SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
KÍSÉRLETI FIZIKAI TANSZÉK

Rövidperiódusú mező változócsillagok felfedezése

TDK dolgozat

Készítette: Csák Balázs, negyedéves csillagász szakos hallgató
Témavezető: dr. Kiss L. László, egyetemi tanársegéd

SZEGED, 2000

Tartalomjegyzék

Bevezetés

A Szegedi Tudományegyetemen lassan három éve zajló kisbolygókutatási program során több mint 6000 db csillagászati CCD felvétel készült, melyek nagy része kisbolygó fotometriai célból készült idősor. Ezen idősorok legalább másfél órás időintervallumot fednek le, és felvételenként 800-1500 csillagot tartalmaznak 19 magnitúdós határfényességig. Az 1998 januárja óta készült összes, legalább egy órát lefedő idősort átvizsgálva összesen harminchárom darab eddig nem ismert rövid periódusú változócsillagot fedeztem fel.

Dolgozatomban rövid történeti áttekintést adok a változócsillag keresésről. Az általam felhasznált CCD felvételeket produkáló műszerek ismertetése, és a keresés módszereinek tárgyalása után bemutatom az újonnan felfedezett harminchárom változócsillagot.

Ahhoz, hogy ezen csillagok elfoglalják végső helyüket a katalógusokban, ismernünk kell a változásuk legalapvetőbb paramétereit (periódus, epocha). Ennek mikéntjét két általam mért változócsillag, a HV Ursae Majoris és a HW Virginis fedési kettőscsillagok példáján keresztül mutatom be.

1. Új változócsillagok régen és ma

1.1. Felfedezések

Az első feljegyzett változócsillag felfedezésekkel az ókori kínai krónikákban találkozhatunk. A tipikus felfedezések akkoriban az égen váratlanul felbukkanó „vendégcsillagok": nóvák, szupernóvák és üstökösök voltak, de ismertek néhány kisebb amplitúdójú változócsillagot is (pl. R CrB, χ Cyg).

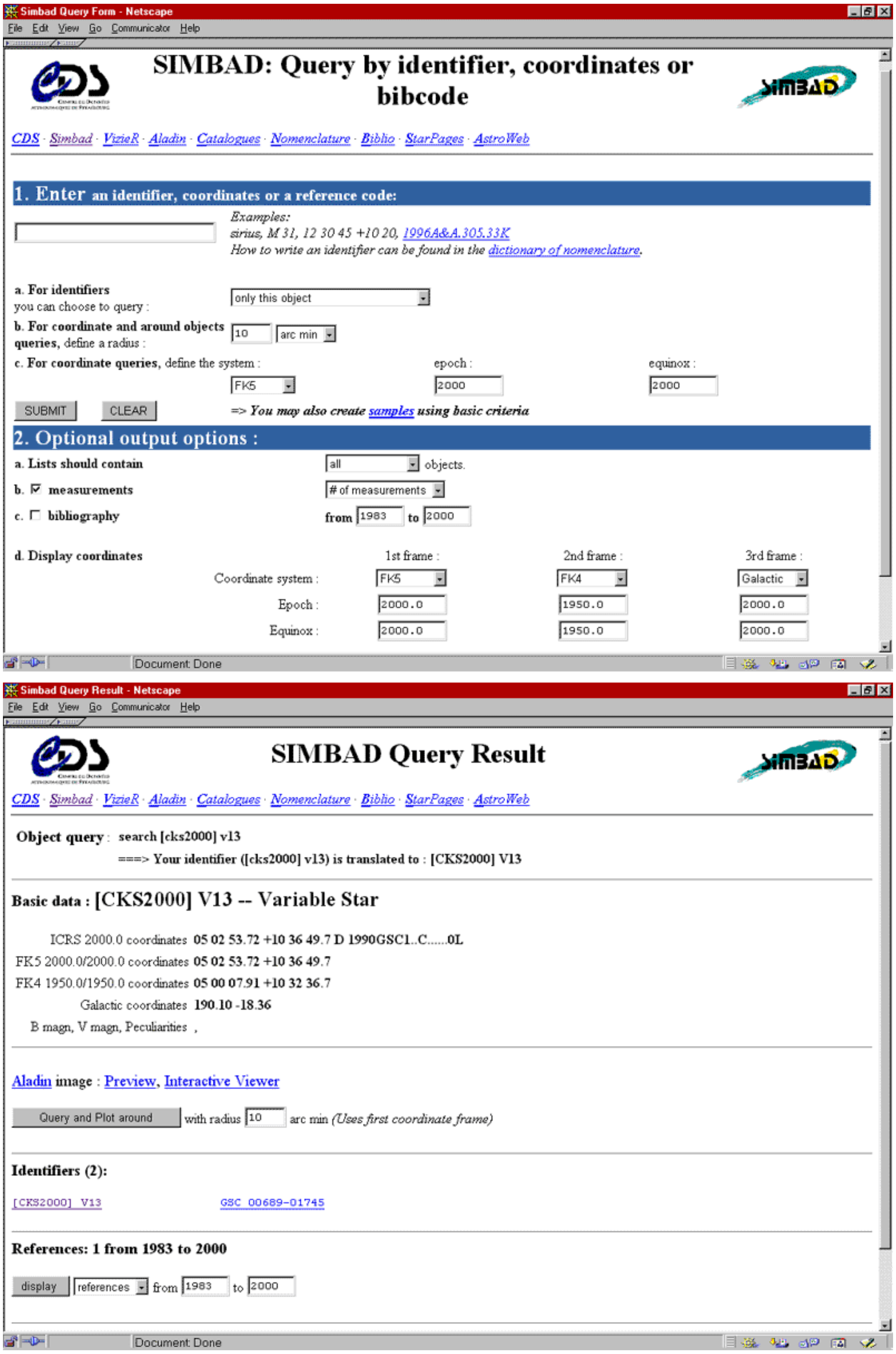
Az 1800-as évek végéig csak lassan gyarapodott az ismert változók száma, az első áttörést a fényképezés csillagászati alkalmazása hozta, a következő nagy ugrást a digitális képfeldolgozás és a CCD megjelenése idézte elő.

A 90-es évektől kezdve a katalogizált változócsillagok száma ugrásszerűen növekszik a nagy égboltfelmérő (Hipparcos/Tycho), gravitációs mikrolencse kereső (EROS, MACHO, OGLE-I,II), mikrolencse-eseményt követő (MEGA, MOA, AGAPE, PLANET), és egyéb, nagymennyiségű fotometriai adatot termelő programok (DIRECT, ROTSE, LOTIS, ASAS, Ystar, STARE, TASS) jóvoltából (Paczyński, 2000). Az égbolt nagy részét lefedő fotometriai programok határfényességét a közeljövőben beinduló SDSS (Sloan Digitized Sky Survey) terv fogja kiterjeszteni a 17 magnitúdós tartományig.

Hogyan lehet a változócsillagok egyre növekvő tortájából egy kis szeletet kihasítani magunknak? A mikrolencse kereső programok csak Galaxisunk magját, vagy közeli galaxisokat céloznak meg a nagy csillagsűrűség miatt. A többi, nagyobb galaktikus szélességen dolgozó változókereső felmérés határfényessége pedig ritkán haladja meg a 12 magnitúdót. Így a 12 magnitúdó alatti, Tejúttól távolabb eső területek gyakorlatilag a változókeresés szűzföldjének számítanak. Legalábbis a távolabbi jövőben beinduló, az egész égboltot lefedő műholdas asztrometriai/fotometriai programokig (GAIA, FAME, DIVA). Ezek közül a legambíciózusabb a 2009-re tervezett ESA-s GAIA misszió, ami a tervek szerint öt év alatt egymilliárd csillagról (20 magnitúdós fényesség-tartományig) fog készíteni fotometriai, spektroszkópiai és minden eddiginél nagyobb pontosságú asztrometriai méréseket (Laurent, 2000).

1.2. A változócsillagok nyilvántartása

Az ismert változócsillagok nyilvántartására hosszú ideig egyetlen nagy katalógus szolgált, a nyomtatva és elektronikus úton is kiadott, Kholopov, majd Samus és munkatársai által gondozott GCVS (General Catalogue of Variable Stars), ami 1999-ig 74 kiadást ért meg. Ebben a katalógusban gyűjtötték össze és nevezték el az összes olyan ismert



1. ábra. A SIMBAD internetes adatbázis keresőfelülete

változócsillagot, amelyeknél a fényváltozás legalapvetőbb tulajdonságai (a változás típusa, periódus, amplitúdó stb.) tisztázottak voltak. Külön katalógus, az NSV foglalja egybe azokat a feltételezett változócsillagokat, amelyeknél a kevés mérési adat miatt a változás típusa nem tisztázott, és ezért nem kerülhetnek be a GCVS-be.

