

Pulzáló változócsillagok és megfigyelésük I.

7. Nap-típusú oszcillációk

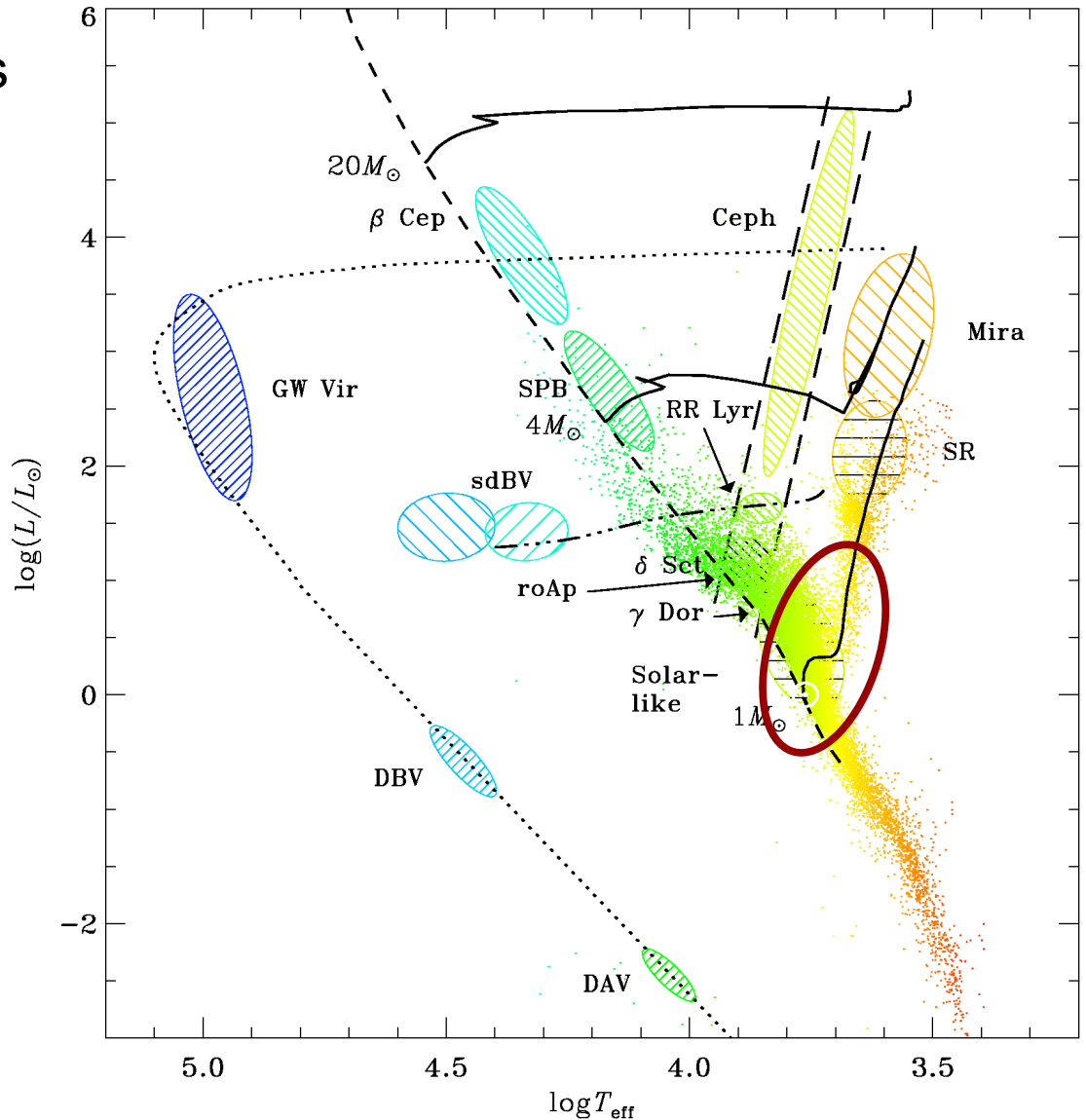
Sódor Ádám
Bognár Zsófia

ELTE – MTA CSFK CSI
2017.11.28.



