

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
Természettudományi Kar
Kísérleti Fizikai Tanszék
fizikus szak

Nóvakitörések spektroszkópiája és fotometriája

Diplomamunka

Készítette: Gőgh Noémi, V. fizikus hallgató
Témavezető: Dr. Kiss L. László, egyetemi adjunktus,
Dr. Szatmáry Károly, egyetemi docens

Szeged, 2004

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
1. A nívákról röviden	4
2. Alkalmazott eszközök, módszerek	9
2.1. Fotometriai alapfogalmak	9
2.2. Spektroszkópia	12
3. Eredmények	16
3.1. A V1494 Aquilae kései spektroszkópiája	16
3.2. A V2274 Cygni fotometriája	19
3.3. V4742 Sagittarii fotometriája	21
3.4. V1548 Aquilae	22
3.5. V475 Scuti	27
3.6. V4740 Sagittarii	30
3.7. V4743 Sagittarii	33
3.8. V2275 Cygni	36
4. Összefoglalás	44
Irodalomjegyzék	45

Bevezetés

A Szegedi Tudományegyetemen nóvák spektroszkópiai kutatása 1999 óta folyik. A V1494 Aql kitörése volt az első a vizsgálatokban. A program kiterjesztéseképpen 2001 nyár végén és ősz elején a David Dunlap Obszervatóriumban (DDO, Toronto, Kanada) készültek spektrumfelvételek, melyeket Jim Thomson (augusztus), Vinkó József, Fűrész Gábor (szeptember) és Csák Balázs (október) készítettek. Munkám legnagyobb része ezeken alapul. A többi felhasznált spektrumfelvételt témavezetőm készítette 2003 májusában és októberében az ausztráliai Siding Spring Obszervatóriumban (SSO).



1. ábra. A DDO 1,88 m-es távcsöve.

Célom az volt, hogy minél több fizikai jellemzőt határozzak meg ezen megfigyelések alapján az egyedi rendszerekre. Ilyen például a ledobódott gázhéj tágulási sebessége, vörösödés, a halványodás mértéke, fényesség, távolság. Azért érdemes ezeket a rendszereket minél részletesebben vizsgálni, mert az egyedi objektumok sajátosságai, az átlagtól való eltérés jellege mindig árulkodik valamilyen extra fizikai jelenségről. Értelmes minél több nóvát megvizsgálni, mert mint minden objektumtípusról, róluk is nagy statisztikus minták vizsgálatával lehet érdekes dolgokat kideríteni. A megbízható statisztikához nagy minta kell, nagy mintához pedig minél több nóva.

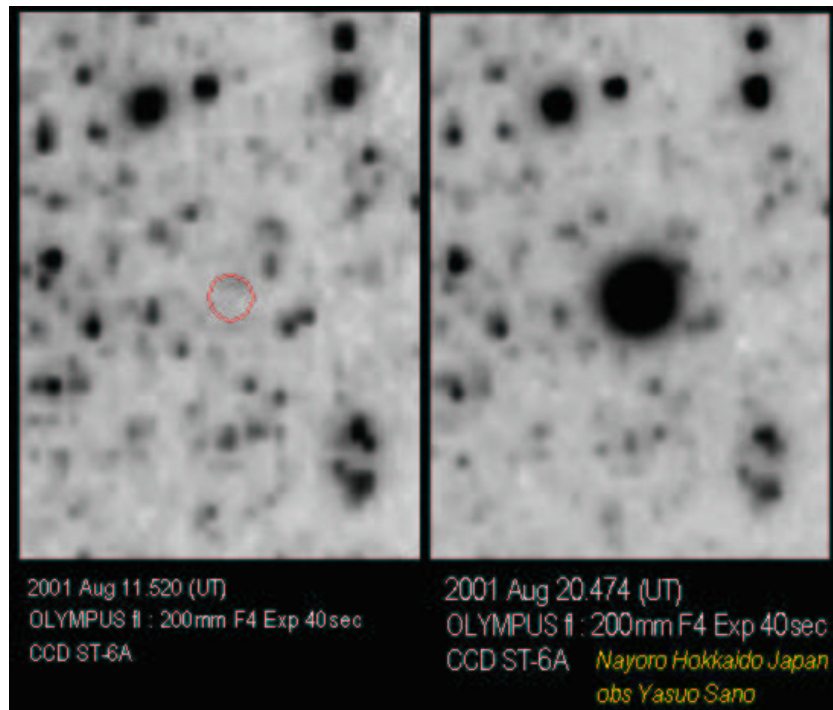
Általában, ha feltűnik egy „új” csillag az égen (nóva vagy szupernóva), a spektrumok hordozzák azokat az információkat, ami alapján választhatunk a lehetséges értelmezések közül. Információt hordozó jellemzők például, hogy milyen kémiai elemekhez tartozó vonalak vannak emisszióban, illetve abszorpcióban, milyen erősek, és mennyire vannak kiszélesedve.

Dolgozatom 8 nóva kis- és közepes felbontású optikai színekének feldolgozását, illetve a fénygörbéik statisztikus módszerekkel történő analízisét tartalmazza. A fénygörbék forrása a Kyotói Egyetem Csillagászati Tanszéke által koordinált nemzetközi változó-észlelő amatőrcsillagász hálózat (Variable Stars Network, VSNET) volt, illetve Kiyota és mtsai (2004) cikk.

A dolgozatomban rövid áttekintést adok a nóvák szerkezetéről, tulajdonságaikról és néhány paraméteréről, majd ismertetem az alkalmazott spektroszkópai és fotometriai módszereket. Ezután bemutatom az ezek által kapott eredményeim.

1. A nóvákról röviden

A nóva elnevezés onnan származik, hogy feltűnik egy látszólag új csillag az égen, hirtelen felfényesedik, majd fokozatosan elhalványodik. Az első megfigyelések a XVI. századból erednek, és egészen a XX. sz. elejéig minden újonnan feltűnt csillagra nóvaként hivatkoztak. Az 1885-ben az Androméda-ködben feltűnt S Andromedae vezetett el annak felismeréséig, hogy kétfajta „új” csillag létezik, melyek abszolút fényessége között kb. 10 magnitúdónyi különbség van. A fényesebbek kapták a szupernóva nevet, ezekről ma már tudjuk, hogy akkora csillagrobbanások hozzák létre őket, melyekben akár teljesen meg is semmisülhet a szülőobjektum. Ezzel szemben a nóvák kölcsönható kettőscsillagok, melyek viszonylag érintetlenül „túlélnek” kisebb energiájú robbanásaikat.

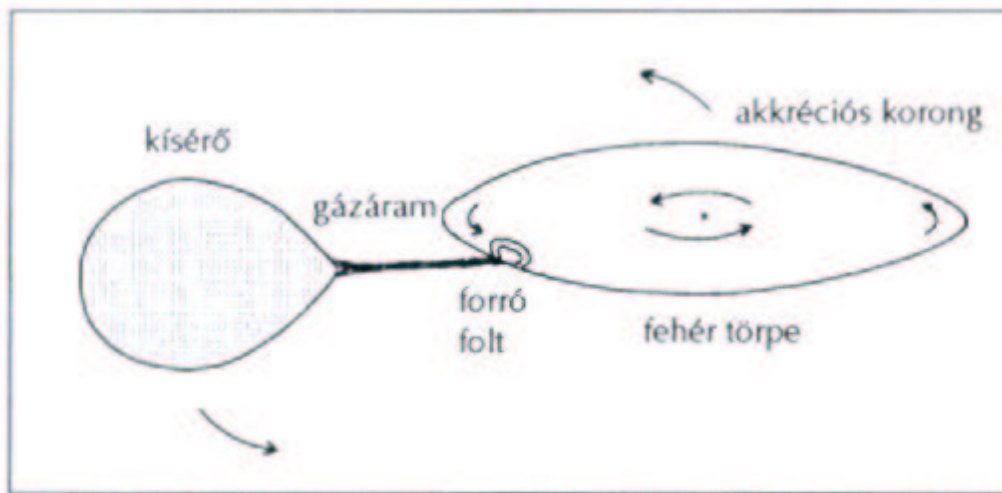


2. ábra. A V2275 Cyg-ről készült CCD felvétel a robbanás előtt és után.

A csillagászat fejlődésével napjainkban már - a színeképekből - a főbb fizikai tulajdonságaik is meghatározhatók. Ezek alapján a Változócsillagok Általános Katalógusa (General Catalogue of Variable Stars, GCVS) a nóvákat a kataklizmikus, azaz kitöréses változók közé sorolja.

Egy kataklizmikus változócsillag olyan kölcsönható kettőscsillag, amelyben a

komponensek távolsága nagyon kicsi, nagyjából akkora, mint a nagyobb csillag átmérője. A komponensek közelsége miatt a gravitációs effektusok erős árapályerőket hoznak létre, a nagy keringési sebességek pedig jelentős centrifugális erőket eredményeznek. Ha a nagyobb méretű csillag megközelíti stabilitási határát, anyag áramlik el belőle, általában az L_1 Lagrange-ponton keresztül. Az anyag nagy része egy akkréciós korongban gyűlik össze a sűrűbb főcsillag körül. Így a rendszer legalább három fényforrást tartalmaz: a kettőscsillag két komponensét, valamint a köztük átáramló anyagot. A kettőscsillagon belüli anyagáramlás kitörést idézhet elő. Néhány esetben csak egy-két kitörést jegyeztek fel eddig. Ezeket a csillagokat nevezzük ma nóváknak.



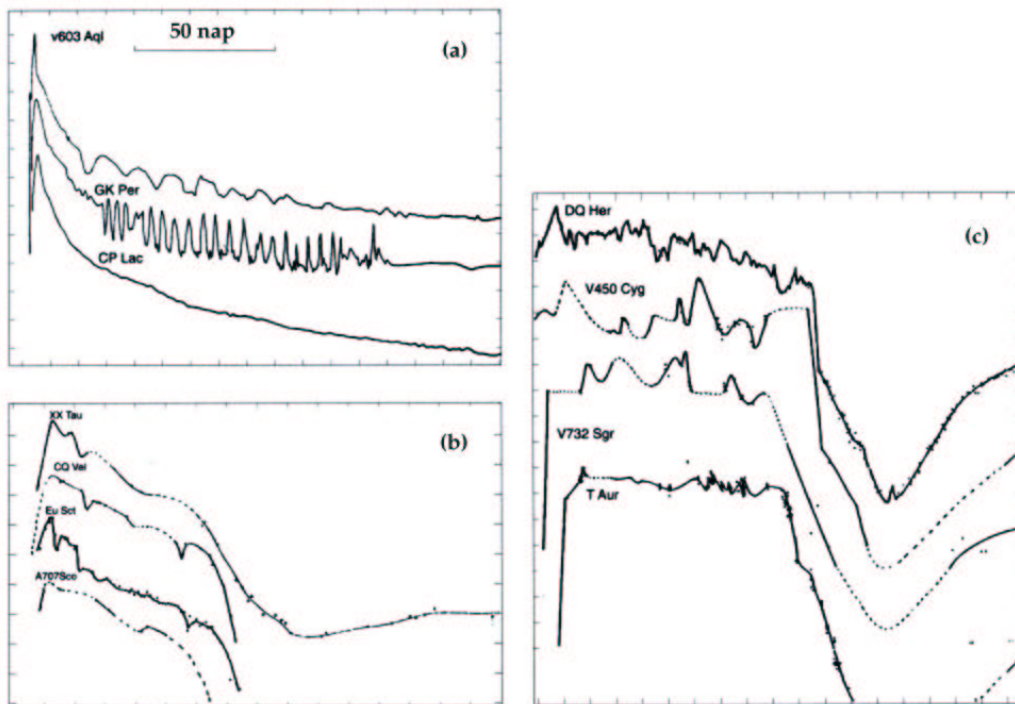
3. ábra. Egy kataklizmikus változócsillag sematikus modellje. (Amatőrcsillagászok kézikönyve 16.15. ábra)

Ezen objektumok fehér törpéből és hűvös, K-M típusú óriásból vagy szubóriásból állnak. A hidegebb, nagyobb méretű komponens folyamatosan ad át hidrogénben gazdag anyagot a fehér törpének, amely az utóbbi felszínére kerül. Az idő múlásával (amint egyre több hidrogénben gazdag anyag halmozódik fel a fehér törpe felszínén), a héj „alja” fokozatosan összenyomódik és felforrósodik, míg el nem éri a hidrogén termonukleáris reakciójához szükséges hőmérsékletet. A csillag felszínén bekövetkező termonukleáris robbanás valósággal lefújja a felhalmozódott csillaganyagot, ami igen nagy amplitúdójú, 8-15 magnitúdós, azaz $10^6 - 10^7$ -szeres fényességnövekedést okoz a rendszer összfényességében.

A kitörés során ledobott gázhéj néhány ezer km/s-os sebességgel távolul, és nagy

sebessége miatt nem hullik vissza. A fényességnövekedés amplitúdója igen tág határok közt változik. Az esetek többségében a felszálló ág néhány napig tart, amelyet rövid ideig tartó maximum, majd lankás leszálló ág követ.

Néhány kivételtől eltekintve (pl. V1500 Cyg, Nova LMC 1991) a kezdeti fényesedés adatai eléggé hiányosak, de minden esetben ennek a felfényesedésnek az időtartama kevesebb, mint 3 nap. Ami a V1500 Cyg-t illeti, a fényességmérés az emelkedés idejének nagy részét lefedte, és az adódott, hogy a felfényesedés ideje kevesebb, mint 1 nap. Számos nóvának a felfutási szakaszban platója van, amely néhány órától (gyors nóvák) néhány napig tart (lassú nóvák), de ez az időtartam lehet néhány hónap is (pl. HR Del). Majd ezt követi a végső, kb. 2 magnitúdós felfényesedés, ami a gyors nóváknál átlagosan 2 nap, lassú nóváknál pár hét.



4. ábra. A nóvák fénygörbéjének néhány típusa. Átmeneti időszakok alapján (a) periodikus oszcilláció, (b) folytonos halványodás (c) erős elhalványodás.

Payne-Gaposchkin (1957) a gyorsaságuk alapján osztályozta a nóvákat, felhasználva a t_2 -t, azaz azt az időtartamot, amely idő alatt 2 magnitúdót halványodik a csillag a maximumhoz képest. Az osztályozást az 1. táblázat mutatja. Mások a t_3 -t használták az osztályozáshoz.

Osztály	t_2 (nap)
Nagyon gyors	< 10
Gyors	11 – 25
Mérsékelten gyors	26 – 80
Lassú	81 – 150
Nagyon lassú	151 – 250

1. táblázat. A nógák osztályozása.

- Gyors nógák: 100 vagy kevesebb nap alatt halványodnak 3 magnitúdónyit.
- Lassú nógák: 150 vagy több nap alatt halványodnak 3 magnitúdónyit.

Klasszikus nógáknál a két paraméter között egy statisztikus kapcsolat is fennáll: $t_3 \sim 2,75t_2^{0,88}$ (Warner, 1995)

A maximumból való korai halványodás általában egyenletes minden nógánál. A nógák viselkedésében a legnagyobb eltérés a maximumból 3-4 magnitúdóval való halványodás után következik be. Néhány (a gyors, illetve nagyon gyors nógáknak kb. 1/3-a) megszakítás nélkül, folyamatosan halványodik tovább. Más nógák 7-8 magnitúdóval elhalványodnak, ami kb. 7-8 hónapig tart, majd újra visszafényesednek arra a szintre, mintha folyamatosan halványodtak volna. Bizonyos nógák fényessége pedig ebben az átmeneti időszakban 1-1,5 magnitúdós amplitúdóval kvázi-periodikusan oszcillál. Az átmeneti szakasz után a végső halványodás újra egyenletes. (l. 4. ábra)

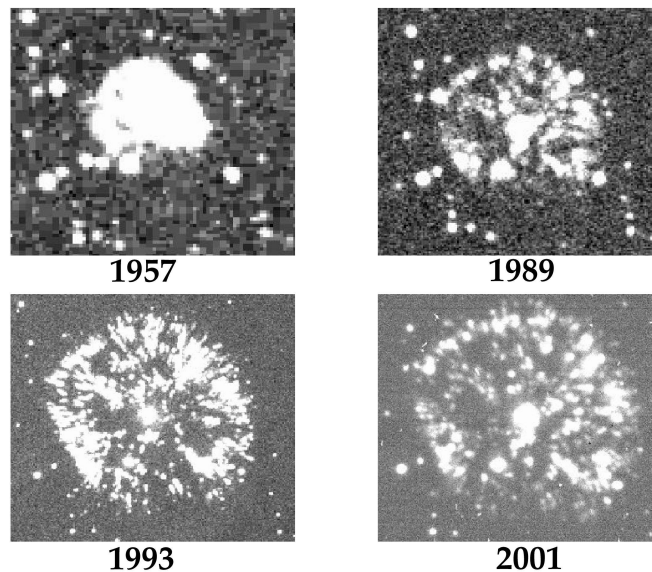
Emellett vannak olyan nógák is, amelyek lassan fejlődnek, megesik, hogy évtizedig maximumban maradnak. A visszatérő nógák pedig az utóbbi száz évben több kitörést mutattak. (Jelenleg 9 ilyen csillagot ismerünk.)