A mega-fotometriai programok beindulása után nyilvánvalóvá vált, hogy az eddigi nyilvántartási gyakorlat jelentős revíziója szükséges. A tízezrével felfedezett új változócsillagok eddigi gyakorlat szerinti elnevezése felesleges, többezer oldalas nyomtatott katalógusok folyamatos kiadása és bővítgetése pedig értelmetlen és pazarló dolog. Nyilvánvaló, hogy a jövőben csak Interneten keresztül elérhető, folyamatosan frissített, kereszthivatkozásokkal ellátott számítógépes adatbázisoknak van létjogosultsága. Erre jó példa az 1981 óta működő, a CDS által üzemeltetett SIMBAD csillagászati adatbázis (1. ábra). A SIMBAD jelenleg (2000. november) majdnem három millió Naprendszeren kívüli objektum közel nyolc millió azonosítóját ismeri (egy adott objektum gyakran több katalógusban is szerepel), és tartalmazza az irodalmi referenciáikat is. Az adatbázisban egy webes felületen keresztül kereshetünk változatos szempontok alapján, keresőtérképet készíthetünk vele stb. A saját felfedezésű, már publikált új változócsillagokat is „ismeri" a Simbad, pl. a V13 jelűt [CKS 2000] V13 néven.

2. Műszerek és módszerek

2.1. A megfigyelések

A Szegedi Tudományegyetemen zajló kisbolygókutatás egyik fontos területe a kisbolygók fotometriája. Az ehhez használt műszer eleinte a Béke-épület tetején felállított C11+ST-6 konfiguráció volt. 1998 óta a sikeres távcsőidő-pályázatoknak köszönhetően a kutatás fő műszerévé a nagy látómezejű ($29' \times 18'$) és igen jó határfényességű felvételeket produkáló Piszkés-tetői 60/90/180 cm-es Schmidt-távcső (Photometrics AT200 CCD kamera, 1536×1024 pixel, UV-bevonatos KAF-1600 chip) vált.

2000 nyarán két hét távcsőidőt nyertünk a Max Planck Kutatóintézet Német-Spanyol Obszervatóriumának (Calar Alto, Spanyolország) 1,23 m-es távcsövére. A kutatási téma kisbolygók és üstökösmagok fotometriája volt. Az alkalmazott detektor egy SITe#2b CCD kamera volt (2048×2048 pixel, $17' \times 17'$ látómező), melyet általában 2×2-es binneléssel használtunk a képletöltési idő gyorsítása végett, Johnson BVRI szűrőkkel.

A kisbolygófotometriai mérések során az egyes égterületekről készülő idősorok felvételei képenként átlagosan 800-1500 csillagot tartalmaznak, így magától adódik az ötlet, hogy változócsillagokat keressünk rajtuk. Az észlelések az adott égterületről általában 1-6 órát fednek le, így csak rövid periódusú változócsillagok felfedezésére van esélyünk a 12-18 magnitúdós fényességtartományban.

2000 áprilisáig több mint 6000 kisbolygófotometriai CCD frame gyűlt össze (az észlelések nagy része szűrő nélküli, de néhány esetben Cousins R_C szűrőt használtunk). Ezekből az 1-1,5 óránál hosszabb idősorokat átnézve 33 új változócsillagot fedeztem fel.

2.2. A fotometriai módszerek

A képek alapvető redukcióihoz (flat- és dark-korrekció) a NOAO[1] IRAF nevű képfeldolgozó programcsomagjának alapvető taskjait használtam.

A fotometriai redukcióhoz az ESO[2] MIDAS programcsomagjának ROMAFOT fotometriai csomagját használtam – a Fűrész (1998) által ismertetettekhez hasonló módon – viszonylag gyors futási ideje és könnyű programozhatósága miatt.

A csillagkereső task alsó detektálási határául a háttér szórásának tízszeresét vá-

[1] National Optical Astronomical Observatory

[2] European Southern Observatory

lasztottam, a felső határt a maximális pixelintenzitás 90%-ánál húztam meg. A PSF fotometriához Moffat-függvény illesztését alkalmaztam.

Az egyes framek fotometriáját kétlépéses iterációval oldottam meg. A fotometriai script először végigfuttatja a szükséges taskokat az adott képen egy általam megválasztott félértékszélességet használva, majd a kapott regisztrációs táblából statisztikát készít a megtalált csillagok félértékszélességére, és ezek átlagát alkalmazva újra elkészíti a fotometriát a képre. A második futás végeredményeként áll elő a felvétel koordinátafényesség adatsora.

A fénygörbék előállításához a Balog et al. (2000) által fejlesztett APPLE programcsomagot használtam, amely meghatározza a képsoron a távcső vezetési hibájából adódó szubpixeles elcsúszásokat. Az extinkciós korrekcióhoz a fénygörbéket adott fényességtartományba eső csillagok átlagfényesség változása szerint korrigálja. A változócsillagok kereséséhez a kapott fénygörbéket ezután egyenként megjelenítem a képernyőn.

3. Eredményeim

A 2000 áprilisáig készült piszkés-tetői felvételeken huszonegy új változócsillagot fedeztem fel, míg a Calar Alto-i képsorokon 12 új változót sikerült azonosítanom (V19-V30). Az új változók főbb adatait az 1. táblázatban összegzem, a fénygörbéket a 2-7. ábrákon mutatom be.

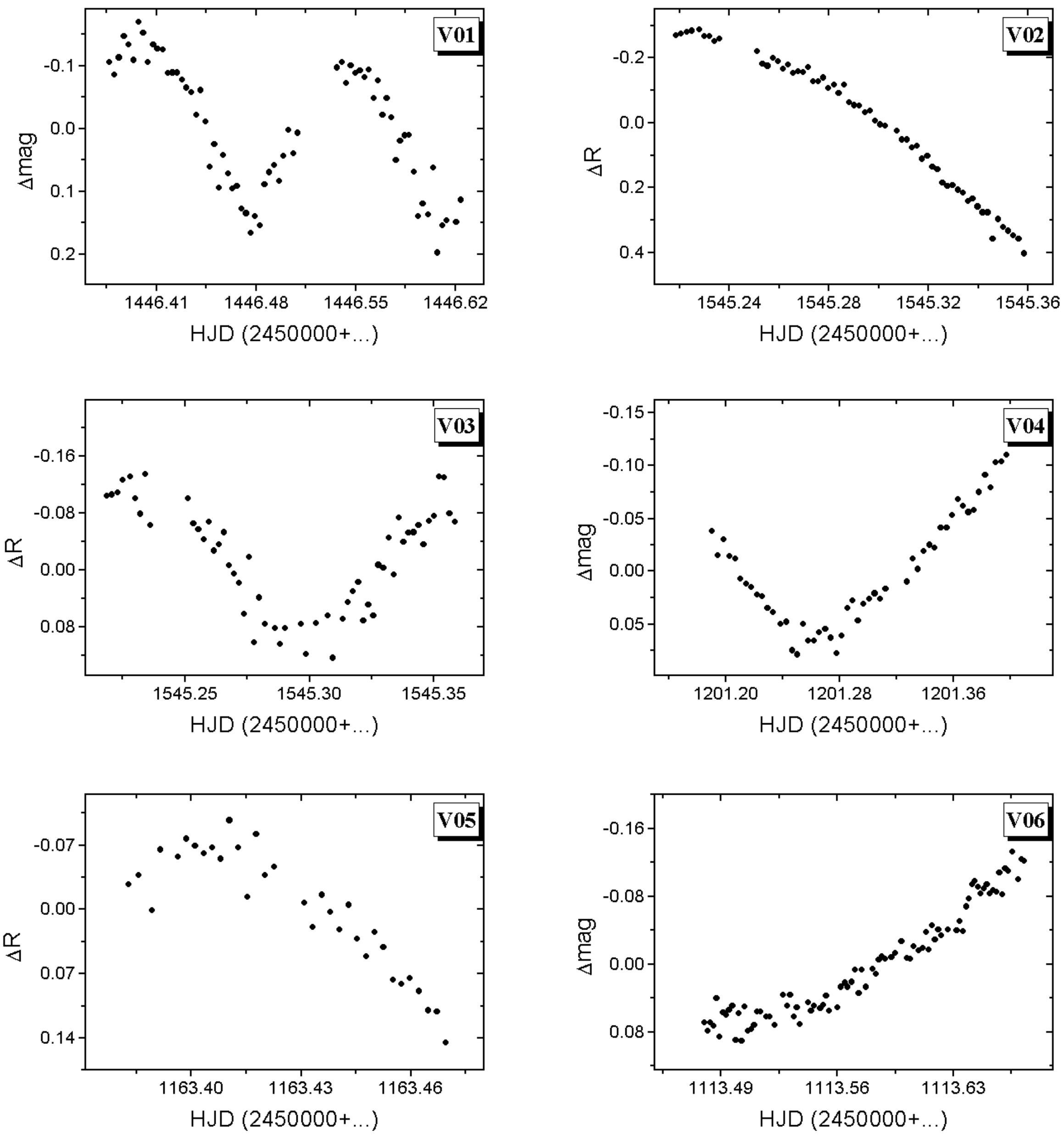
A fénygörbék fázislefedettsége általában nem túl jó, így a típusba sorolást a görbék alakjából és az USNO-A2.0 katalógus fényességadatai alapján tettem meg. A pontos klasszifikációhoz további többszínfotometriai mérések (esetleg színképfelvételek) szükségesek.

