

# Pulzáló változócsillagok

## és megfigyelésük I.

- 7.  $\beta$  Cephei és SPB csillagok,  
megfigyelés

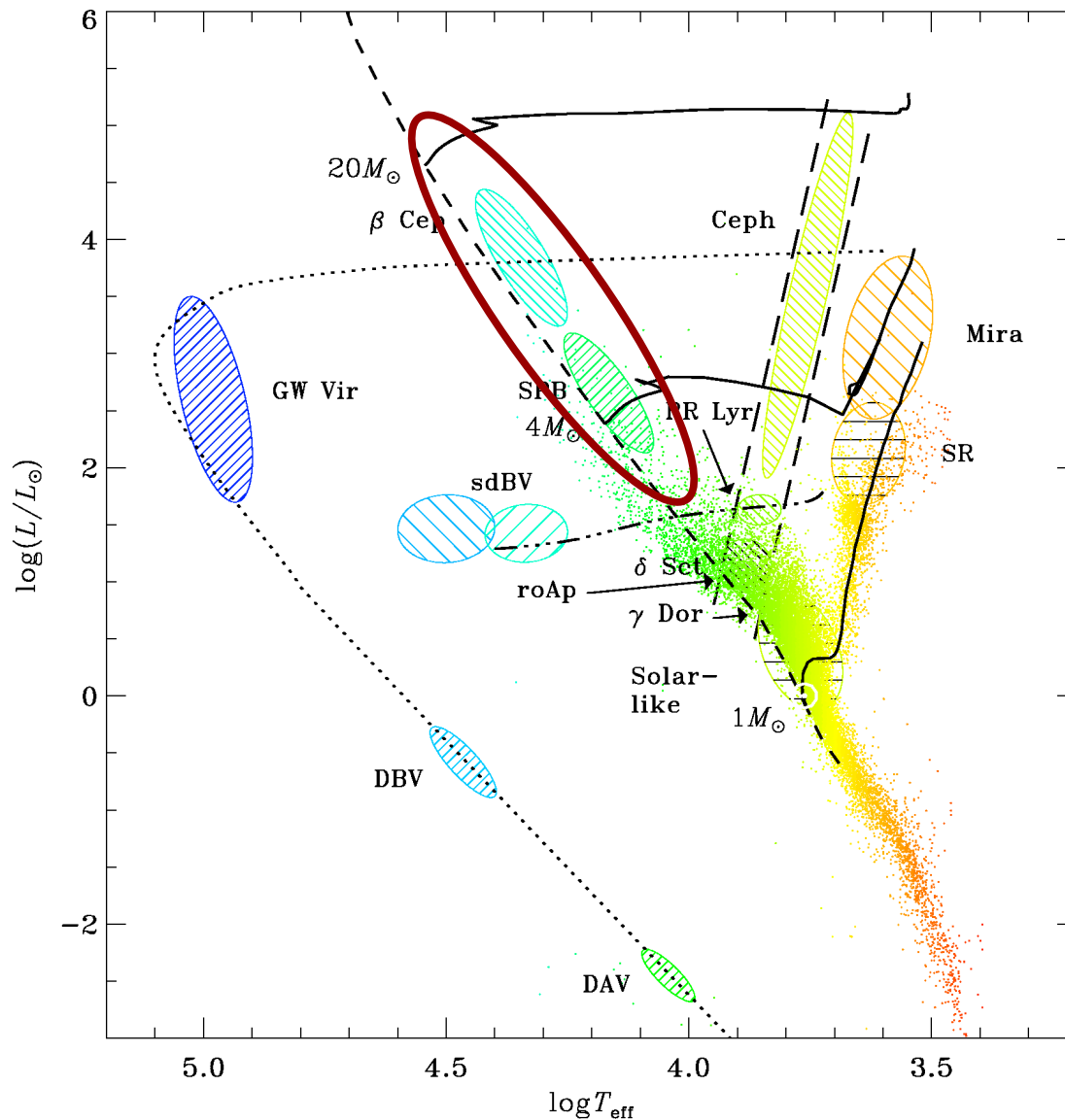
**Sódor Ádám**

**ELTE – MTA CSFK CSI**

2017.11.14.



# $\beta$ Cep és SPB csillagok a HRD-n



# $\beta$ Cep és SPB csillagok jellemzői

	$\beta$ Cep	SPB (53 Per)
Tömeg	$7 - 20+ M_{\text{Nap}}$	$3 - 9 M_{\text{nap}}$
Spektráltípus	B0 – B2	B2 – B9
Periódus	0,1 – 0,6 d	0,4 – 6 d
V amplitúdó	0,01 – 0,3 mag	< 0,1 mag
Pulzációs módus	nemradiális $p$	nemradiális $g$

# Felfedezésük

$\beta$  Cep: spektroszkópiai úton Frost (1903), Crump (1916)  
fotometriailag Guthnick (1913)

Az első spektroszkópiai úton felfedezett változócsillag-típus.

