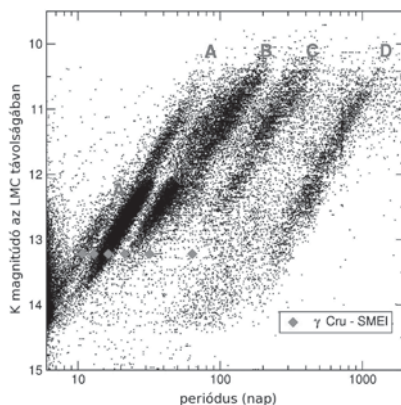


Távolságmérés vörös óriáscsillagokkal I.

Az elmúlt tíz évben gyökeresen átalakult a hosszuperiódusú pulzáló vörös óriáscsillagokról alkotott kép. Korábban a tankönyvek és szakcikkek többsége azt a több évtizedes múltra visszatekintő képet adta át, amelyben vannak a nagy amplitúdójú és viszonylag szabályos fénygörbéjű mirák, illetve a sokkal kisebb fényváltozási tartományt bejáró félszabályos (szemireguláris, SR) változók, melyek fénygörbéjét nehéz, vagy akár lehetetlen pontosan értelmezni, annyira szabálytalan az adatsorok lefutása. Emellett szokás volt még megemlíteni a szabálytalan (L) változókat is, melyekről lényegében semmit nem tudtunk, azon kívül, hogy változnak és nagyon kicsi, akár csak pár század magnitúdós az amplitúdójuk. A bonyolultabb fénygörbék értelmezésével kevesen foglalkoztak, a változékonyság és csillagparaméterek közötti összefüggések nagyrészt felderítetlenek maradtak.

Ez változott meg alapjaiban az ezredfordulón, amikor a gravitációs mikrolencsék-re vadászó programok ezerszám kímérték a mirá, SR és L típusú csillagok fénygörbéit a Kis és Nagy Magellán-felhőben. A Tejútrendszer közeli kísérőgalaxisait éveket át folyamatosan mérő MACHO, OGLE és EROS programok túlzás nélkül forradalmasították a változócsillagászatot, hiszen az azonos távolságra lévő nagy csillagminták azonnal kirajolták például a különböző típusú csillagok periódus-fényesség-relációit (PL-reláció), illetve azok finomstruktúráit, amit a több rezgési módusban pulzáló csillagok követnek. Így derült ki közel száz évvel a klasszikus cefeidák, illetve jó húsz évvel a mirák PL-relációjának felfedezése után, hogy a félszabályos és L típusú csillagok is valószínűleg főként azért olyan bonyolult (és/vagy kisamplitúdójú) fénygörbéjűek, mert változásaikért több rezgési állapot egyidejű gerjesztettsége felel. Ezen állapotok mindegyike követ valamilyen PL-relációt, s tapasztalatok

szerint a legélesebb elkülönítést a periódus és az infravörös K sávban mérhető fényesség közötti összefüggés teszi lehetővé. A 2,2 mikronos hullámhosszon mérhető fényesség minimálisan érzékeny a csillagközi anyagban fellépő fényelnyelésre (magnitúdóban kifejezve nagyjából tízszer kisebb halványodást mutathatunk ki a K sávban az optikai V sávhoz képest), így az abszolút fényesség és a látszó fényesség kapcsolatát leíró összefüggésben lényegében csak a távolság marad paraméterként. Azaz ha meg tudjuk határozni pusztán a fénygörbe alapján, hogy mely PL-reláció(k) érvényes(ek) egy adott pulzáló vörös óriáscsillagra, akkor a távolságát viszonylag pontosan ki lehet számítani.



Periódus-fényesség-relációk a Nagy Magellán-felhő (LMC) vörös óriás változócsillagaira, illetve a gamma Crucis helyzete a SMEI műhold adataiból származó periódusok, valamint a Hipparcos-távolság alapján

Továbbra is nyitott kérdés volt azonban, hogy a Magellán-felhőkben tapasztalt PL-relációk mennyiben alkalmazhatók más galaxisok, például akár a Tejútrendszer más átlagos kémiai összetételű csillagaira. Másrészt miért nem ismertük fel korábban a félszabályos változók PL-relációit? Esetleg

a közeli változók nem követik azt a bonyolult struktúrát a periódus-abszolút fényesség síkon, mint a Nagy Magellán-felhő csillagai? A MACHO és OGLE projektek tapasztalatai alapján a meggyőző válaszokhoz el kell végezni nagyon sok, PL-relációtól függetlenül is ismert távolságú vörös óriáscsillag homogén és hosszú távú fotometriai mérését, majd a periódusok meghatározását követően fel kell pötytyözni a kirajzolódó periódus-fényesség-relációkat.

