

Visszatérő nóvák kitörései a Tejútrendszerben

A nóvakitörések a csillagok világában előforduló robbanások között tekintélyes helyet foglalnak el, habár a szupernóvák és a gammakitörések során felszabaduló energiák messze felülmúlják a tömegbefogó fehér törpék felszínén bekövetkező nukleáris megszabadások összenergiáját. A szoros kettőscsillagok fejlődésében egy nóvakitörés viszonylag kis hatású jelenség, hiszen a fehér törpe nem semmisül meg, szemben az Ia típusú szupernóvák hatalmas explózióival. Mivel a tömegátadás a nóvakitörés után is folytatódik, könnyen belátható, hogy a nóvák mindegyikében várható ismétlődő robbanás, csak éppen az ismétlődési idő erősen függ a kettős rendszerben zajló tömegátadás sebességétől, illetve a fehér törpe tömegétől. Visszatérő nóváknak (rekurrens nóvák, RN) azokat a klasszikus nóvacsillagokat nevezzük, melyekben az egymást követő kitörések közötti idő nagyjából egy évszázadnál rövidebb (azaz legalább két kitörést már észleltünk a felfedezés óta). Jelenleg tíz visszatérő nóvát ismerünk a Tejútrendszerben, összesen 38 kitöréssel 1863 (U Sco) és 2010 (U Sco) között. Természetesen erősen valószínűsíthető, hogy a jelenleg egy dokumentált kitörést felmutató klasszikus nóvák egy része szintén visszatérő nóva, ám ezen „rejtőzködő” RN-ek pontos hányadát még becsülni is nehéz.

Bradley E. Schaefer (Louisiana State University) 1987 óta követi az északi égről látható összes visszatérő nóvát CCD fotometriai módszerekkel. A közel negyed évszázad alatt összegyűjtött tapasztalatokra építve a múlt év végén elkészítette a galaktikus visszatérő nóvák mindeddig legteljesebb fotometriai történetét, ami egy 98 oldalas cikkben jelent meg az *Astrophysical Journal Supplement Series* folyóirat 2010. áprilisi számában. Az alábbiakban kivonatosan közöljük a cikk észlelőink számára érdekesebb eredményeit.

Elméleti kérdések

Miért van az, hogy egyes nóvák visszatérési ideje rövidebb egy évszázadnál? Ezzel kapcsolatban az elméletek magabiztos választ adnak: két feltétel kell a csillagászati skálán gyors ismétlődéshez. Az első, hogy a fehér törpe tömegének közel kell lennie a Chandrasekhar-féle határtömeghez (kb. 1,4 naptömeg). Ekkor a felszíni gravitációs tér olyan erős lehet, hogy már egészen kis mennyiségű anyag befogásával megeremtolódhatnak a nukleáris megszabadás feltételei (nyomás, hőmérséklet). A részletes számítások szerint az RN-jelenséghez legalább 1,2 naptömegű fehér törpére van szükség. A másik feltétel, hogy a tömegátadásnak kellően gyorsnak kell lennie, hiszen így képes csak elegendő mennyiségű anyag összegyűlni a fehér törpe felszínén két kitörés között. A megfigyelések ezt igazolták is, mivel a visszatérő nóvákban tapasztalható 10^{-7} naptömeg/év tömegátadási ráta szignifikánsan nagyobb, mint a többi kataklizmusos változóban mérhető sebesség.

A Chandrasekhar-tömeg közelében nagy sebességgel tömeget gyűjtő fehér törpe képét szem előtt tartva logikus következtetés arra gondolni, hogy ezek a csillagok akár el is érhetik az Ia szupernóvává válás határát. A szakirodalomban sokszor elhangzó egyszerű érv nem veszi figyelembe a nóvarobbanások során ledobott anyag mennyiségének kérdését: van-e nettó tömegnövekedés a fehér törpében, vagy pedig többet dob le a robbanással, mint amennyit begyűjtött addig? A kitörések következtében a nóvák körül táguló gázhéj szokott kialakulni, aminek megbecsülhető az össztömege. Így a kérdés, jelesül hogy az RN csillagok lehetnek-e Ia SN szülőcsillagok (progenitorok), valójában úgy is feltehető, hogy az ismétlődési idő és a tömegátadás sebességének szorzata nagyobb-e, mint a ledobott gázhéj össztömege. Ha ugyanis a válasz igen, akkor az azt

jelent, hogy a nóvarobbanás ellenére a fehér törpe tömege folyamatosan nő, egy idő után pedig elérheti a Chandrasekhar-határt.

