

# **Pulzáló változócsillagok és megfigyelésük I.**

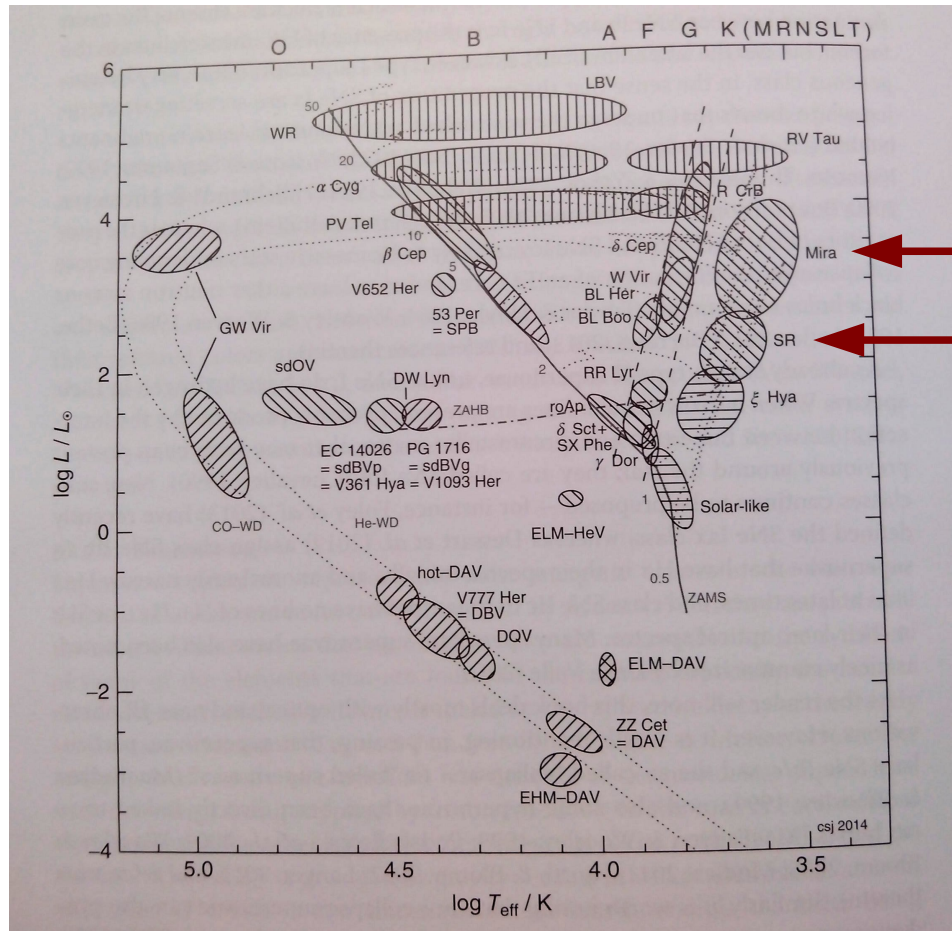
## **6. Vörös óriás (és szuperóriás) változócsillagok**