Jelen cikkben egy olyan projekt első eredményeit mutatjuk be, amelyet a fenti gondolatmenet inspirált és a közel hat évig futó megfigyeléseket két nagyon lelkes amatőr-csillagász végezte. A program részleteit és a közvetlen eredményeket itt mutatjuk be, a periódus-fényesség-relációkkal kapcsolatos megfontolásokat a második részben fogjuk tárgyalni.

A program – személyes megjegyzések

Még 2003-ban történt, hogy a University of Sydney munkatársaként megkeresett Terry Moon, az ausztrál védelmi minisztérium (titkos) kutatási feladatokkal foglalkozó munkatársa, aki egyébként az 1980-as években asztrofizika doktori fokozatot szerzett delta Scuti típusú csillagok vizsgálataiból, majd családot alapítva és a dél-ausztráliai Adelaide-ben meglepedve kénytelen volt feladni a tudományos karrierjét. Jó két évtizeddel később esti szórakozásként elkezdett fényes változócsillagokat fotometrálni a kis kerti obszervatóriumából, aminek a fő műszere egy mindössze 10 cm-es óragépes refraktor, egy Optec fotoelektromos fotométerrel felszerelve. Első elektronikus leveleiben jelezte, hogy szeretne fényes vörös óriáscsillagokat mérni, mert ő úgy látja, hogy ez az a terület, ahol mind a mai napig hasznos tevékenységet lehet amatőrként is folytatni (érdemes megjegyezni, hogy Terry jelenleg is fotoelektromos fotometriával foglalkozó amatőrnek tekinti magát). Ekkor vetettük fel Tim Beddinggel közösen, hogy a déli ég fényes, azaz közeli és lényegében teljesen ismeretlen fényváltozású csillagait kéne mérnie, amibe

beleegyezve Terry meg is kezdte a méréseket, több mint 30 csillag minél gyakrabban megismételt fotometriai észlelését.

Szerencsés véletlenként egy másik ausztrál amatőr, a Canberra peremén élő Vello Tabur is megkeresett minket szakmai tanácsokért ugyanebben az évben. Ő jól fizetett számítástechnikusként üstökös- és növőfelfedezőként lehet ismert a magyar amatőrök előtt is, ám belső késztetése nem csak ebbe az irányba hatottak. Vello Tabur célja az volt, hogy középkorú amatőrként és családapaként felfrissítse kicsit az életét egy tudományos fokozat szerzésével, amihez (szerencsénkre) úgy döntött, hogy levelező PhD-hallgatóként jelentkezik a University of Sydney doktori képzésére. Vello addigra nagyon impresszív automata égboltfigyelő rendszert épített a kertjében, ami egy viszonylag nagy látómezejű teleobjektívvel és egy CCD-kamerával képes megörökíteni az éppen látszó ég igen nagy hányadát egy éjszaka alatt. Ő ezzel a rendszerrel üstökösöket és nóvákat keresett, ám gyorsan felismerte, hogy az észlelési idő túlnyomó része elvész, ha nincs felfedezés és nem csinál semmi mást a képekkel. Éppen ezért olyan megfigyelési programot kért tőlünk, amivel maximalizálhatja az észlelésre fordított idő tudományos hasznát. Ennek nyomán javasoltuk neki az összes, délről látszó és adott pontosságú távolságadattal bíró, változóként ismert M óriást programcsillagként, amit Vello nagy örömmel el is fogadott. Az általa észlelt 250 csillagból 23-at Terry Moon is mért, így nem csak periódusokat tudtunk meghatározni, hanem össze is vethettük a kétféle mérés technikát ugyanazokon a csillagokon.

