

dc\_514\_12

**Szatmáry Károly**

**Csillagok fényességének periódusváltozása**

**MTA Doktora cím elnyeréséért benyújtott értekezés tézisei**

**Szeged**

**2012**

## I. Tudományos előzmények, célkitűzések

Hazánkban az elmúlt bő fél évszázadban – főleg a földrajzi adottságok és a műszeres háttér miatt – a csillagászati kutatások élvonalába a változócsillagok fotometriai vizsgálata tartozott. E területen nemzetközileg elismert sikerek születtek. Az egyetemi diploma megszerzése után Szegeden célszerű volt nekem is ezt választani kutatómunkám témájául.

Hallgatóként TDK- és diplomamunkám a galaxisok spirálszerkezetéről szólt. Kezdő oktatóként az 1980-as években először  $\delta$  Scuti csillagok fotometriájával foglalkoztam, főleg pizskés-tetői megfigyeléseket végeztem. A négy hónapos odesszai tanulmányutam során megismerkedtem a csillagok spektroszkópiai elemzésével is. Különösen érdekelt a pulzáló csillagok kettős rendszerekben téma, az amplitúdó- és frekvenciamodulált fénygörbék esete. Ebből írtam egyetemi doktori értekezésemet (1987).

Kisebb-nagyobb kirándulásokat tettem a fedési kettősök, az RR Lyrae csillagok és a cefeidák világába, ahol főleg a periódus változását elemeztem O-C diagramok alapján. A hazai és külföldi amatőr csillagászokkal felvett kapcsolat után hozzáfértem olyan adatbankokhoz, ahol hosszúperiódusú vörös változók sok évtizedes fénygörbéit gyűjtötték össze. Ez a „szerelem” a mirák és félszabályos változócsillagok iránt még ma is tart, de a vizuális adatsorokon kívül újabban a *Kepler* űrtávcső adatait elemzem.

A fénygörbék periodicitásának vizsgálatához a hagyományos, pl. Fourier-analízis mellett a 90-es évek elején egészen új, idő-frekvencia módszereket kezdtem használni, főleg a wavelet-analízist. Kandidátusi értekezésem erről szólt (1994).

Közben 1995-től, egy Nap típusú csillag körüli első exobolygó felfedezésétől figyelemmel kísérem ennek a területnek a fejlődését. Lebilincselően izgalmas, a csillagászat szinte összes ágát, módszereit felhasználja. Az utóbbi néhány évben kis csoportunkkal az exobolygók lehetséges holdjainak (exoholdaknak) a kimutatási lehetőségein is dolgoztam.

A fentiekből látható, hogy sok témával foglalkoztam. Ez egy egyetemi oktató esetében nem is baj, hiszen mindezekben túlmenően a csillagászat szinte összes területét figyelemmel kell követni, ha az új eredményeket is be szeretnénk építeni az oktatásba.

A vezérfonal, ami eddigi kutatómunkámat jellemzi, úgymond összefogja: ez a csillagok fényességváltozási periódusa, illetve periódusainak az időbeli megváltozása. Ennek kimutatása és magyarázata a fő célom. Nagyon izgalmas terület, hiszen a periódus valódi változásának – akár pulzáló, akár fedési kettős csillagnál – alapvető fizikai vagy evolúciós okai lehetnek, de a változás látszólagos is lehet (pl. fényidő-effektus).

A fénygörbék periodicitás vizsgálatához a hagyományos O-C diagram módszeren túl az ablakozott Fourier-transzformációt, de főleg a már említett wavelet-analízist használtam. A tranzitos exobolygóknál a holdak kimutatására is valamilyen időbeli ciklikus eltolódás (angol szakkifejezéssel: timing) elemzését alkalmaztunk, általában a fedés közepének időpontjára vonatkozóan.

A pulzáló változócsillagok fotometriai vizsgálata során alapvető fontosságú a fényváltozás periódusának vagy periódusainak meghatározása. A periódus(ok) hosszának ismeretében a pulzációelmélet és különféle relációk segítségével a csillagok számos fizikai paramétere meghatározható.

Szinte általános jelenség a pulzáció periódusának időbeli változása. Ez lehet nagyon lassú – ilyet a csillagfejlődési modellek is előrejeleznek –, de lehet aránylag gyors, más okokból eredően.

A periódusváltozás lehet látszólagos is, például amikor a lüktető csillag egy kettős rendszerben kering. Az ilyen kettőscsillagok tanulmányozása több szempontból is lényeges. A másik komponens árapályereje hatással lehet a pulzációra (a módusok

növekedési rátájára), míg fényének jelenléte csökkenti a pulzáló csillag fényváltozásának megfigyelhető amplitúdóját.

A csillagászatban aránylag újnak mondható matematikai transzformáció, a wavelet-analízis (és több más hasonló idő-frekvencia módszer) képes a különböző modulációk, a pulzáció paraméterei időfüggésének tanulmányozására. Célom volt, hogy e módszer előnyeit és korlátait, alkalmazhatóságát elemezsem.