**Bognár Zsófia  
Sódor Ádám**

**ELTE – MTA CSFK CSI  
2017.11.21.**

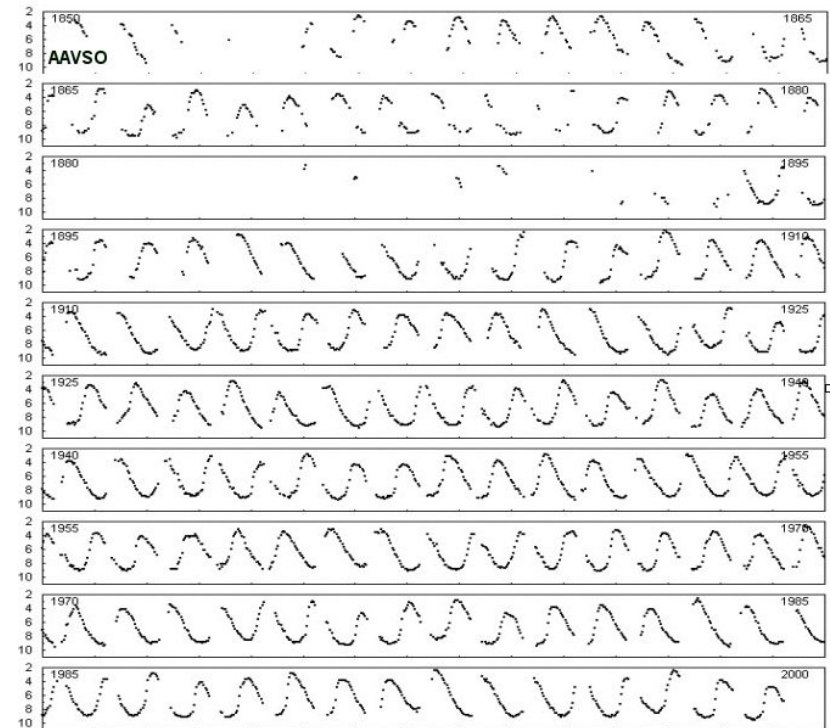


# Helyük a HRD-n



# Általános jellemzők

- Mira (o Ceti) – az elsőként felfedezett pulzáló (vörös óriás) változócsillag (1596)
- alacsony effektív hőmérséklet; kiterjedt konvektív burok, nehezebb elemek megjelenése a felszínen; molekulák és porszemcsék jelenléte a légkörben
- gyakran mérhető fényességváltozások ezeknél az objektumoknál (RGB, AGB)



# Általános jellemzők

- Csoportosítás:
  - Mira Ceti típusú változók: vörös óriások,  $A(\text{vis}) > 2.5$  mag, P: 80 – 1000 nap
  - SR (semi-regular) változók:
    - SRa: konstans periódusok (mint a miráknál),  $A_v < 2.5$  mag
    - SRb: kevésbé meghatározott periódusok
    - SRc: (periodikus) vörös szuperóriások,  $A_v < 1.0$  mag
    - SRd: sárga-narancs (szuper)óriások (FGK)
  - Lb: hosszú periódusú, irreguláris vörös óriások
  - Lc: hosszú periódusú, irreguláris vörös szuperóriások
- Vizuális amplitúdók szerint:
  - LARV (large-amplitude red variable):  $A_v > 2.0$  mag
  - MARV (medium-amplitude):  $A_v: 0.5 - 2.0$  mag
  - SARV (small-amplitude):  $A_v < 0.5$  mag
  - SARV csillagok, melyeket az OGLE felmérés során fedeztek fel: OSARG csillagok (OGLE Small-Amplitude Red Giants)

← megfigyelési hiányosságok?

