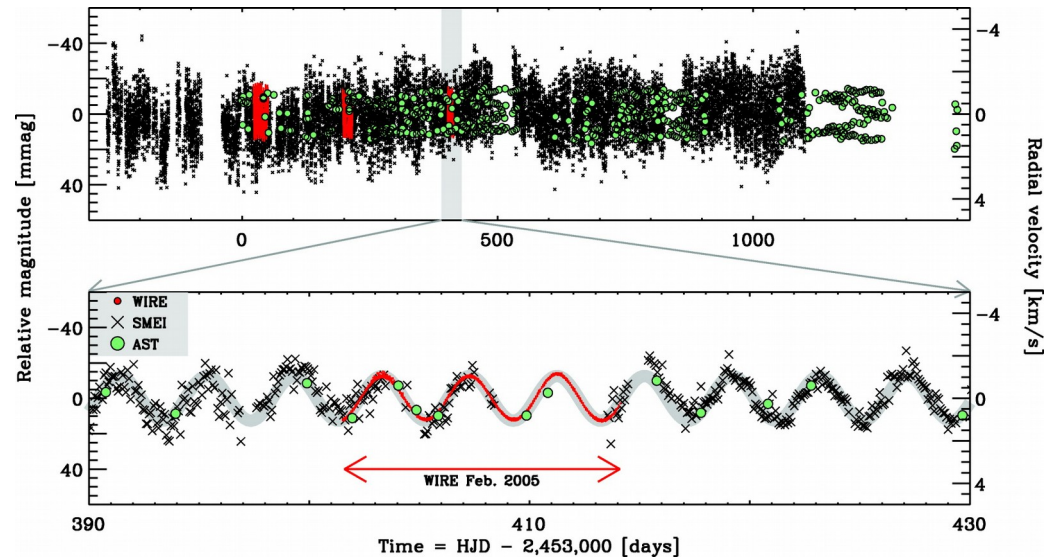
β UMi (Kochab, 2,2 m): K-óriás, 4,6 napos oszcilláció, 3 hetes módusélettartammal.

A V1280 Sco nóvakitörése 2007-ben.



SMEI a Coriolis szondán

Polaris: cefeida
különleges
amplitúdó- és periódus-
változással.
Spektroszkópiai
kettős, a HST látja a
kísérőcsillagot is.



MOST, az első fotometriai űrszonda

Microvariability & Oscillations of STars: kanadai mikroszonda, 2013-ig a legkisebb űrtávcső (most a BRITE). Összköltsége (terv, elkészítés, felbocsátás, működés): kb. 7 millió EUR.

Indítás: 2003. jún. 30. (Pleszeck), 825 km magas, poláris napszinkron LEO pálya. Egyéves működést terveztek, de 2014. szeptemberig támogatta a Kanadai Űrügynökség. Utána is működőképes volt: aki fizetett, annak észleltek. A napelemek kora miatt 2019. áprilisban szűnt meg az észlelés.

53 kg tömegű, 65×30 cm (bőrönd, Humble Space Telescope), 101 perces periódusú poláris pályán: 15 cm-es Makszutow-távcső, 1024×1024 pixeles CCD, széles sávú (350-700 nm) szűrő; 38 W teljesítmény. A CCD-kamera egyik fele mért, a másik fele irányzásra kellett. 2006-tól az irányzást is a mérő CCD-vel végezték részecskebecsapódás miatt.

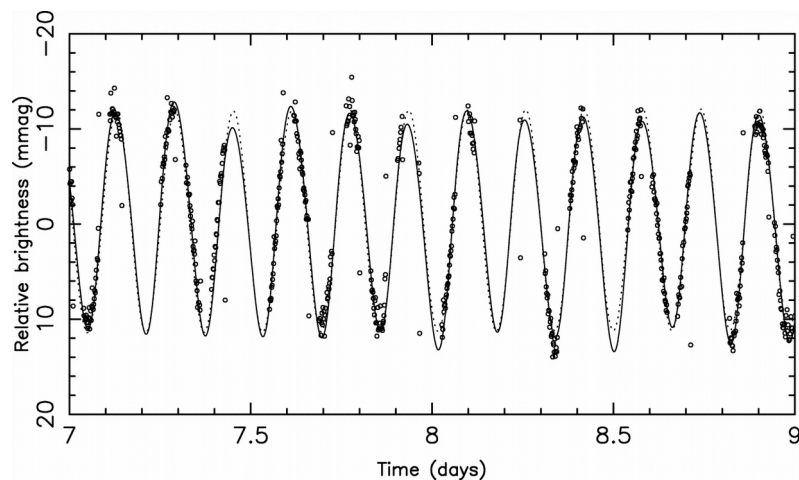
Az égbolt 54° széles sávjában (CVZ) megszakítás nélkül 8 hétig észlelhetett 6 magnitúdónál fényesebb csillagokat. Mozgó alkatrész híján stabil fókuszt. Reakciókerekekkel (4 db) 1 ívperces irányzási pontosság.

Program (eredetileg):

- Nap-típusú csillagok akusztikus oszcillációi (utóbb más változócsillagok pulzációja is, pl. fémszegény szubtörpék);
- Mágneses csillagok (roAp);
- Exobolygókról reflektált csillagfény;
- Wolf-Rayet-csillagok turbulens változásai (nagy tömegű csillagok fősorozat után; kölcsönhatás az intersztelláris anyaggal).

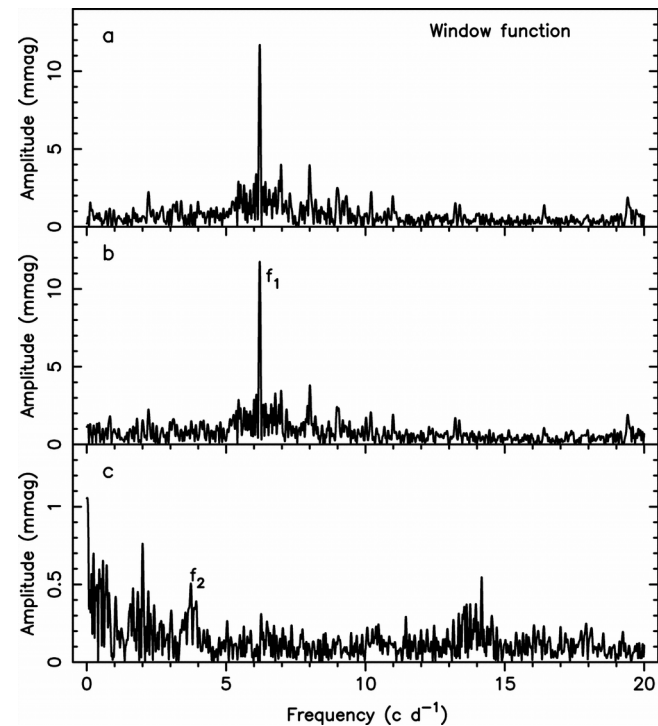
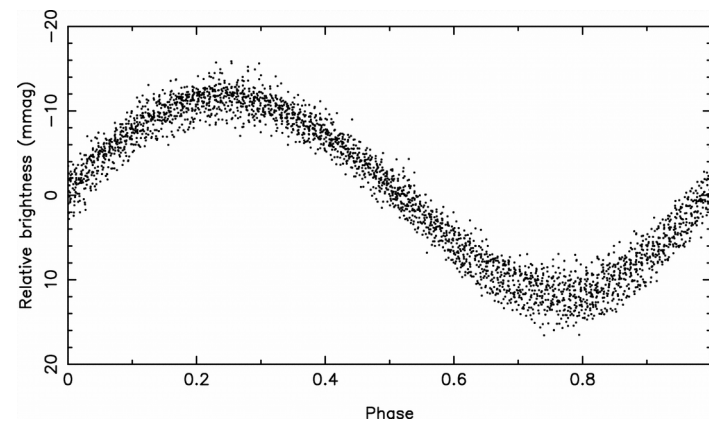
A MOST-fotometria eredményeiből

δ Ceti (B2IV, V=4,07): egyperiódusos
BCEP változócsillagként volt ismert
(prototípusnak tartották).



FINAL LIGHT-CURVE SOLUTION OF δ CETI

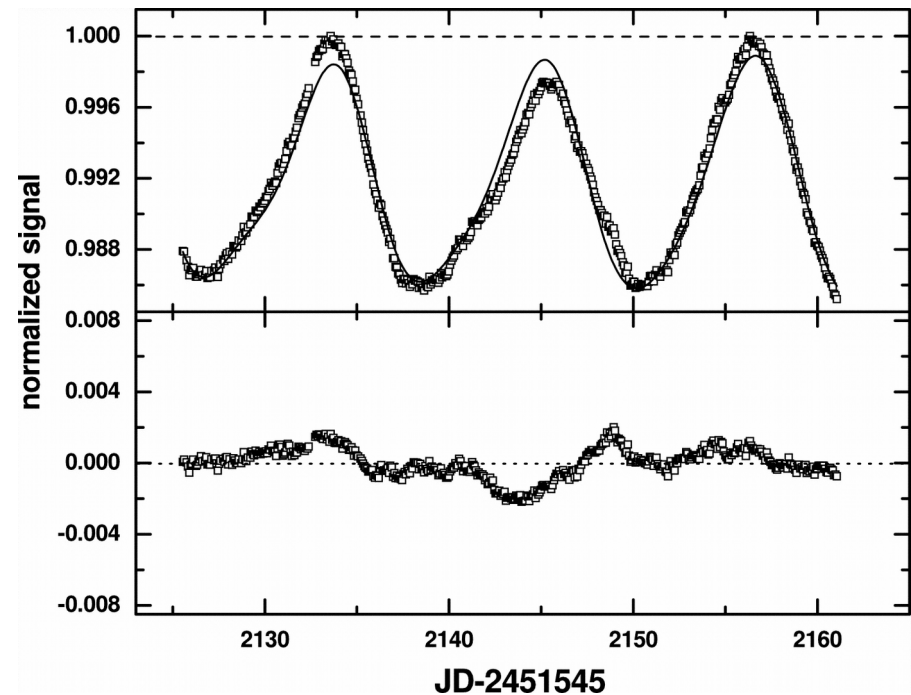
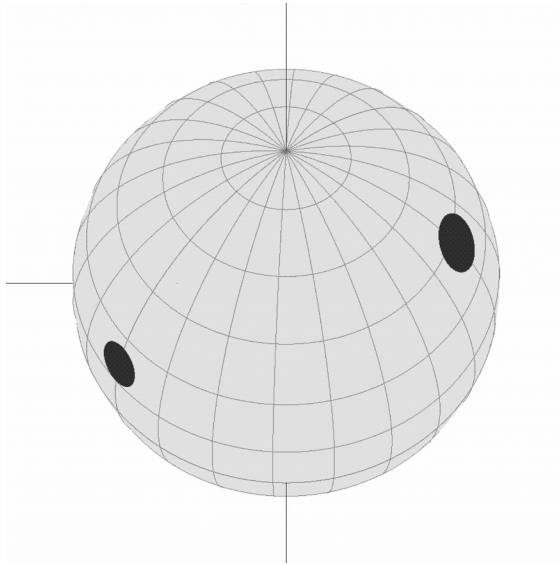
f_j (day ⁻¹)	f_j (μ Hz)	c_j (mmag)	ϕ_j	S/N
$f_1 = 6.20589(8)$	71.8274(9)	11.62(3)	0.4958(4)	121.4
$2f_1$	$2f_1$	0.72(3)	0.619(7)	7.5
$2.003(1)$	23.18(1)	0.65(3)	0.292(7)	6.8
$f_2 = 3.737(2)$	43.25(2)	0.53(3)	0.454(9)	5.5
$f_3 = 3.673(2)$	42.51(2)	0.39(4)	0.82(1)	4.0
$f_4 = 0.318(2)$	3.68(2)	0.43(4)	0.55(2)	4.5



A MOST-fotometria eredményeiből

ϵ Eri (K2V, $V=3,72$): Nap típusú és egészen közeli csillag, bolygója is ismert.

2005-ben észlelt fénygörbe elemzéséből: 2 folt volt a felszínen. A modellezés alapján a differenciális rotáció paraméterei, a tengelyhajlás és az egyenlítői forgási sebesség is meghatározható volt.

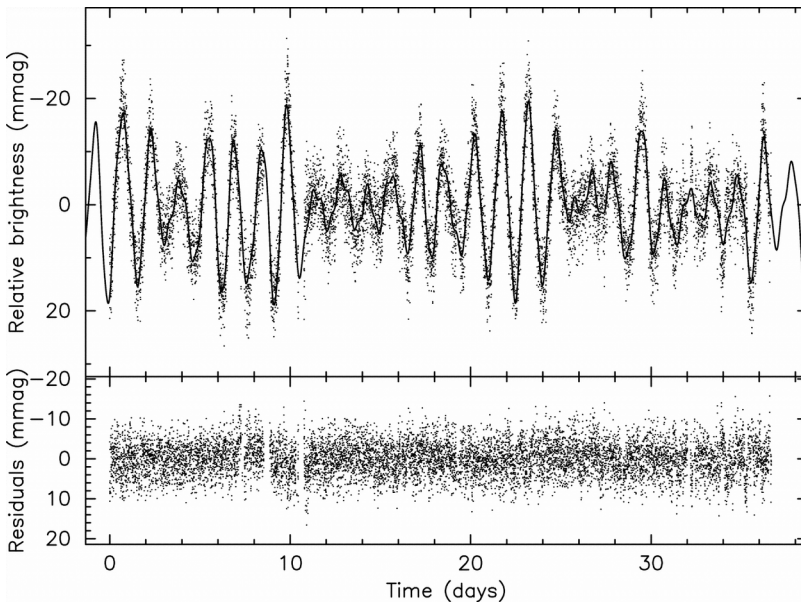


A MOST-fotometria eredményeiből

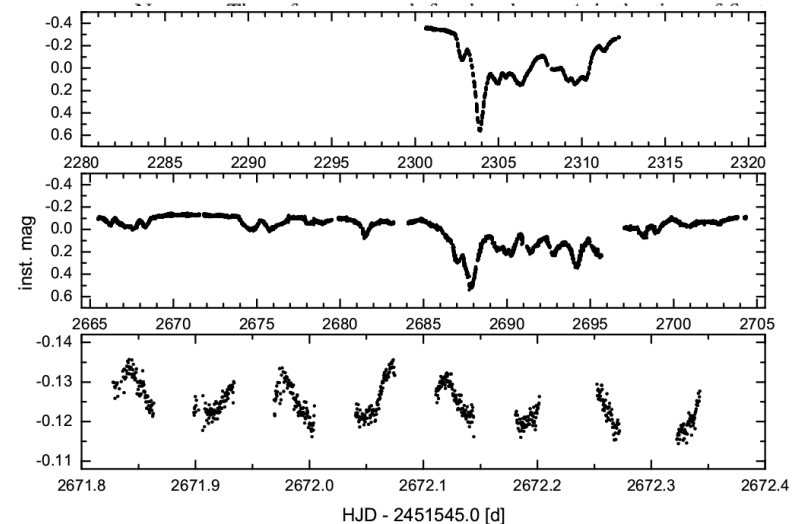
Fősorozat előtti csillag pulzációja:

Az NGC 2264-ben **V1026 Sco** (HD 14266): szabálytalan fénygörbe a cirkumsztelláris korongbeli por mozgása miatt. Erre rakódik a periodikus pulzáció jele.

Rengeteg SPB-csillagot fedezett fel a vezető-csillagok között (vö. Hipparcos): g-módusú nem radiális pulzáció. Példa: **HD163830**: illesztés 21 frekvenciával.



Frequency	f_j (day ⁻¹)	f_j (μHz)	b_j (mmag)	ϕ_j	S/N
f_1	0.6744(5)	7.806(5)	7.6(2)	0.125(8)	41.4
f_2	0.621(2)	7.19(2)	5.5(5)	0.34(3)	30.0
f_3	0.647(4)	7.48(4)	2.8(4)	0.46(5)	15.3
f_4	0.756(1)	8.75(1)	2.38(9)	0.37(3)	13.0
f_5	0.8007(9)	9.27(1)	2.2(1)	0.15(2)	12.0
f_6	0.412(1)	4.77(2)	1.64(8)	0.50(2)	8.9
f_7	0.949(1)	10.980(7)	1.40(6)	0.45(2)	7.6
f_8	0.576(2)	6.67(3)	1.4(6)	0.17(4)	7.6
f_9	1.0546(7)	12.206(9)	1.37(6)	0.53(2)	7.5
f_{10}	0.521(2)	6.03(2)	1.31(7)	0.53(3)	7.1
f_{11}	0.0350(8)	0.405(9)	1.18(7)	0.92(2)	6.4
f_{12}	0.448(2)	5.18(3)	1.17(7)	0.44(4)	6.4
f_{13}	2.0018(8)	23.17(1)	1.11(6)	0.21(2)	6.0
f_{14}	0.718(4)	8.31(5)	0.9(1)	0.61(8)	4.9
f_{15}	0.257(2)	2.98(3)	0.9(1)	0.25(5)	4.9
f_{16}	0.832(2)	9.63(3)	0.87(8)	0.49(5)	4.5
f_{17}	0.285(3)	3.30(3)	0.83(9)	0.20(5)	4.5
f_{18}	0.494(3)	5.72(3)	0.80(7)	0.25(4)	4.4
f_{19}	0.343(1)	3.97(2)	0.77(6)	0.49(3)	4.2
f_{20}	0.079(2)	0.91(2)	0.72(6)	0.71(3)	3.9
f_{21}	0.921(2)	10.66(2)	0.72(7)	0.66(4)	3.9



A MOST-fotometria eredményeiből

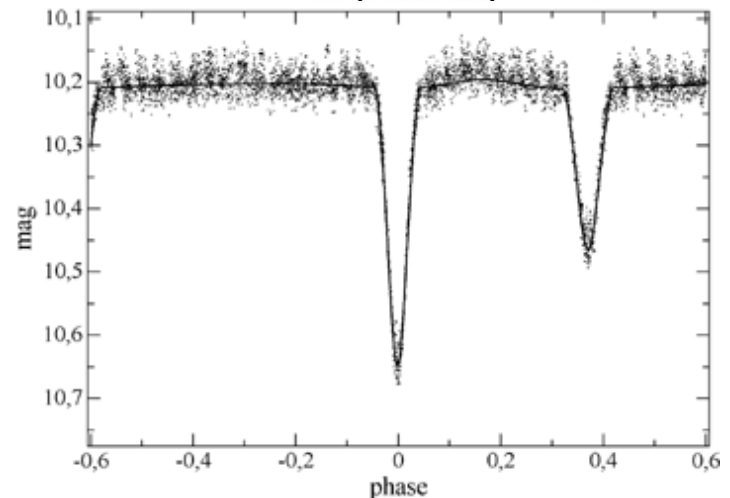
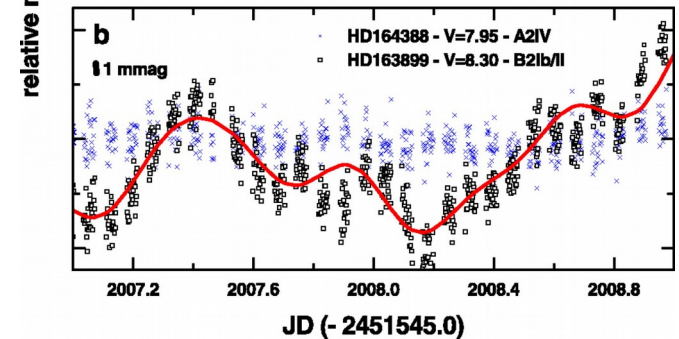
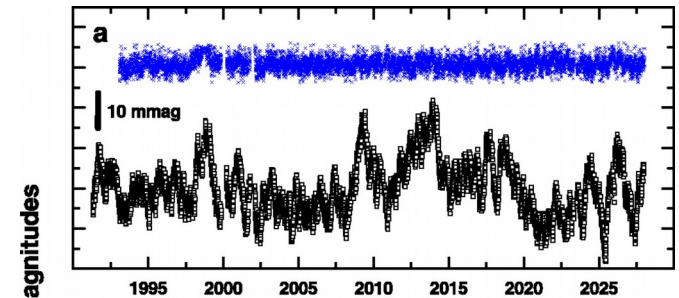
Meglepő felfedezés:

Új típusú pulzáció: **HD 163899**
(B2Ib/II), lassan pulzáló szuperóriás
(SPBsg).

Véletlen felfedezés:

HD 313926 fedési változó (a WR 111-nél használták vezetőcsillagként).
B3 + B7 komponensek 2,27038 napos periódussal; $e=0,20$, ez a legexcentrikusabb pálya a forró kettősök között; még nem volt ideje cirkularizálódni (még a B típusú csillagok között is fiatalnak számít).

Egyéb érdekességek: pl. *cefeidák*
(majd a Kepler kapcsán tárgyaljuk részletesebben).



CoRoT

Convection & **R**otation & Planetary **T**ransit:
Franciaország + ESA (az Eddington törlése hatására)

Indítás: 2006. dec. 27., Bajkonur, 897 km magas poláris LEO pálya, 103 perc keringési periódus.

27 cm-es átmérőnek megfelelő tükörfelület;
 $3^\circ \times 2,7^\circ$ -os látómező, afokális távcső
 $4 \times 2000 \times 4000$ pixeles CCD -40°C-ra hűtve.

Pontosság: $6 \mu\text{mag}$ (6^m), $0,1 \text{ mmag}$ (15^m).

2 CCD-egység asztroszeizmológiára (erősen defókuszálva a telítődés miatt, fényes csillagokra – szeizmo-mező, A1, A2);

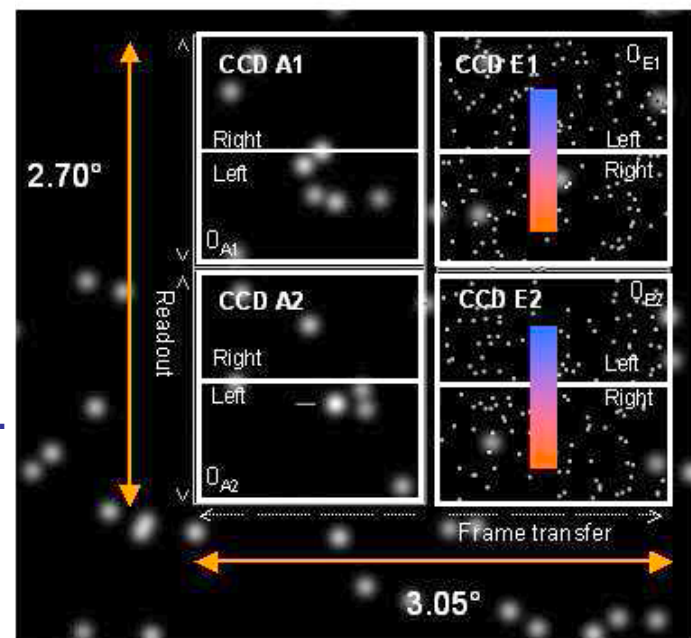
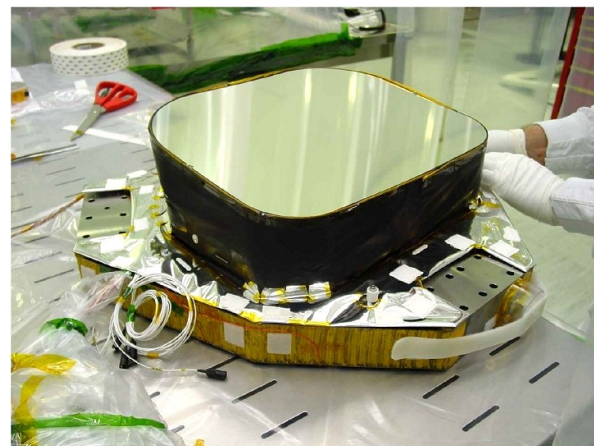
2 CCD-egység exobolygótranzitok keresésére (exo-mező, E1, E2).

152 napig folyamatos fotometria azonos látómezőről (a földfelszínről lehetetlen).

Öt ilyen ciklust terveztek, de 12 ciklust fedtek le.

2012. novemberig mért (2009-től felére csökkent teljesítménnyel), amikor is a fedélzeti számítógép romlott el.

Adatsor: 163000 csillagról.



CoRoT

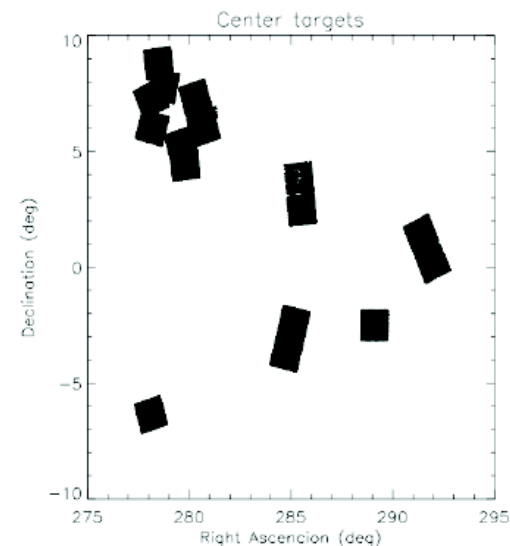
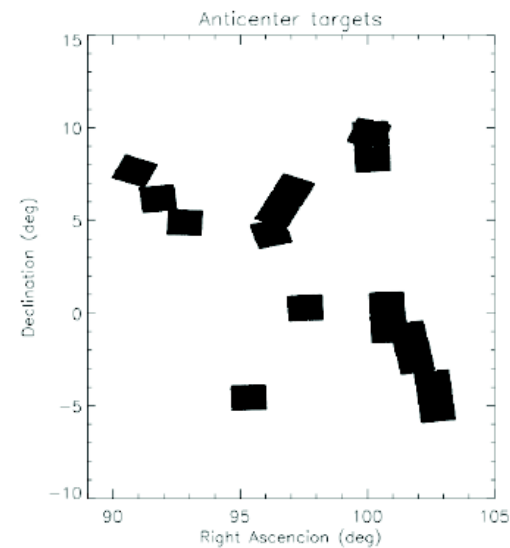
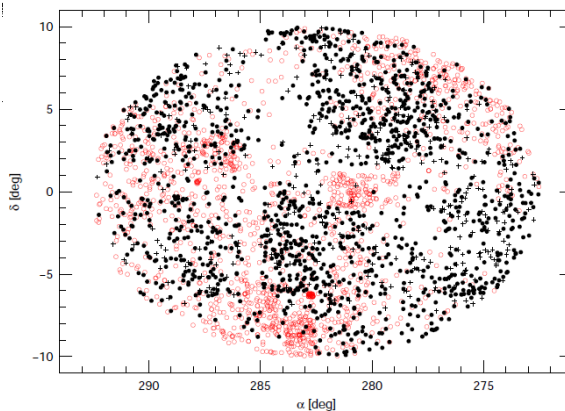
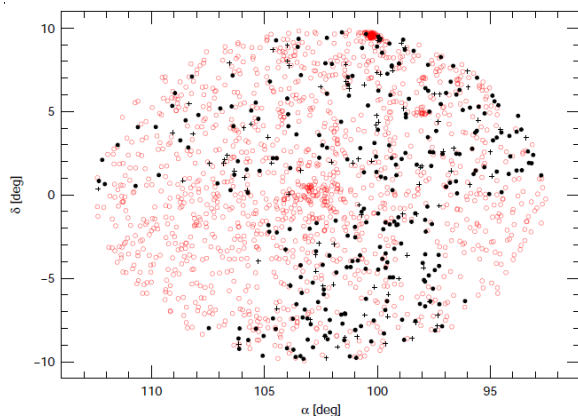
A szeizmo-mezőben 1 programcsillag + max. 9 további célpont, az exo-mezőben kb. 10000 kiválasztott csillag: törpék 11–16 magnitúdó között (a fényesebbek szaturálódnak, az óriásoknál kicsi a bolygótranszit hatása).

Fotometriai pontosság: 10^{-5} magnitúdó.

Két fő irány: a galaktikus centrum (Serpens Cauda) és az anticentrum (Monoceros) környéke – az észlelt mezők a CoRoT-szemek.

152 nap után 21 napos észlelés a félévenkénti váltásig.

A misszió indításakor 4925 változócsillag volt ismert (ebből 1396 új felfedezés az NSVS adataiból).

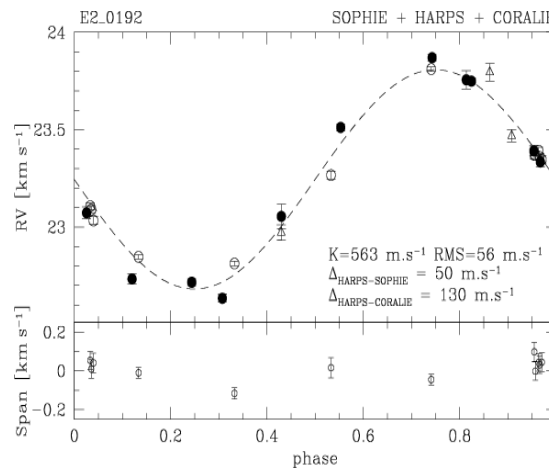
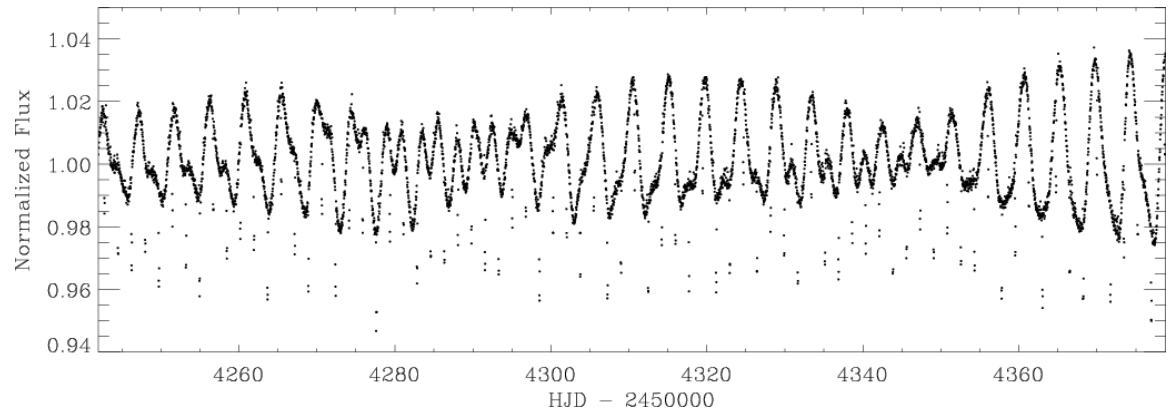
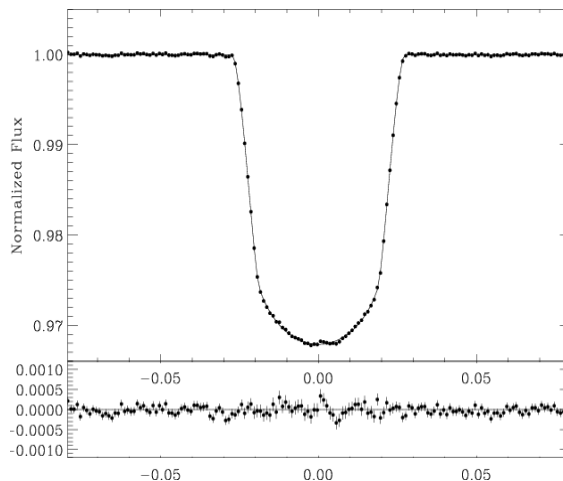


A CoRoT eredményeiből

26 exobolygót jelentettek be, és további 600 tranzitot vizsgálnak.

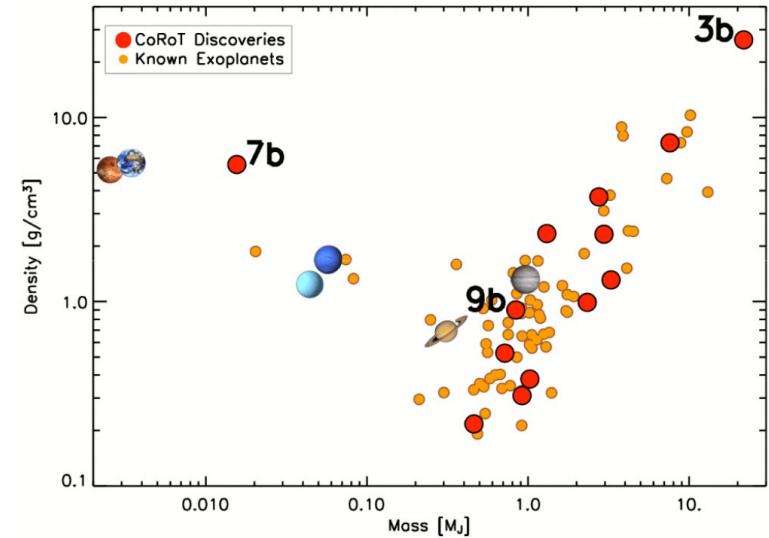
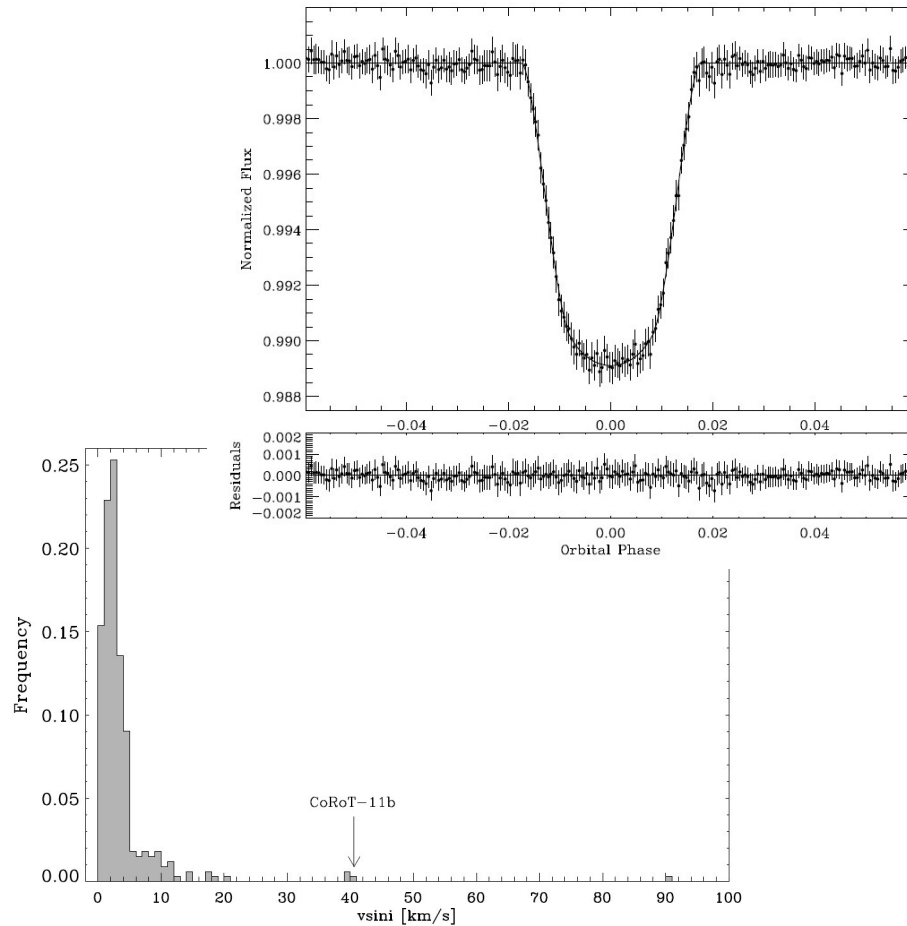
A bejelentés előtt az exobolygót alapos vizsgálat alá vetik földi műszerekkel (radiális sebességet is mérnek).

Példa: CoRoT-2



Star CorotID	0101206560	
RA (J2000)	19 ^h 27 ^m 06.5 ^s	
Dec (J2000)	1°23′01.5″	
V _{mag}	12.57	
<i>Obtained from the CoRoT photometry</i>		
	Value	Error
P [d]	1.7429964	0.0000017
T _c [BJD]	2 454 237.53562	0.00014
<i>Fitted</i>		
θ ₁	0.02715	0.00008
k = R _p /R _s	0.1667	0.0006
i [deg]	87.84	0.10
u ₊	0.471	0.019
u ₋	0.34	0.04
<i>Deduced</i>		
u _a	0.41	0.03
u _b	0.06	0.03
a/R _s	6.70	0.03
a/R _p	40.3	0.3
M _s ^(1/3) /R _s	1.099	0.005
<i>Photometry, spectroscopy and radial velocity combined</i>		
V ₀ [km s ⁻¹]	23.245	0.010
K [km s ⁻¹]	0.563	0.014
e	0	(fixed)
M _s [M _⊙]	0.97	0.06
R _s [R _⊙]	0.902	0.018
v sin i [km s ⁻¹] ^a	11.85	0.50
T _{eff} [K] ^a	5625	120
M _p [M _{Jup}]	3.31	0.16
R _p [R _{Jup}]	1.465	0.029
ρ _p [g/cm ³]	1.31	0.04
T _{eq} [K] ^b	1537	35

A CoRoT eredményeiből



Density versus mass of known transiting planets.

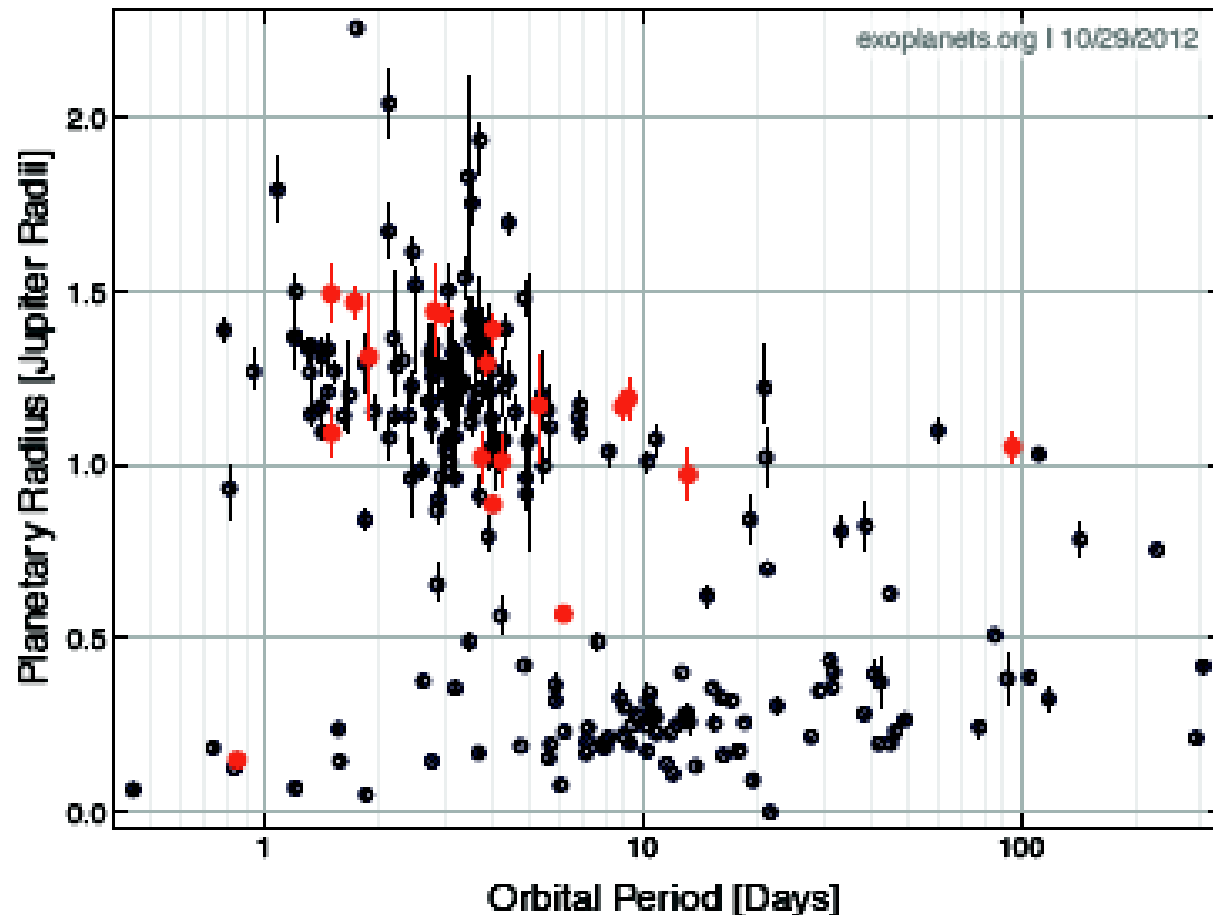
További: CoRoT-11b.