Az, hogy az új csillag nógá-e, spektroszkópiai módszerekkel deríthető ki. A nógáknak olyan emissziós színekük van, amelyben határozottan lehet azonosítani a H, He és FeII vonalait. Továbbá a színeképvonalak profilja jellegzetes, ún. P Cyg profilú (l. még spektroszkópiai módszerek). Ez azt jelenti, hogy a széles emisszió rövidebb hullámhosszú oldalán keskeny abszorpciós gödör van, melynek a laboratóriumi hullámhosszhoz viszonyított relatív eltolódása épp a ledobódás sebességét adja meg (jellegzetesen 1000-3000 km/s). A ledobódó gázhejat ekkor még ugyan nem látjuk, a spektrumból mégis tudunk következtetni a tágulás sebességére.

Közvetlen képalkotás a gázhejről kb. csak a kitörés után 10 évvel később lehetséges. Ennek azonban igen nagy az elvi jelentősége, ugyanis meghatározhatóvá

teszi a nóva távolságát. Az ún. expanziós parallaxis módszere a táguló gázhéj szögátmérőjének változásából és a spektroszkópiából ismert tágulási sebességből ad becslést a rendszer távolságára. A módszer alapfeltevése, hogy a kitörés utáni színeképekből származó tágulási sebesség évtizedekkel a maximum után is felhasználható. A megfigyelések szerint a ledobódott anyag nem lassul jelentősen, azaz sem a fehér törpe gravitációs tere, sem az esetleges csillagközi anyaggal való kölcsönhatás nem jelentős. Előbbi azért, mert a nagy robbanási sebességek miatt a ledobódott gázhéj gyakorlatilag 1-2 nap alatt elhagyja a fehér törpe térségét, vagyis végtelennek tekinthető távolságba kerül a fehér törpe felszínétől. A csillagközi anyag minimális hatását a néhány tucatnyi, nóva körüli gázhéj megfigyelései sugallják.

A távolság ismerete egyébként nagyon fontos, mivel így lehet pontosan kiszámolni a nóva abszolút fényességét, azaz a robbanás teljes energiáját. Dolgozatomban statiasztikus módszerekkel fogok távolságot becsülni, ám ezek hibája elég nagy. Spektroszkópiai eredményeim alapján 5-10 év múlva lesz lehetséges expanziós parallaxist is meghatározni, ez azonban túlmutat jelen munkám keretein.



5. ábra. A GK Persei gázfelhőjének tágulása 1957 és 2001 között.

Az 5. ábrán egy 1901-ben felrobbant nóva ledobódott gázhéjának tágulását lehet nyomon követni. A GK Persei esetében a spektroszkópiai sebesség (1200 km/s) és a gázhéj tágulása alapján a rendszer 470 pc távolságban van. (Németh, 2002)

2. Alkalmazott eszközök, módszerek

2.1. Fotometriai alapfogalmak

Az első csillagkatalógust Hipparkhosz készítette még az i.e. II. században. A csillagok fényességéhez számszerű értéket rendelt. A legfényesebb csillagok lettek az 1 magnitúdósak, az egyre halványabbak egyre nagyobb számot kaptak, a szabad szemmel még éppen láthatóak 6 magnitúdósak. A magnitúdóskálát az 1850-es években helyezték fizikai alapokra. Jelenleg is a Norman Pogson által javasolt rendszer van érvényben, amely szerint

$$m_1 - m_2 = -2,5 \lg \frac{F_1}{F_2}, \quad (1)$$

ahol m_1 és m_2 a két csillag látszó fényessége magnitúdóban, F_1 és F_2 pedig a detektált fluxusuk. (A logaritmikus jelleg a látás fiziológiai sajátosságaiból adódik.) Az abszolút magnitúdó (M) számértéke azt mutatja meg, hogy hány magnitúdósak észlelnénk a csillagot, ha az tőlünk 10 pc távolságban lenne. Az összefüggés a csillag látszólagos (m) és abszolút (M) fényessége között az ún. távolságmodulus:

$$m - M = -5 + 5 \lg r + A_V, \quad (2)$$

ahol r a csillag távolsága parszekben, A_V pedig a totális extinkció, azaz a vizuális tartományban mérhető teljes elnyelés. A_V a csillagközi anyagon fellépő fényességcsökkenést mutatja, vagyis hogy mennyivel látjuk az adott csillagot halványabbnak pusztán az interstelláris por jelenléte miatt. A megfigyelések oldaláról a vörösödéssel szokás kapcsolatba hozni. Az interstelláris vörösödést a $B - V$ színindex változásával jellemezzük:

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0, \quad (3)$$

ahol $(B - V)$ a megfigyelt, $(B - V)_0$ a vörösödésmentes színindex, $E(B - V)$ pedig a vörösödés (színexcesszus). Tapasztalat szerint egy egyszerű kapcsolat áll fenn A_V és $E(B - V)$ között:

$$A_V \approx 3,1 E(B - V). \quad (4)$$

Ez az összefüggés azonban rámutat a vörösödés meghatározásának fontosságára.

A kb. 3-as szorzó ugyanis felerősíti a színexcesszus hibáját a távolságmodulusban. Gyakorlatban nagyon nehéz $E(B - V)$ -t $\pm 0,05$ magnitúdónál pontosabban meghatározni, ami A_V -ben $\pm 0,15$ magnitúdó, azaz a távolságban kb. 10% bizonytalanság csupán a vörösödés pontatlansága miatt. A vörösödést ezért soha nem szabad elhanyagolni, különösen a nagy távolságból látszó nógák esetén. Ezért dolgozatomban szinte mindenütt az egyik legfontosabb paraméter az adott nóva színexcesszusa.

Abszolút fényességbecslés néhány empirikus törvény segítségével:

Az előző fejezetben említett expanziós parallaxis sajnos csak nagyon kevés nóvára volt eddig alkalmazható módszer. Éppen ezért évtizedek óta sokan próbálkoztak olyan empirikus törvények felállításával, melyek statisztikus alapokon nyugodva adnak becslést egyedi nóvák távolságára, viszonylag egyszerűen kivitelezhető mérésorozatok alapján. A leggyakoribb megközelítés valamelyik közeli galaxisban (pl. Nagy Magellán-felhő, Androméda-köd) feltűnő nóvák látszó fényessége és valamilyen fotometriai, spektroszkópiai paraméterük közötti kapcsolat megállapítása.

Történetileg legtöbb módszer a fénygörbék halványodási ütemét kapcsolja össze a maximumban tapasztalható abszolút fényességgel. Ennek eredete McLaughlin azon megfigyelése volt, hogy egy adott galaxisban a gyors nóvák átlagosan több magnitúdóval fényesebbek a lassúknál. Márpedig ha ugyanolyan távolságban vannak a nóvák (ti. ugyanabban a galaxisban), akkor a látható fényességek különbsége az abszolút fényességek különbségének felel meg. Ezután már „csak” a galaxis távolságára van szükség a nóvák abszolút fényességének megállapításához. Az alábbiakban ismertetett módszerek legtöbbike ezen megközelítésen alapszik.

1. McLaughlin talált egy általános relációt M_{max} és t_2 között. Minthogy a t_2 -t relatíve könnyű mérni, ez az összefüggés bizonyítottan értékes a klasszikus nóvák (tejútbeli és extragalaktikus) távolságának meghatározásához. Mások a t_3 -mal hozták kapcsolatba a maximumbeli látszó fényességet. A kapcsolatot általánosan a következő formában lehet felírni:

$$M_{max} = a_n \lg t_n + b_n \quad (5)$$

Az egyenlet együtthatóit, melyet különböző módon származtattak, a 2. táblázat tartalmazza.

n	a_n	b_n	
3	2,5	-11,5	Schmidt(1957),McLaughlin(1960)
3	2,4	-11,3	de Vaucouleurs(1978)
3	$1,80 \pm 0,20$	$-10,67 \pm 0,30$	Pfau(1976)
2	$2,41 \pm 0,23$	$-10,70 \pm 0,30$	Cohen(1988)
2	$3,35 \pm 0,16$	$-12,21 \pm 0,16$	Capaccioli(1989)

2. táblázat. $M_{max} = a_n \lg t_n + b_n$ empirikus egyenlet együtthatói.

Munkám során a Schmidt-, és a Capaccioli-féle együtthatókkal felírt egyenleteket használtam, azaz

$$M_{max} = 2,5 \lg t_3 - 11,5 \quad (6)$$

$$M_{max} = (3,3 \pm 0,16) \lg t_2 - (12,21 \pm 0,16), \quad (7)$$

mert ezek háttérben van a legtöbb mérési eredmény.

2. Buscombe és de Vaucouleurs (1955) feljegyezték, hogy az abszolút magnitúdó 15 nappal a maximum után függetlennek tűnik attól, hogy a nóva a halványodás sebessége alapján melyik osztályba tartozik. $M_{V,max} = M_{V,15} + \Delta M$, ahol a ΔM nem más, mint a t_0 és $t_0 + 15$ közötti fényváltozás, amit a fénygörbéről lehet leolvasni. Az $M_{V,15}$ -re levezetett értékek a 3. táblázatban találhatóak:

$M_{V,15}$	
$-5,20 \pm 0,1$	Buscombe & deVaucouleurs(1955)
-5,86	Schmidt-Kaler(1957)
$-5,74 \pm 0,60$	Pfau(1976)
$-5,50 \pm 0,18$	de Vaucouleurs(1978)
$-5,60 \pm 0,43$	Cohen(1985)
$-5,23 \pm 0,16$	van den Bergh & Younger (1987)
-5,38	van den Bergh (1988)
$-5,69 \pm 0,14$	Capaccioli (1989)

3. táblázat. Az abszolút magnitúdó 15 nappal a maximum után

Dolgozatomban a Capaccioli-féle értékkel számoltam, azaz $M_{V,15} = -5,69 \pm 0,14$.

3. Della Valle és Livio a Nagy Magellán-felhőben (LMC) található nóvák látszó fényességének mérésével vizsgálták a halványodást. Ezek alapján a mérési pontok egy görbét határoztak meg, melyre szerintük az

$$M_V = -7,92 - 0,81 \arctan \frac{1,32 - \lg t_2}{0,23} \quad (8)$$

függvény illet a legjobban. Ebben implicite szerepel az LMC távolságmodulusa, amit ők 18,5-nek vettek.

A fent említett $M_v - t_n$ relációk statisztikus módszerekkel kiderített összefüggések, amelyeket csak később tudtak elméleti úton levezetni.

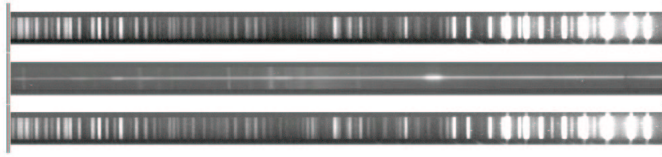
2.2. Spektroszkópia

A 2001-es spektroszkópiai mérések a torontói DDO 1,88 m-es távcsövével készültek. A spektrális bontóelem egy reflexiós rács, ami a távcső Cassegrain-fókuszában elhelyezett spektrográf fő eleme. A színeképet egy 1024×1024 -es Thomson CCD rögzíti. A résszélesség 303μ volt, ami az égen $1,8$ -nak felel meg. A 2003-as spektrumfelvételek az SSO 2,3 m-es távcsövével, a Double Beam Spectrograph segítségével készültek. A spektrumokat az IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) képredukáló programcsomaggal mértem ki. A digitális spektrumok kiredukálása teljesen más képfeldolgozási lépéseket igényel, mint pl. a digitális fotometria, az égről készített közvetlen felvételek analízise közben. Természetesen vannak közös lépések is, ilyen a CCD kamera elektronikus zajainak korrigálásához szükséges bias és dark korrekció. Előbbi az előfeszültség, utóbbi a termális zaj hatásának levonására szolgál.

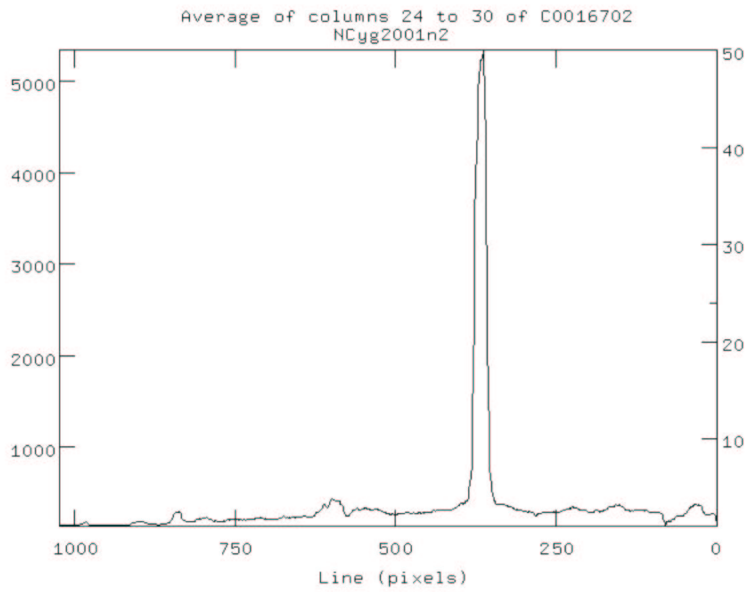
A CCD spektrumok egyedi feldolgozásának legmunkaigényesebb része a hullámhossz-kalibráció. Ennek során a CCD kép pixelkoordinátáit kell átváltani hullámhossz-koordinátákra. Ez az oka annak, hogy minden egyes csillagszínkép készítése előtt és után készül egy-egy spektrumfelvétel olyan spektrállámpáról, melynek színképe ismert hullámhosszú, keskeny emissziós vonalakkal áll. Ezt az összehasonlító képpárt látjuk a 6. ábra 1. pontja alatt.

Köztük látható egy nyers színkép a V2275 Cygniről. Feltűnően fényes rész látszik a közepétől jobbra, a hidrogén Balmer-sorozatának α vonala. A 6. ábra 2. pontja alatt látunk egy hosszanti metszetet a CCD képről. Itt a vízszintes tengelyen a pixelkoordináta, a függőleges tengelyen pedig az adott pixelek átlagos intenzitása szerepel. Ha azonosítjuk a spektrállámpa emissziós vonalait, akkor felállítjuk a pixelkoordináta-hullámhossz átváltási függvényt, amit alkalmazva a nóva színképére, megkapjuk a hullámhossz-kalibrált spektrumot. (Ez magában alkal-

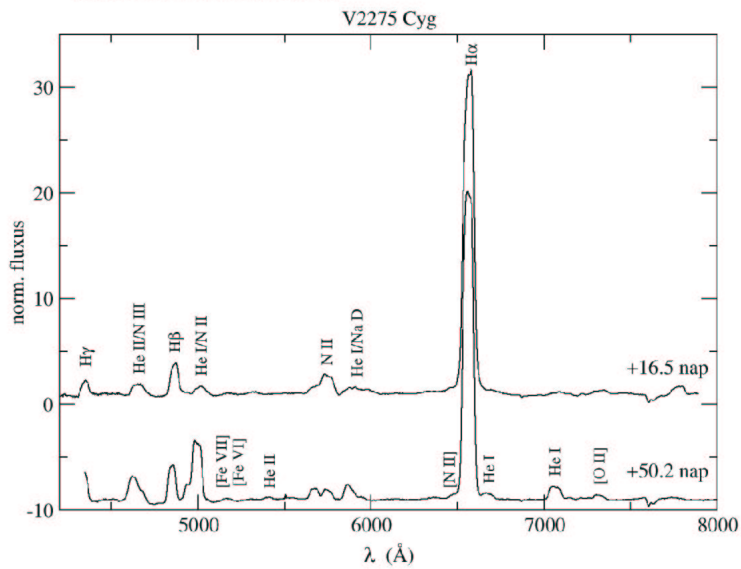
1. Eredeti spektrállámpa és nóra spektrumfelvételek



2. Pixelintenzitás-metszet



3. Hullámhossz-kalibrált, kontinuum-normált emissziós nóvaszinkép, azonosított vonalakkal (V2275 Cyg)



6. ábra. A képfeldolgozás fázisai.

mas az emissziós vonalak azonosítására, pl. a hidrogén, hélium és vas vonalainak elkülönítésére.)