**SPB:** Waelkens & Ruffener (1985, A&A, 152, 6) és  
Waelkens (1991) SOB  $\rightarrow$  SPB

Astron. Astrophys. 246, 453–468 (1991)

ASTRONOMY  
AND  
ASTROPHYSICS

## Slowly pulsating B stars<sup>\*</sup>

C. Waelkens

Astronomisch Instituut, Katholieke Universiteit Leuven, Celestijnenlaan 200 B, B-3001 Heverlee, Belgium

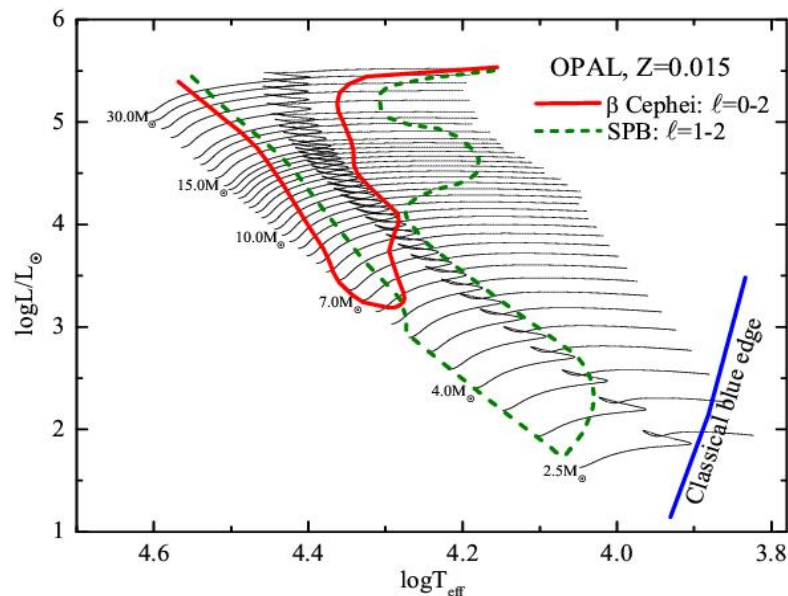
Received December 20, 1990; accepted February 21, 1991

**Abstract.** We analyse photometric data, gathered during several years, of seven B-type variable stars that were previously discussed by Waelkens and Rufener (1985). It is found that all these stars are multiperiodic variables with periods of the order of days. For HD 177863, two periods could be identified,

see below, it turns out that many periods are involved. Extensive and long data strings are thus necessary in order to unravel the frequency patterns of these stars. We therefore continued our photometric monitoring of variable mid-B stars with the same instrument, the Geneva photometer that is permanently attached