A CoRoT-7 volt az első
ismert fedési kőzetbolygó.

$v \sin i_*$ distribution of the known extrasolar planets. The position of CoRoT-11b is highlighted with an arrow.

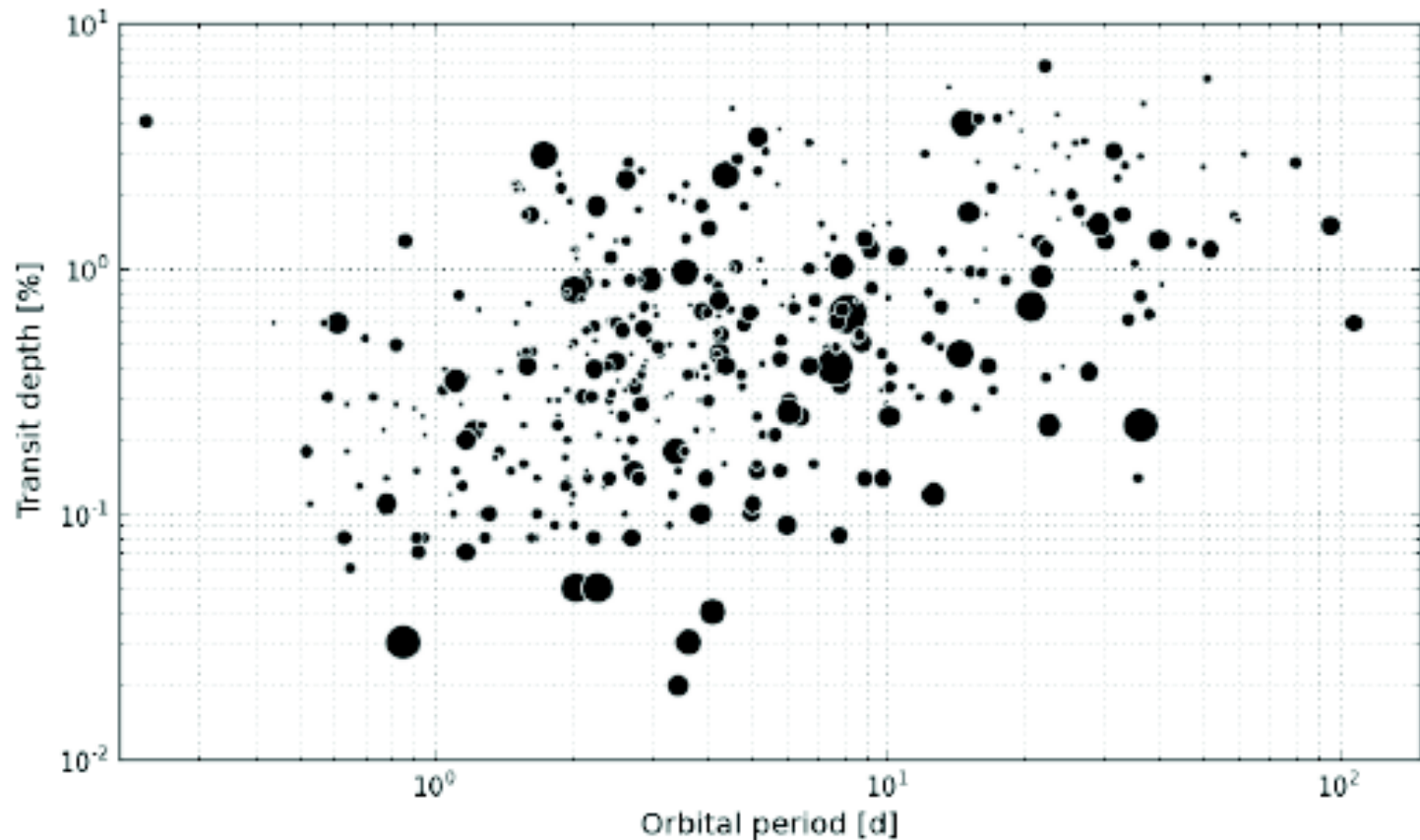
A CoRoT eredményeiből

A keringési periódus és a bolygósugár közötti összefüggés (piros jelek a CoRoT által felfedezett exobolygók)

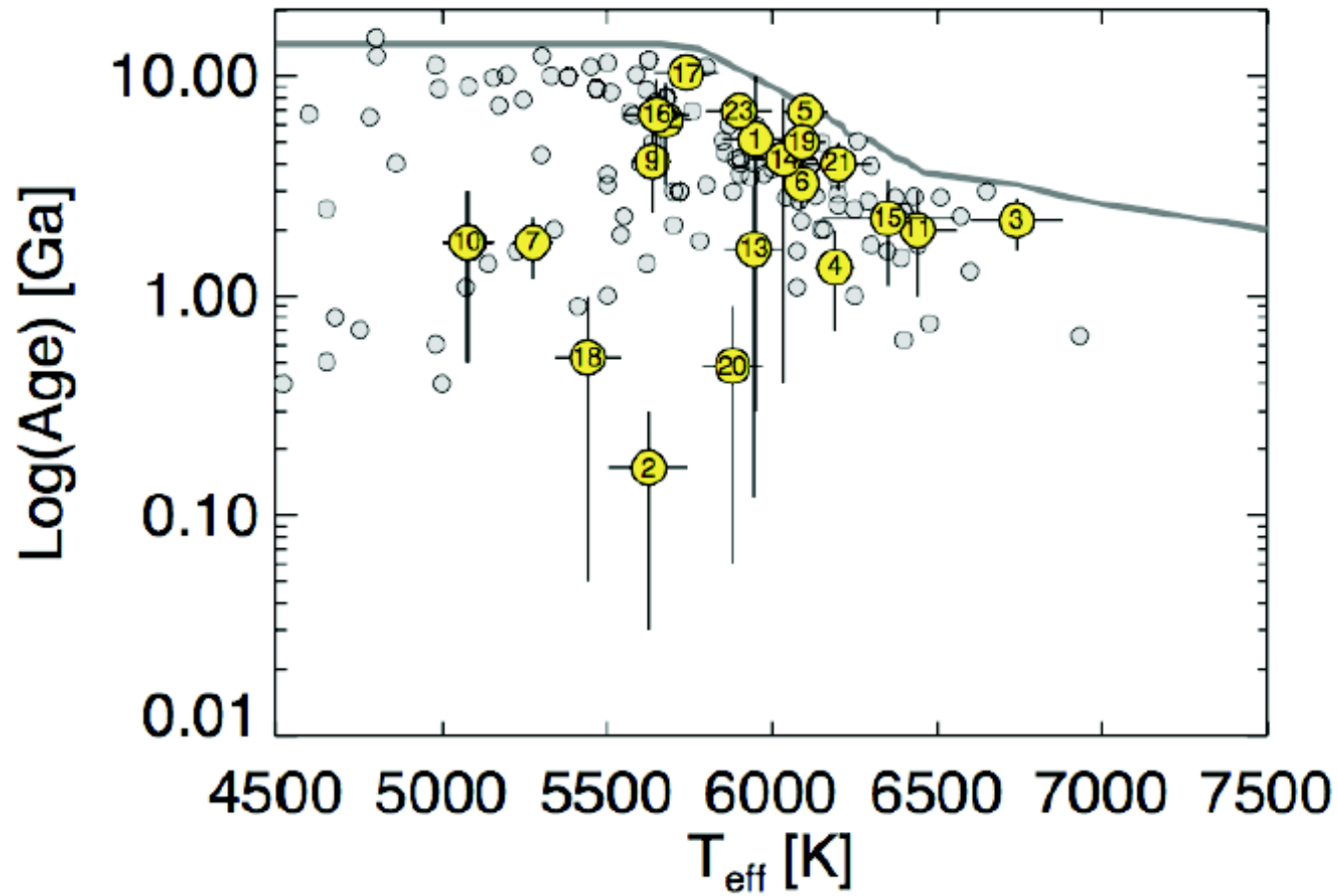


A CoRoT eredményeiből

A tranzit mélysége a gyanított exobolygókra (a pont mérete a csillag fényességére utal)

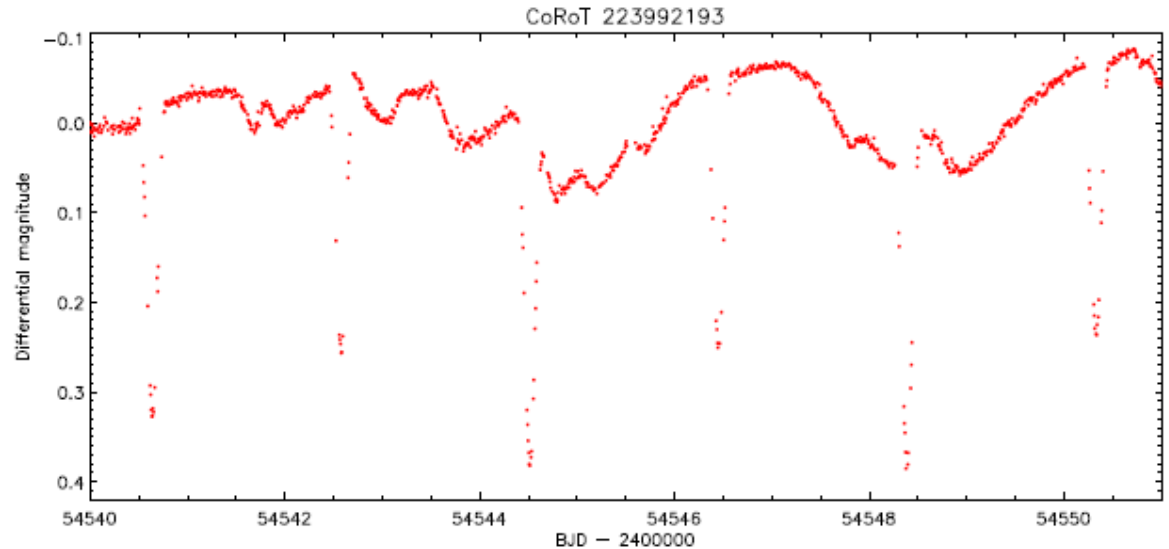


A CoRoT eredményeiből

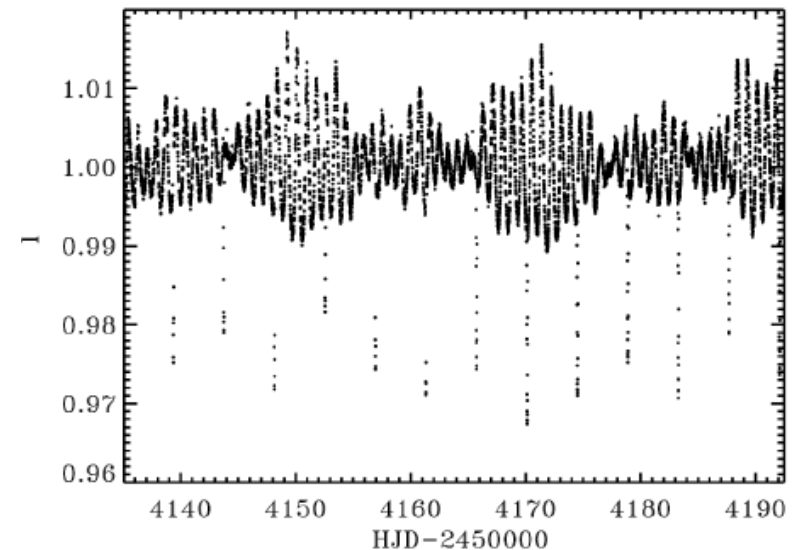


A CoRoT eredményeiből

CoRoT 223992193:
fősorozat előtti fedési
kettős. A fedéseken kívül
sztochasztikus változások
láthatók a kettős körüli
anyagkorong belső
peremének fedése
következtében. (fent)



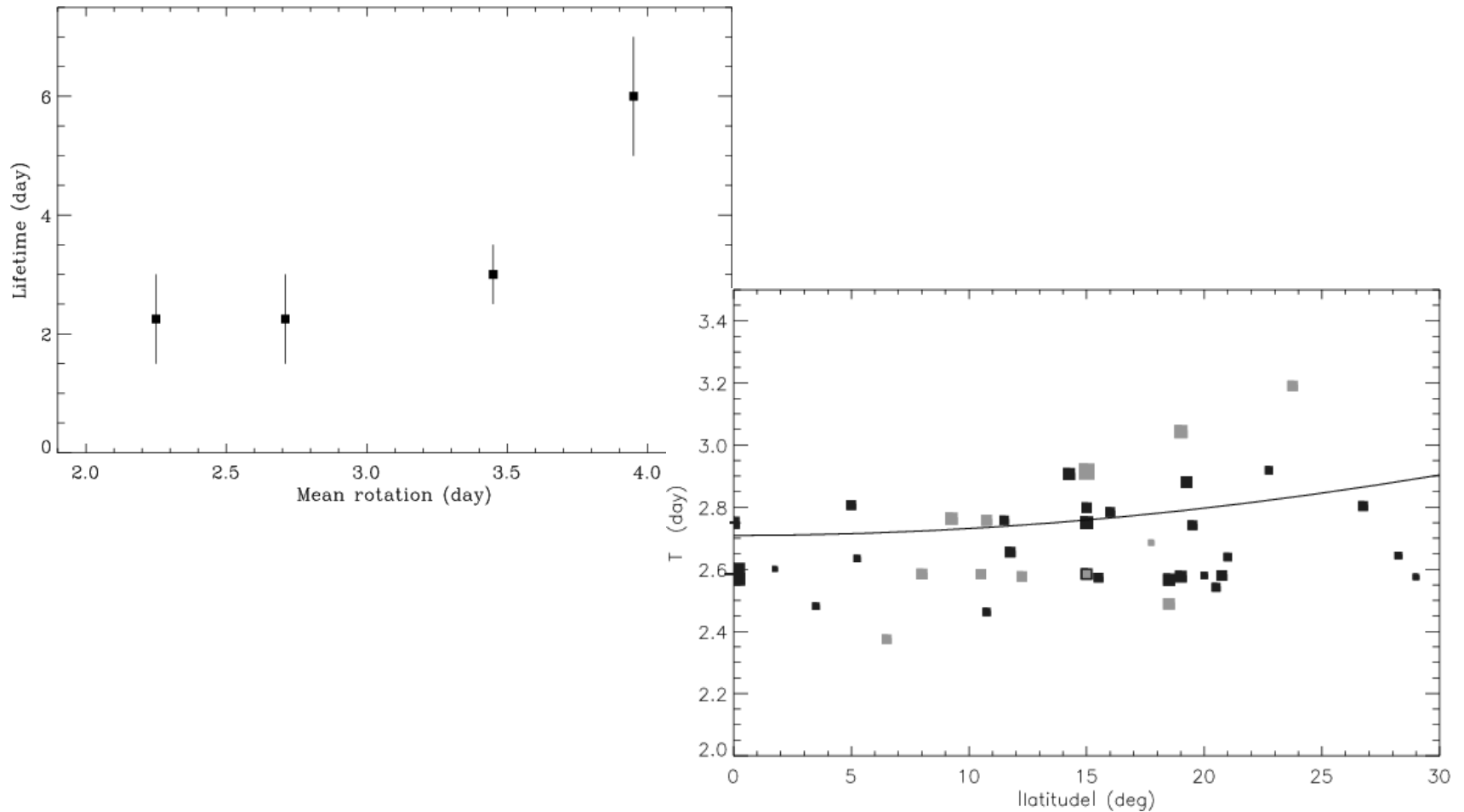
CoRoT 102918586:
GDOR + EB; a
komponensek tömege és
sugara 1% pontosan
meghatározható. (lent)



3000 fedési kettős rendszer
van a CoRoT által észlelt
163000 fénygörbe között.

A CoRoT eredményeiből

A CoRoT-mezőkben talált foltos csillagok vizsgálata alapján a foltok élettartama és differenciális rotációja.



A CoRoT-adatok archívuma

A CoRoT-adatok elérhetősége:

http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/datasethelp/ETSS_CoRoT.html

Summary of CoRoT Runs

IRa01	Astero-seismology Channel	Exoplanet Channel
Number of Stars	10	9880
Summary File	IPAC ASCII format table	IPAC ASCII format table
Light curves	Download scripts	Download scripts
LRa01	Astero-seismology Channel	Exoplanet Channel
Number of Stars	10	11408
Summary File	IPAC ASCII format table	IPAC ASCII format table
Light curves	Download scripts	Download scripts
LRa02	Astero-seismology Channel	Exoplanet Channel
Number of Stars	10	11408
Summary File	IPAC ASCII format table	IPAC ASCII format table
Light curves	Download scripts	Download scripts
LRa03	Astero-seismology Channel	Exoplanet Channel
Number of Stars	5	5289
Summary File	IPAC ASCII format table	IPAC ASCII format table
Light curves	Download scripts	Download scripts
LRa04	Astero-seismology Channel	Exoplanet Channel
Number of Stars	5	4216
Summary File	IPAC ASCII format table	IPAC ASCII format table
Light curves	Download scripts	Download scripts
LRa05	Astero-seismology Channel	Exoplanet Channel
Number of Stars	5	4602
Summary File	IPAC ASCII format table	IPAC ASCII format table
Light curves	Download scripts	Download scripts

Kepler

A NASA Discovery-programjának része.

10^{-5} fotometriai pontosságú fotometria exobolygók átvonulásának keresésére és asztroszeizmológiai célokra.

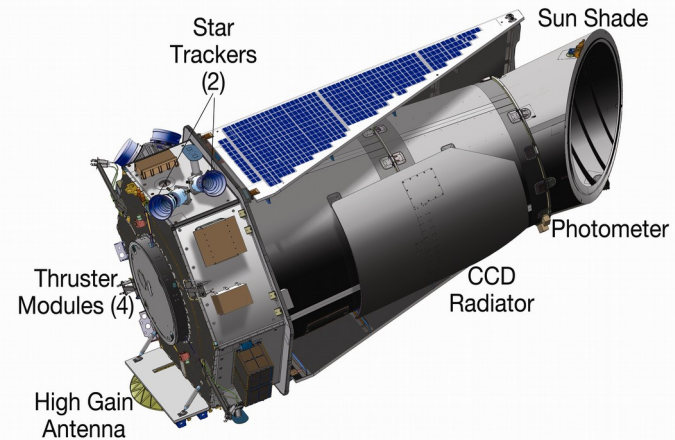
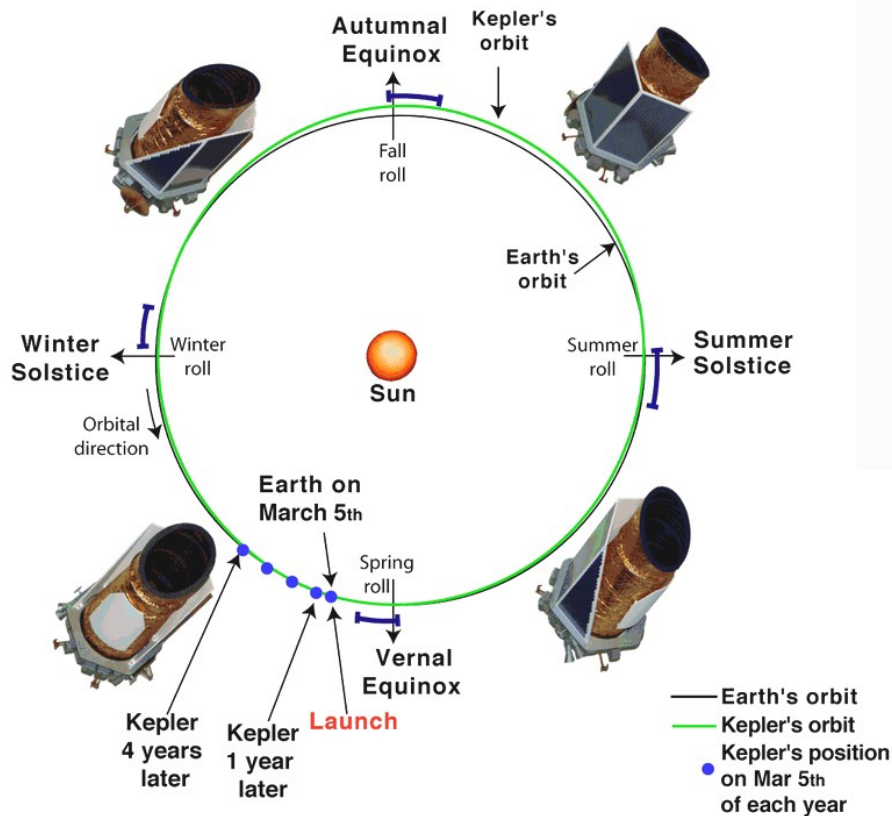
Előttörténete hosszú.

A jóváhagyáshoz a tervezett mérési pontosságot előbb a földfelszínen kellett megmutatni.



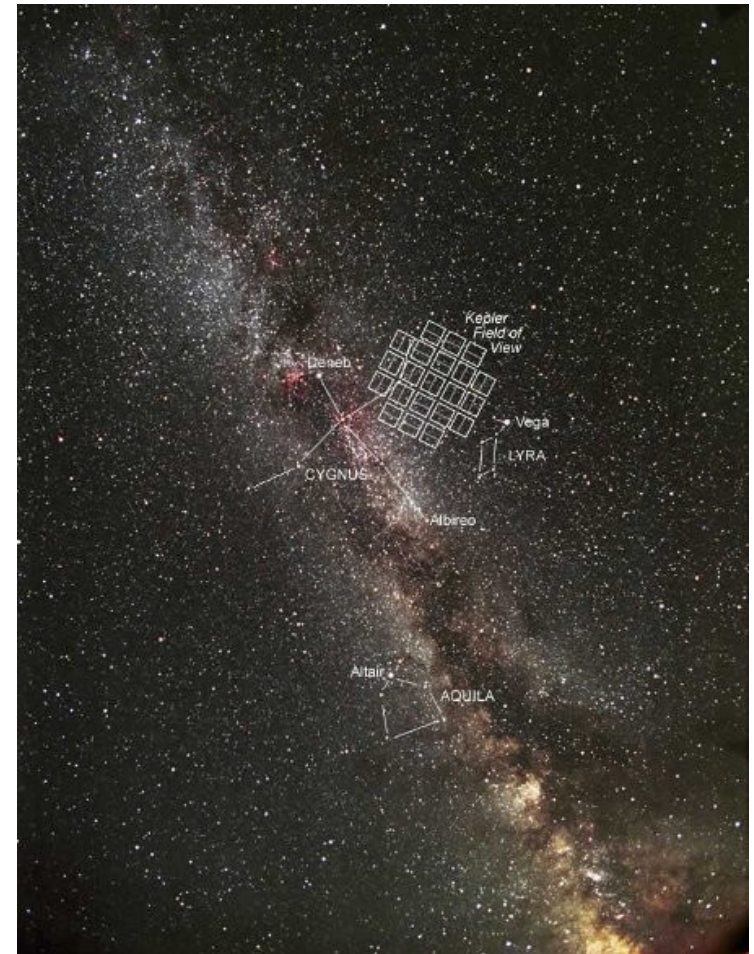
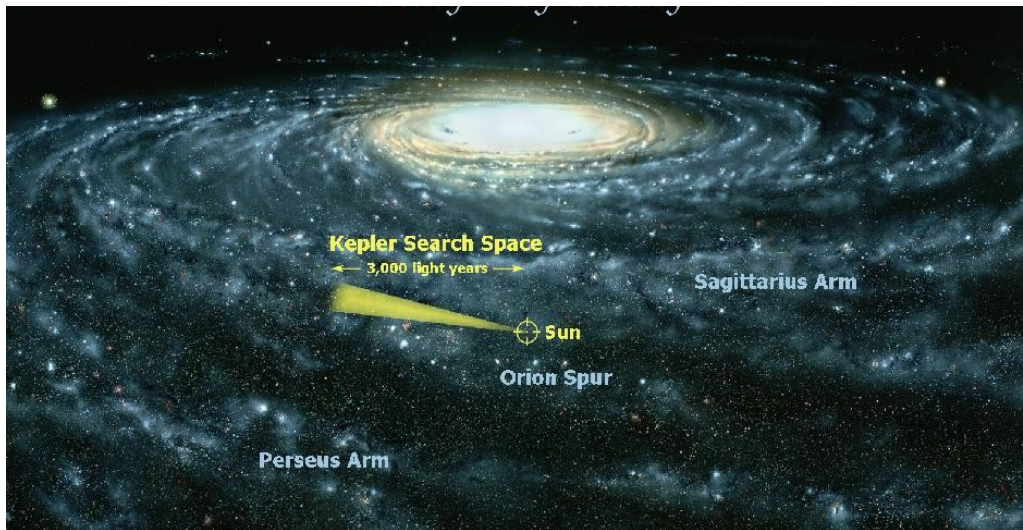
Kepler

Indítás: 2009. márc. 7., a Földet követő pályára, miként a Spitzer (372,5 napos periódus). 1,4 m-es Schmidt-távcső 95 cm-es korrekciós lencsével (ez a 9. legnagyobb Schmidt). 3,5 éves üzemidőt terveztek, de 4 évet bírt ki. A lendkerekek hibája miatt az eredeti program helyett új látómezőt és kutatási célt kerestek (K2).



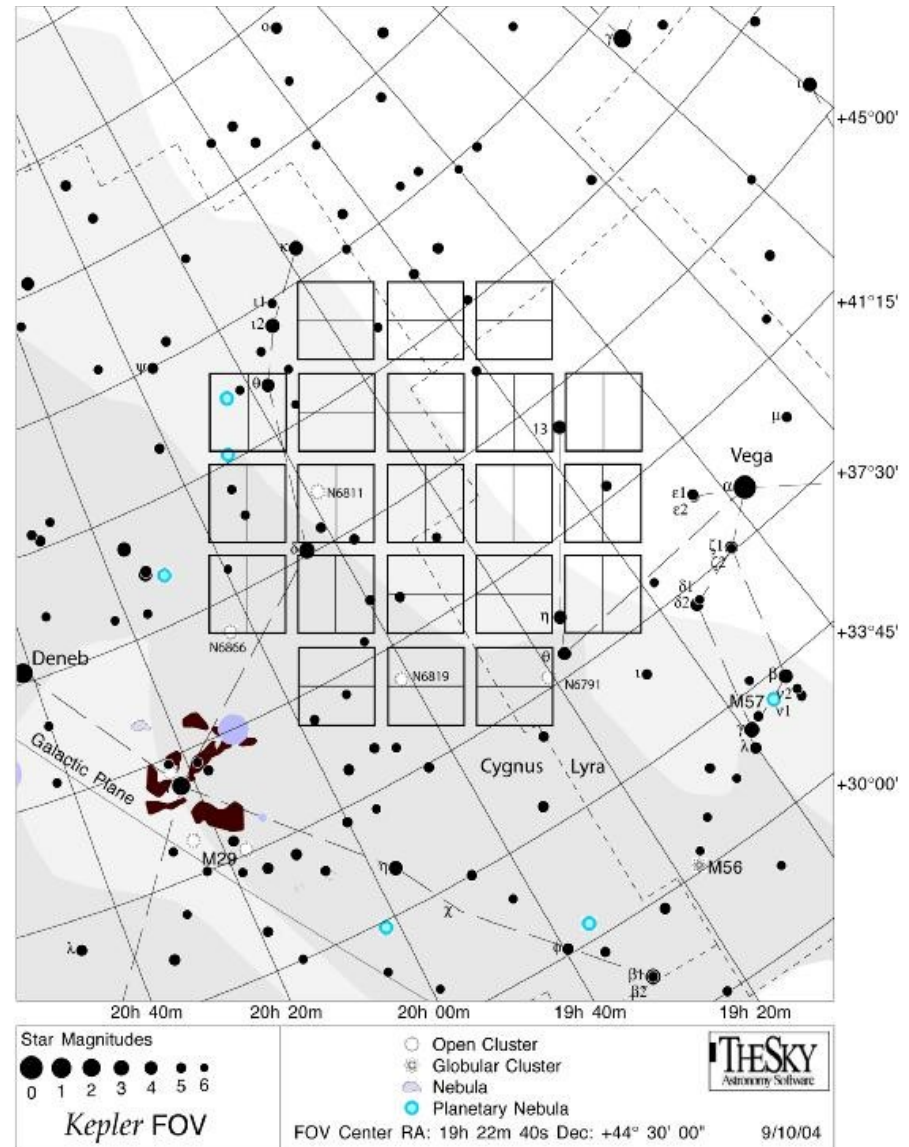
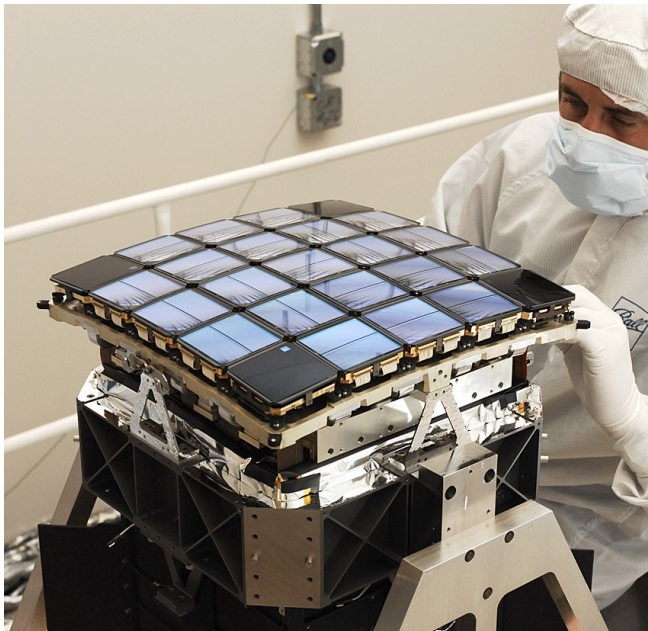
Kepler

Állandó látómező (115 négyzetfok, az égbolt 1/400 része) folyamatos észlelése éveken át: Cyg–Lyr (arra mozog a Nap).
Negyedéves idősorok (forgatás a Nap helyzete miatt): Q1, Q2, ... Rövid (short cadence) és hosszú (long cadence) mintavételezés (SC: 1 perc, LC: 29,4 perc).



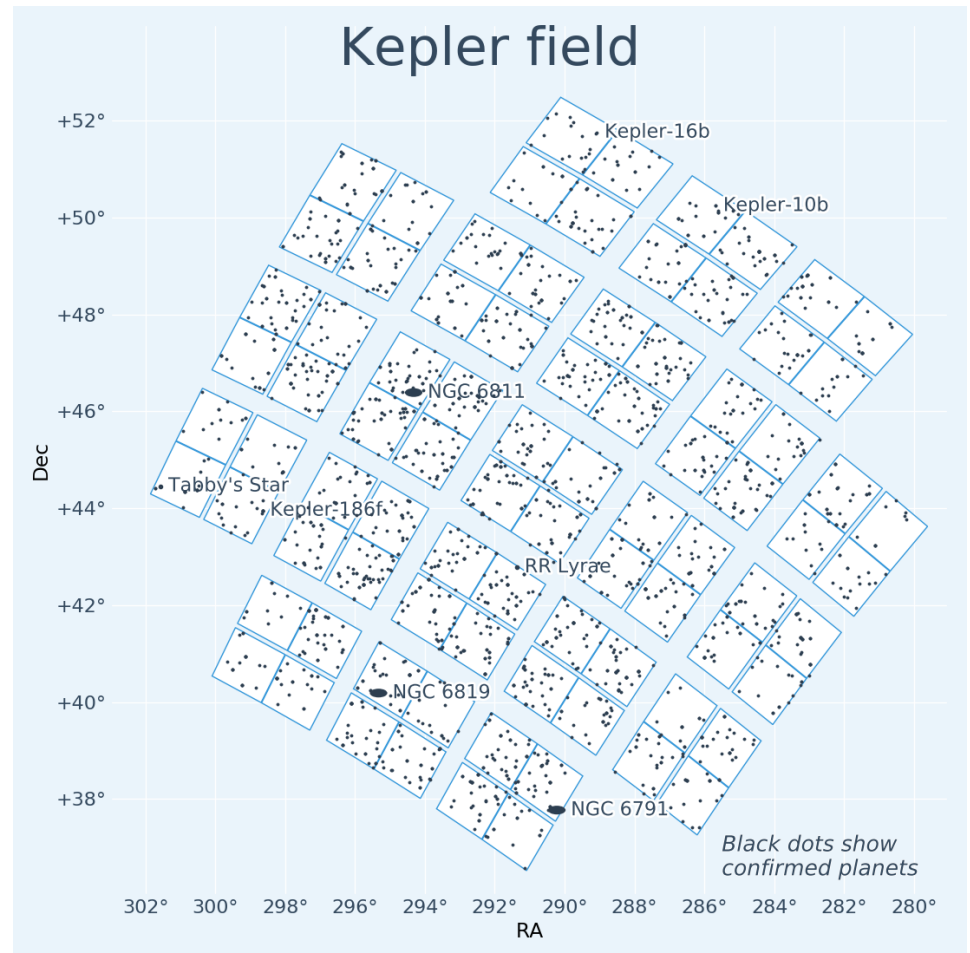
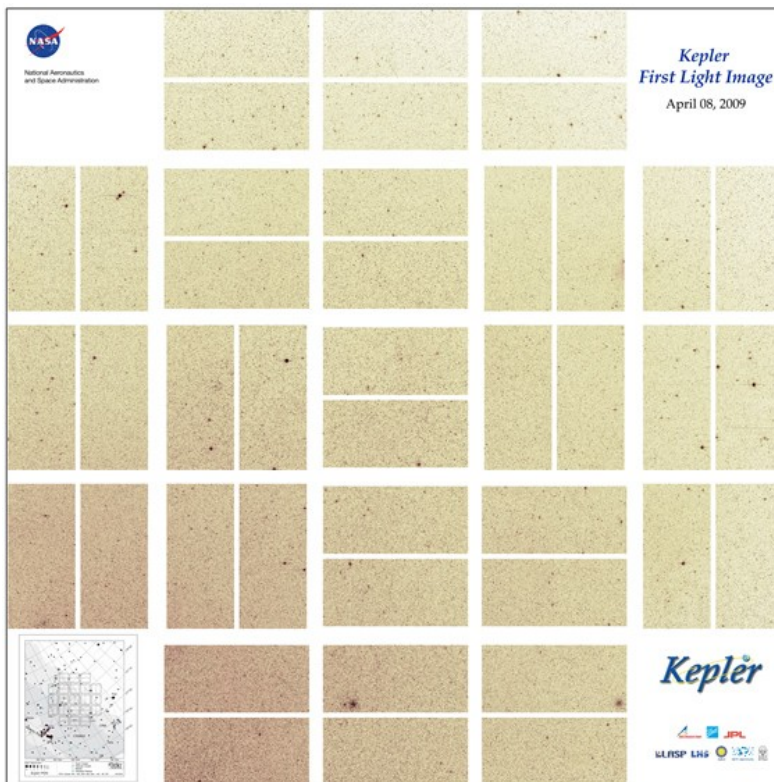
Kepler

42 db 50x25 mm-es CCD-chip,
egyenként 2200x1024 pixellel.
Összesen 94,6 megapixel (indításkor
az addigi legnagyobb CCD-kamera
volt az űrben).
6,5 s után kiolvasás, majd fedélzeti
összeadás az SC és LC időtartamára.
A misszió végén már 3 csip volt rossz.

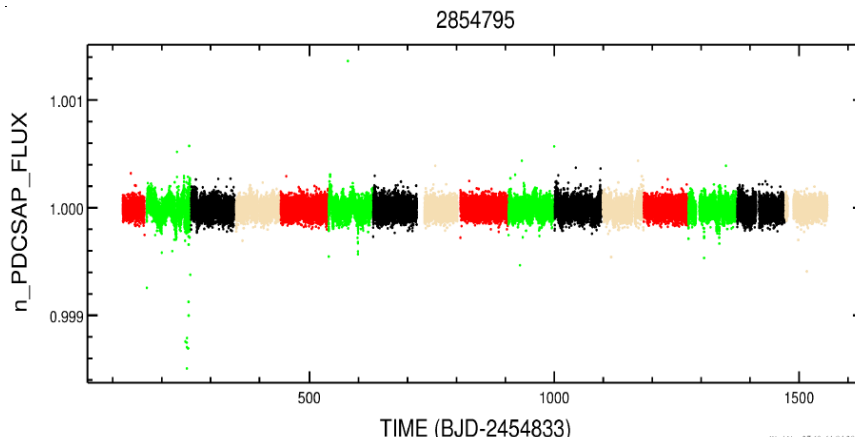
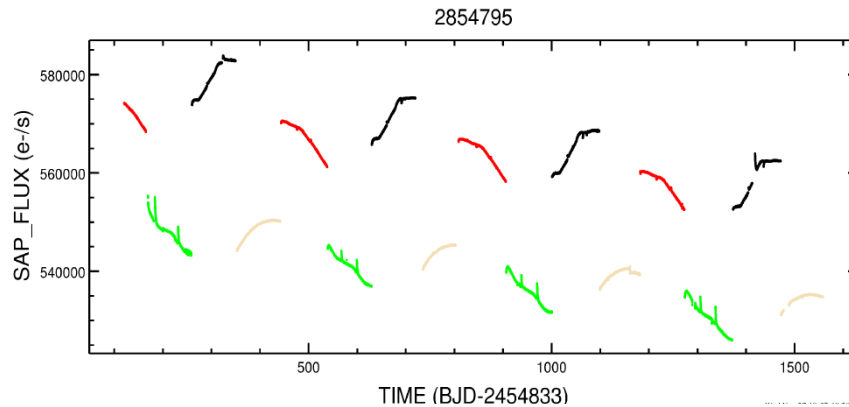


Kepler

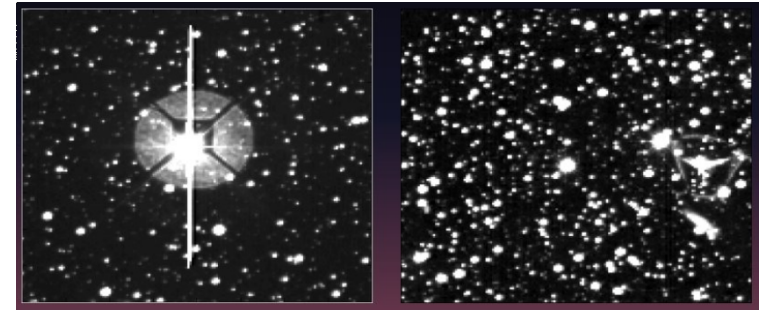
191000 előre kiválasztott csillag adatait küldte a Földre (a NASA Ames Research Centerbe).



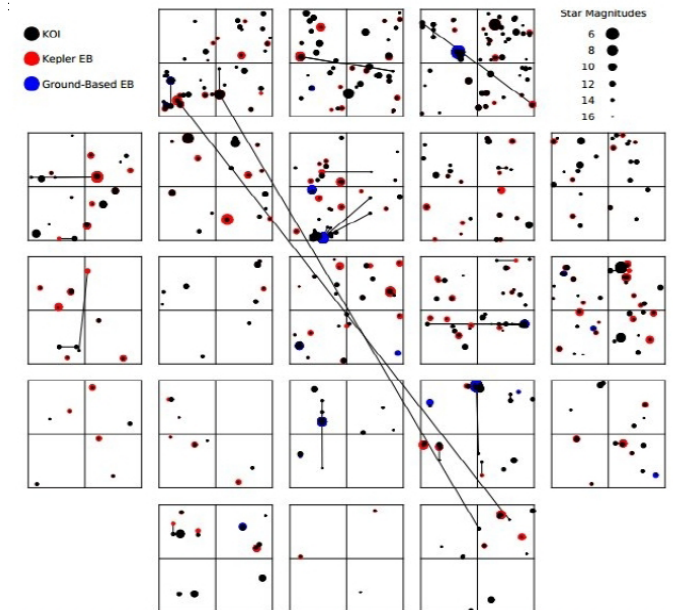
A fotometriai feldolgozás nehézségei



CCD-csipek eltérő érzékenysége



reflexió



A Kepler exobolygó-kutatásairól

Cél: Föld típusú bolygók felfedezése a csillag lakhatósági zónájában.