Nap-típusú oszcillátorok

- Nap-típusú oszcillációk: a felszínközeli turbulens konvekció által sztochasztikusan gerjesztett, alapvetően akusztikus oszcillációk, számos frekvencia egy adott frekvenciatartományban.
- Viszonylag alacsony effektív hőmérséklet és konvektív burok → a klasszikus instabilitási sáv vörös szélétől alacsonyabb hőmérsékleteknél, főszorozati, szubóriás és óriáscsillagoknál.



A Nap oszcillációi

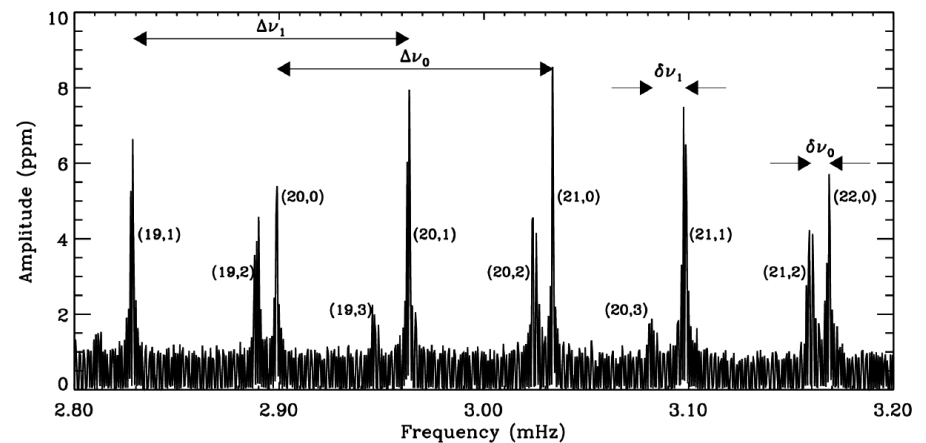
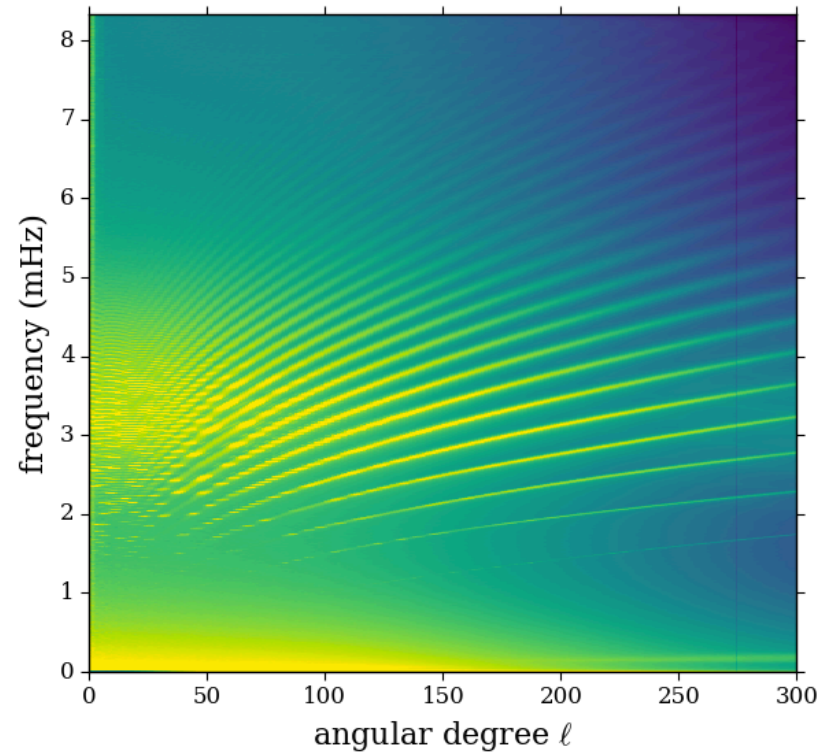
Helioszeizmológia

- 5 perc karakterisztikus periódus (3 mHz) frekvencia.
- Magas / azimutális fok.
- Radiális rend $n_{\max} \approx 20$.