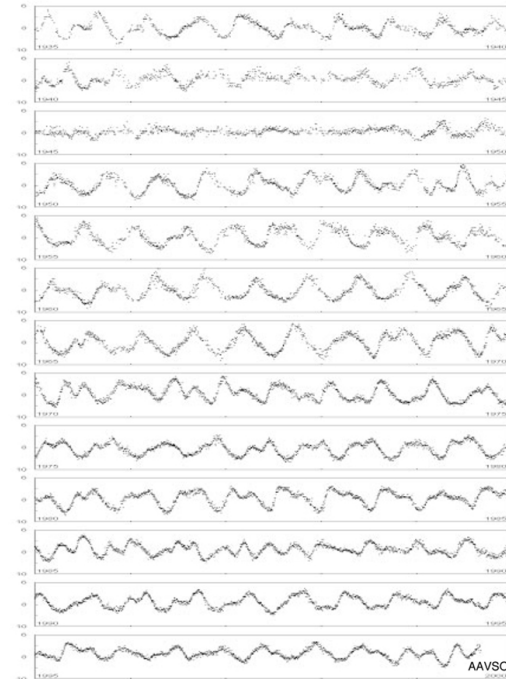
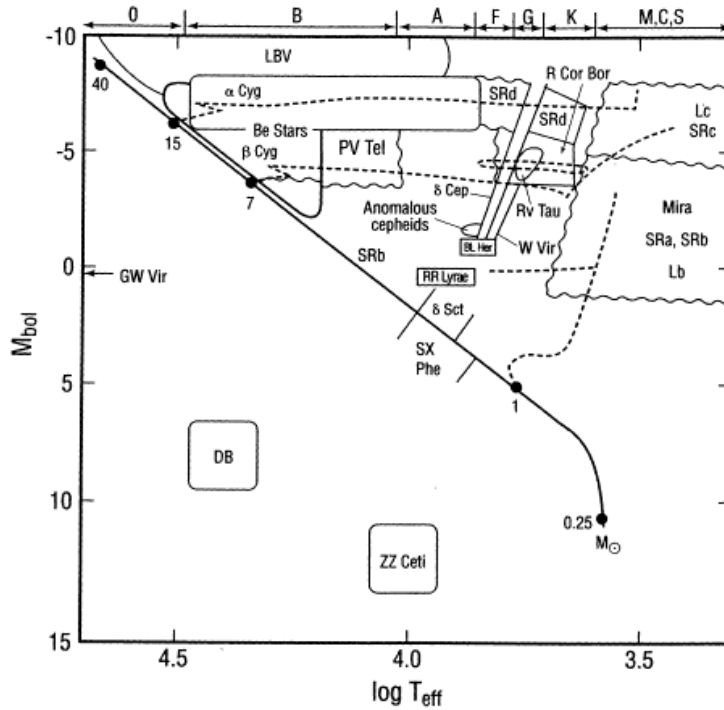


# Általános jellemzők

## Z Ursae Majoris (semiregular)

1935–2000 (1-day means)

Z Ursae Majoris is a bright, semiregular variable varying between magnitude 7 and 9, with periodicities of 196 and 205 days. Semiregular variables are giant or supergiant stars pulsating with amplitudes of variation less than 2.5 magnitudes. They show intervals of periodic variability accompanied by intervals of irregularity; the relative proportion of which may depend upon the subclass. This behavior may be due to the interplay of multiple periods.

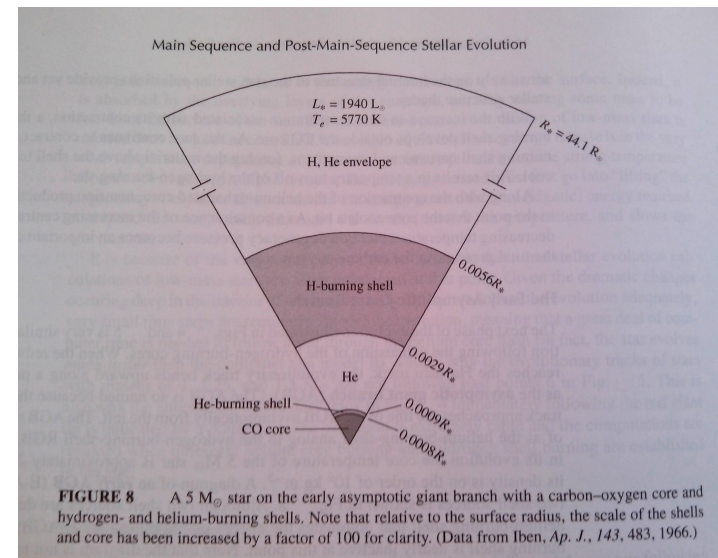


# Általános jellemzők

- nagyméretű objektumok ( $n \times 10 - n \times 100 R_{\text{Nap}}$ ) → alacsony átlagos sűrűség

a periódus – átlagos sűrűség összefüggés alapján → hosszú periódusok várhatók (mira + SR változók: long-period variables – LPVs)

- gerjesztési mechanizmus: a domináns energiaszállítási mechanizmus a csillagok külső rétegében a konvekció. A gerjesztési mechanizmus: valamilyen konvekcióval összefüggő folyamat, vagy a “klasszikus”  $\kappa$ - $\gamma$  mechanizmus eredménye?