A programba egy kakukktojás is bekerült. Még 2006-ban történt, hogy az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézetbe tett látogatásom során Szeidl Béla, az intézet egykori igazgatója felkínálta számomra elemzésre a VZ Cam északi félszabályos változó fotometriai adatait, amelyek az 1960-as és 70-es években készültek a svábhegyi 60 cm-es távcsővel és fotoelektromos fotométerrel. Mivel a csillagról 4%-os pontosságú távolság is ismert, a fénygörbe periódusait pedig még

soha senki nem vizsgálata korábban, logikus lépés volt a nagy déli mintához való hozzáfűzés. Ezzel alakult ki a téves színekosztályú csillagok kizárása után összesen 261 vörös óriásból álló listánk, ami ebben a témában a valaha elemzett legnagyobb galaktikus vörösóriás-minta. Fontos megjegyezni, hogy mira típusú csillag nincs benne, mivel azok változásait nagyságrendekkel jobban ismerjük, mint a kisamplitúdójú társakét.

Közeli óriások – előnyök és hátrányok

De miért volt egyáltalán szükség a fényes változók fotometriai méréseire? Jól ismert, hogy a Hipparcos műhold Tycho műszere fényességeket is mért, miért nem lehet azokból megállapítani a periódusokat? A válasz egyszerű: a Tycho-katalógusban szereplő fénygörbék nagyon speciális mintavételezésűek, hosszú ürökkel szabdaltságot tartalmaznak, s még a legjobban észlelt csillagokról is alig 100–200 pont készült. Emiatt mindenképpen szükséges volt új és minél „jobb” lefedettségű mérésekre.

Másik kérdés: miért nem jők erre az AAVSO által gyűjtött, a legutóbbi időig szinte kizárólag vizuális módszerrel készült észlelések? A válasz erre az, hogy habár a Tycho mindegyik programcsillagunkra kimutatta vagy éppen felfedezte a változásokat, azaz jó évtizede ismertek voltak változócsillagokként, nagyon kevés fényességbecslés készült amatőrök által, azok pontossága pedig összevethető volt legtöbbször teljes változékonyságával. Márpedig tízed magnitúdós pontosságú fotometria század magnitúdós amplitúdók mellett nagyon korlátozott felhasználhatóságú adatokat eredményez...

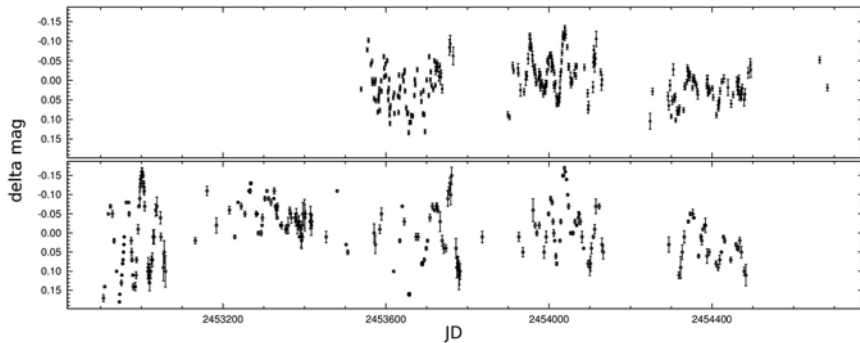
További szempont, ami részben előny, részben hátrány, hogy az ismert távolságú, azaz közeli, maximum néhány száz parszéken belüli változók pontosan emiatt nagyon fényesek. Programunkban sok görögbetűs nevű csillag is szerepelt, pl. γ Cru, β Gru, η Scl, ψ Phe, γ Ret, σ Vir stb. Ezekről a profi obszervatóriumok nagyműszereivel nagyon nehéz lenne pontos fotometriát végezni, annyira könnyen telítésbe viszik a fotom-

etriai detektorokat (legtöbbjük pl. még az ASAS adatbázisában sem szerepel, annyira fényesek). Pontosan emiatt Terry Moon 10 cm-es távcsöve ideális műszernek bizonyult a legfényesebb változókhoz, míg Vello Tabur CCD-s méréseihez sokszor defokuszálni kellett az optikát, megelőzendő a pixelek beégését.