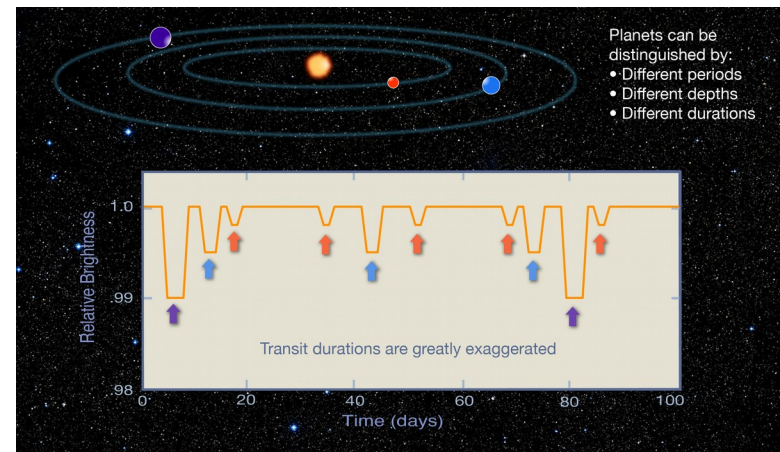
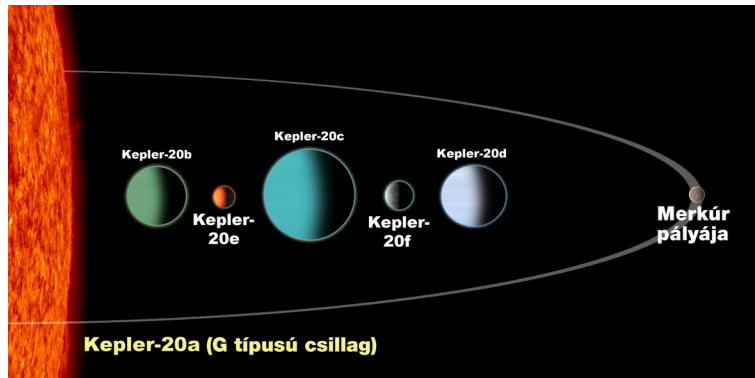
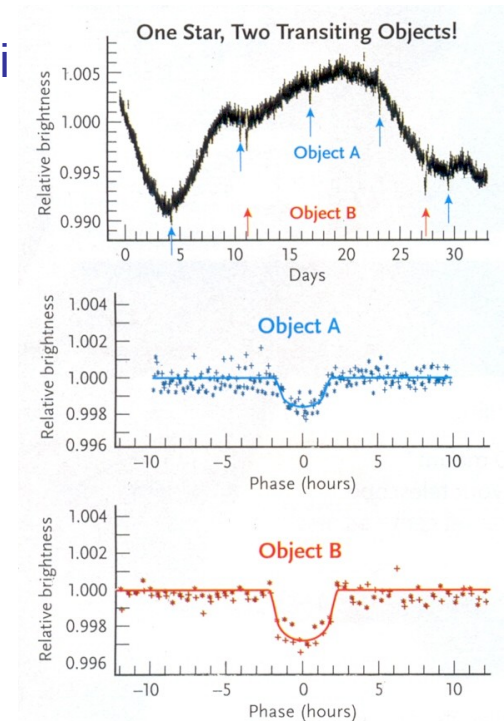
Egy bolygó biztos kimutatásához legalább 3 tranzit észlelése kell (bolygórendszereknél gravitációs perturbáció is bizonyíték lehet).

Kepler-20 körül 5 bolygó: Kepler-20e: 6,1 nap, 760°C, 0,87 Föld-átmérő; Kepler-20f: 19,6 nap, 430°C, 1,03 Föld-átmérő; dinamikailag telített rendszer; kijebb még lehetnek bolygók (hosszabb idő kell).

Kepler-37b: alig nagyobb a Holdnál (13 nap, 500 °C), két másik bolygója is van a csillagnak.

KOI-351 (Kepler Object of Interest): 7 bolygós rendszer.

KOI-1422: 5 bolygója közül 3 a lakhatósági zónában kering.

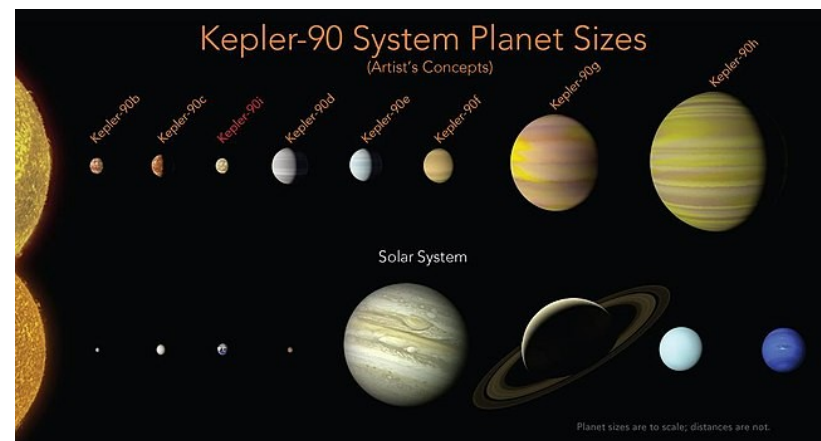
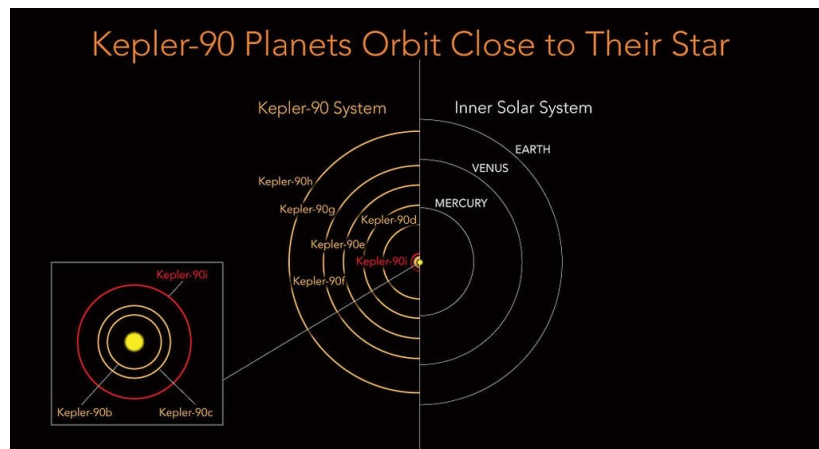


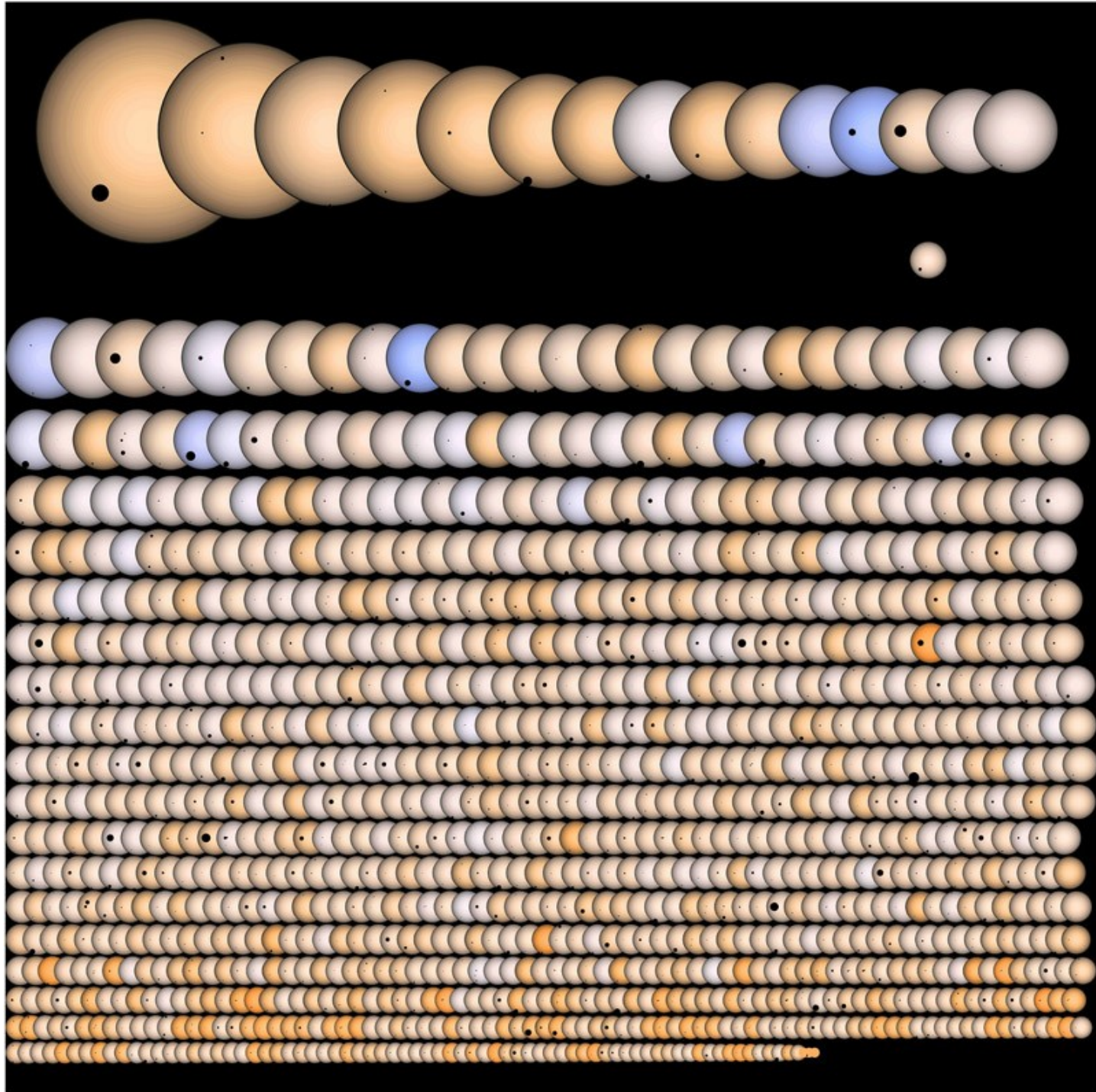
A Kepler exobolygó-kutatásairól

A Kepler-90 körül viszont 8 bolygó kering.

The Kepler-90 planetary system^{[12][13][4]}

Companion (in order from star)	Mass	Semimajor axis (AU)	Orbital period (days)	Eccentricity	Inclination	Radius
b	—	0.074 ± 0.016	7.008151	—	89.4°	$1.31 R_\oplus$
c	—	0.089 ± 0.012	8.719375	—	89.68°	$1.18 R_\oplus$
i	—	0.107 ± 0.03	14.44912	—	89.2°	$1.32 R_\oplus$
d	—	0.32 ± 0.05	59.73667	—	89.71°	$2.88 R_\oplus$
e	—	0.42 ± 0.06	91.93913	—	89.79°	$2.67 R_\oplus$
f	—	0.48 ± 0.09	124.9144	0.01	89.77°	$2.89 R_\oplus$
g	$<0.8 M_J$	0.71 ± 0.08	210.60697	—	89.8°	$8.13 R_\oplus$
h	$<1.2 M_J$	1.01 ± 0.11	331.60059	—	89.6°	$11.32 R_\oplus$

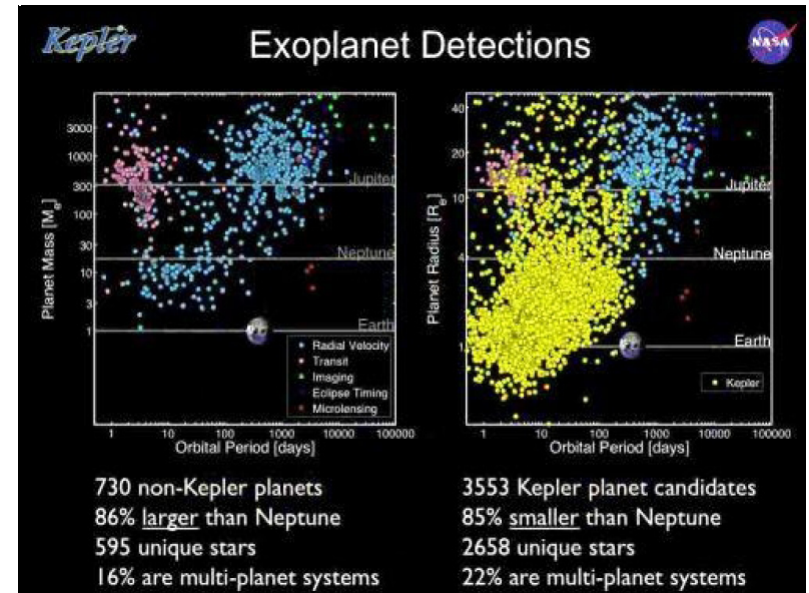
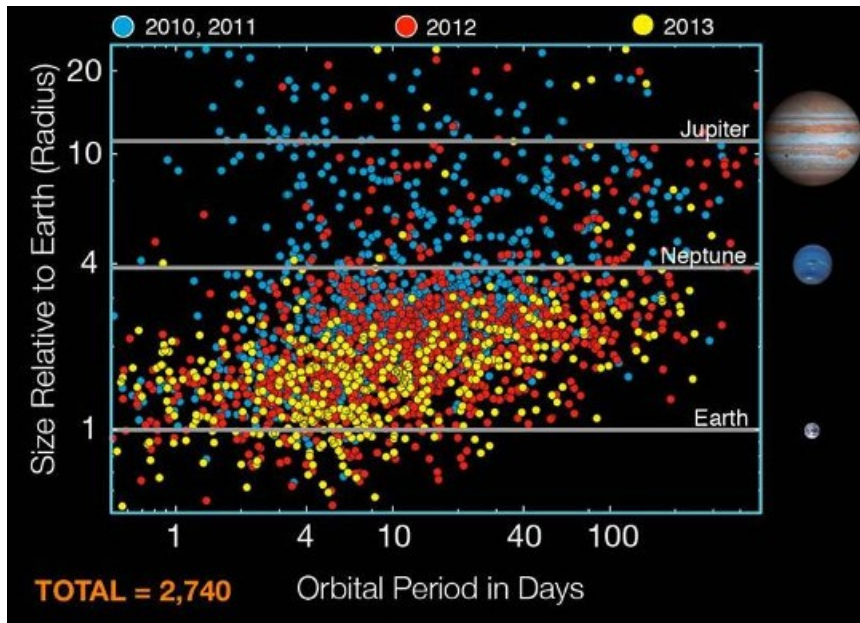




Exobolygóstatisztika a Kepler alapján

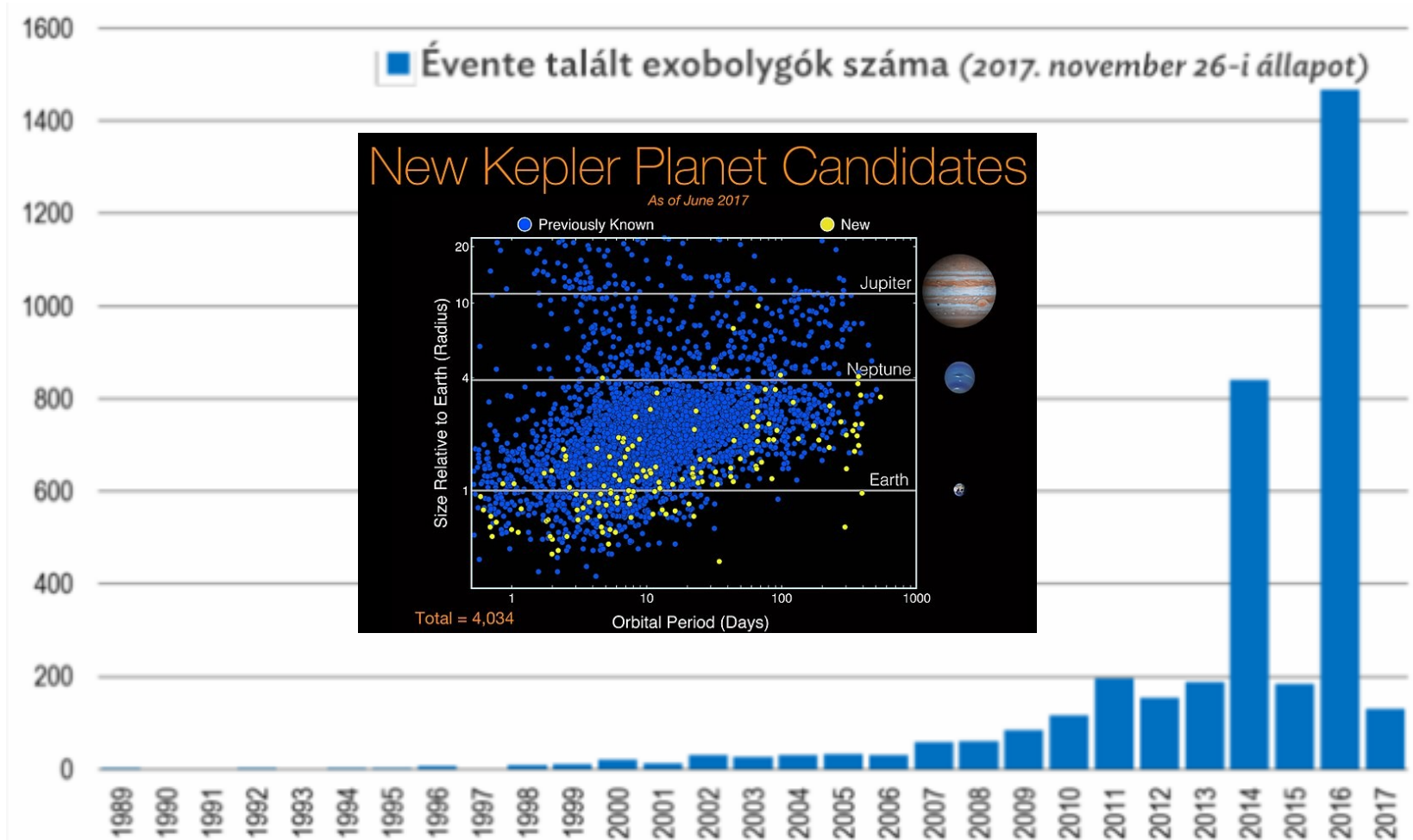
2013 elején 2740 gyanított exobolygó;
114 megerősítve (rad. seb. vagy
grav. pert.); 467 csillag körül van több
bolygó. A gázóriások ritkák, de
könnyebben felfedezhetők.

A 2014-es bejelentések a jobb oldali
képen láthatók (3553 bolygójelölt).



Exobolygóstatisztika a Kepler alapján

2017-es bejelentés (középen): már 4000-nél több bolygójelölt. Föld-méretűek is!

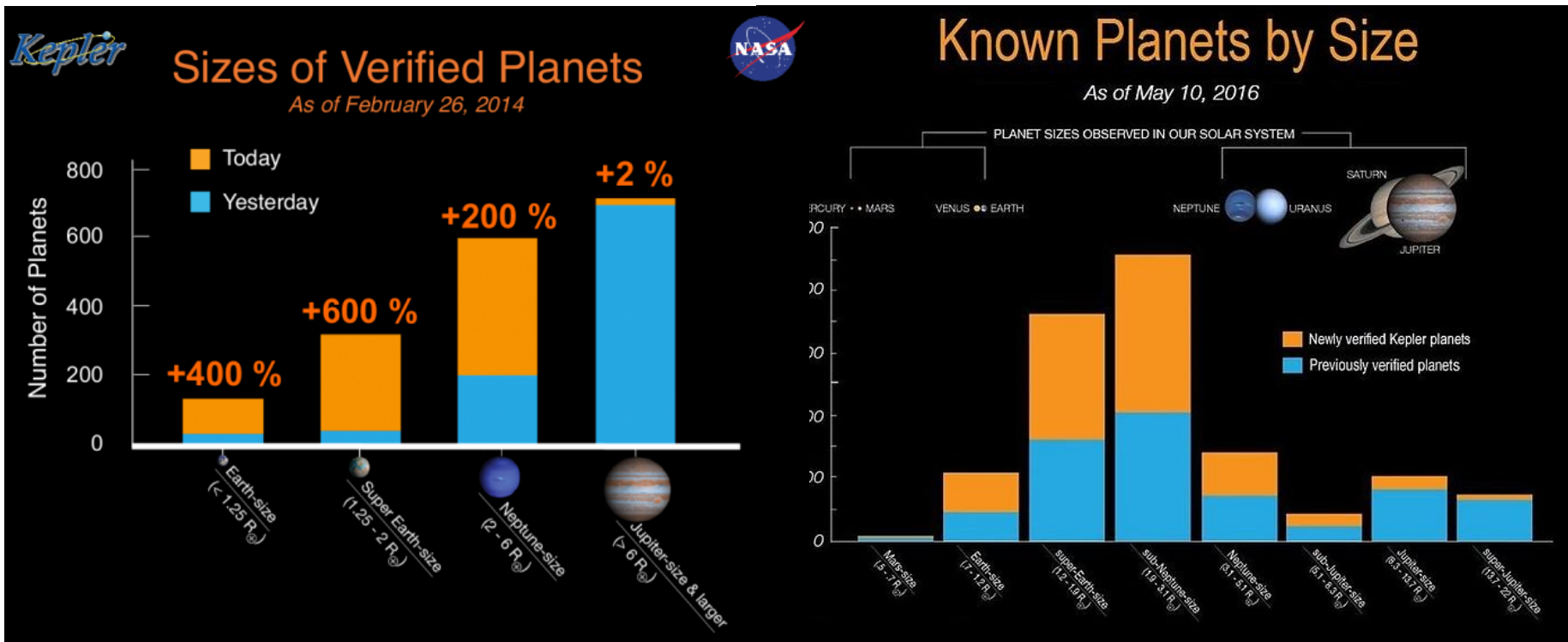


Egyre kisebb bolygóból egyre többet

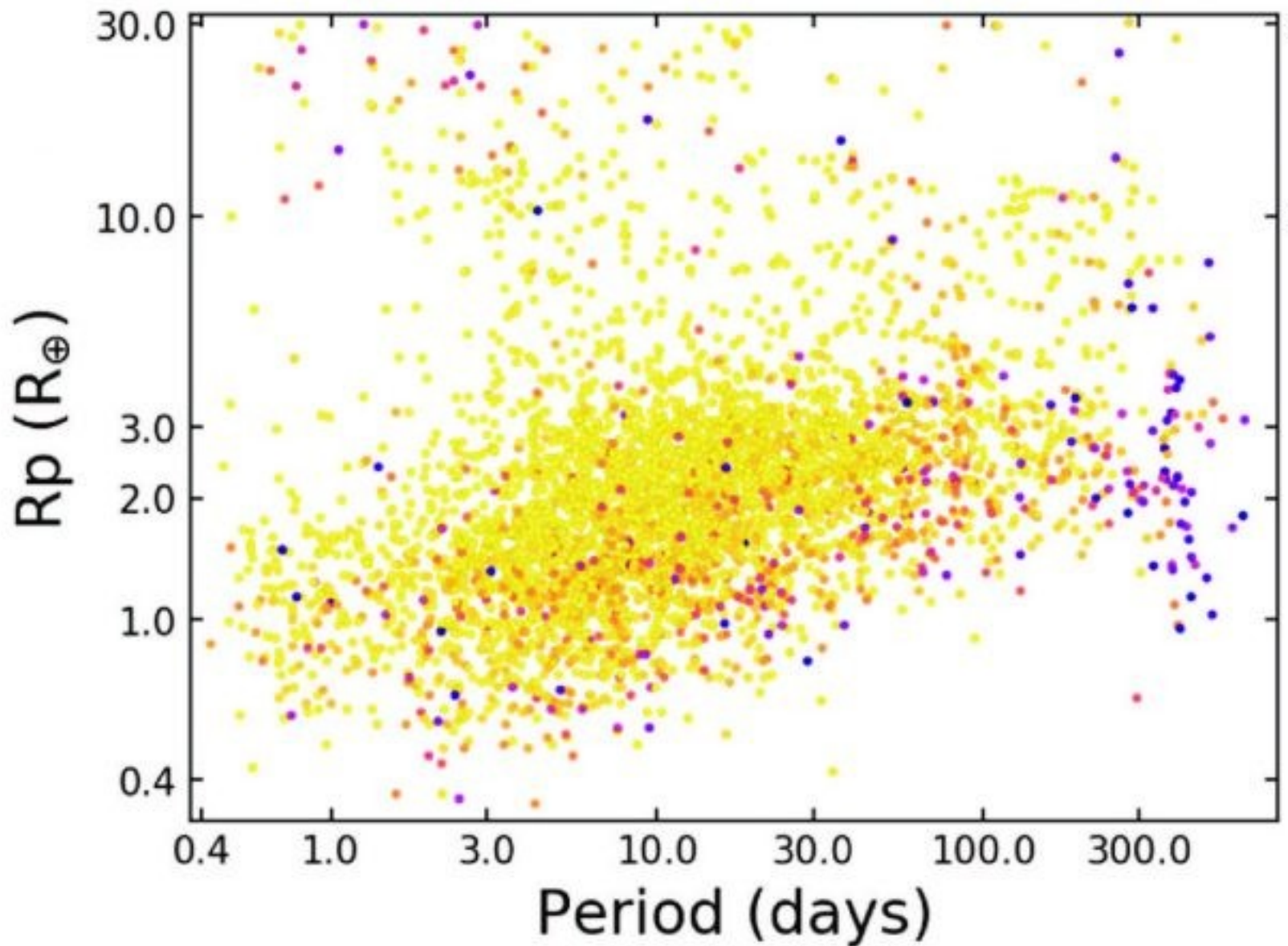
A Tejútrendszerben (100 milliárd csillagot véve) 17 milliárd Föld méretű bolygó lehet (és a hosszabb keringési idejű bolygókról még hiányos a kép).

Főleg a Naphoz hasonló csillagok körül lehetnek bolygók. Az M törpék körül érdemes keresni.

A lenti két képen szembetűnő a 2014 és 2016 közötti fejlődés.



Ismert exobolygók 2018-ban



Exobolygók kettős rendszerekben

Cirkumbináris pályájú exobolygók

1-es típus: Kepler-16, -34, -35, ... (24 rendszer ismert már);

2-es típus: nem esik egybe a két pálya, a bolygó csak az egyik csillag előtt vonul át;

3-as típus: nem fedési a kettős, átvonulás csak az egyik csillag előtt.

2-es és 3-as típushoz tartozó bolygót még nem észleltek.



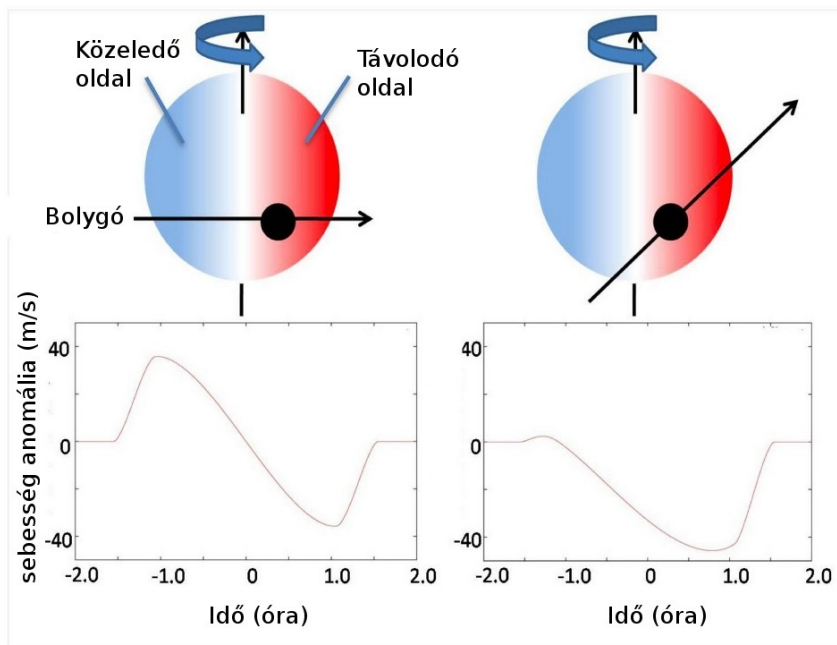
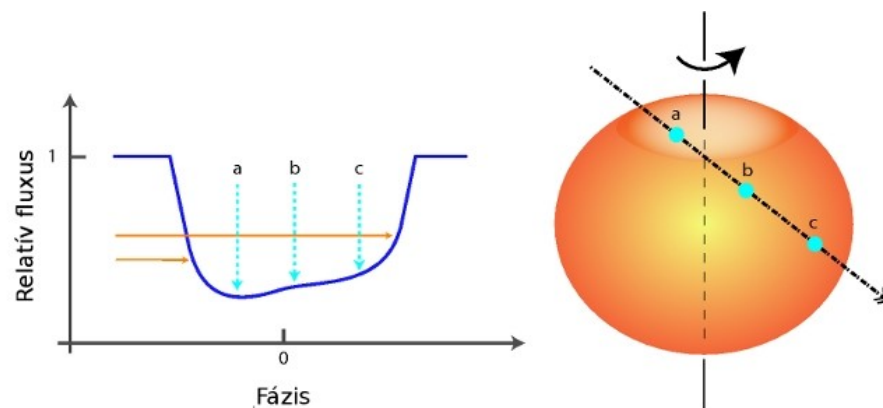
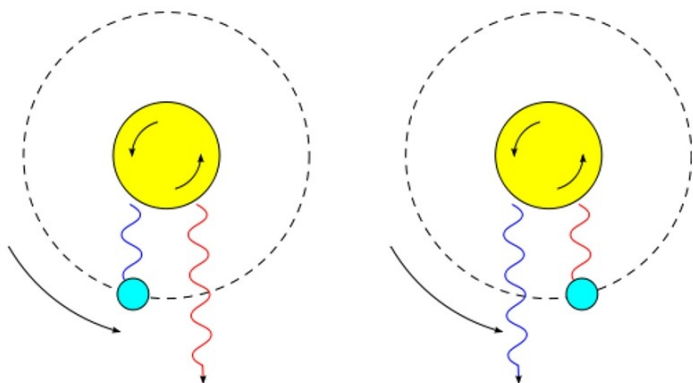
David Martin (Univ. of Geneve) & Amory Triaud (MIT)

Kepler-16,-34,-35,...
14 rendszer
mind 1-es típusú

2: nem esik egybe a két pálya, csak az egyiket fed

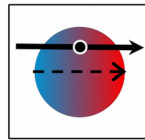
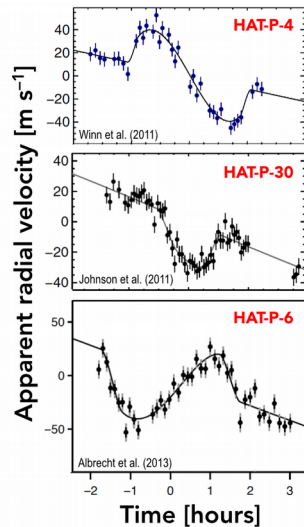
3: nem fed a kettőscsillag, csak az egyiket fed

Fontos effektus (radiális sebességből)

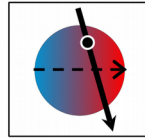


Rossiter–McLaughlin-effektus:
fedési kettősöknél, illetve
exobolygó keringése esetén az
átvonulás alatt a színeképvonal
profilja változik.

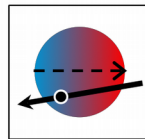
A Rossiter–McLaughlin-effektus



Well-aligned



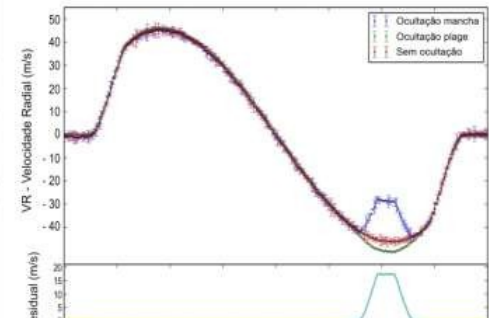
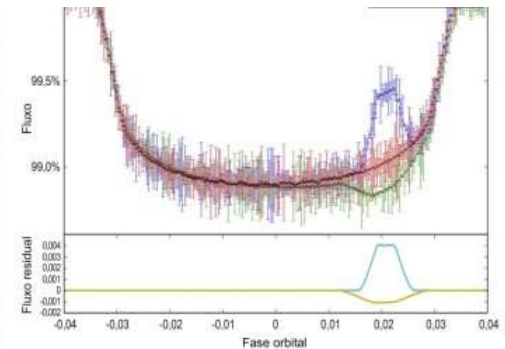
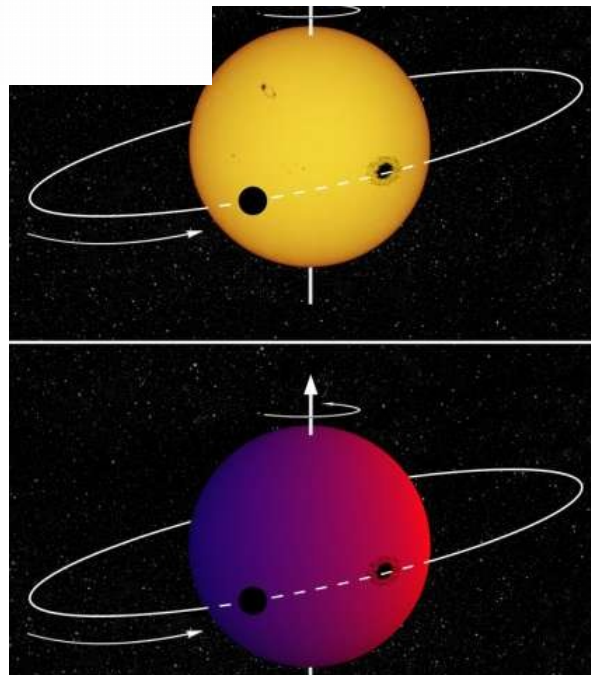
Misaligned



Retrograde

A forró jupiterek 25%-a a csillag forgásával ellentétes irányban kering.

Késői típusú csillagoknál a foltok hatása zavaró lehet.

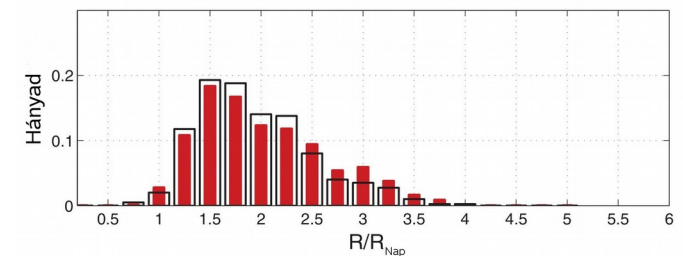
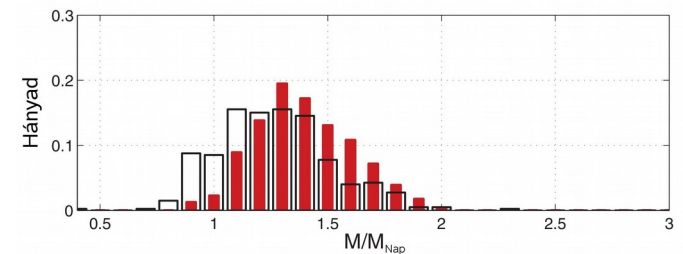
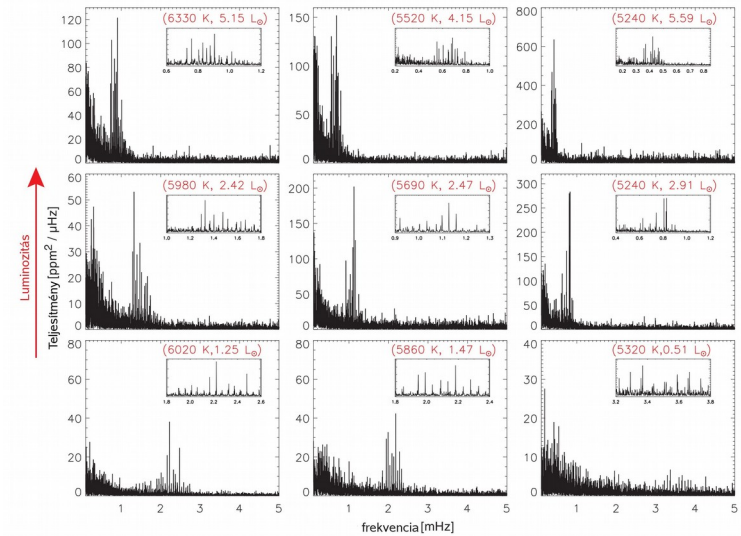


Asztroszeizmológia a Keplerrel

A fedés mélységéből a bolygó és a csillag méretaránya jön ki, az abszolút mérethez fontos a csillagszeizmológia (Nap típusú oszcillációk – 1 millió módus a Napban) – KASC.

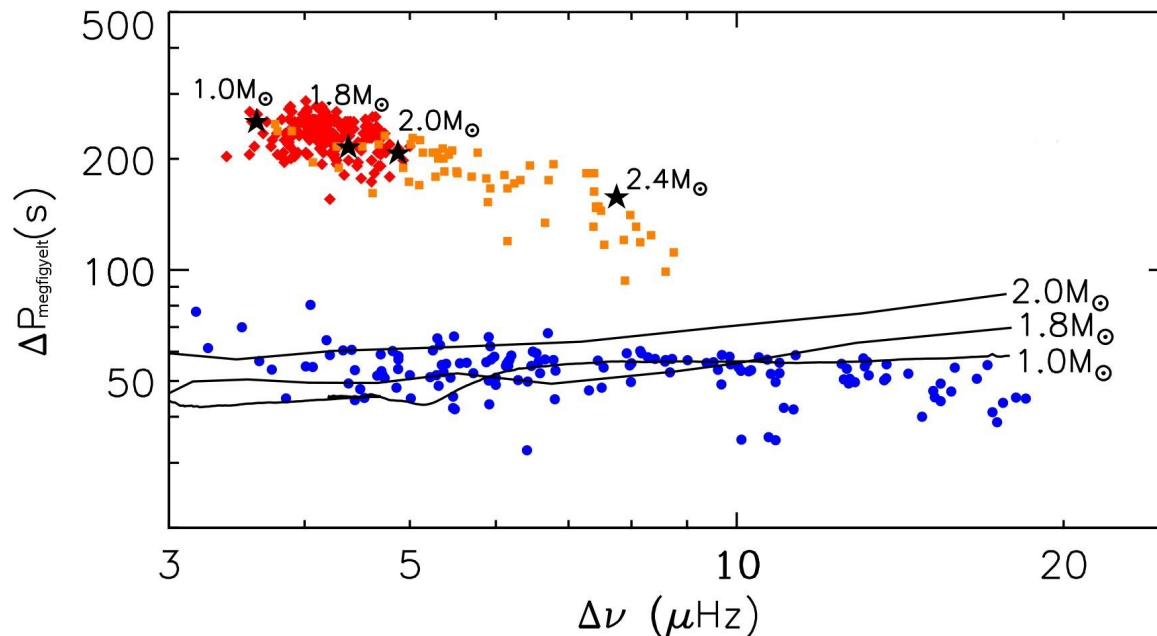
500 különböző korú csillag Nap típusú rezgéseiből a csillagok tömegének és sugarának meghatározása a nagy szeparáció alapján (a szeparáció az átlagsűrűségtől függ, a maximális amplitúdóhoz tartozó frekvencia a felszíni g -től, és a színeképből ismert T_{eff} -től).

A sugarak eloszlása megfelel a vártnak, a tömegeloszlás szélesebb és a nagyobb tömegek felé tolódott. A kezdeti tömegfüggvényt újra meg kell állapítani a csillagkeletkezési modellekre.