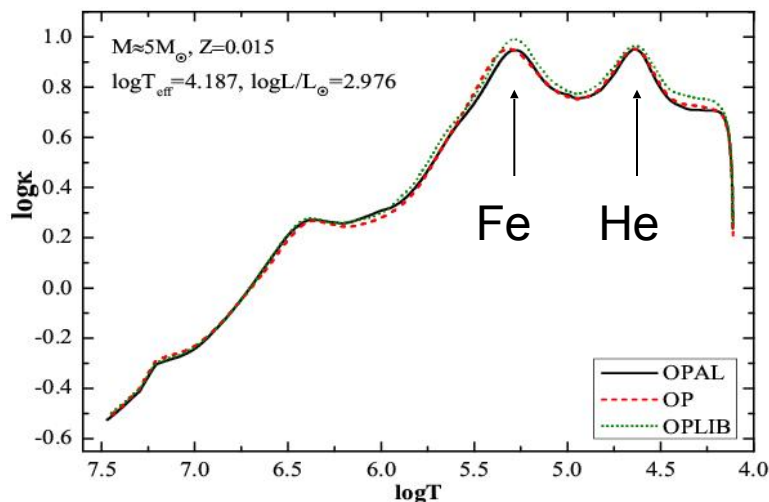
# $\beta$ Cephei, SPB instabilitás

Instabilitási régiók a HRD-n

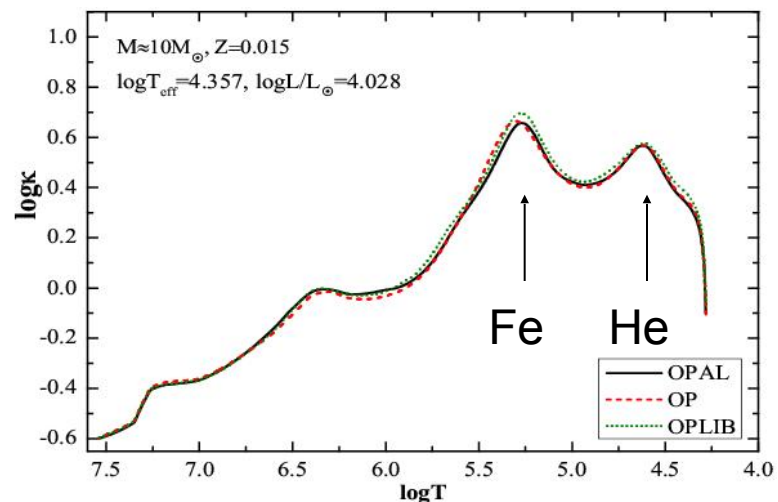


Rosseland-opacitás

SPB



$\beta$  Cep



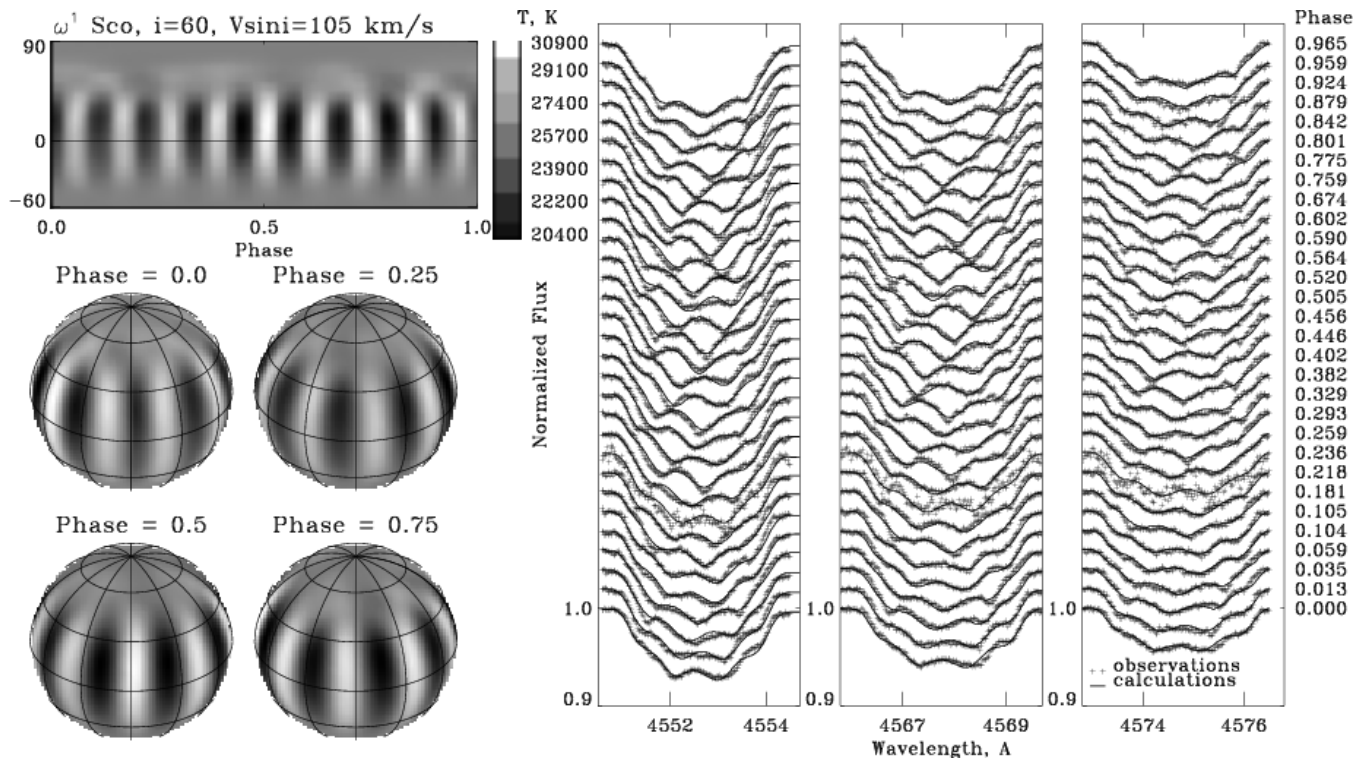
Walczak et al. 2015, A&A, 580, L9

# Idősorok – $\beta$ Cep



$\omega^1$  Sco – egy fotometriai sztenderd, amiről kiderült, hogy változócsillag

Nagyfelbontású spektroszkópai vonalprofil analízis – Doppler-rekonstrukció, inverzió



*Berdyugina et al. 2003, A&A, 406, 281*

# Idősorok – SPB

## o Velorum a Waelkens (1991) cikkből

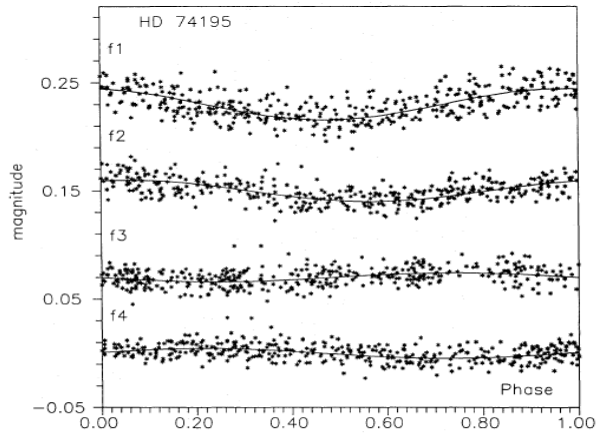


Fig. 3. Phase diagrams for the visual-magnitude data of *o* Velorum for the four main frequencies. The upper and middle figures have been shifted by an arbitrary amount in order to optimize visualisation. Each subsequent phase diagram represents data prewhitened with the previous frequencies.

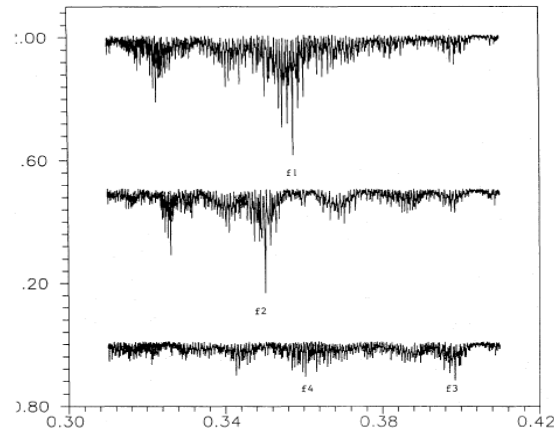
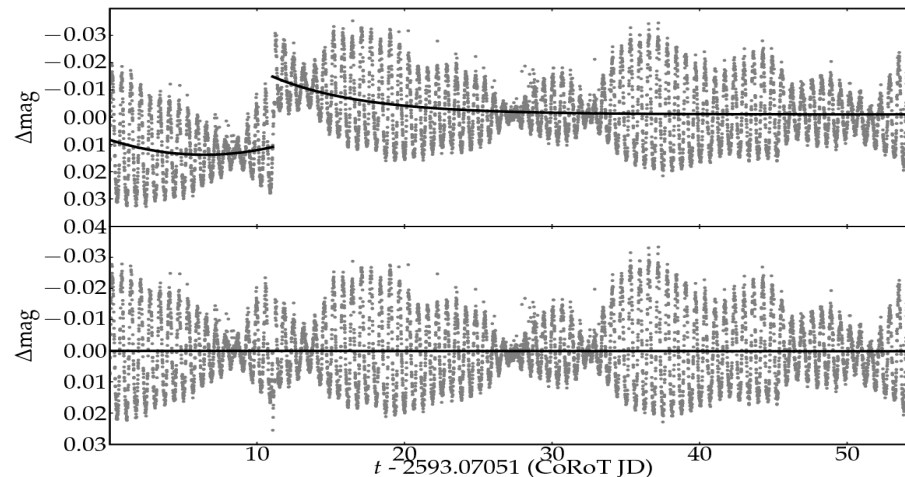