Single Dopplergram Minus 45 Images Average
(30-MAR-96 19:54:00)



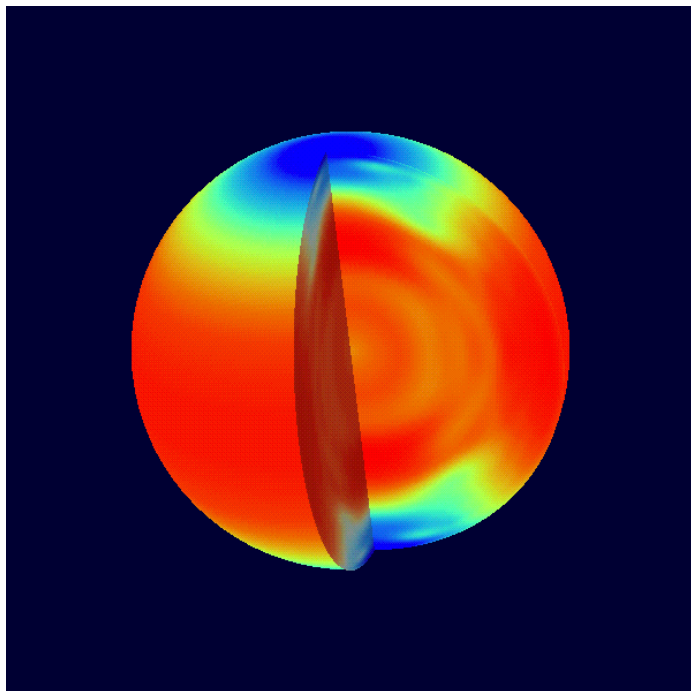
SOI / MDI
Stanford Lockheed Institute for Space Research



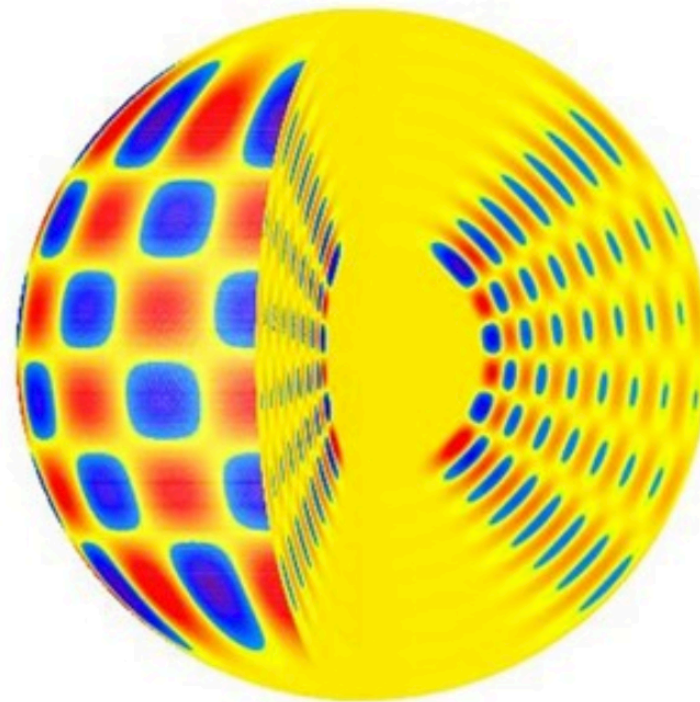
A Nap oszcillációi

Helioszeizmológia

- Inverzióval határozható meg a belső szerkezet a sugár és szélesség függvényében.



