

# Változós újdonságok innen-onnan

## Visszatérő nóvák az Andromeda-ködben

A nóvarobbanások akár 20 magnitúdónyi felfényesedést okozó katalizmák fehér törpéket tartalmazó szoros kettős rendszerekben. A klasszikus kép szerint a kísérőjétől gázanyagot elszívó kompakt fehér törpe egy akkréció (tömegbefogási) korong közvetítésével folyamatosan növeli a tömegét a felszínén kialakuló hidrogén réteg képeiben. Miközben egyre nő a külső réteg tömege, a fehér törpe felszínén kialakulhatnak a termonukleáris megszaladáshoz szükséges nyomás- és hőmérsékleti viszonyok. Amikor ez bekövetkezik, robbanászerűen beindul a hidrogén fúziója, a rendszer összfényessége sok nagyságrenddel megnő gyakorlatilag percek-órák alatt, az addig felgyülemlett gázanyag jelentős része pedig lerobban a fehér törpe felszínéről. A ledobott gázhéj akár több ezer km/s sebességgel elhagyja a rendszert, maguk a csillagok viszont nagyobb változások nélkül élik át a robbanást. A tömegátadás a fehér törpe felé tovább folytatódik, az akkréció korong újra kialakul, a fehér törpe felszínén pedig ismét elkezd gyűlni az anyag. Mindennek következménye, hogy a nóvarobbanások alapvetően nem egyszer lejártszó események, hanem a tömegátadási fázis ideje alatt folyamatosan ismétlődő katalizmák.

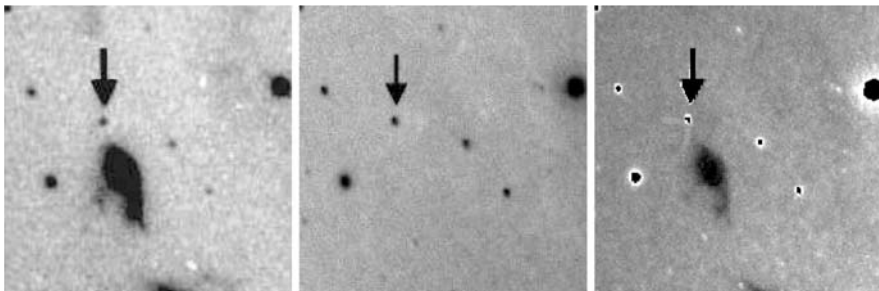
A nóvarobbanáshoz szükséges teljes anyagmennyiség, illetve a tömegátadási sebesség hányadosa első közelítésként megadja az egymást követő robbanások között várható időtartamot. Legtöbb nóvára ez a megfontolás ezertízezer évet ad. A szakirodalomban visszatérő nóvának (rekurrens nóva, RN) azokat a csillagokat nevezzük, amelyeknél a két robbanás között eltelt idő az emberi időskálára esik, de legalábbis 100 évnél rövidebb. A Tejútrendszerben bő egytucat visszatérő nóvát ismerünk, és velük kapcsolatban az az általános feltevés, hogy az ismétlődés rövid idejét legalább részben a fehér törpe viszonylag nagy, a Chandrasekhar-féle

határtömeghez közeli tömege okozza. Ebben az esetben ugyanis a fehér törpe felszíni gravitációja annyira erős, hogy a termonukleáris megszaladáshoz kisebb (pl. a földtömeg nagyságrendjébe eső) anyagmennyiség is elég, amit értelemszerűen gyorsabban összegyűjthet az 1,3–1,4 naptömegű kompakt égitest.

Amennyiben a visszatérő nóvák a Chandra-sekhar-féle határtömeghez közeli fehér törpéket tartalmaznak, azonnal adódik a kérdés, hogy vajon akkor ezek a rendszerek tekinthetők-e az Ia típusú szupernóvák (szülő égitestjeinek). Hiszen elképzelhető, hogy a nóvarobbanások ellenére is marad nettó tömegnövekedés a fehér törpében, márpedig akkor az is megtörténhet, hogy a tömegátadás egyszer csak átlenyúl a kritikus értéken, ami után már nem a felszíni réteg robban le, hanem a teljes fehér törpe összeomlik és megsemmisül egy gigászi szupernóva-robbanásban.