## II. Vizsgálati módszerek

### II.1. Fotometriai adatsorok

A rövid periódusú változócsillagok mellett elkezdtem a sokkal hosszabb (50-2000 nap) ciklushosszal pulzáló óriáscsillagok fényváltozásának vizsgálatát. Mivel ezekre alig található fotoelektromos mérés, magyar és külföldi amatőr csillagász szervezetek (főleg az AAVSO) adatbankjait használtam fel. A vizuális észlelések átlagolt fénygörbéi általában 0,1–0,2 magnitúdó megfigyelési hibával terhelték, de a kimutatandó pulzációs amplitúdók ennél egy nagyságrenddel nagyobbak. A több évtized hosszúságú adatsorok mindegyike néhány ezer egyedi megfigyelés eredménye.

Az utóbbi két évben a *Kepler* űrtávcső mérési eredményeihez való hozzáférésem lehetővé tette vörös óriás csillagok minden eddiginél pontosabb fénygörbéjének analízisét. Kiderült, hogy igen kis amplitúdóval gyakorlatilag minden csillag változik.

### II.2. Adatsorok analízise

A fénygörbék elemzésének egyik legfontosabb célja a fényességváltozás periodicitásának jellemzése. Egyrészt a periódusok értékét, másrészt ezek esetleges időbeli változását kell megbízhatóan kimutatni. Ezután lehet a pulzációelmélet és a csillagfejlődési modellek alapján következtetéseket tenni a vizsgált csillag fizikai felépítéséről, rezgési módusairól.

A szakirodalomban fellelhető szinte összes periódusmeghatározási módszerre számítógépprogramot írtam, és ezeket alkalmaztam a rendelkezésemre álló fénygörbékre. Legtöbbször a Fourier-analízist és a hozzá kapcsolódó fehérítési eljárásokat használtam.

A mira típusú változók és a fedési kettőscsillagok esetében a periódusváltozás vizsgálatához a hagyományos O-C diagramokat készítettem el.

Mivel az eddigi módszerekkel a félszabályos (SR) csillagok fénygörbéjénél tapasztalható időben lokális változásokat gyakorlatilag nem lehetett kimutatni, mennyiségileg jellemezni, a 90-es évek elejétől egy új, korábban az akusztikában és a geofizikában használt wavelet-transzformáció alkalmazását vezettem be ezekre az objektumokra. E numerikus módszer eredménye a frekvencia-idő-amplitúdó felület, az ún. wavelet-térkép, mely alapján már – ismerve és szem előtt tartva a különféle fénygörbéket szimuláló tesztek során kapott térképi jellegzetességeket – mennyiségileg is jellemezhetjük a periódus, az amplitúdó és a fázis időbeli változásait, modulációit.

## III. Új tudományos eredmények *(a számok a publikációs lista cikkeire utalnak)*

### 1. O-C görbék elemzése (C4, C6, C13, C14, C16, C22, C26, C27, C30, K14, K15, K23, K26, K28)

Csillagok periódusának változását vizsgáltam az O-C módszerrel.

**1.a)** Fedési kettősök (RZ Cas, VW Cep, HW Vir) esetében folytonos és/vagy ciklikus periódusváltozásokat mutattam ki. Utóbbiakat a fényidő-effektussal, harmadik és további komponensek hatásával magyaráztam.

Az RZ Cas Algol típusú kettőscsillag példáján keresztül rámutattam arra, hogy a kissé más periódussal számolt O-C diagramok ránézésre egészen eltérő alakúak lehetnek, így eltérő függvényeket (metsző egyeneseket vagy parabolát) illeszthetünk rájuk. Ez pedig egészen más következtetéshez vezet a periódusváltozás okairól.

A VW Cep kontakt kettőscsillag O-C diagramjánál parabola levonása után sikerült kimutatnunk, illetve igazolnunk egy harmadik test jelenlétét a rendszerben.

**1.b)** Pulzáló változók közül  $\delta$  Scuti (BE Lyn, SZ Lyn), RR Lyrae (TU UMa, MACHO J050918.712-695015.31) és cefeida (AU Peg) csillagok O-C diagramját elemeztük. Ezeknél is főleg a – kettősségből eredő – fényidő-effektus kimutatása volt a célom. A BE Lyn esetében az általunk felvetett kettősség később nem igazolódott be. A TU UMa kettőssége is kérdéses, túl nagy excentricitás jön ki a fényidő-görbe illesztése során. A MACHO RR Lyrae csillagnál pedig az O-C hullám amplitúdója olyan nagy, hogy csak hatalmas tömegű kísérő okozhatná.