A spektroszkópiában gyakori még a kontinuumra való normálás. Ezt akkor hajtjuk végre, ha csak a spektrumvonalak jellemzőire vagyunk kíváncsiak, a folytonos színek lefutására nem. Az IRAF contin taskja interaktív normálást tesz lehetővé, amivel szinte az összes spektrumomat feldolgoztam. Ha a folytonos színek lefutására is kíváncsiak lennénk, akkor ún. fluxuskalibrációt is végre kellene hajtani, amikor ún. fluxusstandard csillagokat is mérni kell. Ilyen mérések a vizsgált nóvák mérésorozatai alatt nem történtek.

A 6. ábra 3. pontja alatt a spektroszkópiai redukálásaim végső állapotát illusztrálom két hullámhossz-kalibrált, kontinuum-normált színekkel, melyekben szakirodalmi források alapján azonosítottam az emissziós vonalakat.

Egy nóváról felvett spektrumban megjelenő vonalak négy helyről származhatnak: a csillag fotoszférájából, a csillag körüli ledobódott anyagból, a csillagközi anyagból, illetve a földi légkörből. A színeképekben gyakran találhatunk csillagközi anyagból származó diffúz intersztelláris sávokat (Diffuse Interstellar Band, DIB) (pl. a 33. ábrán is), amiket például vörösödés meghatározásra is fel tudunk használni, mégpedig az ekvivalens szélességük mérésével.

Ekvivalens szélesség (W): azon téglalap szélessége, amelynek a területe megegyezik az abszorpciós, illetve emissziós vonal alatti területtel.

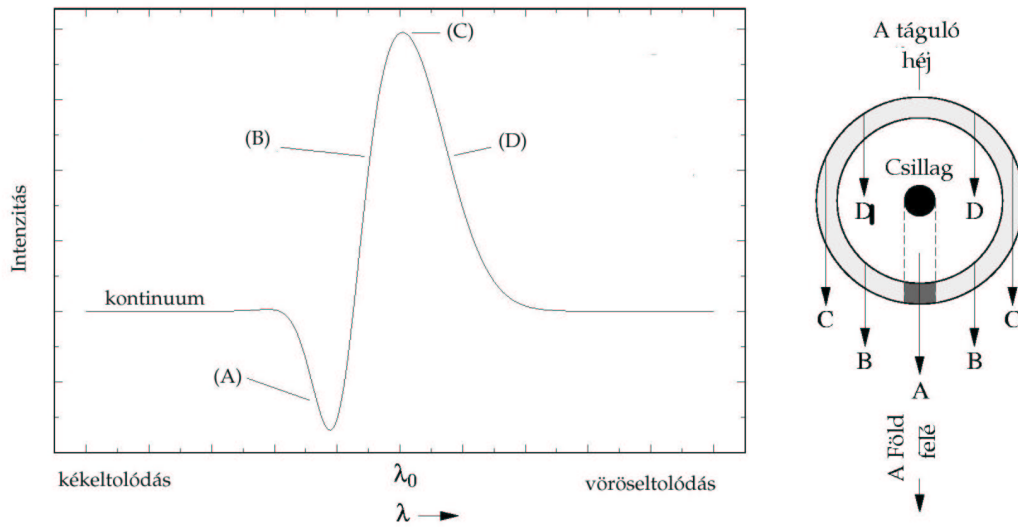
$$W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda \quad (9)$$

ahol F_c a kontinuum fluxusa, F_λ a színeképvonalon belüli fluxus (vonalprofil). Az ekvivalens szélesség durván fogalmazva a vonal „erősségét” jellemzi. Ha el tudunk különíteni olyan spektrumvonalakat, melyek a csillagközi anyagban jönnek létre, azok erőssége a csillagközi anyag mennyiségével arányos, azaz áttételesen a vörösödésre is következtethetünk.

Egy empirikus összefüggés a 6613Å-nél található DIB-re: (Jenniskens és Désert, 1994)

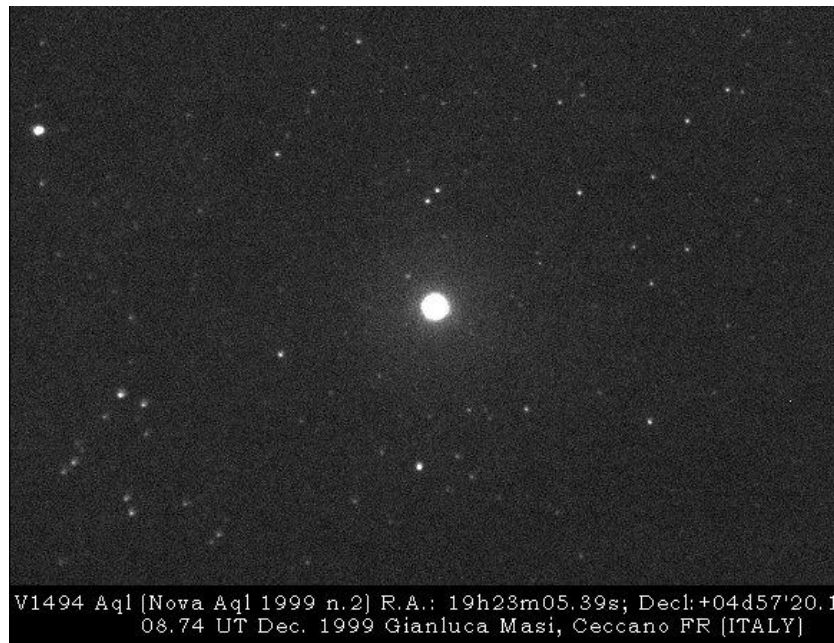
$$\frac{W}{E(B - V)} = 0,231. \quad (10)$$

A jellemző P Cyg vonalprofilból a ledobódás sebessége számolható ki a $V_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ összefüggésből, ahol c a fénysebesség, λ_0 a laboratóriumi hullámhossz, $\Delta\lambda$ a λ_0 -hoz



7. ábra. A P Cyg vonalprofil modellje: (A): a gázhéj felénk eső oldalának következtében létrejövő abszorpció; (B): a gázhéj közeledő, elülső részéből származó emisszió; (C): a gázhéj látóirányra merőlegesen táguló szélétől származó emisszió; (D): a gázhéj távolodó, hátulsó részéből származó emisszió.

viszonyított eltolódás.



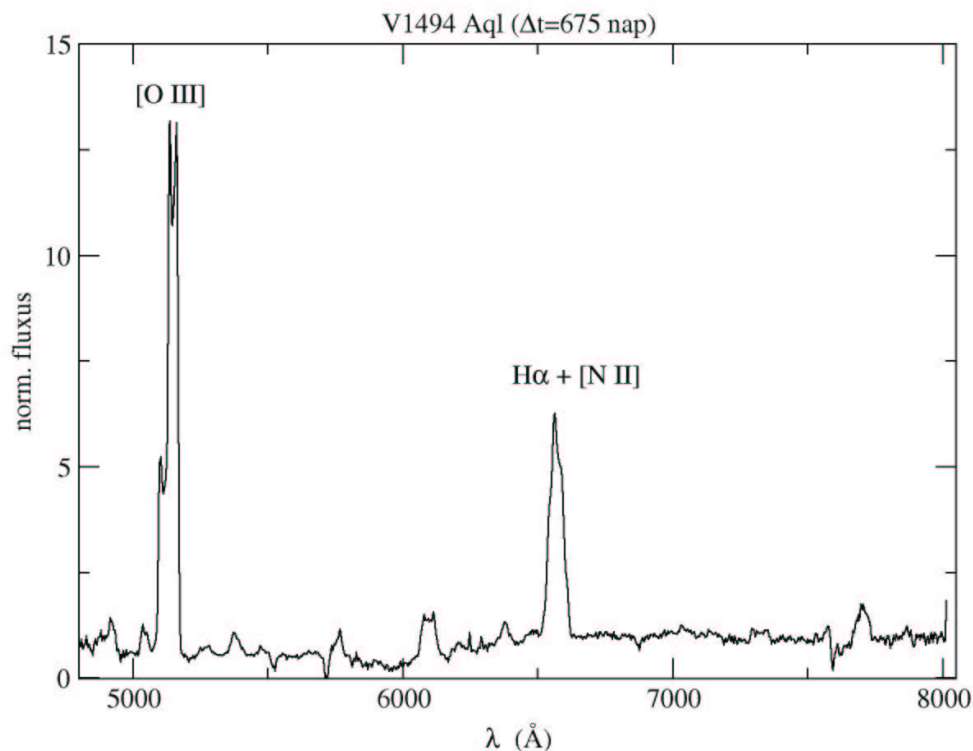
8. ábra. A V1494 Aql.

3. Eredmények

3.1. A V1494 Aquilae kései spektroszkópiája

Előzmények:

Az Aquilában 1999-ben másodikként feltűnt nóvát A. Pereira fedezte fel 1999. december 1-én, 6,^m0 fényességnél. A spektroszkópiai észlelések alapján a hidrogén Balmer-sorozatának vonalai uralták a látható tartományt, mellettük még vasvonalak voltak megfigyelhetők. Mindegyik vonal P Cyg profilú volt. 2000 júliusára a fénygörbe kettős struktúrát mutatott. A halványodásra ráakódott egy ciklikus változás, melynek periódusa 0,13 nap volt. Ezt a kettőscsillag pályamenti mozgásainak fotometriai hatásaival (pl. fedések) magyarázhatjuk. A nóvakitörés után a közös gázfelhő a tágulás következtében átlátszó lett, és láthatóvá vált a rendszer belső fényességváltozása is. A rendszerre úgy látunk rá, hogy nagyobb méretű csillag kitakarja a kisebbet, vagy legalább az akkréciós korong egy részét. (IAUC 7323, 7324, 7325, 7665, 7674)

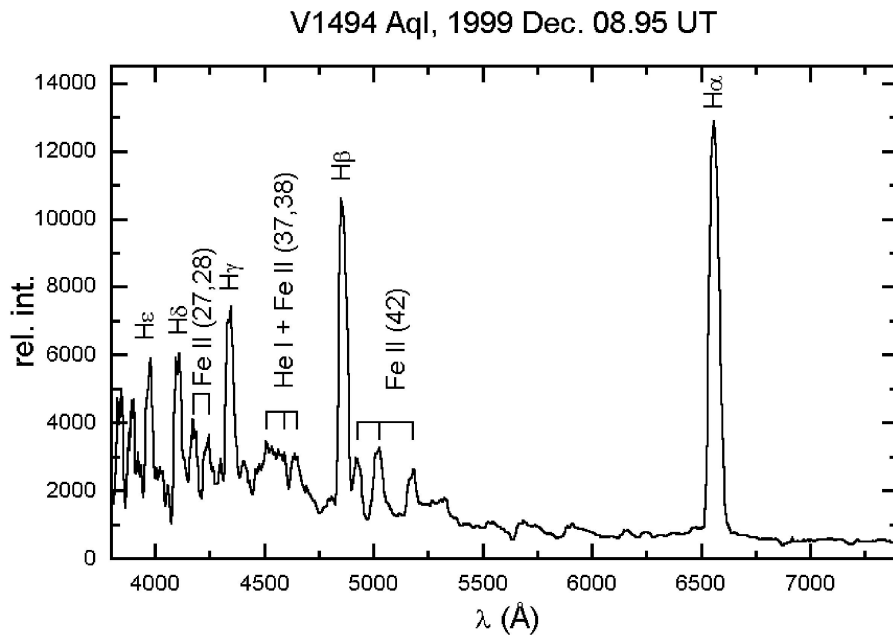


9. ábra. A V1494 Aql kései optikai színeképe.

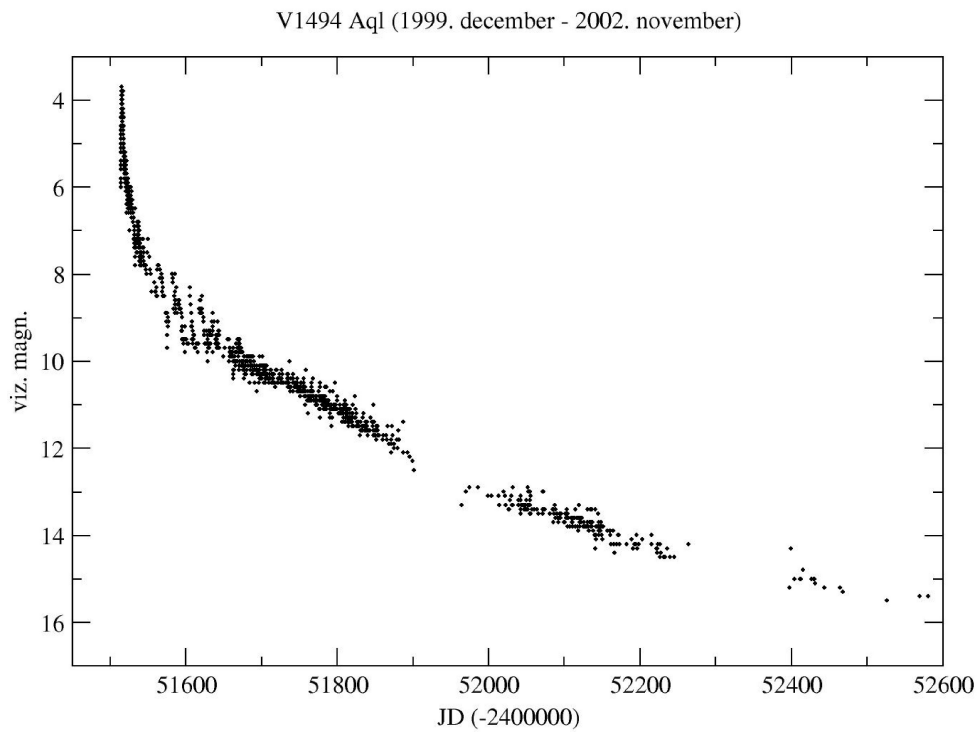
A kései spektrum:

Egy db színekép készült 2001. 10. 08-án, ami egy majdnem a teljes optikai tartományon felvett spektrum volt. A $H\alpha$ vonal mellett egy igen erős keskeny vonal látszik, amely ritka forró gázban keletkezik. Tehát azt tapasztaltuk, hogy a nóa színeképe átment az ún. nebuláris színeképbe (l. 9. ábra), melyet az időközben nagy mértékben kiritkult gázfelhő földi körülményekhez viszonyítva egzotikus átmenetei jellemeznek (pl. tiltott vonalak nagy számban). Összehasonlításképp egy korai színekép (Kiss és Thomson, 2000) a 10. ábrán látható.

Ezt a gázfelhőt hamarosan érdemes lesz nagyfelbontású közvetlen képalkotással is megvizsgálni, mert 5 évvel a kitörés után a becsült szögátmérője $1,5'' - 2,0''$ (Kiss és mtsai, 2004), ami az adaptív optikás óriástávcsövekkel már elérhető tartomány. A mellékelt, szűk háromévnnyi fénygörbe alapján (l. 11. ábra) a nóa jelenlegi fényessége 15-16 magnitúdó közötti, a nagy műszerek számára elérhető.



10. ábra. A V1494 Aql korai optikai színeképe az azonosított spektrumvonalakkal.