Utóbbi kérdés tisztázásához fontos paraméter a visszatérő nóvák gyakorisága, amiből elméleti megfontolásokon keresztül következtethetünk az Ia szupernóvák populációjához történő hozzájárulásra. Érdekes módon ezt egy közeli extragalaxisra lényegében könnyebb elvégezni, mint a saját Tejútrendszerünkre, hiszen egy Magellán-felhőt, vagy M31-et sokkal könnyebb monitorozni, mint az egész égre kiterjedő Tejutat.

A.W. Shafter és munkatársai az Andromeda-ködben 2013 végéig detektált 964 feltételezett nóvakitörést vizsgált meg rendkívül aprólékosan, a feljegyzett események koordinátaegyezései alapján a visszatérő nóvákra vadászva. Mivel a legelső felfedezések a XX. század első harmadának fotólemezein történtek, ezért a koordinátákat első körben megegyezőnek tekintették 0,1–0,15 ívpercen belüli pozíciók esetén. Ezek után a 964 kitörésből 118 robbanás maradt 51 feltételezett RN esetében, amelyeket egyesével megvizsgáltak az eredeti fotólemek digitalizált változatai, illetve a frissebb CCD-képek precíz asztrometriai összehasonlí-



Az M31N 1919-09a és 1998-06a jelzésű nóvakitörés-jelöltek az Andromeda-ködben. Balra a Carnegie-archívum 1919-es fotólemezeének szkennelt részlete, középen a Kitt Peak-i Observatórium CCD-felvétele, jobbra a két kép különbsége látható. A bal oldali kép fekete foltyja az eredeti fotólemezre tett tintajelzés

tásával. Ekkor már jellemzően 1–2"-es egyezést fogadtak el azonos csillag kitéréseként, így jutottak el végül 12 erős RN-jelölt 32 kitéréséhez, illetve további 4 db valószínűsíthető RN 8 kitéréséhez. A mellékelt ábrán egy 1919-es és egy 1998-as kitérés összehasonlítását láthatjuk, amelyek 1"-en belül pontosan megegyező koordinátán történtek.

A vizsgálat eredményei alapján az elmúlt évszázadban az Andromeda-ködben detektált nóvakitöréseknek mintegy 4%-a köthető visszatérő nóvakhoz. Ugyanakkor a visszatérő nóvak becslült felfedezési hatékonysága mindössze 10%-a a nóvakénak, azaz az Andromeda-ködben észlelt nóvakitöréseknek akár egyharmada is tartozhat olyan rendszerhez, aminek 100 évnél rövidebb az ismétlődési ideje. Noha ez meglepően soknak tűnhet, további részletes megfontolások mégis arra vezették a kutatókat, hogy a visszatérő nóvak mégsem játszanak jelentős szerepet az Ia szupernóvak előcsillagaiként. A részletek mellőzésével a lényeg annyi, hogy az Andromeda-köd becslült teljes RN-populációja kb. 600 rendszer, ami az átlagosan várható paraméterek mellett nagyjából 5000 évenként vezet egy darab Ia szupernóvához. Ezzel szemben a szupernóva-kereső programok eredményei azt sugallják, hogy egy M31-hez hasonló méretű és típusú galaxisban évszázadonként durván 1 SN Ia feltűnése várható – azaz mindössze 2%-nyi lehet a visszatérő nóvakból keletkező Ia szupernóvak hányada.

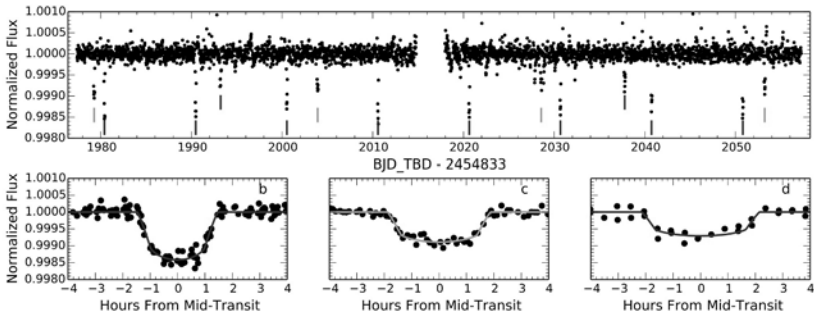
*Shafter, A.W. és mtsai, 2015, ApJS, in press, arXiv:1412.8510*