Fig. 2. High-resolution  $\theta$ -statistics for *o* Velorum for frequencies between 0.31 and 0.41 cycles/day. The upper figure concerns the initial data, the middle figure the once prewhitened data, and the lower figure the twice prewhitened data. The upper and middle figures have been shifted by an arbitrary amount in order to optimize visualisation.

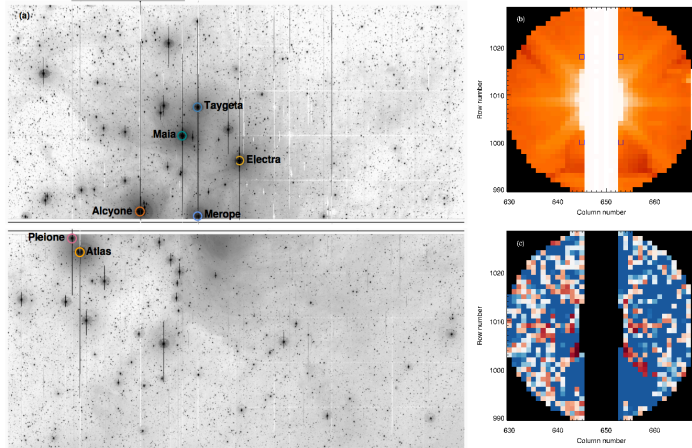
## CoRoT 102815542 – SPB jelölt

*Degroote et al. 2009, A&A, 506, 471*

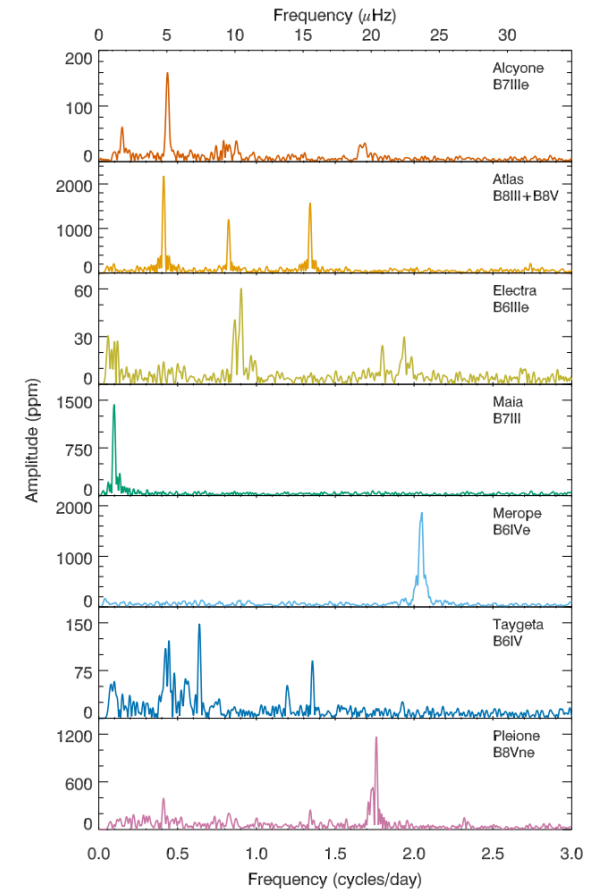
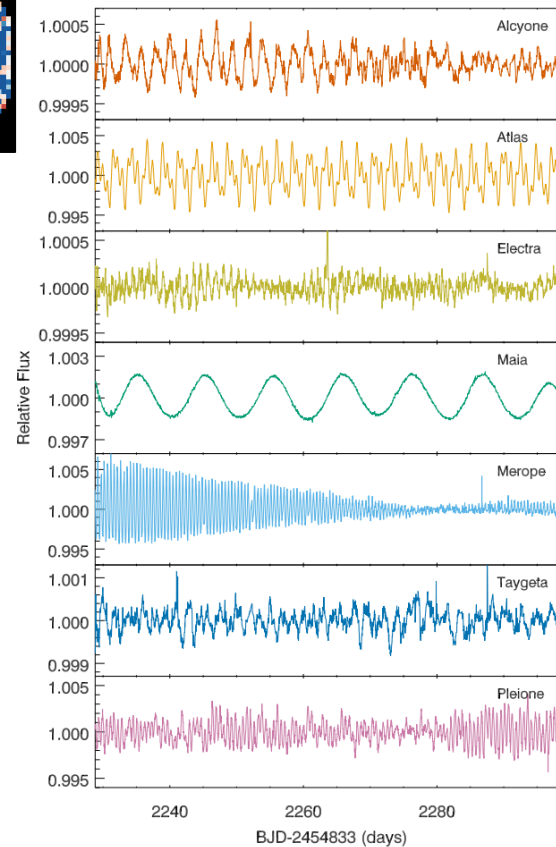