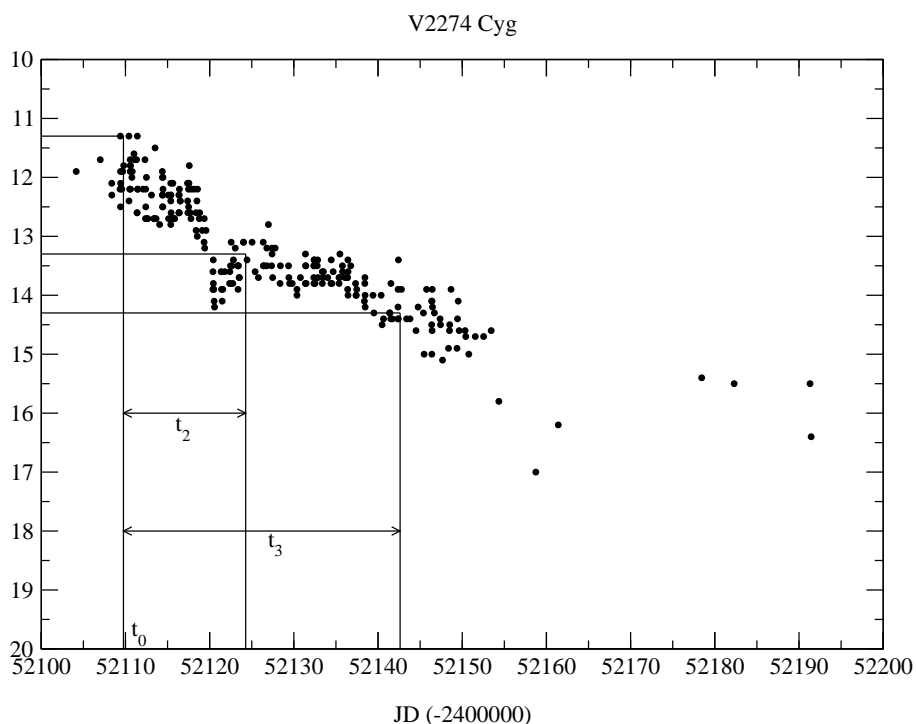


11. ábra. A V1494 Aql fénygörbéje.

3.2. A V2274 Cygni fotometriája

Előzmények:

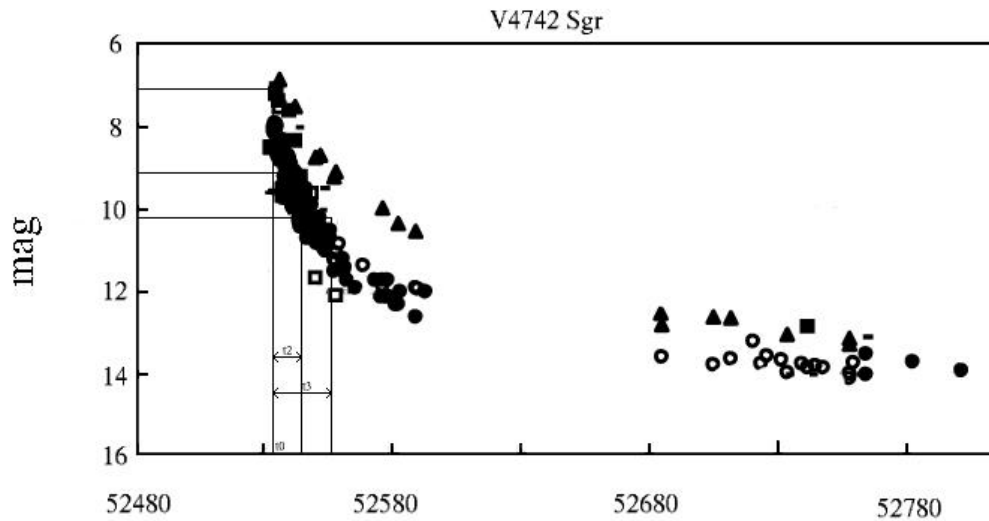
Nakamura fedezte fel 2001. július 13-án. A nem sokkal később felvett optikai (430-680 nm) spektrumon széles emissziós vonalak látszóttak. Ezek a HI, FeII és valószínűleg a NaI D, NII vonalai voltak. Néhány kiemelkedő emissziós vonalat P Cyg típusú abszorpciós komponens kísért. A $H\alpha$ félértékszélessége (full width at half maximum, FWHM) 950 km/s-nak és a gyenge abszorpciós komponens kékel-telődésben 1200 km/s-nak adódott. 18 nappal később a 0,8-2,5 μm intervallumot átfogó spektrofotometria készült (ekkor a nóva még korai halványodásban volt). A spektrum alacsony gerjesztésű vonalakat tartalmazott, ami a korai emissziós állapotban tipikus. A HI Paschen és Brackett vonalak jól látszódtak, a HeI 1,0830 μm -nél elég gyenge volt. A fluoreszcenciásan gerjesztett OI vonal is megfigyelhető volt, és feltételezhető, hogy megengedett CI és NI vonalak is (IAUC 7666, 7677).



12. ábra. A V2274 Cyg fénygörbéje, a maximumidőpont (t_0) és a két, illetve három magnitúdóval való halványodáshoz szükséges idők.

A fénygörbe:

A maximum időpontjának (t_0) és az elhalványodás mértékének meghatározásához a 12. ábrán látható fénygörbét használtam fel. Az ábráról leolvasva: $t_0 = 52109,7_{-0,1}^{+0,3}$ nap. A két és három magnitúdóval való halványodás $t_2 = 14,5 \pm 2$ nap, illetve $t_3 = 33 \pm 2,5$ nap alatt következett be. A maximumban a vizuális abszolút magnitúdó a fotometriai módszereknél felsorolt (6-8) képleteket felhasználva rendre a következőknek adódott: $-7,^m7$, -8^m , $-7,^m7$, $-8,^m4$. Tehát a vizuális abszolút magnitúdó $-8^m \pm 0,^m6$. Bár durva közelítés, de mivel nem tudtam vörösödést számolni, ezért azt elhanyagoltam, és úgy számoltam ki a nóva távolságát. Eredményként azt kaptam, hogy 50 kpc-nél közelebb van. Természetesen ez nem különösképpen erős állítás, durván azzal ekvivalens, hogy a csillag a Tejútrendszerben van.



13. ábra. A V4742 Sgr fénygörbéje. (Kiyota és mtsai, 2004)

3.3. V4742 Sagittarii fotometriája

Előzmények

W. Liller fedezte fel, 2002. szept. 05-én 8,5 magnitúdós fényességnél. Egy 16-án készült spektrumfelvételen a $H\alpha$ vonal P-Cyg vonalprofilt mutatott, melyből a felfúvódás sebességére 1000 ± 150 km/s adódott. Egy 18-án felvett spektrum pedig erős H és FeII emissziós vonalakat mutatott. A H, CaII és FeII vonalaknál gyenge, rövidebb hullámhossz felé tolódott, abszorpciós komponens volt megfigyelhető. (IAUC 7971, 7972, 7974)

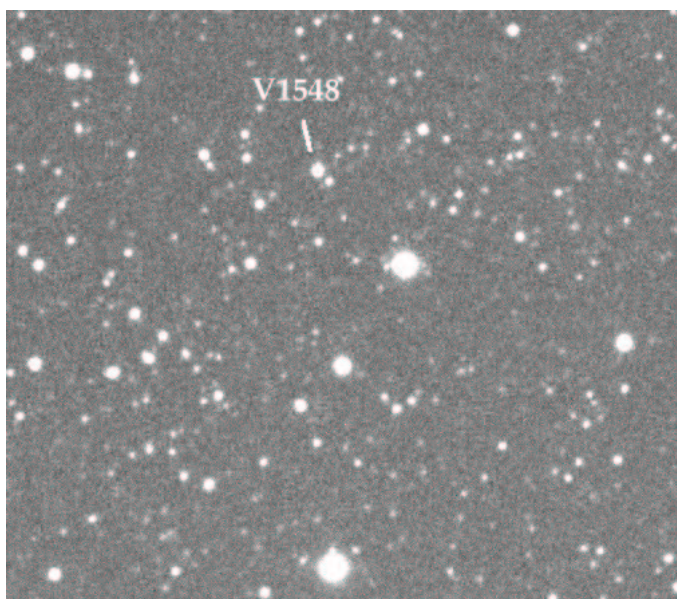
A fénygörbe

A fénygörbéből, illetve Morgan és tsai, 2003 cikke alapján a halványodás mértéke: $t_2 = 12$ nap, $t_3 = 23$ nap. A 13. ábra alapján a maximum időpontja $t_0 = 52533_{-0.5}^{+1}$ nap, a maximum látszó fényesség $7,^m1$. A (6-8) képletek segítségével a számított vizuális abszolút magnitúdók: $-8,^m1$, $-8,^m6 \pm 0,^m3$, $-8,^m6$, $-8,^m5$. Az átlaguk $M_V = -8,^m45 \pm 0,^m3$. (Vörösödés elhanyagolásával ez a távolságra kb. 13 kpc-t jelent)

3.4. V1548 Aquilae

Előzmények:

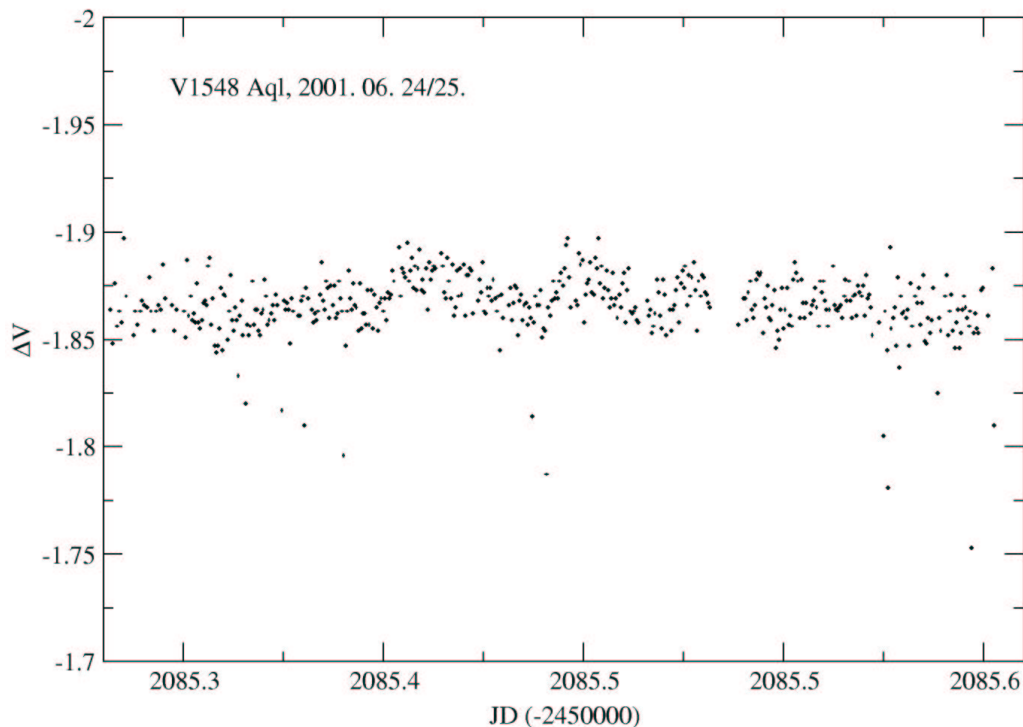
M. Collins fedezte fel 2001. május 11-én 10,^m9 fényességnél. A nóva ezután csak halványodott, és korábbi felvételeken sem volt fényesebb, így ezt az időpontot és fényességet tekinthetjük maximum körülinek. Egy május 18-i spektrumon tisztán látszottak a nóva erős $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ vonalai és a szokásos hélium- és vasvonalak. A hidrogén Balmer-sorozatának vonalai 1100 km/s félértékszélességűek voltak. A HeI emissziós vonalak 706,5, 667,8 és 587,6 nm-nél voltak, és volt számos FeII vonal is, például 492,3 és 501,8 nm-nél. A $H\alpha$ és $H\beta$ aránya 14-nek adódott. Ebből erős vörösödésre lehet következtetni (mivel vörösödésmentes esetben arányuk 3 körüli). Körülbelül 55 nappal a felfedezés után a spektrum eléggé alacsony gerjesztettséget mutatott. A fluoreszcenciásan gerjesztett OI vonalakat és FeII vonalakat hasonlóan jól lehetett azonosítani, mint a megengedett HI és HeI vonalakat. Mindkettőnél - a HI 1,0830 μm triplétt és HeI 2,0581 μm vonal - megfigyelhető volt a P Cyg profil. Minden vonalszélesség 1000 km/s körüli érték volt. (IAUC 7627, 7628, 7673)



14. ábra. A V1548 Aql.

A 14. ábrán látható fotót 2001. július elsején készítettem Kiss Lászlóval és Derekas Alizzal. Ezzel a nóvával már 2001 júniusában elkezdtem foglalkozni, amikor az MTA KTM CSKI piszkéstetői obszervatóriumban CCD fotometriai méréseket végez-

tem a 60/90/180 cm-es Schmidt-távcsővel. Ezek a mérések sajnos nem sok eredményre vezettek, mivel legfőbb célunk, az esetleges rövid periódusú változások kimutatása nem valósult meg. A 15. ábrán egyik éjszakai fénygörbét mutatom be, amin nagyon bizonytalanul sejthető valamilyen változás, de ez nem eléggé meggyőző.



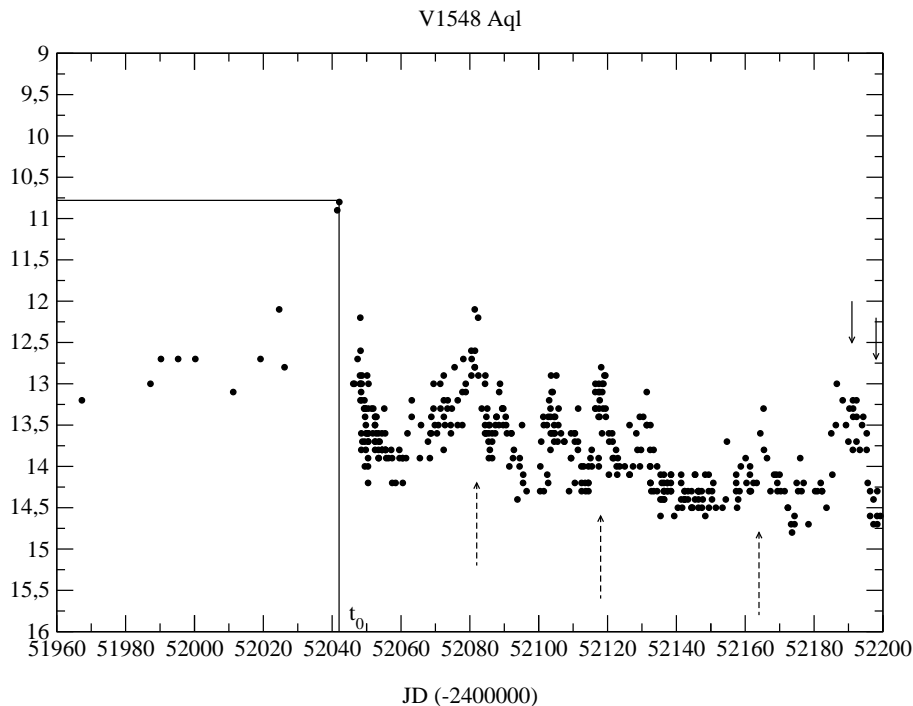
15. ábra. A V1548 Aql egy éjszaka bekövetkező fényességváltozása.

A fénygörbe:

A fénygörbéről a t_2 és t_3 meghatározása nem lehetséges, mert a leszálló ágon szabálytalanságok, felfényesedések vannak. (L. 16. ábra szaggatott nyíllal jelzett helyek.) A spektroszkópiai felvételeink a folytonos nyíllal jelzett fényességeknél (ábra jobb szélénél), illetve időpontokban készültek.