A Nap belső rotációja (Schou et al. 1997)



A Nap-típusú oszcillációk

- Egymást követő radiális felhangok távolsága: nagy szeparáció ($\Delta\nu$) közelítőleg az átlagos csillagsűrűség négyzetgyökével arányos

$$\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_{\odot}} \approx \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{\odot}}} = \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^{0.5} \left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}\odot}}\right)^3 \left(\frac{L}{L_{\odot}}\right)^{-0.75}$$

- Kis szeparációk (pl. $\delta\nu_{02}$), egy adott radiális rendnél:

$$\delta\nu_{02} = \nu_{n,0} - \nu_{n-1,2}$$

$$\delta\nu_{01} = \frac{1}{2}(\nu_{n,0} + \nu_{n+1,0}) - \nu_{n,1}$$

$$\delta\nu_{13} = \nu_{n,1} - \nu_{n-1,3}$$

érzékenyek a hangsebesség változására a mag közelében, így a csillag életkorára.

- A legnagyobb amplitúdóhoz tartozó fr.:

$$\frac{\nu_{\text{max}}}{\nu_{\text{max},\odot}} \approx \frac{M}{M_{\odot}} \left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}\odot}}\right)^{3.5} \left(\frac{L}{L_{\odot}}\right)^{-1}$$

- A módusok véges élettartama
→ csúcsok kiszélesedése.

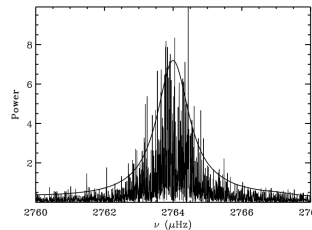
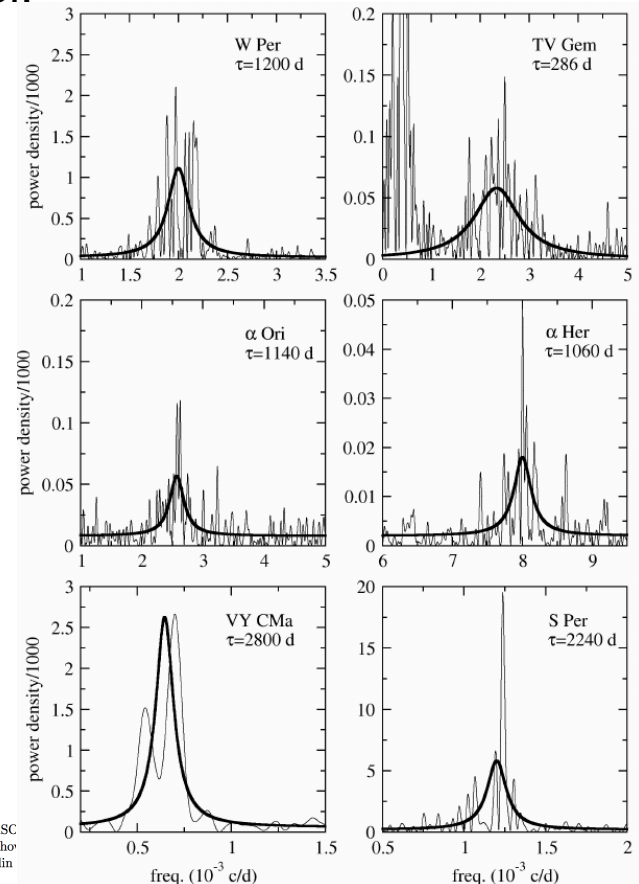


Figure 10.4: Observed spectrum, from Doppler observations with the BISC network, of a single radial mode of solar oscillations. The smooth curve shows the fitted Lorentzian profile, multiplied by three for clarity. (See Chaplin *et al.* 2002.)



Földi megfigyelések

- Megfigyelési nehézségek: kis amplitúdók, rövid módusélettartamok.
- Procyon (F5), észlelés, nagy szeparáció meghatározása (1991–1999).
- Észlelési technikák:
 - Doppler-eltolódások a radiális sebességekben,
 - idősor-fotometria,
 - fluktuációk keresése a hőmérsékletre érzékeny Balmer-vonalak ekvivalens szélességében.