## Egy közeli vörös törpe három fedési szupernóvával: akcióban a K2

Négy évnyi sikeres működés után a Kepler-űrtávcső programja 2013-ban drámai változásokon ment keresztül. A négy kiegyensúlyozó lendkerékből a második elromló egység 2013 tavaszán az eredeti mérések lezárását okozta és több hónapnyi leállás után 2014 elején kezdődött az immáron K2-nek nevezett ekliptikai felmérés. Mint arról többször beszámoltunk, a Kepler jelenleg két lendkerék és a napszél segítségével képes kiegyensúlyozott üzemmódban 80 napnyi folyamatos méréssorozatokat, majd a Nap körüli keringés miatt lassan árnyékba kerülő napelemtáblák megkövetelik az űrtávcső elfordítását, így új látómező kiválasztását.

A K2 továbbra is az emberiség kezében jelenleg működő legpontosabb csillagászati fotométer, viszont a háromhavonta változó látómező miatt a tudományos program nagymértékben átalakult. Továbbra is az exobolygókeresés a legfontosabb cél, ugyanakkor a kutatói közösség kreativitásának függvényében immáron kisbolygóktól a kvazárrokig az asztrofizika minden területe felé nyithat a műszer (pl. magyar kutatók vezetésével sikerült elfogadtatni egy Kuiper-objektumok mérését célzó projektet is).

Az első 80 napos adatsor a közelmúltban vált publikussá, és a legelső felfedezések már meg is jelentek a szakirodalomban. A K2-program legelső többes exobolygórendszerének felfedezését I.J.M. Crossfield és



Felül: kalibrált K2 fotometria az EPIC 201367065 jelzésű vörös törpéről. Független szakaszok jelzik a három exobolygó egyedi tranzitjait. Alul: átlagos tranzitgörbék és illesztett modellgörbék (folytonos vonalak)

munkatársai jelentették be 2015. január 15-én: egy fényes (V-sávban 12,17, K-sávban 8,56 magnitúdós) M0 törpecsillag körül találtak egy hármas fedési rendszert, amelyben mindhárom exobolygó a szuperföld kategóriába tartozik (1,5–2,1 földugár közé esnek a számított bolygósugarak). A 10 és 45 nap közé eső keringési periódusokkal a három szuperföld másfélszer-tízszer akkora besugárzást kap a kis luminozitású központi csillagtól, mint a mi Földünk a Naptól. A legtávolabbi bolygó, a d jelzésű kísérő kapja a legkisebb besugárzást, ami az empirikus lakhatósági zóna belső határának közeléhez helyezi a planetát.

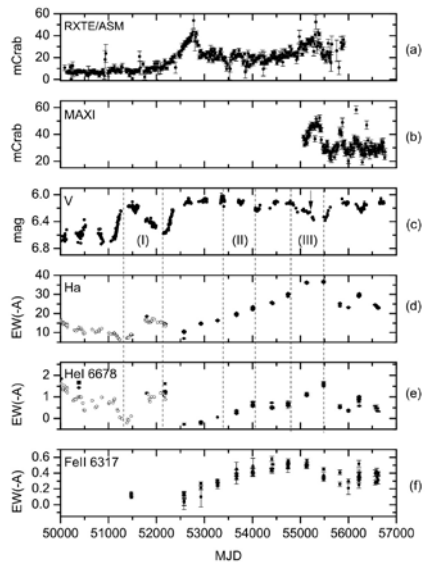
Összességében az EPIC 201367065 jelzésű vörös törpe 45 parszekes távolságával és potenciális szuper-Vénuszra, illetve szuper-Földre emlékeztető bolygóival az exobolygó-kutatás izgalmas laboratóriuma lehet, a K2 pedig már demonstrálta a Kepler-úrtávcső meghosszabbított életének izgalmas felfedezéseket lehetővé tevő képességeit.

(Crossfield, I.J.M. és mtsai, 2015, arXiv:1501.03798)

## Tizenöt év az X Persei életében

Az X Persei nem csak könnyű célpont kisebb binokulárokkal észlelő városi amatőröknek (6,1 és 6,8 magnitúdó között változik), hanem az emissziós B (Be) csillagokat és a röntgenkettősöket tanulmányozó szakemberek sokat vizsgált objektuma is. A kb. 1 kpc-re

található B0Ve színképtípusú kék csillag egy lassan forgó neutroncsillaggal alkot kettős rendszert: míg a pulzár 837 s-os periódussal forog, addig a két égitest 250 napos pályán járja körül a közös tömegközéppontot.