$$P \sqrt{\langle \rho \rangle} = Q$$

# Mira változócsillagok

- P: 80 – 1000 nap,  $A_v > 2.5$  mag
- számos mira az elsőként felfedezett változócsillagok között (nagy amplitúdó, számos közeli fényes mira)
- óriáscsillagok,  $T_{\text{eff}} \sim 3000$  K, AGB (H és He héjégés)
- jelentős tömegvesztés: kiterjedt légkör  $\rightarrow$  tömegvesztés kis perturbációk hatására is  
(fősorozaton: kis- és közepes tömegű csillagok, a legnagyobb tömegű mirák 4-6  $M_{\text{Nap}}$  tömegűek a fősorozaton; egy átlagos mira tömege  $\sim 1 M_{\text{Nap}}$ , a legidősebb mirák 0.6  $M_{\text{Nap}}$  körül lehetnek)
- pulzáció: radiális alapmódusban
- periódus-luminozitás reláció van! (MACHO, OGLE felmérések: Kis- és Nagy Magellán felhők, Tejútrendszer középpontja)
- lehetséges fejlődési útvonal vörös óriások esetében: OSARG változó  $\rightarrow$  SR változó  $\rightarrow$  mira  
közben: amplitúdó nő, gerjesztett módusok száma csökken

# Mira változócsillagok

- a fényességváltozás amplitúdója különböző hullámhosszakon jelentősen eltér ( $K$  sávban csak max.  $\sim 1$  mag!)
- figyelembe veendő: a konvektív buróktól a csillagközi térbe vezető úton molekula ill. porképződés zajlik (ld. pl.  $\text{TiO}$  elnyelési sávjai a spektrumban).

maximumban: a változó kisebb és forróbb, mint minimumban, a légkör pedig átlátszóbb a vizuális tartományban, a csillag belsőbb, forróbb részeibe láthatunk be

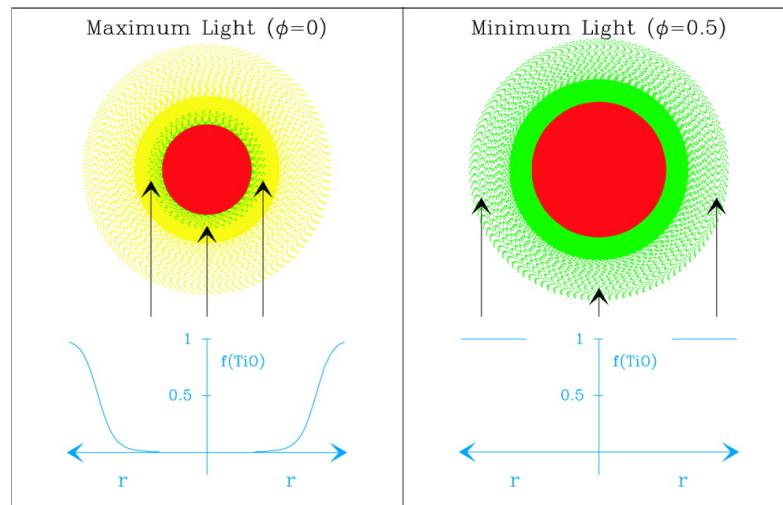
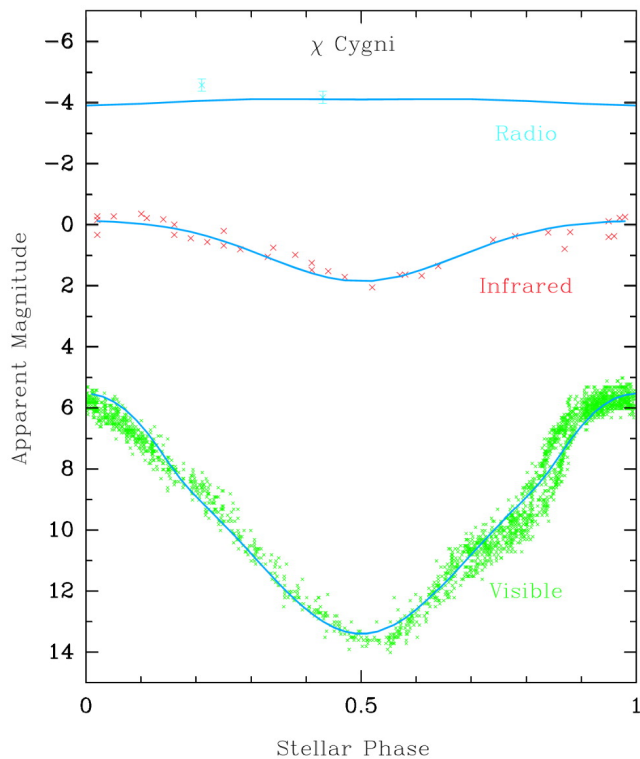
minimum felé: a csillag kitágul és hűl, fém-oxid molekulák jönnek létre az atmoszférában, a légkör kevésbé átlátszóbbá válik a vizuális tartományban, kevésbé látunk le az atmoszférába