A SIMBAD adatbázis segítségével ellenőriztem, hogy az általam talált változók nem azonosak-e korábban felfedezettekkel, de mindegyik új felfedezésnek bizonyult (CDS, 2000). Ez érthető is, ugyanis ilyen határfényességig ezeken a galaktikus koordinátákon eddig még nem történtek nagy változókereső programok.

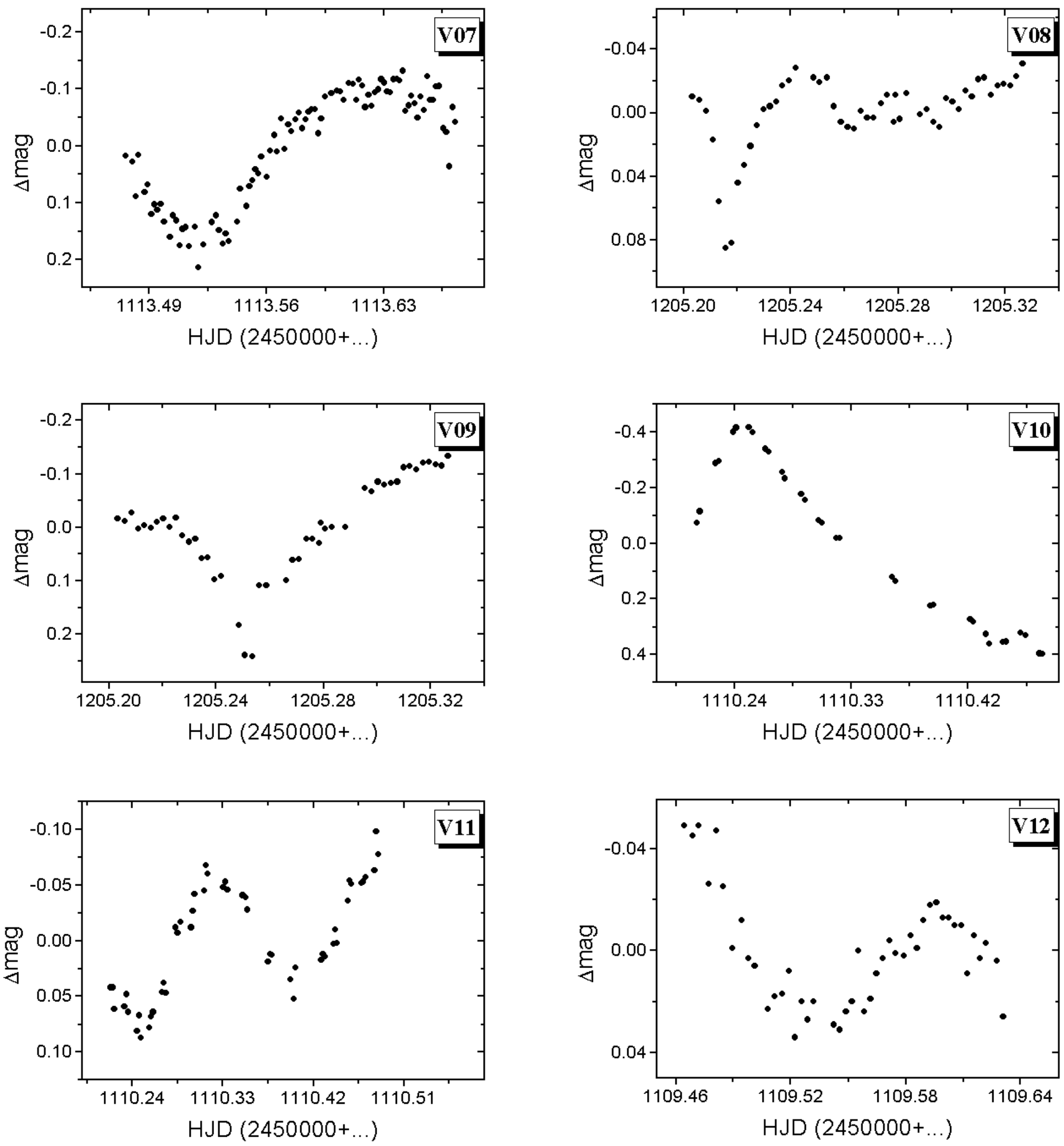
Eredményeimet az Information Bulletin on Variable Stars folyóiratban publikáltam (Csák et al., 2000b,c,d).

Változó	R.A. (2000)	Dec. (2000)	m_R (USNO)	m_B (USNO)	m_{GSC}	Típus
V01	01 23 02.7	+25 37 12.9	16.3	17.0	-	EW
V02	04 29 31.6	+39 52 47.4	15.7	16.2	-	-
V03	04 30 35.1	+39 45 44.5	17.0	18.2	-	EW
V04	04 31 16.8	+13 06 41.8	17.0	18.1	-	-
V05	05 02 00.5	+10 37 23.3	16.2	17.1	-	-
V06	05 31 03.2	+10 28 43.6	15.2	17.6	-	-
V07	05 31 12.8	+10 27 43.0	16.7	17.4	-	EW
V08	06 32 27.4	+27 17 04.8	14.7	15.2	-	EA
V09	06 32 49.1	+27 20 09.2	16.0	16.4	-	-
V10	23 29 24.7	+10 01 17.1	15.6	15.6	-	RRab
V11	23 47 39.0	+09 20 30.0	15.1	16.1	-	EW
V12	03 36 27.6	+36 22 27.0	15.5	16.9	-	EW
V13	05 02 53.7	+10 36 49.9	15.2	16.1	-	EW
V14	05 26 30.9	+12 57 26.5	12.8	14.0	-	EW
V15	05 31 34.6	+10 33 59.5	14.0	14.8	-	-
V16	11 42 15.7	+27 33 05.3	14.9	14.8	-	EW
V17	13 14 47.5	−03 54 42.7	13.6	14.3	-	EW
V18	08 26 32.5	+09 43 18.2	17.1	19.7	-	-
V19	17 33 08.2	+10 43 16.5	18.3	19.2	-	fedési
V20	17 33 20.2	+10 46 09.4	17.5	19.1	-	pulzáló
V21	17 33 24.3	+10 47 03.0	17.8	19.3	-	pulzáló
V22	17 33 39.0	+10 47 02.9	18.6	19.5	-	-
V23	17 33 53.5	+10 49 25.6	18.4	20.3	-	-
V24	18 03 58.6	+00 59 53.2	16.9	18.4	-	-
V25	18 04 16.8	+01 02 51.8	15.2	17.5	-	fedési
V26	19 55 21.5	+58 33 30.9	16.9	18.2	-	-
V27	19 56 18.8	+58 35 16.6	-	-	13.4	fedési
V28	19 56 23.9	+58 43 07.2	17.7	19.3	-	-
V29	20 18 31.4	+60 41 18.8	17.6	18.5	-	fedési
V30	20 18 36.2	+60 37 03.0	18.1	20.0	-	-
V31	05 58 15.5	+59 46 22.8	-	-	15.5	-
V32	05 59 25.7	+59 51 23.9	16.4	17.9	-	RRe?
V33	06 00 09.9	+59 45 21.9	15.3	16.6	-	fedési

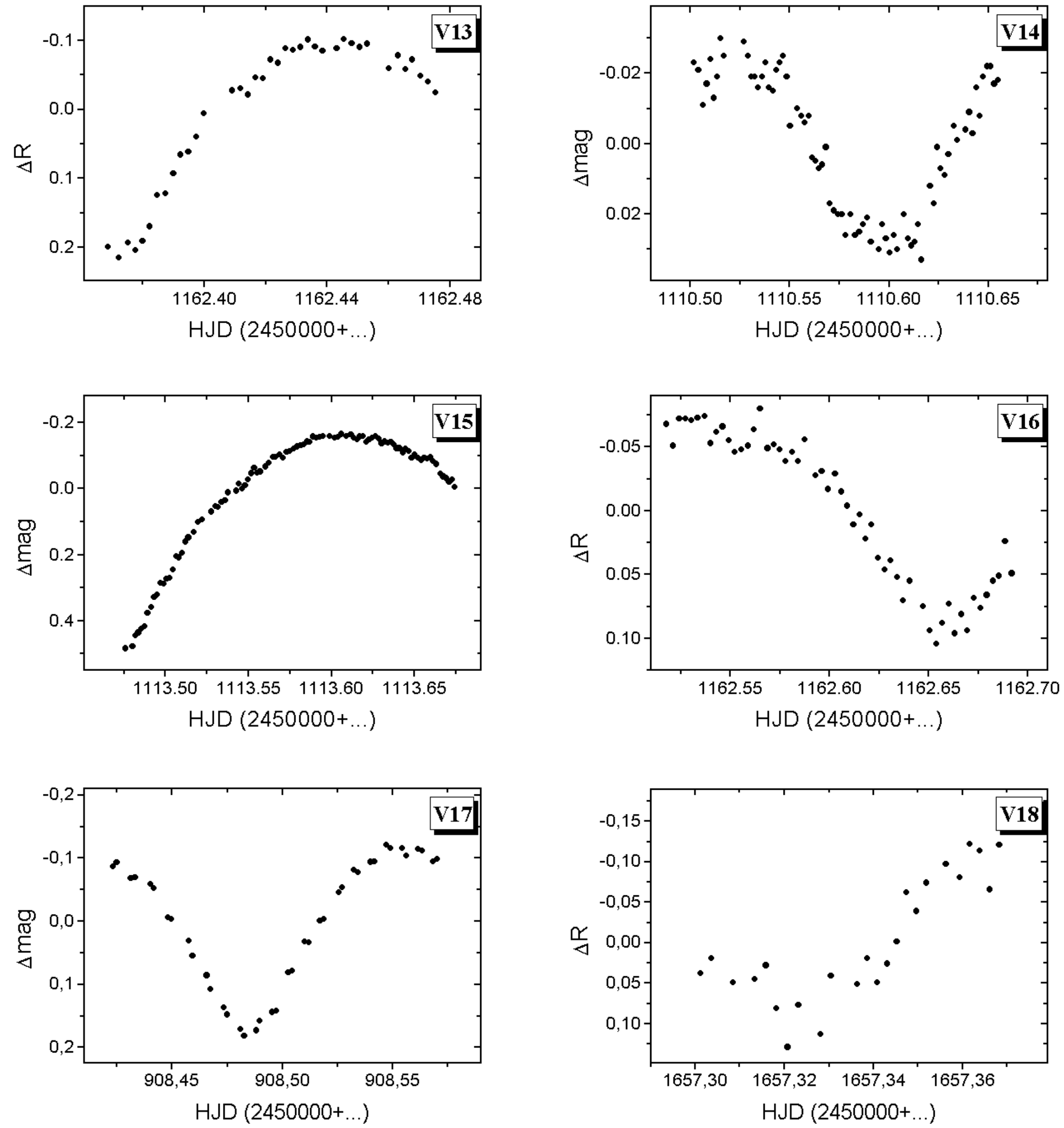
1. táblázat.
Az új változócsillagok legfontosabb adatai (égi koordináták, fényességek, feltételezett típus). A koordináták és a fényesség adatok az USNO-A2.0 katalógusból, illetve a Guide CD-ROM-ból származnak.



