

Szegedi Tudományegyetem, Kísérleti Fizikai Tanszék

Nóvakitörések spektroszkópiája és fotometriája

TDK dolgozat

Készítette: Gógh Noémi, IV. fizikus hallgató

Témavezető: Dr. Kiss L. László, egyetemi adjunktus

Szeged, 2002

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	3
2. A nívákról röviden.....	4
3. Alkalmazott eszközök, módszerek.....	9
3.1. Fotometriai alapfogalmak.....	9
3.2. Spektroszkópia.....	12
4. Eredmények.....	16
4.1. A V1494 Aquilae kései spektroszkópiája.....	16
4.2. A V2274 Cygni fotometriája.....	19
4.3. V1548 Aquilae.....	21
4.4. V4740 Sagittarii.....	26
4.5. V2275 Cygni.....	29
5. Összefoglalás.....	36
6. Irodalomjegyzék.....	37

1. Bevezetés

A Szegedi Tudományegyetemen nóvák spektroszkópiai kutatása 1999 óta folyik. A V1494 Aql kitörése volt az első a vizsgálatokban. Eddig a mérések helyszíne a David Dunlap Obszervatórium (DDO), Toronto, Kanada volt. A program kiterjesztéseképpen 2001 nyár végén és ősz elején is készültek itt spektrumfelvételek, melyeket Jim Thomson (augusztus), Vinkó József, Fűrész Gábor (szeptember) és Csák Balázs (október) készítették.



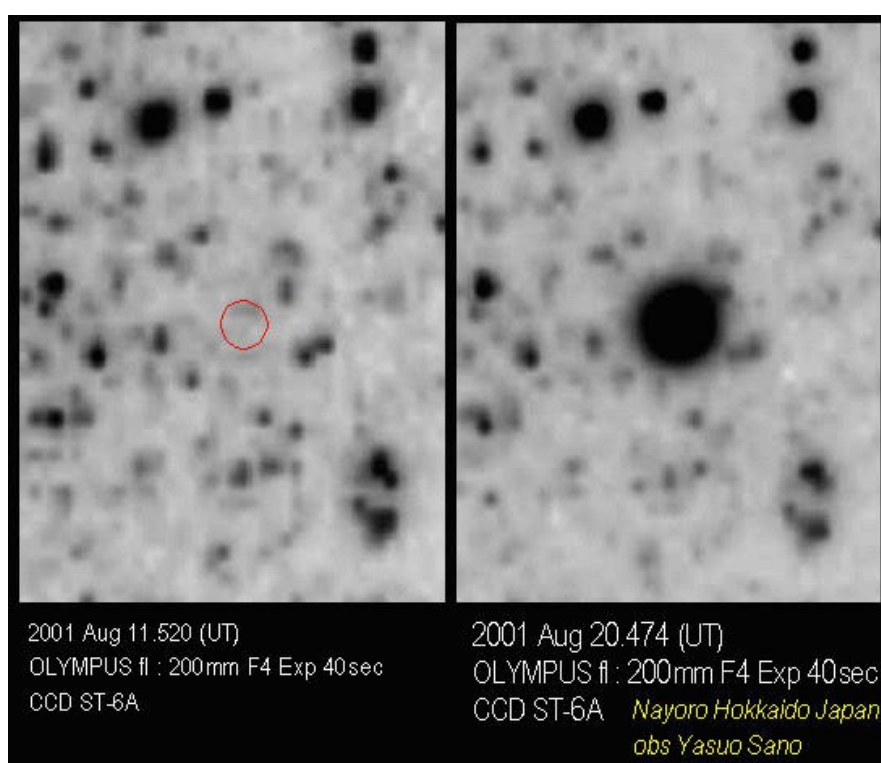
1. ábra: A DDO 1.88 m-es távcsöve

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. Általában, ha feltűnik egy „új” csillag az égen (nóva, esetleg 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 erők, és mennyire vannak kiszélesedve.

Dolgozatom 5 nóva kis- és közepes felbontású optikai színekének feldolgozását, illetve a fénygörbék statisztikus módszerekkel történő analizisét tartalmazza. A fénygörbék forrása a Kyotói Egyetem Csillagászati Tanszéke által koordinált nemzetközi változó észlelő amatőr csillagász hálózat (Variable Stars Network, VSNET).

2. 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. sz.-ból 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.

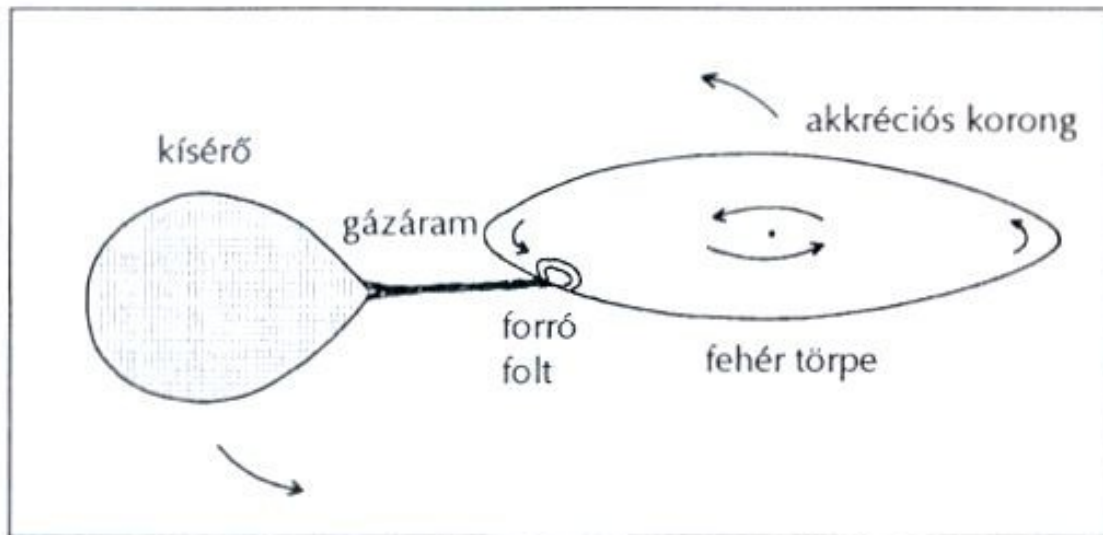


2. ábra: AV2275 Cyg-ről készült CCD felvétel a robbanás előtt és után

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 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.