A szakirodalmat áttekintve kiderül, hogy a válasz közel sem ismert kellő bizonyossággal. A ledobott gázhéj tömegének bizonytalansága kb. két nagyságrend (százszorosító!), az átlagos ismétlődési idő bizonytalansága legalább egy hármast, a tömegátadás pedig szintén hasonlóan nagy hibával ismert. Mindez azt jelenti, hogy a fent említett egyenlőtleneségről (ismétlődési idő szorozva tömegátadás > gázhéj tömege) lényegében semmit nem tudunk, azaz a visszatérő novák egyáltalán nem garantált Ia progenitorok.

További probléma, hogy nem tudjuk, van-e elég visszatérő nóva a Tejútrendszerben és a Lokális halmazban az Ia szupernóvák utánpótlásához. Azaz hogy a visszatérő novák kihalási sebessége megegyezik-e az Ia szupernóvák keletkezési sebességével. Jelenleg úgy tűnik mind elméleti, mind megfigyelési oldalról, hogy a válasz határozottan nem. A gond csak az, hogy az összes alternatív Ia progenitor-jelöltre is hasonlóan nemleges a

számítások szerint mielőtt összeolvadnak, annyi tömeget elveszítene, hogy a végső tömeg a Chandrasekhar-határ alatt marad).

Miért ilyen fontos az Ia szupernóvák progenitorainak kérdése? A probléma kozmológiai jelentőségű is, hiszen a Chandrasekhar-tömeget átlépve összeroppanó fehér törpéket feltételezve az Ia szupernóvák abszolút fényessége jó közelítéssel azonos, tehát távolságukat pusztán a látszó fényességéből meg lehet becsülni. Ismerve a gazdagalaxis vöröseltolódását kimérhető kozmikus méretskálán a vöröseltolódás és a távolság kapcsolata, ebből pedig az egész Univerzum tágulására következtethetünk. Az 1990-es évek végén éppen Ia szupernóvák utaltak először a gyorsulva tágulás jelenlétére, márpedig alapvető probléma, hogy ha ezen szupernóvák robbanásai függenek a vöröseltolódástól (mert például nagyon távol és nagyon régen a fehér törpék szerkezete különbözött, pl. a kémiai összetétel különbözősége miatt), akkor a kozmológiai elméletekre a kétféle árnyat vetülhetne. A szupernóva-kutatók a spektroszkópiailag hasonló

Csillag	V_{max}	V_{min}	t_3	P_{orb}	Kitörések
T Pyx	6,4	15,5	62	0,076	1890, 1902, 1920, 1944, 1967
IM Nor	8,5	18,3	80	0,102	1920, 2002
CI Aql	9,0	16,7	32	0,62	1917, 1941, 2000
V2487 Oph	9,5	17,3	8	<1	1900, 1998
U Sco	7,5	17,6	2,6	1,23	1863, 1906, 1917, 1936, 1945, 1969, 1979, 1987, 1999, 2010
V394 CrA	7,2	18,4	5,2	1,52	1949, 1987
T CrB	2,5	9,8	6	228	1866, 1946
RS Oph	4,8	11	14	457	1898, 1907, 1933, 1945, 1958, 1985, 2006
V745 Sco	9,4	18,6	9	510	1937, 1989
V3890 Sgr	8,1	15,5	14	519,7	1962, 1990

kutatók válasza, azaz például a kettős fehér törpék összeolvadásával operáló elméletek sem képesek elegendő objektumot felmutatni a populáció-szintézisen alapuló vizsgálatokhoz. Figyelemre méltó az is, hogy jelenleg egyetlen olyan kettős fehér törpét sem ismerünk, amelynek a kombinált tömege elég nagy, a keringési periódusa pedig elég kicsi ahhoz, hogy kijelenthessük, az adott rendszer bizonyosan Ia szupernóvaként fog felrobbanni (pl. az egyik legjobb jelölt, a KPD 1930+275 össztömege $1,47 \pm 0,01$ naptömeg, de

ságokra alapozva elvetik az Ia szupernóvák szignifikáns kozmikus fejlődését, ugyanakkor egyre több eredmény utal arra, hogy szükséges legalább kétféle mechanizmus az Ia robbanások észlelt gyakoriságának reprodukálásához. A két legjobb jelölt mindmáig a Chandrasekhar-tömeget átlépő tömegbefogó fehér törpe, illetve az összeolvadó kettős fehér törpék, de talán érezhető, hogy a tankönyvi száraz magabiztoság finoman szólva sem teljesen megalapozott a megfigyelési adatok tükrében.