# Idősorok – SPB

## Fiastyúk a K2-vel



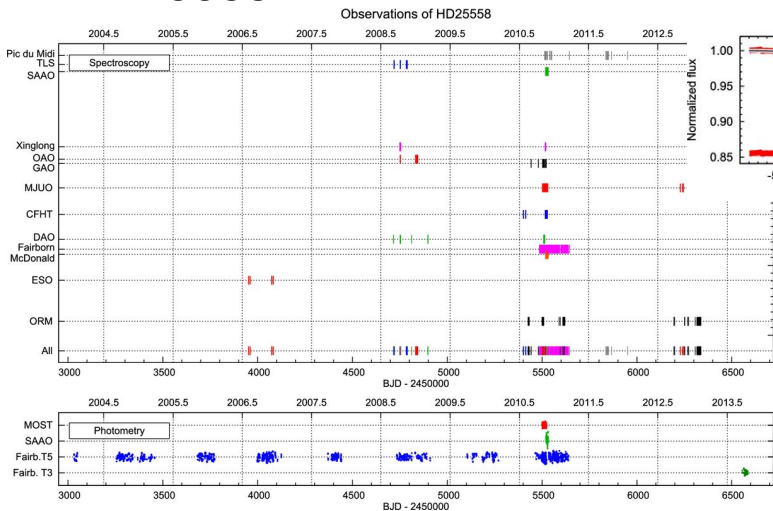
White et al. 2017, MNRAS, 471, 2882



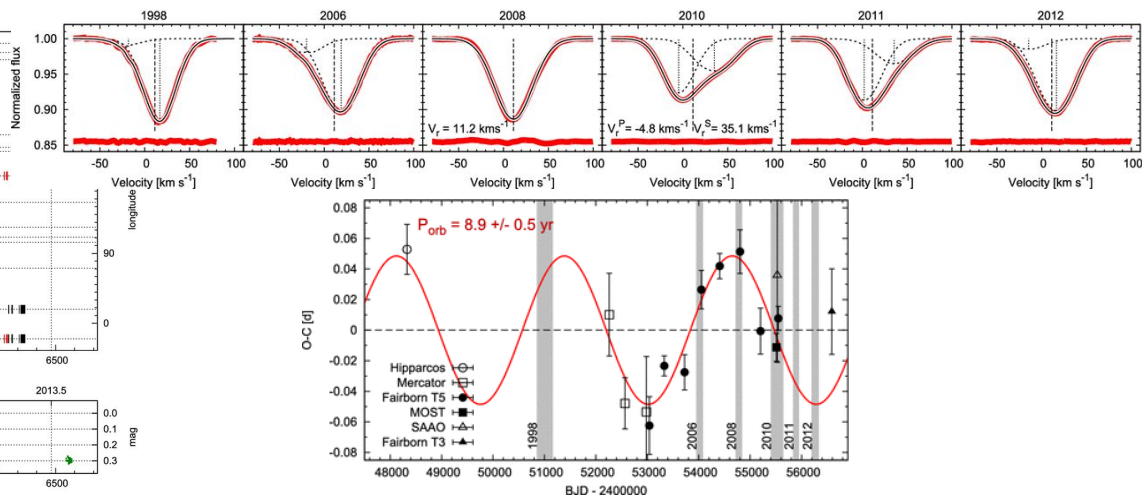


# Idősorok – SPB

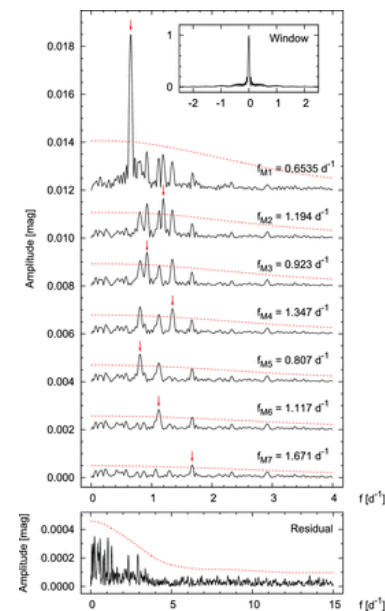
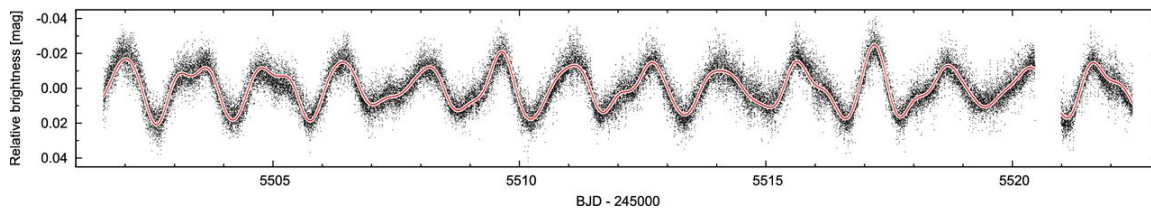
## HD 25558



