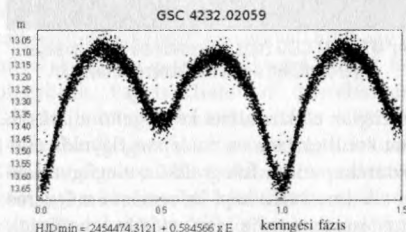


Változós újdonságok

Alábbi válogatásunkkal az utóbbi hónapok szakirodalmi érdekességeiből válogatunk. A β Lyrae interferometrikus felbontása, a μ Cephei csillagkörüli porfelhője, újdonságok Ia típusú szupernóvákról, az EX Lupi 2008-as kitörése és egy másik, 30 éve tartó kitörés vége a Nagy Magellán-felhőben, illetve a β UMi pulzációi – terítéken a változócsillagászat néhány friss eredménye.

Felbontották a β Lyrae komponenseit

A kölcsönható kettőscsillagok vizsgálata számos asztrofizikai folyamat jobb megértését segítette már eddig is elő, például a tömeg és az impulzus átadása, akkréció, árapályhatások stb. Ezek a folyamatok igen sokféle objektumtípus tulajdonságairól és időbeli fejlődéséről szolgáltatnak információt (kis tömegű fekete lyukak, röntgenkettősökben lévő neutroncsillagok, kataklizmikus változók, nóvak stb.). Ezeket az égitesteket eltérő indirekt módszerekkel lehet ugyan vizsgálni – spektroszkópia, radiális sebesség mérése, akár „eclipse mapping” –, de a közvetlen felbontás rendkívül nehézkes a tőlünk mért nagy távolság, valamint a komponensek szoros közelsége miatt.



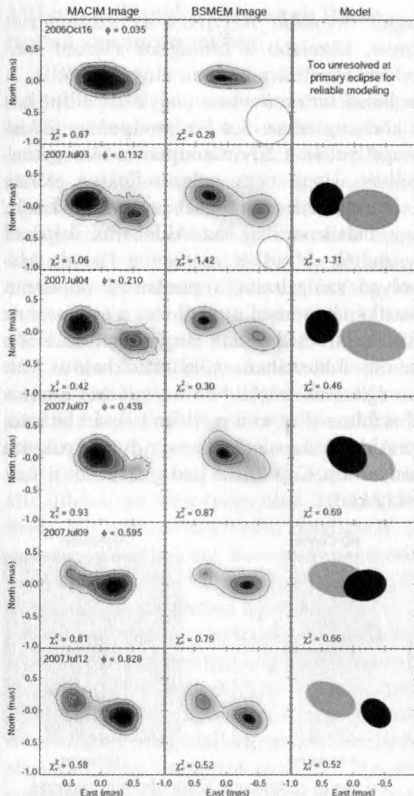
Egy β Lyrae típusú „névtelen” fedési kettős jellegzetes fénygörbéje az egyenlőtlen mélységű minimumokkal és a szinte folytonos fényváltozással. [K. V. Sokolovsky, Sternberg Astronomical Institute, Moszkva]

A β Lyrae (arab neve Sheliak, HD 174638, V sávban átlagfényessége 3,52 magnitúdó)

egy jól ismert kölcsönható fedési kettős, amelynek közel 13 napos periódusú fényváltozását még John Goodricke fedezte fel 1784-ben. Jelenlegi ismereteink szerint a komponensek B színképosztályúak, a kezdetben nagyobb tömegű főkomponens az erős tömegvesztés miatt ma már csak 3 naptömegű, míg a mára nagyobb tömegűvé vált másodkomponens a rá áramló anyag miatt 13 naptömegre „hízott”. A Roche-üregét kitöltött donorcillag évente két százszáz naptömegnyi anyagot ad át társának, aminek egyik következménye az évenként 19 másodperccel növekvő keringési periódus, másrészt így kialakulhatott a másodkomponens körül egy vastag akkréciós korong, valamint arra merőlegesen bipoláris jetszerű struktúrák.

A kettős rendszer hozzávetőleg 300 parsek távolságra van tőlünk, a látóirányú szeparáció a komponensek között 0,92 milliívmásodperc (mas), azaz 58,5 Nap-sugár, a donorcillag átmérője körülbelül 0,46 milliívmásodperc, míg a másodkomponenst övező akkréciós korong 1 milliívmásodperc méretű. Összehasonlításképpen: a Földről 1 milliívmásodperc látszó szög alatt látnánk egy szembejövő autót két reflektorát, ami a Holden (!) van... Mindez azt jelenti, hogy jelenlegi technikai lehetőségeink mellett a β Lyr komponenseinek közvetlen leképezése csak hosszú bázisvonalú interferometriával lehetséges.