## 2. A wavelet-analízis alkalmazása (C9, C15, C25, K12, K13)

Idő-frekvencia módszert, főleg a wavelet-analízist a világon az elsők között alkalmaztam hosszúperiódusú pulzáló csillagok fénygörbéjének elemzése során. Részletesen vizsgáltam a wavelet-térkép tulajdonságait különböző teszt-fénygörbékre. Az egyik legfontosabb annak szem előtt tartása, hogy adathiányok, ürök esetén az amplitúdó hirtelen zéróra csökken. Rámutattam, hogy ilyen esetekben téves következtetésekre juthatunk (amplitúdómoduláció vagy módusváltás feltételezése).

Az idő- és frekvenciafelbontás megválasztása körültekintést igényel, érdemes több értéke mellett elkészíteni a wavelet-térképet.

A wavelet-módszer alkalmas a fénygörbék lokális változásainak kimutatására, fázisugrások, amplitúdó- és frekvenciamodulációk felfedezésére. Különösen érdekes félszabályos csillagokat találtam (pl. AF Cyg, Z UMa), amelyeknél két pulzációs módus van jelen, de az amplitúdójuk alternálva változik. Ezek a módusváltás jelenségét mutathatják, amire igazán jó elmélet még nem született. A periódus erős változását is jól lehet tanulmányozni a wavelet-térképen (pl. T UMi), és az amplitúdóváltozás is időben nyomon követhető (pl. V Boo, T UMi).

## 3. Mira és félszabályos változócsillagok analízise (C11, C12, C15, C20, C21, C23, C25, K8, K9, K10, K13, K16, K17, K18, K19, K20, K21, K22, K24, K25, K27)

Az SRd típusú 89 Her fényességváltozásán túl spektrális tulajdonságait is vizsgáltuk, amelyekből cirkumsztelláris anyag létére következtettünk.

Közel 140 mira és SR hosszúperiódusú pulzáló változócsillag több évtized hosszú fénygörbéjét elemeztük wavelet térképük alapján. Sok esetben sikerült kimutatni többszörös periodicitást és amplitúdómodulációt.

Kilenc SR csillagról megállapítottuk, hogy az átlagfényesség mintegy 0,1 magnitúdóval, néhány ezer napos ciklushosszal változik, ami valószínűleg nem pulzációs eredetű. A Fourier-frekvenciaspektrum csúcsai több esetben (pl. Z UMa) felhasadtak, amit – erre a jelenségre vonatkozó modellszámításaink alapján – a pulzációs periódusok hosszának ciklusról ciklusra történő fluktuációja okozhat.

A periódusok módusazonosítását pulzációelméleti modellek segítségével végeztem el. Ebben – többszörös periodicitás esetén – a periódusarány értéke nagy segítséget jelent.

Periódus-gravitációs gyorsulás és periódus-sugár relációkat állítottam fel és vizsgáltam.

A Y Lyn SRc típusú szuperóriás csillagnál hosszú másodlagos periódust (LSP) mutattunk ki.

A T UMi mira típusú csillagra már 1994-ben felfigyeltünk. Ennek a csillagnak a szokatlanul gyors perióduscsökkenését egy olyan elméleti modellel magyaráztuk, amely az AGB csillagok belsejében történő termális pulzus, ill. „He-shell flash” jelenséget feltételezi. Eszerint megváltozik a csillag luminozitása, és ennek következtében a csillag pulzációs periódusa. A modell szerint arra következtettünk, hogy a T UMi periódusa a nem túl távoli jövőben újra növekedni fog. Bemutattam, hogy a legutóbbi (2003) elemzésünk óta eltelt 10 évben a csillag periódusa tovább csökkent és radikálisan lecsökkent az amplitúdója.

A V Boo korábban egy miraszerű fénygörbét mutató csillag volt, amely az utóbbi évtizedekben radikálisan megváltozott, az amplitúdója erősen lecsökkent, átment egy tipikus félszabályos, kétmódusú csillag állapotba, mint ezt már korábban kimutattuk. Megvizsgáltam az utóbbi 17 év adatsorát is. A bő 3 magnitúdós változás lecsökkent néhány tized magnitúdósra. A domináns periódus nem nagyon változott, de megjelent a kétszeres frekvenciánál, feleakkora periódusnál egy csúcs, ami a wavelet-térképen láthatóan alternatív módon és a legutóbbi időben erősen jelentkezik.

Az R Cyg mira periódusa alig változik, igen stabil. A jellegzetes viselkedése, az, hogy minden második maximum halványabb, a fénygörbe nagy részén megfigyelhető. Vizsgálataink szerint alacsony dimenziójú káosz mutatható ki ennél a csillagnál. Ebben a munkában Kiss Lászlóé volt a vezető szerep, én a wavelet-analízissel vizsgáltam a periódusváltozást.

#### **4. A Kepler űrtávcső méréseinek elemzése (K30, K31, K32, cikk előkészületben)**

A Kepler Asteroseismic Science Consortium (KASC) nemzetközi kutatócsoporthoz való csatlakozásom után 317 vörös óriáscsillag adatait kezdtük elemezni.

