



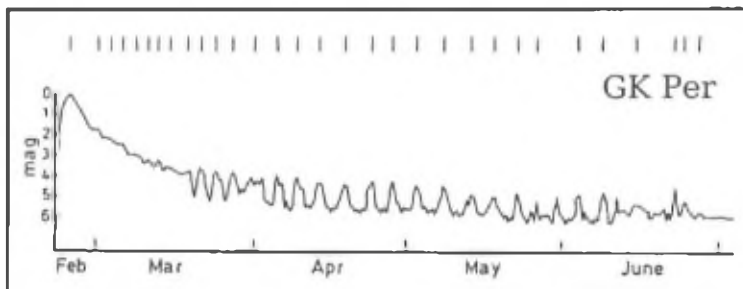
Változócsillagok

Kataklizmikus újdonságok

A kataklizmikus változócsillagok általában szoros kettős rendszerek, melyekben a kompakt főkomponens (fehér törpe, neutroncsillag, fekete lyuk) körül anyagbefogási (akkréció) korong keletkezik a közeli másodkomponenstől elszívott gázanyagból. Fényváltozásaiikat hirtelen felfényesedések, kitérések jellemzik, melyek hátterében az akkréció korong folyamatai állnak. Attól függően, hogy milyen és mennyire erős a két csillag közötti kölcsönhatás, különböző típusokba szokás sorolni ezeket az érdekes változókat, amibe azonban itt most nem érdemes jobban elmélyedni. Jelen írás célja az, hogy az amatőrök által is kedvelt kataklizmikus változókkal kapcsolatos újabb eredményekből szemezgessem.

Mi történik a gyors nóvák átmeneti fázisában?

Az 1901-ben feltűnt és év elejei maximumában $0^m,3$ -s fényességgel ragyogó Nova Per 1901 (GK Per) volt az első nóva, amelynél a maximumot követő halványodás során fénygörbe-oszcillációkat fedeztek fel. Bő száz évvel később a statisztikák azt mutatják, hogy a gyors, azaz a maximumuk utáni 3 magnitúdónyi elhalványodást 100 napnál rövidebb idő alatt elérő nóváknak kb. harmada-negyede mutatja a jelenséget. Általában 2–4 magnitúdóval a vizuális maximum után lépnek fel a fénygörbe kváziperiodikus változásai, amelyek néha kis kitérésekre, néha pedig szabályos rezgésekre emlékeztetnek. Mellékelt ábránkon a GK Per vizuális fénygörbéje látható, rajta az 1901. március közepén beindult oszcillációkkal. Később aztán eltűnnek ezek a rövid időskálájú változások – a szakirodalomban átmeneti fázisnak hívják ezt az időszakot.



A GK Per átmeneti fázisa, amikor a fénygörbén rövid időskálájú oszcillációk jelentek

Az elmúlt évtizedekben nagyon sok problémát sikerült megoldani a nóvarobbanásokkal kapcsolatban. Mára világos, hogy a kitörések oka a fehér törpe főkomponens felszínén lejátszódó termonukleáris túlfutás, azaz a kísérőtől kapott hidrogén „begyulladása” a kialakuló nagy nyomás és hőmérséklet mellett. Ez okozza a nóvakitörések akár 20 nagytípusú kitevő amplitúdóját, illetve ez áll a nagy mennyiségű gázanyag ledobódása mögött is, amit évtizedekkel a robbanás után közvetlen képfelvételekkel is meg lehet figyelni, mint a maradvány körül lassan táguló gázhéjat. Érdekes módon az átmeneti fázis mind a mai napig ellenállt az elméleti vizsgálatoknak. Ezt azon is lehet mérni, hogy a szakirodalomban hányféle elképzelés látott napvilágot a jelenség fizikai okairól.