Az X Per többhullámhosszú mérései adatai MJD 50000 és 57000 között. Felülről lefelé: (a) az RXTE röntgenfényességei 1,5–12 keV között, 15 napos átlagok; (b) a MAXI mérései 2–20 keV között, 15 napos átlagok; (c) AAVSO V-szűrős fényességek; (d) a H-alfa vonal ekvivalens szélességei; (e) a 667,8 nm-es semleges He-vonal ekvivalens szélességei; (f) a 631,7 nm-es ionizált Fe-vonal ekvivalens szélességei

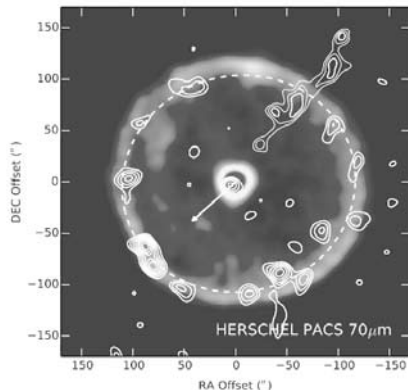
Az X Per a mindenféle hullámhosszokon mutatott fényességváltozások mellett a színképében is jelentős változásokon esik keresztül különböző időskálákon. Kínai kutatók egy friss tanulmányban (Li és mtsai. 2014) 15 évnyi optikai spektroszkópiai méréseket elemeztek, hogy feltárják a fény- és színkép-változások párhuzamosságait, majd ebből következtessenek a kettős rendszer kölcsönhatásaira. A spektrumok és az AAVSO V-szűrős mérései mellett felhasználták az RXTE műhold adatait 1996 és 2012 között, illetve a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén 2009. augusztus óta működő MAXI (Monitor of All-Sky X-ray Image) kísérlet megfigyeléseit is.

A spektrumok és a fénygörbék összevetése alapján több esetben ellentétes irányú változásokat mutattak ki a fényesség és a semleges színképvonalak erősségei között, amit a Be-csillag tömegledobásaival meg lehet magyarázni. Az ionizált vasvonala ledobott gázfelhőkben kialakuló lökéshullámokra utalhat. A röntgenadatok szintén a Be-csillag tömegvesztésével kapcsolhatók össze: amikor a lerepülő gázanyag a csillag felszínéről eljut a neutroncsillag pályájáig, egy röntgenfler jelentkezik. A kutatók a modelljeikben a neutroncsillagot a Be-csillagot övező gázfelhőben lezajló mozgások nyomjelzőjeként használták. Eredményeik alapján a cirkumsztelláris korong határa a pulzárral 2:1 rezonanciában levő távolságban húzódik.

(Li, H. és mtsai, 2014, *AJ*, 148, 113)

## Az U Hydrae burka ultraibolyában

Az U Hydrae fényes félszabályos változócsillag, 5–6 magnitúdó között hullámzik a látszó fényessége. Csillagfejlődési szempontból az aszimptotikus óriáságra (AGB) tartozó szénecsillag, azaz szénből és oxigénből álló magja körül hélium és hidrogénhéjakban történik az energia-termelés, a légkörében pedig felkeveredési folyamatok révén feldúsult a szén mennyisége. A felfúvódott AGB-csillagok jellemzően erős tömegvesztést mutatnak,