A fentiek alapján fontos célkitűzés a lokális RN-populáció minél teljesebb összeírása, a statisztikus vizsgálatokhoz szükséges adatmennyiség homogenizálása. Schaefer friss munkája pontosan erre tett kísérletet, elismerve, hogy az új mérésekkel várhatóan már a közeljövőben bővülni fog a nem túl népes tejútrendszeri társaság.

Az ismert galaktikus visszatérő nóvák

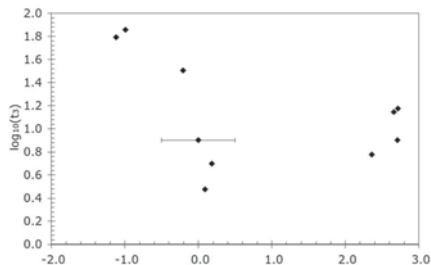
Hogy pontosan mely csillagok tartoznak a visszatérő nóvák közé, nem könnyen megválaszolható kérdés. Mivel egyes törpenóvák akkrációs korongbeli instabilitásai igen nagy amplitúdójú kitérésekre vezetnek, a régi fotólemezeken ezek összetéveszthetők egy nóvakitéréssel. További nehézség, hogy egyes klasszikus nóvák törpenóva-kitéréseket is mutatnak, amikor is semmilyen nukleáris reakció nem játszódik le. A teljes bizonyossághoz minden esetben spektroszkópiai megerősítésre van (lenne) szükség, ami magyarázatot ad az egyes objektumoknál létező szakirodalmi ellentmondásokra.

A 2009 végén ismert galaktikus visszatérő nóvák a következők: T Pyx, IM Nor, CI Aql, V2487 Oph, U Sco, V394 CrA, T CrB, RS Oph, V745 Sco és V3890 Sgr. A felsorolás sorrendje a kettős rendszer keringési periódusa szerint alakult ki (a V2487 Oph periódusa csak bizonytalanul ismert). Legfontosabb adataikat táblázatban foglaltuk össze. Az oszlop jelentése: a csillag neve, maximum- és minimumfényesség a V sávban, a maximum utáni 3 magnitúdónyi elhalványodáshoz szükséges idő, a keringési periódus, végül a feljegyzett kitérések éve. (Az U Sco idej kitérését a fordító tette be a táblázatba.)

Az előző oldalon látható adatok is mutatják az erős kontrasztot a tipikus klasszikus nóvák és a visszatérő nóvák között. Az RN csillagok átlagos amplitúdója 8,6^m, és egyetlen objektumnak sem nagyobb 11,6^m-nál. Ezzel szemben a klasszikus nóvák jellemzően nagyobb amplitúdójúak, sok 12^m-t is meghaladó félfényesedéssel. A visszatérő nóvák kitérései gyorsabban lejártszódnak (t_3 mediánja 11 nap, ami a klasszikus nóvákra 44

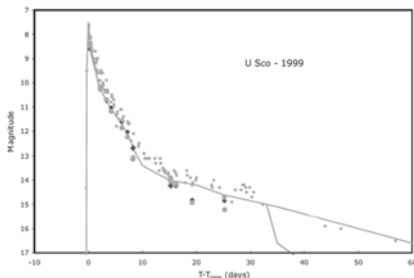
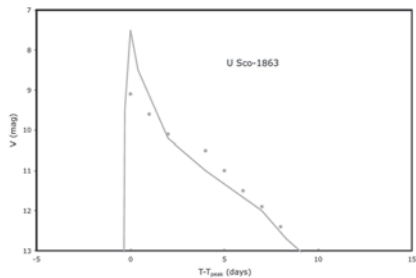
nap), keringési periódusuk pedig meglepően hosszú, akár több száz nap is lehet (a legtöbb nóva szoros rendszer, 0,3 napot meg nem haladó pályaperiódussal). Összességében az átfedések ellenére is a visszatérő nóvák populációja szignifikánsan eltér a klasszikus nóvákétól.