**4.a)** Elsődleges és alapvető megoldandó probléma a nyers fénygörbék összetolása volt. Erre két módszert alkalmaztunk. Az egyik módszer: a szomszédos negyedek (quarter-ek) görbéi elejére és végére egy-egy egyenest illesztettünk. Az illesztésnél használt adatszegmensek időbeli hosszát változtattuk (10 óra, 2 nap, teljes negyed). A két negyed adatsora úgy lett magnitúdóban eltolva, hogy a két egyenes a negyedek közötti űr közepén metssze egymást. A másik módszerrel a szomszédos negyedek végén és elején fényesség átlagokat számoltunk és a görbéket úgy toltuk el, hogy ezek az értékek megegyezzenek. Az átlagolásnál figyelembe vett adatszegmensek időbeli hosszát változtattuk (3, 5, 15 és 30 nap, teljes negyed).

Négy generált adatsorokon végeztünk teszteket. Azt vizsgáltuk, hogy melyik összetolási módszer/paraméter esetén kapjuk vissza leginkább az eredeti, még nem szétolt tesztadatsort, illetve milyen eltérések vannak a frekvenciaspektrumokban. A négy tesztgörbe létrehozása két különböző jellegű fényváltozást mutató csillag alapján történt. Az adatsorokat negyedekre bontottuk, és ezeket véletlenszerűen, különböző mértékben toltuk szét fényesség szerint, így modellezve nyers fénygörbéket.

A tesztelések által eredményként azt kaptuk, hogy a rövid periódusúaknál az átlagolások, míg a hosszú periódusú csillagok estében az egyenesillesztéses módszer a használhatóbb. A Q7 és Q8 közti nagyobb űrnél egyik módszer sem hozott kielégítő eredményt. A periódusanalízis során azt tapasztaltuk, hogy a generált adatsor és különféle módon összetolt adatsorok spektrumai eltérnek egymástól. A rövidebb periódusok kevésbé módosulnak, míg a hosszabbaknál az amplitúdó jelentősen megnőhet, hiszen a „lépcsős” ugrás egy hosszú periódushoz hasonló fénygörbealakhoz vezet.

A tesztekből arra következtethetünk, hogy az összetételre nincs egyedüli üdvözítő módszer. A különféle fénygörbéjú csillagoknál eltérő módszerek más-más paraméterekkel vezethetnek jó megoldáshoz. Az összetételt rendkívül körültekintően, és saját szemmel ellenőrizve kell végrehajtani. Könnyen hamis trendek, ugrások maradhatnak a fénygörbében, amelyeket az analízisnél persze kimutatunk, és ezek magyarázatakor a valóságtól eltérő következtetésre juthatunk. Az összetételi módszereket valódi csillagokon is végrehajtottuk.

**4.b)** Ábrázoltuk a 317 program csillagunk felszíni hőmérsékletének függvényében a fényességváltozás értékét. Három, jól elkülönülő csoportot mutattunk ki ezen a diagramon. Az összes csillagra elkészítettük a frekvenciaspektrumot a Period04 programmal. A csillagokat fénygörbéjük jellege alapján is csoportosítottuk. A frekvenciaspektrumok hasonlósága szerint is elkülöníthető csoportokat találtunk.

Két csillagot részletesen vizsgáltunk. A KIC 11242282 és a KIC 11768249 fénygörbéje és paraméterei nagyon hasonlóak. Frekvenciaspektrumukban egy csúcs dominál. A fő hullámra több, kis amplitúdójú és rövid periódusú ciklus rakódik rá. Ezek a csillagok nagy valószínűséggel pulzáló változók. A rövid periódusok értéke mintegy tizede a fő ciklushossznak. A rövid periódusok pulzációs eredetűek, esetleg Nap típusú (solar-like), konvekció által generált nemradiális módusok, és a domináns ciklusok pedig hosszú másodlagos periódus (LSP) jellegűek. Mivel a rövid periódusok amplitúdója század magnitúdós vagy még kisebb, nagyon nehéz a vizsgálatuk. A fő periódusokkal fehéritett, immár csak a rövid ciklusokat tartalmazó fénygörbéket elemeztük wavelet-analízissel.

**4.c)** A KIC 2422539 esetében eleve kérdéses volt, hogy fedési kettős vagy pulzáló csillag. Az ASAS programban 59 nap periódusú cefeidaként sorolták be. A fénygörbéjén minden második minimum alacsonyabb. A frekvenciaspektrumban a fő periódus 59 nap. Ennek kétszeresénél és más rezonanciáinál is vannak csúcsok. A rövid periódusok 6-15 naposak. A 118 napos fázisdiagram egy félig érintkező fedési kettős ( $\beta$  Lyrae típus) fénygörbéje, amire több kis amplitúdójú, rövid periódusú változás rakódik rá. A fénygörbe fázisdiagramja 2 napos átlagpontjait képeztük, ezekre 8 frekvenciás illesztéssel előállítottuk a normálgörbét, majd ezt levontuk a teljes fénygörbéből. Ezek után vizsgáltuk meg Fourier- és wavelet-analízissel a kis amplitúdójú, rövid periódusú hullámokat, és kimutattuk instabil jellegüket. Magyarázatként felvetettük a csillagfoltok, akkréciós korong, esetleg Nap-típusú oszcilláció lehetőségét. A KIC 2422539 esetében fedési periódusváltozást még nem időszerű vizsgálnunk.