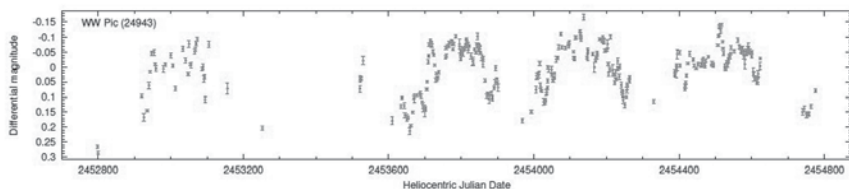
Automata obszervatórium – házilag

Érdemes pár szóban kitérni Vello Tabur házi obszervatóriumára, mivel félelmetes hatékonyságú rendszert épített ki az ausztrál észlelő. A fénygyűjtő elem egy 77 mm-es belépő nyílású 80–200 mm-es $f/2,8$ -as ED teleobjektív, aminek a fókuszíkjában egy SBIG ST8-XE CCD gyűjti a fényt. Mindez egy léptetőmotoros Losmandy G-11 német szerelésű mechanikán, pontosabban az arra szerelt Schmidt–Cassegrain-tubus hátán kapott helyet. A letolható tetejű épület a déli szélesség 35. fokán található, Canberra egyik peremkerületi negyedében, s összesen egy üstökös és két nóva felfedezése történt innen (a másik Tabur-üstökös vizuális felfedezés volt más helyszínről).

Vello nem tagadhatta le számítástechnikai virtuozitását: az évek során teljes mértékben automatizálta a mérőrendszert, a kinyitástól a becukásig minden lépést önállóan elvégezgetve a számítógépezérlésű eszközzel, beleértve az optimális észlelési sorrend kialakítását, az obszervatórium légtérbe benyúló villanydrótok elkerülését és az adatok teljesen automatikus feldolgozását. A kalibrált CCD-képek fotometriáját saját fejlesztésű szoftverekkel végzi, nemcsak sima apertúra-fotometriával, hanem önállóan megvalósított képlevonásos fotometriával is. Utóbbi a sűrű csillagmezők fényességmérési nehézségeit oldja meg, ami pl. a Tejút síkjához közel még fényes csillagokra is szükséges lehet. A programrendszere teljes visszacsatolást lehetővé tesz a nyers adatokhoz, a vizualizáció része például a kilógó fénygörbepontok azonnali ellenőrzésének lehetősége az egy klikkintéssel elővarázsolható nyers felvétel megtekintésével.



A β Gru fénygörbéje Vello Tabur CCD-s (felül) és Terry Moon fotoelektromos (alul) mérései alapján

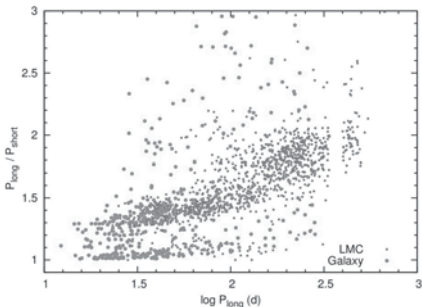


A WW Pic az ún. hosszú másodperiódusos csillagok legújabb képviselője, amely 36 napos pulzációt és 370 napos másodperiódust mutat