infravörös hullámhosszakon a molekuláris opacitás kisebb

tanulság: ha egy mira méretére, ill. luminozításváltozására vagyunk kíváncsiak, IR-ben mérjük



# Mira változócsillagok



# Mira változócsillagok

- Pulzációs periódusok változása:
  - egy domináns periódus; kismértékű, véletlenszerű változások lehetnek a maximumidőpontokban
  - hosszú távú szisztematikus változások is lehetnek, lehetséges ok: instabilitások az energiatermelésben, héliumhéj-villámok (helium shell flash)

Héliumhéj-villámok:

“Számítások azt mutatják, hogy a hélium-héjégés az AGB csillag burkában termikusan nem stabil, időről-időre „megszalad”. Ennek oka, hogy a hidrogén-héjégés növeli a hidrogén és hélium égető héj közötti részben a hélium mennyiségét, amitől megnő ezen régió alján a nyomás és a hőmérséklet. A hélium égető héj idővel (geometriailag) vékonyá válik. Amikor a hélium égető héj fölötti rész tömege elér egy kritikus értéket, a hélium égése ebben a vékony héjban termikusan megszalad, mivel a hőmérsékletnövekedés hatását nem lehet kellően ellensúlyozni a gágréteg tágulásával és az ezáltal bekövetkező nyomáscsökkenéssel. Ezt a jelenséget hívják héliumhéj-villámnak („helium shell flash”). A héliumhéj-villámot követően a héliumégető héj kitágul és lehűl, majd egy stabil égetési fázis következik. Ezek az ún. termális pulzusok, melyek során a csillag a HRD-n egy időre balra lefelé mozdul el, többször is megismétlődhetnek a fejlődése folyamán.”

# Mira változócsillagok

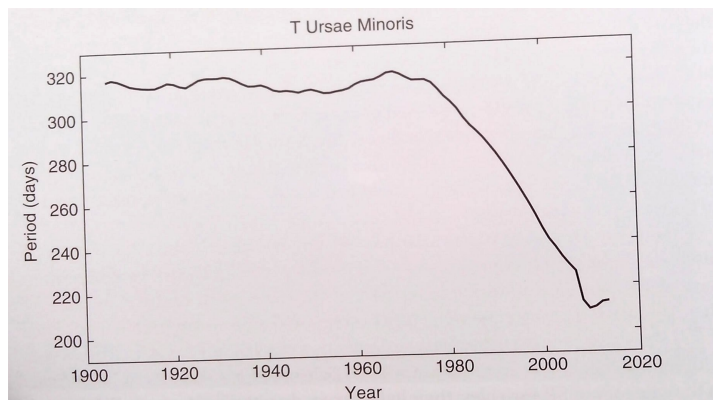


Figure 8.8 This figure, an update of Figure 8 in Templeton *et al.* (2005), shows the large decrease in the pulsation period of the Mira variable T UMi that may be associated with a thermal pulse. (Based on AAVSO data. Courtesy M. Templeton.)