Egyes elképzelések szerint a nóvarobbanáskor bekövetkező közösburok-fázis állhat a háttérben. Miközben lerobban az anyag a fehér törpe felszínéről, egy ideig a forró gázfelhő elnyeli mindkét csillagot, és voltak, akik a teljes kettős rendszert elnyelő forró burok rezgéseivel próbálták magyarázni a fénygörbe néhány napos időskálájú hullámzását. Ezt azonban sikerült elvetni, mivel a közösburok-fázis a modellek szerint csak pár napig tart, utána a táguló gázfelhő nagyon megritkul. Azaz az időskálák nem egyeztetethetők össze, hiszen az átmeneti fázis akár egy évig is eltarthat. Egy másik elmélet törpenóva-kitöréseknek tekintette a hullámzásokat: ha a nóvarobbanás után pár hónappal újra kialakul a fehér törpét övező akkréciós korong, akkor esetleg annak az instabilitásai előidézhetik a kis kitöréseket. Azonban kiderült, hogy ez sem működik, mivel a nóvarobbanás utáni egy-két évben még ha van is akkréciós korong, túl forró a fehér törpe környezete ahhoz, hogy törpe nóvákra emlékeztető instabilitások felléphessenek (azok jellemző hőmérséklet-tartománya 10 ezer fok körüli, míg nóvák körül sokáig százazrekben mérhető a hőmérséklet).

Sok elméletet azonban nem sikerült fizikai érvekkel megcáfolni. Egyik szerint erős fényelnyelésű porfelhők képződhetnek a nóva lerobbanó felhőjében, melyek megritkulása újbóli fényesedéshez vezet; a folyamat ismétlődésével fénygörbe-hullámzást kaphatunk. Egy másik szerint a nóváról ledobódó állandó állapotú csillagszélben keletkezhetnek rezgésszerű sűrűsödések és ritkulások. Mások a forró fehér törpe rezgéseivel próbálták magyarázni az átmeneti fázist, míg olyanok is voltak, akik a robbanás során megsemmisült akkréciós korong újbóli kialakulásában kerestek periodikus ingadozásokat (pl. imbolygó korong alakjában). Végezetül még olyan elképzelések is napvilágot láttak, amelyek a fehér törpe felszínén levő, hidrogénegető héj rezgéseivel operáltak. Ugyanis a robbanás pillanatszerűsége meglehetősen gyors: az űrbéli ultrabolygó- és röntgenműszerek mérései alapján tudjuk, hogy a hirtelen beinduló hidrogénfúzió hónapokig eltart a fehér törpe felszínén, csak éppen a látható fényben kisugárzott fotonok száma csökken, és ezért látjuk vizuálisan halványodni a nóvákat. Valójában akár egy évig is állandó lehet a teljes kisugárzott energiamennyiség.

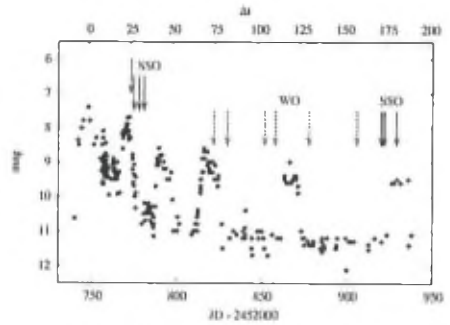
A probléma megoldatlansága jórészt arra vezethető vissza, hogy a nóvakitörések teljesen váratlanul jelentkeznek, ugyanakkor az átmeneti fázis tart, amíg tart, utána már nem ismétlődik. Éppen ezért nehéz jó minőségű megfigyelési adatokat gyűjteni a jelenségről, melyek nélkül viszont nem lehet megszorításokat tenni a különböző elméletekkel kapcsolatban.