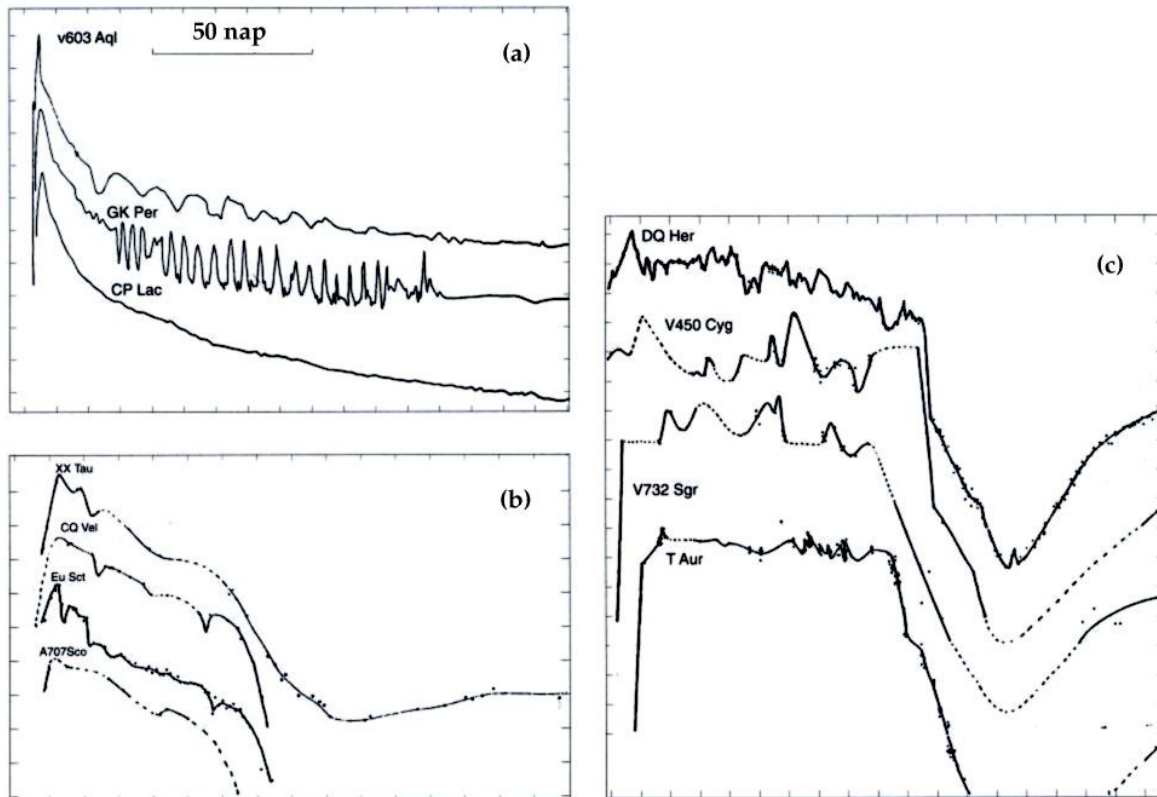
3. ábra: egy kataklizmikus változócsillag sematikus modellje (Amatőrcsillagászok kézikönyve 16.15. ábra)

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 lefűjja a felhalmozódott csillaganyagot, ami igen nagy amplitúdójú 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 (7-19 magnitúdó közötti). 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.

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

Klasszikus nóváknál a két paraméter között egy statisztikus kapcsolat is fennáll: $t_3 \approx 2.75 t_2^{0.88}$. (Warner, 1995)

A maximumból való korai halványodás általában egyenletes minden nóvánál. A nóvák viselkedésében a legnagyobb eltérés a maximumból 3–4 magnitúdóval való halványodás után következik be. Néhány (a gyors, illetve nagyon gyors nóváknak kb. 1/3-a)

Osztály	t ₂ (nap)
Nagyon gyors	<10
Gyors	11–25
Mérsékeltlen gyors	26–80
Lassú	81–150
Nagyon lassú	151–250

1.táblázat: A nók osztályozása

megszakítás nélkül, folyamatosan halványodik tovább. Más nók 7–8 magnitúdóval elhalványodnak, ami kb. 7–8 hónapig tart, majd újra visszafényesednek arra a szintre, mintha folyamatosan halványodtak volna. Bizonyos nók 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).

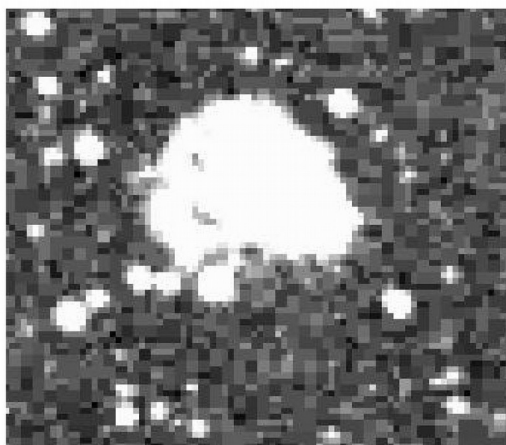
Emellett vannak olyan nók is, amelyek lassan fejlődnek, megesik, hogy évtizedig maximumban maradnak. A visszatérő nók pedig az utóbbi száz évben több kitörést mutattak.

Azt, hogy az új csillag nóva-e, spektroszkópiai módszerekkel deríthető ki. A nóváknak olyan emissziós színekük, amelyben határozottan lehet azonosítani a H, He és FeII vonalait. Továbbá a színekvonalak 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 gázhéjat ekkor még ugyan nem látjuk, a spektrumból mégis tudunk következtetni a tágulás sebességére.

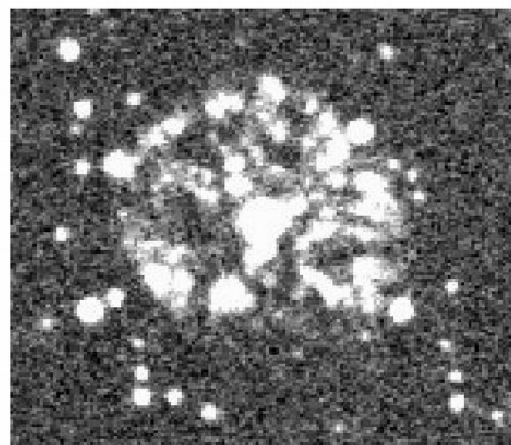
Közvetlen képalkotás a gázhéjról kb. csak a kitörés után 10 évvel később lehetséges. Ennek azonban igen nagy az elvi jelentősége, ugyanis meghatározhatóvá teszi a nóva távolságát. Az ún. expanziós parallaxis módszere a táguló gázhéj szögátmérőjének változásából és a spektroszkópiából ismert tágulási 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 nóra abszolút fényességét, azaz a robbanás teljes energiáját. Dolgozatomban statisztikus 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.

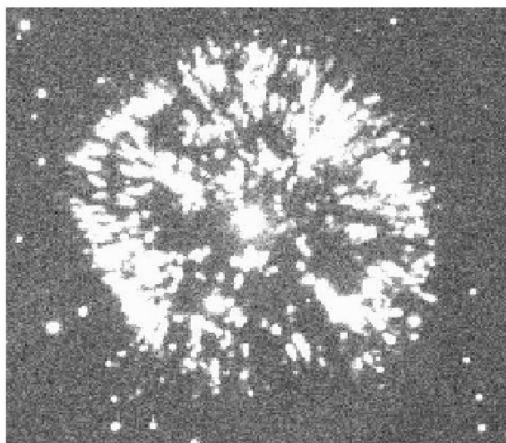
Az 5. ábrán egy 1901-ben felrobbant nóra ledobódott gázhéjának tágulását lehet nyomon követni. A GK Persei esetében a spektroszkópiai sebesség (1200 km/s) és a gázhéj tágulása alapján a rendszer 470 pc távolságban van. (Németh, 2002)