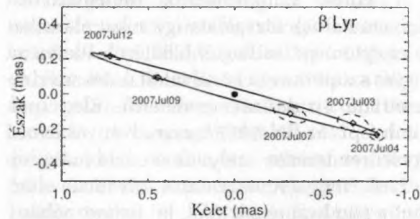
A John Monnier és doktorandusza, Ming Zhao (University of Michigan, Ann Arbor) által vezetett csoport a kaliforniai Wilson-hegyen található CHARA (Center for High Angular Resolution Astronomy) berendezést használta, amely 6 darab, egyenként 1 méteres távcsőből áll és jelenleg a leghosszabb bázisvonalú optikai/infravörös interferométer: az egyedi elemek között 34-től 331 méterig választható bázisvonal, az elérhető legjobb felbontás pedig 0,5 milliívmásod-



A β Lyr komponensei a CHARA által rögzített adatokból rekonstruált képeken. A bal oldali oszlopban a MACIM, míg a középső oszlopban a BSMEM nevű eljárások algoritmusai alapján alkotott képek láthatóak, míg a jobb szélső oszlopban a modellszámítás eredményei találhatók az egymás alatti sorokba rendezett megfigyelési időpontok szerint. A sötétebb színek nagyobb intenzitást jelölnek, a fekete komponens a donorcsillag. A középső oszlop felső két sorában körök jelzik a felbontással arányos nyálbátmérőt, ami 0,69 mas volt 2006 októberében, illetve 0,52 mas a többi időpontban. Az egyedi inzertek x illetve y tengelyében keleti, illetve északi irányú kiterjedés látható millivmásodpercben. [M. Zhao és munkatársai]

perc az infravörös H sávban. A mellékelt felső ábránkon jól látható a két csillag egymás körüli keringési miatti alakváltozás, amelyhez a másodkomponenst övező akkréciós korong is jelentősen hozzájárul. A most közölt mérési és a már korábban ismert adatok összevetésével a kutatóknak sikerült

meghatározni a kettős rendszer pályaelemét is, s így fontos lépést tettek a béta Lyrae fizikai tulajdonságainak pontosabb megértése, s így a rendszer asztrofizikai fejlődésének tisztább látása felé.



A β Lyr relatív pályájának legjobb illesztése. Középen fekete körrel jelölve található a főkomponens, míg a pálya képzeletbeli vonalán a különböző időpontokban látható mellékkomponenst üres kör szimbolizálja a hozzá tartozó hibahatárokkal (szaggatott vonalú kör). A pálya felső része van hozzáink közelebb, az inklináció közel 90 fok. [M. Zhao és munkatársai]

A kutatócsoport nem mindennapi eredményei alapján írt cikk az Astrophysical Journal szakfolyóirat Letters rovatában fog megjelenni.

Forrás: arxiv.org/0808.0932

A témával kapcsolatban l. még Kiss László cikkét: A CHARA interferométer, Meteor 2008/1., 45. o.

A μ Cephei aszimmetrikus tömegvesztése

A nagy tömegű csillagok fejlődésének végső fázisai ugyan csillagászati értelemben nem tartanak hosszú ideig, mégis, ekkor vesztek el tömegük legnagyobb hányadát és ilyenkor alakulnak ki a II-es típusú szupernóvák szülőcsillagait övező anyagkidobódások. Ebből a szempontból kulcsfontosságú szerepet játszanak a vörös szupernóvások, melyek a 10–30 M_{\odot} kezdőtömegű csillagok kései fejlődési állapotát képviselik. A nagyjából tízezer-százezer évig tartó fázisban 10^{-6} ... $10^{-4} M_{\odot}/\text{év}$ sebességgel dobják le anyagukat, ami végül is meghatározza a csillagok robbanás előtti végső tömegét. Vörös szupernóvákat azonosítottak már

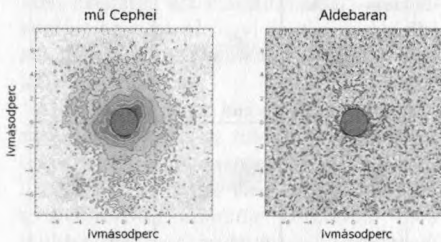
közvetlen szupernóva-szülőcsillagként, de elképzelhető az is, hogy a sárga hiperóriás állapoton keresztül a két tartomány felé fejlődnek, ahol először Wolf-Rayet-csillaggá válnak, majd robbannak fel.