2003. április 25-én, egymástól függetlenül két amatőrcsillagász (J. Brown és M. Yamamoto) is felfedezte a Nova Sgr 2003-mat, melynek végső elnevezése V4745 Sgr lett. A felfedezést követően kiderült, hogy több CCD-kamerás mérőprogram is megörökítette korábban, és a rekonstruált fénygörbe alapján 7^m, 4-s maximuma 2003. ápri-

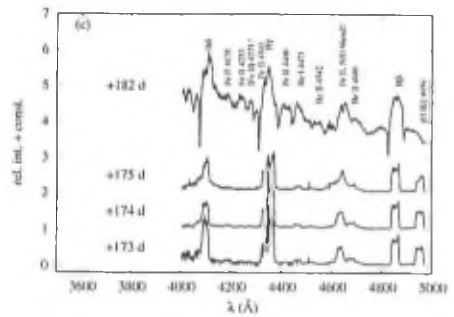
lis 18-án következett be. Pár nappal a felfedezést követően derült ki, hogy egy újabb, az átmeneti fázist is mutató gyors növőről volt szó, ugyanis akkor történt az első kis kitörés a fénygörbe leszálló ágán. A következő egy évben rendszeresen ismétlődtek a másodlagos felfénylések, így a jól fejlett átmeneti fázis kiváló lehetőséget adott a probléma új szempontból történő megvizsgálására.

Egy magyar-ausztrál-izraeli kutatócsoport tíz hónapon keresztül követte a növa spektroszkópiai változásait. 2003. május és 2004. február között összesen 15 éjszakan készültek színeképek a Siding Spring-i Observatórium 2,3 m-es és a Wise Observatórium 1 m-es távcsövével, az optikai tartományban. Következő ábránkon az akkor még aktív VSNET-ről összegyűjtött vizuális fénygörbe, illetve a kutatócsoport méréseinek éjszakai látható, utóbbiak kis nyilakkal jelölve. Jól látszik, hogy összesen három kisebb kitörést sikerült „elkapni”, 25, 75 és 180 nappal a maximum után. Ezzel egyedülálló adatsort vettek fel, ugyanis még senkinek nem sikerült spektroszkópiai úton nyomon követni az átmeneti fázis változásait, márpedig egy-egy jól időzített spektrum fénygörbék tucatjaival ér fel információ-tartalom tekintetében.

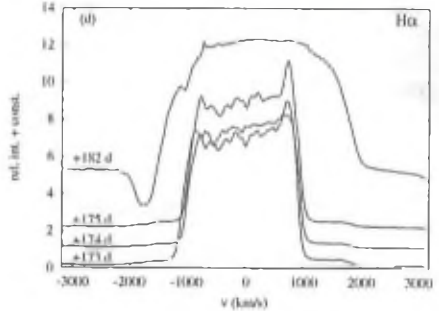
Vizsgálataik legfontosabb eredményét a következő két diagramon foglaljuk össze, mindkettő a fél évvel a maximum után bekövetkezett hatodik kis kitörés környékén mutatja a színeképben bekövetkező változásokat. Az első ábrán a kék tartomány színeképeit láthatjuk, ahol az alsó három spektrum a halvány állapotban, a legfelső pedig a kis kitörés közepén készült. Két dolgot érdemes kihangsúlyozni. Az első az erős folytonos színekép megjelenése. Az alsó három spektrumban gyakorlatilag csak a hidrogén, hélium és vas éles emissziós vonalai látszanak, ami tipikus egy kései állapotú növőnél. Forrásuk a ledobott forró gázhéj, ami hónapokkal a fő kitörés után már kiritkulva messze jár a központi csillagtól. Ezzel szemben a felső spektrumban az emissziós vonalak a rövidebb hullámhosszak felé emelkedő folyto-



A V4745 Sgr vizuális fénygörbéje és a spektrumfelvételek időpontjai



A V4745 Sgr spektrumának változásai a kék tartományban, a hatodik kis kitörés előtt és közben