**Tudományos publikációk jegyzéke (nem teljes munkásság)**

(A tézisekhez kapcsolódó cikkek sorszáma vastag számmal, a kandidátusi értekezés beadása előttiék apró betűvel szedve)

**Referált folyóiratcikkek (35):**

- C1. **Szatmáry K.**, Mizser A., Dömény G.: 1985, Multiple-period red variables: Y Lyncis and W Cygni, *BAA Variable Star Section Circular* No.62. 2-8.
- C2. **Szatmáry K.**: 1988, BV photometry of iota Bootis, *Information Bulletin on Variable Stars* No.3262
- C3. Garbusov G.A., Andrievskiy S.M., Paramonova O.P., **Szatmáry K.**, Fedotov Yu.T.: 1988, Search for high-frequency radial pulsation in delta Scuti stars, (in Russian) *Variable Stars (USSR)* 22. No.6. 911-913.
- C4. Hegedüs T., **Szatmáry K.**, Vinkó J.: 1992, Light curve and O-C diagram analysis of RZ Cassiopeiae, *Astrophysics and Space Science* 187, 57-74.
- C5. **Szatmáry K.**, Vinkó J.: 1992, Periodicities of the light curve of the semiregular variable star Y Lyncis, *Monthly Notices of Royal Astron. Soc.* 256, 321-328.
- C6. Vinkó J., Szabados L., **Szatmáry K.**: 1993, Study of the population II Cepheid AU Pegasi, *Astronomy and Astrophysics* 279, 410-416.
- C7. **Szatmáry K.**: 1993, A catalogue of short period pulsating variable stars of A and F spectral classes, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 3943
- C8. Vinkó J., Gál J., **Szatmáry K.**, Kiss L.: 1993, A seasonal light curve and new ephemeris of VW Cep, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 3965
- C9. **Szatmáry K.**, Vinkó J., Gál J.: 1994, Applications of wavelet analysis in variable star research. I. Properties of the wavelet map of simulated variable star light curves, *Astronomy and Astrophysics Suppl. Ser.* 108, 377-394.
- C10. Gál J., **Szatmáry K.**, Vinkó J.: 1994, Photometric period of the suspected delta Scuti-type star iota Bootis, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 4071
- C11. Gál J., **Szatmáry K.**: 1995, T Ursae Minoris: A Mira star with rapidly decreasing period, *Astronomy and Astrophysics* 297, 461–464.
- C12. Gál J., **Szatmáry K.**: 1995, Period update of 40 Mira stars, *Astrophysics and Space Science* 225, 101–106.
- C13. Kiss L.L., **Szatmáry K.**: 1995, Has the delta Scuti star BE Lyn a companion?, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 4166
- C14. Kiss L.L., **Szatmáry K.**, Gál J., Kaszás G.: 1995, A new orbit of the binary RR Lyrae star TU UMa, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 4205
- C15. **Szatmáry K.**, Gál J., Kiss L.L.: 1996, Applications of wavelet analysis in variable star research.II. The semiregular star V Bootis, *Astronomy and Astrophysics* 308, 791–798.
- C16. Kaszás G., Vinkó J., **Szatmáry K.**, Hegedüs T., Gál J., Kiss L.L., Borkovits T.: 1998, Period variation and surface activity of the contact binary VW Cephei, *Astronomy and Astrophysics* 331, 231–243.
- C17. Kiss L.L., **Szatmáry K.**: 1998, A photometric and spectroscopic study of the brightest northern Cepheids. II. Fundamental physical parameters, *Monthly Notices of Royal Astron. Soc.* 300, 616–624.
- C18. Kiss L.L., Csák B., Thomson J.R., **Szatmáry K.**: 1999, DX Ceti, a high-amplitude  $\delta$  Scuti star, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 4660
- C19. Kiss L.L., Alfaro E.J., Bakos G., Csák B., **Szatmáry K.**: 1999, On the monoperiodicity of the suspected delta Scuti star iota Bootis, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 4698
- C20. Kiss L.L., **Szatmáry K.**, Cadmus R.R. Jr., Mattei J.A.: 1999, Multiperiodicity in semiregular variables. I. General properties, *Astronomy and Astrophysics* 346, 542–555.
- C21. Kiss L.L., **Szatmáry K.**, Szabó Gy., Mattei J.A.: 2000, Multiperiodicity in