A vörös szuperóriások tömegvesztési folyamatainak vizsgálata így sokat elárulhat a nagytömegű csillagok haláláról, illetve az egyes szupernóvák körül talált érdekes szimmetriájú struktúrák eredetéről. Elég csak utalni pl. az SN 1987A maradványát övező gyűrűrendszerre, melynek eredete máig rejtélyes. Hogy a tömegvesztés folyamata eltérhet a gömbszimmetriától, jól ismert néhány galaktikus vörös szuperóriásnál: a két legészletesebben vizsgált csillag az NML Cyg és a magyar amatőrök által is észlelt VY CMa, mindkettő szélsőségesen nagy luminozitású és alacsony hőmérsékletű hatalmas objektum. A VY CMa csillagszele rendkívül anizotrop (különböző irányokban eltérő), az NML Cyg aszferikus megjelenését pedig a közeli Cyg OB2 asszociáció forró csillagainak sugárzási tere hozta létre.

Az említett két csillagra hőmérséklet és luminozitás szempontjából nagyon hasonló objektum a μ Cephei, azaz a Gránátcsillag. Fontos különbség, hogy tömegvesztési sebessége több nagyságrenddel kisebb, így talán ez is magyarázza, hogy nem sokan tanulmányozták eddig a körülötte található porfelhőt. Bolometrikus abszolút fényessége kb. $-9,1$ magnitúdó, amivel az összes ismert vörös szuperóriás közül az egyik legfényesebb. Csillagfejlődési számításokkal összevetve kezdőtömege $25 M_{\odot}$ lehetett, távolsága 870 pc, fényteljesítménye pedig 300 ezer napluminozitás. Tömegvesztési folyamatait részleteiben még senki nem vizsgálta korábban.

Brit és japán kutatók augusztus elején jelentették be a μ Cephei csillagkörüli felhőjének legelső detektálását, amihez a Hawaii-szigeteken található $8,2$ m-es Subaru teleszkóp infravörös kameráját használták. A $24,5$ mikrométeres hullámhosszon diffrakciólimitált ($0,6$ ívmásodperces) felbontású képeken legalább 6 ívmásodperc kiterjedésű porfelhőt fedeztek fel. Ez a csil-

lagnál távolabb nagyjából körszimmetriát követ, közelebb a csillaghoz viszont tengelyszimmetriára utalóan elnyúltá válik. A legbelső tartományban nagyjából elliptikus a köd sugárzása, $1,4$ ívmásodperces félkistengellyel és $2,2$ ívmásodperces félnagyitengellyel. Hogy nem műszereffektus okozta a hőszugárzás szóródását a μ Cep körül, egy másik csillag, az Aldebaran képevel tesztelték. Mindkét esetben a Davida kisbolygó szolgáltatta a pontszerű objektum tesztképét, amivel modellezve a μ Cep és az Aldebaran csillagának fényességeloszlását a távcső fókuszában, meghatározhatóvá vált az égitestek körüli extra sugárzás pontos eloszlása. Mint az a mellékelt ábrán látható, az Aldebaran esetében semmilyen struktúra nincs, a μ Cep körül pedig feltűnik a halvány köd.



A μ Cep és az Aldebaran körüli infravörös sugárzás eloszlása. Az Aldebaran esetében a pontszerű csillag körül nem mutatható ki semmilyen többlet. A középen látszó szürke kör a műszer diffrakcióhatárolt felbontását illusztrálja

A képek mellett a kutatók modellezték a μ Cep spektrális energiaeloszlását, amiből meghatározták a tömegvesztés sebességét és megbecsülték a detektált struktúra korát. Eredményeik alapján néhány tízmilliomod naptömeg/év sebességgel csökken a μ Cep tömege, az észlelt köd pedig nagyjából ezer éves lehet. A középen elliptikus poreloszlás pedig alátámasztja, hogy a nagy tömegű csillagok és II-es típusú szupernóvák körül észlelt aszimmetrikus anyagfelhők legalább részben a vörös szuperóriás fázisban keletkezhetnek.