Első eredmények: fénygörbék, periódusok

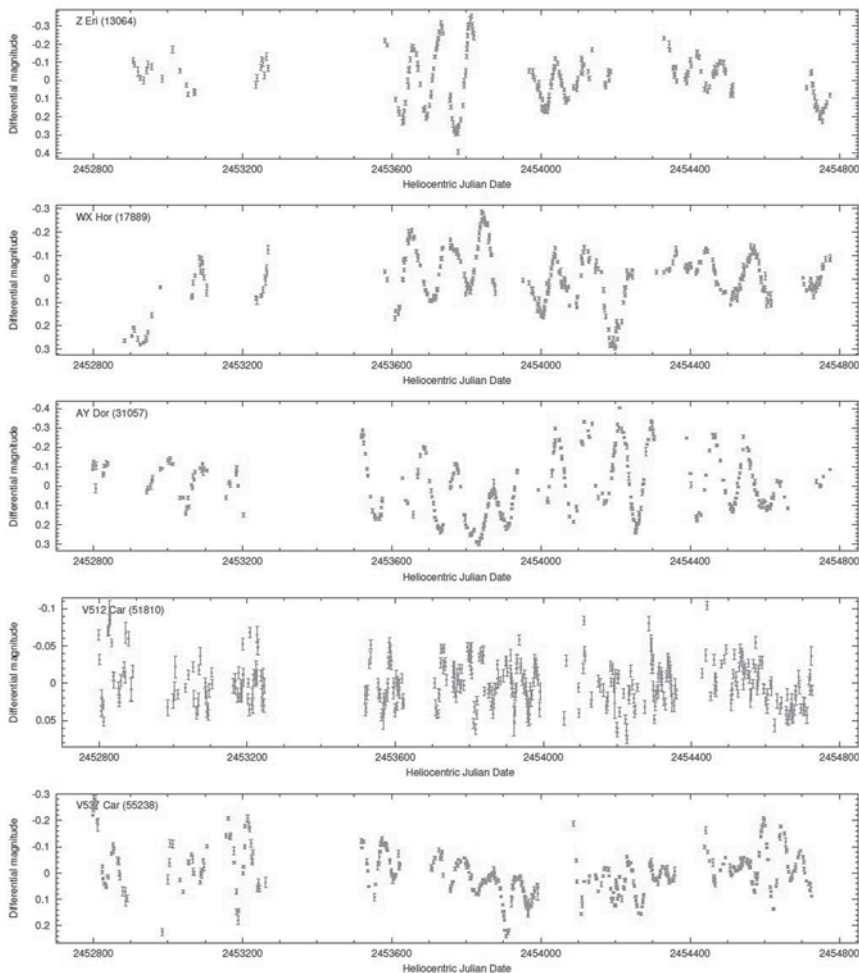
A jó öt és fél évig futó megfigyelési program látványos eredményekkel szolgált, melyek részletes analízise jelenleg is zajlik (Vello doktori értekezésének részeként). Átlagosan kb. 300 pontból álló fénygörbéket sikerült fölvenni a szinte pontosan 2000 napon átvélt mérésekkel, s az adatok átlagos pontossága 0,01–0,02 magnitúdó körüli. Terry Moon fotoelektromos V szűrős és Vello Tabur nagy gondnal kalibrált szűrő nélküli észlelései nagyon jó összhangban állnak ugyanazokra a csillagokra, ami biztató a csak Vello által gyűjtött adatokra vonatkozóan. Mellékelt görbéink csak a jéghegy csúcsát mutatják be, remélhetőleg mindenki számára meggyőző módon az adatok minőségéről (ezúttal tényleg véletlenszerű volt a válogatás, nem a legjobb adatok lettek kiválasztva...).

A teljes mintából 247 csillagra tudtunk periodicitást kimutatni, legalább egy periódust meghatározni, illetve jellemezni a fényváltozást. A programcsillagok 87%-a



Vörös változók perióduspárjainak periódus–periódusarány eloszlása a Nagy Magellán-felhőben (kis pontok) és a Tejútrendszerben (nagy pontok)

többszörös periodicitású, ahol a periódusok arányai pontosan ugyanolyan eloszlásúak, mint amit a MACHO adatai szolgáltattak a Nagy Magellán-felhő vörös óriásaira. Sok esetben találtunk 1,1 körüli arányokat, ami vagy egymáshoz közeli frekvenciájú módusokra, vagy amplitúdó és/vagy fázismoduláció eredményeként fellépő műtermékekre utal. A legtöbb csillagnál 1,7–2,1 közötti az



Öt déli félszabályos csillag változásai Vello Tabur méréseinek tükrében

arány, míg néhány esetben találtunk 1:10 körüli viszonyokat, ami a jellegzetes hosszú másodikperiódus jelenségére utal. Utóbbiak közül a legérdekesebb csillag a WW Pic (l. a fénygörbét), amelynél alig 370 nap a másodikperiódus, a normális pulzáció pedig mindössze 36 napos átlagos ciklushosszal zajlik. Az LMC-beli periódusarányokkal való összevetést az alábbi diagram mutatja, ahol a kis pontok az LMC, a nagyobb körök a

galaktikus mintát jelzik.

Ez az összevetés az LMC csillagaival azért is érdekes, mert a vizsgált csillagok távolságtól függetlenül, azaz ténylegesen lehetővé teszik a pulzációs sajátosságok hasonlóságának kimutatását (szemben pl. a PL-relációk összevetésével, ami igényli a különböző csillagok távolságait az abszolút fényességek megfeleltetéséhez). Az eddig bemutatott eredmények magukban is azt sugallják (ami-

ben egyébként nincs sok meglepetés), hogy a Tejútrendszer vörös óriáscsillagai ugyanúgy viselkednek, mint az átlagosan kétszer fémszegényebb LMC megfelelő változói, csak éppen mindaddig nem állt rendelkezésre kellően hosszú és pontos fotometria a közeli csillagokról. Cikkünk következő részében azt fogjuk bemutatni, hogy mit látunk a Hipparcos-parallaxisokat felhasználva kiszámított abszolút fényességek és pulzációs periódu-

sok közötti kapcsolatban, illetve hogy mik a legfontosabb következtetéseink a vörös óriáscsillagokon alapuló kozmikus távolságmérésről.