- semiregular variables. II. Systematic amplitude variations, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* 145, 283–292.
- C22. Kiss L.L., Csák B., **Szatmáry K.**, Fűrész G., Sziládi K.: 2000, Spectrophotometry and period analysis of the sdB eclipsing binary HW Virginis, *Astronomy and Astrophysics* 364, 199–204.
- C23. Kiss L.L., **Szatmáry K.**: 2002, Period-doubling events in the light curve of R Cygni: Evidence for chaotic behaviour, *Astronomy and Astrophysics* 390, 585–596.
- C24. Kiss L.L., Derekas A., Alfaro E.J., Bíró I.B., Csák B., Garrido R., **Szatmáry K.**, Thomson J.R.: 2002, The multimode pulsation of the  $\delta$  Scuti star V784 Cassiopeae, *Astronomy and Astrophysics* 394, 97–106.
- C25. **Szatmáry K.**, Kiss L.L., Bebesi Zs.: 2003, The He-shell flash in action: T Ursae Minoris revisited, *Astronomy and Astrophysics* 398, 277–282.
- C26. Derekas A., Kiss L.L., Székely P., Alfaro E.J., Csák B., Mészáros Sz., Rodríguez E., Rolland A., Sárneczky K., Szabó Gy.M., **Szatmáry K.**, Váradi M., Kiss Cs.: 2003, A photometric monitoring of bright high-amplitude  $\delta$  Scuti stars. II. Period update for seven stars, *Astronomy and Astrophysics* 402, 733–743.
- C27. Derekas A., Kiss L.L., Udalski A., Bedding T.R., **Szatmáry K.**: 2004, A first-overtone RR Lyrae star with cyclic period changes, *Monthly Notices of Royal Astron. Soc.* 354, 821–826.
- C28. Szabó Gy.M., **Szatmáry K.**, Divéki Zs., Simon A.: 2006, Possibilities of a photometric detection of „exomoons”, *Astronomy and Astrophysics* 450, 395–398.
- C29. Simon A., **Szatmáry K.**, Szabó Gy.M.: 2007, Determination of the size, mass and density of „exomoons” from photometric transit timing variations, *Astronomy and Astrophysics* 470, 727–731. [arXiv:0705.1046]
- C30. Szakáts R., Szabó Gy.M., **Szatmáry K.**: 2008, Does the period of BE Lyncis really vary?, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 5816
- C31. Derekas A., Kiss L.L., Bedding T.R., Ashley M.C.B., Csák B., Danos A., Fernandez J.M., Fűrész G., Mészáros Sz., Szabó Gy.M., Szakáts R., Székely P., **Szatmáry K.**: 2009, Binarity and multiperiodicity in high-amplitude delta Scuti stars, *Monthly Notices of Royal Astron. Soc.* 394, 995–1008. [arXiv:0812.2139]
- C32. Simon A.E., Szabó Gy.M., **Szatmáry K.**: 2009, Exomoon simulations, *Earth, Moon, and Planets* 105, 385–389. [arXiv:0906.5442]
- C33. Szabó M.Gy., Haja O., **Szatmáry K.**, Pál A., Kiss L.L.: 2010, Limits on Transit Timing Variations in HAT-P-6 and WASP-1, *Information Bulletin on Variable Stars* No. 5919 [arXiv:1001.3059]
- C34. Simon A.E., Szabó M.Gy., **Szatmáry K.**, Kiss L.L.: 2010, Methods for exomoon characterisation: combining transit photometry and the Rossiter-McLaughlin effect, *Monthly Notices of Royal Astron. Soc.* 406, 2038–2046. [arXiv:1004.1143]
- C35. Simon A., Szabó Gy.M., Kiss L.L., **Szatmáry K.**: 2012, Signals of exomoons in averaged light curves of exoplanets, *Monthly Notices of Royal Astron. Soc.* 419, 164–171. [arXiv:1108.4557]

### Konferenciaközlemények (32):

- K1. **Szatmáry K.**: 1986, Semiregular red variable stars - a field of cooperation between amateurs and professionals, *Proc. GIREP '86 Conference*, Copenhagen, Denmark *ESA SP-253* p.407-409.
- K2. Mizser A., **Szatmáry K.**, Tepliczky I.: 1990, Some results of Hungarian variable star observers, „*First*