- hosszú távú szisztematikus változások is lehetnek, lehetséges ok: instabilitások az energiatermelésben, héliumhéj-villámok (helium shell flash)

Héliumhéj-villámok:

“Számítások azt mutatják, hogy a hélium-héjégés az AGB csillag burkában termikusan nem stabil, időről-időre „megszalad”. Ennek oka, hogy a hidrogén-héjégés növeli a hidrogén és hélium égető héj közötti részben a hélium mennyiségét, amitől megnő ezen régió alján a nyomás és a hőmérséklet. A hélium égető héj idővel (geometriailag) vékonyá válik. Amikor a hélium égető héj fölötti rész tömege elér egy kritikus értéket, a hélium égése ebben a vékony héjban termikusan megszalad, mivel a hőmérsékletnövekedés hatását nem lehet kellően ellensúlyozni a gágréteg tágulásával és az ezáltal bekövetkező nyomáscsökkenéssel. Ezt a jelenséget hívják héliumhéj-villámnak („helium shell flash”). A héliumhéj-villámot követően a héliumégető héj kitágul és lehűl, majd egy stabil égetési fázis következik. Ezek az ún. termális pulzusok, melyek során a csillag a HRD-n egy időre balra lefelé mozdul el, többször is megismétlődhetnek a fejlődése folyamán.”

# Félszabályos változók

- SR vörös óriások:  
alapl módus, első, második, harmadik felhang, radiális pulzáció (2-3 módus is lehet)  
van periódus-luminozitás összefüggés  
SRa – AGB; SRb – RGB, AGB
- SRC változók:  
10-20  $M_{\text{Nap}}$ , korai M típus (~3000 K),  $P \sim 100\text{-}4000$  nap, radiális alapl módus és első felhang, ezekre is ismert P-L reláció

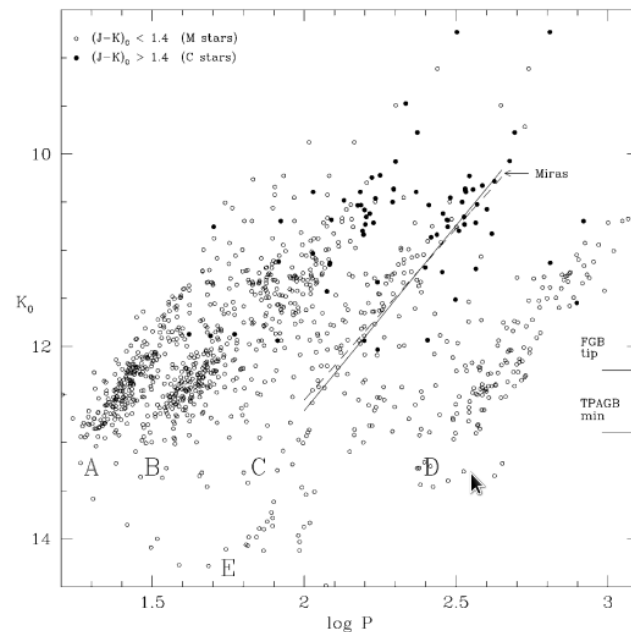


Figure 1—Variable LMC red giant stars plotted in the  $(K, \log P)$  plane. Five sequences labelled A, B, C, D, E can be seen (see text). The positions of the tip of the first giant branch (FGB) and the minimum luminosity for thermally pulsing AGB (TPAGB) stars with mass  $\sim 1 M_{\odot}$  are indicated by arrows. The solid and dashed lines are the  $K$ - $\log P$  relations from Hughes & Wood (1990) and Feast et al. (1989) respectively. Solid circles correspond to stars with  $J-K > 1.4$  and they are assumed to be carbon stars. Other stars are assumed to be oxygen-rich M or K stars.