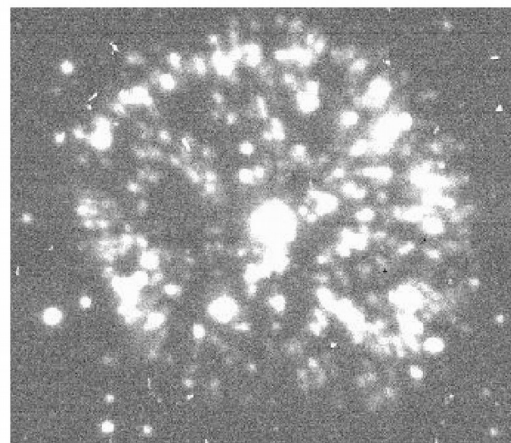
1957



1989



1993



2001

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

3. Alkalmazott eszközök, módszerek

3.1. Fotometriai alapfogalmak

Az első csillagkatalógust Hipparkhosz készítette még 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

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \frac{F_1}{F_2}$$

ahol m_1 és m_2 a két csillag látszó fényessége magnitúdóban, F_1 és F_2 pedig a detektált fluxusuk. (A logaritmus jelleg a látás fiziológiai sajátosságaiból adódik.)

Az abszolút magnitúdó (M) számértéke azt mutatja meg, hogy hány magnitúdósnak észlelnénk a csillagot, ha az tőlünk 10 pc távolságban lenne.

Az összefüggés a csillag látszólagos (m) és abszolút (M) fényessége között az ún. távolságmodulus:

$$m - M = -5 + 5 \log r + A_v \quad (1)$$

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 intersztelláris por jelenléte miatt. A megfigyelések oldaláról a vörösödéssel szokás kapcsolatba hozni. Az intersztelláris vörösödést a $B-V$ színindex változásával jellemezzük:

$$E(B-V) = (B-V) - (B-V)_0$$

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:

$$A_v \approx 3.1 E(B-V)$$

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 ± 0.05 magnitúdónál pontosabban meghatározni, ami A_v -ben ± 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 nóvák 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 nómára volt eddig alkalmazható módszer. Éppen ezért évtizedek óta sokan próbálkoztak olyan empirikus törvények felállításával, melyek statisztikus alapokon nyugodva adnak becslést egyedi nómák távolságára, viszonylag egyszerűen kivitelezhető mérésorozatok alapján. A leggyakoribb megközelítés valamelyik közeli galaxisban (pl. Nagy Magellán Felhő, Androméda köd) feltűnő nómák *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 nómák átlagosan több magnitúdóval fényesebbek a lassúknál. Márpedig ha ugyanolyan távolságban vannak a nómák (ti. ugyanabban a galaxisban), akkor a látható fényességek különbsége az abszolút fényességek különbségének felel meg. Ezután már „csak” a galaxis távolságára van szükség a nómák 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 nómák (tejútbeli és extragalaktikus) távolságának meghatározásához. Mások a t_3 -mal hozták kapcsolatba a maximumbeli látszó fényességet.

A kapcsolatot a következő formában lehet felírni: $M(\max)=a_n \log(t_n)+b_n$.

Az egyenlet együtthatóit, melyet különböző módon származtattak a következő táblázat tartalmazza:

n	a_n	b_n	
3	2.5	-11.5	Schmidt(1957),McLaughlin(1960)
3	2.4	-11.3	DeVaucouleurs(1978)
3	1.80 ± 0.20	-10.67 ± 0.30	Pfau(1976)
2	2.41 ± 0.23	-10.70 ± 0.30	Cohen(1988)
2	3.35 ± 0.16	-12.21 ± 0.16	Capaccioli(1989)

2. táblázat: $M(\max)=a_n \log(t_n)+b_n$ empirikus egyenlet együtthatói.

Munkám során a Schmidt, és a Capaccioli féle együtthatókkal felírt egyenleteket használtam. Ezek háttérben van a legtöbb mérési eredmény

$$\text{Azaz } M(\max)=2.5 \log(t_3)-11.5 \text{ és} \tag{2.a}$$

$$M(\max)=(3.35 \pm 0.06) \log(t_2)-(12.21 \pm 0.16) \tag{2.b}$$

2. Buscombe & deVaucouleurs (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 következő táblázatban találhatóak:

$M_V(15)$	
-5.20 ± 0.1	Buscombe & deVaucouleurs(1955)
-5.86	Schmidt-Kaler(1957)
-5.74 ± 0.60	Pfau(1976)
-5.50 ± 0.18	deVaucouleurs(1978)
-5.60 ± 0.43	Cohen(1985)
-5.23 ± 0.16	Van den Bergh & Younger (1987)
-5.38	Van den Bergh (1988)
-5.69 ± 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

$$M_V = -7.92 - 0.81 \arctg \frac{1.32 - \log t_2}{0.23} \quad (4)$$

függvény illet a legjobban. Ebben implicite szerepel az LMC távolságmodulusa, amit ők 18.5-nek vettek.

3.2. Spektroszkópia

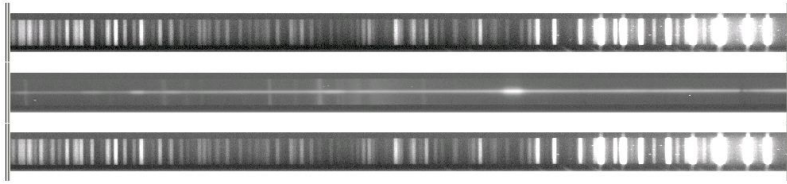
A spektroszkópiai mérések a torontói DDO 1.88 m-es távcsövével készültek. A spektrális bontóelem egy reflexiós rács, ami a távcső Cassegrain-fókuszában elhelyezett spektrográf fő eleme. A színeképet egy 1024x1024-es Thomson CCD rögzíti. A résszélesség 303μ volt, ami az égen $1''.8$ -nek felel meg.

A spektrumokat az IRAF 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.

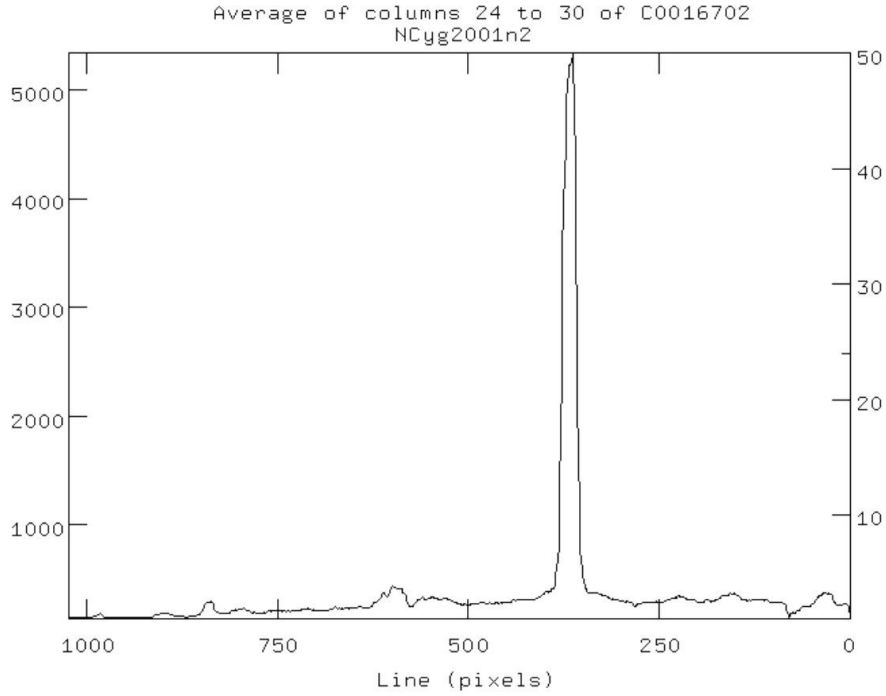
A CCD spektrumok egyedi egyedi feldolgozásának legmunkaigényesebb része a hullámhossz-kalibráció. Ennek során a CCD kép pixelkoordinátáit kell átváltani hullámhossz-koordinátákra. Ez az oka annak, hogy minden egyes csillagszínkép készítése előtt és után készül egy-egy spektrumfelvétel olyan spektrállámpáról, 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, ez 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 alkalmas az emissziós vonalak azonosítására, pl. a hidrogén, hélium és vas vonalainak elkülönítésére.) A hullámhossz-kalibrációval befejeződő redukálási lépéseket az IRAF doslit programjával végeztem el, ami több egyes task szervezett futtatását teszi lehetővé.