A spektrum:

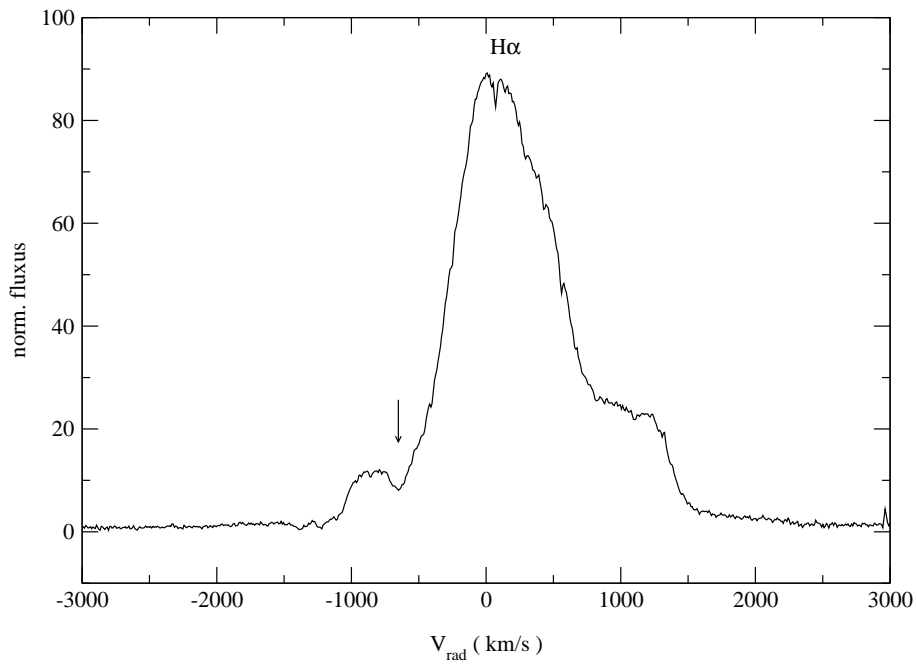
Az 17. ábrán látható $H\alpha$ vonalról 2001. 10. 15-én készült felvétel, $d=1800$ vonal/mm rácással, $\lambda = 6563\text{\AA}$ központi hullámhosszal. Itt az emissz-



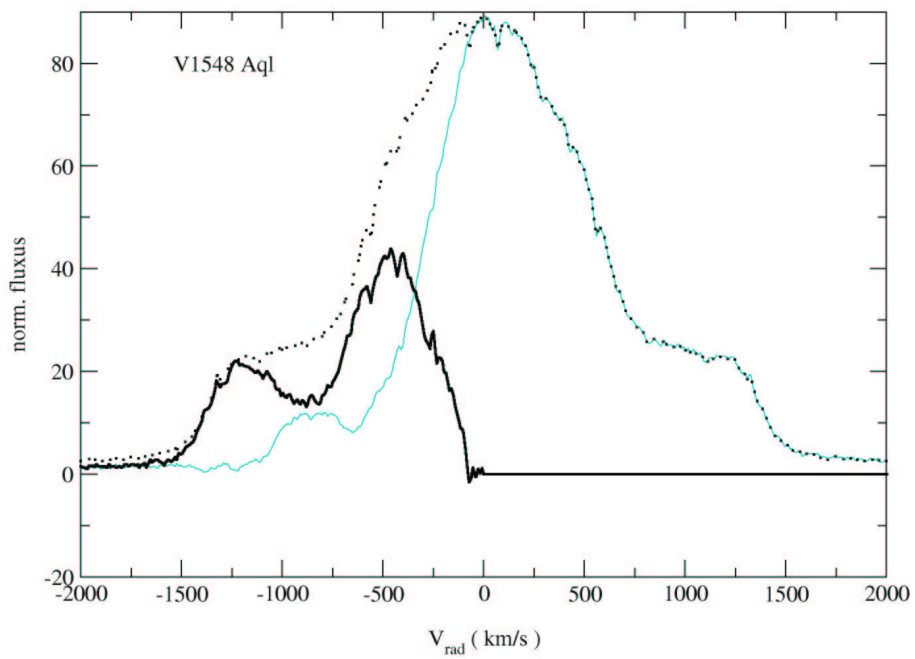
16. ábra. A V1548 Aql fénygörbéje a maximum időpontjával, és fényességével, a szaggatott nyilak a felfényesedéseket, a kis nyilak pedig a spektroszkópai megfigyelések időpontját jelzik.

iós vonal kék oldalán az abszorpciós gödör nem látszik olyan egyértelműen, mivel a $H\alpha$ vonalának mindkét oldalán megjelent egy szimmetrikus elhelyezkedésű kísérő emissziós csúcs. Ennek megjelenése nagyon érdekes.

A szakirodalomban az ilyen vonalprofil általában valamilyen irányított anyagledobódásnak, azaz kollimált jetnek tulajdonítanak (pl. Munari és mtsai, 2001, Tomov és mtsai, 2000). Valószínűleg ez az emissziós vonalpár is jettől származhat, ami egy nagy sebességű anyagkilövellés, feltehetően az akkréciós koronggal valamilyen szöget bezárva (tehát a ledobódás nem gömb-, hanem tengelyszimmetrikus). Mi ferdén láthatunk rá, ezért lehet kb. „csak” 1000 km/s-nál az emissziós csúcsa. Ez rakódik rá a P Cyg profilra, aminek abszorpciós komponensének eltolódása emiatt elég pontatlanul olvasható le, első közelítésben valahol 700 és 1000 km/s közt van. Ha feltételezzük, hogy a $H\alpha$ vonal és a jettől származó emissziós vonal is szimmetrikus, akkor tükrözve a jobb oldalt, és kivonva ebből a felvett színeképet épp a P Cyg profilt kapjuk meg (l. 18. ábra). Innen az abszorpciós komponens eltolódása, kb. 900 km/s-nak adódik.



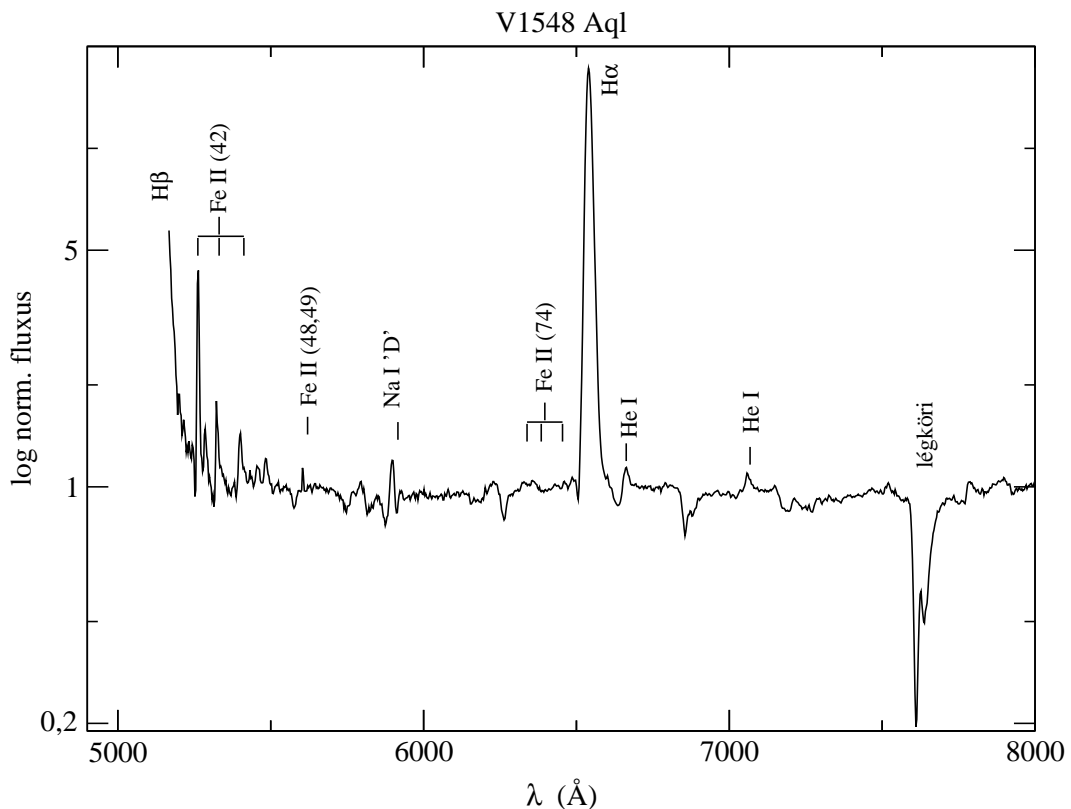
17. ábra. A V1548 Aql H α vonalprofilja.



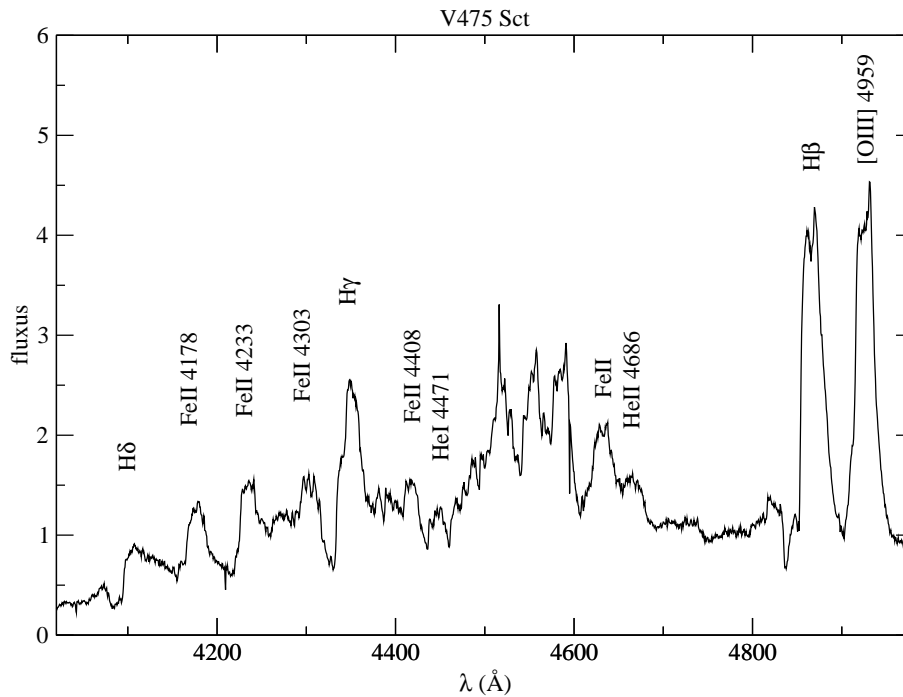
18. ábra. A V1548 Aql P Cyg profiljának "rekonstruálása".

A fénygörbe szabálytalanságait is a rendszer ilyenfajta tulajdonsága okozhatja. Lehet, hogy ez az objektum nem is nóva? Ha elfogadjuk a jet létét, akkor a V1548 Aql a szimbiotikus változócsillagok közé is tartozhat, melyek közt több jetes objektumot is ismerünk (pl. CH Cygni, AG Draconis). Ekkor viszont nem is vonatkoznak rá a halványodással (t_2 , t_3) kapcsolatos összefüggések. Egy lehetséges elképzelés az is, hogy a nitrogén tiltott vonalai jelentek meg, mivel hozzávetőlegesen éppen ennél a két $H\alpha$ -hoz közeli hullámhossznál létezik [NII] tiltott átmenet. Esetünkben azonban ez kevésbé valószínű, mert a tiltott átmenetek a nebuláris fázisra jellemzők, ami a színeképek felvételekor még nem érkezett el a V1548 Aql-nél.

A teljes optikai színeképet, ami 2001. 10. 08-án készült $d=831$ vonal/mm rácslándójú rácscsal, $\lambda = 6500\text{\AA}$ központi hullámhossznál, a 19. ábra mutatja. Ezen a $H\alpha$ vonal mellett jól láthatók az FeII, HeI vonalai, az NaI D vonala és egy nagyon erős légköri vonal.



19. ábra. A V1548 Aql optikai színeképe az azonosított spektrumvonalakkal.



20. ábra. A V475 Sct kék spektruma.

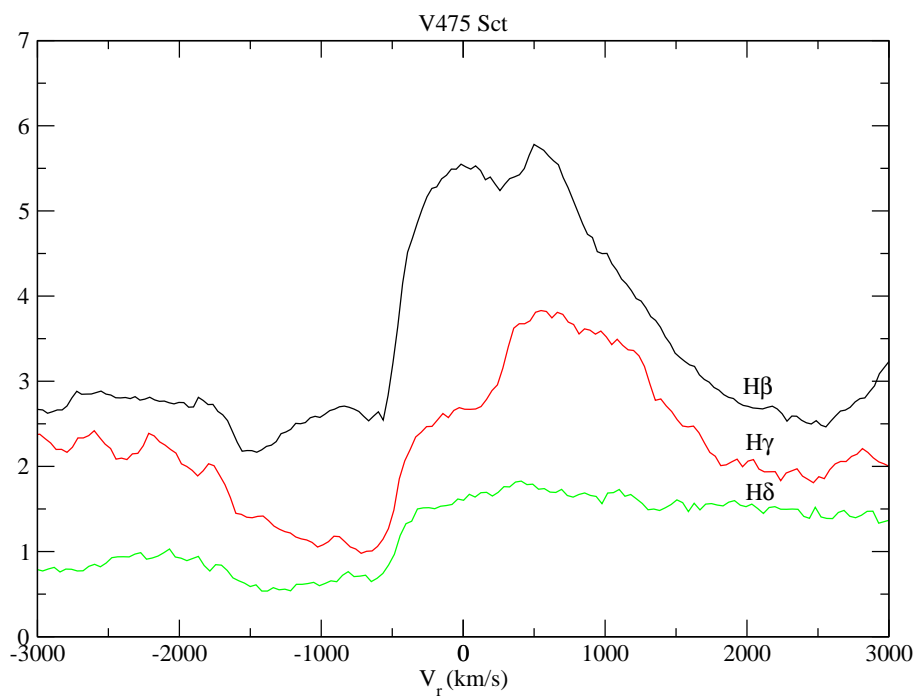
3.5. V475 Scuti

Előzmények

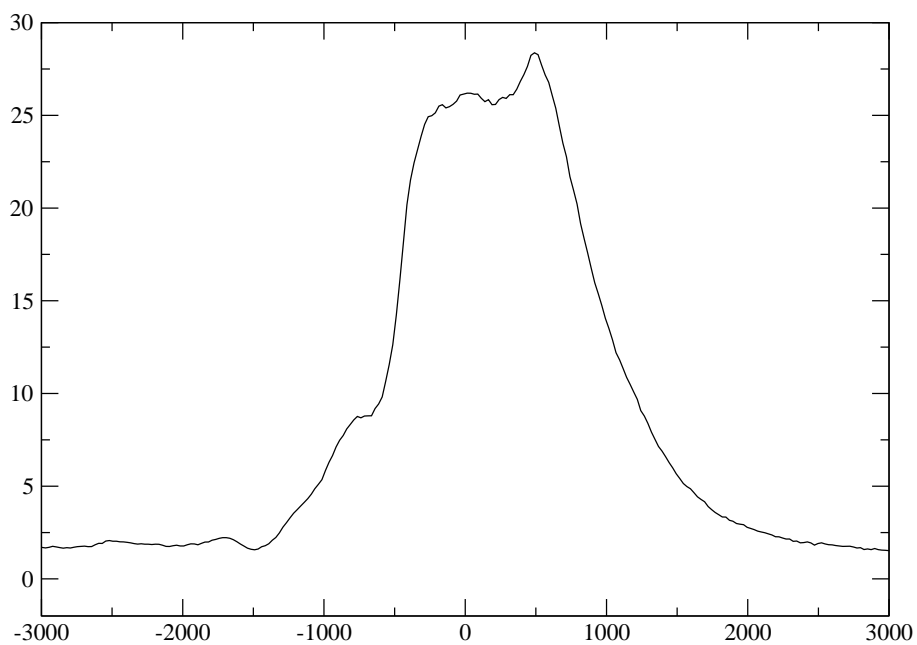
Hideo Nishimura fedezte fel 2003. augusztus 29-én 8,5 magnitúdós fényességnél. Néhány nappal korábbi ASAS-3 felvételeket vizsgálva ezen a helyen a következő fényességű objektumok voltak mérhetőek: aug. 24., 14,^m0; aug. 26., 10,^m1; aug. 28., 8,^m9.

S. Siviero, P.M. Marrese, U. Munari a csillag spektrumának fejlődését az Asiagoi Observatórium 1,22 m-es és 1,82 m-es távcsöveivel vizsgálták, mely alapján a klasszikus nóvák közé sorolták.