## kettős



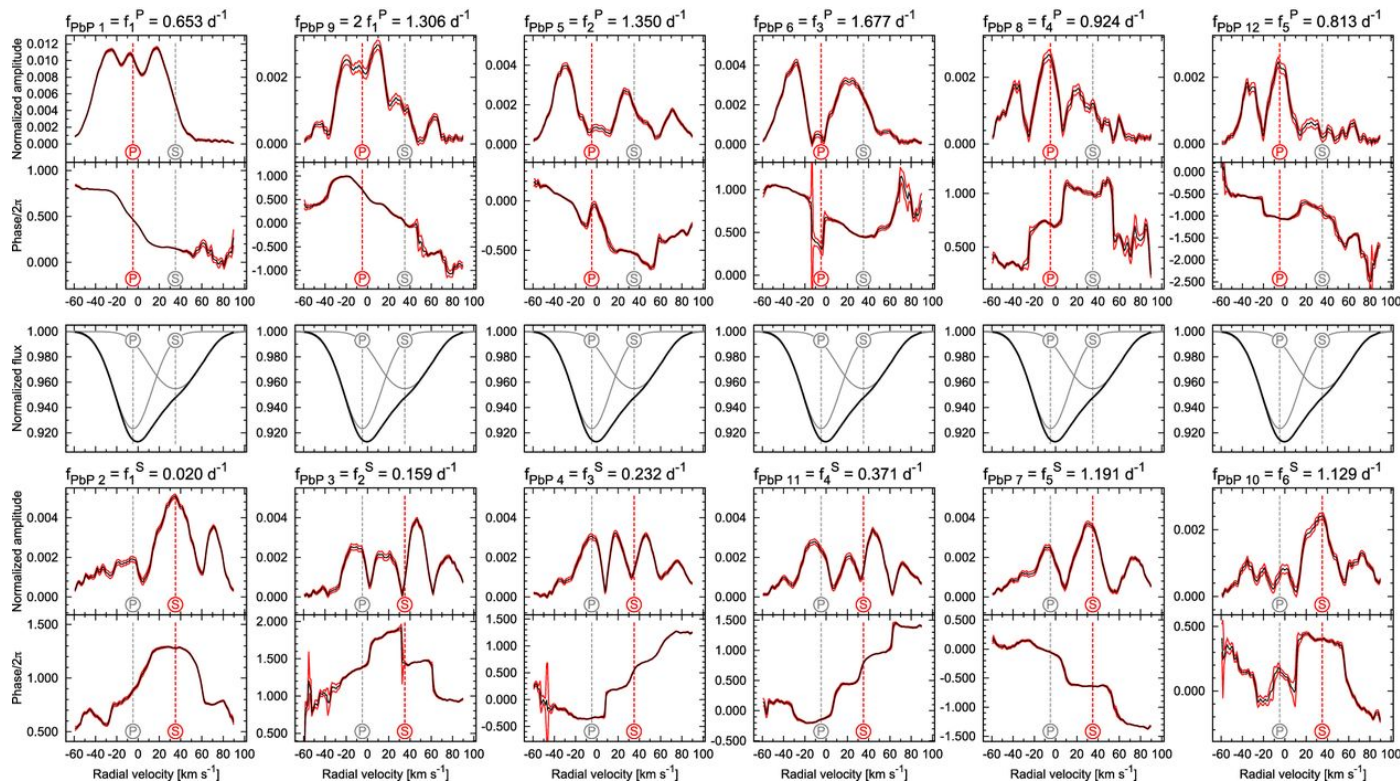
## MOST fénygörbe



# Idősorok – SPB

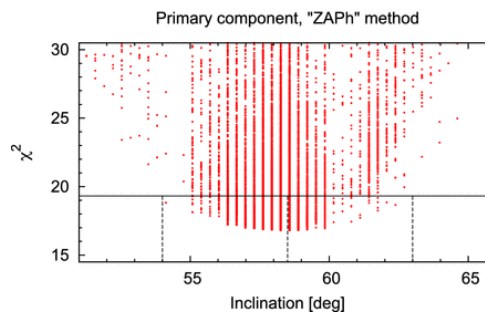
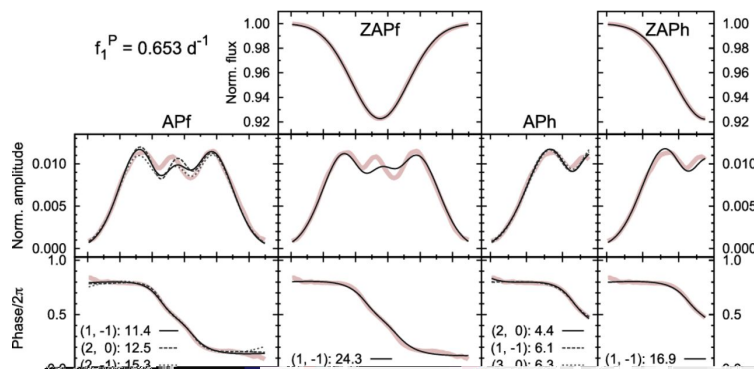
## HD 25558

idősor spektroszkópia:  
vonalprofil analízis



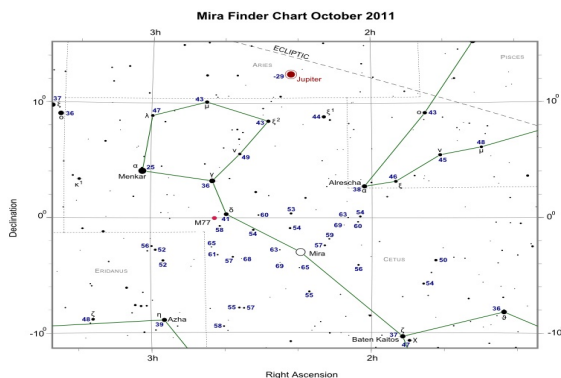
Primary

Secondary



# Pulzáló vcsk megfigyelése

Idősor fotometria – fényesség, színindex ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ) változásai  
vizuális fotografikus