- European Meeting of the AAVSO*” Brussels, *Journal of AAVSO* 19. No.1. 47-51.
- K3. Szatmáry K.:** 1990, Pulsating variable stars in binary systems, „*First European Meeting of the AAVSO*” Brussels, *Journal of AAVSO* 19. No.1. 52-56.
- K4. Szatmáry K., Gál J.:** 1992, Wavelet analysis of some pulsating stars, „*Inside the Stars*”, IAU Colloquium No. 137, Vienna, Austria, Communications in Astroseismology No.43. 8/19. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* Vol. 40, 761-763. 1993, Eds. W.W. Weiss and A. Baglin
- K5. Szatmáry K., Gál J., Vinkó J.:** 1993, Tests of wavelet analysis for periodic signals in astronomy, Proc. Conference on „*Applications of Time Series Analysis in Astronomy and Meteorology*”, Ed. O. Lessi, p. 251-254. Padova, Italy, 1993
- K6. Gál J., Szatmáry K.:** 1993, Search for period changes of semiregular variable stars with wavelet analysis, Proc. Conference on „*Applications of Time Series Analysis in Astronomy and Meteorology*”, Ed. O. Lessi, p. 191-194. Padova, Italy, 1993
- K7. Szatmáry K.:** 1994, Wavelet analysis of deficient and gapped data series of variable stars, *Proc. IAU 22nd General Assembly*, Hague, Netherland, 1994 Astronomy Posters, Abstracts, Ed. Hugo van Woerden, p.251
- K8. Szatmáry K., Gál J., Kiss L.L.:** 1995, Light curve analysis of long period pulsating stars with the wavelet method: The semiregular star V Boo, Proc. IAU Coll.155 on „*Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*”, *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* Vol. 83. 417–418. 1995, eds. R.S.Stobie and P.A.WhiteLock, Cape Town, South Africa
- K9. Gál J., Szatmáry K.:** 1995, Mode switching in red semiregular stars?, Proc. IAU Coll. 155 on „*Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*”, *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* Vol. 83. 405–406. 1995, eds. R.S.Stobie and P.A.WhiteLock, Cape Town, South Africa
- K10. Gál J., Szatmáry K.:** 1995, Multiperiodicity in red semiregular variables, poster on IAU Coll. 155 on „*Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*”, Cape Town, South Africa, 1995
- K11. Szatmáry K., Gál J., Vinkó J.:** 1995, Photoelectric photometry of variable stars at Szeged Observatory, poster on *IAPPP Symposium '94 Baja*, Hungary, 1994 „Cooperation Between Amateurs and Professionals in Recent Photometric Studies of Variable Stars” *IAPPP Communications* No. 59, p. 28
- K12. Szatmáry K., Gál J., Vinkó J.:** 1995, Tests of wavelet analysis for periodic signals in astronomy, poster on *IAPPP Symposium '94 Baja*, Hungary, 1994 "Cooperation Between Amateurs and Professionals in Recent Photometric Studies of Variable Stars" *IAPPP Communications* No. 59, p. 29
- K13. Gál J., Szatmáry K.:** 1995, Search for period changes of semiregular variable stars with wavelet analysis, poster on *IAPPP Symposium '94 Baja*, Hungary, 1994 „Cooperation Between Amateurs and Professionals in Recent Photometric Studies of Variable Stars” *IAPPP Communications* No. 59, p. 30
- K14. Kiss L.L., Szatmáry K., Gál J.:** 1996, Cyclic period change of two short period pulsating stars (BE Lyn and TU UMa), Proc. *IAPPP Symposium '95 Baja*, Hungary, 1995, „*CCD Techniques in Stellar Photometry*”, p. 111–119.
- K15. Kaszás G., Vinkó J., Szatmáry K., Kiss L.L., Gál J., Hegedüs T., Borkovits T.:** 1997, Period variation and surface activity of VW Cephei, poster on *IAPPP Symposium '96 Baja*, Hungary, *IAPPP Communications* No. 67, p.22–24.
- K16. Szatmáry K., Kiss L.L.:** 1997, The strange semiregular star 89 Her, poster on *IAPPP Symposium '96 Baja*, Hungary, *IAPPP Communications* No. 67, p.66–69.
- K17. Szatmáry K.:** 1997, Amplitude and period changes in the light variations of some SR stars, „*Pulsating Stars - Recent Developments in Theory and Observation*”, Proceedings of Joint Discussion No. 24 of the 23<sup>rd</sup> General Assembly of the IAU, in Kyoto, Japan Eds. M. Takeuti and D. D. Sasselov, Universal Academy

Press, Japan, p. 103–106.