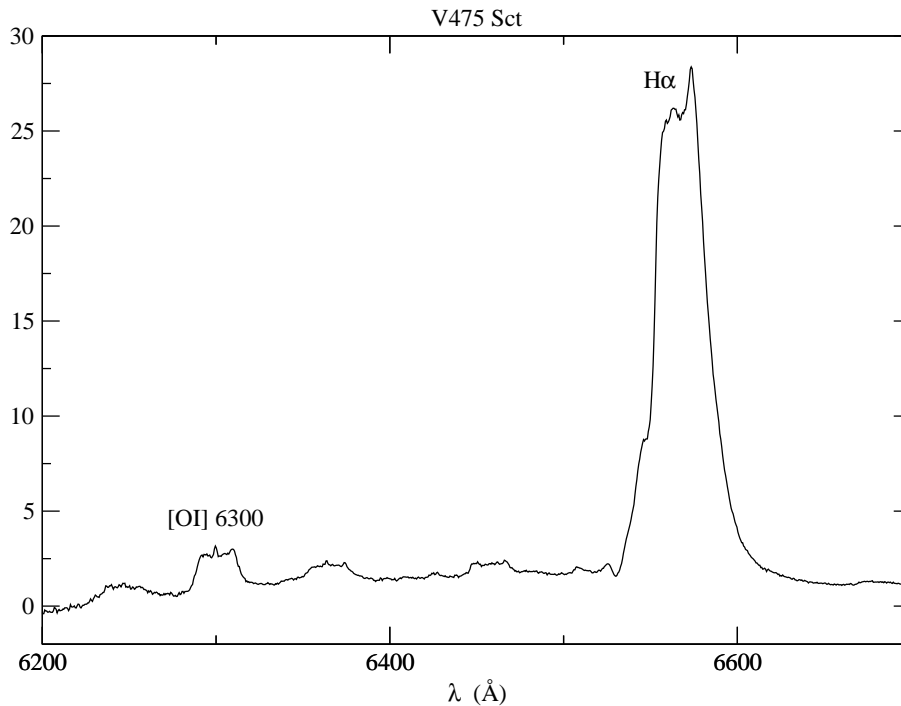
Egy szeptember 6-án készült felvétel egy emissziós spektrumot mutatott, melyben a FeII vonalak voltak dominánsak. A Balmer vonalak intenzitását gyors csökkenés jellemezte. A legtöbb vonal P-Cyg vonalprofil mutatott. (IAUC 8190, 8191)



21. ábra. A kék tartománybeli hidrogén vonalak.



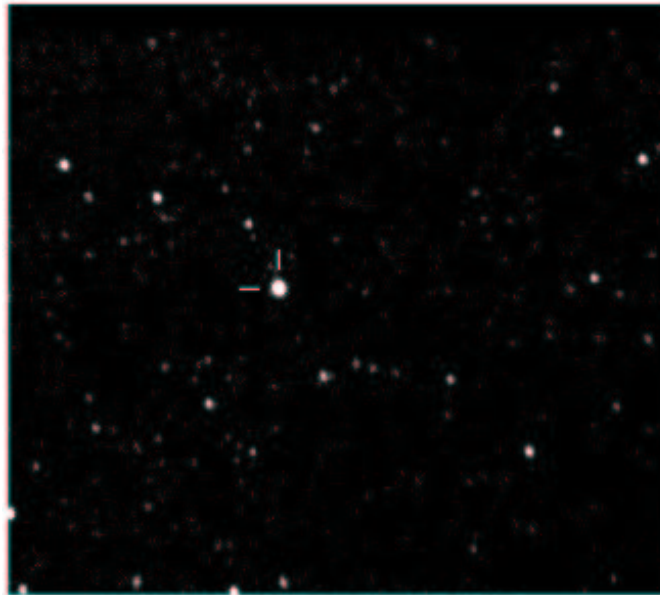
22. ábra. A V475 Sct $H\alpha$ vonala.



23. ábra. A V475 Sct H α vonalának környezete.

A spektrum

A kék tartományban (20. ábra) igen sok FeII vonal azonosítható. Ugyanezen ábrán természetesen jól megfigyelhetők a H β , H γ és H δ vonalak, melyek alapján (21. ábra) a tágulási sebesség 700 km/s. Ezt összevetve viszont a 22. ábrán lévő H α vonal kék oldalát jobban megvizsgálva nem feltétlen állítható, hogy ez a helyes érték. Lehetséges, hogy itt is valami hasonló jelenség van, mint a V1548 Aql-nél.



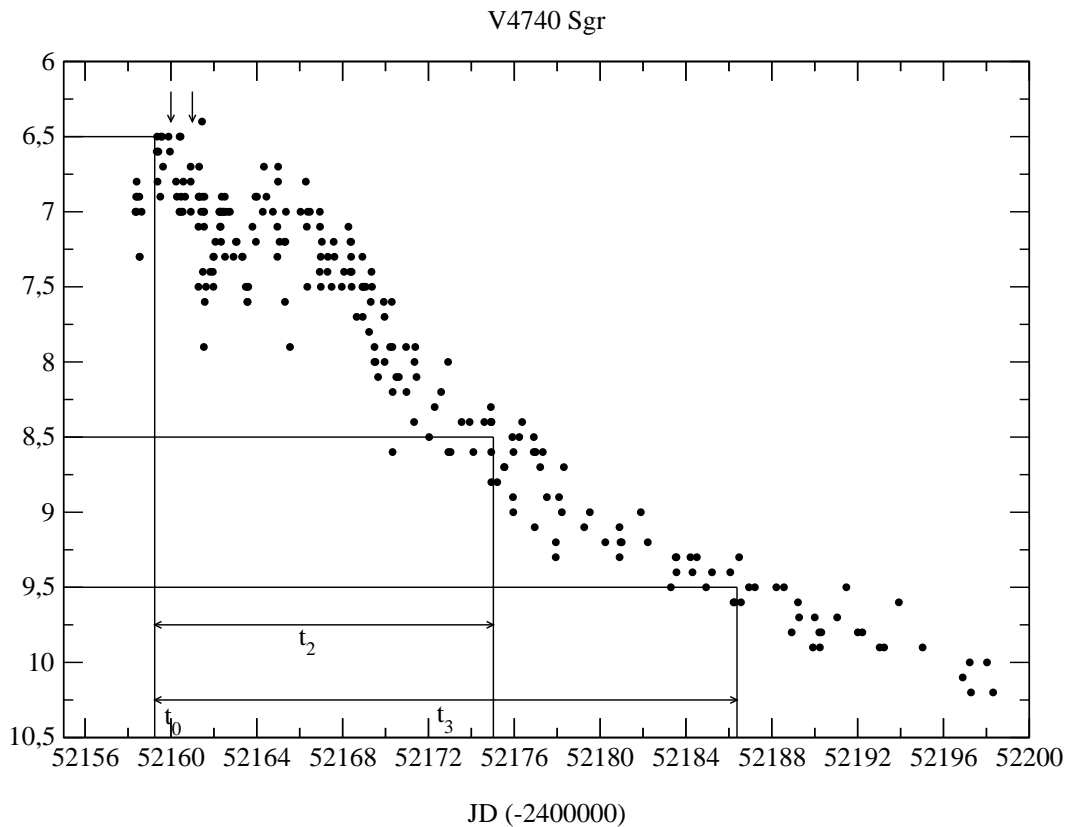
NOVA Sgr 2001 N.3 V4740 Sgr
09 Sep. 2001 20.30 U.T.
0.20-m SC 106.3 MX916 Antonio Giambersio

24. ábra. A V4740 Sgr.

3.6. V4740 Sagittarii

Előzmények:

A Sagittariusban 2001-ben harmadikként feltűnt nóvát egymástól függetlenül A. Pereira, és W. Liller fedezte fel. Pereira 2001. szeptember 5-én látta meg először egy binokulárral 7^m0 fényességnél. Liller ennél korábban, szept. 3-án készített fotón 10^m találta, de felfedezését csak később, szept. 6-án készített CCD képpel erősítette meg. Ezen a képen az objektum 7^m27 volt. Liller az erős folytonos színeképben gyenge $H\alpha$ emissziós vonalat talált, ami becslése szerint csak 20%-kal volt fényesebb, mint a környezete. Egy szept. 9,238 UT-kor készült, a 320-900 nm-es intervallumot át-fogó színeképen a Balmer-sorozat HI vonalai és az FeII vonal különböző multiplet-tjei domináltak. A Na I D P Cyg profiljából az abszorpció 1500 km/s-nak felel meg. (IAUC 7706, 7709)



25. ábra. A V4740 Sgr fénygörbéje a maximum időpontjával (t_0), és a két, illetve három magnitúdóval való fényességcsökkenéséhez szükséges időkkel (t_2 , t_3). A kis nyilak a spektroszkópiai felvételek időpontját mutatják.

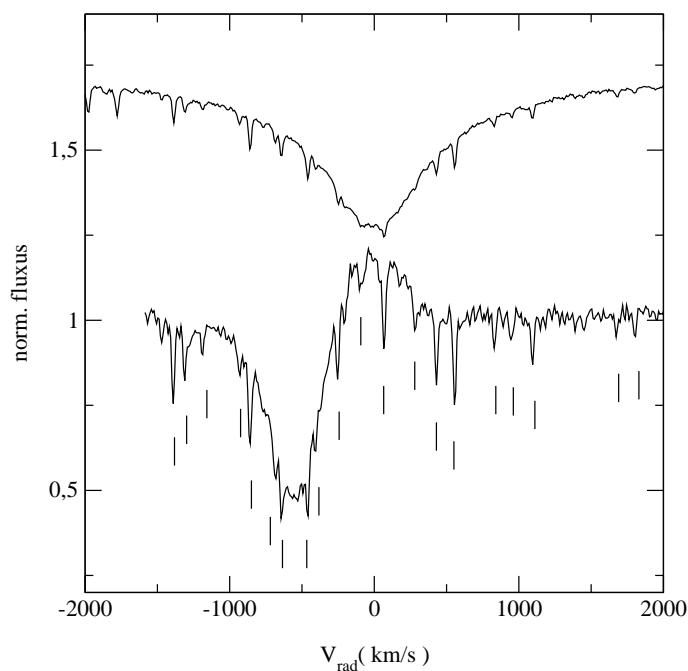
A fénygörbe:

A 25. ábrán látható fénygörbéről a maximum időpontja: $t_0 = 52159,2_{-0,2}^{+0,5}$ nap bizonytalansággal. A látszólagos magnitúdó maximuma ekkor: $6,5^m \pm 0,3^m$.

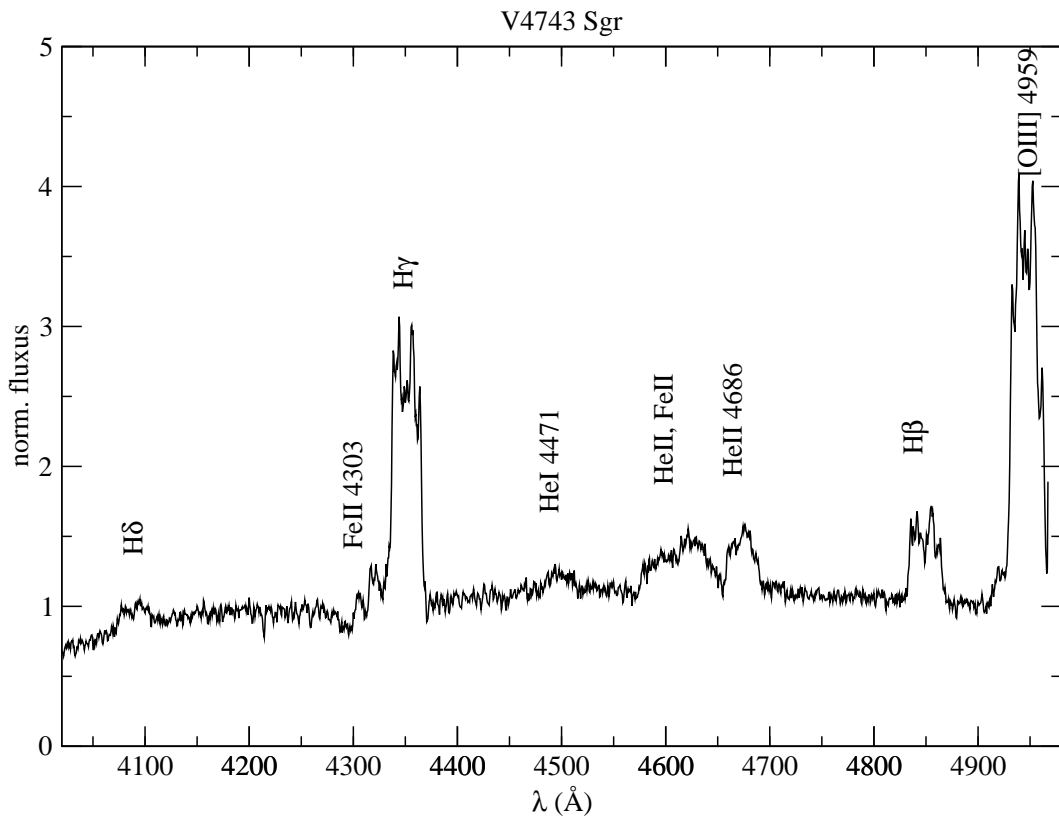
A halványodás: $t_2 = 15,5 \pm 1$ nap, $t_3 = 27 \pm 2$ nap. Behelyettesítve a (6-8) összefüggésekbe a számított magnitúdók rendre: $-7,9^m$, $-8,2^m$, $-8,33^m$, $-7,96^m$. Tehát a maximumban a vizuális abszolút magnitúdó értéke: $-8^m \pm 0,4^m$. Az ekvivalens szélességből, illetve a fényességekből a távolságmodulus definíciója alapján a csillag távolsága, bár nagy pontatlansággal, de számítható: $r = 5,9_{-1,7}^{+2,5}$ kpc. A hiba valószínűleg nagyobb, mert a 6613\AA -nél lévő DIB bizonytalanul azonosítható, így az ekvivalens szélesség meghatározása is kevésbé pontos.

A spektrum:

A 26. ábrán két spektrum látható, melyek 2001. 10. 16-án készültek. Az alsó a V4740 Aql-é, a felső pedig egy összehasonlító csillagé (HD177724, ζ Aquilae). Ez egy olyan gyorsan forgó csillag, amely közeli és A típusú. Azzal, hogy ilyen csillagot választottunk, kiküszöböltük azt, hogy a színekben sok vonal származzon a csillag fotoszférájából, hiszen az A típusú csillagok színekében gyakorlatilag csak a hidrogén vonalai jelennek meg. Tehát az azonosítható vonalak a földi légkör vonalai. A nóra színekével összehasonlítva kiszűrhetjük a légköri vonalakat (kis vonalakkal jelezve). A spektrumban a légköri vonalak feltűnően erősek, ami pedig abból következik, hogy a csillag nagyon délen van és vastag légkörön keresztül kellett észlelni Torontóból. A P Cyg profilból a tágulás sebessége meglepően kicsi, alig 500-600 km/s. Ez ritka a klasszikus nóváknál.



26. ábra. Az alsó görbe a V4740 Sgr $H\alpha$ vonala, a felső pedig az összehasonlító csillag színeképe. A kis szakaszok a légköri vonalakat mutatják.



27. ábra. A V4743 Sgr kék spektruma.