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

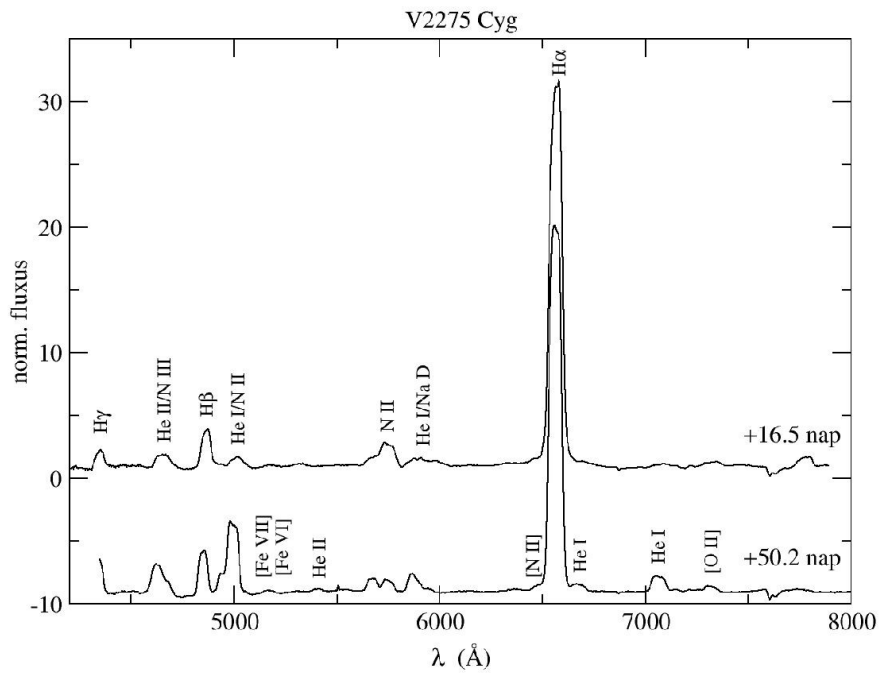
1. Eredeti spektrállámpa és nóa spektrumfelvételek



2. Pixelintenzitás-metszet



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



6. ábra: A képfeldolgozás fázisai

A 6. ábra 3. pontja alatt a spektroszkópiai redukálásaim végső állapotát illusztrálom két hullámhossz-kalibrált, kontinuum-normált színeképpel, 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. 25. ábrán is), amiket például vörösödés meghatározásra is fel tudunk használni, mégpedig az ekvivalens szélességük mérésével.

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

$$W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda \quad , \quad \text{ahol } F_c \text{ a kontinuum fluxusa,}$$

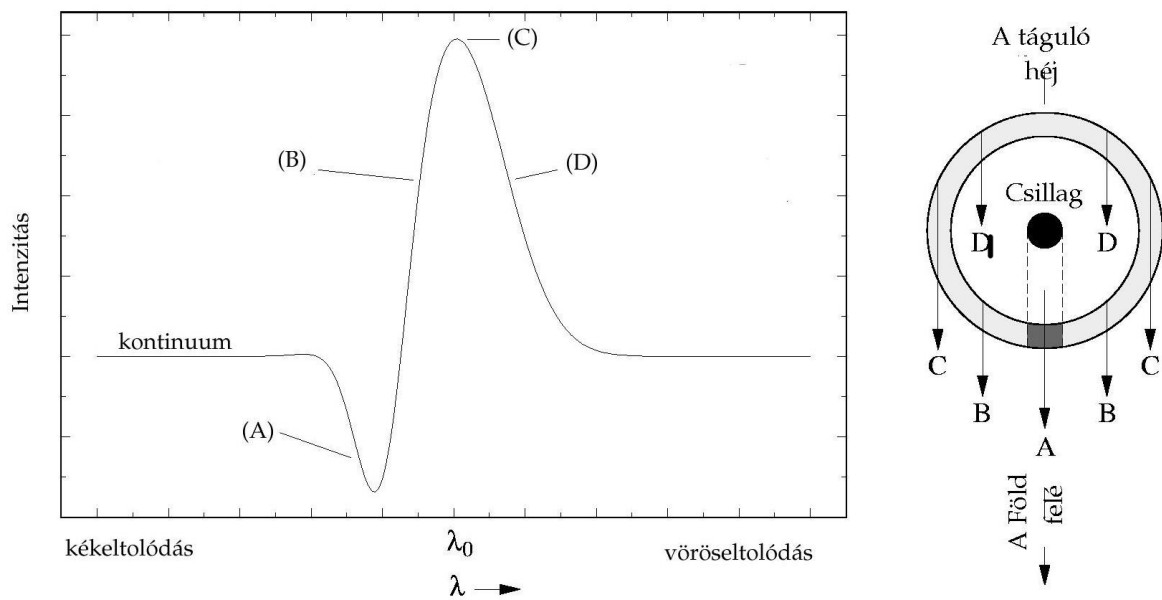
F_λ a színeképvonalon belüli fluxus (vonalprofil).

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 vörösödéssre is következtethetünk.