De Wit és munkatársai, arXiv: 09/0808.1341 (ApJ Letters)

Milyen csillagok robbannak fel Ia típusú szupernóvaként?

Az Ia típusú szupernóvak az Univerzum legnagyobb energiafelszabadulással járó jelenségei közé tartoznak. Az immáron klaszikus értelmezés szerint ezek a csillagok olyan szén-oxigén fehér törpék robbanásai, amelyek külső forrásból származó tömegbefogás révén átlépik a kb. 1,4 naptömegnyi Chandrasekhar-határt. Erre utal a felszabadult teljes energia mennyisége (összhangban áll a szén és oxigén vassá való átalakításával), a maximumbeli spektrum hidrogénhiánya (olyan égitest robban, ami már elvesztette hidrogénburkát), a fénygörbe alakja (a szén-oxigén \rightarrow vas reakcióiban termelt radioaktív anyagok bomlásával jó összhangban áll), illetve az idős (nagyjából 10 milliárd éves) csillagpopulációkban megfigyelt Ia szupernóvak léte (ezek kora kistömegű csillagok robbanására utal, amire a fehér törpék összeomlása az egyetlen lehetőség).

A jelenség főbb tulajdonságaira vonatkozó szakmai konszenzus ellenére az Ia-robbanást átélő csillagok pontos természete meglehetősen bizonytalanul ismert. A szakirodalomban megtalálható modellek többsége két nagy csoportra osztható. Az ún. egyszerűen degenerált modellekben egy „normális” fehér törpe növeli tömegét szoros kettőscsillagban lejátszódó tömegátadási folyamatok révén. A kétszeresen degenerált modellekben két fehér törpe összeolvadása vezet szupernóva-robbanáshoz (a „degenerált” jelző a fehér törpék elfajult elektrongáz által fenntartott belső szerkezetére utal). Az elmúlt évek csillagfejlődési elméletei alapján nagyon változatos evolúciós útvonalak végén jöhet létre egyszerűen vagy kétszeresen degenerált Ia szupernóva. A csillagokat már szinte egyáltalán nem termelő elliptikus galaxisokban feltűnő Ia SN-ek arra utalnak, hogy azok szülőcsillagai (progenitorai) kis tömegű, idős csillagok, összhangban az elliptikus galaxisok átlagosan igen idős csillagpopulációjával. Az utóbbi években több vizsgálat is arra utalt azonban, hogy az Ia típusú szupernóvak gyakorisága nagyobb

az erősebb csillagkeletkezést mutató galaxisokban, azaz elképzelhető, hogy szoros kapcsolat áll fenn a fiatal csillagpopulációkkal is. Mire lehet ez alapján következtetni a szülőcsillagok természetéről?

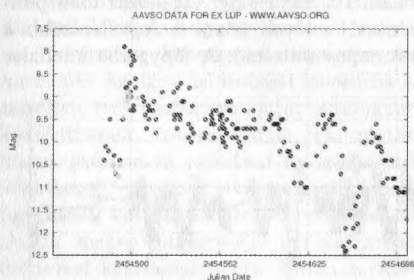
C.J. Pritchett (University of Victoria) és munkatársai ezt a kérdést vizsgálták csillagkeletkezési és fejlődési elméletekre alapozva. Számításai során megbecsülték a fehér törpék keletkezési gyakoriságát különböző eloszlású csillagpopulációkból álló modellgalaxisokban. Ezek után néhány egyszerű feltevessel élve a fehér törpéket tartalmazó kettős rendszerek eloszlásáról, kiszámították a fehér törpék Ia szupernóvává való átalakításának hatékonyságát változatos korú és összetételű populációkra. Meglepetéremélynnyel kaptak: a populációk korától és csillagkeletkezési előtörténetétől jó közelítéssel függetlenül mindig a fehér törpék kb. 1%-a végzi szupernóvaként. Az észlelési adatokból látszó korreláció a csillagkeletkezési rátával azzal magyarázható, hogy egy pillanatszerűen hirtelen keletkező csillagpopulációban a fehér törpékké fejlődő csillagok aránya időben csökkenő ütemű, így a szupernóvak gyakorisága is időfüggő lesz. A kutatók szerint egyszerűen degenerált modellekkel nem reprodukálható az Ia szupernóvak megfigyelt gyakorisága, így legfontosabb következtetésük az, hogy a természetben több módon is keletkeznek Ia típusú szupernóvak. Ennek folyománya, hogy kozmikus távolságmérésre való alkalmazhatóságuk az általában feltételezettnél nagyobb bizonytalansággal terhelt.