- K18.** Kiss L.L., **Szatmáry K.**: 1999, Multiperiodicity in semiregular variables, in: Proc. IAU Symposium No.191 „*Asymptotic Giant Branch Stars*”, Montpellier, France, Aug 1998, eds. T. Le Bertre, A. Lébre and C. Waelkens, *Publ. ASP*, p. 133–138.
- K19.** Kiss L.L., **Szatmáry K.**, Mattei J.A.: 1999, Changes of the physical state in semiregular variables, in „*Atmospheres of M, S and C Giants*”, Abstracts of the 2<sup>nd</sup> Austrian ISO Workshop, Wien, May 27-29, 1999, Austria, eds. J. Hron and S. Höfner, p. 9–10.
- K20.** Kiss L.L., Szabó Gy., **Szatmáry K.**, Mattei J.A.: 2000, Changes of the physical states in semiregular variables, in „*The Impact of Large-Scale Surveys on Pulsating Star Research*”, IAU Colloquium No. 176, Budapest 1999, eds. L. Szabados and D. Kurtz, *ASP Conf. Ser.* 203, p. 117–118.
- K21.** **Szatmáry K.**, Kiss L.L.: 2000, Period analysis of the semiregular star Y Lyncis, Proc. PhD Conference '99 „*A Bridge between Generations of Variable Star Researchers*”, Kecskemét, Hungary, eds. R.E. Wilson, T. Hegedüs, T. Borkovits and A. Giménez, Baja-Madrid, p. 155–156.
- K22.** **Szatmáry K.**, Kiss L.L.: 2002, Period-gravity relation for semiregular stars, in Proc. IAU Colloquium 185 „*Radial and Nonradial Pulsations as Probes of Stellar Physics*”, 26-31 July 2001, Leuven, Belgium, eds. C. Aerts, T. Bedding and J. Christensen-Dalsgaard, *ASP Conf. Ser.* 259, p. 566–567.
- K23.** Derekas A., Kiss L.L., **Szatmáry K.**: 2002, A CCD photometric survey of high-amplitude  $\delta$  Scuti stars, in Proc. *33rd International Conference on Variable Star Research*, 8-11 Nov 2001, Brno, Nicholas Copernicus Observatory and Planetarium, Brno, ed. M. Zejda, p. 33–36.
- K24.** Kiss L.L., **Szatmáry K.**, Vinkó J.: 2003, Spectrophotometric signature of circumstellar matter around 89 Her, in Proc. of „*Interaction of Stars with their Environment II*”, Budapest, Hungary, 15-18 May 2002, Eds. Cs. Kiss, M. Kun and V. Könyves, *Commun. Konkoly Obs.* No. 103, p. 123–126.
- K25.** Kiss L.L., **Szatmáry K.**: 2003, R Cygni: a Mira star pulsating chaotically, in Proc. of „*Asteroseismology Across the HR Diagram*”, CAUP, Porto, Portugal, 1-5 July 2002, Eds. Thompson M.J., Cunha M.S., Monteiro M.J.P.F.G., Kluwer Academic Publisher, p. 433–436.
- K26.** Derekas A., Székely P., Kiss L.L., **Szatmáry K.**, Mészáros Sz.: 2003, A photometric survey of the brightest northern high-amplitude  $\delta$  Scuti stars, in: *Stellar Variability*, Proc. of the AFOEV International Conference on Variable Stars, Eds. D. Proust, M. Verdenet, J. Minois, Bourbon Lancy, France, 26-28 Aug 2002, Burillier Publ. (Vannes), p. 159–164.
- K27.** **Szatmáry K.**: 2003, Period-radius relation for semiregular and Mira stars, poster on „*New Deal in European Astronomy: Trends and Perspectives*” JENAM 2003, Budapest, Hungary, 25-30 Aug, Abstract Book p. 180, *Commun. in Astroseismology* 2004, 145, p. 58
- K28.** Derekas A., Kiss L.L., Udalski A., Bedding T. R., **Szatmáry K.**: 2004, A first-overtone RR Lyrae star with cyclic period changes, poster on the 2004 Annual Scientific and General Meeting of the ASA, University of Queensland, 4-8 July 2004, Australia
- K29.** Szabó Gy.M., **Szatmáry K.**, Simon A., Divéki Zs.: 2005, Light curve effects due to „exomoons” in exoplanetary transits, poster on PhD Conf. „*Astrophysics of Variable Stars*”, Pécs, Hungary, 5-10 Sept 2005
- K30.** Derekas A., Kiss L.L., **Szatmáry K.**, Benkő J., Huber D., Szabó Gy.M., Szabó R.

(KASC WG12): 2010, Long Secondary Periods in luminous red giant stars, poster on Third Kepler Asteroseismology Workshop: „Kepler Asteroseismology in Action”, June 14-18, 2010, Aarhus, Denmark

- K31. Szatmáry K.**, Csányi I., Kiss L.L., Bányai E., Derekas A., Szabó Gy.M.: 2012, Light curve analysis of M giant stars in the Kepler database, poster on Kepler Asteroseismic Science Consortium 5th Workshop: „Extending the Kepler Mission: New Horizons in Asteroseismology”, June 18-22, 2012, Balatonalmádi, Hungary, Abstract Book (ISBN 978-963-88019-9-9), Ed. R. Szabó, p. 156
- K32.** Csányi I., **Szatmáry K.**, Kiss L.L., Bányai E., Derekas A., Szabó Gy.M.: 2012, Methods for light curve preparation: the case of long-period variables, poster on Kepler Asteroseismic Science Consortium 5th Workshop: „Extending the Kepler Mission: New Horizons in Asteroseismology”, June 18-22, 2012, Balatonalmádi, Hungary, Abstract Book (ISBN 978-963-88019-9-9), Ed. R. Szabó, p. 157