A csillagászok jól ismertek az osztályozási reflexeikről. Nem meglepő, hogy a visszatérő nóvák egészen a múlt évig egymásjegyű csoportját (a V2487 Oph korábbi kitérését 2009-ben sikerült azonosítani régi fotólemezeken) sokan megpróbálták kategóriákba sorolni – jelent meg olyan cikk is az elmúlt években, amely négy osztályba próbálta besorolni az akkor ismert bő féltucatnyi csillagot... A legkézenfekvőbb különbségtételre

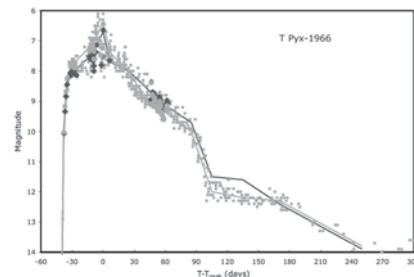
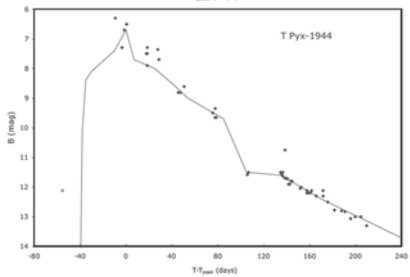
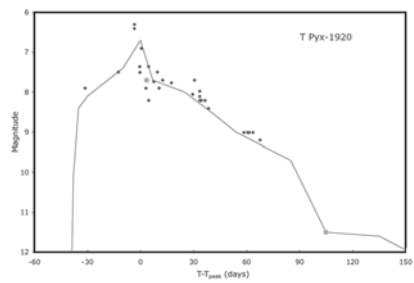
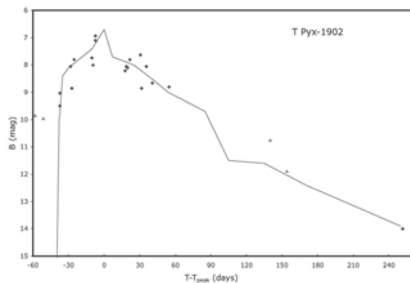


A tíz ismert visszatérő nóva halványodási üteme és keringési periódusa közötti kapcsolat. Az ábra jobb oldalán a vörös óriásos másodkomponensű rendszerek találhatóak

a másodkomponens természete ad lehetőséget: a hosszú keringési periódusú csillagokban (T CrB, RS Oph, V745 Sco, V3890 Sgr) vörös óriáscsillag anyagát gyűjti be a fehér törpe, a többi rendszerben viszont fősorozati vagy ahhoz közeli állapotú a kísérőcsillag. A vörös óriásos rendszereket sokan a szimbiotikus változókhoz sorolják, s akkor inkább a szimbiotikus (Z And típusú) kettősök nóvakitéréseiről beszélhetünk (a legutóbbi ilyen csillag a V407 Cygni, melynek idén fedezték fel az első nóvakitérését – l. múlt havi számunkat). Egyéb paraméterek alapján is elképzelhető mindenféle osztályozás, ám tíz csillag még nem elegendő egyértelmű osztályozás definiálásához. Az egyedi csillagok által kirajzolt eloszlások egyikét mellékelt ábránk mutatja, melyen a t_3 halványodási idő



Két végtel az U Sco történetéből: míg az U Sco 1863-as kitörését kizárólag Pogson nyolc vizuális becslése alapján ismerjük, addig az 1999-es maximumot amatőr és professzionális észlelők hada követte



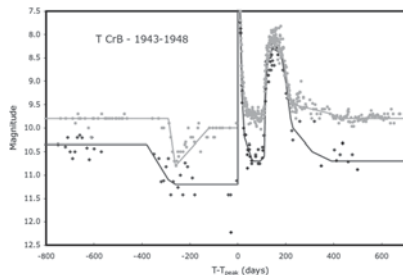
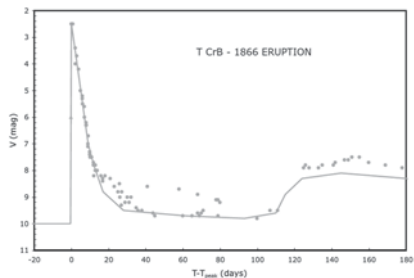
A T Pyx déli visszatérő néva négy kitörése 1902 és 1966 között. A fénygörbék egyre javuló lefedettséggel rajzolják ki a kitörések hasonló lefutását. Az utolsón a folytonos vonal a kék szűrős (fotografikus) görbét, a pontok a vizuális becsléseket mutatják

a keringési periódus függvényében látható, mindkettő logaritmikuskálán. Az orbitális periódus szerinti elkülönülésen kívül nem sok következtetést vonhatunk le.