A H-alfa vonal változásai ugyanakkor

nos színekre ülnek rá, ami azt jelenti, hogy megjelent egy nagyon forró és nagyon fényes fényforrás a rendszerben. A másik érdekesség, hogy a legfelső spektrumban nagyon jellegzetes a széles színekvonalak alakja: az erős emissziós vonalak bal oldalán keskeny abszorpció látszik, ami egy frissen ledobott és a látóirányban elhelyezkedő sűrű gázhéjban keletkező fényelnyelés eredménye. A kialakult vonalak a klasszikus P Cygni-profil. Ugyanezt mutatja a második ábrán bemutatott hidrogén- α vonal is: az éles emissziós vonal széles P Cygni-profilba ment át fél évvel a maximum után.

Az összes spektrum ellenőrzése azt mutatta, hogy a korábban észlelt két kis kitörés során is ugyanez történt: a fénygörbe másodlagos maximumaihoz korai növaszínképek társultak, azaz a kitörések során a színek a felfedezés után pár nappal szokásos állapotba állt vissza. Mindezt úgy lehet értelmezni, hogy a másodlagos kitörések során valódi robbanások történtek, melyek közben jelentős mennyiségű gázanyag is ledobódott. A ledobódások sebességét a P Cygni-profilból lehet mérni, hiszen a kék felé eltolódott elnyelési komponens Doppler-eltolódása éppen a ledobódás sebességében. Pl. a hatodik kis kitörés alatt az újbóli gázhéj tágulási sebessége 1800 km/s volt, míg a második kitörés még csak 1000 km/s-mal dobta ki a friss anyagot.

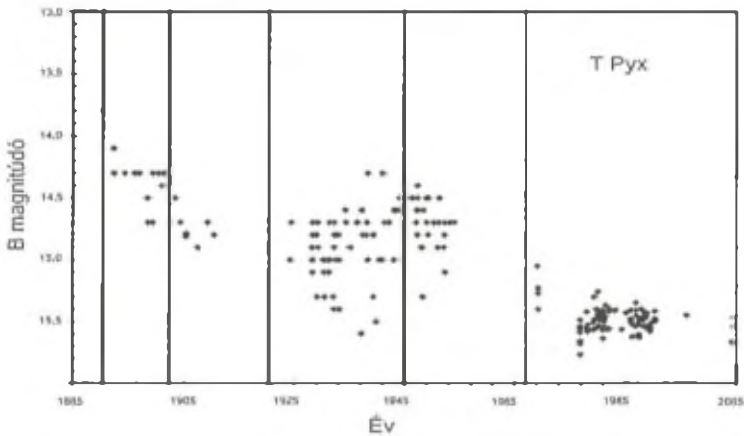
Az új megfigyelések jelentősége az átmeneti fázis fénygörbe-hullámvásáira magyarázatként felvetett elméletek fényében válik érthetővé. A fentebb részletezett elképzelések túlnyomó többsége ugyanis nem egyeztethető össze az észlelt robbanásokkal. Sem a fényelnyelő porfelhők, sem a fehér törpe rezgései, sem az újból kialakuló akkréciós korong imbolygása nem okoz hirtelen megjelenő fényes folytonos színeképet, illetve P Cygni-vonalprofil. Az állandó állapotú csillagszél elmélete sem működik, mert nincs állandó állapotú csillagszél. Éppen ellenkezőleg, az anyagledobódás szakaszosan megújul, visszaerősödik és egyre nagyobb sebességgel zajlik. Egyetlen jelenlegi elmélet illik leginkább a mérésekre, mégpedig a fehér törpe felszínén levő hidrogénégető héj rezgései. Ennek a kitágulása és összehúzódása néhány napos időskálán történik, és elképzelhető, hogy a kisebb zavarok által összenyomott héjban hirtelen megerősödhet az energiatermelés, akár lerobbanó gázfelhőt eredményezve.