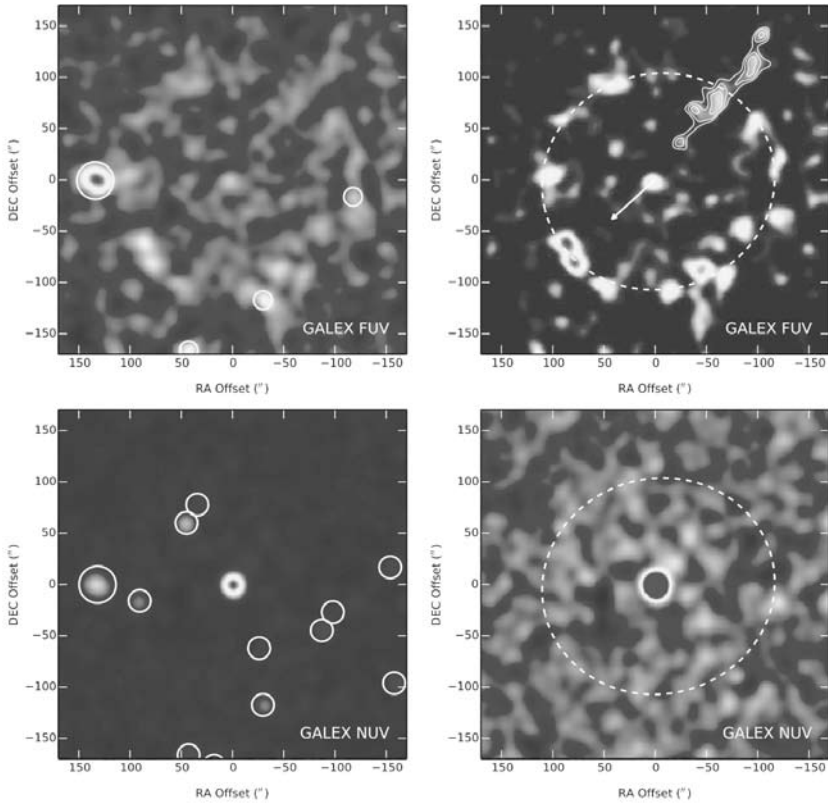


Az U Hya csillag körüli felhője a Herschel PACS kamerájával 70 mikronon (szürkeárnyalatos kép), illetve a GALEX távoli UV kontúrok (vonalakkal)

amit nagy mértékben a külső rétegek pulzációja hajt.

Az utóbbi években néhány AGB-csillag (közülük is inkább széndús égítetek) körül sikerült kimutatni leváltó porhéjakat, amelyek eredete mindmáig vitatott. Egyesek szerint kettős csillagszél-kölcsönhatást eredményező epizodikus tömegvesztési folyamatokra utalnak (amikor a folyamatos lassú csillagszélbe hirtelen „belerobban” egy hirtelen elinduló gyors csillagszél), mások szerint az energiatermelésben fellépő instabilitások, az ún. termális pulzusok idején megnövekedő tömegvesztés által okozott sűrűség-növekedéseket látjuk a csillagtól eltávolodott héjak alakjában. Mindemellett a tágabb környezettel, a csillagközi térrel való kölcsönhatás sem mindig elhanyagolható, amire szép példa a Mira körüli „üstökösöcsőva” pár évvel ezelőtti felfedezése.

E. Sanchez és munkatársai az U Hya ultraibolya képeit vizsgálta a GALEX-űrtávcső archívumában, majd összevetették a Herschel-űrtávcső 70 mikrométeres infravörös felvételeivel. A 2006 márciusában felvett távoli UV (134,4–178,6 nm) és közeli UV (177,1–283,1 nm) képeken az U Hya tisztán detektálható, míg a távoli UV tartományban kb. 110” sugarú halvány gyűrű tűnik fel. Ez szinte pontosan megegyezik az infra-



Az U Hya GALEX-képei. Balra fent a távoli UV, balra lent a közeli UV tartomány eredeti felvételei láthatók, jobbra az előtér-objektumok levonása utáni maradvány

vörös képeken látható kiterjedt porkorong külső határával, így nagy valószínűséggel fizikailag kapcsolatban álló formációkról van szó.

Az alakzat természetének kiderítéséhez a kutatók számításokat végeztek. A távoli UV-ben a központi csillagról szórt fény hatása elhanyagolható. Ugyanígy maximum 10%-nyi eredhet a csillagközi sugárzási tér szóródásából. A legvalószínűbb magyarázatot a csillag térbeli mozgásából eredő lökéshullám által gerjesztett hidrogénmolekulák szolgáltatják. Mivel az U Hya relatív sebessége viszonylag kicsi a körülötte található ritka csillagközi anyaghoz viszonyítva, nem alakulnak ki olyan