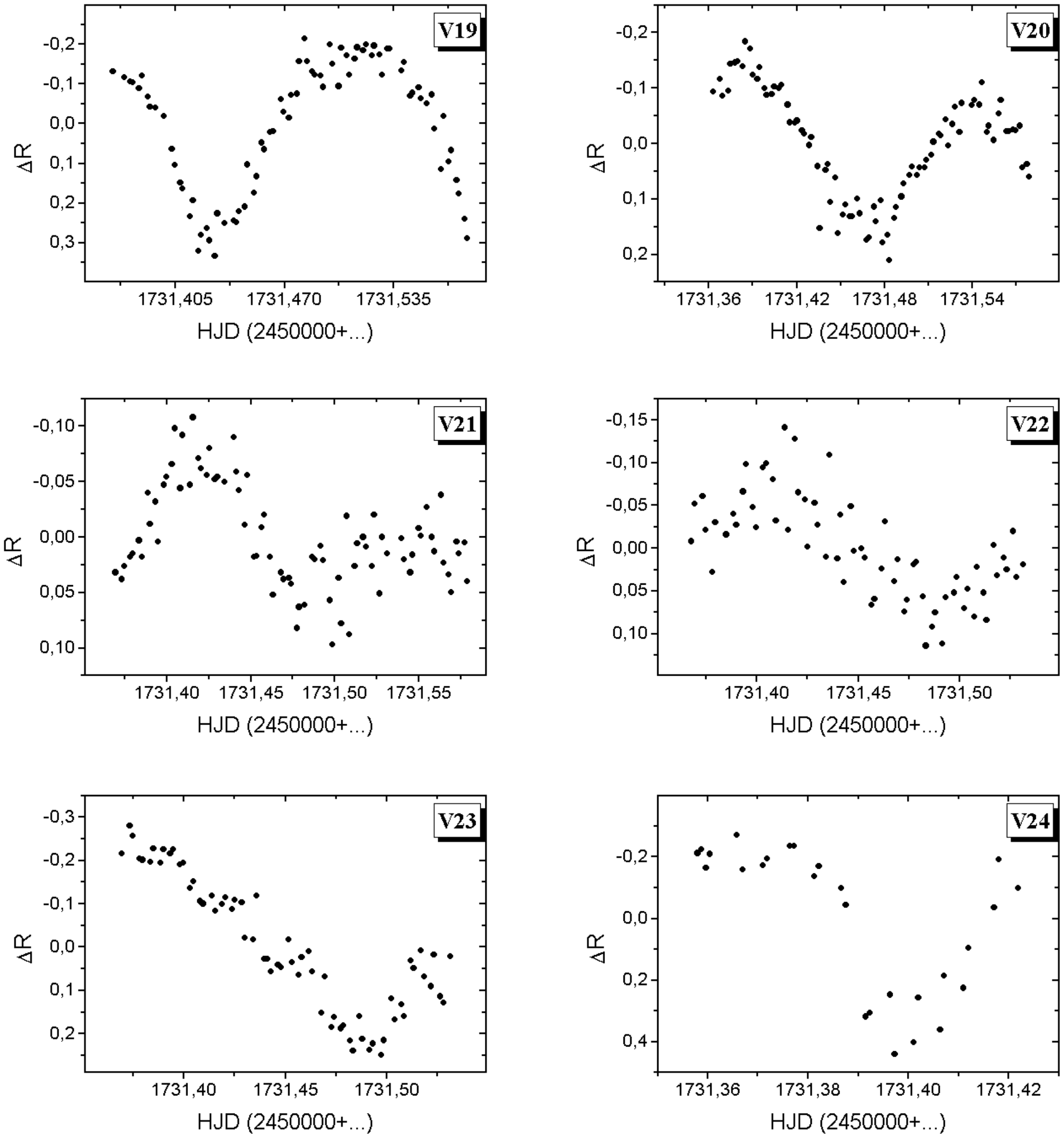
2. ábra. Az új változócsillagok fénygörbéi (V01–V06)



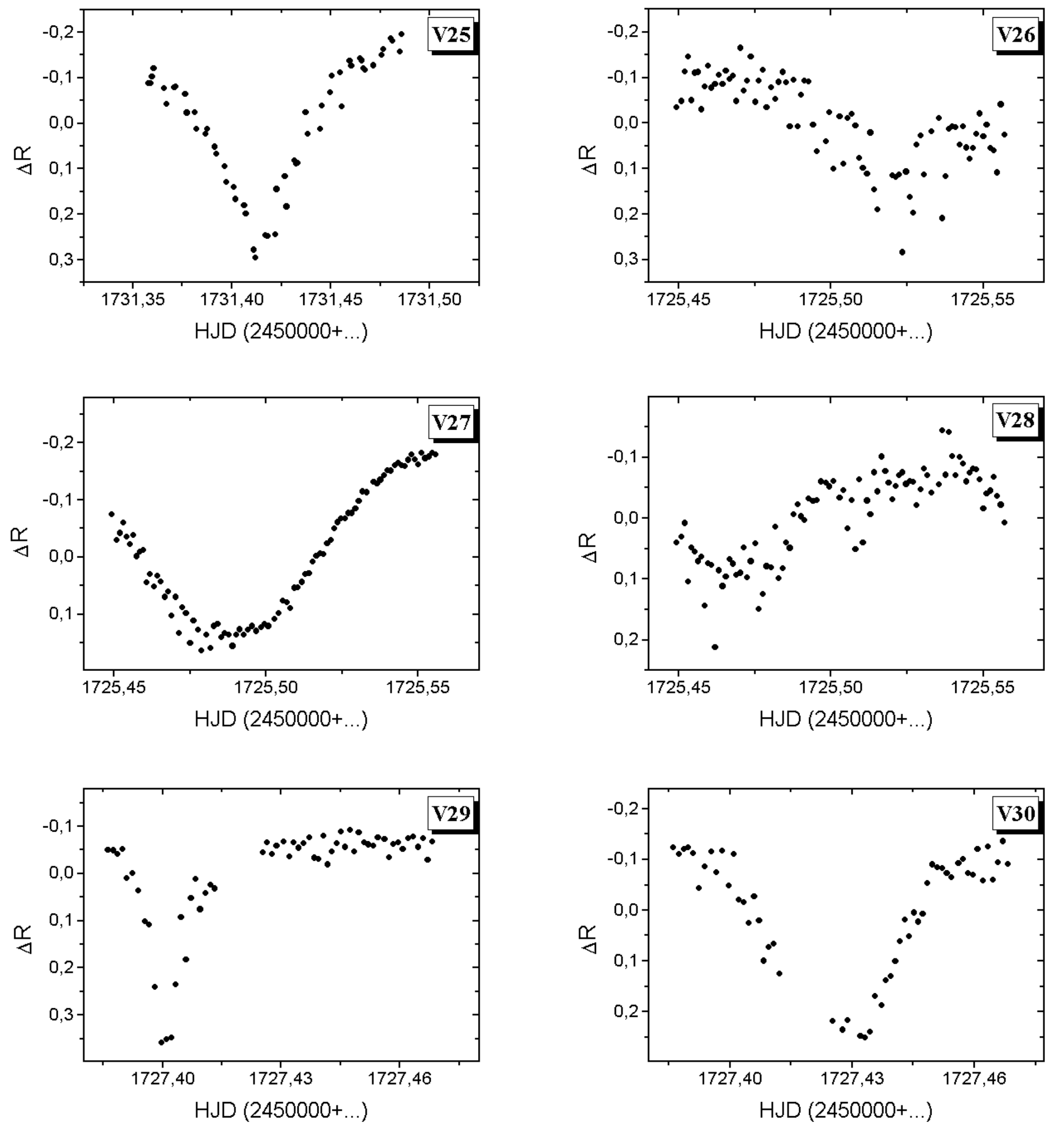
3. ábra. Az új változócsillagok fénygörbéi (V07−V12)