The numbers displayed next to the stars are not the Flamsteed designations but the apparent magnitudes of the stars. For example, 44 corresponds to an apparent magnitude of 4.4

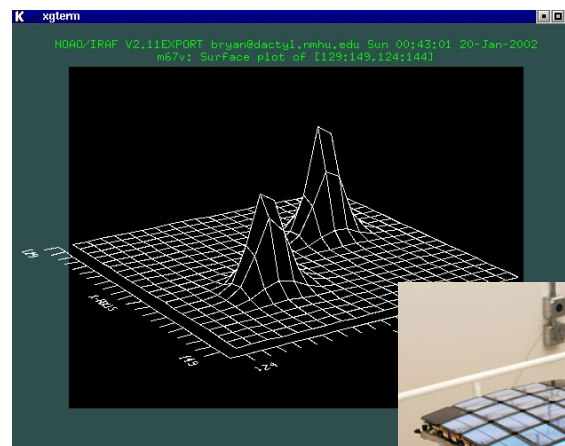
fotografikus



Fotoelektromos



CCD



# CCD kalibráció

A CCD méréseket terhelő bizonytalanságok és torzítások illetve ezek **korrekciója, minimalizálása**:

**kiolvasási zaj** – függ a kiolvasási sebességtől – **lassabb kiolvasási sebesség választása, képek összeátlagolása (ahol értelmes), hosszabb expozíció**

**bias szint** – az A/D átalakító elektromos előfeszítettsége miatt, valamelyest idő/hőmérsékletfüggő lehet – **mester bias kép levonása vagy overscan korrekció**

**zero kép** – lényegében a *bias* pixelfüggő komponense, általában elhanyagolható – **a mester bias korrekció jellemzően ezt is eltünteti**

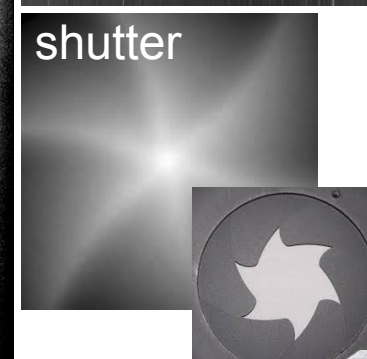
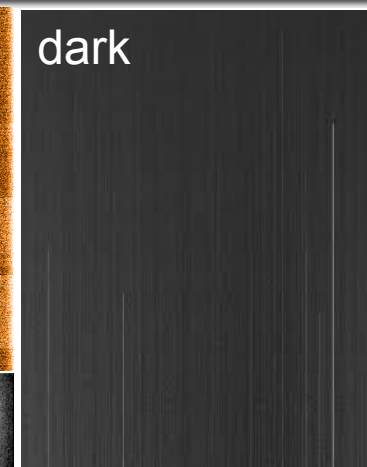
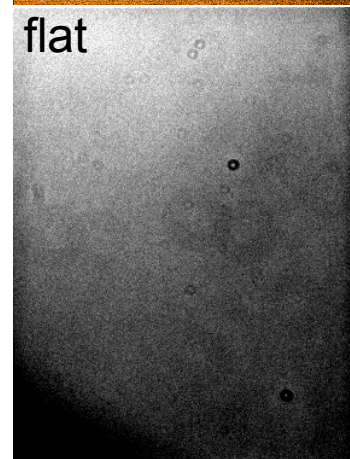
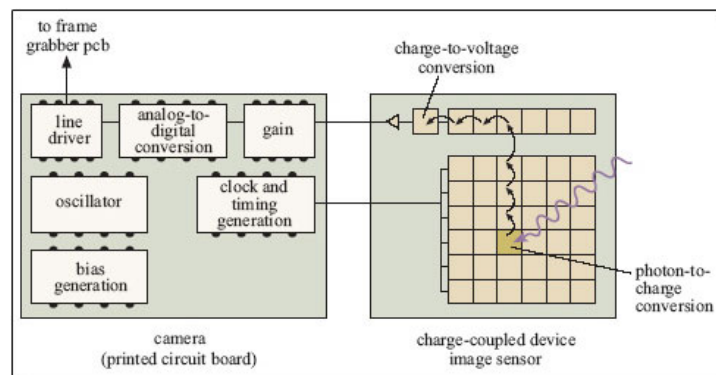
**sötétáram** – pixelfüggő, hőmérsékletfüggő  $\sim \log_2(T/6K)$ , expozíciós idővel arányos, a pixel beütésszáma azonban torzítja – **mester sötétkép levonása**

**optikai hatások** – vignettálás, porszemek a különböző optikai felületeken – **mester flatfield felvétellel való leosztás**. Ez egy homogén felületről készült expozíció.

**pixelek érzékenységekülönbsége** – **a flat korrekció ezt is megoldja**

**fotonzaj** – a beérkező fotonok Poisson-statisztikát követnek.  $\sim \sqrt{n}$  ahol  $n$  a fotonszám. Idővel a kiolvasási zaj fölött dominálni fog – **expozíciós idő növelése**