Asztroszeizmológia a Keplerrel

Kevert módusok alapján a vörös óriáscsillagok fejlődési fázisainak elkülönítése (energiatermelés H-égéssel a mag körüli héjban, ill. He-égéssel a magban). g-módus (nehézségi hullám) a magban, p-módus (hanghullám) a köpenyben. A csillagfejlődés során a módusfrekvenciák eltolódnak (hasonló értéket is felvehetnek), és kölcsönhatnak egymással, kevert módusokat gerjesztve. A kevert módusok perióduskülönbsége 50, ill. 100-300 s. (A Napban viszont nincsenek gerjesztve kevert módusok).



Asztroszeizmológia a Keplerrel

KOI-54 = HD187091: Szívdobbanás-csillag: 42-naponként 0,6% felfényesedés, közben oszcilláció (fekete lyuk nem lehet, mert nem röntgensugárzó). Két csillag elliptikus pályán egymás körül kering, a pulzációt árapályhatás kelti (a keringési idő a pulzációs periódus egész számú többszöröse, 23 és 91 közötti rezonancia). Felfényesedés periasztronnál.

100-nál több ilyen csillagpárt is találtak, vannak köztük fedési kettősök is. A kettőscsillagok, illetve a pulzáló csillagok új típusaként értelmezhetők.

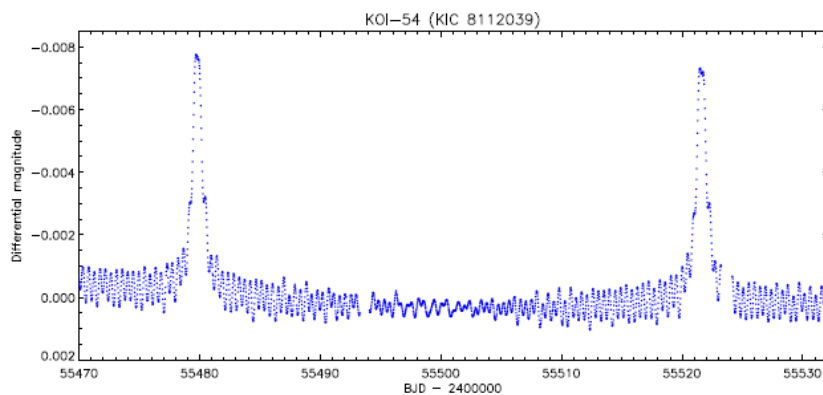
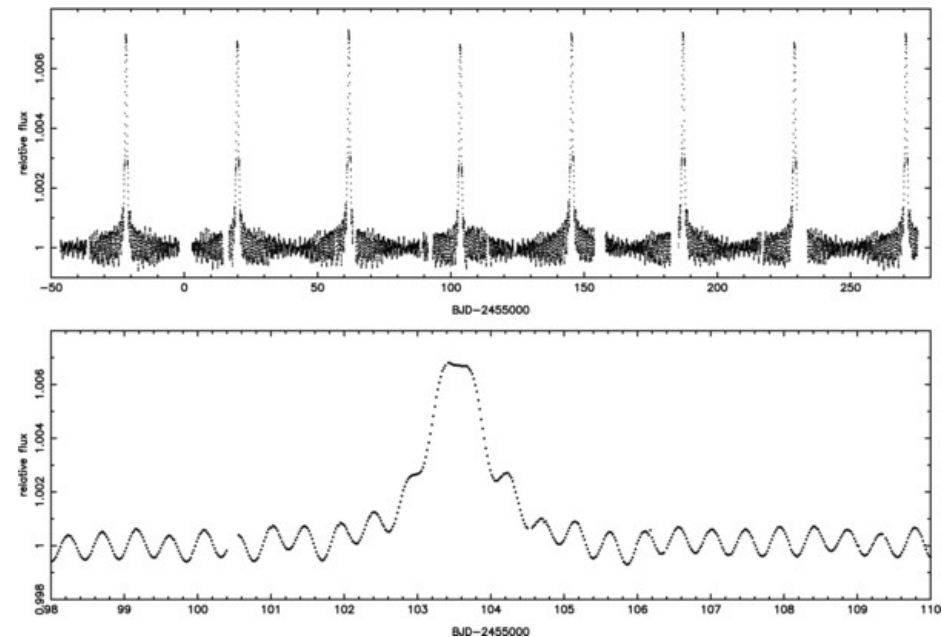


Fig. 5. Excerpt from the *Kepler* long-cadence light curve of the heartbeat star KOI-54.



Fedési kettősök a Kepler-mezőben

A Kepler-adatokból 2700-nál több fedési kettőst azonosítottak, ezek nagyrészt még feldolgozatlanok.

KIC 9472174: fedési kettős (sdB + M törpe), erős reflexiós effektus, sdB komponens több (g és p módusú) frekvencián pulzál **(fent)**.

KIC 11285625: 0,1 magnitúdós GDOR pulzáció + 0,15 magnitúdós fedés 10,8 naponként. A frekvenciafelhasadásból a forgási periódus is meghatározható **(középen)**.

KIC 4544587: a főkomponens DSCT típusú, a másodkomponens GDOR típusú (nincs ábra).

KIC 10661783: fedési kettős DSCT főkomponenssel **(lent)**.

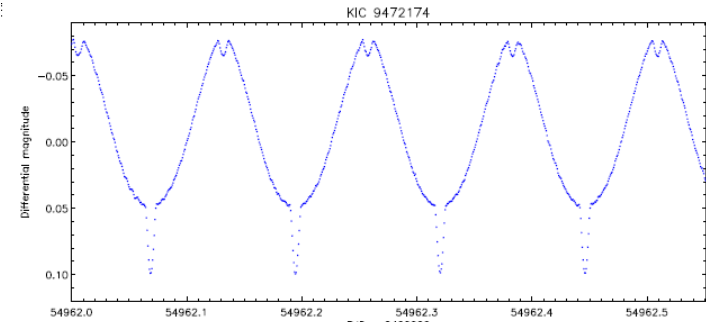


Fig. 6. Excerpt from the *Kepler* short-cadence light curve of the sdB plus M-dwarf eclipsing binary KIC 9472174.

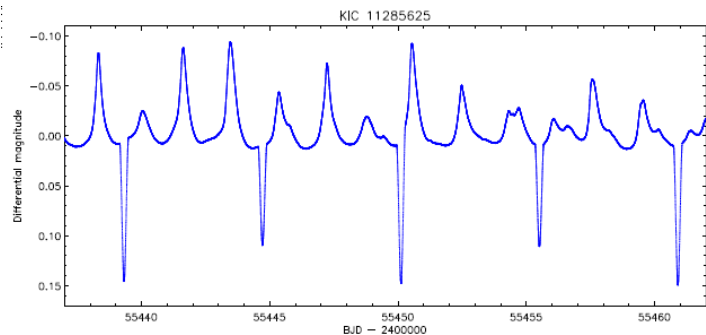


Fig. 4. Excerpt from the *Kepler* long-cadence light curve of the γ Doradus eclipsing system KIC 11285625.

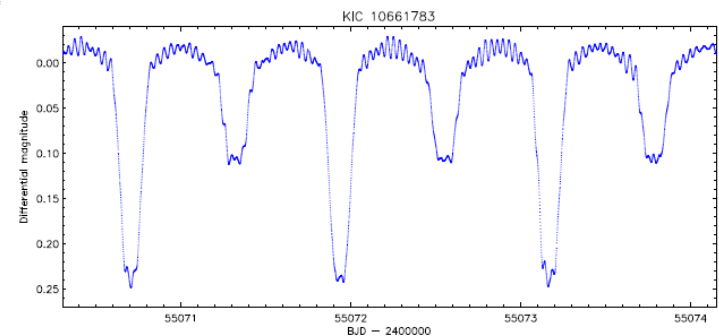


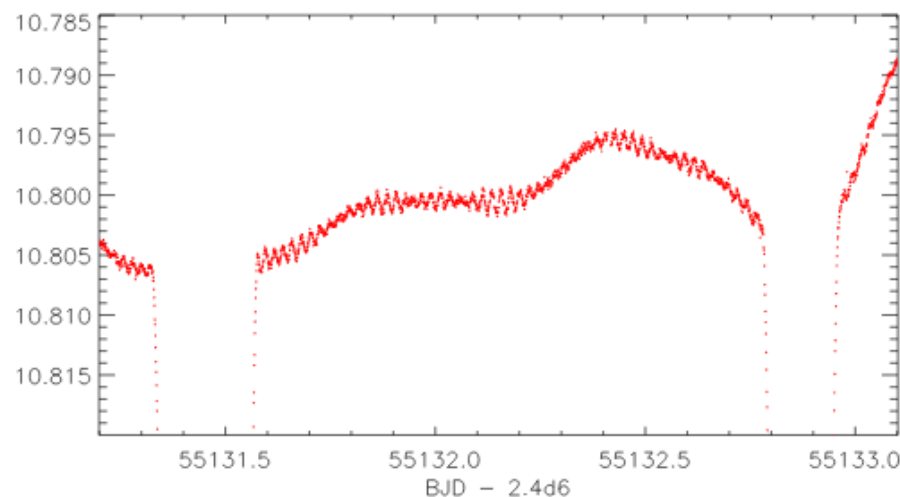
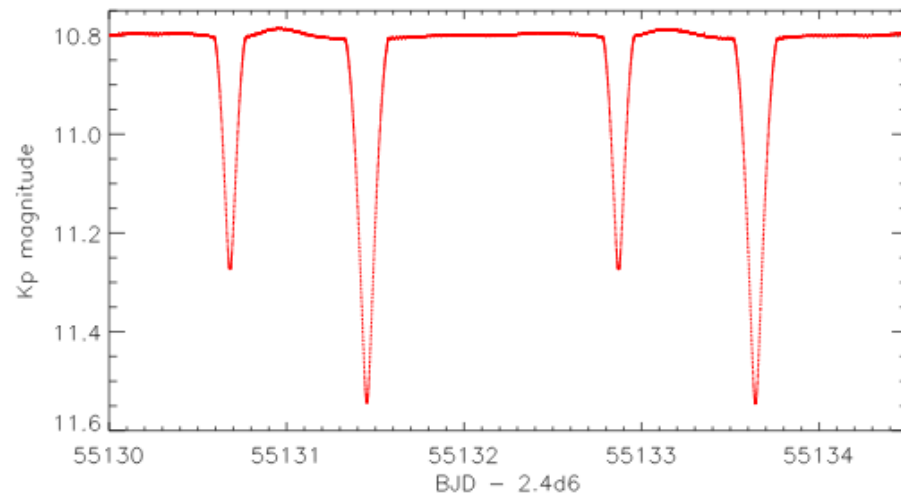
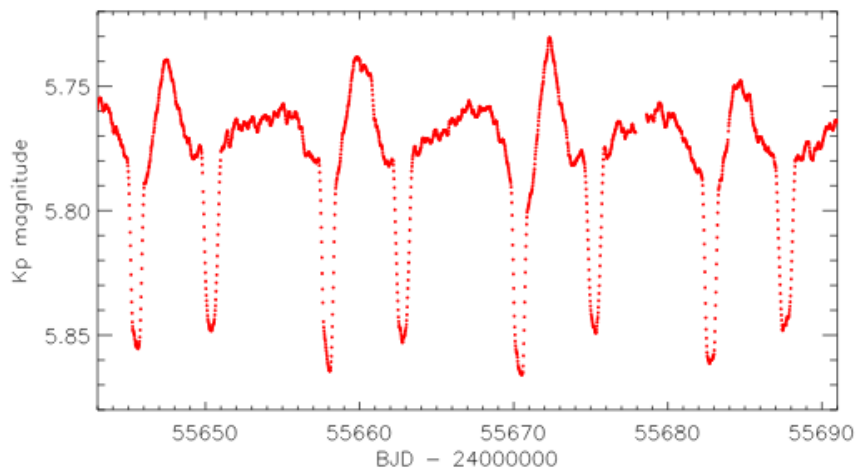
Fig. 3. Excerpt from the *Kepler* short-cadence light curve of the δ Scuti eclipsing system KIC 10661783.

Fedési kettősök a Kepler-mezőben

KIC 4544587: a főkomponens DSCT típusú, a másodkomponens pedig GDOR típusú (jobbra), fent: SC-adatok, lent: a fedések közötti fénygörbe.

V380 Cygni: stochasztikus oszcilláció B1,5 óriás + B2 törpe kettősében (balra lent).

A Nap-típusú csillagot tartalmazó kettősök vizsgálata ígéretes az oszcillációk miatt.



Fedési rendszerek a Kepler-mezőben

Kepler-47 (felső ábrapár):
csillagfolt fedése, a folt
migrál a csillag felszínén
az egymás utáni fedések
között (O-C diagram
jobbra)

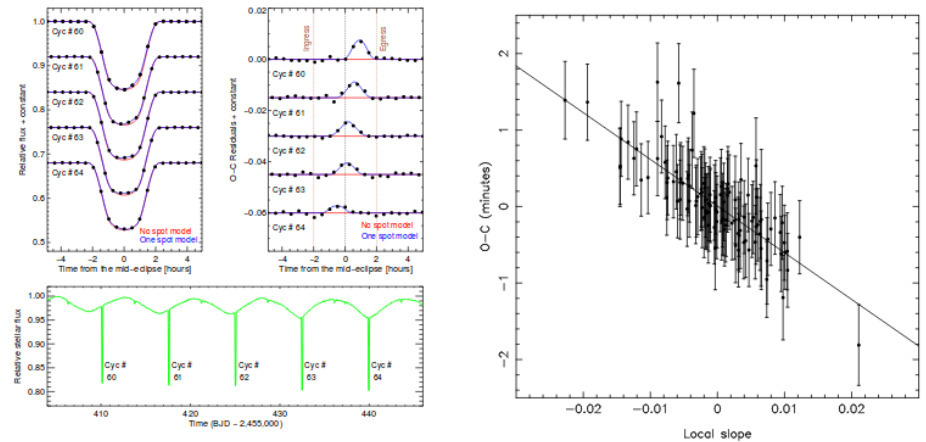
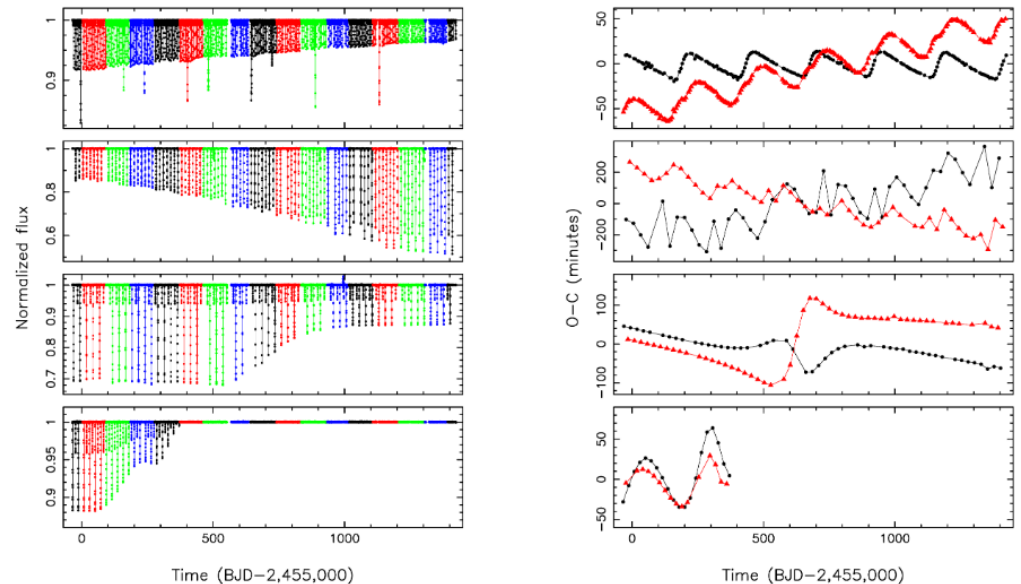


Figure 2. *Left:* Eclipses of a star spot in Kepler-47. A dark spot on the primary star rotates in and out of view, leading to the variable flux in the out-of-eclipse regions as shown at the bottom. This star spot was partially eclipsed by the secondary star during five consecutive primary eclipses. When the eclipse is modeled with a

Hármas rendszerek
Sok ilyen rendszer ismert a
Kepler-mezőben.

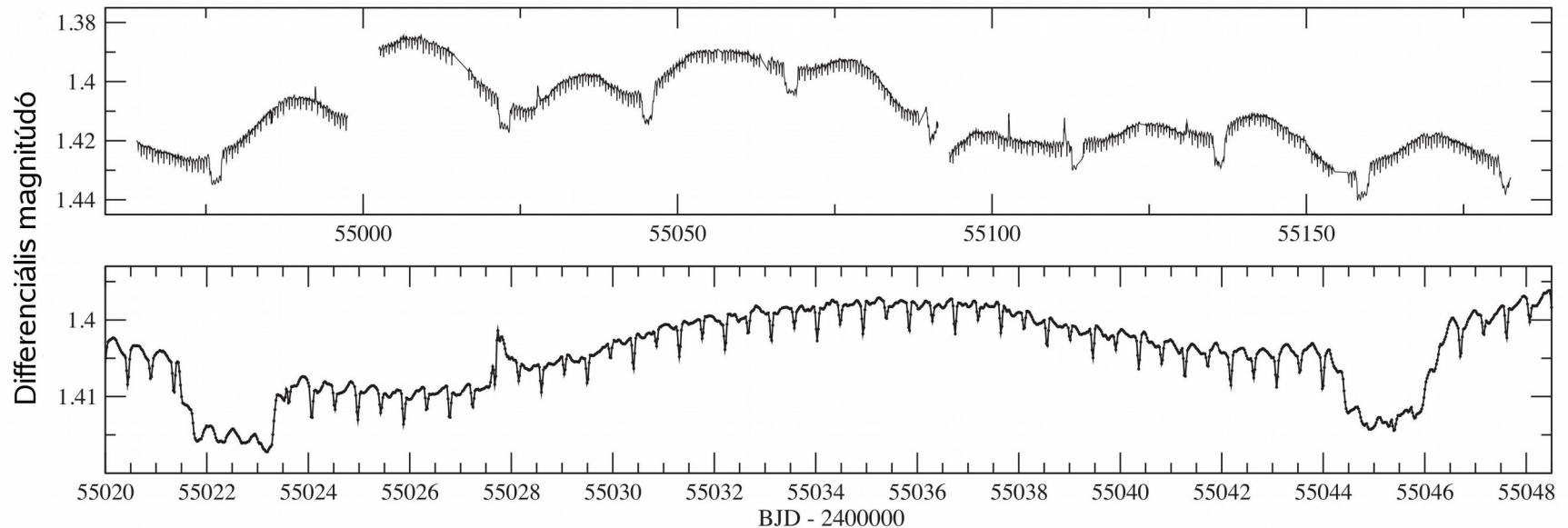
A fedés mélysége is változhat
a harmadik komponens
dinamikai hatására (alsó
ábrapár).

Jobbra: az O-C diagramok
(fekete a főminimumoké,
piros a mellékminimumoké)



Triplán fedő hármascsillag

Magyar felfedezés: **HD 181068** (Trinity) spektroszkópai kettősként volt ismert. Valójában 3 csillag: 1 vörös óriás + egy vörös törpe csillagpár. A pár 45,5 naponként fedésbe kerül, miközben 0,9 napos periódussal maga is fedési kettős. Meglepő, hogy nincsenek gerjesztve Nap típusú oszcillációk a vörös óriásban. Mi nyomja el vagy csökkenti az ilyen rezgéseket? Más (részben a műszertől eredő) effektusok is látszanak a fénygörbén.



B-csillagok a Kepler-mezőben

115 B-csillag négyéves
Kepler-adatsorának
vizsgálata.

Kétharmaduk rotációs
modulációt mutat
(ellipszoidális és/vagy
foltos csillag). A foltok
megjelenése mágneses
mező léteire utal a
csillagburokban.

5 BCEP csillag van,
mindegyikük hosszú
periódusú modulációt is
mutat (de mitől?).

A BCEP instabilitási sávon
kívül is vannak pulzáló
csillagok. Ezek a régóta
gyanított Maia-változók.

A K2 0. mezőjében is találtak
ilyeneket.

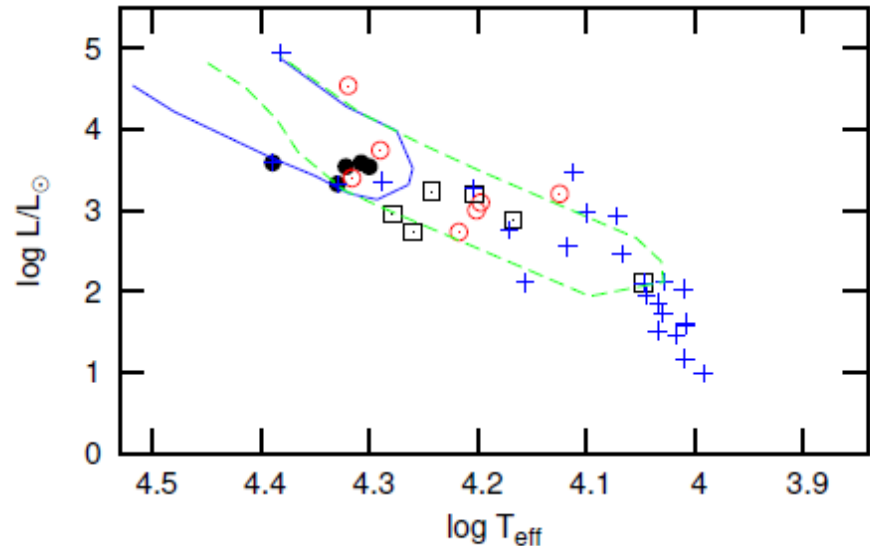


Figure 9. The location of SPB/ β Cep hybrids with spectroscopic parameters in the theoretical H-R diagram are shown as (black) filled circles. SPB stars with spectroscopic parameters are shown as (red) open circles. The (black) open squares are anomalous stars with high frequencies which we call MAIA variables. Stars which do not pulsate (i.e. are classified as neither SPB, BCEP or MAIA) are shown by (blue) plus signs. The region enclosed by the solid line is the theoretical instability strip for β Cep variables. The dashed region is the theoretical instability strip for SPB variables.

A Kepler-cefeida

V1154 Cyg – egyetlen cefeida a Kepler-mezőben: 9,1 magnitúdós, 4,9 napos pulzációs periódus. Az első igazán pontos cefeida-fénygörbe

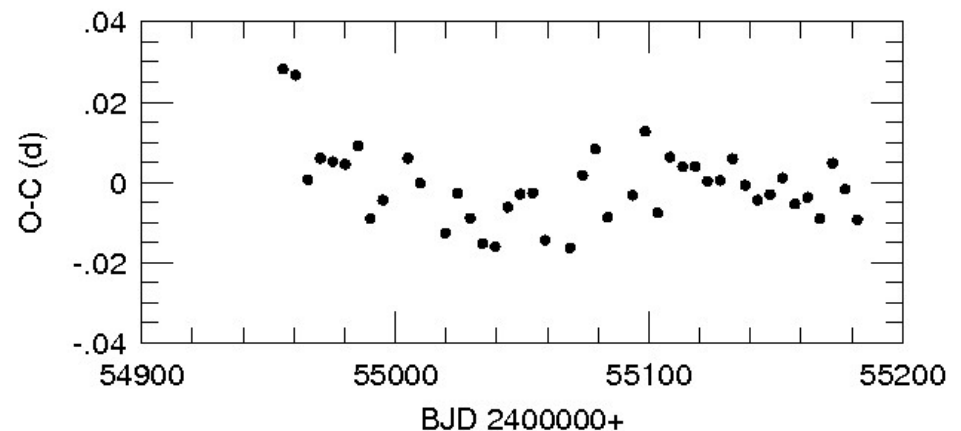
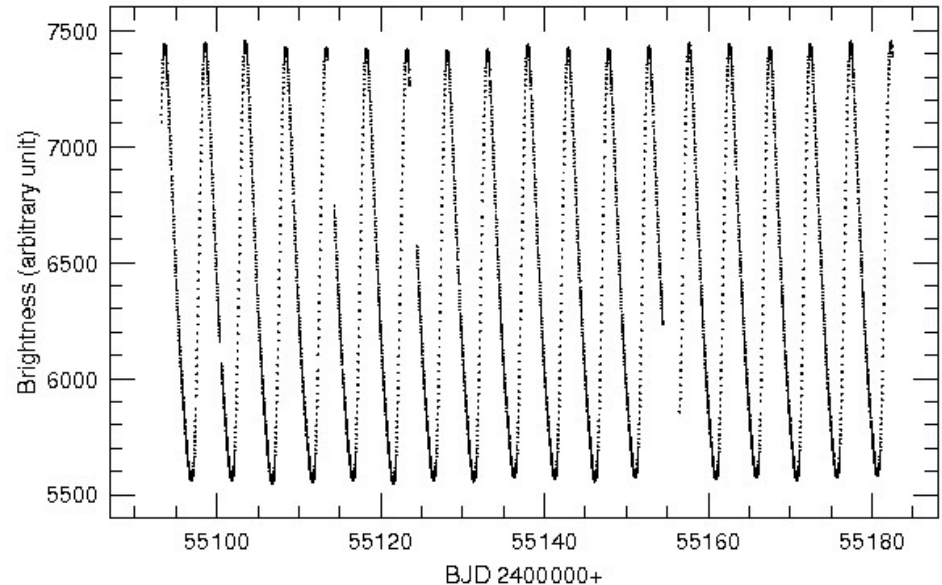
Az első év mérései alapján: instabil a fénygörbe (alak, amplitúdó, fázis) rövid időskálán.

O-C diagram: a periódus csak hosszú időskálán állandó, ciklusról ciklusra ingadozik.

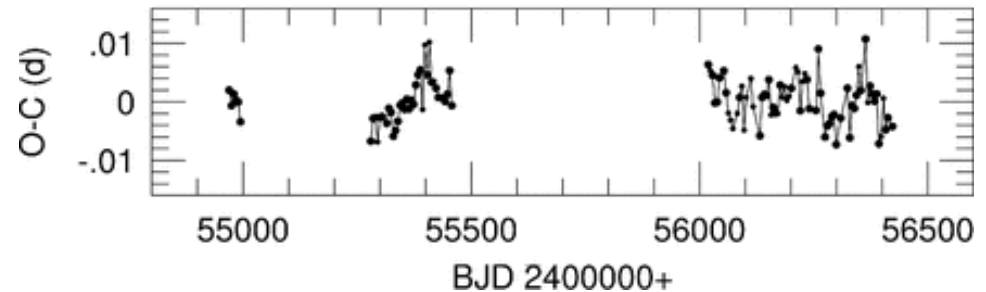
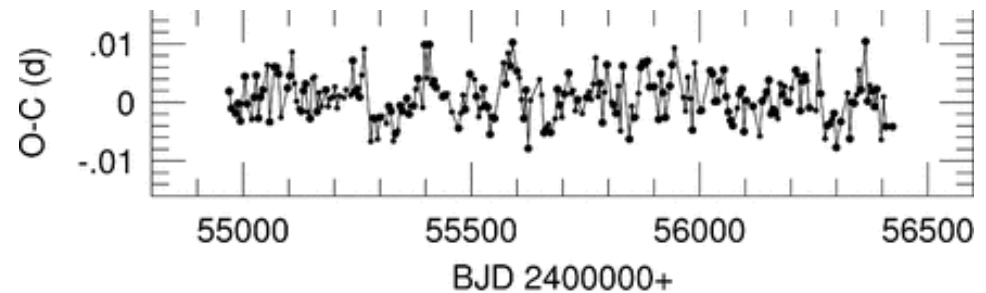
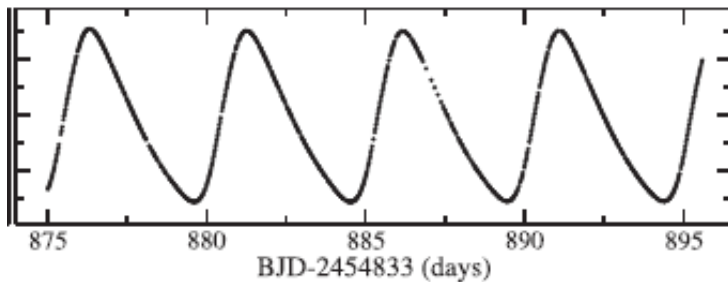
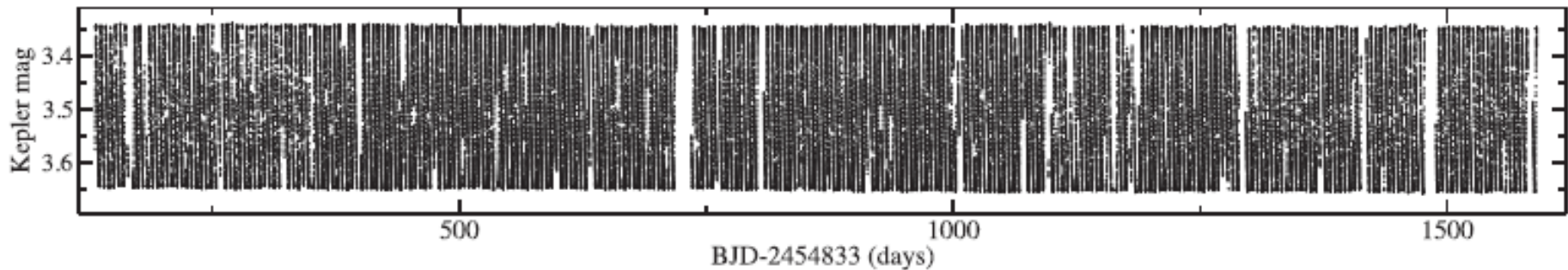
Pulzációs modell nincs még erre a jelenségre.

A teljes mérési sorozat analízise a következő két dián.

A K2 mezőbe már sok (és különféle típusú) cefeida esik.

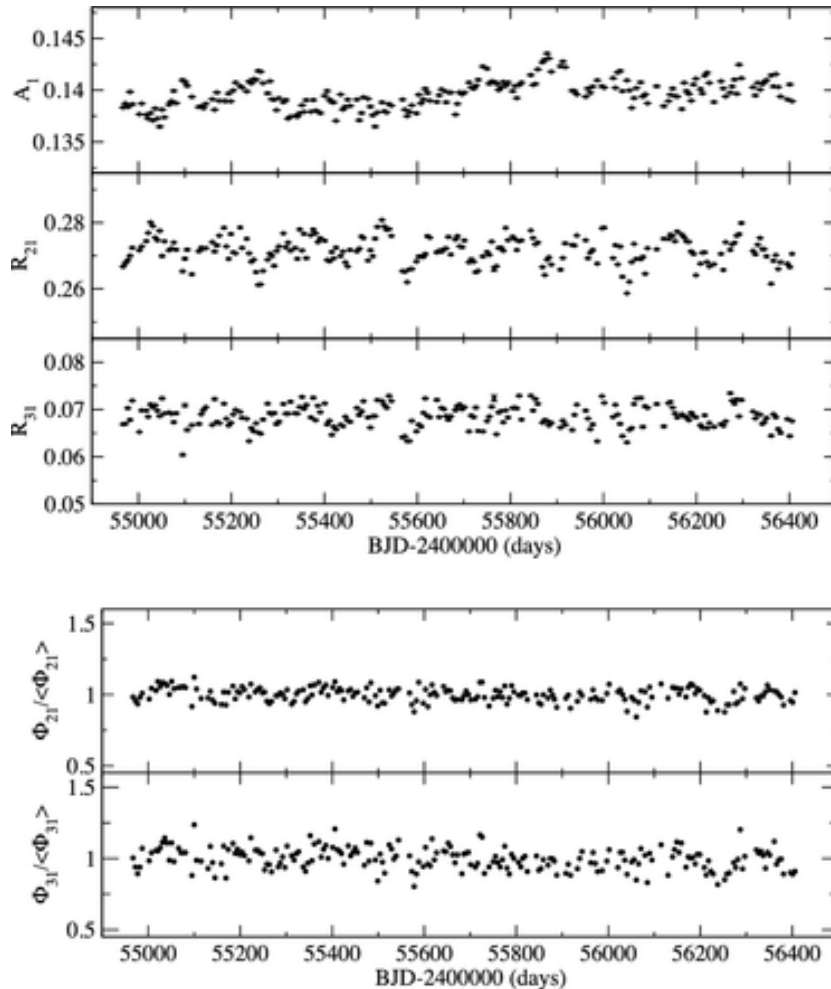


A Kepler-cefeida (V1154 Cygni)

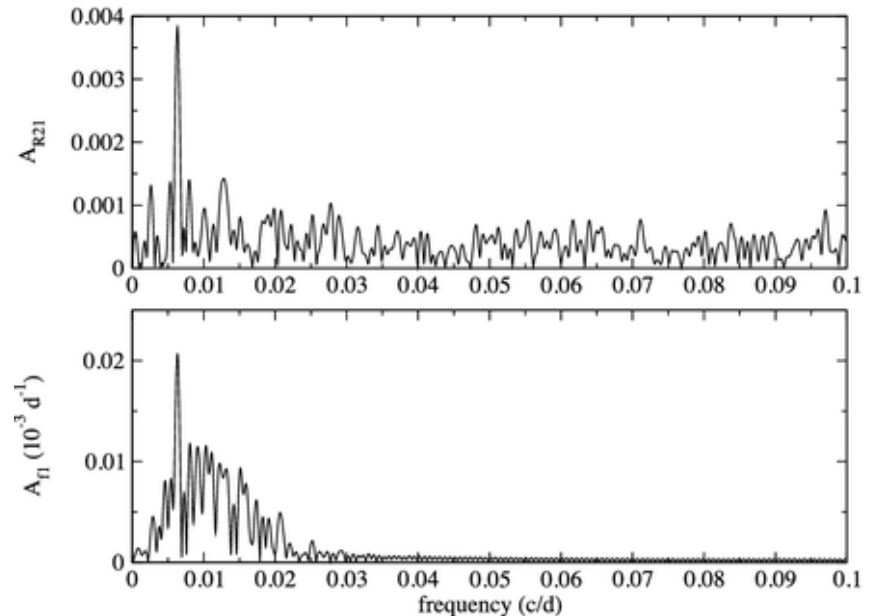


Derekas et al. (2017) új elemzés a teljes, négyéves adatsor alapján. 28 harmonikus a fénygörbében. A korábbi megállapítások továbbra is igazak.

A Kepler-cefeida (V1154 Cygni)



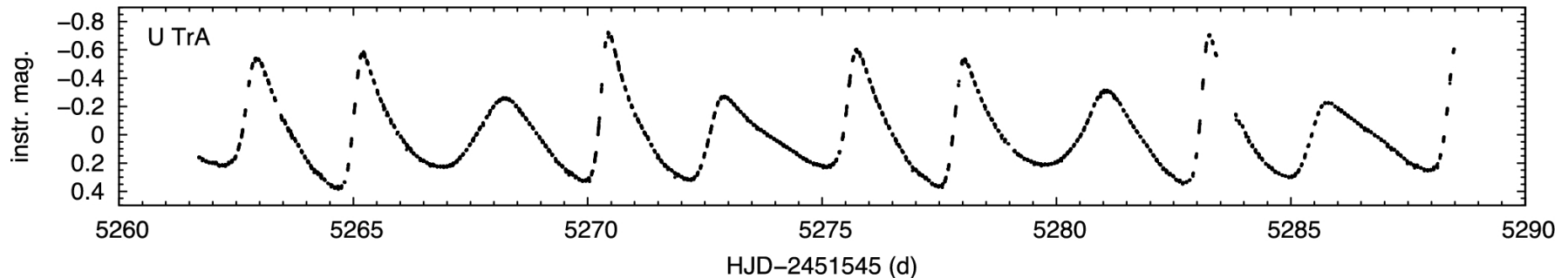
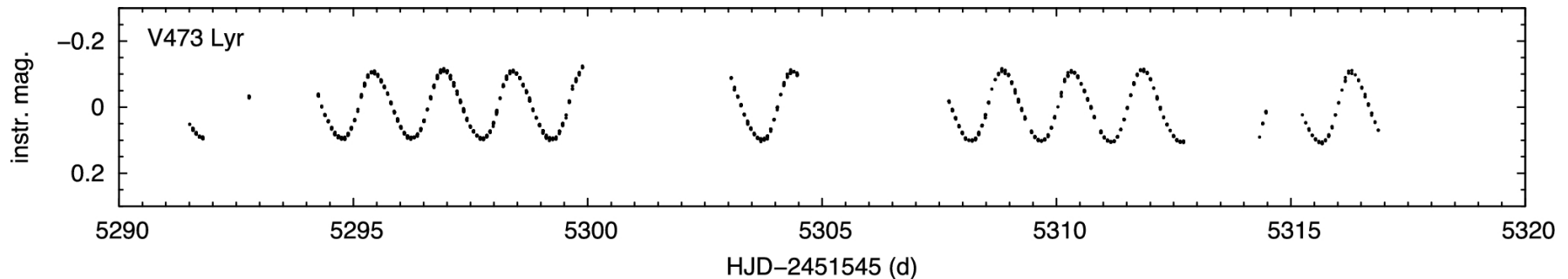
Moduláció is jelen van a pulzációban:
159 (és 1160) napos periódussal.
A Fourier-spektrumban alacsony
frekvenciánál pedig a granulációs
zaj látszik.



Cefeidaészlelések a MOST-tal

Az **RT Aur** (alaplódban pulzáló cefeida) és az **SZ Tauri** (első felhangú cefeida) fénygörbéjének elemzése megerősíti a V1154 Cyg esetében tapasztalt viselkedést.

2014-ben a MOST két további érdekes cefeidát is észlelt: **V473 Lyrae** (hosszú periódussal modulált fénygörbe), **U TrA** (kétmódusú cefeida).

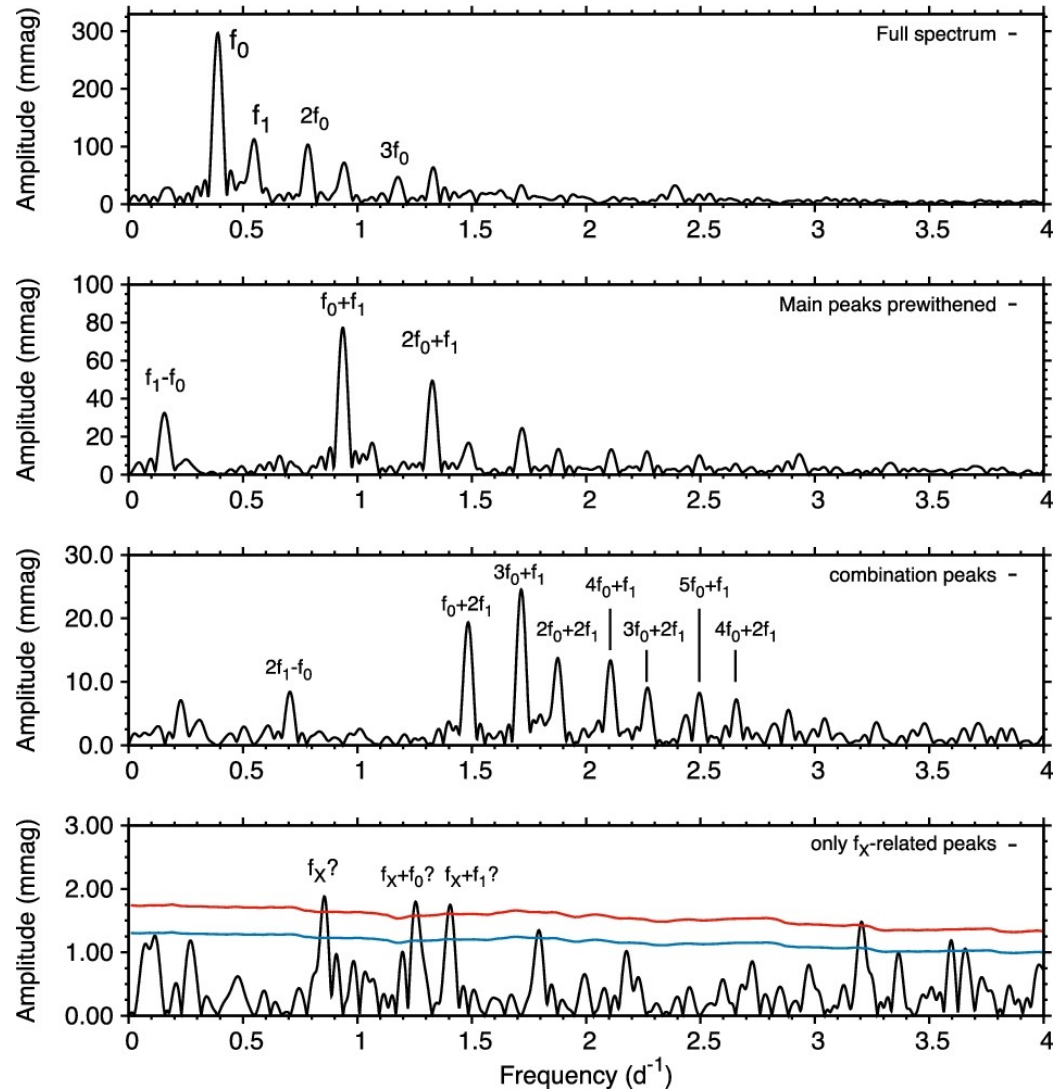


Cefeidaészlelések a MOST-tal

Az **U TrA** esetében a két módus frekvenciáinak lineáris kombinációi feltűnően megjelennek a Fourier-spektrumban.