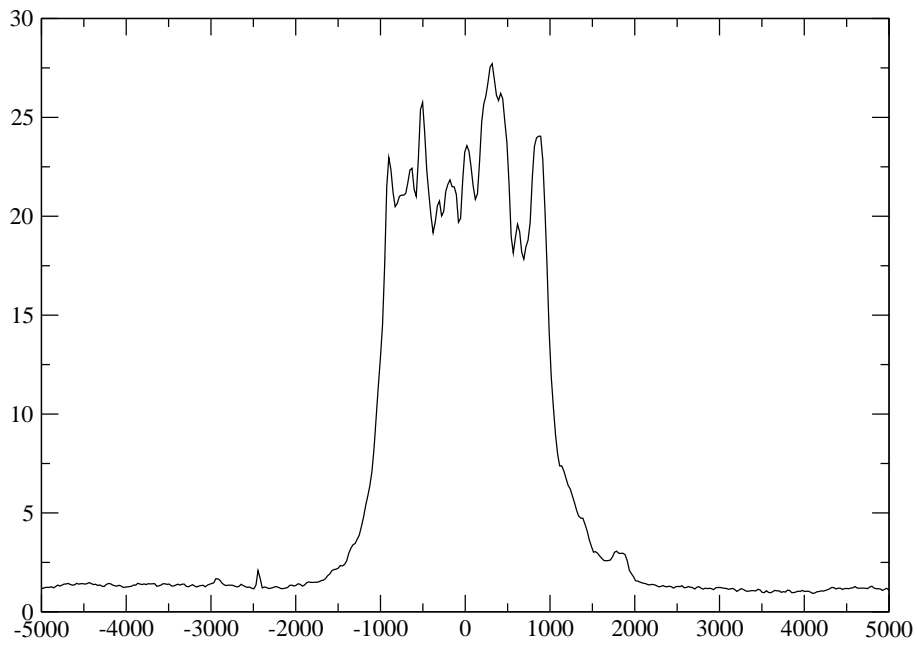
3.7. V4743 Sagittarii

Előzmények

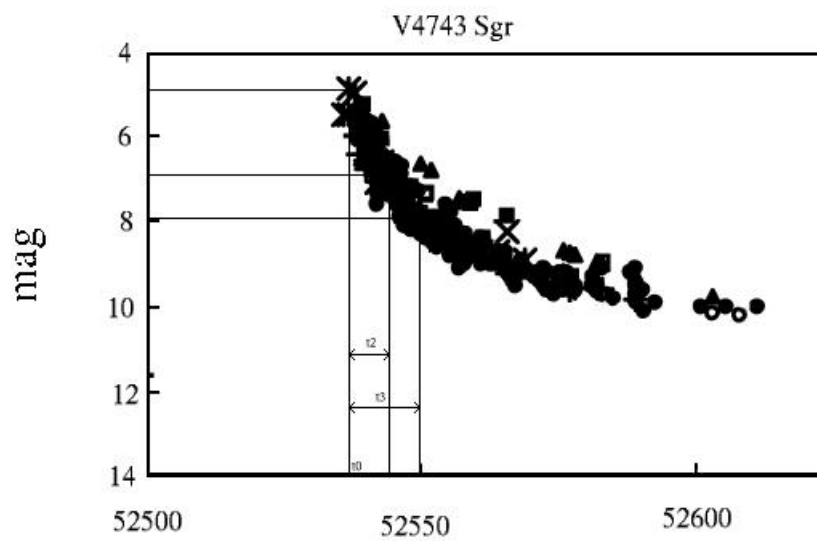
A Sagittariusban 2002. szeptemberben másodikként felrobbant növőt Katsumi Haseda (Aichi, Japán) fedezte fel 2002. szept. 20-án. Egy nem sokkal a maximum után készült spektrumfelvételen igen erősek voltak a hidrogén Balmer-sorozatának vonalai, és az FeII emissziós vonalak. Ez megerősítette, hogy az objektum egy FeII osztálybeli nóva. A $H\alpha$ vonal félértékszélessége 2400 km/s volt. (IAUC 7975)

A spektrum

A $H\alpha$ vonal körüli tartományról 235 nappal a maximum után készült spektrumfelvételen (28. ábra) jól azonosítható a 6613Å-nél lévő DIB. Ennek ekvivalens szélességének mérésével meghatározható a vörösödés: $E(B-V)=0,86$ körüli érték, amelyből $A_V=2,68$. Így a fénygöréből leolvasott, ill. számolt eredmények alapján



28. ábra. A V4743 Sgr $H\alpha$ vonala.



29. ábra. A V4743 Sgr fénygörbéje.

a (2) összefüggésből a nóva távolsága 20 ± 5 kpc. Az 27. ábrán a hidrogén Balmer-sorozata és néhány He vonal jól megfigyelhető.

A fénygörbe

A 29. ábráról leolvasható: $t_0 = 52537_{-0,5}^{+1}$ nap. A két és három magnitúdóval való halványodás $t_2 = 7,4 \pm 1$ nap, $t_3 = 13 \pm 1$ nap alatt következett be. A látszólagos maximum: $m = 4,^m86$. A (6-8) képletek segítségével a számított magnitúdók: $-8,^m7$, $-9,^m3 \pm 0,^m3$, $-8,^m8$, $-9,^m14$. Az átlaguk $M_V = -9,^m0 \pm 0,^m3$.

3.8. V2275 Cygni

Előzmények:

A Cygnus 2001-ben másodikként feltűnt nóját (lásd 2. ábra) A. Tago fedezte fel 2001. augusztus 18-án 8,^m8 fényességnél. Augusztus 19,9 UT-kor következett be a csillag maximuma 6,^m8 magnitúdós fényességnél, ami után gyors halványodásba kezdett. A korai színeképelemzés megerősítette a csillag nóva mivoltát, a hidrogén Balmer-sorozat vonalait mély P Cyg vonalprofil jellemzi. A H α vonalból a tágulás korai sebessége 1700 km/s-nak adódott. A $B - V$ színindexre 1,^m1-t adtak maximumban, valódi vörösödést sugallva. Ez megmaradt 1^m körül a maximum utáni első héten, amikor a látszó fényesség 9,^m2-ig csökkent.

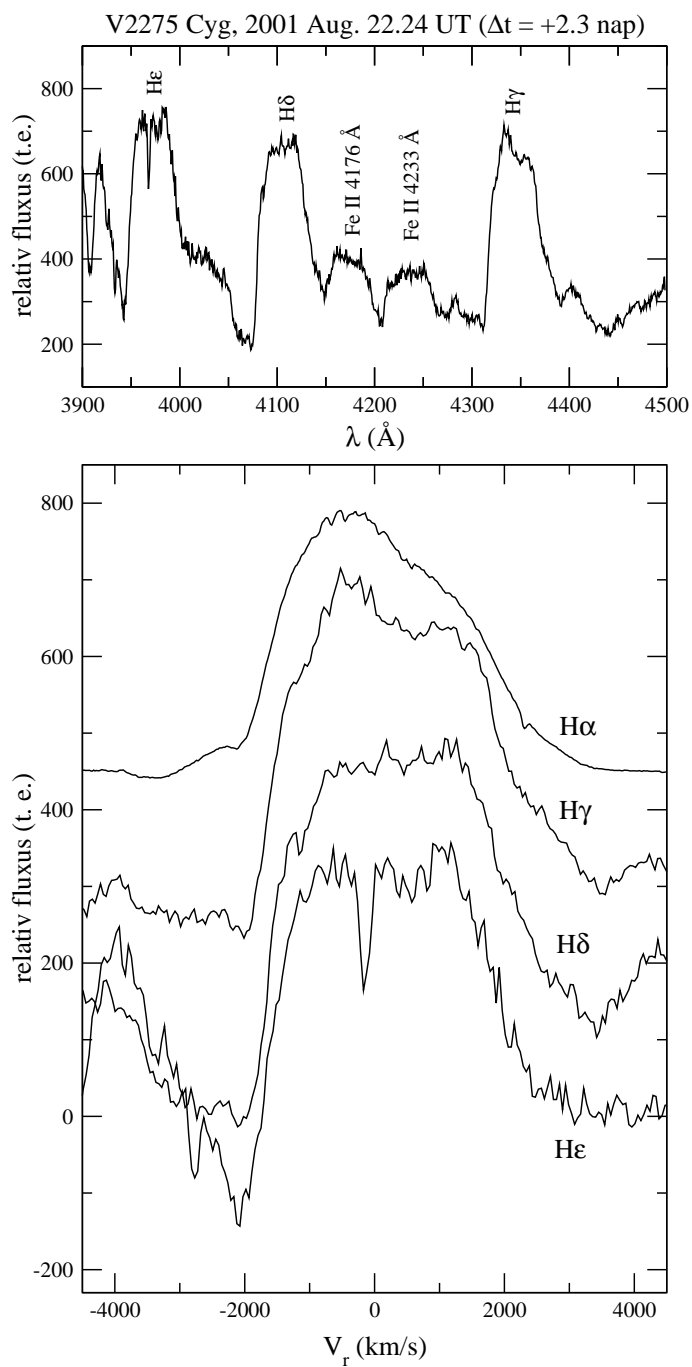
A spektrum:

A 4. táblázat a felvételek időpontját, a használt rács rácscsillandóját, a lefedett hullámhossz tartományt (Å), a felbontóképességet, illetve azt tartalmazza, hogy a maximum után hány nappal történt a megfigyelés.

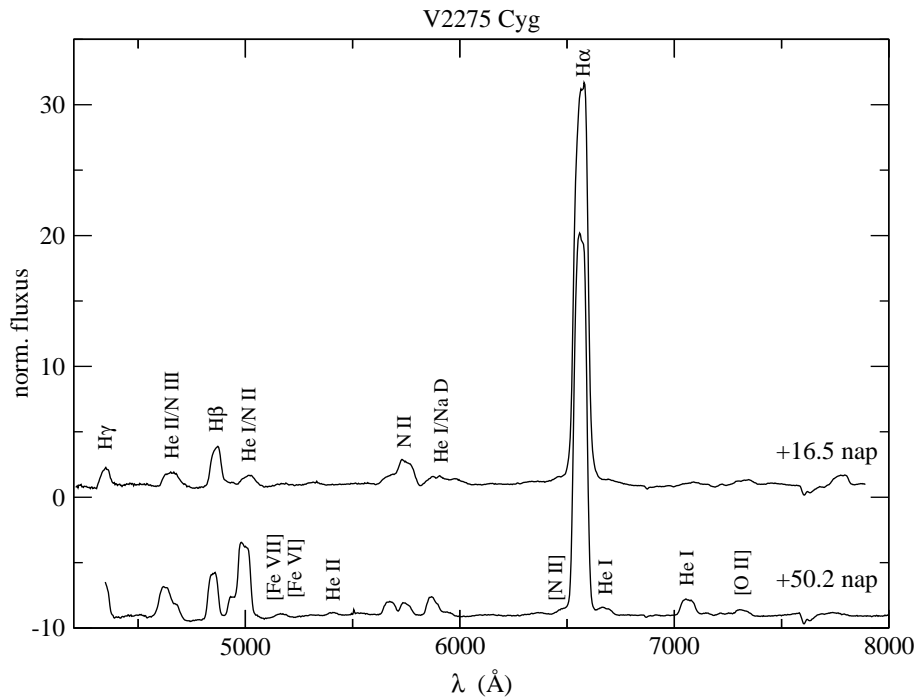
Időpont	MJD	vonal/mm	tartomány	$\lambda/\Delta\lambda$	$\Delta t(\text{nap})$
aug.22.	143.70	831	6300-6800	6000	+2.3
	143.74	600	3900-4500	7000	+2.3
szept.5.	157.85	100	4200-7900	1400	+16.5
	157.87	1800	5800-6000	9800	+16.5
szept.7.	159.57	1800	6500-6700	11000	+18.2
szept.9.	161.64	1800	6500-6700	11000	+20.2
szept.10.	162.53	600	8350-8950	11000	+21.1
szept.12.	164.57	831	6400-6900	6000	+23.2
okt.8.	191.56	100	4300-8000	1400	+50.2
	191.66	831	6300-6800	6000	+50.3
	191.72	1800	6450-6650	11000	+50.3
okt.15.	198.53	1800	6450-6650	11000	+57.1
okt.17.	200.53	1800	6450-6650	11000	+59.1

4. táblázat. Az észlelésekkel kapcsolatos adatok. (MJD=JD–2452000)

Az első spektroszkópiai mérés 2001. augusztus 22-én volt, kb. 2 nappal a vizuális maximum után. Ekkor egy 600Å-t átfogó spektrum készült a kék tartományból, és egy H α profil. A kék spektrum szembeűnő hidrogén Balmer-sorozatot (H γ , H δ , H ϵ) mutatott, és két széles vasvonalat. Az egymást részben átfedő emissziós vonalak



30. ábra. A felső ábrán a V2275 Cyg kék tartománybeli színképe van. Az alsó a különböző hidrogénvonalak szerkezetét mutatja.

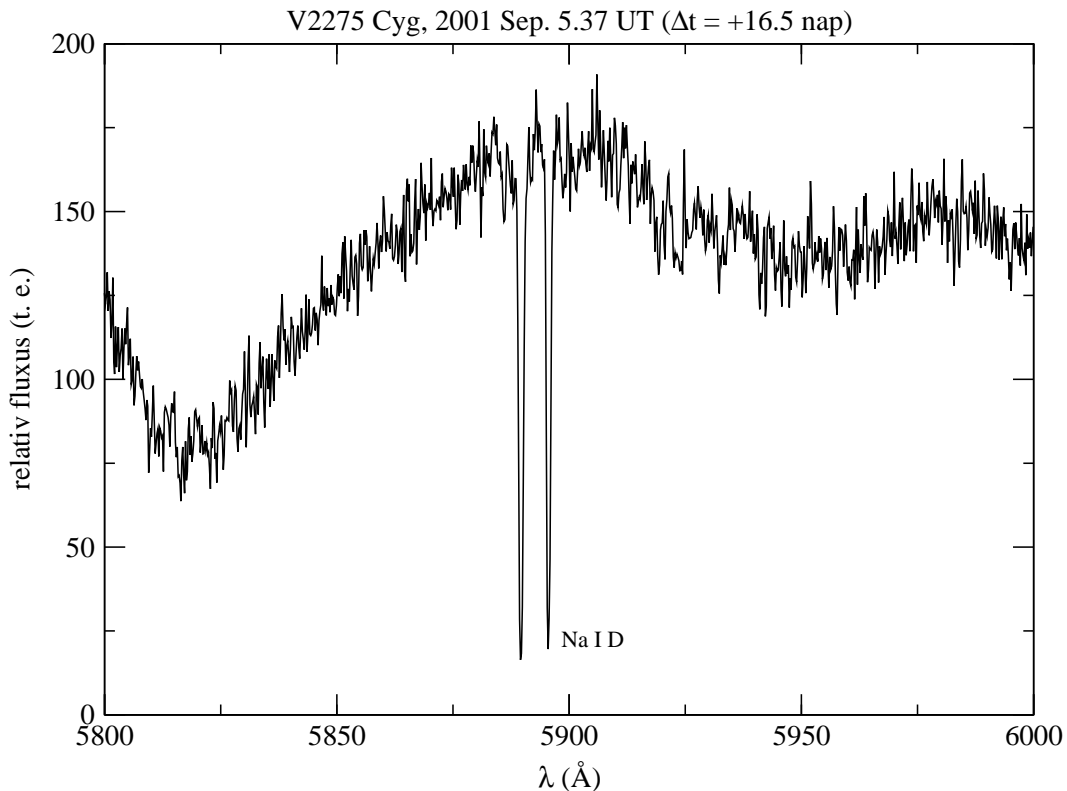


31. ábra. A V2275 Cyg teljes optikai színeke 16,6 illetve 50,2 nappal a maximum után.

jelenlétének köszönhetően a kontinuumszint bizonytalan. Ezért a spektrum nincs normálva. Ez a 30. ábra felső grafikonján látható. Az alsón az egyedi hidrogénvonal profilok jól összehasonlíthatók.

A P Cyg profil nagyon hasonló mind a négy vonalnál, és ezekből a tágulás sebessége kb. 2100 km/s (kb. 50 km/s felbontóképességgel). A következő mérés szeptember 5-én volt, amikor egy közepes felbontású nátrium D vonal (l. 32. ábra), illetve az egész optikai tartomány (4200-7900Å) lett felvéve. Ez az okt. 8-i kis felbontású spektrummal együtt látható a 31. ábrán, így a spektrális megjelenés változása jól megfigyelhető. Továbbá a Williams és munkatársai által (1991, 1992, 1994) publikált megfigyelési anyagukat felhasználva a következő vonalakat lehetett azonosítani: a H Balmer-sorozatot H α -tól H γ -ig, NIII 4640/ HeII 4686, NII 5001/ HeI 5016, NII 5679/ HeI 5876/ NaI D. A későbbi spektrumok jelentős különbségeket mutatnak a vonalak erősségében, és néhány emissziós vonal utólagosan megjelenik. Ezek: [FeVII] 5159, [FeVI] 5176, HeII 5412, [NII] a H α -val keveredve, HeI 6678, HeI7065, [OII] 7325.