**shutter** – a zárszerkezet CCDpozíció-függő késleltetése – **shutter korrekció**



# CCD idősor-fotometria I

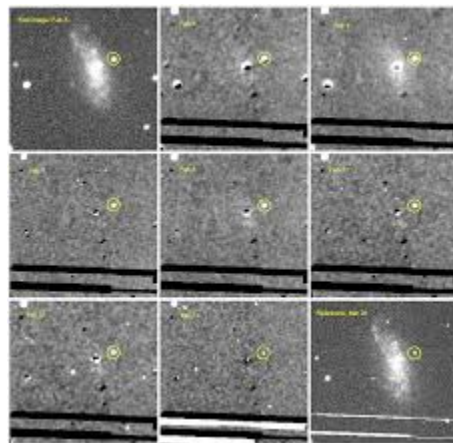
## Fotometria általában

- apertúrafotometria – jól szeparált csillagokhoz, a PSF nem kell, hogy nagyon szép legyen (optikai hibák, seeing miatti torzítások)
- PSF-fotometria – nem kell jó szeparáció (crowded field), de szép szabályos PSF az kell

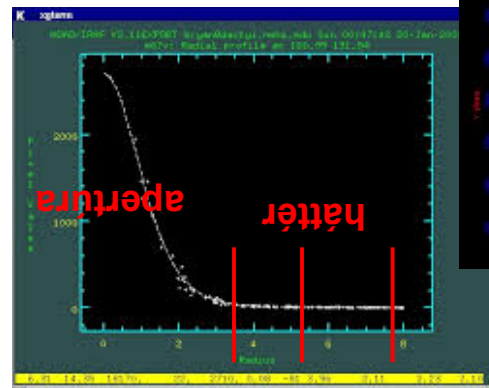
## Csak idősor-fotometria

- képlevonásos (image subtraction) fotometria – nagyon crowded fieldre, nem túl jó PSF-fel is mehet. Jó seeing mellett kell egy mesterkép a területről.

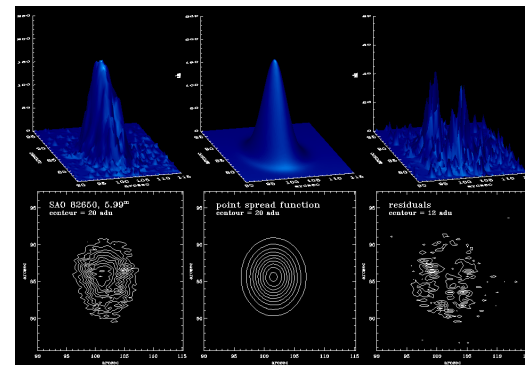
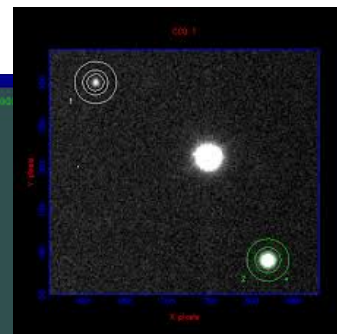
Képlevonásos fotometria



## apertúra fotometria



Radiális profil



PSF fotometria

# CCD idősor-fotometria II

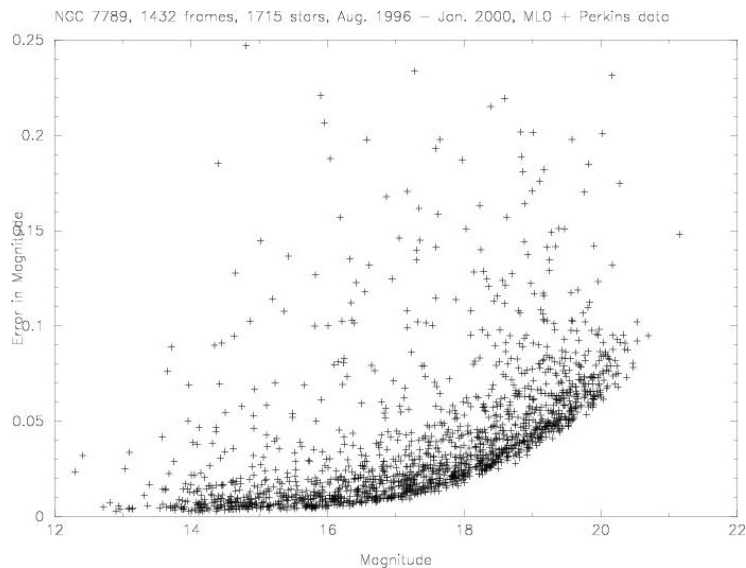
## Abszolút fotometria

Stabil légkör szűsleges, a légköri extinkciót jól leíró modellel

## Differenciális fotometria

Összehasonlító csillagot használunk, ami a látómező egy kellően fényes, színben a változónkhoz hasonló, stabil fényességű csillag. A stabilitást egy másik összehasonlítóval ellenőrizzük.

Ez a módszer a rövid időskálájú, éjszakán belüli légköri változásokra (pára, por, felhők) kevésbé érzékeny, mert ezek a változónkra és az összehasonlítóra hasonló hatást gyakorolnak, minthogy az égbolton egymáshoz nagyon közeli irányban látszanak.



# CCD idősor-fotometria III

## Sztenderd transzformáció

A légkör – távcső – szűrő – kamera együttes sosem valósítja meg pontosan a használni kívánt sztenderd fotometriai rendszert, hiszen mindegyiknek egyedi áteresztési függvénye van hullámhossz szerint, és ezek szorzata lesz a végeredmény.

Ezért a méréseket a sztenderd rendszerbe kell transzformálni. Ennek érdekében időnként sztenderd csillagokat mérünk.

2004 Sep-Oct (JD ~2453265), CZ Lac field, ref. stars: A. Henden

$$B = b - (0.062 \pm 0.004) (b-v)$$

$$V = v + (0.079 \pm 0.004) (b-v)$$

$$R = r + (0.073 \pm 0.009) (v-r)$$

$$I = i - (0.047 \pm 0.004) (v-i)$$