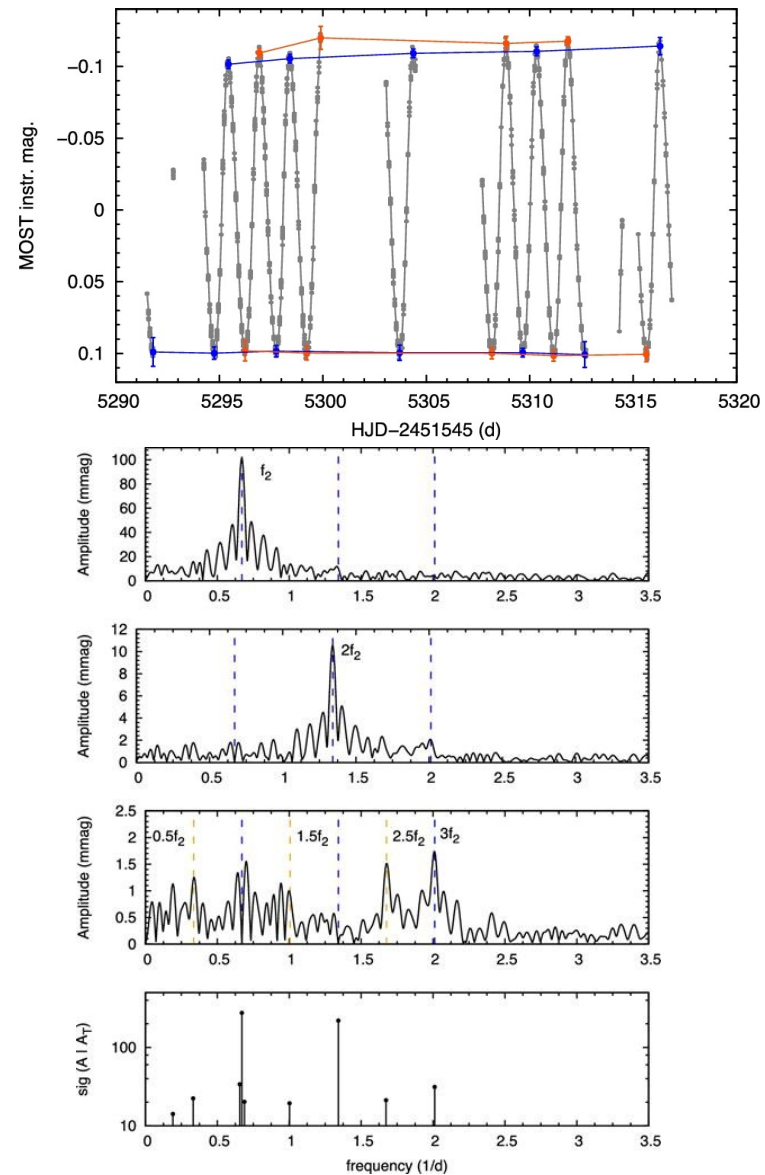
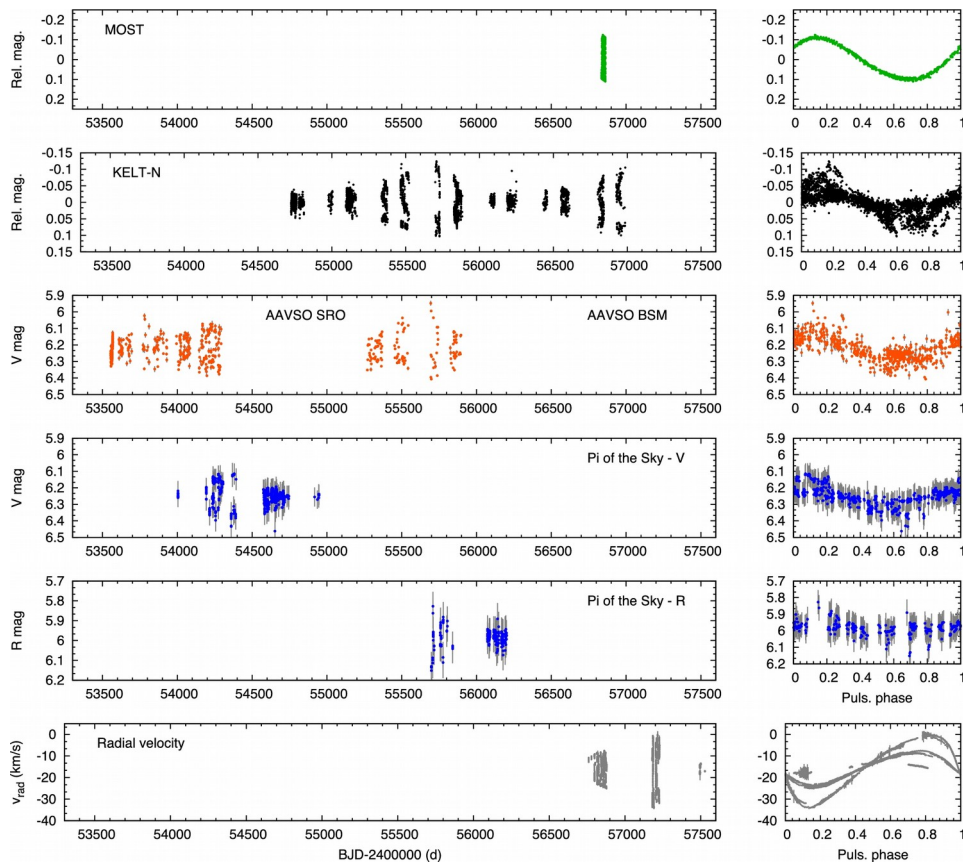
Az esetlegesen nem radiális módusra utaló f_x frekvencia nem választható szét a kombinációs csúcsoktól.

A korábbi fotometriai észlelésekkel összehasonlítva a két módus periódusa és amplitúdója fél évszázadon át stabil.



Cefeidaészlelések a MOST-tal

A **V473 Lyr** pulzációs periódusa 1,4909 nap.
Első eset klasszikus cefeidánál fellépő
perióduskettőződésre. A moduláció a
Blazskó-effektusra hasonlít.



RR Lyrae-csillagok a Kepler-mezőben

A Blazskó-effektus
évszázados rejtély. Több
modell, pl. ferde
mágneses rotátor – de
egyik sem jó.

Perióduskétszereződés;
Ígéretes magyarázat: az
alaprezgés és az első
felhang mellett enyhén
gerjesztett 9. felhang.

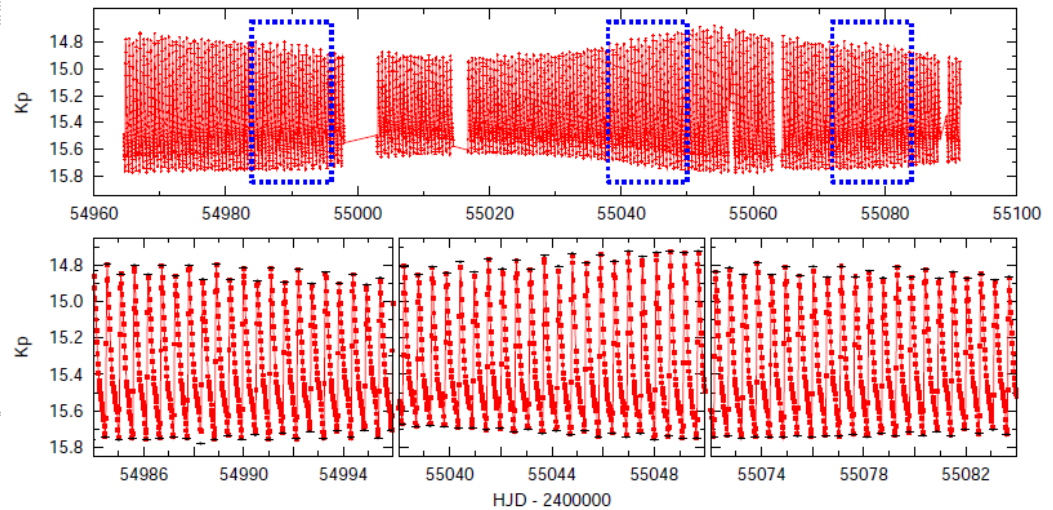
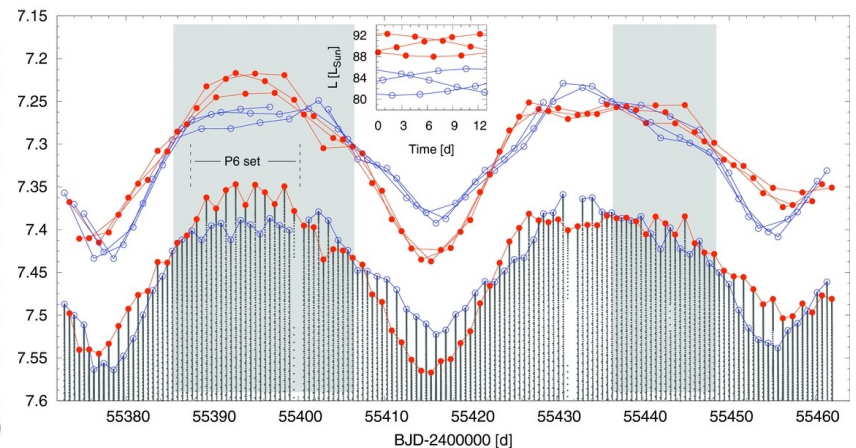
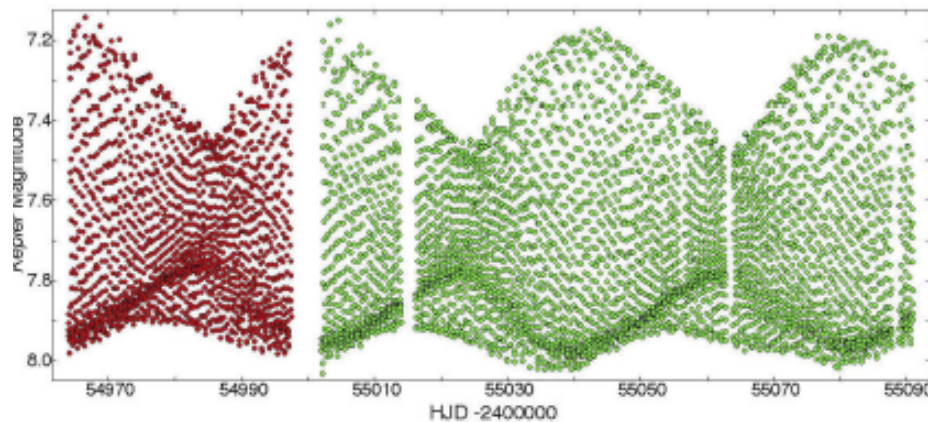


Fig. 1 **Top:** A *Kepler* light curve of the Blazhko star V808 Cygni (KIC 4484128) in quarters Q1 and Q2 showing 133 d of observations. Gaps in the data are due to safe mode events of the spacecraft and planned data download periods. The Blazhko cycle is around 90 d. **Bottom:** Magnification

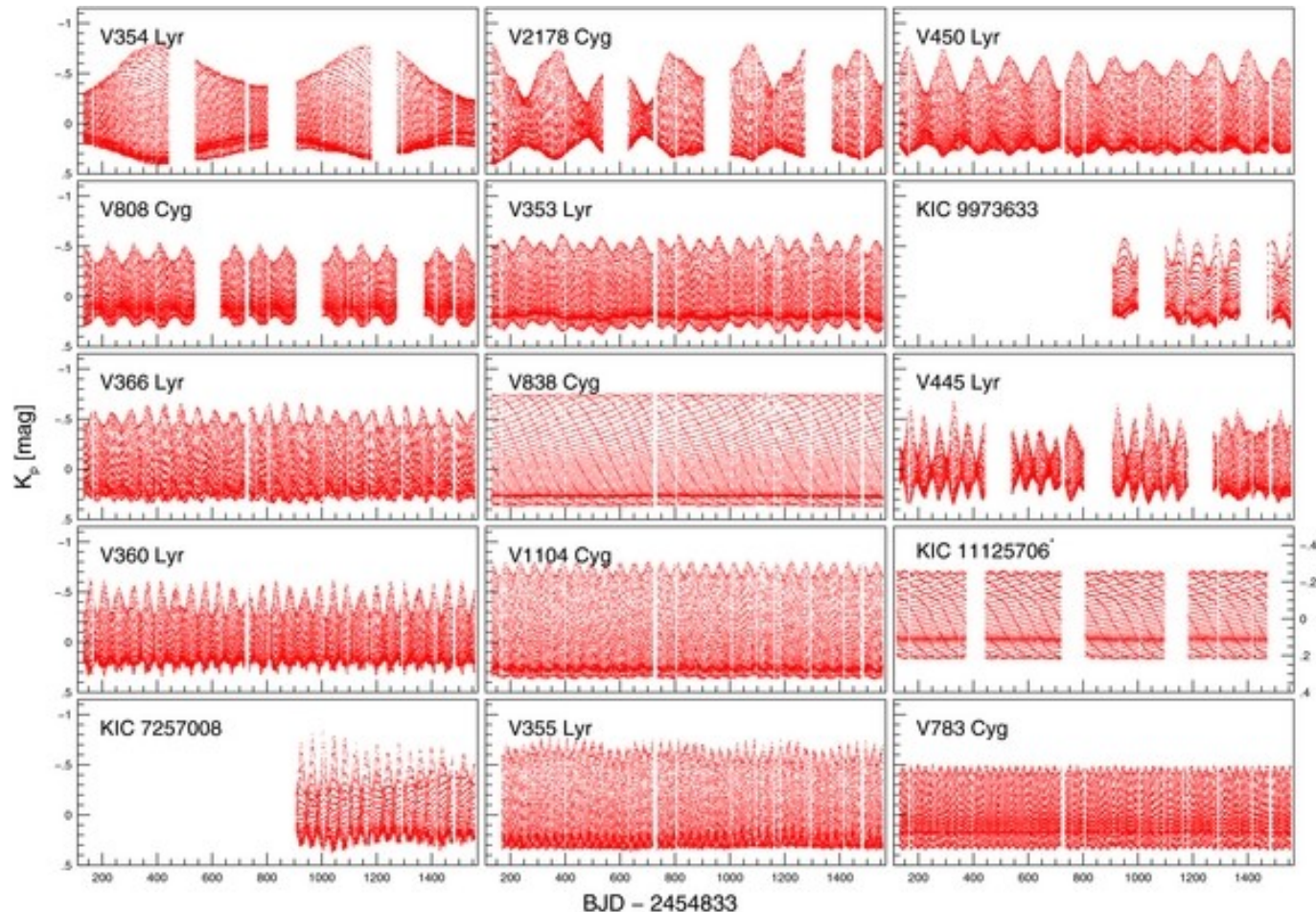
RR Lyr *Kepler* Q1+Q2 data (2009)



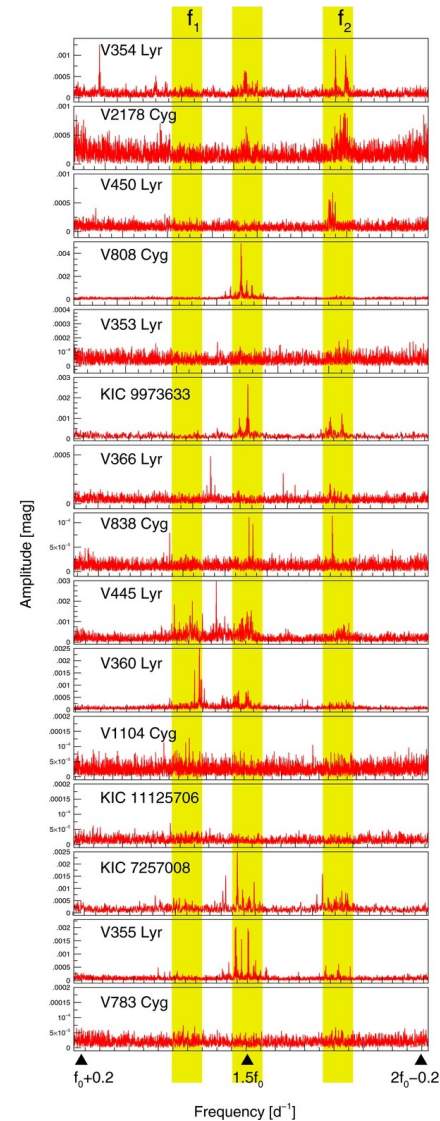
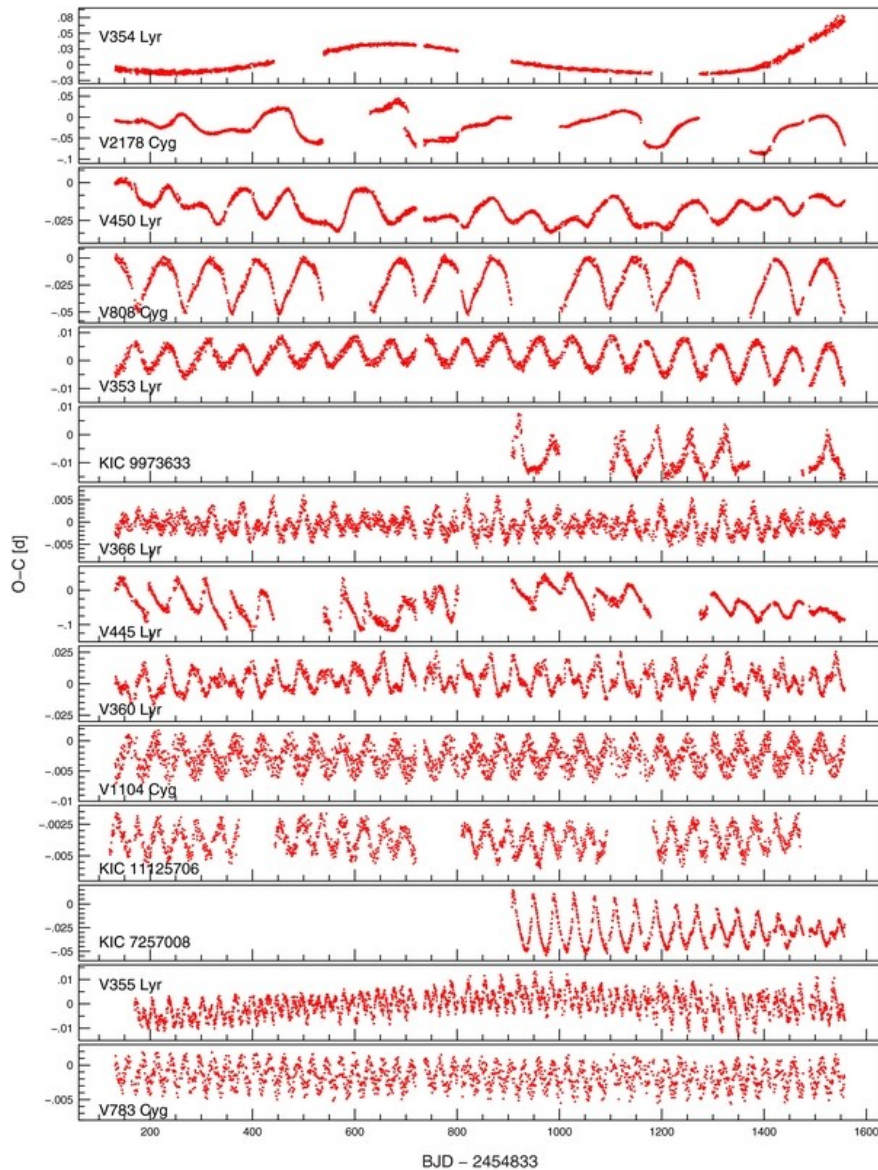
RR Lyrae-csillagok a Kepler-mezőben

Új Blazskó-effektusos RR Lyrae csillagok (kis amplitúdójú moduláció), de nem minden RR Lyrae esetében lép fel a Blazskó-effektus.

Több modulációs periódus egyidejű léte jellemző (Benkő et al., 2014).

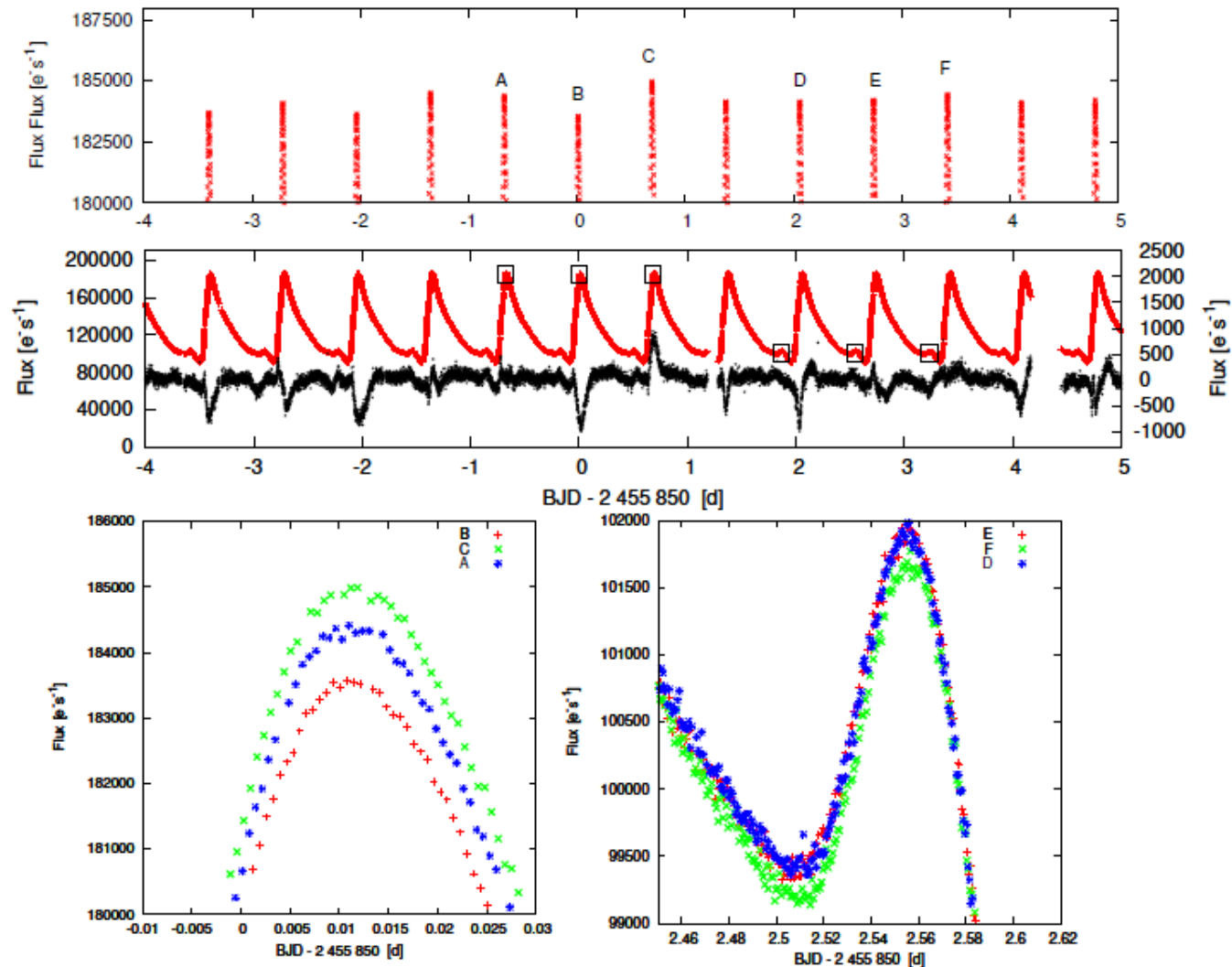


RR Lyrae-csillagok a Kepler-mezőben



RR Lyrae-csillagok a Kepler-mezőben

A nem modulált
RR Lyrae csillagok
fénygörbéje sem
stabil: ciklusról
ciklusra változás
tapasztalható,
mint a klasszikus
cefeidák esetében
(Benkő et al., 2019).



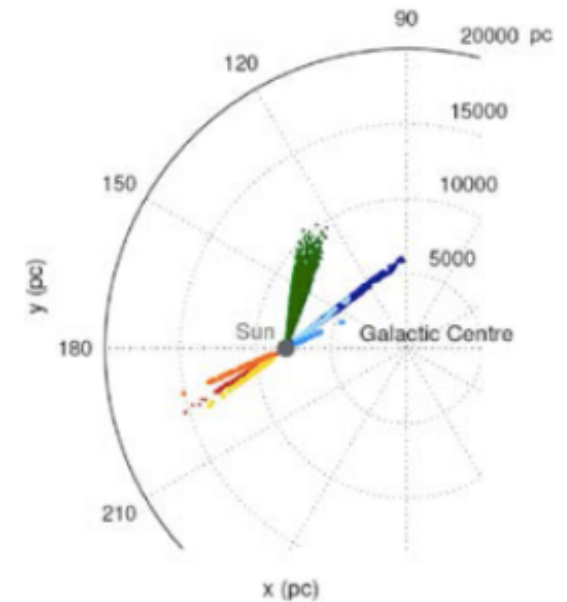
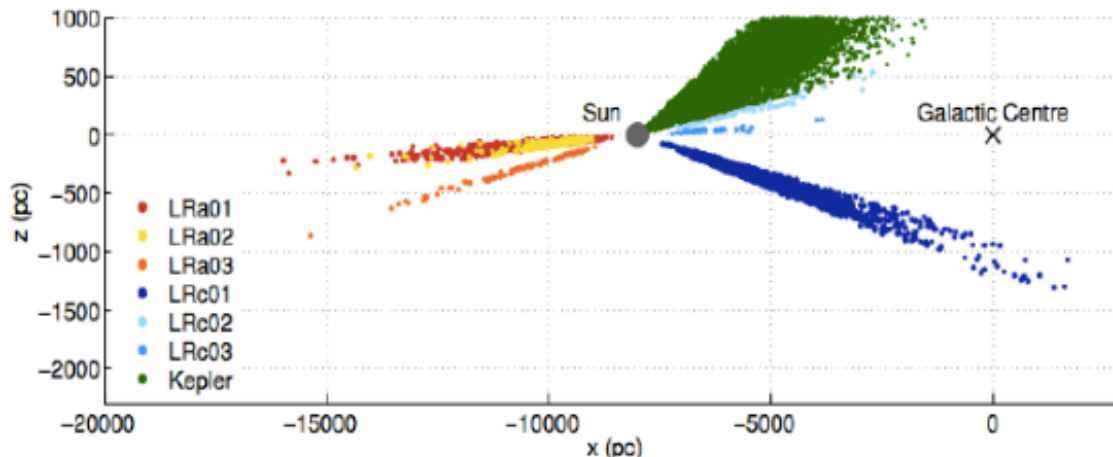
Vörös óriások – Kepler és CoRoT

Asztroszeizmológiával vizsgált vörös óriáscsillagok galaktikus eloszlása.

Több száz csillag fénygörbéjét elemezték asztroszeizmológiai módszerekkel.

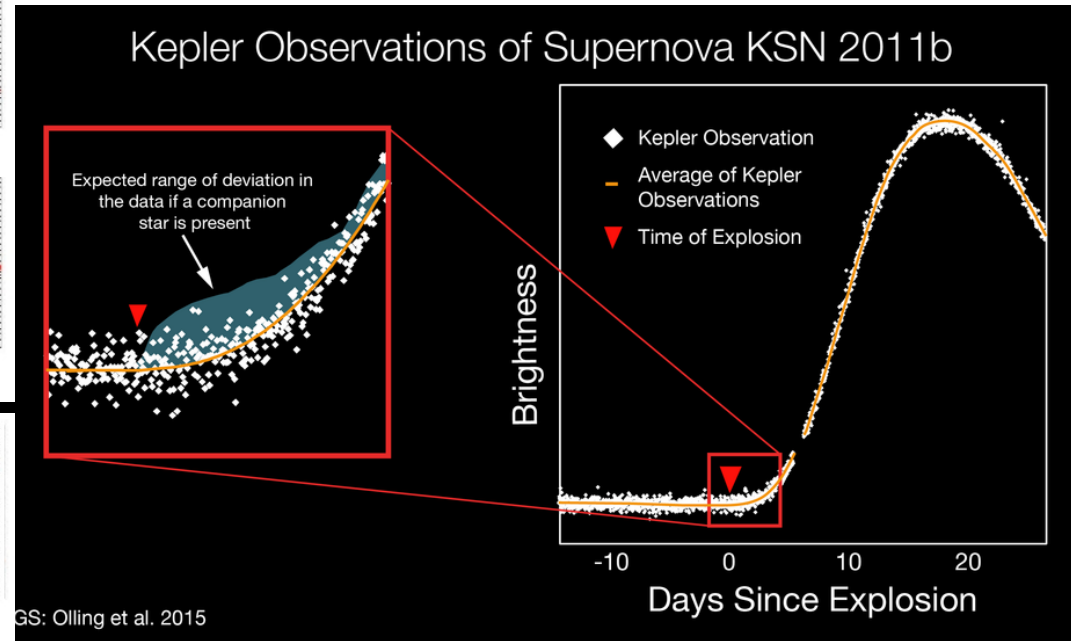
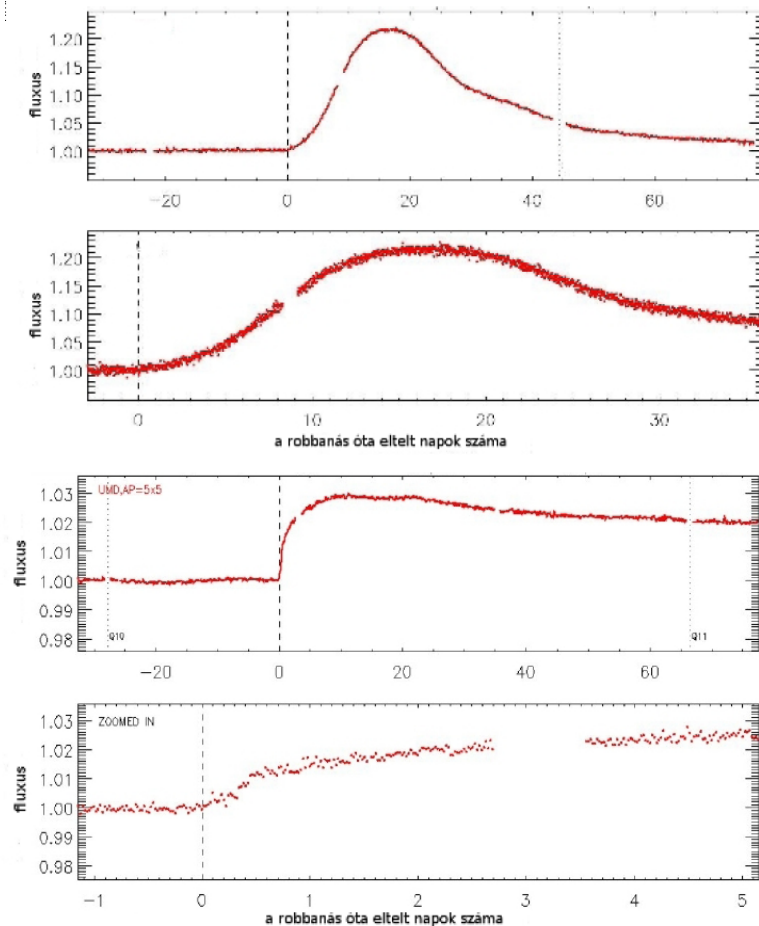
Kepler: zöld, CoRoT: 6 féléves adatsor színekódolással.

Balra a fősíkra merőleges eloszlás, jobbra a fősíkra vetített eloszlás.



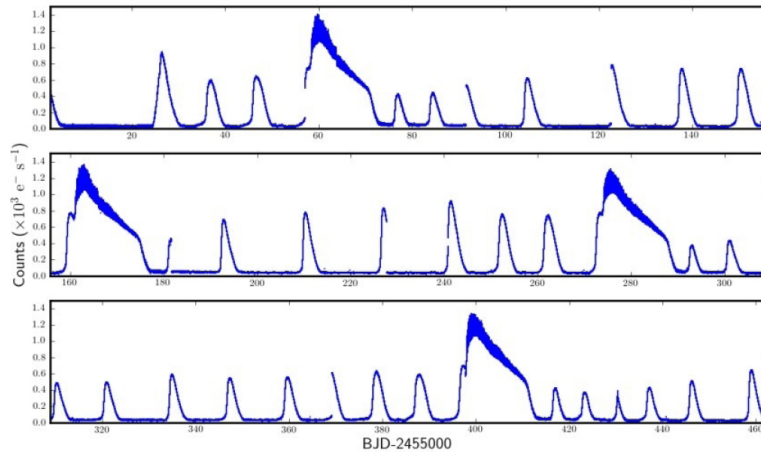
Más típusú változócsillagok a Keplerrel

Négy szupernóvát fedeztek fel a Kepler-adatokból. SNIa és SNIi is van köztük.
Guest Observer-program: aktív galaxismagok (AGN) monitorozása.

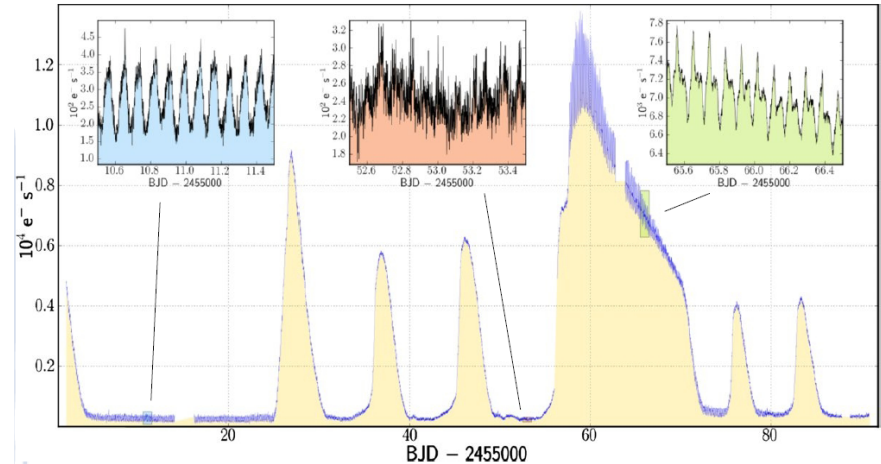


Más típusú változócsillagok a Keplerrel

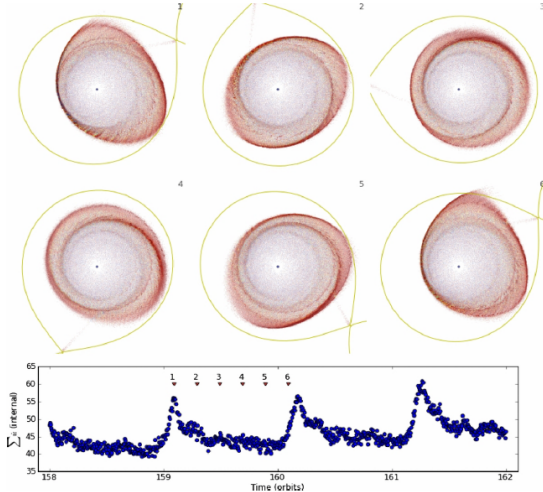
V344 Lyr SU UMa



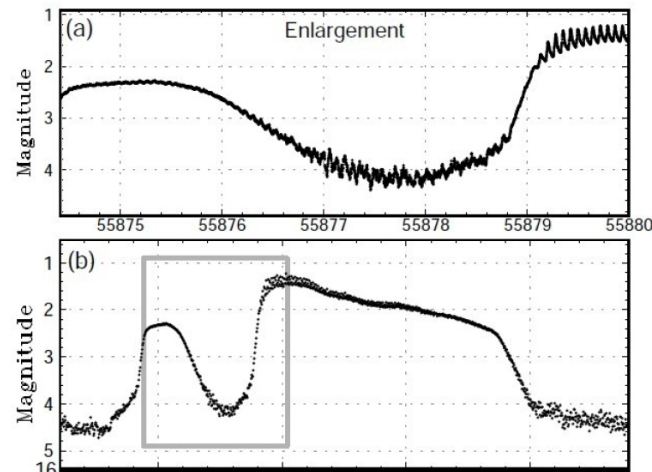
V344 Lyr SU UMa



V344 Lyr SU UMa - superhumps



V344 Lyr SU UMa - superhumps



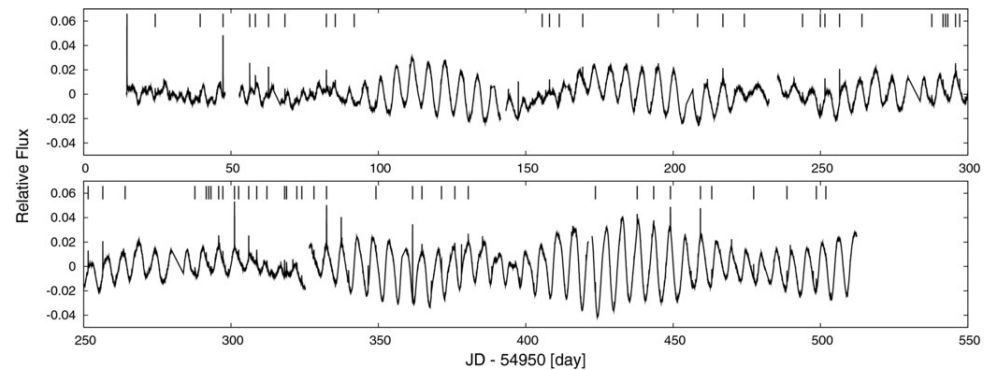
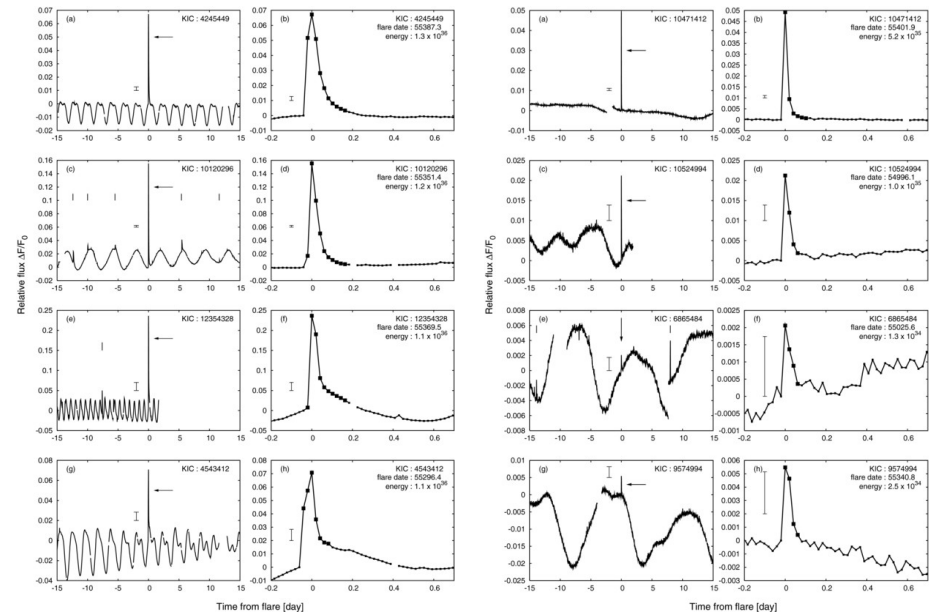
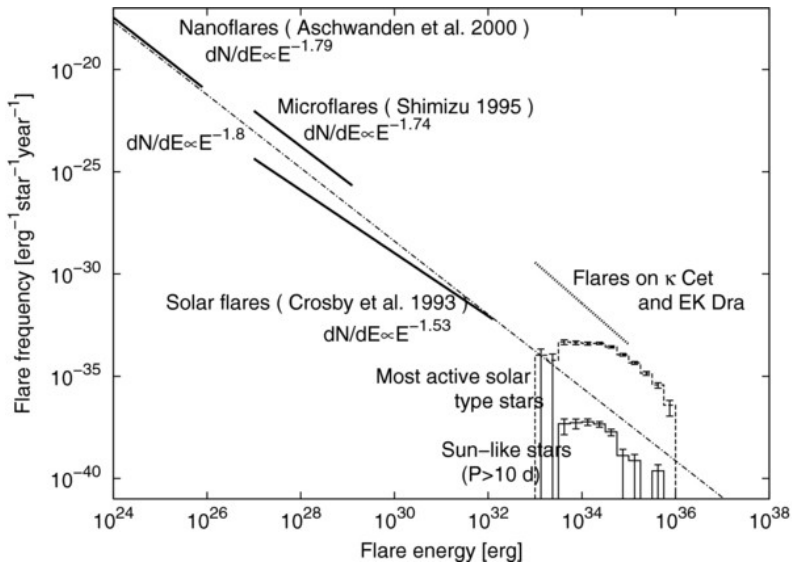
Találtak még 16
katakizmikus
változócsillagot
(SU UMa, WZ Sge,
U Gem, AM Her
típushoz tartozót
és nóvaszerűt is).
Példa: V344 Lyrae

Más típusú változócsillagok a Keplerrel

Szuperflerek (10^{34} - 10^{35} erg energiával) Nap-típusú csillagokon

Példa: KIC10422252

500 nap alatt 365 szuperfler 148 csillagon. A Napon észlelteknél tízszer nagyobb foltok okozhatják.