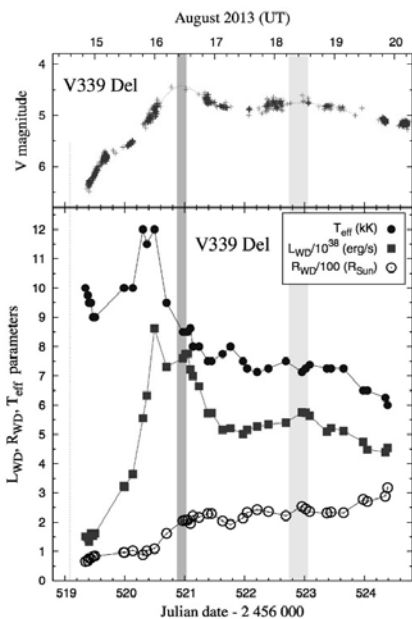
fejhullám-alakzatok, mint pl. a Mira Ceti esetében. Mindez azt jelenti, hogy az ultraibolyában sugárzó anyag forrása a csillagról származó porfelhő, azaz az infravörös mellett az ultraibolya mérések is használhatók a levált héjak keletkezési mechanizmusainak vizsgálatára.

(Sanchez, E. és mtsai, 2015, *ApJL*, 798, L39)

## A Nova Del 2013 (V339 Del) korai fejlődése

Sokáig emlékezetes marad 2013 augusztusa, amikor szabad szemmel is látható nóvát észlelhattünk a Delfin csillagképben. A Nova Delphini 2013 (végső elnevezése: V339

Del) 6,8 magnitúdós fényességénél tűnt fel Koichi Itagaki japán amatőr felvételein, 2013. augusztus 14,584 UT-kor. Maximumát 1,85 nappal később érte el  $V=4,43$  magnitúdós fényességénél, ami után lassan hullámmzó halványodás következett. Kedvező láthatóságának köszönhetően rengeteg mérés készült az elmúlt évek legfényesebb nóvarobbanásáról és túlzás nélkül állíthatjuk, hogy az amatőrcsillagászok által végzett spektroszkópiai mérések szempontjából is mérföldkő volt az objektum: itthon is, külföldön is nagyon sok műkedvelő csillagász készített spektrumokat a halványodás során.



A Nova Del 2013 maximum körüli fénygörbéje (felül) és a számított paraméterek (alul)

A. Skopal és munkatársai egy friss tanulmányban az első pár nap, ill. hét eseményeit járta körbe többszínfotometriai és egy tucat(!) amatőrcsillagászati mérőhely (privát obszervatóriumok, távészlelő műszerek, kis közösségi obszervatóriumok) adatai alapján. Vizsgálataik célja a táguló gázfelhő pszeudofotoszférájának tanulmányozása volt, különös tekintettel a luminozitásra,

sugárra és effektív hőmérsékletre (ez az a diffúz határu régió, ahonnan a folytonos sugárzás érkezik az optikailag vastag fázisban), illetve a ledobott gázfelhő szerkezetének kiderítése.

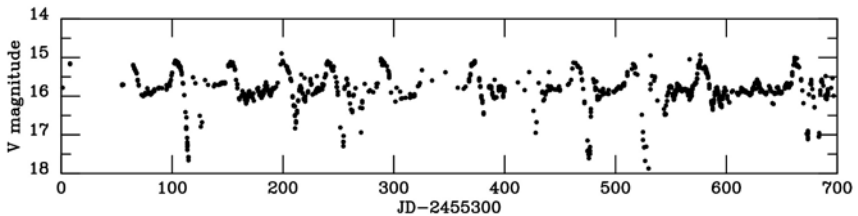
Az első öt napban a tűzgömb fázis zajlott, amikor a 6000–12000 K hőmérséklet mellett a pszeudofotoszféra 66-ról 300 napsugárra tágult, a luminozitás pedig meghaladta az Eddington-luminozitást, azaz a sugárnyomás önmagában meghaladta a tömegvonzás visszatartó hatását. A későbbiekben a H-alfa vonal változásai kettős kúpszerű ionizációs struktúrákra utaltak, azaz a ledobott gázfelhő eltért a gömbszimmetriától. Szeptember 20-án megjelentek a porra utaló első jelek, amelyek a hidrogénfelhőn túli régióból eredhettek.