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

$$\frac{eqw}{E(B - V)} = 0.231 \quad (5)$$

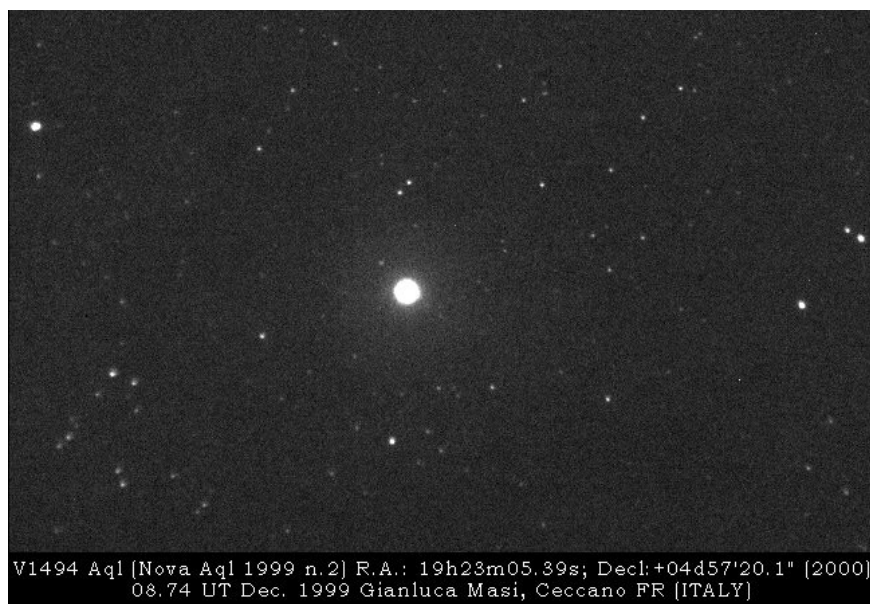
A jellemző P Cyg vonalprofilból a ledobódás sebessége számolható ki a $V_r = c \cdot \Delta\lambda / \lambda_0$ összefüggésből, ahol c a fénysebesség, λ_0 a laboratóriumi hullámhossz, $\Delta\lambda$ a λ_0 -hoz viszonyított eltolódás.



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

4. Eredmények

4.1. A V1494 Aquilae kései spektroszkópiája



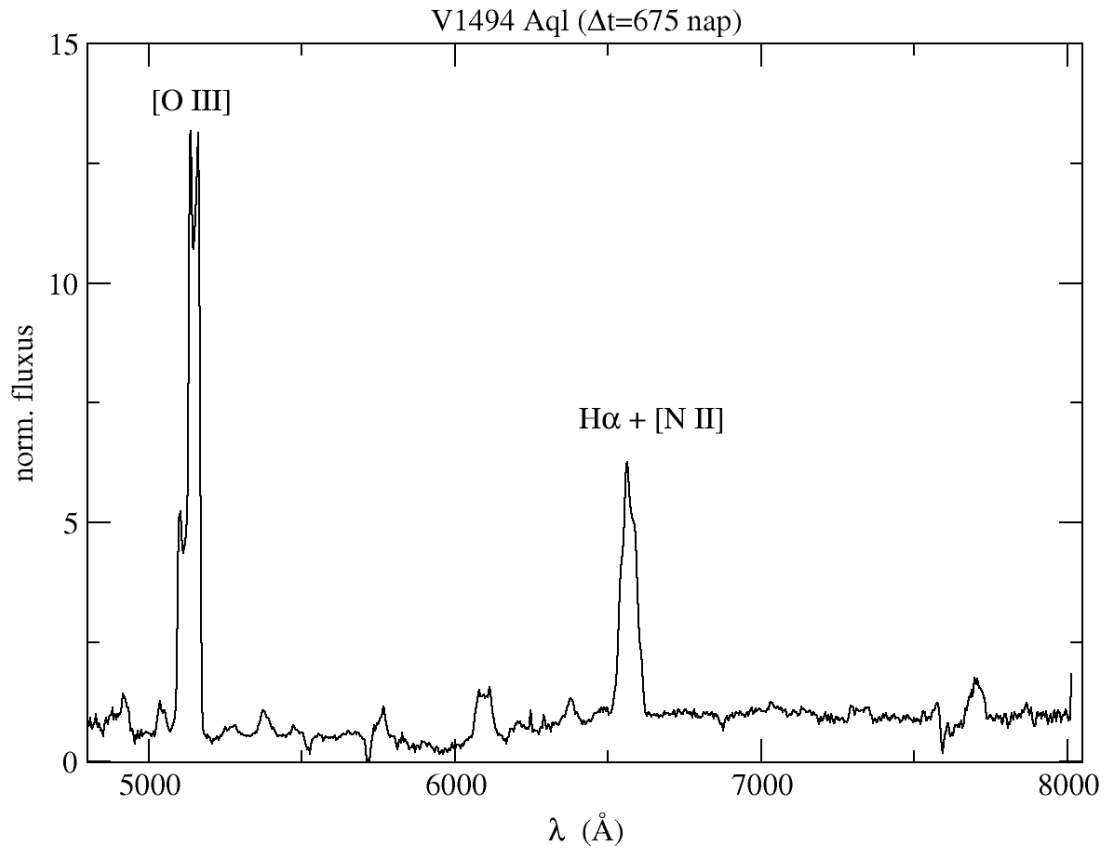
8. ábra: A V1494 Aql

Előzmények:

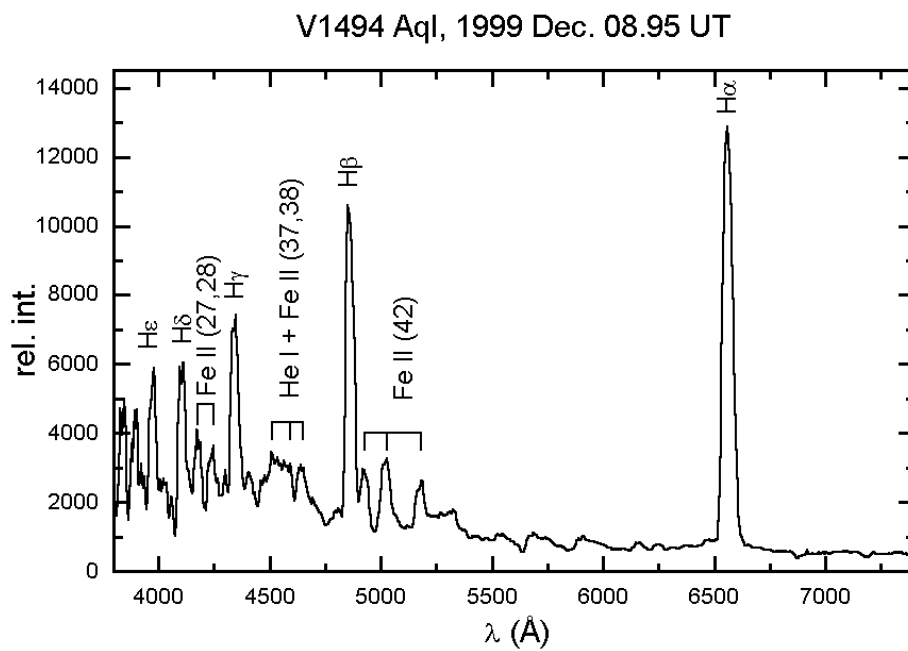
Az Aquilában 1999-ben másodikként feltűnt nóvát A. Pereira fedezte fel 1999. december 1-én, 6.0 magnitúdós fényességnél. A spektroszkópiai észlelések alapján a hidrogén Balmer-sorozat vonalai uralták a látható tartományt, mellettük még vasvonalak voltak megfigyelhetők. Mindegyik vonal P Cyg profilú volt. 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)

A kései spektrum:

Egy db színekép készült 2001.10. 08-án, ami egy majdnem teljes optikai tartományon felvett spektrum volt. A H α vonal mellett egy igen erős keskeny vonal látszik, amely ritka forró gázban keletkezik. Tehát azt tapasztaltuk, hogy a nóva színeképe átment az ún. nebuláris színeképe (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) a 10. ábrán látható.