Más típusú változócsillagok a Keplerrel

Közönséges flerek előfordulási statisztikája a Kepler-fénygörbék alapján.
Katalógust állítottak össze 3420 flercsillag 162262 flereseményéről.

TABLE 3
INCIDENCE OF FLARE STARS ACROSS H-R DIAGRAM

Type	T_{eff} (K)	N_{star}	N_{fs}	Incidence	Ba2015 (LC)
A	>7500	3190	37	$1.16\% \pm 0.19\%$	2.78%
F	6000–7500	66522	459	$0.69\% \pm 0.03\%$	0.94%
G	5000–6000	93973	1372	$1.46\% \pm 0.04\%$	3.29%
K	4000–5000	29730	880	$2.96\% \pm 0.10\%$	12.75%
M	<4000	6898	672	$9.74\% \pm 0.38\%$	
Giant	$\log g < 3.5$	23030	76	$0.33\% \pm 0.04\%$	–

Notes: The incidence of flare stars grouped by spectral type. The results are also listed. N_{star} is the total star number, and N_{fs} is the number of flaring stars. Ba2015 represents Balona (2015). Van2017 represents Van Doorsselaere et al. (2017). The

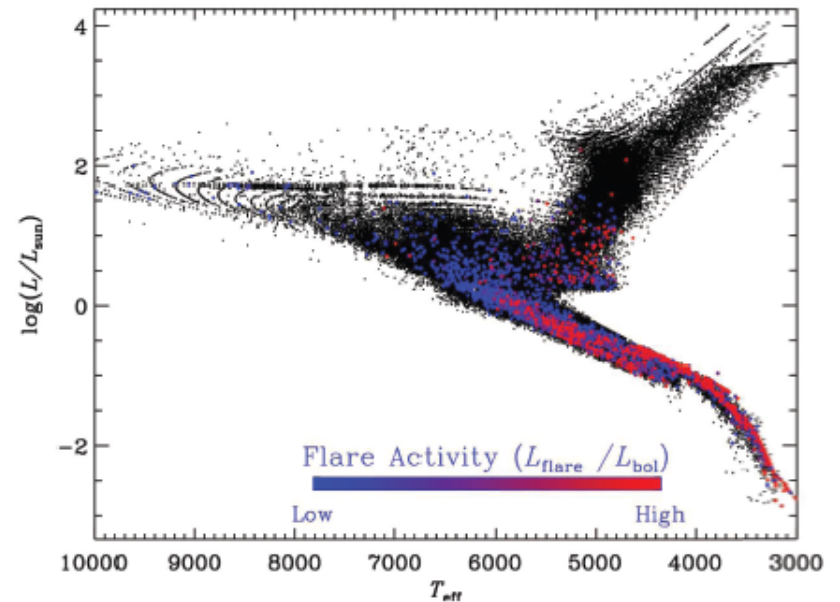


FIG. 4.— The flare activity across the H-R diagram. Black dots denote over 200,000 Kepler stars. Colorful dots are the 3420 flaring stars. The color changes from blue to red along with the increase of the flare activity. The luminosity of stars are estimated by tem-

Planetáris ködök központi csillagai a Keplerrel

Table 1. Available literature data and results for the sample of PN in the *Kepler* field of view

	A61	J19311	Kn 61	NGC 6742	NGC 6826	Pa 5
<i>Kepler</i> Input Catalogue	9583158	7755741	3231337	10963135	12071221	8619526
RA	19 19 10.22	19 31 08.89	19 21 38.93	18 59 20.03	19 44 48.15	19 19 30.52
Dec	+46 14 52.03	+43 24 57.74	+38 18 57.36	+48 27 55.24	+50 31 30.26	+44 45 43.08
Distance (kpc)	1.38 ^c	1.82 ^e	4::	4.86 ^e	1.3 ^e	1.4
PN diameter (arcsec)	200 ^d	~300 ^f	104	27 ^g	27×24 ^e	120 ⁱ
PN morphology	Circular	Bipolar/elliptical	~Circular	Circular	Elliptical/jets	Bipolar/torus
V-band magnitude ^a	17.389	13.697	18.416	16.567 ^h	10.41 ^g	15.670 ^j
<i>Kepler</i> magnitude	17.321	13.752	18.283	16.255 ^h	10.757	15.839
Central star spectral type ^b	DAO	O(H)	PG1159	?	O3f(H)	O(He)
No. of <i>Kepler</i> ‘quarters’	10	7	4	1	7	8
Light-curve period (d)	–	2.928	2–12	–	0.619, 1.236	1.12
Light-curve amplitude (mmag)	<2	0.729	~80–140	–	~2–8	0.5

Hat planetáris köd esett a Kepler látómezejébe, közülük egy újonnan felfedezett (Kn 61, jobbra a képen).

Négy esetben kimutatható a periodikus fényességváltozás, feltehetőleg a kettősség okozza. Jóval nagyobb a kettőscsillagok gyakorisága a planetáris ködök centrális csillagainál, mint azt korábban gondolták.



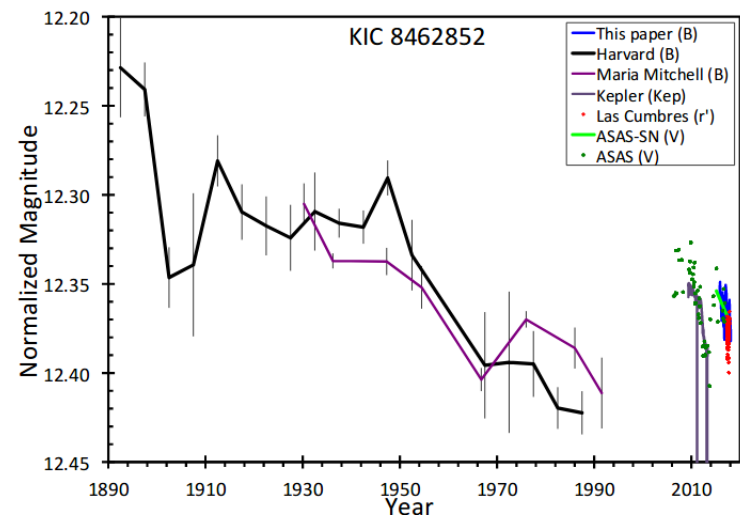
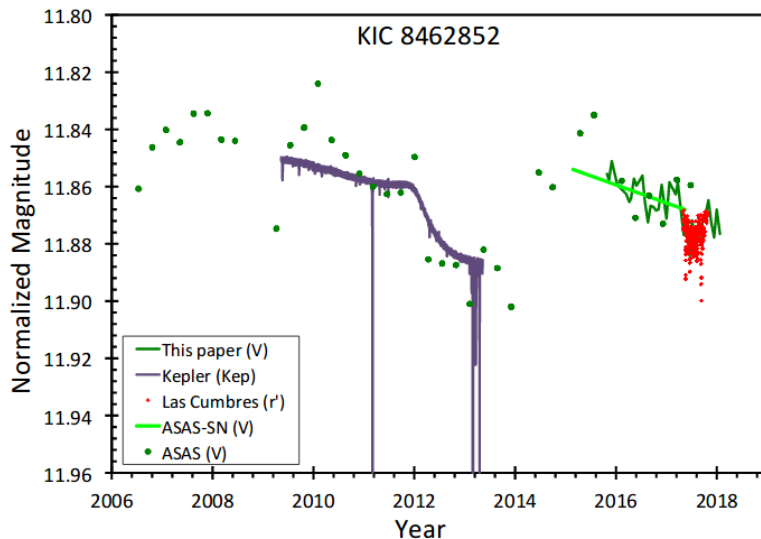
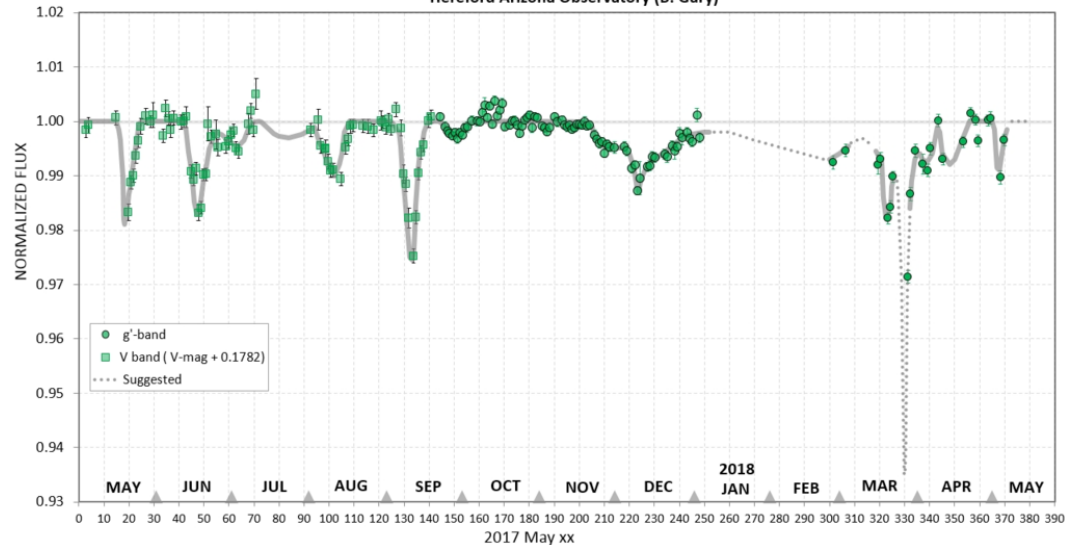
A Boyaijan-csillag

KIC 8462852: főszorozati F3
színképtípusú csillag.

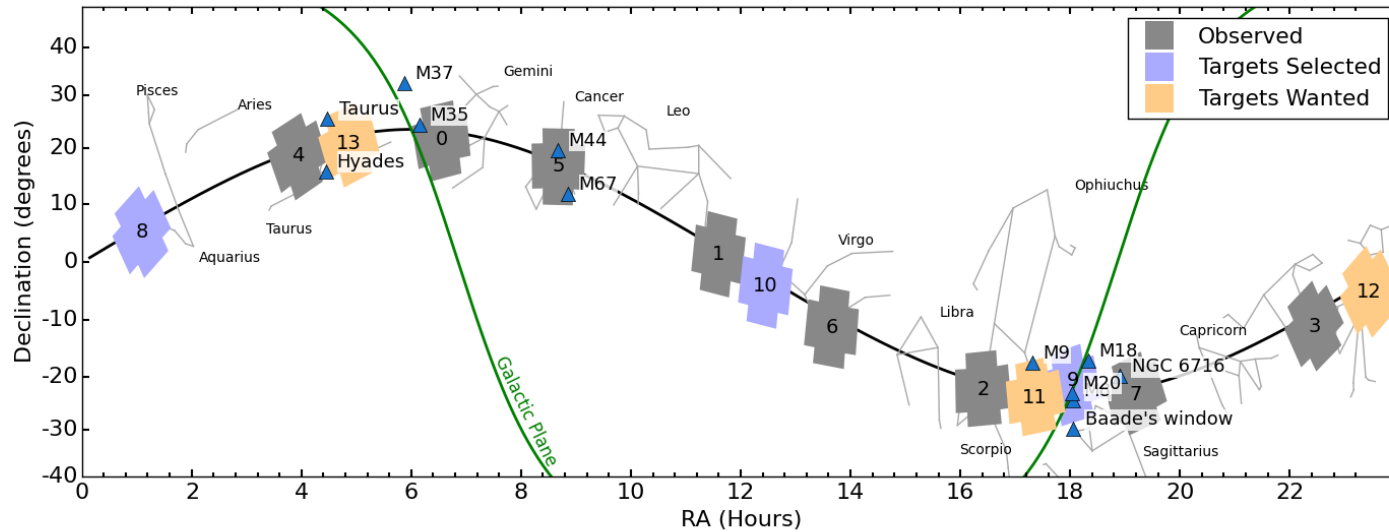
2015-ben amatőrök
szabálytalan időközönként
bekövetkező
elhalványodásokat vettek
észre a Kepler-fénygörbén.

Porszemcsékből álló felhők
okozhatják, nem civilizációs
üzenet.

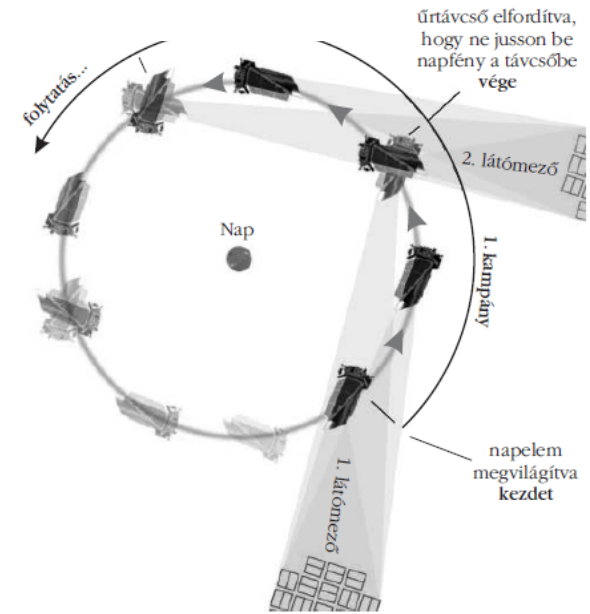
KIC 8462852 Daily Normalized Flux, V- and g'-Band, 2017 May 02 - 2018 May 04
Hereford Arizona Observatory (B. Gary)



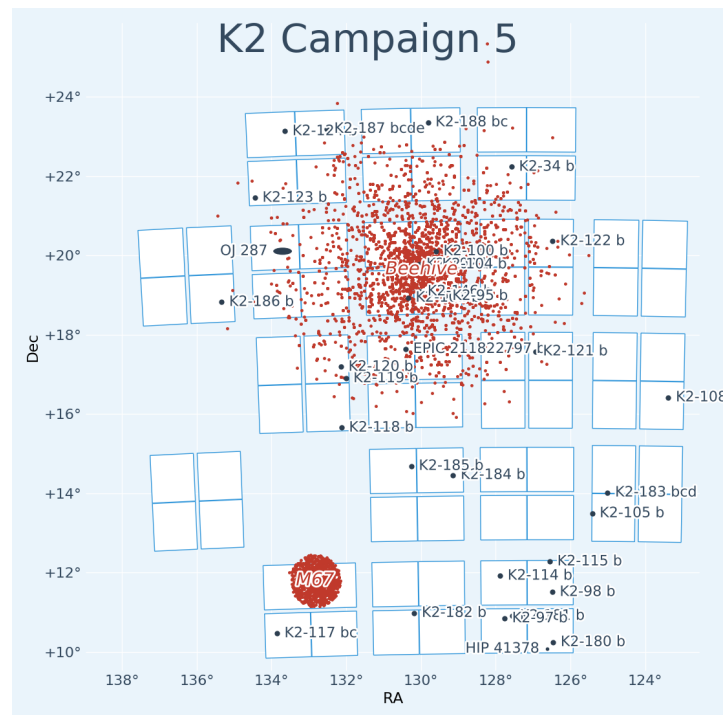
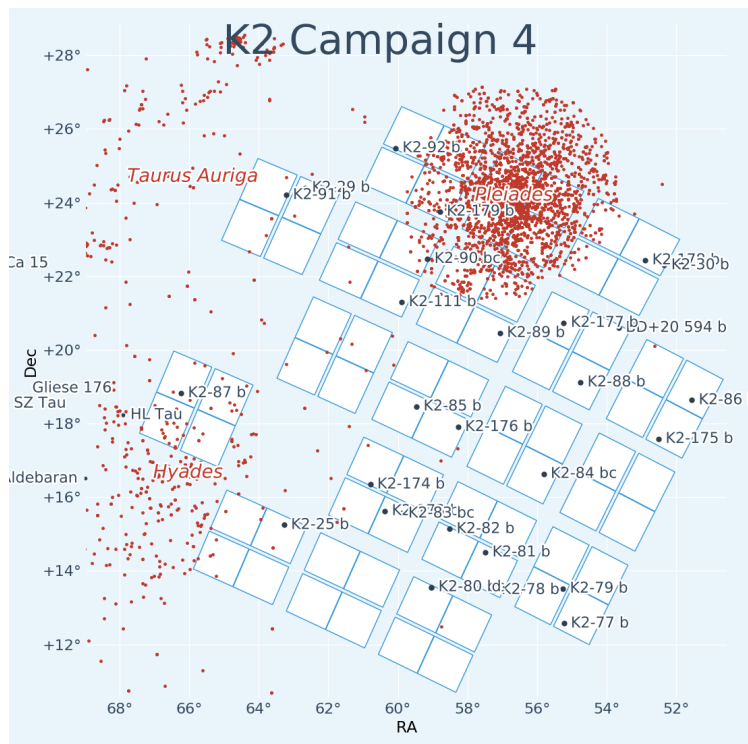
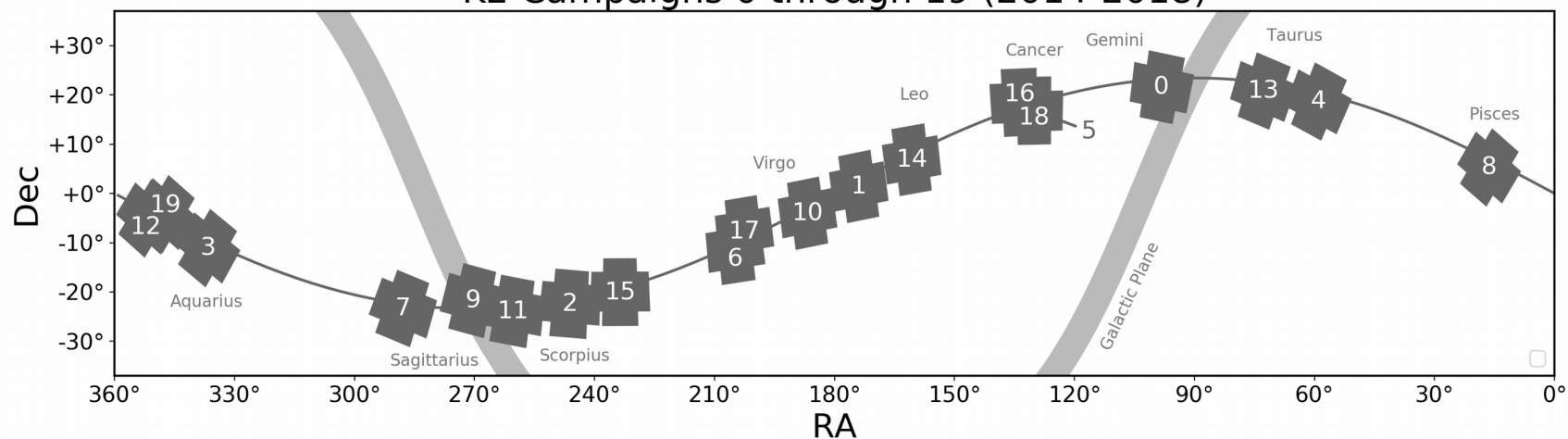
A Kepler folytatása: K2



K2: ekliptika menti észlelések 300 ppm pontossággal 2018. októberig.
Az adatok kezdettől nyilvánosak.
Minden jellegű terület sorra kerül.
Az 1. mező adataiból 2500 változócsillagot katalogizáltak.



K2 Campaigns 0 through 19 (2014-2018)



Field dates and positions

Field	Start	Stop	Data available	RA	Dec	Comments
E	2014 Feb 04	2014 Feb 13	2014 Mar 25	23:54:36	-02:09:09	Two-wheel Concept Engineering Test
0	2014 Mar 08	2014 May 27	2014 Sep 08	06:33:11	+21:35:16	Near Gal. Anti-center, M35, NGC 2158
1	2014 May 30	2014 Aug 21	2014 Dec 23	11:35:46	+01:25:02	North Galactic Cap
2	2014 Aug 23	2014 Nov 13	2015 Mar 16	16:24:30	-22:26:50	Near Gal. Center, M4, M80, Upper Sco, ρ Oph
3	2014 Nov 14	2015 Feb 03	2015 Jul 17	22:26:40	-11:05:48	South Galactic Cap, Neptune
4	2015 Feb 07	2015 Apr 23	2015 Sep 04	03:56:18	+18:39:38	M45 (Pleiades), NGC1647, Hyades
5	2015 Apr 27	2015 Jul 10	2015 Oct 31	08:40:38	+16:49:47	M44 (Beehive), M67
6	2015 Jul 14	2015 Sep 30	2016 Feb 12	13:39:28	-11:17:43	North Galactic Cap
7	2015 Oct 04	2015 Dec 26	2016 Apr 20	19:11:19	-23:21:36	Near Galactic Center, NGC 6717, Pluto
8	2016 Jan 03	2016 Mar 23	2016 Jul 04	01:05:21	+05:15:44	Uranus, IC1613
9 [†]	2016 Apr 21	2016 Jul 01	2016 Sep 30	18:01:25	-21:46:47	Gal. Center, M21, M18, M25, M8, Mars
10	2016 Jul 06	2016 Sep 20	2016 Dec 20	12:27:07	-04:01:38	North Galactic Cap
11	2016 Sep 24	2016 Dec 08	2017 Jun 30	17:21:33	-23:58:33	Galactic Center, Saturn
12	2016 Dec 15	2017 Mar 04	2017 Jul 31	23:26:38	-05:06:08	South Galactic Cap, Chiron, Mars
13	2017 Mar 08	2017 May 27	2017 Aug 28	04:51:11	+20:47:11	Hyades, Taurus-Auriga
14	2017 May 31	2017 Aug 19	2017 Nov 20	10:42:44	+06:51:06	North Galactic Cap, Wolf 359, WASP-104
15	2017 Aug 23	2017 Nov 20	2018 Mar 14	15:34:28	-20:04:44	Upper Sco, GW Lib, HP Lib
16 [†]	2017 Dec 07	2018 Feb 25	2018 May 30	08:54:50	+18:31:31	M44 (Beehive), M67
17 [†]	2018 Mar 01	2018 May 08	2018 Aug 16	13:30:12	-07:43:16	Galaxies.
18	2018 May 12	2018 Jul 02	2018 Oct 24	08:40:39	+16:49:40	M44 (Beehive), M67

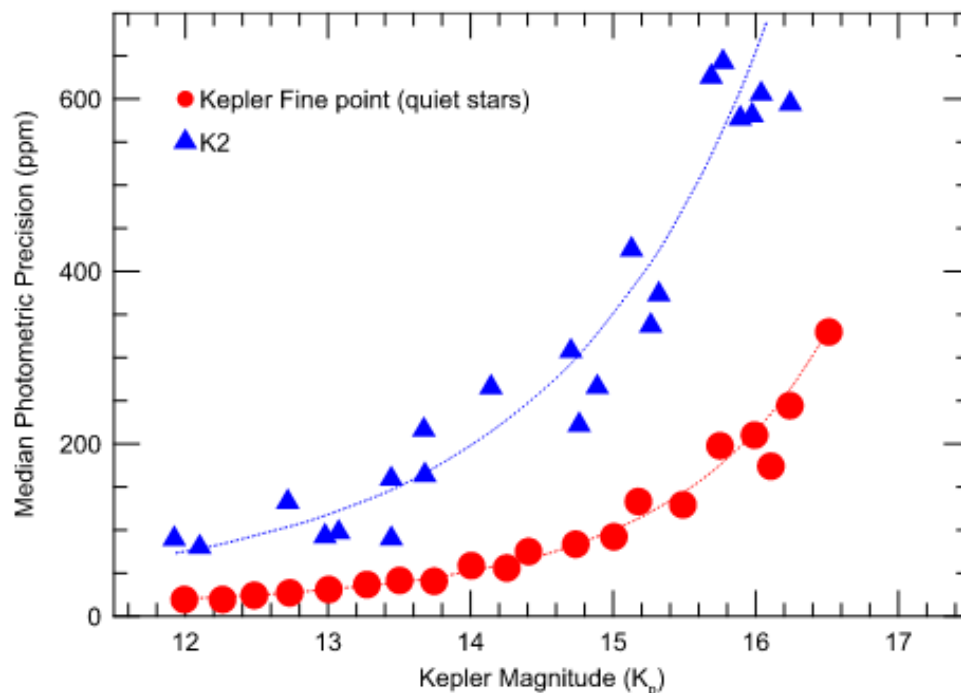
[†]**Note:** fields 9, 16, and 17 are forward-facing campaigns, for which simultaneous observations from the ground are possible throughout the duration of the campaign.

A K2 néhány jellegzetessége

A mérendő csillagokat pályázatok alapján választották ki. A tudományos potenciál sokkal gazdagabb, mint az eredeti Kepler-programé (pl. naprendszerbeli és extragalaktikus objektumok is vizsgálhatók).

V.3.1. Open Clusters in the K2

Cluster	Age
Messier 21	4–8 Myr
Messier 18	32 Myr
NGC 6716	100 Myr
Pleiades	125 Myr
Messier 35	110 Myr
Messier 37	520 Myr
Hyades	625 Myr
Praesepe	625 Myr
Messier 67	4 Gyr

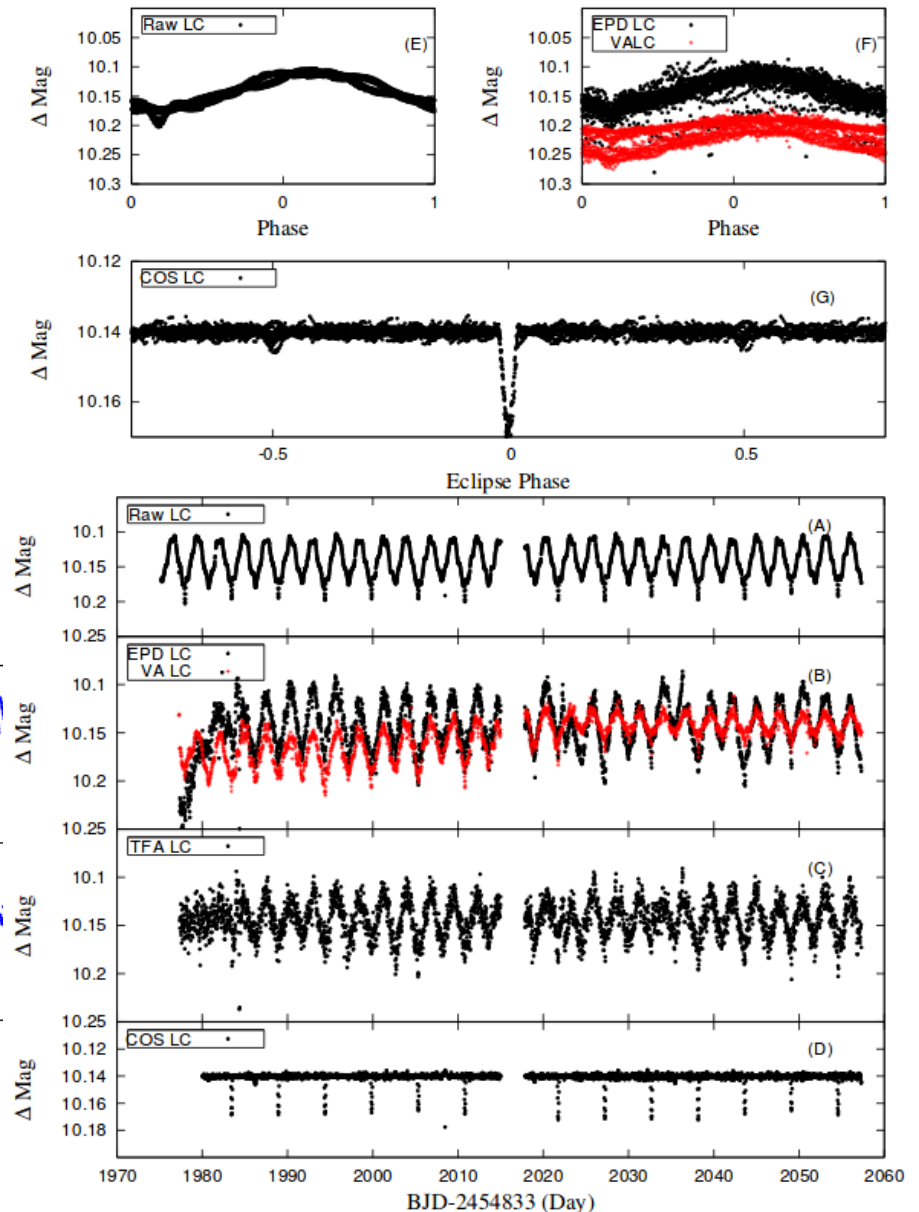
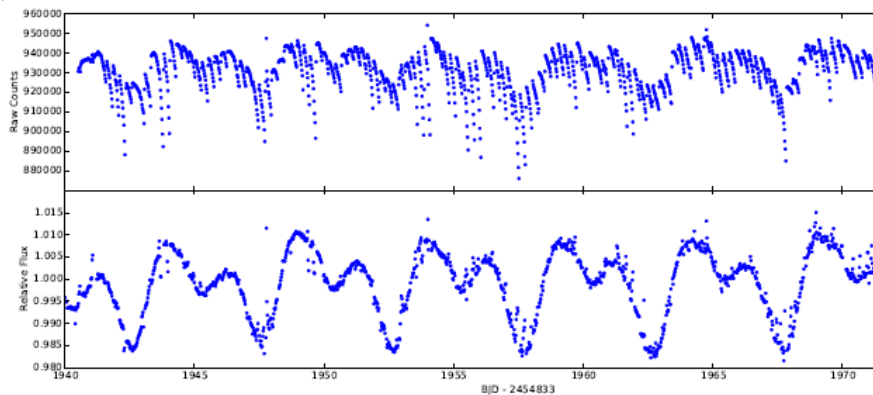


A K2 adatainak kezelése

A nyers fénygöréből több lépéssel lehet megkapni az objektum valódi viselkedésére jellemző adatsort.

Fontos a trendszűrés (l. alsó ábra).

Apertúrafotometriával RAWLC, utána EPD (external parameter decorrelation), TFA (trend filtering), COS (cosinus filtering)

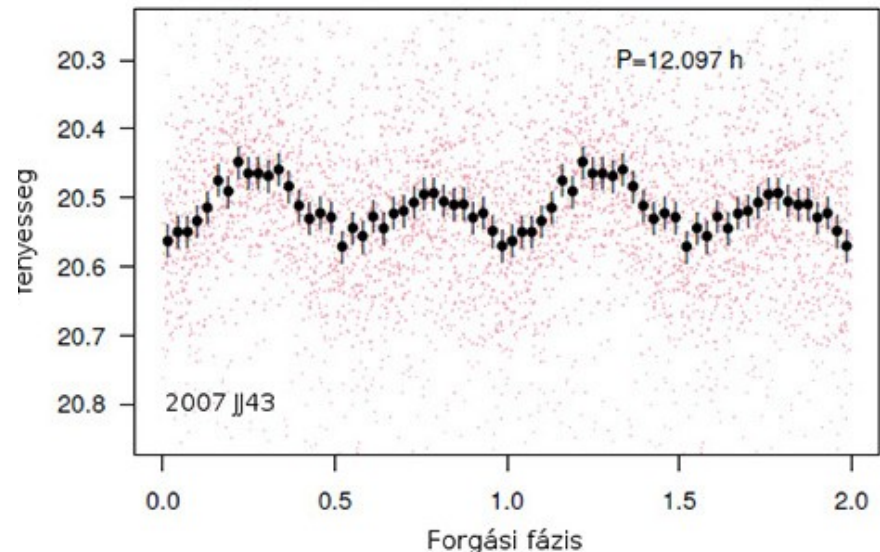
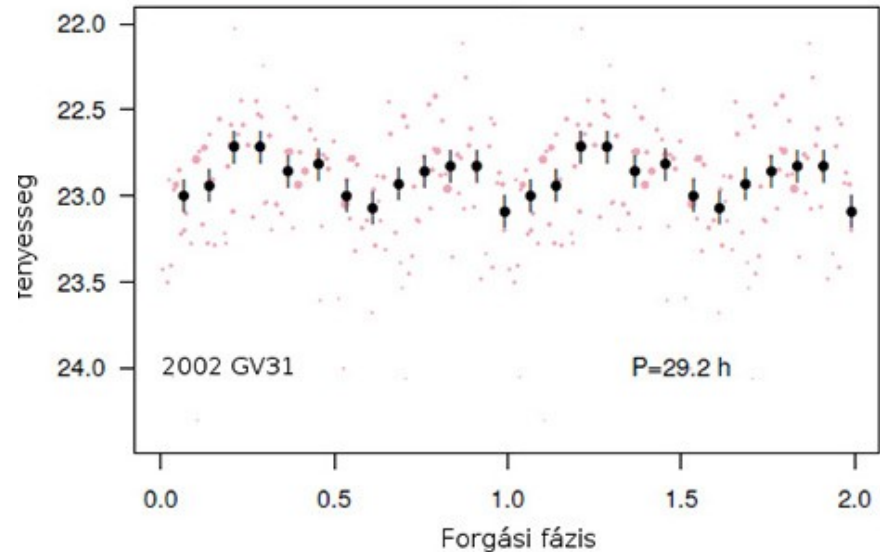


Érdekes eredmények a K2 méréseiből

Magyar kutatók halvány kisbolygót és Kuiper-övbeli objektumokat is tudtak észlelni, illetve a fotometriai adatokat feldolgozni.

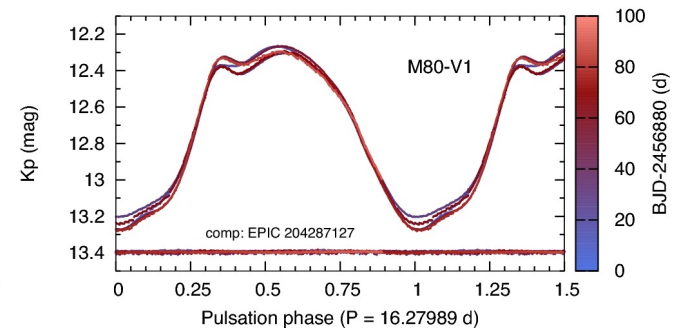
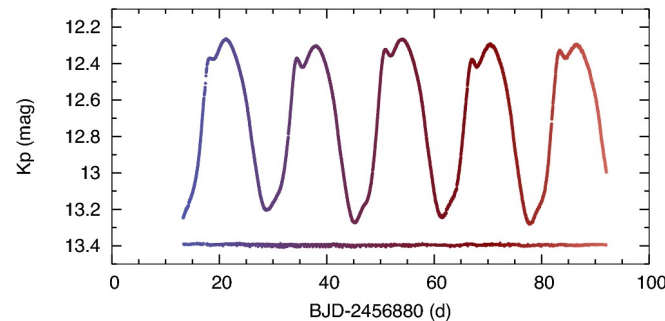
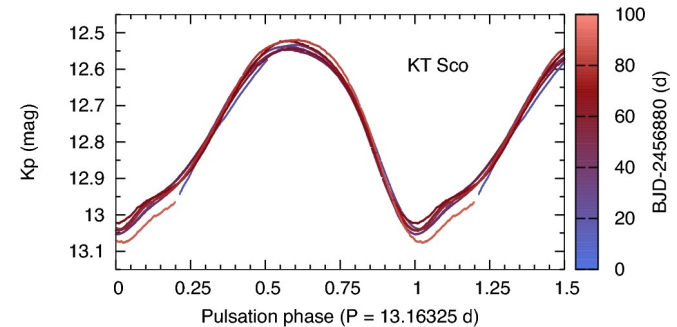
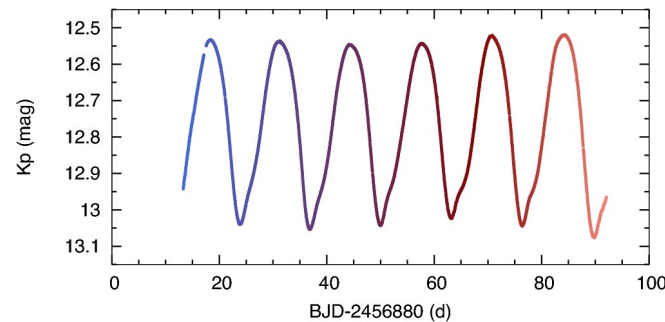
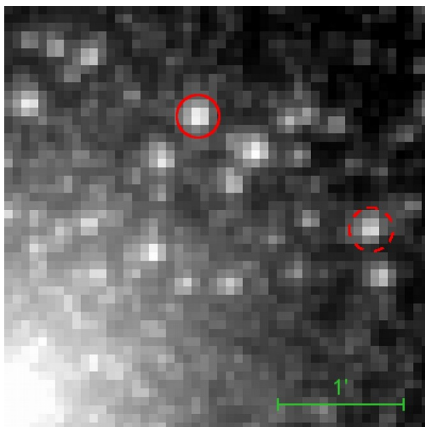
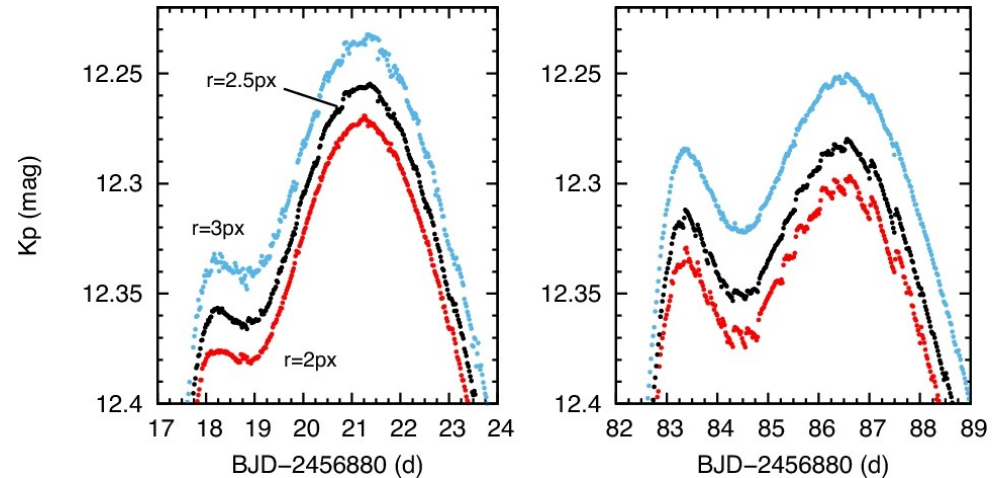
A 2002 GV31 jelű égitest 40 CSE-re kering a Naptól és 22,5 magnitúdós. A fényességváltozásból sikerült meghatározni a tengelyforgási idejét (22,9 óra).