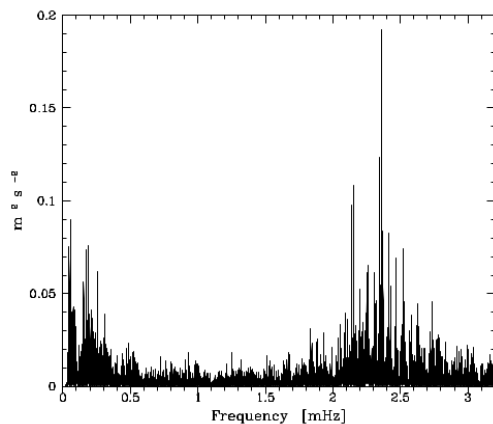
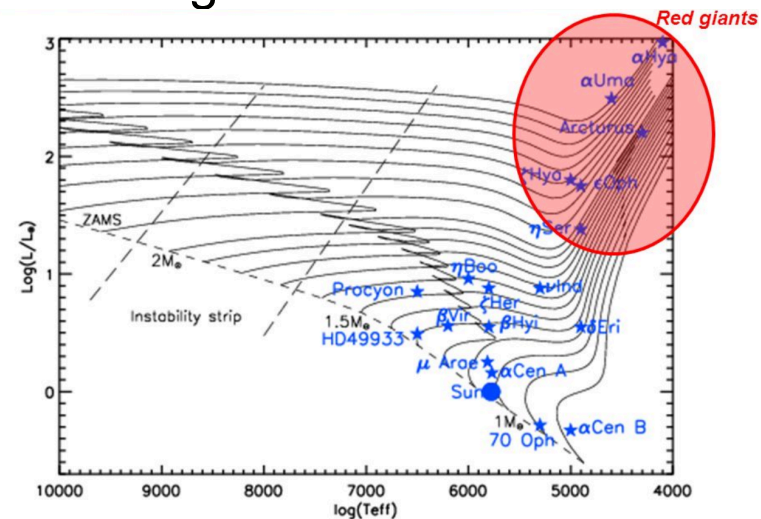


Figure 1.5 Power spectrum of α Cen A from velocity observations over 13 night with the CORALIE spectrograph by Bouchy and Carrier (2002).