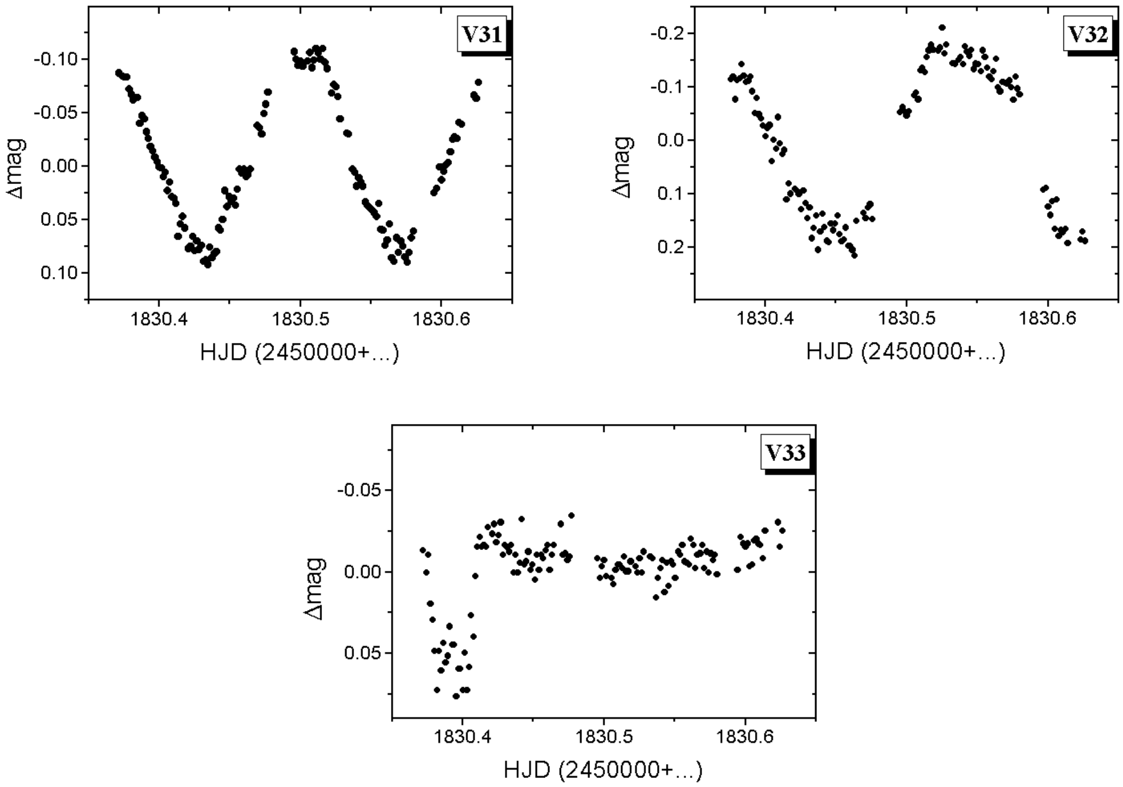
4. ábra. Az új változócsillagok fénygörbéi (V13–V18)



5. ábra. Az új változócsillagok fénygörbéi (V19−V24)



6. ábra. Az új változócsillagok fénygörbéi (V25−V30)



7. ábra. Az új változócsillagok fénygörbéi (V31–V33)

3.1. V32 – újabb RRe típusú változócsillag?

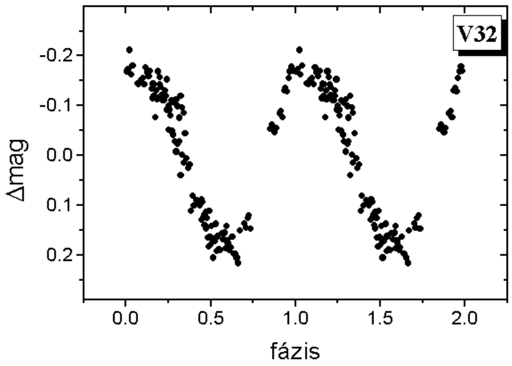
Az utóbbi idők egyik nagy pulzációmodellezési kérdése, hogy létezhetnek-e második felhangú módusban pulzáló RR Lyrae típusú (RRe) változócsillagok. A jelenlegi modellek szerint ez a rezgési módus nem stabil. Korábbi diákköri dolgozatomban (Csák, 1998) részletesen foglalkoztam ezzel a kérdéssel, és egy RRe-jelölt változócsillaggal, a V2109 Cygnivel.

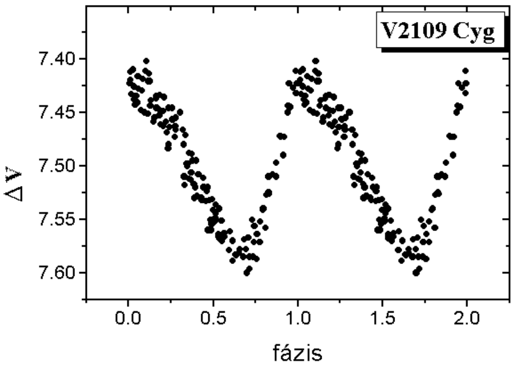
A V32 új változócsillag periódusideje, amplitúdója, és fénygörbéjének alakja nagyon hasonló a V2109 Cyg hasonló paramétereihez (8. ábra).

Mint tudjuk, minden periodikus folyamat megadható megfelelő fázisú és amplitúdójú harmonikus rezgések összegeként. A fénygörbét előállíthatjuk

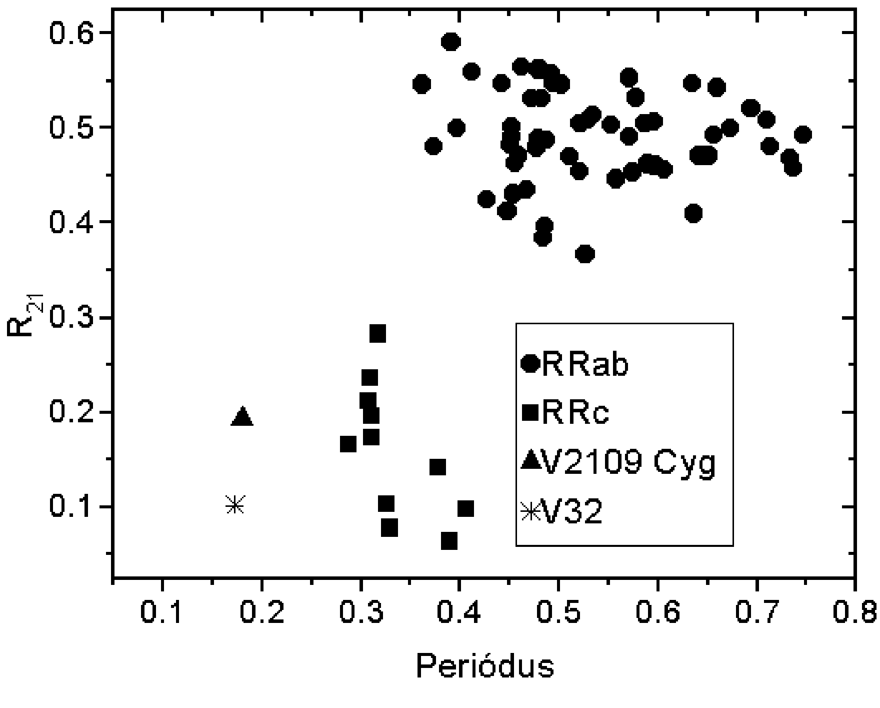
$$m(t) = \sum_{k=0}^{n} A_k \cos(k\omega t + \phi_k)$$

alakban, ahol A_k a k-adik harmonikus amplitúdója, ϕ_k pedig a fázisa, ω a körfrekvencia. Az amplitúdóarányokat a következőképpen definiálhatjuk: $R_{21} = \frac{A_2}{A_1}$, $R_{31} = \frac{A_3}{A_1}$, ...





8. ábra. A V32 és a V2109 Cygni fázisdiagramjai



9. ábra.
A V32 és a V2109 Cygni fénygörbe amplitúdó-paraméterének összehasonlítása 69 mező RR Lyrae adataival

A 9. ábrán feltüntettem a V32, a V2109 Cyg és 69 mező RR Lyrae csillag R_{21} paramétereit a periódusuk függvényében. A körök alapmódusban, a négyzetek első felhangban pulzáló RR Lyrae csillagokat jelölnek. Az ábrán jól elkülönülnek a különböző felhangokban rezgő típusok, valamint a V32 és a V2109 Cygni. Ha további többszínfotometriai mérésekkel sikerül bizonyítani, hogy a V32 RR Lyrae típusú, akkor nagy bizonyossággal állítható, hogy a V2109 Cygnihez hasonlóan második felhangban pulzál, és ebben az esetben ez lenne az ilyen típusú csillagok nem túl népes csoportjának újabb ismert példánya (Kaluzny et al., 2000, Clement & Rowe, 2000).