Ezen eredmények fényében úgy tűnik, 104 évvel az első átmeneti fázisú nóa felfedezése után végre tisztul a kép az érdekes jelenség mechanizmusával kapcsolatban. Természetesen elképzelhető, hogy nem minden átmeneti fázist működtet ugyanaz a folyamat, az azonban bizonyos, hogy újabb ismeretekhez elsődlegesen hasonló spektroszkópiai mérésorozatokon keresztül juthatunk. (Csák B. és mtsai, 2005, *A&A*, 429, 599)

Visszatérő nókák visszatérései

A nókakitörésekre vonatkozó elméletek szerint a fehér törpe felszínén bekövetkező termonukleáris túlfutás akkor következik be, amikor a hidrogénben gazdag külső héj alján a nyomás és a hőmérséklet eléri a hidrogén-hélium fúzióhoz szükséges küszöb-szintet. A legtöbb nókára a jóslatok tízezer-százezer évente ismétlődő kitörésekről szólnak, így nehéz ellenőrizni a modellek részleteit. Jelenleg azonban tíz olyan nókát ismerünk a Tejútrendszerben, melyek az elmúlt évszázad során legalább két robbanást átéltek; ezeket hívjuk visszatérő nókáknak. A többszörös robbanások léte lehetővé teszi a nukleáris túlfutás bekövetkeztére vonatkozó elméletek finomítását, így a visszatérő nókák rendkívüli lehetőségnek adnak a teóriák tesztelésére.

Egyik fontos elméleti állítás szerint egy adott rendszerben a berobbanás feltétele két szomszédos kitérés között lényegében nem változik, ami azt jelenti, hogy a fehér törpének minden egyes túlfutáshoz ugyanannyi anyagot kell begyűjteni a társától. Ha a társ normális törpecsillag, akkor a rendszer fényességét minimumban az akkréciós korong fényessége uralja, ami viszont arányos a két csillag közötti tömegátadás sebességével (intenzívebb tömegcsera fényesebb akkréciós korongot hoz létre). A robbanás feltételét az akkréciós korong fényességével kombinálva adódik a következtetés, hogy ugyanannyi tömeg összegyűjtése nagyobb tömegátadási sebességgel hamarabb megtörténik, amihez fényesebb akkréciós korong tartozik. Másképpen szólva, ha megfigyelünk egy visszatérő nóvát legalább három kitérés során, akkor az ismétlődési idők és a rendszer minimumfényessége között fordított arányosságnak kell fennállni. Ha halványabb a rendszer minimumban, lassabban zajlik a tömegcsera, hosszabb idő alatt gyűlik össze ugyanannyi tömeg a következő kitérésig.



A T Pyx minimumfényességének változásai a harvardi fotólemez-archívum és friss CCD-s mérések alapján

B.E. Schaefer (Louisiana State University) összegyűjtötte a fenti gondolatmenet tesztelésére legalkalmasabb két visszatérő nóva, a T Pyx és az U Sco százszáznegyven évre visszanyúló minimumészleléseit, hogy összevesse a visszatérési idők és a minimumfényesség összefüggését. A T Pyx ötször tört ki az elmúlt 115 évben (1890, 1902, 1920, 1944, 1966/67), mindannyiszor 7^m körüli maximummal. Három magnitúdónyi elhalványodáshoz 88 napra volt szüksége minden kitérésben, minimumfényessége pedig $14^m,0$ – $15^m,5$ között ingadozott (l. fénygörbe). Az U Sco még a T Pyx-nél is aktívabb: 140 év alatt 9 kitérést észleltek (1863, 1906, 1917, 1936, 1945, 1969, 1979, 1987, 1999), de ekliptikai helyzete miatt néhány kitérése el is vesztetett (1927 és 1957 körül). Mivel nagyon gyorsan halványodik minden kitérésében (3 magnitúdót öt nap alatt), ill. a Nap alig 4 fokra halad el tőle, száz év alatt átlagosan két kitérés következhetett be az évszakos láthatósági szünetekben.