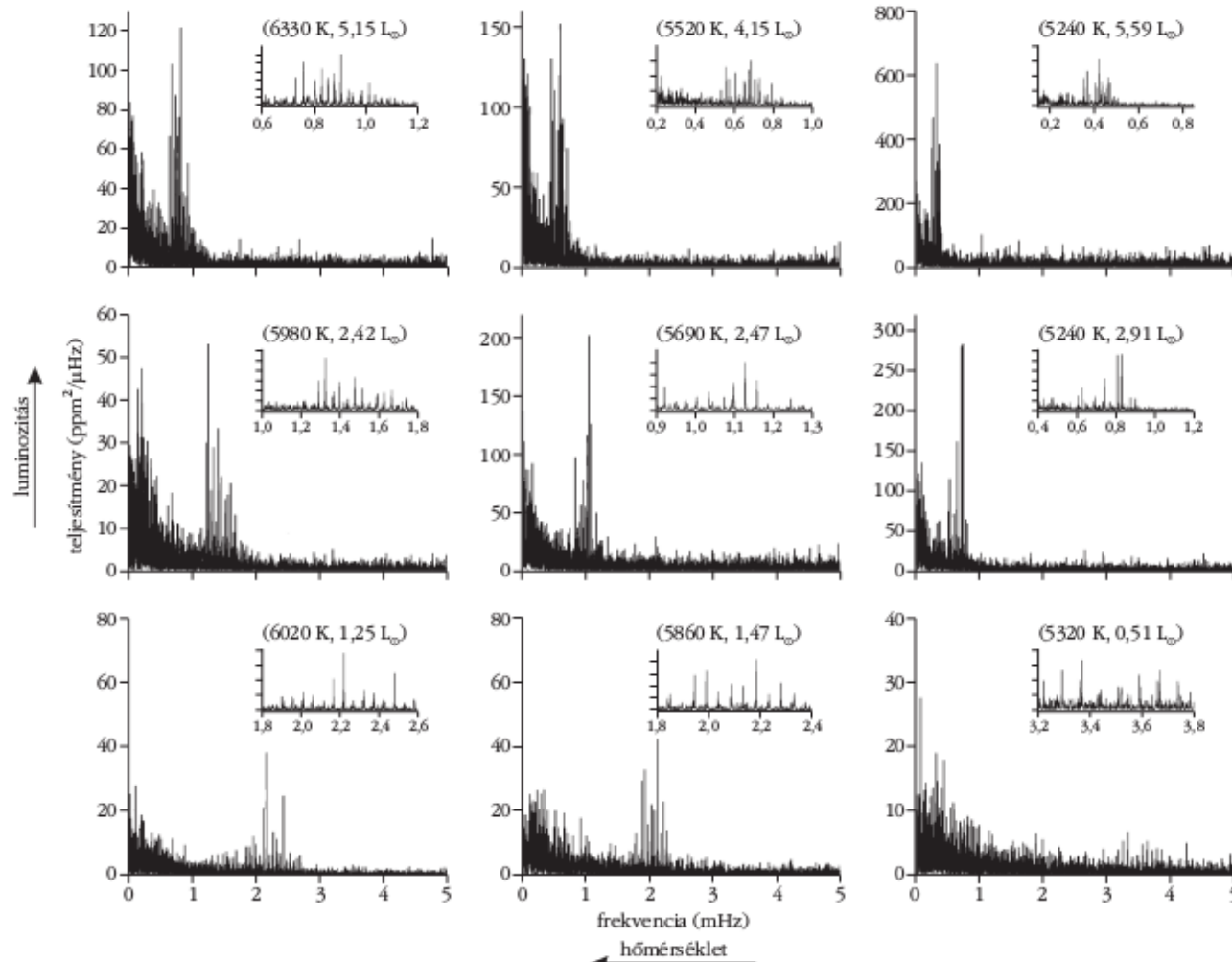
- Vörös óriások, első biztos detektálás: ξ Hya (Hydrae).

Űrből végzett megfigyelések

- WIRE (Wide-Field Infrared Explorer, 52 mm csillagkövető kamera): α Cen A, vörös óriások; SMEI (Solar Mass Ejection Imager, Coriolis): vörös óriások; HST; MOST.
- CoRoT: jelentősen kibővült az ismert főszorozati és szubóriás Nap-típusú oszcillációt mutató csillagok köre, ill. több száz G- és K óriáscsillag megfigyelése.
- Kepler: újabb több száz főszorozati, szubóriás, ill. vörös óriás csillagnál detektált Nap-típusú oszcillációkat. Főszorozati csillagokra megfelelőbb a short-cadence mód, vörös óriásokra elegendő a long-cadence.