4. Új változócsillagok klasszifikációja

Ahhoz, hogy egy új változócsillag bekerüljön az ismert változókat tartalmazó katalógusokba, meg kell határoznunk a legalapvetőbb fotometriai paramétereit. Ezek periódikus változók esetén a változás periódusa és típusa, valamint a csillag maximális (pulzáló változók esetén), vagy minimális (fedési kettősök) fényességének epocha.

A fénygörbe alakján alapuló típusbasorolás nagyon bizonytalan. A pontos klasszifikációhoz mindenféleképpen többszínfotometriai, vagy spektroszkópiai mérések szükségesek. A viszonylag könnyen mérhető Johnson $B-V$ színindex változása pulzáló csillagok esetén elég jelentős, és a színváltozás a fényváltozással ellentétes fázisban történik; ezen kívül a $B-V$ színindex átlagos értéke is nagyon informatív, és sokszor eldönti, hogy pulzáló, vagy fedési kettős változóval van-e dolgunk.

Az időmérés pontatlansága nagyban befolyásolja az időmérésből származó periódus pontosságát, de hosszútávú megfigyelésekkel többek között lehetőségünk adódik a változócsillag periódusának pontosítására. Legyen P a csillag periódusa, T_0 és T_E pedig két különböző időpontban megfigyelt fényesség-maximum (vagy minimum), amelyek közöt E számú periódus telt el. Az időpontok szórásai legyenek σ_0 és σ_E (az időpont meghatározás pontossága általában 10^{-3}–10^{-4} nap). Ekkor

$$E \cdot P = T_E - T_0 \pm \sqrt{(\sigma_0^2 + \sigma_E^2)}.$$

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy $\sigma_0 = \sigma_E = \sigma$. Így

$$E \cdot P = T_E - T_0 \pm \sigma\sqrt{2},$$

amiből

$$P = \frac{T_E - T_0}{E} \pm \frac{\sigma}{E}\sqrt{2}.$$

Jól látszik, hogy nagy időintervallumot (sok E-t) átfogó megfigyelések segítségével jelentősen csökkenthető a periódus szórása (Batten, 1973).

4.1. Az $O-C$ diagram

Az $O-C$ diagram periódikus változócsillagok hosszútávú viselkedésének tanulmányozására szolgál. Legyen T_{obs} például egy fedési kettős általunk megfigyelt minimum-időpontja, T_{calc} pedig a csillag korábban meghatározott $T_{calc} = T_0 + P \cdot E$ efemeriséből számítható minumum-időpont (T_0 az epocha, P a periódus, E pedig a ciklusszám). Az $O-C$ értéke ekkor:

$$O - C = T_{obs} - T_{calc}.$$

T_{calc} kiszámításához természetesen előbb meg kell határoznunk, hogy T_0 és T_{obs} között hány egész E ciklus telt el. Az $O-C$ értéket az E (vagy az azzal ekvivalens idő) függvényében ábrázolva kapjuk az $O-C$ diagramot, ami – mivel E egész szám – nem folytonos görbe, de sok pont esetén kvázi-folytonosnak tekinthető.

Ha a csillag periódusa nem változik, a diagramon a pontok az $O-C=0$ érték körül szórnak, pontatlanul meghatározott periódus esetén egy pozitív, vagy negatív meredekségű egyenes illeszthető az $O-C$ értékekre attól függően, hogy a csillag tényleges periódusa hosszabb, vagy rövidebb a számítottnál. Folyamatos periódusváltozás esetén magasabb fokú függvénnyel írható le a ponthalmaz. Az ilyen változásnak már fizikai okai vannak: pulzáló változók esetén a csillagfejlődés tettenéréséről[3] van szó, kettőscsillagokban a két komponens közötti tömegátadás/tömegvesztés a lehetséges magyarázat. Periódikusan változó $O-C$ diagramot egy láthatatlan másod- vagy harmadkomponens jelenléte idézhet elő (fényidő-effektus), vagy fedési kettősökben az apszisvonal-vándorlás (ilyenkor a fő- és a mellék-minimumokra kiszámolt $O-C$ értékek ellentétes fázisban változnak).

A fentieket két, általam mért változócsillag példáján keresztül illusztrálom a következőkben.

4.2. HV Ursae Majoris

A HV Ursae Majoris (= HD 103576 = HIP 58157, $\langle V \rangle = 8.69$, $\Delta V = 0.28$) fényváltozásának periodikus mivoltát az 1989-ben pályára állított Hipparcos asztrometriai

[3]Pulzáló csillagoknál a periódus és a csillag átlagos sűrűségének szorzata állandó (adott típus és adott radiális pulzációs módus esetén). A csillagfejlődés során változik a csillag átlagsűrűsége, következésképpen a periódusa is.

műhold fedezte fel. A kimért fénygörbéje alapján RRc típusú pulzáló változócsillagként katalogizálták.

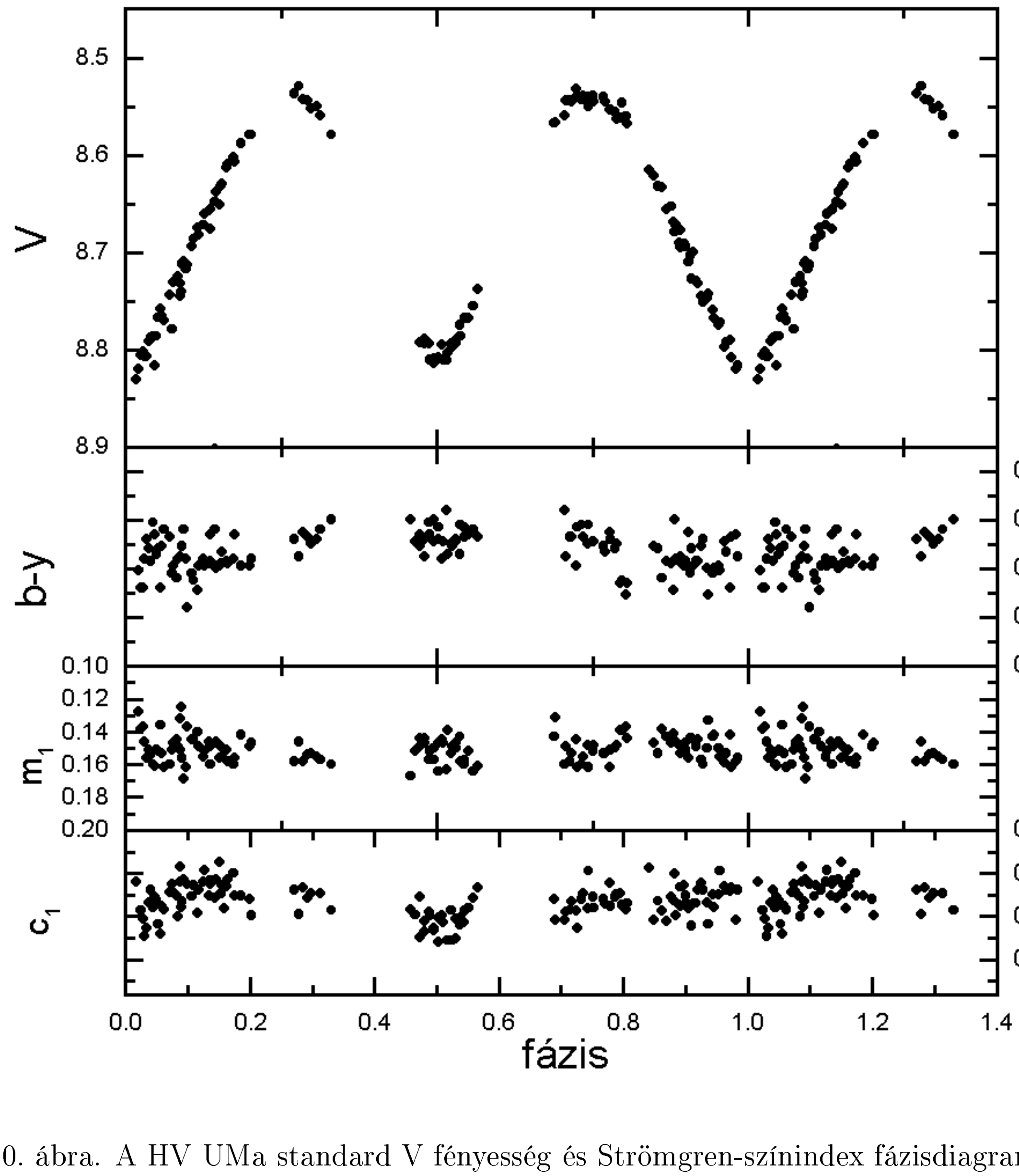
Először 1999 márciusában mértem a csillag fényváltozását a Szegedi Csillagvizsgáló 40 cm-es Cassegrain távcsövére szerelt Optec SSP-5A fotométerrel, Johnson UBV szűrőkön keresztül. Az öt órát lefedő méréssel 0.2 magnitúdós fényváltozást sikerült kimutatnom, de a komolyabb vizsgálathoz több mérésre lett volna szükség, amiket a rossz időjárás miatt nem tudtam elvégezni. Legközelebb 1999 júniusában volt alkalmam mérni a csillagot a spanyolországi Sierra Nevada Obszervatórium 90 cm-es távcsövével. A detektor egy ötcsatornás Strömgren $uvby\beta$ spektrofotométer volt. Mindkét esetben differenciális fotometriát végeztem, az összehasonlító csillag a HD 103050 ($V = 8.45$, $B - V = 0.54$, $b - y = 0.335$, $m_1 = 0.149$, $c_1 = 0.381$) volt. A HV UMa általam mért standard V és Strömgren színgörbéit a 10. ábrán mutatom be.