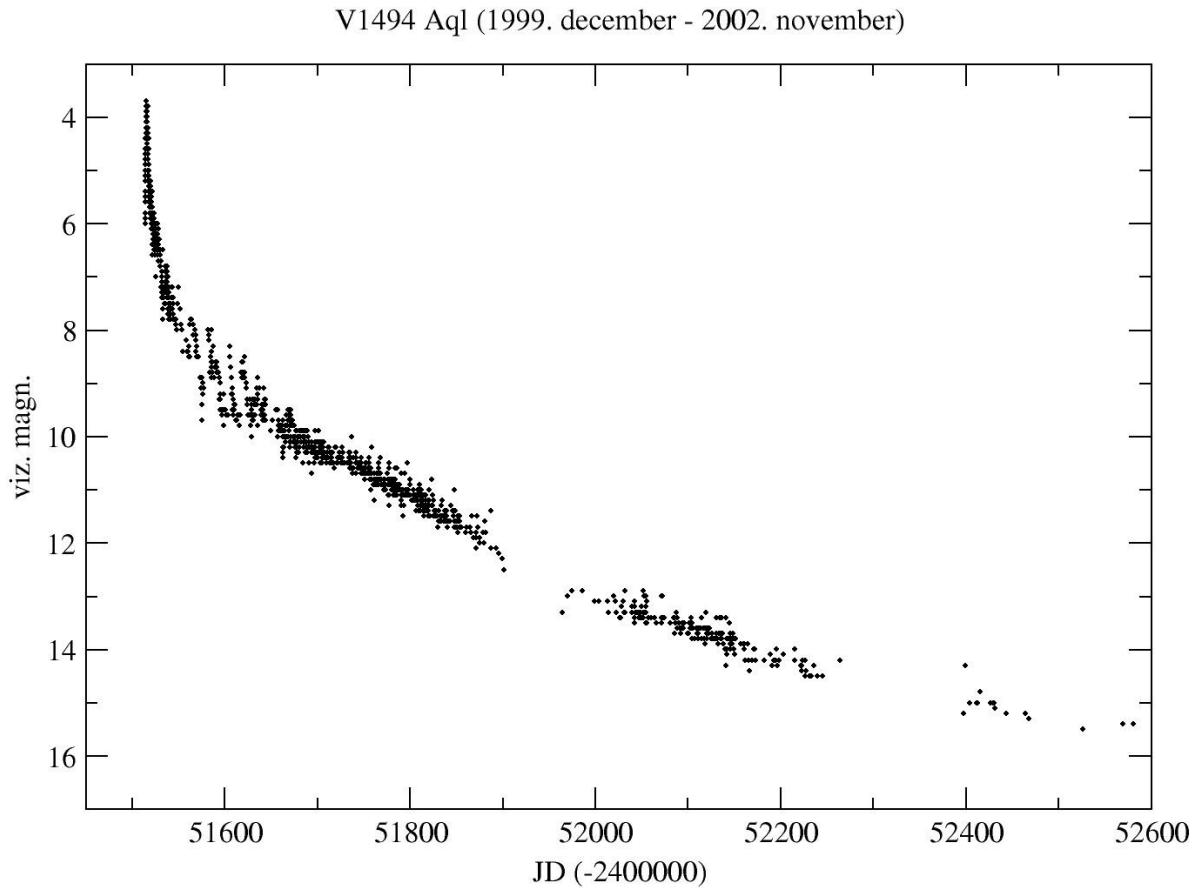


9. ábra: A V1494 Aql kései optikai szinképe



10. ábra: A V1494 Aql korai optikai szinképe az azonosított spektrumvonalakkal

Ezt a gázfelhőt hamarosan érdemes lesz nagyfelbontású közvetlen képalkotással is megvizsgálni, mert 3 évvel a kitörés után a becsült szögátmérője 0.3–0.4'' (Kiss & Thomson 2000), ami az adaptív optikás óriástávcsövekkel már elérhető tartomány. A mellékelt, szűk háromévnnyi fénygörbe alapján (l. 11. ábra) a nóva jelenlegi fényessége 15–16 magnitúdó közötti, a nagy műszerek számára elérhető.