A 32. ábrán egy erős intersztelláris Na D komponens látható, hisz ez túl keskeny

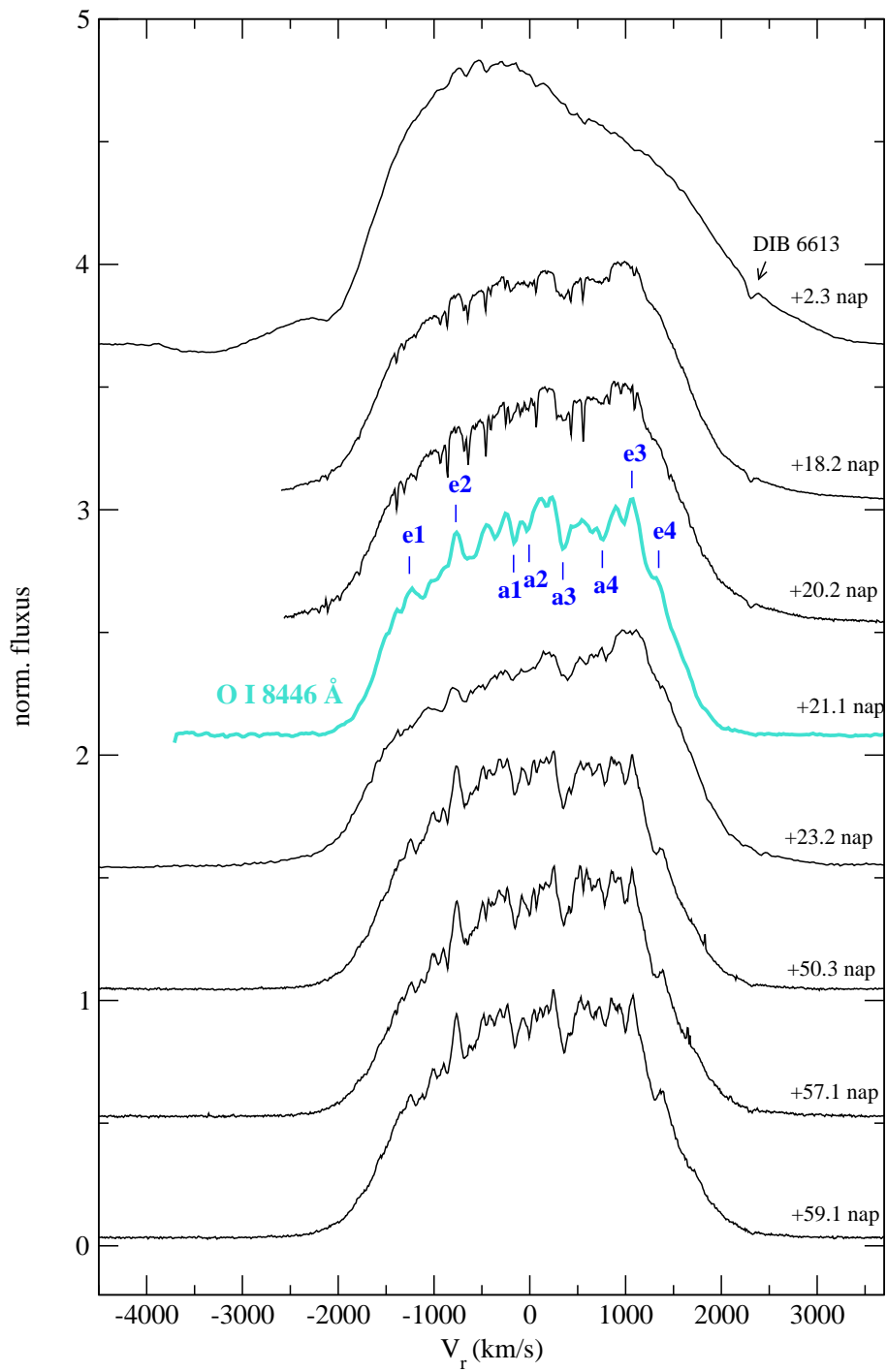


32. ábra. A V2275 Cyg Na D és He összeolvadt vonala erős intersztelláris komponenssel.

(kb. 50 km/s széles) ahhoz, hogy a nóból származzon. A nóva Na D vonala a nagy sebességek miatt igen széles, ráadásul a közeli hullámhosszúságú He vonallal összeolvadva látszik. Itt megint nem volt lehetőség a normálásra az ismeretlen kontinuum szint miatt.

Mivel viszonylag sokszor készült spektrumfelvétel a $H\alpha$ vonalról, ezért fejlődésének vizsgálata is lehetőségessé vált. A legerősebb emissziós vonal lévén, nagyon jól megfigyelhető volt még a kései fázisban (2001. október) is, amikor a látható fényesség már 12 magnitúdó alá csökkent. A 31. ábra a megfigyelt vonalprofilokat mutatja be összegyűjtve. Erős diffúz intersztelláris sávot (DIB) lehet megfigyelni 6613 Å-nél. A vonalprofil általános megjelenése lényegében megmarad ugyanolyannak, csak a kontinuum maximuma (normált fluxus) változik 15 és 35 között. Sőt, a szeptember 10-én a távoli vörös spektrumban (8350-8950 Å) lévő OI 8446 emissziós vonal is ugyanazokat a rendszerkomponenseket mutatja.

Az egyes komponensek radiális sebességét is meghatároztuk (l. 5. táblázat),



33. ábra. A V2275 Cyg H α vonalprofiljának evolúciója, és egy O vonal szerkezete.

Komponens	a1	a2	a3	a4	e1	e2	e3	e4
$V_r(\text{km/s})$	-160	0	360	760	-1250	-760	1080	1380

5. táblázat. Az O I és $H\alpha$ vonalak emissziós és abszorpciós komponenseinek radiális sebessége.

habár nehéz volt eldönteni, hogy melyik vonal van emisszióban és melyik abszorpcióban. Összességében a V2275 Cyg spektrális tulajdonsága megegyezik a "He/N" növőkéval, azaz a ledobódó felhő anyagának túlnyomó része egy diszkrét héj alakjában távozott a fehér törpe felszínéről.

Az intersztelláris vörösödés

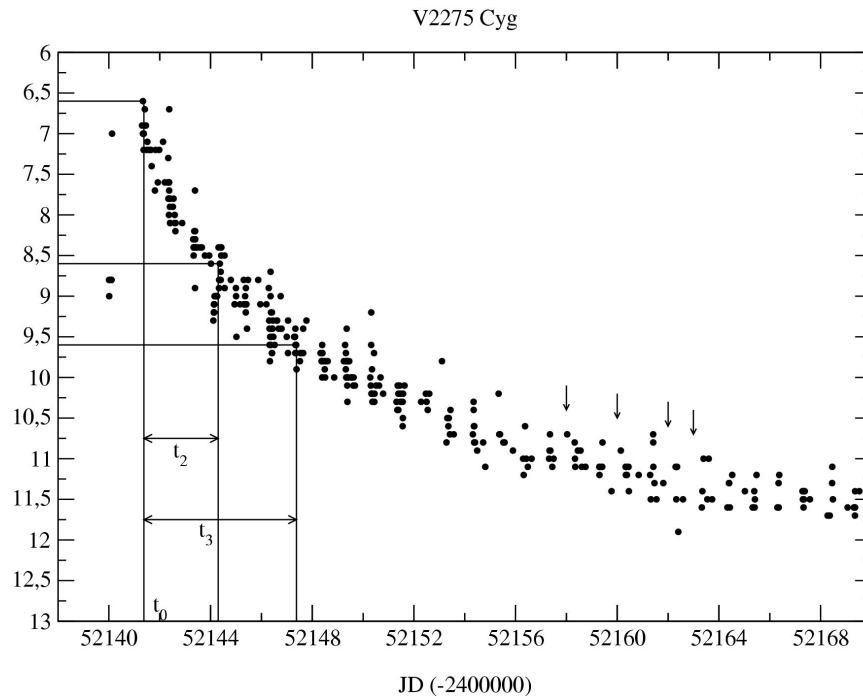
A vörösödés meghatározása három különböző módon történt:

1. Megvizsgáltunk minden közepes felbontású spektrumot, hogy azonosítsuk a DIB-eket. Jenniskens és Désert 1994-es listájából csak egy DIB-et lehet egyértelműen azonosítani 6613Å-nél. Megmérve ennek ekvivalens szélességét: 210 ± 20 mÅ. Ez az eredmény az (10) képlet alapján $E(B - V) = 1,^m0 \pm 0,^m1$ -nak felel meg.

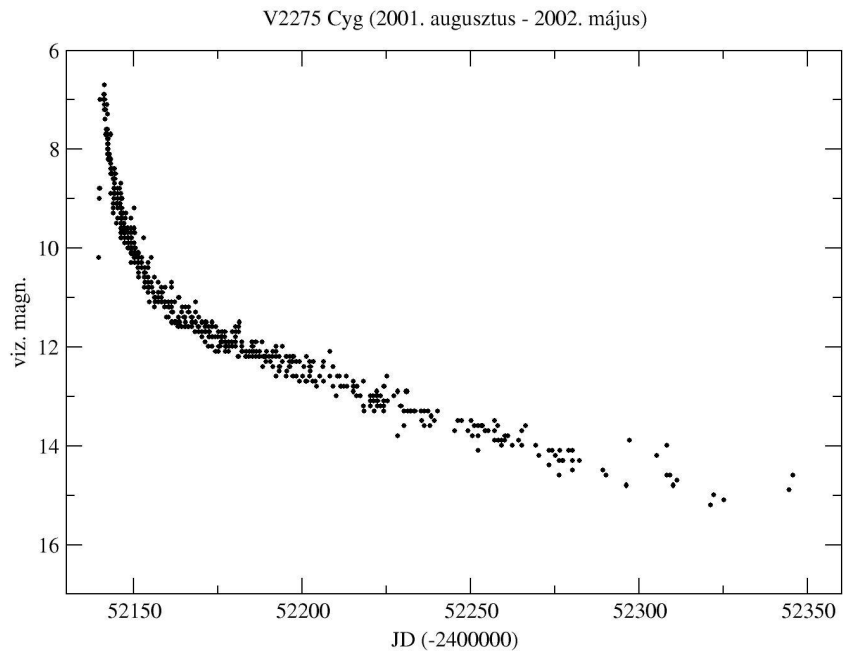
2. A 3933,66Å-nél lévő CaII vonal mérhető volt. Szakirodalom alapján tudjuk, hogy a CaII ekvivalens szélessége az 5780-as intersztelláris vonal ekvivalens szélességével összehasonlítva: $eqw_{CaII}/eqw_{5780} \sim 0,81$ (Jenniskens & Désert, 1994). Ezért, bár mi nem detektáltuk a DIB 5780-t, meg tudjuk becsülni az erősségét a CaII vonaléból. Ennek a vonalnak az ekvivalens szélességéből táblázat (Jenniskens & Désert, 1994) alapján már meg tudjuk határozni a vörösödést: $E(B - V) = 1,^m03 \pm 0,^m2$.

3. A színindexekből: Maximumban, ha nem lenne vörösödés: $(B - V)_0^{max}$ -ra $0,23 \pm 0,06$ magnitúdót, t_2 -vel a maximum után $(B - V)_0^{t_2}$ -re $\sim 0,^m0$ -t mérnénk (Warner, 1995). Sostero & Leopardo méréseinek eredménye: $B - V = 1,^m1$, illetve $1,^m0$ a maximumban, illetve 3 nappal a maximum után, ami ennél a csillagnál gyakorlatilag a t_2 . A színexcesszus $0,^m9$, illetve $1,^m0$ -nak adódott.

Vagyis minden vörösödésbecslés $1,^m0$ körül szóródik. A fő értékek ($1,^m0$, $1,^m03$, $0,^m9$, $1,^m0$) jó egyezése ellenére nagyobb hiba elképzelhető. Az intersztelláris vörösödés tehát: $E(B - V) = 1,^m0 \pm 0,^m1$ becsült bizonytalansággal.



34. ábra. A V2275 Cyg kezdeti fénygörbéje. A maximumidőpont (t_0) és a két, illetve három magnitúdóval való fényességcsökkenéshez szükséges idők (t_2 , t_3). A kis nyilak néhány spektroszkópiai felvétel időpontját mutatják.



35. ábra. A V2275 Cyg fénygörbéje.

A fénygörbe:

A fénygörbe a 34. ábrán látható. A spektroszkópiai észlelések nyíllal vannak jelölve. Sajnos csak kevés adat van a maximum környékéről, így a becsült kezdőpont: $t_0 = 2452141,4_{-0,5}^{+0,1}$ nap. Az átlagos látszólagos maximum 6,8 magnitúdó. A halványodás üteme: $t_2 = 2,9 \pm 0,5$ nap, $t_3 = 7 \pm 1$ nap. Következtesképpen a V2275 Cyg egy gyors nóva. Valóban, eddig csak 3 gyorsabb nóvát figyeltek meg eddig: V1500 Cyg, V838 Her, MU Ser. A vizuális abszolút magnitúdók a (6-8) összefüggésekből rendre $-9,^m0$, $-10,^m6$, $-9,^m9$, $-9,^m4$. Az átlaguk $M_V = -9,^m7 \pm 0,^m7$. A becsült távolság a vörösödésből, és a kapott magnitúdókból eléggé pontatlanul az (2) képlet alapján 3 és 8 kpc közötti értéknek adódik.

4. Összefoglalás

Dolgozatomban nóvakitöréseket vizsgáltam meg spektroszkópai és fotometriai módszerek segítségével. Az analízishez néhány egyszerű empirikus törvényt használtam fel. Így az egyedi rendszerek néhány fizikai tulajdonságát tudtam meghatározni. Ilyenek például vizuális abszolút magnitúdó maximumban, halványodás mértéke, az objektum távolsága, a ledobott gázhéj tágulási sebessége.

A V2275 Cyg esetében a sok adat a nóva jellemzőinek részletesebb leírását tette lehetővé.

Számszerű eredményeimet a következő táblázat tartalmazza:

Nóva	t_2 [nap]	t_3 [nap]	M_V [mag]	r [kpc]	v_r [km/s]
V2274 Cyg	14,5	33	-8	$r < 50$	-
V4742 Sgr	12	23	-8,45	$r < 20$	-
V1548 Aql	-	-	-	-	900
V475 Sct	-	-	-	-	700
V4740 Sgr	15,5	27	-8	5,9	550
V4743 Sgr	7,5	13	-8,98	20	-
V2275 Cyg	2,9	7	-9,7	$3 < r < 8$	2100

6. táblázat. Összefoglalás

Munkám során a nóvak általános tulajdonságai mellett megfigyelhettem az egyedi rendszerekre jellemző sajátosságokat is. Például V1548 Aql $H\alpha$ vonala, mely nem a szokásos nóvakra jellemző alakú volt.

Irodalomjegyzék

- Mizser Attila (szerk.): Amatőr csillagászok kézikönyve, Magyar Csillagászati Egyesület, 2002 (2., átdolgozott kiadás)
- S. van den Bergh, P. F. Younger, 1987, *Astronomy & Astrophysics* 70, 125-140
- S. van den Bergh, 1988, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 100, 8-17
- W. Buscombe, G. de Vaucouleurs, 1955, *The Observatory* Vol. 75, p. 170-175
- M. Capaccioli, M. Della Valle, M. D'Onofrio, L. Rosino, 1989, *The Astrophysical Journal* 97, 1622-1633
- J. G. Cohen, 1988, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, p. 114-127
- J. G. Cohen, 1985, *The Astrophysical Journal* 292, 90-103
- W. A. Cooper - E.N. Walker : Csillagok távcsővégen
- M. Della Valle, M. Livio, 1995, *The Astrophysical Journal*, 452, 704-709
- P. Jenniskens, F.-X. Désert, 1994, *A&AS*, 106, 39
- Kiss L. L., J. R. Thomson, 2000, *Astronomy & Astrophysics* 355, L9
- Kiss L. L., A Nova Aquilae 1999/2 korai spektroszkópiája és fénygörbéje, *Meteor* 2000/2
- Kiss L. L., Gógh N., Vinkó J., Fűrész G., Csák B., H. DeBond, J.R. Thomson & Derekas A., 2002, *Astronomy & Astrophysics* 384, 982
- Kiss L. L., Csák B., Derekas A., 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 416, 319
- Marik Miklós (szerk.): Csillagászat, Akadémiai kiadó, 1989
- U. Munari, T. Tomov, B.F. Yuida és munkatársaik, 2001, *Astronomy & Astrophysics* 369, L1
- Németh. P., A GK Persei körüli gázfelhő tágulásának mérése, *Meteor* 2002/11
- W. Pfau, 1976, *Astronomy & Astrophysics* 50, 113-115
- T. Schmidt, 1957, *Zeitschrift für Astrophysik*, Bd. 41, S. 182-201
- T. Tomov, U. Munari, P. M. Marresse, 2000, *Astronomy & Astrophysics* 354, L25
- B. Warner, 1995, *Cataclysmic Variable Stars* (Cambridge University Press)
- R.E. Williams, 1992, The formation of novae spectra, *The Astrophysical Journal* 104, 725-733
- <http://www.kusastro.kyot-u.ac.jp/vsnet>
- <http://adsabs.harvard.edu>
- <http://ddo.astro.utoronto.ca/ddohome/instruments.html>

- IAUC No. 7323, 7324, 7325, 7665, 7674; 7666, 7677; 7627, 7628, 7673; 7971, 7972,
7974

Nyilatkozat

Alulírott Gőgh Noémi V. fizikus szakos hallgató kijelentem, hogy a diplomadolgozatomban foglaltak a saját munkám eredményei, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem, hogy diplomamunkámat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

Szeged, 2004. ápr. 30.

aláírás