A mért fénygörbe azt sugallta, hogy fényesség minimumok különböző mélységűek (csak egy minimumot tudtam kimérni), ami fedési kettős rendszerekben gyakran előfordul; ezért a periódus meghatározásához első közelítésben a Hipparcos-adatokból származó periódus (0,355385 nap) kétszeresét vettem (0,71077 nap), és az általam mért minimum-időpontot eltoltam 0,355385 nappal. Az így kapott új efemerissel elkészítettem a Hipparcos mérések fázisdiagramját (11.a ábra). A fázisdiagramról leolvasható csúszást ($\Delta\phi \simeq 0,1$) figyelembe véve újraszámoltam a periódust, amivel a saját és a Hipparcos mérések helyes fázisdiagramját el tudtam készíteni (10. és 11.b ábra). A végleges, pontosított efemeris így:

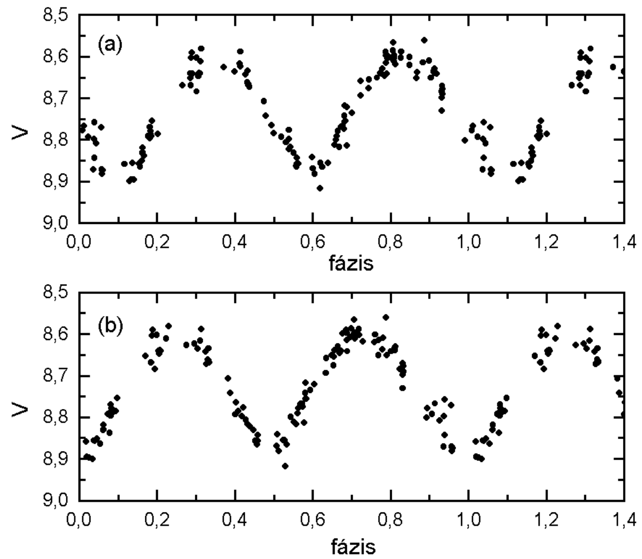
$$HJD_{min} = (2451346,743 \pm 0,001) + 0,7107523(3) \cdot E.$$

A fénygörbe alakja és a színindex-változás hiánya – tulajdonképpen csak az effektív hőmérséklettel korreláló $b - y$ színindex menetében mérhető minimális változás – alapján biztosra vehető, hogy a HV Ursae Majoris nem pulzáló RRc, hanem kontakt fedési W UMa típusú változócsillag. Szintén a fedési kettősség tényét erősíti az is, hogy a témavezetőm által a torontói David Dunlap Obszervatórium 188 cm-es távcsövének Cassegrain-spektrográfjával a csillagról felvett közepes felbontású spektrumokban a kettős rendszer másodkomponensének színképvonalai is megjelennek.

Eredményeinket a csillag teljes fotometriai és spektroszkópiai analízisével együtt az Astronomy and Astrophysics folyóiratban publikáltuk (Csák et al., 2000a).



10. ábra. A HV UMa standard V fényesség és Strömgren-színindex fázisdiagramjai.



11. ábra.
A Hipparcos mérések új efemerissel készített fázisdiagramja. (a) első közelítésben, (b) a pontosított efemerissel.

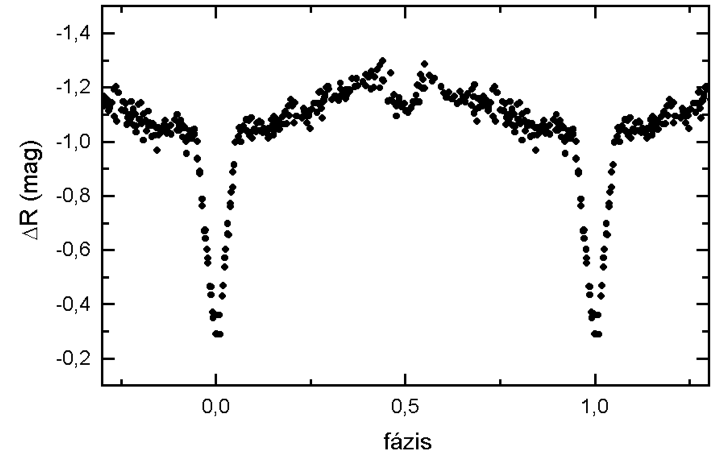
4.3. HW Virginis

A HW Virginist (= $BD\ -07°3477$, $V_{max} = 10.5$ magnitúdó, $P = 0,1167$ nap), mint változócsillagot 14 éve ismerjük (Menzies, 1986), előtte mint UV-pontforrás volt ismeretes (Carnochan & Wilson, 1983).

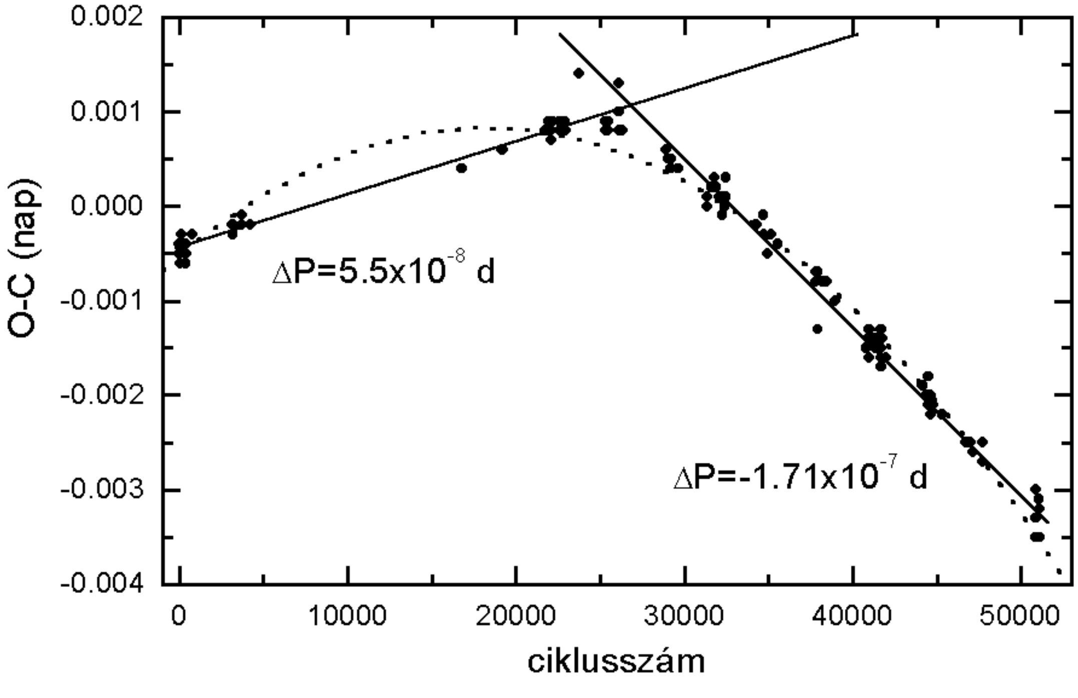
A csillagot 2000 májusában összesen négy éjszakán mértem differenciális fotometriát alkalmazva (összehasonlító: GSC 5528-0591, ellenőrző csillag: GSC 5528-1273) a Szegedi Tudományegyetem 28 cm-es távcsövével és ST-6-os CCD-kamerájával. A mérések túlnyomórészt Johnson R szűrőn keresztül történtek, egy éjszakán használtam Johnson V szűrőt. Az R szűrős mérések fázisdiagramja a 12. ábrán látható. A fénygörbén elég erős reflexiós effektus figyelhető meg, amit a kettős rendszer nagyon forró főkomponensének a hideg mellékkomponensről visszaverődő sugárzása okoz.

A főminimum időtartama kb. 20 perc, ezért a jó időfelbontás végett az egyes CCD-felvételeket viszonylag rövid, 30 másodperces expozíciókkal készítettem; így viszont romlott a fénygörbe jel/zaj viszonya.

A négy éjszakányi mérés során három fő- és két mellékminimum időpontját tudtam kimérni, valamint témavezetőm 2000 májusi, piszkéstetői spektrofotometriai méréseiből (60/90/180 cm-es Schmidt-távcső + objektívprizma) is sikerült három fő- és egy mellékminimum időpontot meghatározni.