A vizsgálat megnyugtató az elmélet szempontjából: Schaefer eredményei szerint a minimumbeli fényteltjesítmény és a visszatérési idők szorzata (ami a két kitérés között átadott tömeggel arányos) hibahatáron belül állandó, annak ellenére, hogy a

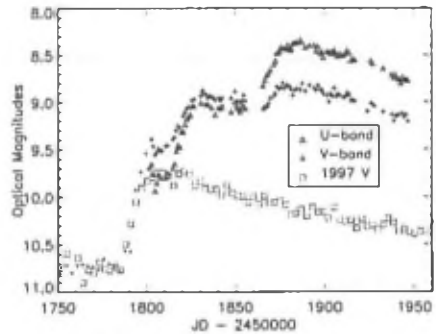
visszatérési idők erősen változtak. Amikor halványabbak voltak a rendszerek, több idő telt el két kitörés között, amikor fényesebbek, kevesebb. Mindez azért is érdekes, mert lehetőséget ad a mostani minimumfényesség alapján a következő kitörés időpontjának megbecslésére. A T Pyx a legutóbbi visszatérése óta évszázados halvány állapotban van, így a jóslat szerint, ha semmi nem változik, a következő maximum csak 2052±3-ban fog bekövetkezni, míg az U Sco legközelebb 2009,3±1,0-ban fog kitörni. 2010-ben visszatérünk a kérdésre. (B.E. Schaefer, 2005, ApJ, 621, L53)

Z And: törpe nóvával kombinált nóva?

A szimbiotikus változócsillagok olyan kataklizmikus változók, amelyben a fehér törpe egy vörös óriáscsillagtól kapja a hidrogénben dús anyagot. Az anyagbefogás sokszor a vörös óriás csillagszeléből történik, akár akkréciós korong kialakulása nélkül. Az emiatt felforrósodó fehér törpe sugárzása ionizálja a vörös óriás csillagszelét, és ebből kifolyólag az optikai színképben a vörös óriás spektruma mellett éles emissziós vonalak is látszanak (mintha két különböző csillag élne „szimbiózisban”). A rendszer éves-évtizedes skálán kitöréseket mutat, ami valószínűleg a növőkitörésekhez hasonló termonukleáris túlfutás eredménye (de nem biztos).

A csoport legismertebb tagja a Z And, amely 11^m,0-s minimumából néhány évenként jut 8^m,0–9^m,0 közötti maximumaiba. Egy nemzetközi kutatócsoport összehangolt röntgen, ultraibolya, optikai és rádiós megfigyeléseket végzett a csillag legutóbbi aktív korszakáról, amikor 2000–2002 során többlépéses fényesedés során kb. két magnitúdót fényesedett a rendszer. A kétéves eseménysorozaton belül három szakaszt lehetett elkülöníteni. Az első egy kisebb felfényesedésben testesült meg, ami nagyon hasonló volt az 1997-es aktivitáshoz. Ezt feltehetően a fehér törpét övező akkréciós korong instabilitása okozta, hasonlóan a törpe nóvák kitöréseihez (emlékeztetőül: a törpe nóvákban nincsenek nukleáris reakciók, csak az akkréciós korong hirtelen összeroskadása és a korong anyagának felmelegedése okozza a felfényesedést). A második szakaszban a forró komponens ledobott magáról egy sűrű, átlátszatlan gázhéjat, amit a rádiósugárzás árult el. Végezetül a harmadik szakaszban megritkult a héj és feltárult a fényes és forró fehér törpe, ami lényegében változatlan maradt a rákövetkező évben.