Tabur V., Bedding T.R., Kiss L.L., Moon T.R., Szeidl B., Kjeldsen H.: 2009, Long-term photometry and periods for 261 nearby pulsating M giants, MNRAS, megjelenés alatt alapján:

Kiss László

Változós hírek

Nova Eridani 2009 = KT Eri

Szokatlan égterületen, messze a galaktikus fősíktól fedezték fel november 25-én az Eridanus csillagképben valaha észlelt első novát, a GCVS kutatói által néhány nappal a felfedezés után már KT Eri névre keresztelt vendégcsillagot. November 25,536 UT-kor K. Itagaki (Yamagata, Japán) 21 cm-es patrolkamerája örökítette meg az új csillag feltűnését 8,1 magnitúdós szűrő nélküli CCD-fényességnél. Egy nappal később szintén japán észlelők végezték az első spektroszkópiai méréseket, melyek egy maximum utáni hélium-neon nova emissziós vonalait mutatták. A csillag 2000-es koordinátái: RA=04^h47^m54,21^s, D=−10°10′43,1″. Mindez még nem lett volna túlzottan érdekes, ám mint kiderült, már november közepén is sokan lefényképezték a világban az akkortájt 5,6^m-nál, azaz szabadszemes fényességnél tetőzött csillagot! Legtöbb fotó a Leonida-maximumkor készült, a nem messze az Oriontól fényes csillagként ragyogó KT Eri-vel, amit azonban mindenki elszalasztott felfedezni a meteorészlelésre készített fotókon (l. még a meteoros rovat cikkét).

A csillagról tiszteletre méltó felfedezés előtti adatsorokat sikerült azonosítani. A Catalina Sky Survey képeiből pl. jó 1700 napnyi fénygörbét sikerült rekonstruálni, ami látszólag egy félszabályos változó fénygörbéjére emlékeztet. Ezzel szemben viszont a 2MASS adatbázisában szereplő közeli infravörös magnitúdók és a nyugalomban látszó optikai fényességek elég kék csillagra utalnak, ami

kizárja egy vörös óriás által dominált kettős rendszer létét. Ezt szintén alátámasztja egy 1970-es évekből származó spektrumérés, ami a Bjurakani obszervatóriumban készült és egy forró csillag emisszióit mutatja.

Jelen sorok írásakor 9 magnitúdó körül jár a KT Eri, azaz lassú halványodással csökken a fényessége. Észlelőterképét a Jelenségnap-tárban közöljük.

(AAVSO Alert Notice 413 – Ksl)

Nova Scuti 2009 = V496 Scuti

H. Nishimura (Miyawaki, Japán) japán amatőr fedezte fel két 10 s-os expozíción november 8,370 UT-kor. A Canon EOS 5D kamerát és egy 120 mm-es Minolta teleobjektívet használó amatőr képeit S. Nakano mérte ki, aki 8,8 magnitúdós fényességet becsült a Scutum idei első novájára. A csillag 2000-es koordinátái: RA=18^h43^m45,65^s, D=−7°36′41,5″. Az első spektroszkópiai méréseket D. Balam (DAO) és G. Sarty (Univ. of Saskatchewan) végezte, akik erős H-alfa emissziós vonalat detektáltak P Cygni profillal. U. Munari és munkatársai (Padova Astronomical Observatory) részletes spektrofotometriát végeztek, és nagyszámú emissziós vonalat mértek ki a Schiaparelli obszervatórium 0,6 m-es távcsövével. A színképek alapján a nova a Fe II típusba tartozik, maximumhoz közeli állapotban felfedezésekor. A V496 Scutit hazai észlelők is rendszeresen megfigyelték a felfedezést követő napokban, az IAUC 9097-es számában Sárnecky Krisztián 7,5-ös becslései jelentek meg november utolsó hetéből.

(IAUC 9093, 9097 – Ksl)