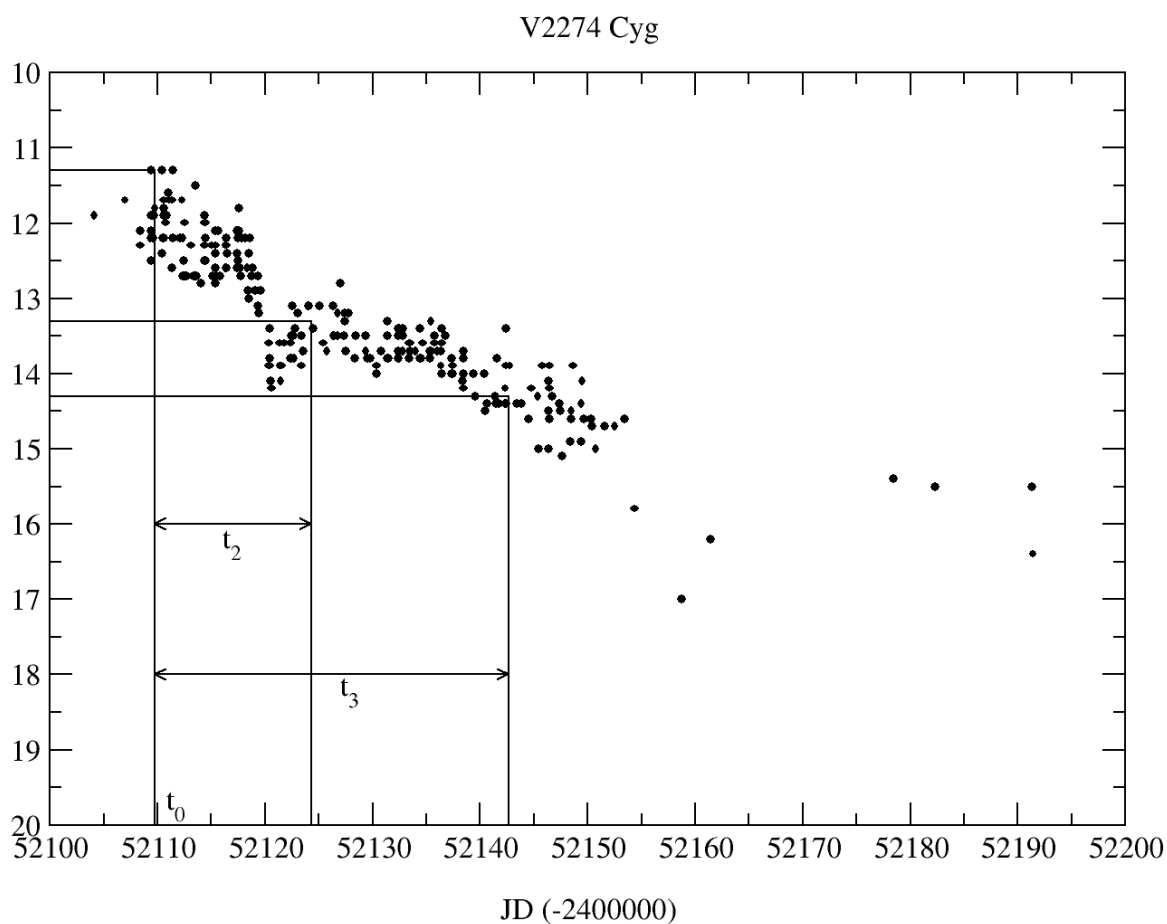
11. ábra: A V1494 Aql fénygörbéje

4.2. 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 α félértékszélessége (full width at half maximum, FWHM) 950 km/s-nak és a gyenge abszorpciós komponens kékeltolódásban 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: $t_0=52109.7^{+0.3}_{-0.1}$ nap A két és három magnitúdoval 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 magnitúdo a fotometriai módszereknél felsorolt (2–4) képleteket felhasználva rendre a következőknek adódott: -7.7 mag, -8.3 mag, -7.7 mag, -8.4 mag. Tehát a vizuális abszolút magnitúdo -8 ± 0.6 .

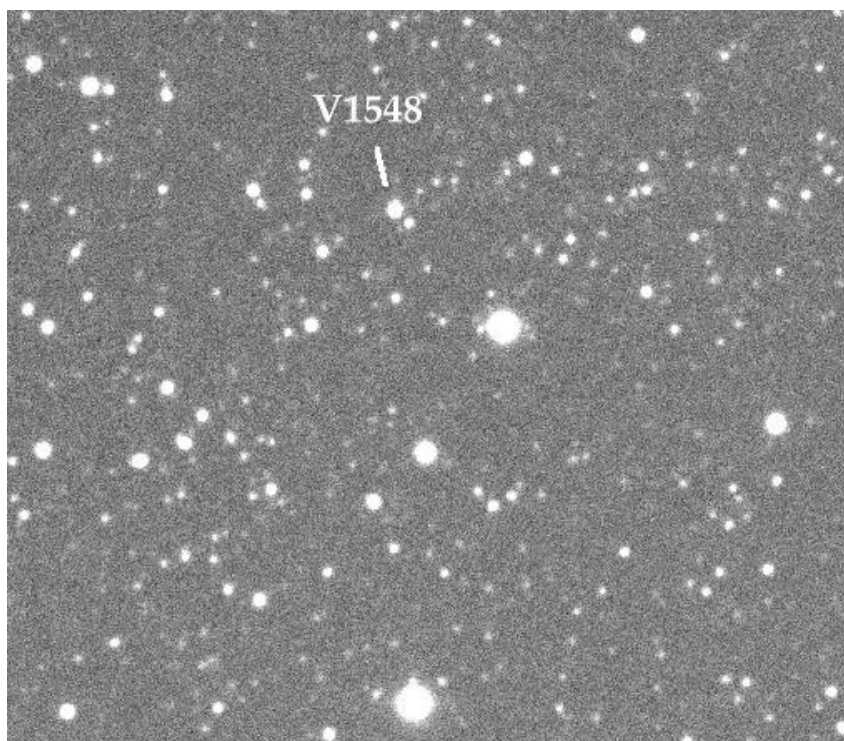
Bár durva közelítés, de mivel nem tudunk vörösödést számolni, ezért azt hanyagoljuk el, és úgy számoljuk ki a nóva távolságát. Eredményként azt kapjuk, hogy 50 kpc-nél közelebb van. Természetesen ez nem különösképpen erős állítás, durván azzal ekvivalens, hogy a csillag a Tejútrendszerben van.

4.3. V1548 Aquilae

Előzmények:

M. Collins fedezte fel 2001. május 11-én 10.9 magnitúdós fényességénél. 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 $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ és a szokásos hélium- és vasvonalak. A hidrogén Balmer-sorozatának vonalai 1100 km/s FWHM-mel rendelkeztek. 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 vörösödéésre lehet következtetni (mivel vörösödésmentes esetben arányuk 3 körüli).

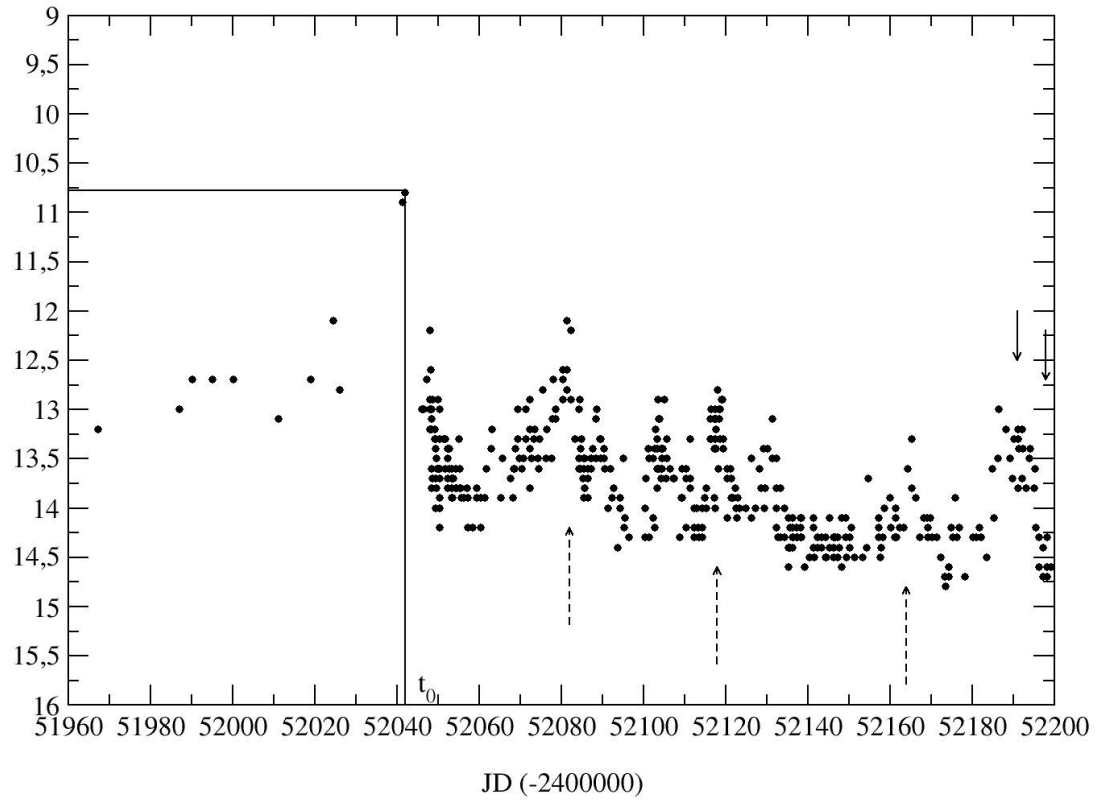
Körülbelül 55 nappal a felfedezés után a spektrum eléggé alacsony gerjesztettséget mutatott. A fluoreszcenciásan gerjesztett OI vonalakat és FeII vonalakat hasonlóan jól lehetett azonosítani, mint az megengedett HI és HeI vonalakat. Mindkettőnél – a HI 1.0830 μm triplétt és HeI 2.0581 μm vonal – megfigyelhető volt a P Cyg profil. Minden vonalszélesség 1000 km/s körüli érték volt. (IAUC 7627, 7628, 7673)