Összességében az adatok az egyszerűbb elméleti jóslatoknál sokkal komplexebb viselkedést rajzoltak ki, ami mutatja a jó minőségű megfigyelések szükségességét az elméleti háttér finomításához. Az pedig különösen biztató, hogy felkészült amatőrcsillagászok hozzájárulásával komoly asztrofizikai kutatások válnak lehetővé.

(Skopal, A. és mtsai, 2014, *A&A*, 569, A112)

## Anomális Z Cam törpenóvák

A törpenóvák 4–6 magnitúdós kitéréseket mutató katalizmikus változók, amelyekben a fehér törpe főkomponenset övező akkréciós korong instabilitásai okozzák a felfényesedéseket. Az instabilitások széles körben elfogadott modellje szerint a főként hidrogénből álló korong ionizációs állapotától erősen függő belső viszkozitás vezérli a jelenségeket: a 10 ezer K alatt tisztán semleges hidrogénből álló gázanyag kicsiny viszkozitási, míg a 10 ezer K felett teljes ionizációban áteső korong viszkozitása sokszorosára nő, így a belső súrlódások miatt az átváltás állapotában az akkréciós korong összeomlik, anyaga rázúdul a fehér törpére, ezzel párhuzamosan pedig felforrósodik, a rendszer összfényessége pedig kitörésszerűen megnő (azaz itt nem játszódnak le termonukleáris folyamatok).



A V513 Cas AAVSO-fénygörbéje. Jól látható, hogy a fényállandósulások végét nem elhalványodások, hanem kitörések jelzik

A törpenóvák jól elkülönülő alosztályát jelenítik meg a Z Camelopardalis típusú csillagok (UGZ), amelyekre a kitörések maximumfényességétől 1–1,5 magnitúdóval halványabb fényállandósulások (angol szakkifejezéssel standstill-ek) jellemzők. Az elméletek szerint ilyenkor az akkréciós korong forró állapotban stabilá válik, amit az okoz, hogy a kísérőcsillagról eredő tömegátadás éppen a kritikus sebesség feletti. A kritikus érték alatt a korong visszahúlik és ismét instabil állapotba kerül, a ciklikusan ismétlődő kitörések és minimumba visszahalványodások váltakozásával. Fontos jóslat: fényállandósulás után az UGZ csillagok mindenképpen minimumba jutnak először, mert a forró és stabil korong fizikailag nem képes kitörésre.

Ezt a szép képet csúfította el néhány törpenóva a közelmúltban. Különösen az IW And és a V513 Cas esetében látványos az ellentmondás az észlelések és az elméleti jóslatok között. Mint az a mellékelt fénygörbén is látszik, a V513 Cas fényállandósulásai végét rendszeresen egy kitörés zárja, nem pedig minimumba történő elhalványodás. Újabban az ST Cha is hasonló viselkedésűnek bizonyult.

Francia csillagászok numerikus szimulációkat végeztek annak felderítésére, hogy milyen módon változó tömegátadással

lehet reprodukálni az anomális UGZ-fénygörbéket. Számításaik szerint a kísérőcsillag tömegátadási sebességét kell kitörésszerűen megnövelni néhány napig (gyors emelkedés után exponenciális csökkenés), utána pedig lecsökkenteni a kritikus érték alá, hogy a modellgörbék visszaadják az észlelt időbeli lefutást. Összesen durván  $10^{23}$  g (néhány tizedes földtömeg) tömegű gázmennyiség átadása szükséges a megfigyelések illesztéséhez. Összehasonlításképpen: a Nap mágneses aktivitása által keltett koronakitörések (CME-k) jellemzően  $10^{15}$  g tömegűek, de még a legmasszívabbak sem lépik túl a  $10^{17}$  g-t. Noha nem tudunk túl sokat a kistömegű csillagok koronakitöréseiről, az egymilliószor nagyobb gáztömegek kidobása nem tűnik túl valószínűnek analóg folyamattal. A mágneses aktivitás tömegátadásra gyakorolt hatásait nem ismerjük kellő mértékben, ahogy a forró akkréciós korong általi külső besugárzás visszahatása is lényegében ismeretlenek. Összességében a modell legalább annyi kérdést felvet, mint amennyit megválaszol, ez azonban szépen illusztrálja a tudomány általános működését. És azt is, hogy a törpenóvák világában is van még sok megoldásra váró rejtély.

(Hameury, J.-M., Lasota, J.-P., 2014, *A&A*, 569, A48)