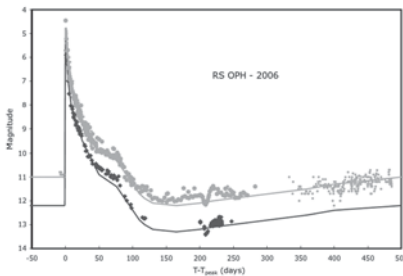
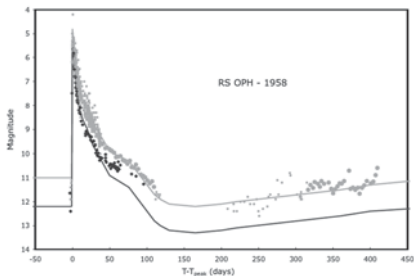
A kitörések áttekintése

Az elmúlt közel 150 évben 38 visszatérőnéva-kitörést észleltük. Hat csillagra csak két kitörést sikerült rekonstruálni, gyaníthatóan többször elszalasztva az évtizedekkel korábban nagyon foghíjas megfigyeléssorozatokban. A legaktívabb RN az U Sco, amelynél össze-

sen 10 kitörésről léteznek adatok, de az RS Oph 8 maximuma sem marad le sokkal. A legrövidebb ismétlődési idő az U Sco-nál jelentkezett (7,88 év az 1979-es és 1987-es kitörések között), a leghosszabb idő pedig 97,98 év (V2487 Oph 1900-tól 1998-ig). Jó tucatnyi maximumot a harvardi lemezarchívumban sikerült megtalálni, további hármat más obszervatóriumok gyűjteményeiben. 11 kitörésről kizárólag harvardi lemezek léteznek, így nélkülük a T CrB 1946-os második kitöréséig fel se fedeztük volna az RN jelenség létezését.



A T CrB legelső, 1866-os kitérésénél már jelentkezett a fő maximumot követő visszafényesedés, aminek okai mindmáig ismeretlenek. Az 1946-os maximum is hasonló lefutású volt, az 1943-tól 1948-ig terjedő fénygörbe pedig rendkívül egyedi és rejtélyes változásokat fed fel



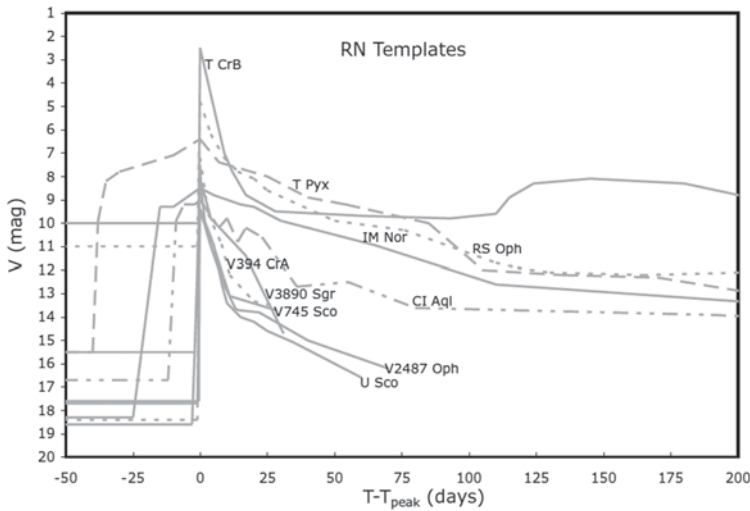
Két kitérés az RS Ophiuchi zaklatott életéből: 1958 és 2006. Az alsó görbe a B szűrős adatokat mutatja