C.J. Pritchett és mtsai, ApJ Letters, 2008. augusztus 10.

SN 2007ax

A Chandrasekhar-féle határtömeget átlépő fehér törpék összeomlásával kialakuló Ia típusú szupernóvak kozmikus távolságmérésben betöltött szerepét az alapozza meg, hogy első közelítésben mindegyik robbanás hasonló feltételek között játszódik le. Emiatt abszolút fényességük hasonló, azaz a lát-

ismétlődő jelleggel. Az EX Lupi minimumában 13 magnitúdó körüli, míg kitérései 1–4 magnitúdós felfényesedésekként jelentkeznek. Legutóbbi kitérését Albert Jones új-zélandi amatőr fedezte fel 2008. január 15-én, s a csillag ideai aktivitása minden korábbinál fényesebb maximumot eredményezett. Január végén, február elején 8 magnitúdónál tetőzött a fényessége, majd lassú halványodás következett. Jelen sorok írásakor (augusztus közepe) még mindig nem tért vissza nyugalmi állapotába, a fénygörbét hirtelen felfénylések és elhalványodások urálják.



Az EX Lupi 2008-as fénygörbéje az AAVSO adatai alapján

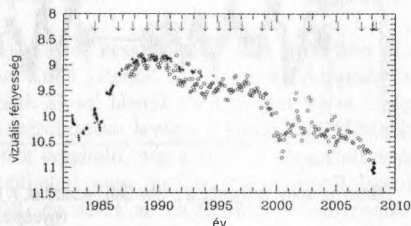
Kóspál Ágnes (MTA KTM CSKI) és munkatársai spektroszkópiai méréseket végeztek január–február során a Florida Institute of Technology 80 cm-es távcsövével. A kifelbontású optikai színeképeket számtalan éles emissziós vonal uralta, a hidrogén mellett a vas, titán és magnézium emisszióival. Érdekes, hogy a korábbi kitérésekhez képest ezúttal teljesen hiányoztak a hélium vonalai, a fémvonalak pedig soha nem látott erősséggel jelentkeztek. Mindez igazolja a hirtelen megnőtt külső akkréció jelenlétét. A csillagra rázúduló külső anyag gravitációs helyzeti energiája átalakul hőenergiává, ami a felfényesedést közvetlenül kiváltó ok.

*Kóspál Á. és munkatársai, 2008,
IBVS No. 5819*

Az R127 három évtizedes kitérése

A fényes kék változók (luminous blue variables, LBV) az 50 naptömegnél nagyobb

kezdeti tömegű hiperóriás csillagok kritikus fejlődési fázisát reprezentálják, amely során az égitestek nagy mennyiségű tömeget veszhetnek asztrofizikai „gejzirekként” kitérve, s a robbanásszerű eseményekkel tarkított fázis végén átalakulnak Wolf–Rayet-csillagokká. Noha a kitérések pontos fizikai magyarázata nem ismert, nagy valószínűséggel az Eddington-féle határluminozitáshoz lehet köztük (ez az a luminozitás, amelynél a csillag sugárnyomása képes felülmúlni a saját gravitációs vonzását). Legismertebb képviselőjük a Tejútrendszerben az η Carinae, a Nagy Magellán-felhőben pedig az S Doradus, mindkettő 50–100 naptömegű hiperóriás csillag, évtizedes időskálán látványos fényváltozással (a jelenleg 5 magnitúdó körüli η Car az 1840-es években majdnem -1 magnitúdós fényességgel az ég második legfényesebb csillaga volt).