A (278361) 2007 JJ43 fényesebb (20,5 magnitúdós), és 41 CSE-re kering a Naptól. Majdnem 0,5 napos a forgási periódusa, ezért a Földről nemigen lehet meghatározni.



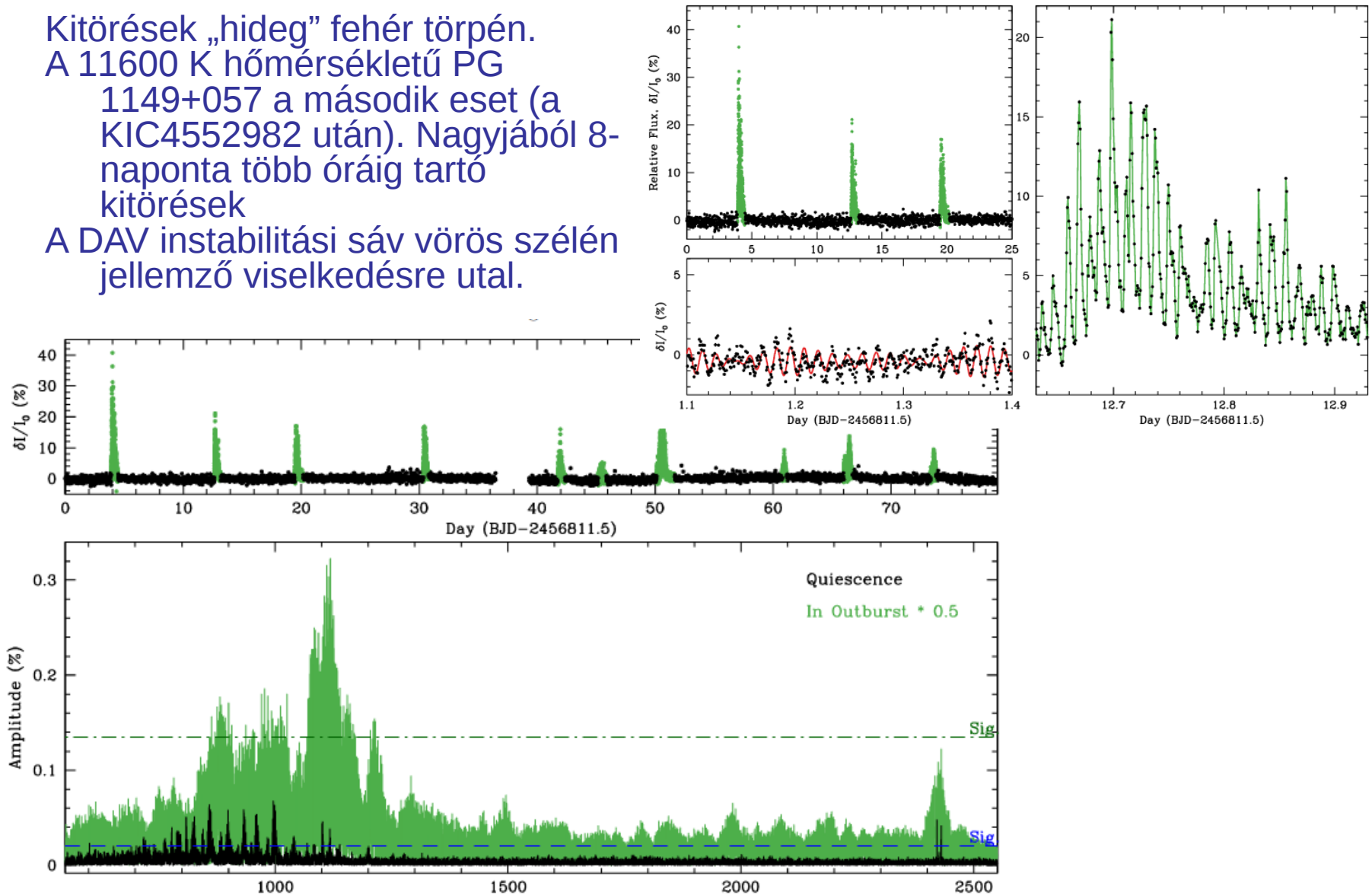
Érdekes eredmények a K2 méréseiből

II. típusú cefeidák (KT Sco és M80-V1): A fénygörbe alakja kissé függ az apertúrától.
A KT Sco fénygörbéje erratikusan változik, a gömbhalmazbeli cefeida esetében perióduskétszereződés lépett fel. (Plachy et al., 2017)



Érdekes eredmények a K2 méréseiből

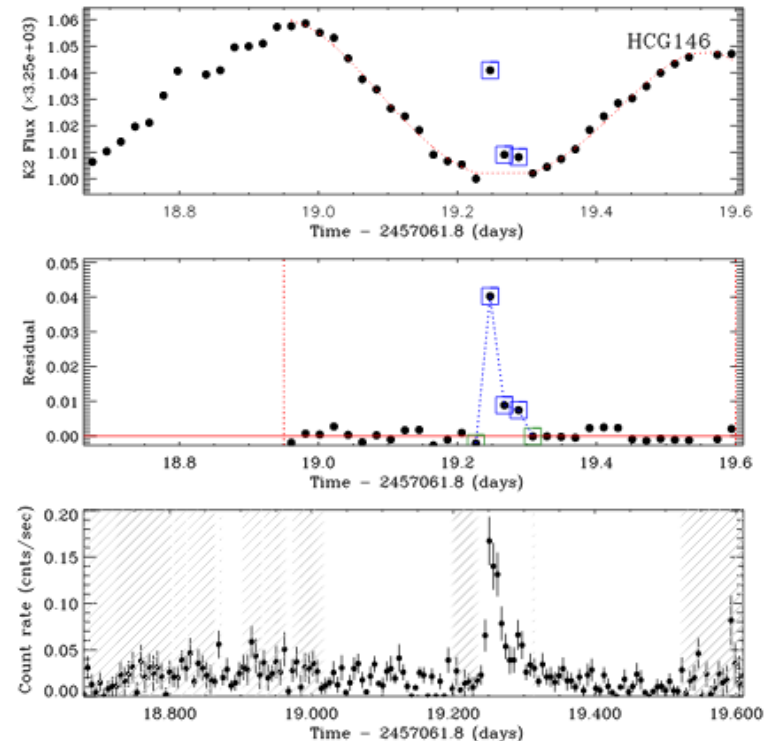
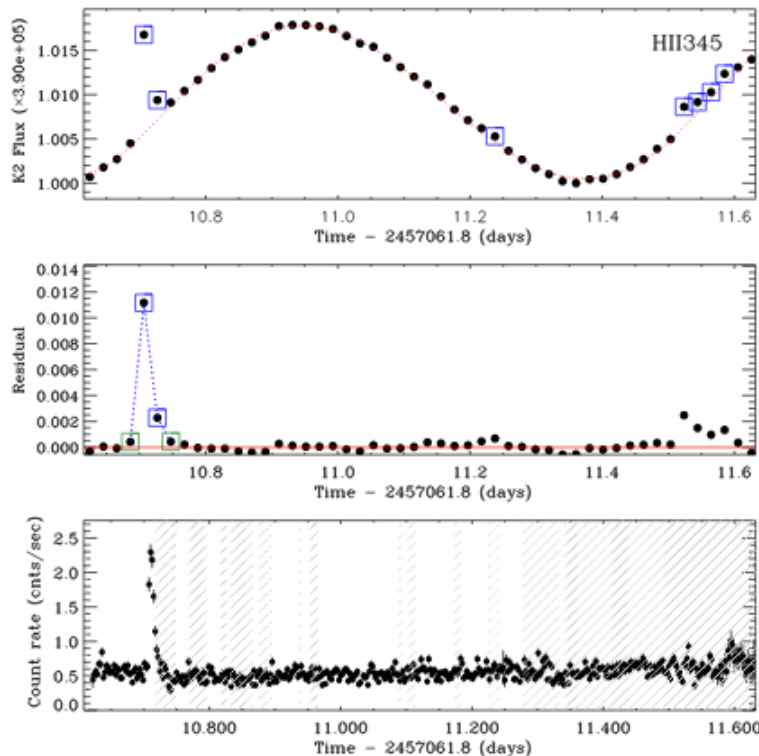
Kitörések „hideg” fehér törpén.
A 11600 K hőmérsékletű PG
1149+057 a második eset (a
KIC4552982 után). Nagyjából 8-
naponta több óráig tartó
kitörések
A DAV instabilitási sáv vörös szélén
jellemző viselkedésre utal.



Érdekes eredmények a K2 méréseiből

Flercsillagok a Pleiadokban, az XMM-Newton röntgenméréseivel együttműködve. 125 millió éves halmazban K-M típusú csillagok, továbbá egy G8 és egy F9 típusú. Ezek szuperflerek a napflerekkel összehasonlítva.

A gyorsan forgó csillagoknál rövidebb ideig tartanak a flerek. Az optikai sugárzás dominál a röntgensugárzáshoz képest, mint a napflereknél.



Érdekes eredmények a K2 méréseiből

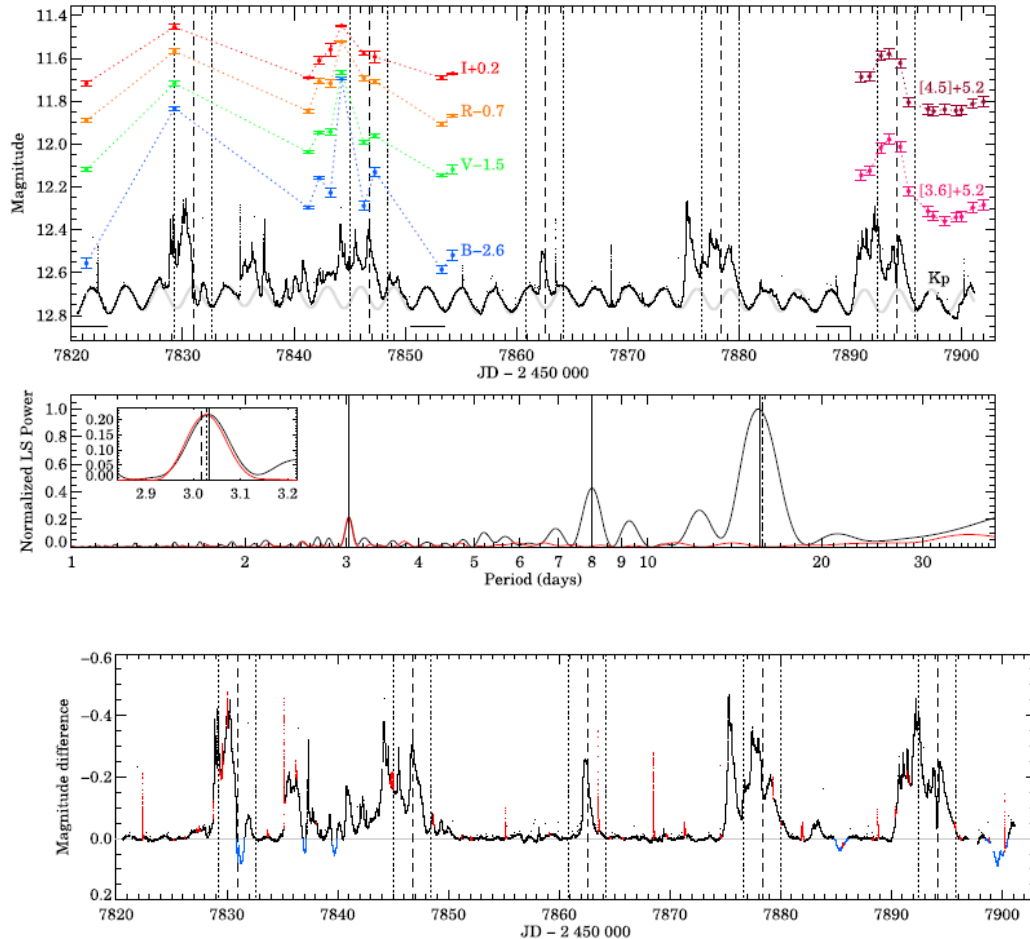


Figure 4. K2 light curve of DQ Tau after removing the sinusoidal variation due to rotational modulation. Points highlighted in red color indicate the identified flares (Section 4.3), while the blue points mark possible “dipper” events (Section 5.5). As in Figure 2, dashed lines mark the periastrons and dotted lines indicate their uncertainties.

Foltok, flerek, akkréció a
DQ Taurin (fősorozat előtti
spektroszkópiai kettőscsillag)
Spitzer-mérésekkel kiegészítve
– Kóspál et al. (2018)

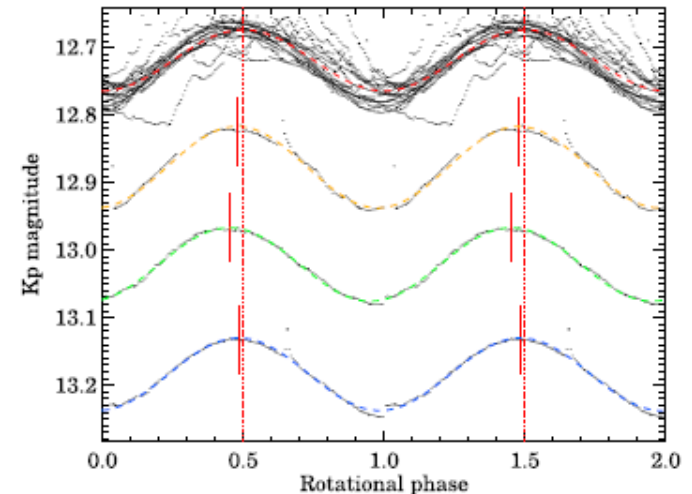
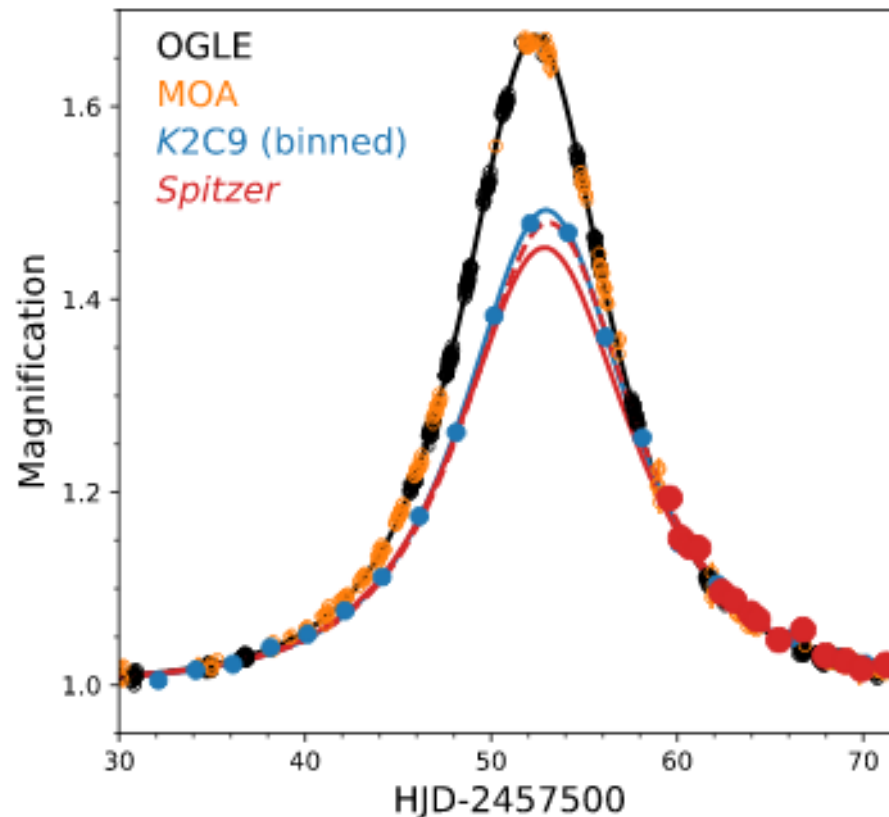


Figure 3. Phase-folded long cadence K2 light curve of DQ Tau using $P = 3.017$ days, together with a sine function fitted for the full data set (red dashed curve). The data points and sine fits below display three single cycles, between JD-2 450 000 = 7820.23–7823.26, 7850.56–7853.59, and 7886.95–7889.99. For clarity, these have been shifted along the y axis.

Érdekes eredmények a K2 méréseiből

MOA-2016-BLG-290: Gravitációs mikrolencse eredetű felfényesedés együttes vizsgálata földi és Spitzer-mérésekkel. A lencséző objektum egészen kis tömegű csillag volt.

A mérés idején a Spitzer már 1 CSE távol volt a Földtől. Ez elősegíti a lencse távolságmeghatározását, csökkenti annak bizonytalanságát.



Érdekes eredmények a K2 méréseiből

A Naprendszerből az extragalaxisokig Molnár et al. (2018) két cikke: az egyik kisbolygók fénygörbéje (forgási periódusa), a másik a Leo IV törpegalaxisban található RR Lyrae csillagok fénygörbéje, az egyiknél még a Blazskó-effektus is látszik.

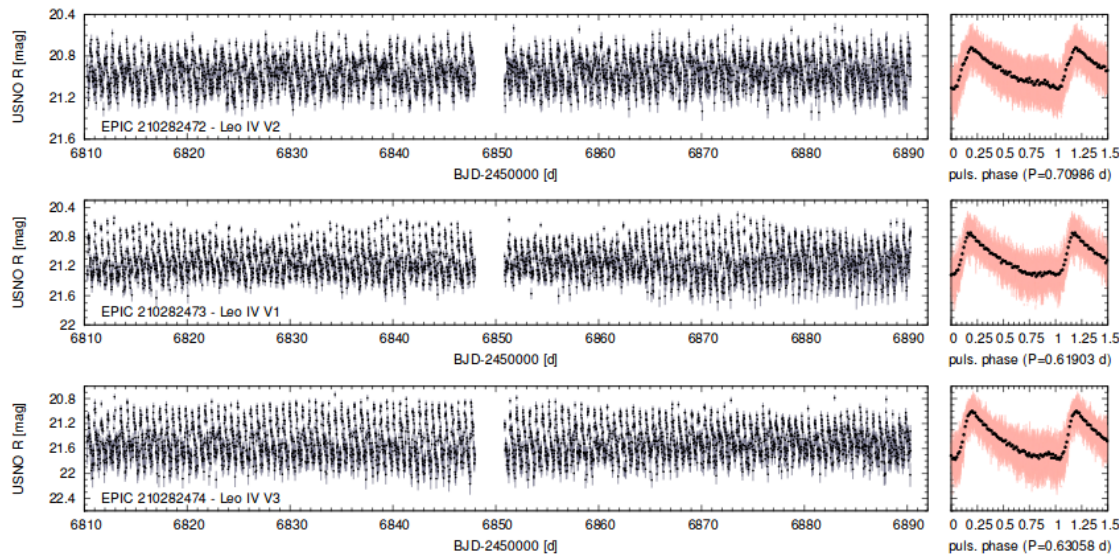


FIG. 3. — Light curves of the three RR Lyrae stars. Left panels: light curves after outlier removal and Fourier filtering. Note the variable amplitude of EPIC 210282473 in the middle panel. Designations from Moretti et al. (2009) are also indicated. The right panels show the folded light curves (pink dots and lines) and the binned phase curves (black points). We used 75 bins per pulsation period for each star.

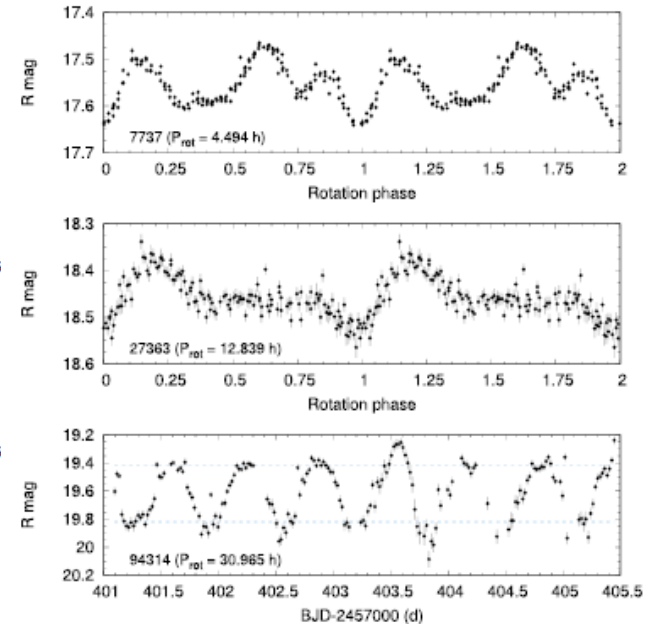
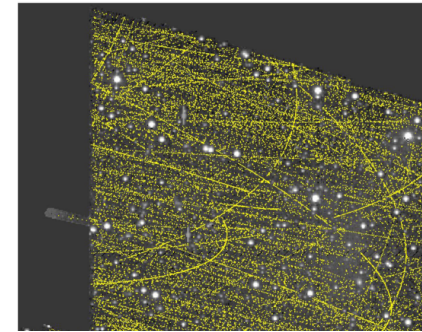
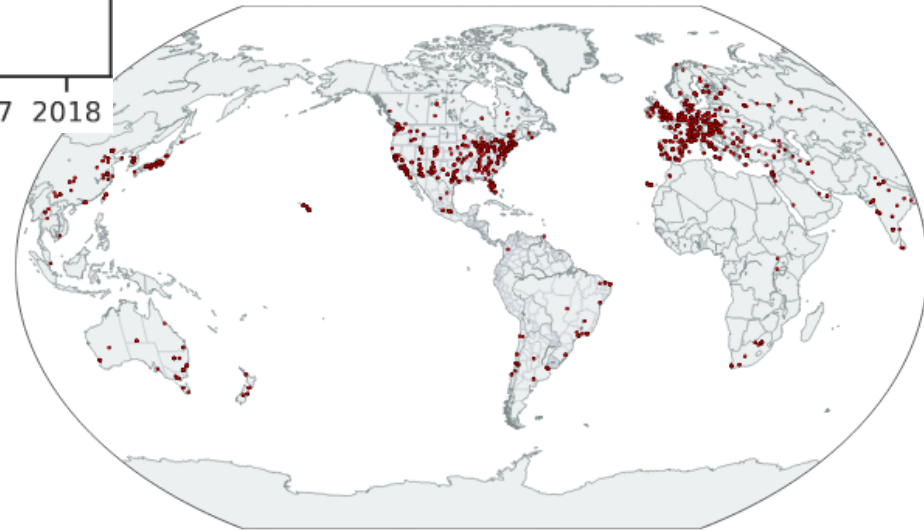
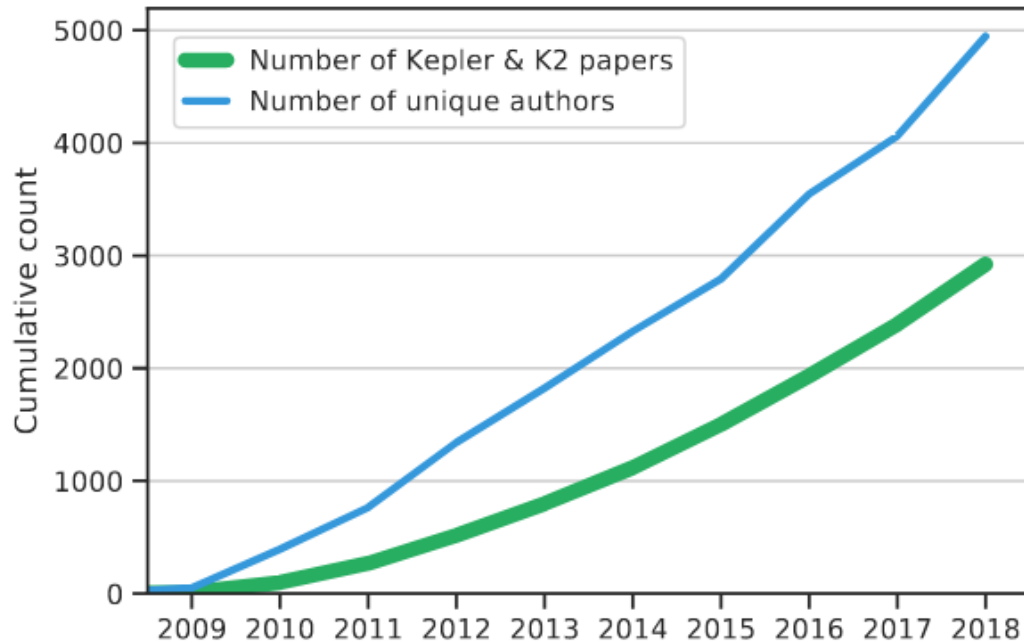


Figure 7. Top: phase curves of two asteroids with multi-peaked light curves. (7737) Sirrah features likely four different peaks per rotation. The light curve of (27363) Alvancark shows one dominant bright phase and a plateau-like feature that contains two smaller bumps. Bottom: the light curve (94314) 2000 AO₁₆₅, a possible tumbling or precessing asteroid that shows slightly changing cycles and one at BJD 2457403.5 with peculiarly large amplitude.

Egy kis statisztika



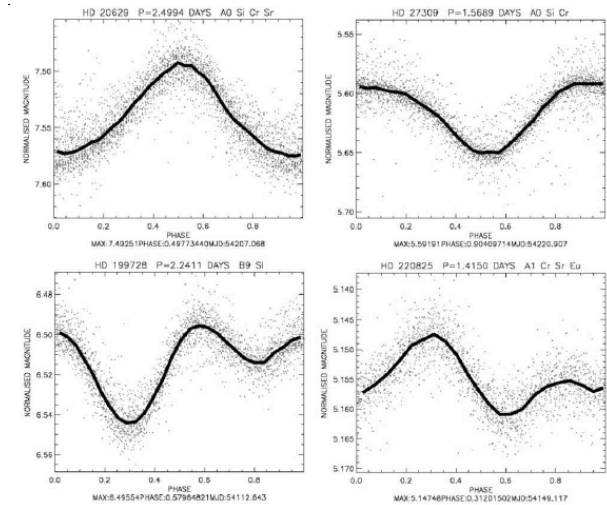
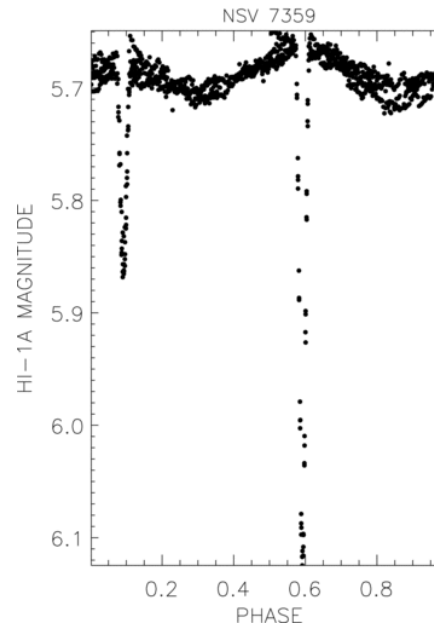
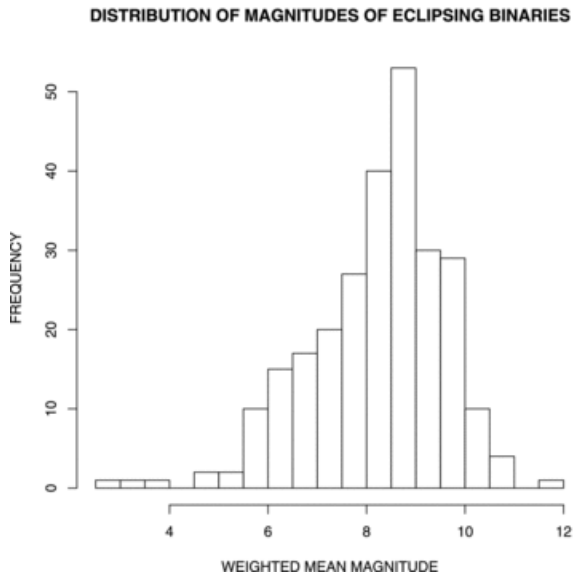
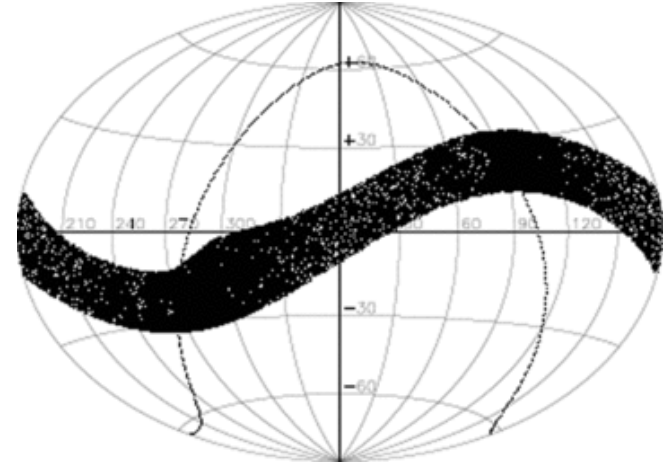
re 2. Map of the institutions of authors and co-authors of Kepler and K2 publica
ite, Kepler data have been used in 63 countries across 6 continents.

Fotometria a STEREO szondával

STEREO/H1-1A (1B) adataiból 263 fedési kettős fénygörbéje.

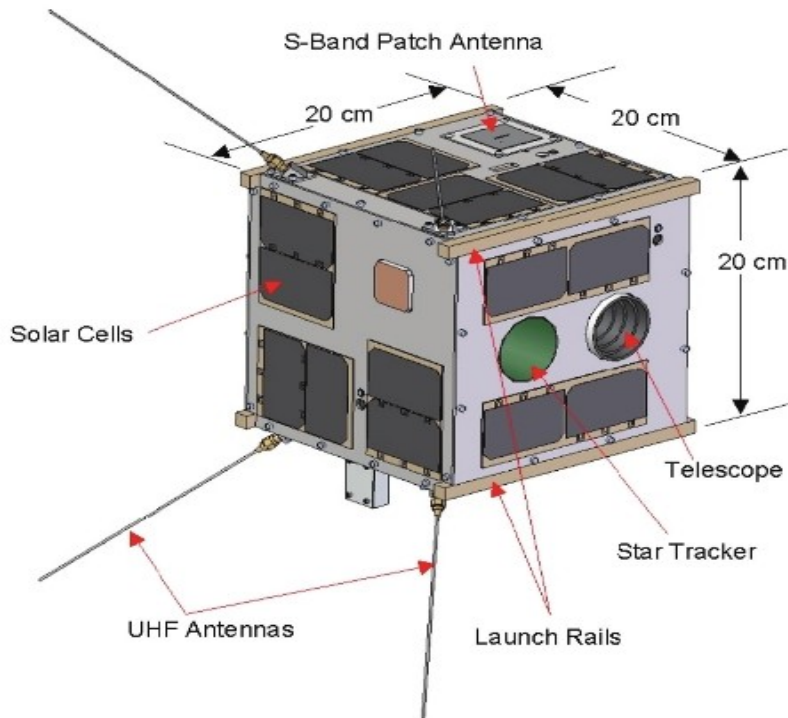
NSV 7359 mint példa: $P=9,1999$ nap.
Korábban BCEP típusúként volt ismert + 0,2872 napos SB. A fedést egy 3. komponens okozza.

Jobbra lent: CP-csillagok fénygörbéje.



A BRITE szondacsalád

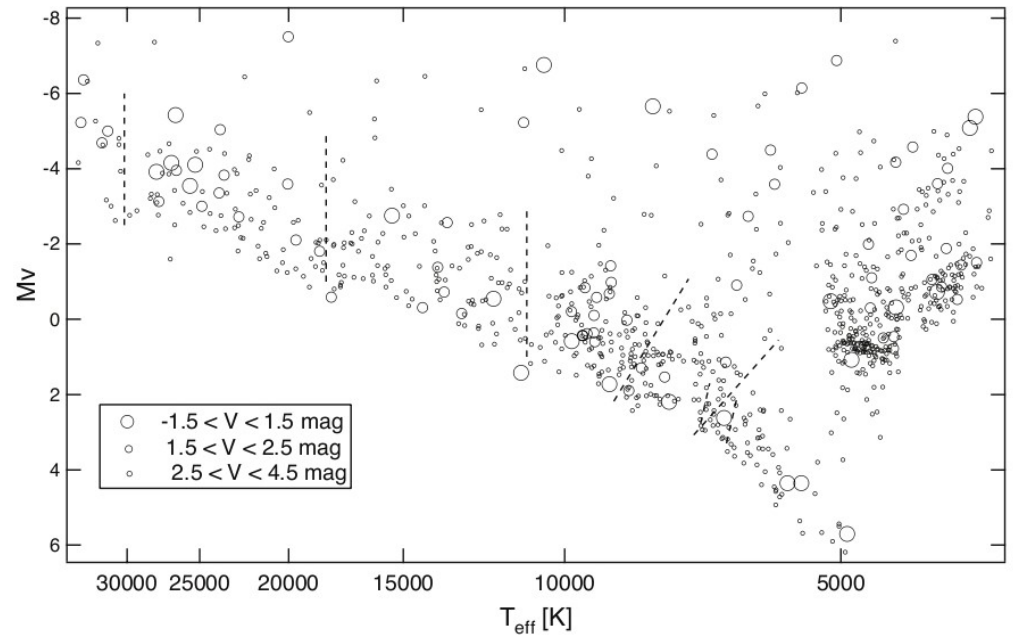
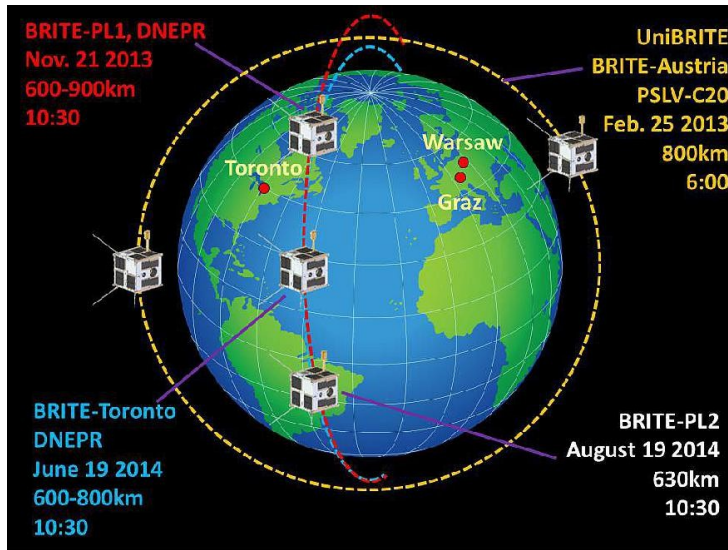
BRITE: BRiGht Target Explorer; Kanada, Lengyelország, Ausztria; BRITE-Constellation: 6 nanoszonda (20 cm oldalélű kocka), 3 cm-es távcsőátmérővel, 25 fok átmérőjű látómezővel, 4 magnitúdónál fényesebb csillagok körüli exobolygók felfedezésére. Országonként 1-1 szonda V-ben, illetve B-ben mér. Egyyszerre 15 csillag észlelhető.



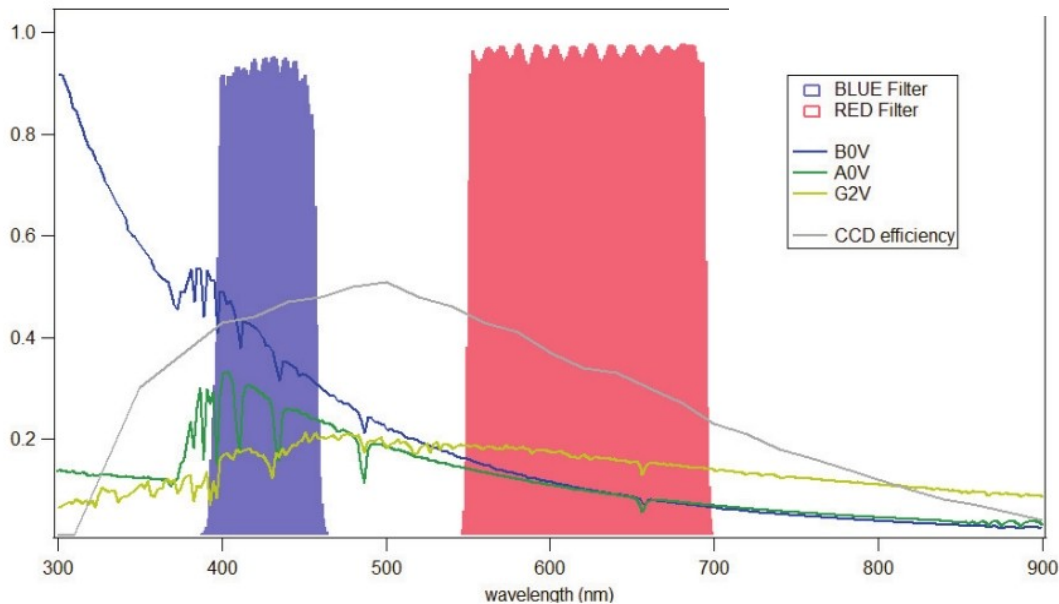
Name	F	Launcher	T0	Orbit km
<u>Austria:</u>				
TUGSAT-1	$\tilde{B}$	PSLV-C20	Feb. 2013	781×766
UniBRITE	$\tilde{R}$	PSLV-C20	Feb. 2013	781×766
<u>Poland:</u>				
B-Lem	$\tilde{B}$	DNEPR	Nov. 2013	600×900
B-Heweliusz	$\tilde{R}$	LM-4B	Aug. 2014	600×630
<u>Canada:</u>				
B-Toronto	$\tilde{R}$	DNEPR	Jun. 2014	620×770
B-Montréal	$\tilde{B}$	DNEPR	Jun. 2014	$620 \times 1450^{\dagger}$

Notes. F – filter; Launcher (PSLV-C20 from India, DNEPR from Russia, and LM-4B from China); T0 – launch date; Orbit – km above ground; ^(†) for reasons unknown, BRITE-Montréal did not release from the upper stage of DNEPR.