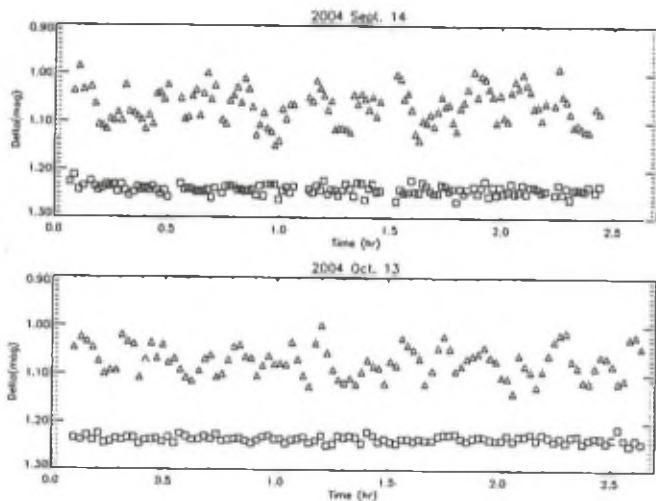
Ez utóbbi volt az igazán érdekes, mert a mérések szerint a fehér törpe luminozitása kb. 10 ezer napluminozitás volt, amit az akkréciós korong instabilitása semmiképpen nem fedezhetett. Egyetlen magyarázat, hogy az akkréciós korong összeomlása nagyobb mennyiségű anyagot juttatott a fehér törpe felszínére, ami kiváltotta a növőkitöréssel analóg harmadik szakaszt. Úgy tűnik, a kataklizmikus változóknál (is) bonyolultabb a valóság az egyszerű elméleteknél, és különleges rendszerekben az eddig jól elkülönülőnek vélt mechanizmusok egymásra épülve is jelentkezhetnek. (J.K. Sokolovski és munkatársai, 2005, ApJ, megjelenés előtt)



A Z And 2000–2002-es kitörése az 1997-esel összehasonlítva

Egy fehér törpe rezgései

A PQ And törpe növa három kitöréséről tudunk az elmúlt 70 évben. Utoljára 1988 márciusában volt maximuma, amikor pár napig 10^{m0} közelébe fényesedett. Minimumban 19^{m0} fényességű, így a hosszú periódus és a nagy amplitúdó a WZ Sge-hez hasonló törpe növak közé sorolja. A kettős rendszer keringési periódusa bizonytalanul ismert, a legjobb becslés 80 percre teszi. A rendszer érdekességére 2004-ben derült fény, amikor spektroszkópiából meghatározták a főkomponens fehér törpe hőmérsékletét és felszíni gravitációját, amelyek értéke a ZZ Ceti típusú pulzáló fehér törpék instabilitási sávjába helyezi a csillagot. Ez azt jelenti, hogy paramétereit alapján várhatók a felszínén haladó hullámok kialakulása és stabil fennmaradása, ami azért érdekes, mert modellezésükkel a fehér törpe belső szerkezetéről nyerhetünk ismereteket.



A PQ And minimumbeli fénygörbéje. Mindkét adatsor 2,5 órát fed le

K. Vanlandingham és munkatársai a Kitt Peak-i 3,5 m-es WIYN-teleszkóppal végeztek gyorsfotometriai méréseket a minimumban található PQ And-ról tavaly szeptemberben és októberben. Az egy perces expozíciós időkkel felvett CCD-képek analízise sikerrel járt: a csillag fénygörbéjét ténylegesen gyors hullámzások jellemzik. A periódusanalízis alapján kizárható, hogy a kettős rendszer keringésével, esetleg az akkréciós aktivitással lenne kapcsolatos a változás. A legerősebb jelet 10,5 perces periódussal találták, ami tipikus érték pulzáló fehér törpékben. További érdekességek hosszabb mérésorozatok alapján várhatók, illetve az is izgalmas kérdés, hogy a következő kitörés során megváltoznak-e, és ha igen, akkor hogyan, a fehér törpe rezgései. (K.M. Vanlandingham és munkatársai, 2005, *PASP*, 117, 928; J. Patterson és munkatársai, 2005, *PASP*, 117, 922)

KISS LÁSZLÓ