Érdeemes megjegyezni, hogy a visszatérő nóvák maximumai közül csak négyet fedeztek fel hivatásos csillagászok a maximum közelében; az összes többi amatőrök vették észre először. Egy esetben, az U Sco 1969-es kitérésénél, mindössze két vizuális észlelő számolt be a maximumfényesség utáni halványodás legvégének megfigyeléséről; mivel a szóban forgó két új-zélandi amatőr, Albert Jones és Frank Bateson, a kitérés valóságában semmi kétely nincs (Albert Jones-t Janet Mattei, az AAVSO néhai igazgatója a világ egyik legjobb vizuális észlelőjének tartotta, Daniel Green pedig a legmegbízhatóbb üstökösfényesség-bebecslések végzőjeként tartja számon). Maga a robbanás 1969 februárjában következett be, amikor a Scorpius évszakos láthatósága még a déli féltekéről is éppen csak megfigyelhetővé teszi az U Sco helyét. Az eset szépen illusztrálja, hogy valószínűleg több U Sco-kitérést is elmulaszthattunk felfedezni az elmúlt évszázadban.

Egyedi kitérések fénygörbéi és előrejelzések

Az alábbiakban néhány itthon is népszerű, vagy más okokból jól ismert csillag Schaefer által összegyűjtött fénygörbéjét mutatjuk be. Az ábrákon folytonos vonal jelzi az összes észlelt maximumból szerkesztett átlagos fénygörbe-menetet, amit az amerikai kutató a hiányos adatú kitérések pontosabb paraméter-bebecsléséhez használt (pl. a maximum bekövetkezési ideje). A hasonló lefutású görbék azt is szépen demonstrálják, hogy hogyan javult az idő előrehaladtával a fénygörbék lefedettsége, nem kis mértékben az AAVSO által összehangolt amatőr észlelőknek is köszönhetően. Az összes ábra vízszintes tengelyén az idő a maximumtól eltelt napok számában van feltüntetve.

Bradley Schaefer rendkívül részletes munkájában sok egyéb mellett kiszámolta az átlagos visszatérési időket, illetve kísérletet tett a következő maximumok előrejelzésére. Hogy



A tíz ismert galaktikus visszatérő nóva átlagos fénygörbéi

Visszatérő nóvák

Csillag	Két kitörés közötti idő	Átlagos visszatérés	Következő robbanás
T Pyx	11,9, 17,9, 24,6, 22,1	19	ezer-egymillió év múlva
IM Nor	81,5 (esetleg 41)	82 (esetleg 41)	2084 (2043?)
CI Aql	23,9, 59,1/N (N=2 vagy 3)	24	2024
V2487 Oph	118/6,7	18	2016
U Sco	43,0/4, 10,8, 19,3/2, 8,9, 23,7/2, 10,4, 7,9, 11,8	10,3	2009,3±1,0
V394 CrA	38,3/2	30	2017
T CrB	79,7	80	2026
RS Oph	8,6, 26,6, 12,3, 12,6, 9,3, 17,3, 21,0	14,7	2021
V745 Sco	52,2/2	21	2010
V3890 Sgr	27,9	25	2015

módszere nem teljesen megalapozatlan az is igazolja, hogy az U Sco-ra 2009,3±1,0 volt a cikk elfogadásakor érvényes jóslata, amit a 2010 elején bekövetkezett robbanás tökéletesen igazolt. A fenti táblázatban az összes csillag adatai szerepelnek.

Bizonyos esetekben a számadatok bizonytalanok, ilyenkor a szerző megpróbálta megbecsülni, hogy mennyi lehet a valódi visszatérési idő. A T Pyx esete különleges, mert ott úgy tűnik, hogy immáron 43 éve nem volt kitörése, miközben korábban 10–20 évente robbant. Schaefer egy korábbi munkájában azt vetette fel, hogy a T Pyx rendszerében leállhatott a tömegátadás a fehér törpe és a kísérő között, ezért a következő kitörésig akár százezer-egymillió évig is várni kell

(feltételezve, hogy legalább nagyjából értjük a tömegátadás fejlődését).

Az adatok azt is jósolják, hogy a V745 Sco lesz talán a következő visszatérő nóva-robbanás, így a csillagot idei láthatósága alatt érdemes folyamatosan szemmel tartani. Ezt elősegítendő észlelőterképét a Jelenségnap-tárban közöljük.

Cikkünk következő részében a visszatérő nóvák rövid időskálájú változásait mutatjuk be, előreláthatóan a Meteor júniusi számában.

Schaefer, B.E., 2010, Comprehensive photometric histories of all known galactic recurrent novae, *ApJS*, 187, 275 cikke alapján:

Kiss László