A BRITE szondacsalád



BRITE Filters and CCD response



A BRITE eddigi mérési programja

- 01-Ori-I-2013 (released)
- 02-Cen-I-2014 (released)
- 03-Sgr-I-2014 (released)
- **04-Cyg-I-2014 (released)**
- 05-Per-I-2014 (released)
- 06-Ori-II-2014 (released)
- 07-VelPup-I-2014 (released)
- 08-VelPic-I-2015 (released)
- 09-Sco-I-2015 (released)
- 10-Cyg-II-2015 (released)
- 11-CasCep-I-2015 (released)
- 12-CMaPup-I-2015 (released)
- 13-Ori-III-2015 (released)
- 14-VelPup-II-2015 (released)
- 15-CruCar-I-2016 (released)
- 16-Sgr-II-2016 (released)
- 17-CygLyr-I-2016 (released)
- 18-AraSco-I-2016 (completed)
- 19-Cas-I-2016 (released)
- 20-AurPer-I-2016 (released)
- 21-CetEri-I-2016 (released)
- 22-Ori-IV-2016 (released)
- 23-VelPic-II-2016 (released)
- 24-Car-I-2017 (released)
- 25-VelPup-III-2017 (released)
- 26-AraSco-II-2017 (completed)
- 27-Sgr-III-2017 (QCT review)
- 28-Peg-I-2017 (released)
- 29-LacCyg-I-2017 (released)
- 30-Cas-II-2017 (completed)
- 31-Tau-I-2017 (completed)
- 32-Ori-V-2017 (completed)
- 33-VelPic-III-2017 (completed)
- 34-VelPup-IV-2017 (QCT review)
- 35-Cen-II-2018 (QCT review)
- 36-Car-II-2018 (QCT review)
- 37-Sgr-IV-2018 (QCT review)
- 38-Cyg-III-2018 (QCT review)
- 39-Cas-III-2018 (ongoing)
- 40-OriTau-I-2018 (ongoing)
- 41-CMaCol-I-2018 (planned)
- 42-CMaPup-II-2018 (planned)
- 43-VelPup-V-2019 (planned)
- 44-Car-III-2019 (planned)
- 45-Sgr-V-2019 (planned)
- 46-CygLyr-II-2019 (planned)
- 47-Cas-IV-2019 (planned)

A BRITE mérési programja

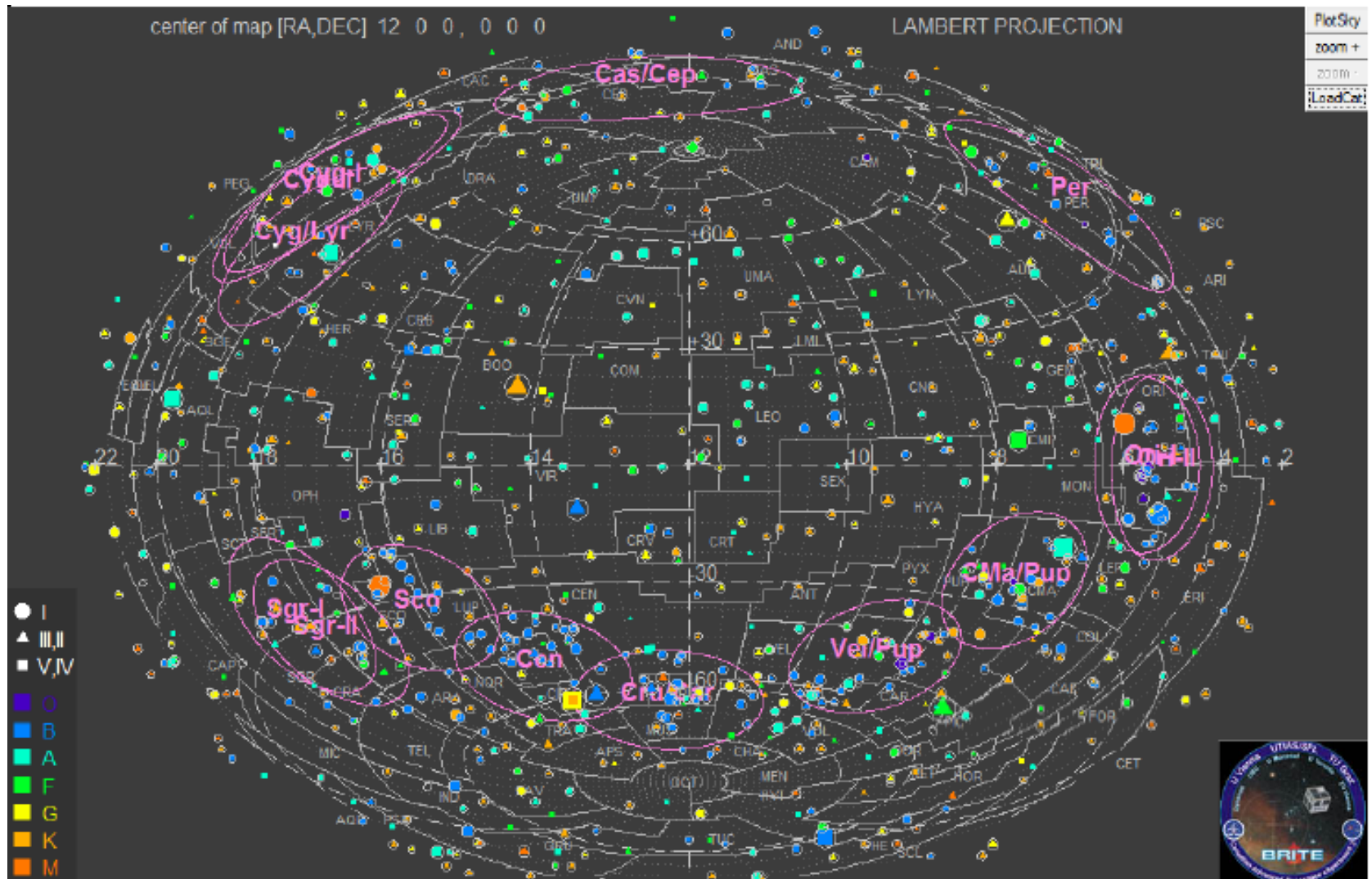


Figure 1. A sky map containing all stars brighter than $V = 4.5$. The colour code refers to spectral type, the symbols to luminosity class. Encircled stars have been proposed for BRITE observations. The sky areas labeled and encircled in pink have been observed by BRITE to date (cf. Table 1). Almost the whole galactic plane has been sampled.

Eredmények a BRITE mérései alapján

η Centauri: Be-csillag, amelynek fényváltozása jórészt cirkumsztelláris eredetű (korong van a gyorsan forgó csillag körül) + a csillag nem radiális pulzációs módusai.

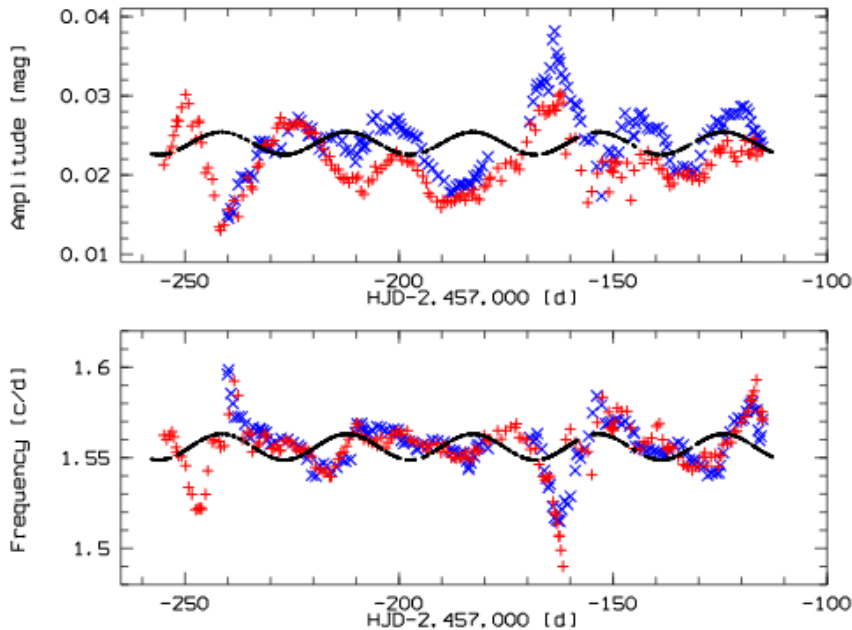


Fig. 8. Time dependence of the frequency (lower panel) and amplitude (upper panel) of the 1.5562-c/d variability in η Cen (red passband: +; blue passband: $\times$). Frequencies and amplitudes were determined as sliding averages over 3-day intervals from sine fits. For comparison, the sine curve fitted to the light curve in Fig.4 is overplotted with arbitrary

Table 5. Frequencies in η Cen. ‘Blue’ and ‘Red’ denote the blue and red passband. The errors are about 0.001 c/d and 0.7 mmag; ‘:’ denotes uncertain detections.

ID	Blue		Red	
	Frequency [c/d]	Amplitude [mmag]	Frequency [c/d]	Amplitude [mmag]
f_1	0.0338	16.1	0.0341	14.3
f_2+	1.2242	4.6	1.2850	4.7
f_3+	1.5000	7.6	1.5230	6.3
f_4+	1.5562	22.8	1.5562	20.6
f_5	1.7314	2.4	1.7333	2.1:
f_6	1.7672	3.9	1.7554	1.7:
f_7+	2.8184	3.9		
f_8+	3.1015	6.9	3.1076	6.8

Notes. A ‘+’ in a frequency ID indicates that the frequency is the one with the highest amplitude in a group (Sect. 5.3, after prewhitening for f_4+). As the example of f_4+ shows, such frequencies may not be constant with time (Sect. 5.1 and Paper II).

Eredmények a BRITE mérései alapján

- θ Ophiuchi:** β Cep típusú változócsillag hierarchikus hármas rendszerben. A két keringési periódus 56,71 nap és 5070 nap.
- A korábbi ismert 7 frekvencia mellett 19 új frekvenciacsúcsot azonosítottak. SPB-csillagokra jellemző g-módusok. A 7 évet átfogó SMEI-fénygörbét is figyelembe vették.

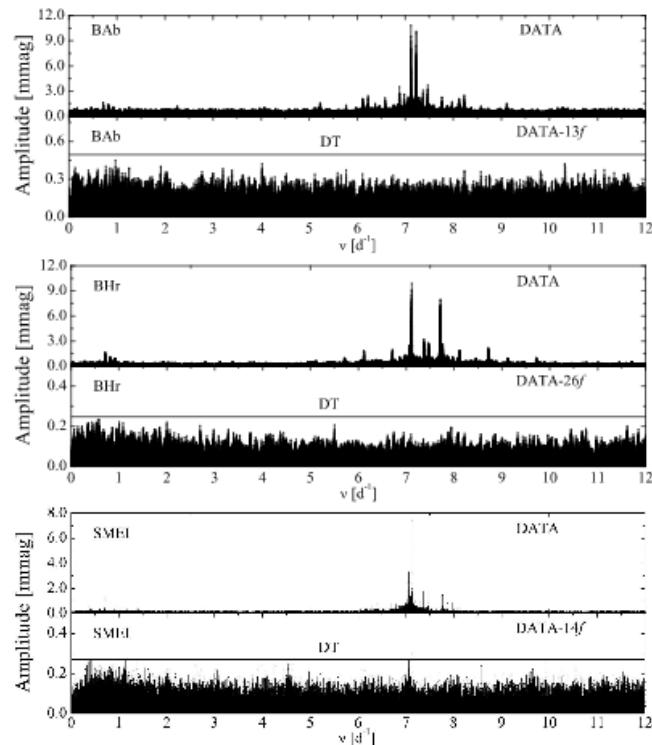


Figure 2. Top panels show the first run periodogram obtained from all BAb data and periodogram calculated from residuals after removing the variability with all significant frequencies. Middle and bottom panels — the same for all BHr and SMEI data, respectively. Horizontal lines in each panel indicate the detection

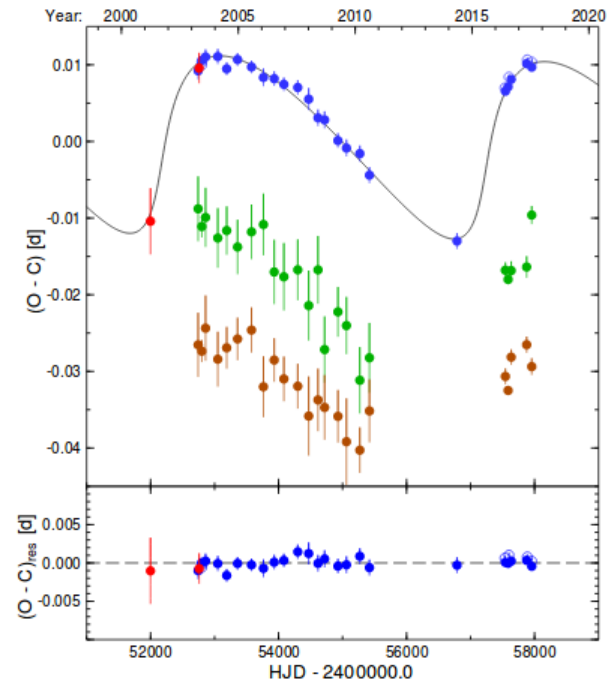


Figure 3. Top: The $O - C$ diagram for the dominant mode (ν_1) in θ Oph based on the photometric (blue dots) and RV (red dots) times of maximum. The $O - C$ values were calculated with respect to the ephemeris (1). A constant phase shift of $+0.0340$ d was applied to the values of $O - C$ derived from the RV data. The continuous line shows the fit of Eq. (2) to the $O - C$ data. The open circles correspond to data in passbands other than BRITE.

Fotometria a Gaia asztrometriai űrszondával

551538 változócsillagra elérhető fotometriai idősorok a Gaia DR2-ben.

Változócsillagok száma:

228904 RRL (a GCVS-ben kb. 8000)

11438 cefeida (a GCVS-ben <1000)

8862 DSCT+SXPHE (a GCVS-ben kb. 500)

147535 forgási változó (BYDRA)
(a GCVS-ben kb. 1200)



Science Alert

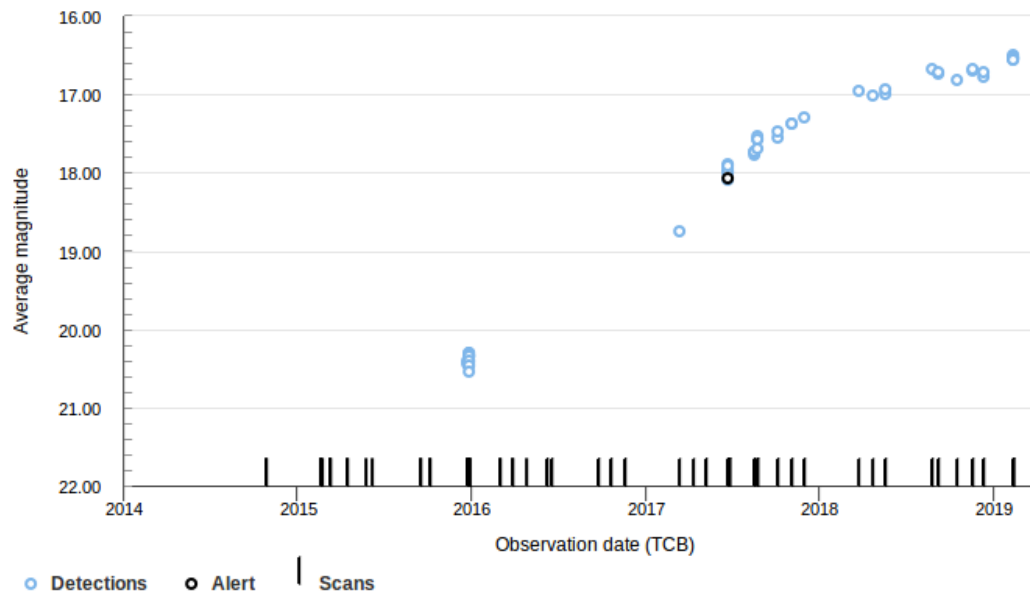
Évente kb. 2500 riasztás

(az első években kevesebb)

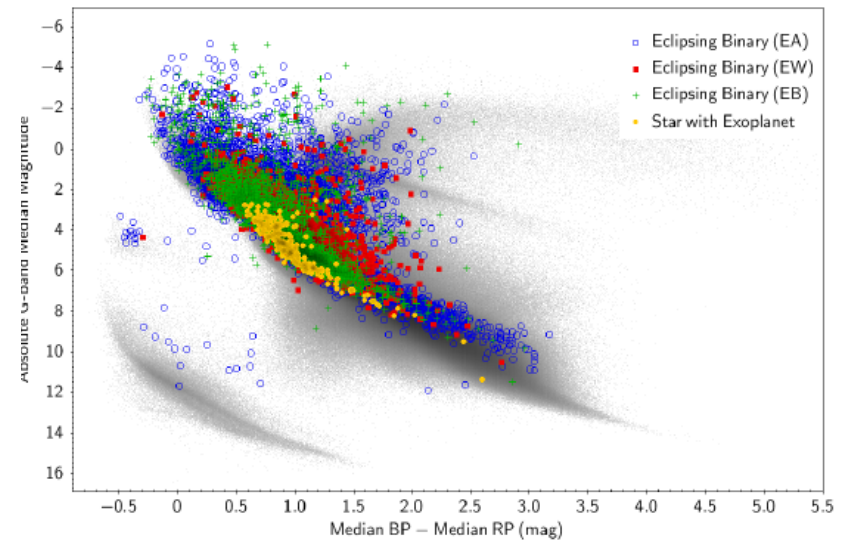
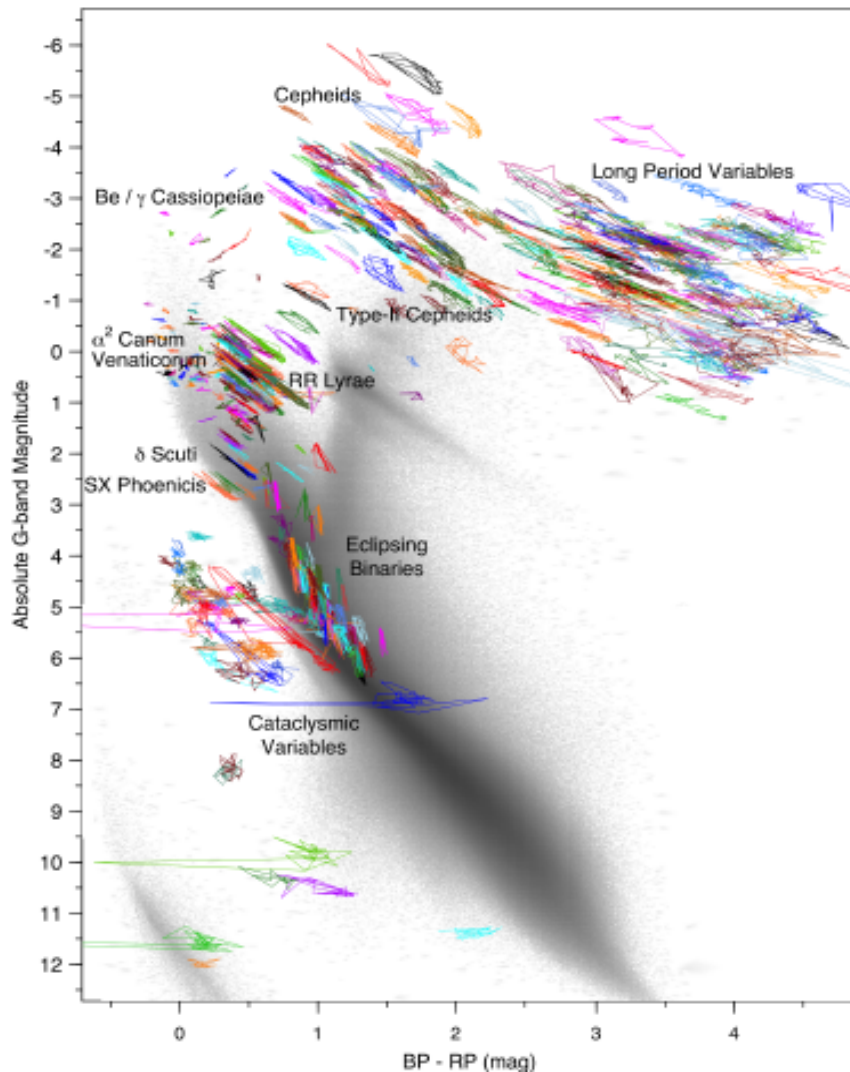
Jelölés

Példa:

A Gaia17bpi fuor
fénygörbéje



Fotometria a Gaia asztrometriai űrszondával



. 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.

A TESS

TESS: Transiting Exoplanet Survey Satellite; Eredetileg az MIT javasolta 2006-ban, és a Google támogatta anyagilag.

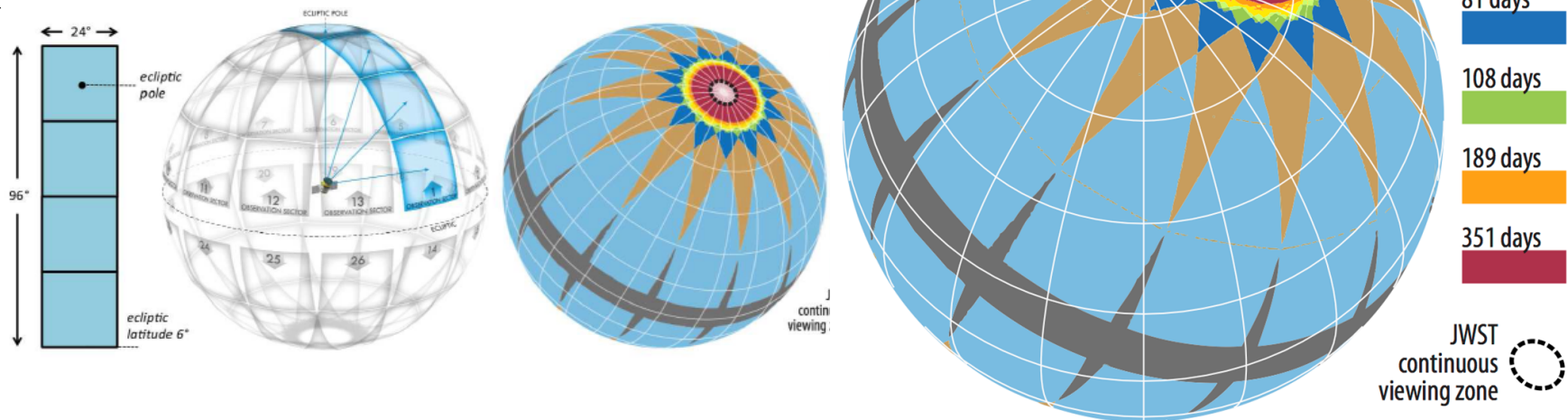
A NASA 11 javasolt űrmisszió közül választotta ki. Indítás: 2018. ápr. 18. Indítási tömeg: 350 kg. Keringési periódus kb. 13,7 nap, a Holddal 2:1 arányú rezonáns pályán (de mindig távol a Holdtól). Így hosszú ideig van a magnetoszférán kívül, és az egész égboltot észlelni tudja.

A mérési programot két évre tervezték (de meghosszabbítható). A fő cél: exobolygók keresése 200000 csillag körül, közte a Földhöz hasonló méretűek is.



A TESS

- Négy nagy látószögű kamera mindegyikéhez CCD-kamera csatlakoztatva.
- A 4 távcső egymással szomszédos ($24^\circ \times 24^\circ$ -os) területet észlel (együtt 400-szor nagyobb, mint a Kepler által vizsgált égboltrész).
- A teljes égbolt 26 szektorra van felosztva, mindegyik szektor $24^\circ \times 96^\circ$ méretű. Egy-egy szektor megfigyelése 27 napon át. A szektorok magasabb szélesség felé egyre jobban átfednek.
- A program fényes csillagok mérése (az egyenlítő körül 27 napig, az égi pólushoz közel egy évig). Az első évben a déli félgömböt mérte végig, a második évben az északit.



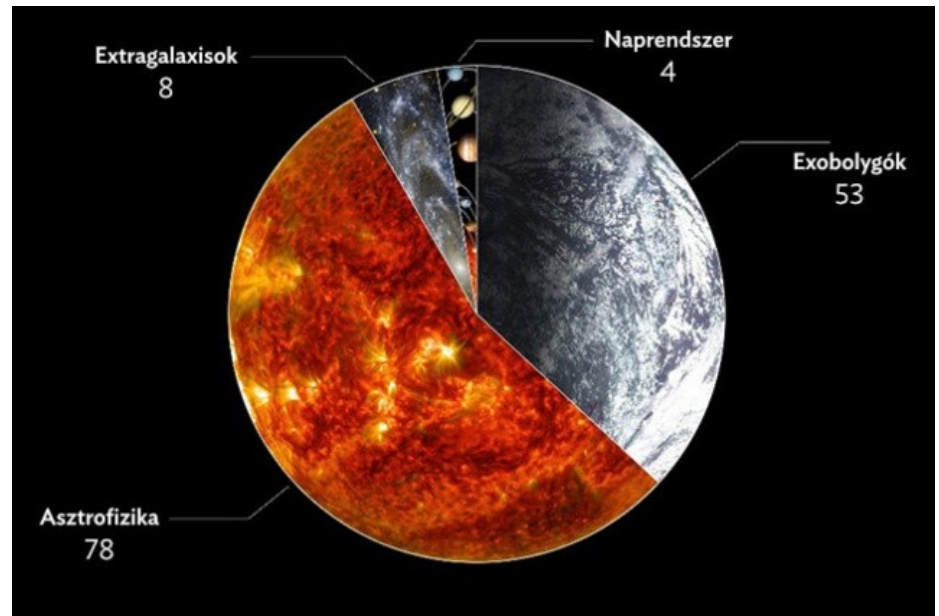
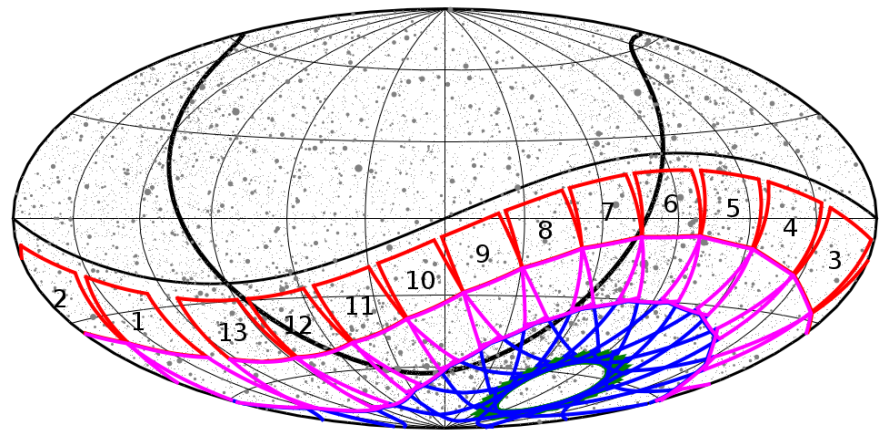
A TESS

Széles sávú fotometria, az optikaiból a közeli infravörösbe is belenyúlik.

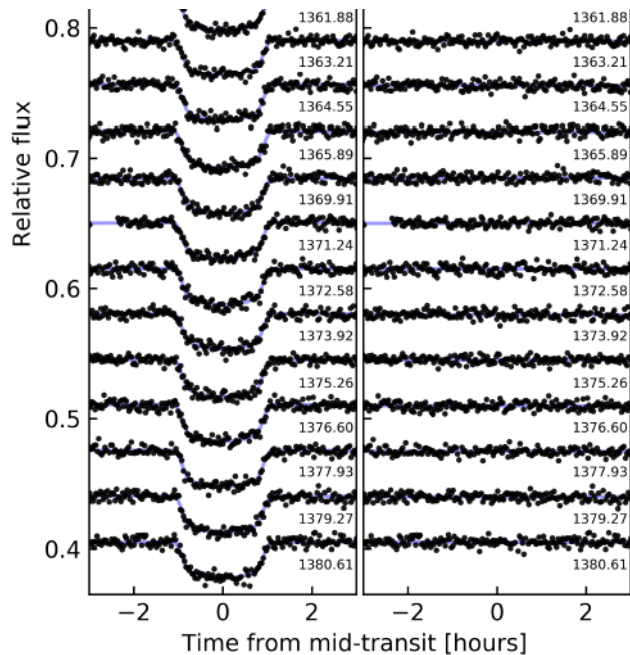
A fényes csillagokról 2 perces mintavételezésű adatsorok, a teljes megfigyelt égterületről (full frame image) pedig 30 perces mintavételezésű adatsorok érhetők el.

A TESS esetében a más jellegű tudományos programok legalább olyan súlyúak, miként a Kepler és a K2 esetében.

A magyarok részvétele ugyancsak domináns.

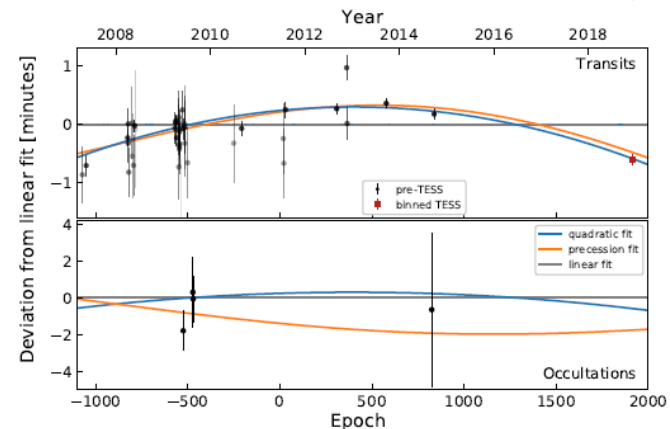
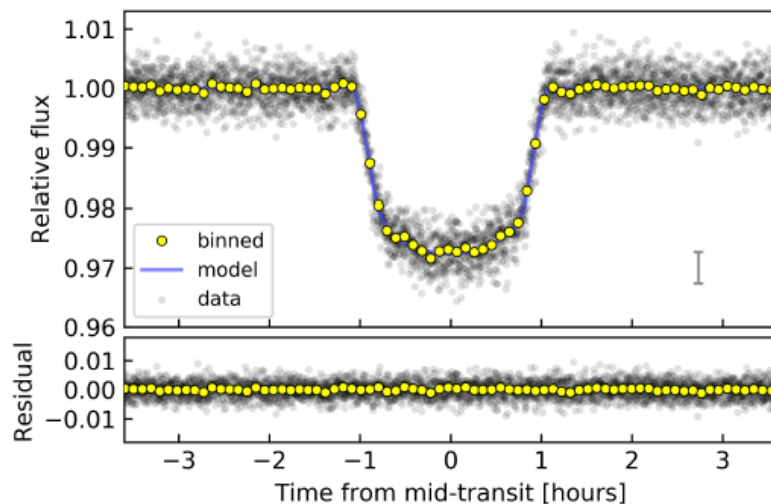
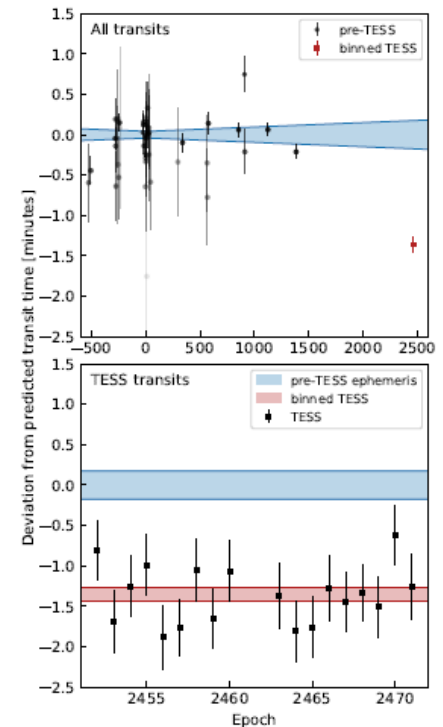


A TESS-fotometria eredményeiből



WASP-4 (forró jupiter)
1,3 napos keringési
periódussal. A keringési
periódus 12,6 ms/év
ütemben csökken.

WASP: Wide-Angle
Search for Planets



A TESS-fotometria eredményeiből

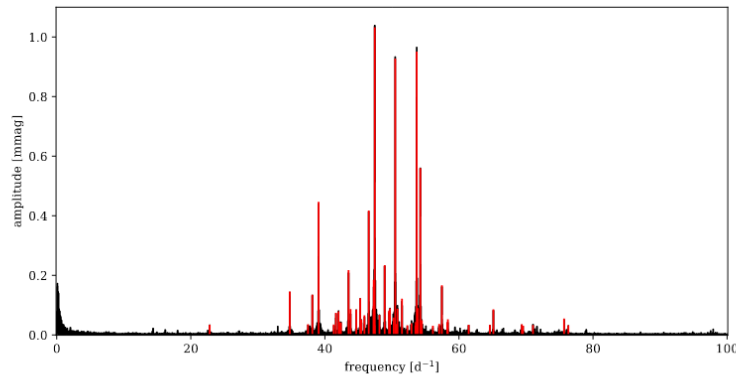
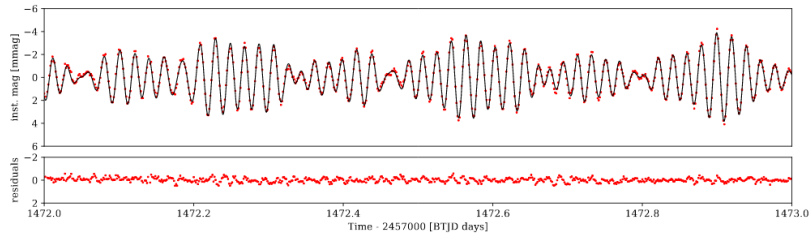
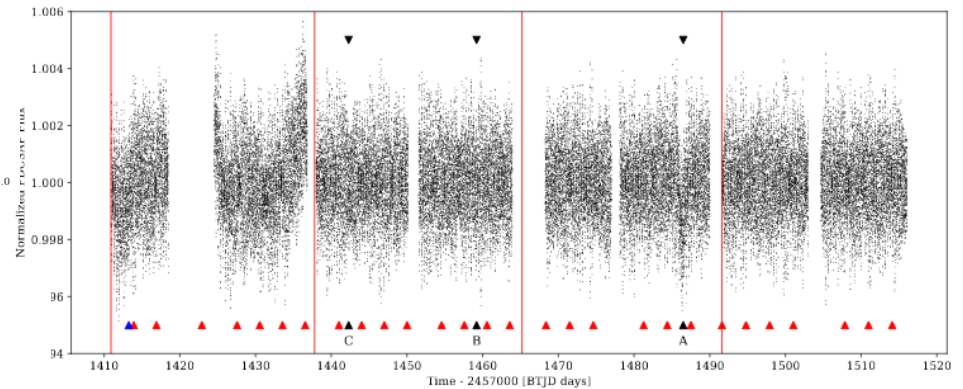
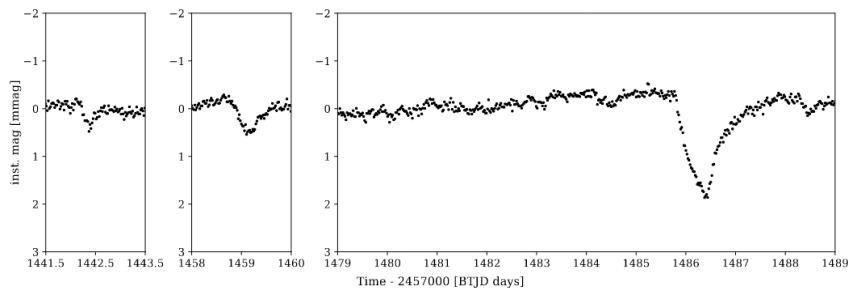


Fig. B.1. Pulsation frequency analysis of β Pictoris: The original amplitude spectrum is in black and the 54 identified δ Scuti pulsations are marked in red.



PDSCAP light curve of β Pictoris used in this analysis. The red vertical lines mark the starts of the Sectors 4 through 7. The black triangles point to the three identified decreases in flux, labelled A,B,C in decreasing signal to noise. The time of momentum dumps are marked with red triangles, and a small change in spacecraft pointing at the beginning of Sector 4 (due to an updated guide star table) with a blue triangle.



Beta Pictoris
(Zieba et al., 2019)
DSCT típusú pulzáció +
porkorong a csillag körül:
üstökösök hullanak a csillagba

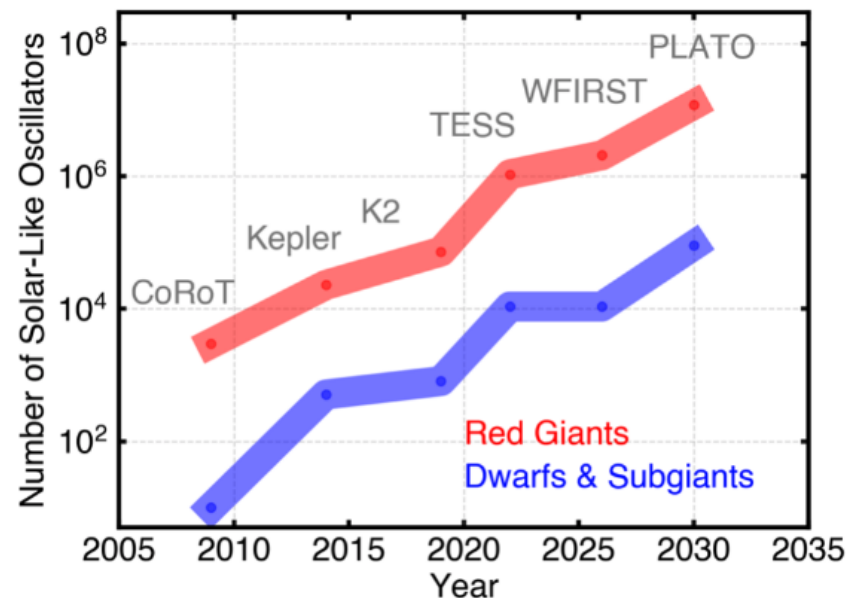
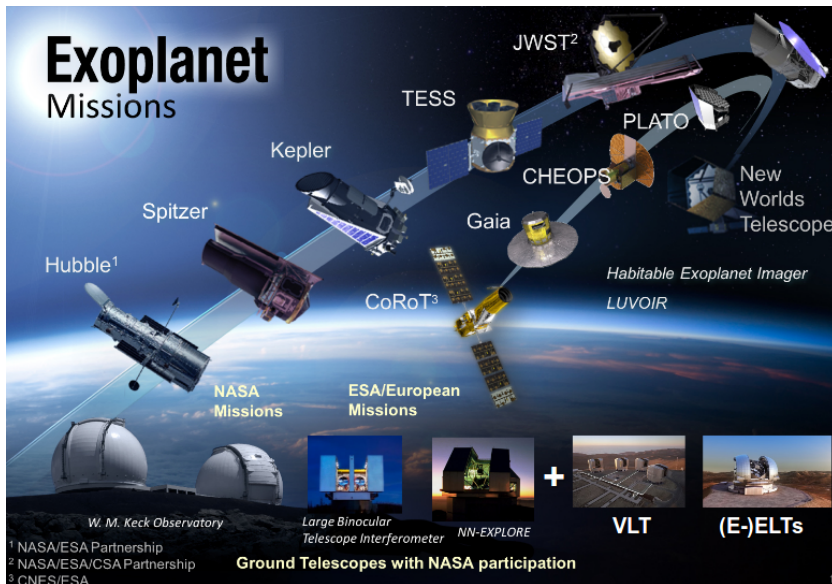
Az űrfotometria jelene

Jelenleg is működik a HST, a Gaia, a BRIDE és a TESS.

A Gaia szerepe kiemelendő a források száma és a határmagnitúdó miatt.

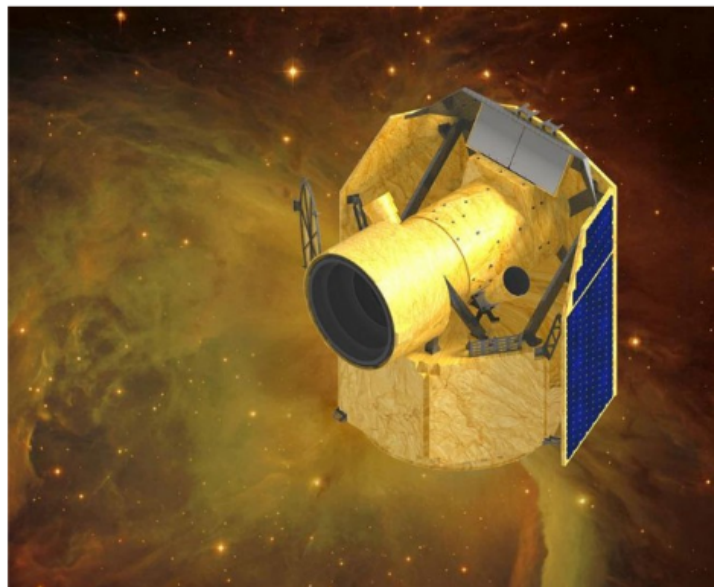
Rengeteg a feldolgozásra váró Kepler- és CoRoT-adat van.

Az exobolygókra hivatkozva könnyebb támogatást szerezni, de az űrfotometria feladata sokrétűbb, mint pusztán exobolygókeresés.



CHEOPS

CHEOPS: **C**haracterizing **ExO**Planet **S**atellite (Svájc+ESA – az ESA első S-missziója); 33 cm-es RC-távcsővel 1-20 földtömeg közötti exobolygók keresése 3,5 évig. Várható indítás: 2019. november.



PLATO

PLATO: **PLA**netary **T**ransits and **O**scillation of stars

ESA-misszió, elsőre nem fogadták el, 2014-ben viszont igen. Tervezett indítás: 2026. Éveken át mér fényes csillagokat.

32 kis távcső közös platformon. Adatredukálás a fedélzeten, 25 másodperces időfelbontású észlelés a látómező minden pontforrására.