Az R127 vizuális, V és y szűrős fénygörbéje 1982 és 2008 között

A Radcliffe (R)127 jelzésű csillag fényes LBV a Nagy Magellán-felhőben, melynek nagy kitérését 1982-ben fedezték fel. A nyugalmi állapotában 11–12 magnitúdós csillag az 1980-as évek végére valamivel 9 magnitúdó fölött tetőzött, amivel a Nagy Magellán-felhő egyik legfényesebb csillagává vált. N. R. Walborn (STScI) és munkatársai az Astrophysical Journal Letters augusztus 10-i számában arról számoltak be, hogy a harmadik évtizedét taposó kitérés az elmúlt egy évben a „kifulladás” jeleit mutatja, és várható, hogy a csillag visszatér normális nyugalmi állapotába. Ez pedig azért fontos, mert érzékeny műszerekkel nyomon követhetjük egy LBV nagy kitérésének lezárulását, amivel remélhetőleg betekintést nyer-

hetünk az intenzív tömegledobást kiváltó fizikai mechanizmus részleteibe.

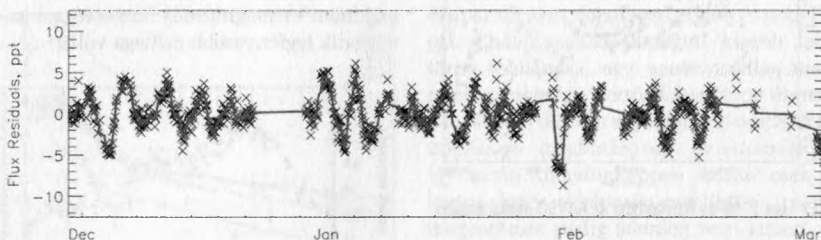
N.R. Walborn és munkatársai, ApJ Letters, 2008. augusztus 10.

A β Ursae Minoris oszcillációi

A 2,2 magnitúdós β UMi (Kochab) az egyik legközelebbi K színképtípusú óriáscsillag (mint pl. az Arcturus vagy az α UMa), távolsága mindössze 130 fényév. A feltételezett változócsillagok katalógusában már évtizedek óta szerepel, de olyan pontos mérések soha nem születtek még, amelyek alapján periódusa(i) és amplitúdója biztosan ismerhető lenne.

és munkatásai a β UMi adatsorát vizsgálták meg konvektív (Nap típusú) rezgések kimutatása céljából. A Naptól közel 500-szor nagyobb luminozitású β UMi esetében több napos periódusoknál várhatók a konvektív mozgások által berezgetett csillag oszcillációi, amit földfelszíni mérés technikával kimutatni lényegében reménytelen feladat. Az űrből, több éven át folyamatos mintavételezéssel viszont már van remény a pulzációk kimutatására.

Mint azt a mellékelt fénygörbe jól mutatja, a kutatók sikerrel jártak. A β UMi éves műszereffektusokra korrigált teljes fényváltozása kb. $\pm 0,5\%$ -nyi ingadozás több periódussal, melyek közül a legjellemzőbb a 4,6 napos pulzáció. A fénygörbe analízise



Három hónapnyi fénygörbe a β UMi SMEI-adataiból. A függőleges tengelyen a fluxus változásai vannak ezredrésnyi egységekben feltüntetve

A Coriolis műhold SMEI műszerét egyáltalán nem változócsillagászati kutatásokra találták ki, fő célja ugyanis a Naptól származó koronakitörések gázanyagának követeése közvetlen képalkotással. Ehhez három kamera készit folyamatosan CCD kamerával rögzített fotókat a teljes égről, amelyeken így sok ezer csillag képe is rögzül. Az elmúlt kb. egy évben több kutatócsoport is elkezdte használni ezeket az adatokat fényes csillagok fotometriai vizsgálataira. A már több mint ezer napja működő műhold nagyjából a szabadszemes fényességű csillagokra szolgáltat a fényességtől függően ezred-század magnitúdós pontosságú adatokat kb. 100 perces időközönkénti folyamatos adatfelvétellel, ami számtalan tudományos problémához tökéletes adatsort biztosít.

N.J. Tarrant (University of Birmingham)

több rezgési módus egyidejű gerjesztettségére utal, asztroszeizmológiai megfontolások pedig $1,3 \pm 0,3 M_{\odot}$ tömegre vezetnek. A módusok élettartama kb. 3 hét, azaz nagyjából ennyi idő után csillapodnak le a konvektív „bugyogás” által kiváltott rezgések, hogy átadják helyüket újabb pulzációknak, nagyon hasonló periódusokkal.

N.J. Tarrant és munkatársai, 2008, A&A, 483, L43

Összeállította: Kiss László és Székely Péter

További változócsillagászati hírek olvashatók a Magyar Csillagászati Egyesület hírportálján: hitek.csillagaszat.hu