Általános jellemzők

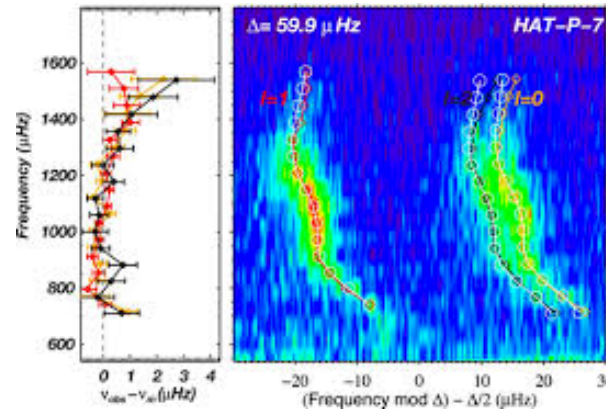
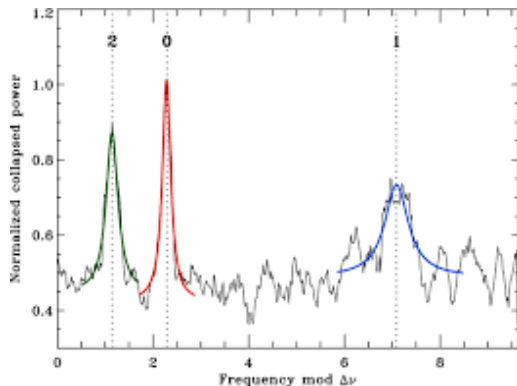
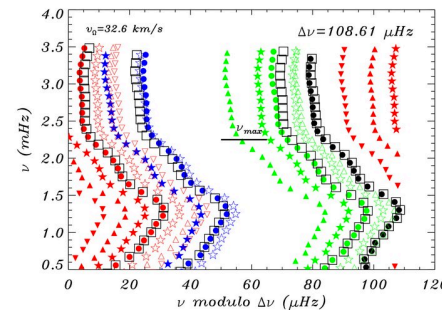
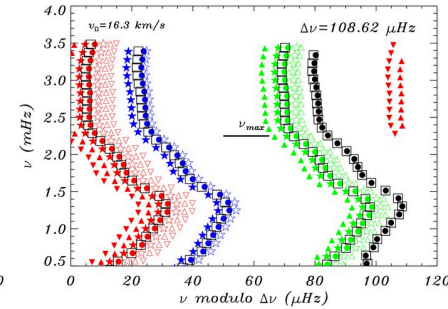
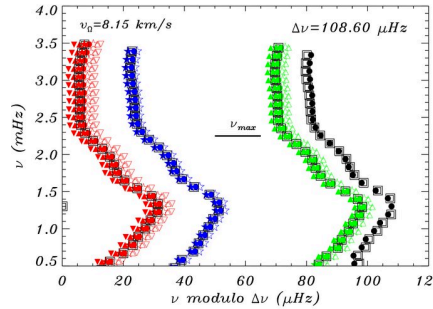
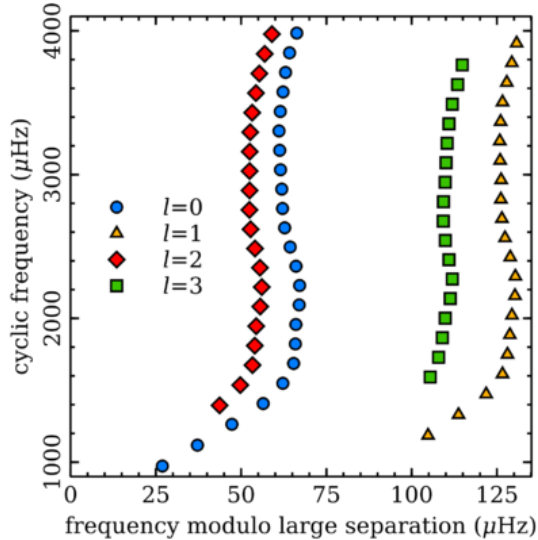
Az oszcillációk hőmérséklet- és luminozitásfüggése



1. ábra. Kilenc csillag oszcillációjának frekvenciaspektruma. Az oszcillációs frekvenciák Gauss-eloszlást mutatnak v_{\max} (belső kis ábrák) körül. A csillagokat fényesség és hőmérséklet szerint rendezve jól látható, hogy a kisebb luminozitású csillagok oszcillációja gyengébb, mint a nagyobb luminozitású társaiké.

Az echelle-diagram

Egymás fölé tornyozott spektrumszeletek a legjellegzetesebb frekvenciaköznek megfelelő darabolásban.



A kevert módusok

Eddig p -módusokról volt szó. A csillagok fejlődése során átfedésbe kerül a belső p - és a külső g -módusok tartománya, a köztük kölcsönhat: kevert módusok is lesznek. A felszínen továbbra is az akusztikus hullámokat látjuk csak.