12. ábra. A HW Virginis fázisdiagramja az R szűrős méréseimből.



13. ábra.
A HW Virginis saját mérésekkel kiegészített $O-C$ diagramja. Az ábra részletesebb tárgyalását l. a szövegben.

Az új minimum-időpontok ismeretében elkészítettem a csillag saját méréseimmel frissített $O-C$ diagramját (13. ábra), amihez összegyűjtöttem a szakirodalomban fellelhető összes mérést a csillagról, de a mellékminimum időpontokat nem ábrázoltam, mert ezek pontatlansága lényegesen nagyobb, mint a mély és éles főminimum időpontjaié. A számításhoz először a Çakırlı és Devlen (1999) által publikált efemerist használtam:

$$HJD_{min} = 2445730,5565 + 0,1167195820 \cdot E.$$

Ők egyébként cikkükben a HW Vir nem lineáris $O-C$ diagramját fényidő-effektussal próbálják magyarázni, és szinuszgörbe illesztésével meg is határozzák a harmadik komponens és a kettős rendszer közös tömegközéppont körüli keringésének periódusidejét. Ez nagyon bátor kijelentés volt részükről, ha figyelembe vesszük, hogy az ő méréseikkel bezáródóan az általuk meghatározott periódusidőnek mindössze 69%-a volt lefedett. Az általam meghatározott új $O-C$ pontok nem erősítik meg Çakırlı-ék feltételezéseit.

A 13. ábra $O-C$ pontjaira első ránézésre egy folyamatos periódus-változásra utaló parabola, vagy két egyenes szakasz illeszthető. Folyamatos periódus-változás fedési-kettős rendszerekben – mint már említettem – legegyszerűbben a két komponens közötti folyamatos tömegátadással magyarázható. Folyamatos tömegátadás a belső Lagrange-ponton keresztül szokott történni, ha valamelyik komponens (esetleg mindkettő) kitölti a Roche-térfogatát. A HW Vir kettős rendszere nem annyira szoros, hogy bármelyik komponense is kitöltené a Roche-térfogatát, ezért a parabola-illesztés ebben az esetben nem reális. Sokkal inkább elfogadható a két egyenes illesztése – ez egy hirtelen periódusváltozásra utal, ami a két egyenes metszéspontjának közelében következett be.

A 13. ábrán az egyenesek mellett feltüntettem a Çakırlı-ék által számított periódustól való eltéréseket. Ezek figyelembevételével pontosítottam a HW Vir periódusát, így jelenlegi efemerise:

$$HJD_{min} = 2451670,1425 + 0,116719411(4) \cdot E.$$

Eredményeinket az Astronomy and Astrophysics csillagászati folyóiratban közöltük (Kiss et al., 2000).

5. Összefoglalás

A nagy fotometriai programok árnyékában megbújva még manapság is lehet az ismert változócsillagok számát gyarapítani. Az ezirányban történt kutatásaim rövidperiódusú változók felfedezésére lettek kiélezve.

A Szegedi Tudományegyetemen kisbolygó fotometriai célból készült idősorokon 33 új változócsillagot fedeztem fel. Ezek közül a V32 jelű csillag valószínűleg egy nagy elméleti jelentőséggel bíró, második felhangban pulzáló RRe típusú változó. 2000. decemberében többszínfotometriai méréseket is készítettünk erről a csillagról a piszkéstetői Schmidt-távcsővel Johnson BVR szűrőkön keresztül. A mérések feldolgozása jelenlenleg folyamatban van.

Dolgozatomban két, általam mért változócsillag, a HV Ursae Majoris és a HW Virginis példáján keresztül mutattam be az új változócsillagok pontos klasszifikációjának mikéntjét.

Az átvizsgált képeken valószínűleg tucatjával bújnak meg a felfedezetlen hosszú periódusú változást mutató csillagok, amik megtalálására csak az adott égterületek nagyobb időintervallumot átfedő észlelésével lenne esélyem.

6. További tervek

Az utóbbi időben főleg a mikrolencsés programokban kezdték el alkalmazni a képkivonásos technikát a tömeges fotometriához. Az eljárás lényege, hogy az idősorból kiválasztunk egy referenciaképet (mondjuk amin a csillagok átlagos félértékszélessége a legkisebb), amit egy megfelelő függvénnyel konvolálva kivonunk a többi képből. A konvolúciós függvényt úgy választjuk meg képről képre, hogy a konvolált referenciakép és az aktuális vizsgálandó felvétel a legjobban egyezzen. A kivonás után keletkező képen csak a változó fényességű csillagok maradnak meg, a konstans fényességűek eltűnnek.

A módszer a hagyományos, pl. DAOPHOT algoritmust megvalósító technikáknál jóval hatékonyabb, és sokkal pontosabb fénygörbéket produkál (Alard, 2000), valamint nagyon zsúfolt csillagmezőkön is kitűnően alkalmazható (például gömbhalmazok centrális tartományában, ahol a csillagok képei átfedik egymást, vagy kompakt nyílthalmazokban).

Terveim között szerepel a fenti képkivonásos technika kipróbálása eddig nem, vagy csak kevésbé vizsgált galaktikus nyílthalmazokban történő változókeresésre.

Hivatkozások

[1] Alard, C., 2000, *A&AS*, **144**, 363

[2] Amatőrcsillagászok kézikönyve, 1999, *MCSE*, Budapest

[3] Balog, Z., Vinkó, J., Delgado, A.J., Alfaro, E.J., Fűrész, G., Kaszás, G., Moitinho, A., 2000, *MNRAS*, submitted

[4] Batten, A.H., 1973, *Binary and multiple systems of stars*, Pergamon Press, New York

[5] Çakırlı, Ö., Devlen, A., 1999, *A&AS*, **136**, 27

[6] Carnochan, D.J., Wilson, R., 1983, *MNRAS*, **202**, 317

[7] Clement, C.M., Rowe, J., 2000, *AJ*, **120**, 2579

[8] Csák B., 1998, *Két rövid periódusú Hipparcos-változó fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata*, TDK dolgozat

[9] Csák, B., Kiss, L.L., Vinkó, J., and Alfaro, E.J., 2000a, *A&A*, **356**, 603

[10] Csák, B., Kiss, L.L., Szabó, Gy., Sárneczky, K., Sziládi, K., 2000b, *IBVS*, No. 4875

[11] Csák, B., Kiss, L.L., Sziládi, K., Sárneczky, K., Szabó, Gy., 2000c, *IBVS*, No. 4881

[12] Csák, B., Kiss, L.L., Szabó, Gy., Sziládi, K., Sárneczky, K., 2000d, *IBVS*, No. 4989

[13] Fűrész G., 1998, *Rövid időskálájú változócsillagok keresése galaktikus nyílthalmazokban*, TDK dolgozat

[14] Guide CD-ROM Star Chart, 1997, Project Pluto, `http://www.projectpluto.com`

[15] Kaluzny, J., Olech, A., Stanek, K.Z., 2000, astro-ph/0010303

[16] Kholopov, P.N. et al., 1985-1998, *GCVS*, Nauka, Moszkva

[17] Kiss, L.L., Csák, B., Szatmáry, K., Fűrész, G., and Sziládi, K., 2000, *A&A*, **364**, 199

[18] Laurent, E., 2000, *ASP Conf. Ser.*, Vol. 203, 41

[19] Menzies J.W., 1986, *Ann. Rep. S. Afr. Astron. Obs.* 1985, p 20.

[20] Paczyński, B., 2000, *ASP Conf. Ser.*, Vol. 203, 9

[21] SIMBAD Astronomical Database (CDS, 2000), `http://simbad.u-strasbg.fr/Simbad`

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném témavezetőmnek, dr. Kiss L. Lászlónak a munkám során nyújtott segítségét megköszönni. Köszönet illeti az MTA Csillagászati Kutatóintézetét és a Max Planck Kutatóintézetet a rendelkezésünkre bocsátott távcsőidőért, valamint az SZTE Kísérleti Fizikai Tanszékét a munka feltételeinek biztosításáért. Kutatómunkámat támogatták még az OTKA F022249, T022259, F032258, Pro Renovanda Cultura Hungariae DT 1999 ápr./36., DT 2000 máj./44., MTA-CSIC Joint Project No. 15/1998 pályázatok.

Mellékletek

A dolgozatban bemutatott eredményekből készült publikációk

1. Csák, B., Kiss, L.L., Vinkó, J., and Alfaro, E.J., 2000, *A&A*, **356**, 603
2. Csák, B., Kiss, L.L., Szabó, Gy., Sárneczky, K., Sziládi, K., 2000, *IBVS*, No. 4875
3. Csák, B., Kiss, L.L., Sziládi, K., Sárneczky, K., Szabó, Gy., 2000, *IBVS*, No. 4881
4. Csák, B., Kiss, L.L., Szabó, Gy., Sziládi, K., Sárneczky, K., 2000, *IBVS*, No. 4989
5. Kiss, L.L., Csák, B., Szatmáry, K., Fűrész, G., and Sziládi, K., 2000, *A&A*, **364**, 199