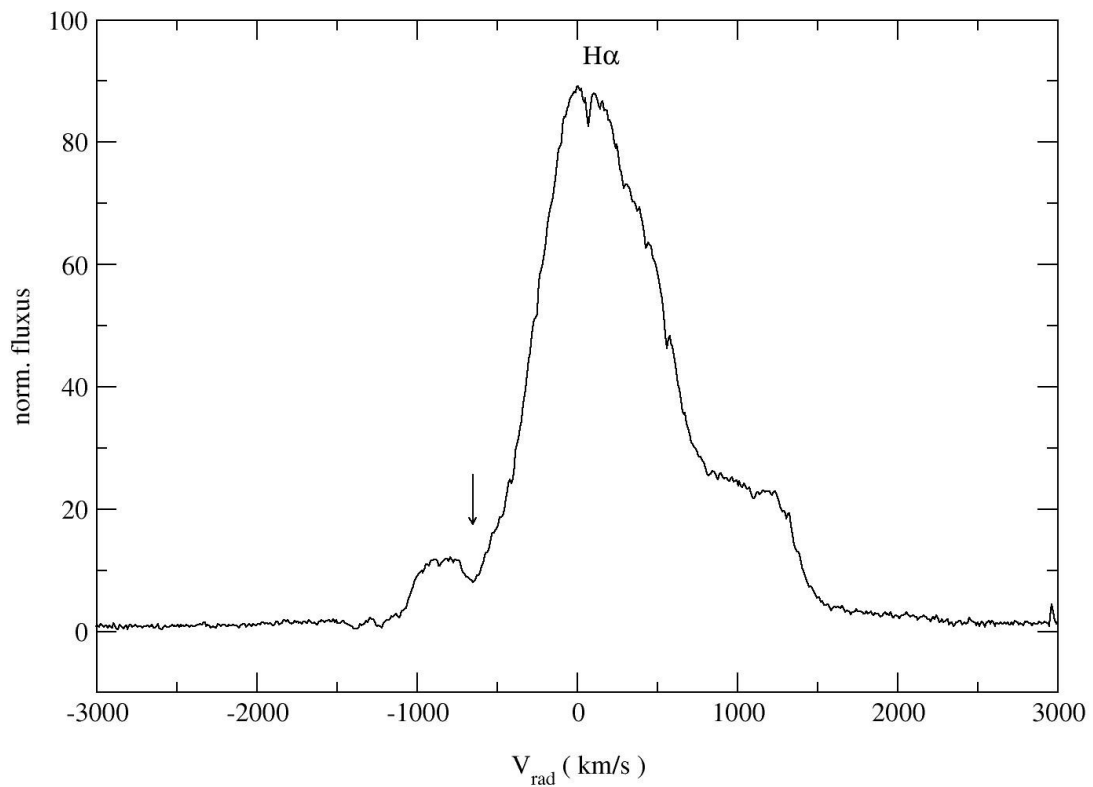
13. ábra: A V1548 Aql

A 13. ábrán látható fotót 2001. július elsején készítettük Kiss Lászlóval és Derekas Alízzal. Ezzel a nóvával már 2001 júniusában elkezdtem foglalkozni, amikor az MTA KTM CSKI piszkésetői obszervatóriumban CCD fotometriai méréseket végeztem a 60/90/180 cm-es Schmidt távcsővel. Ezek a mérések sajnos nem sok eredményre vezettek, mivel legfőbb

V1548 Aql

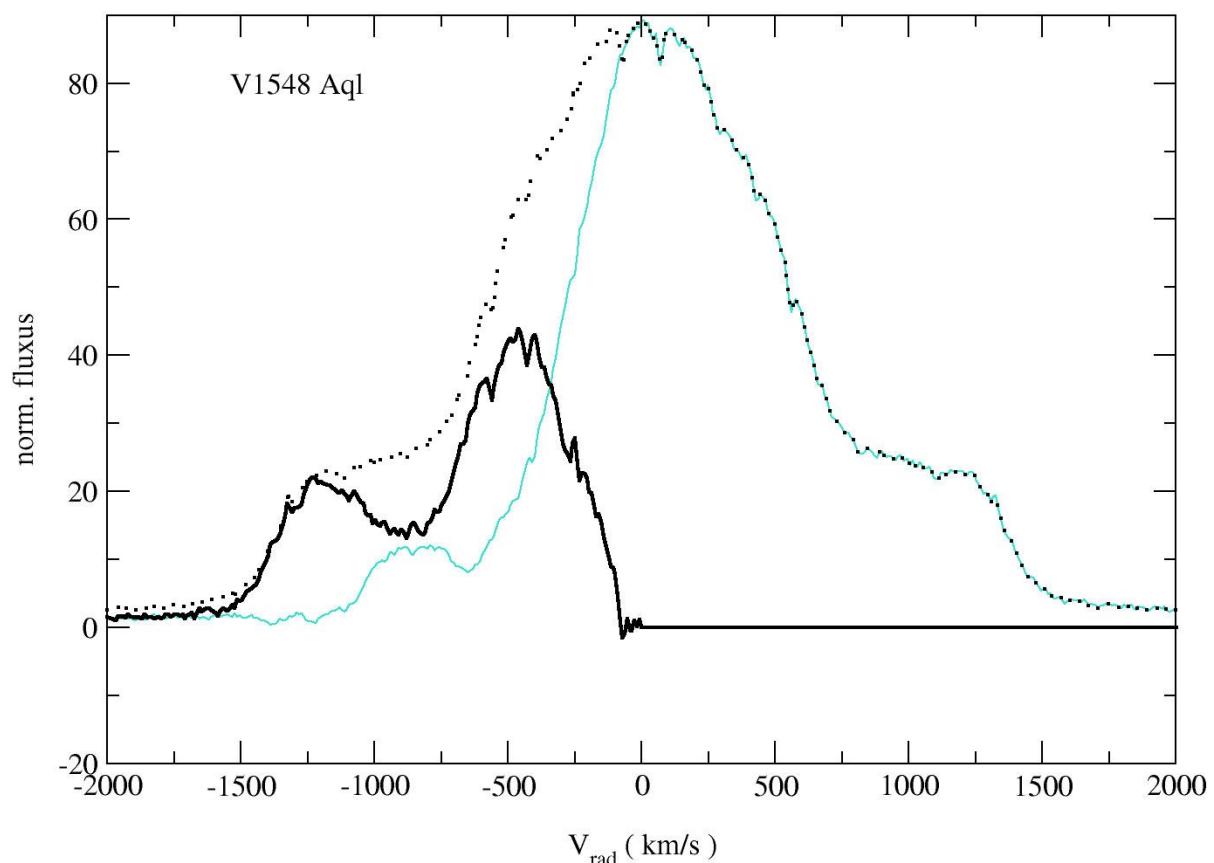


15. Ábra: A V1548 Aql fénygörbéje a maximum időpontjával, és fényességével, a szaggatott nyilak a felfényesedéseket, a kis nyilak pedig a spektroszkópai megfigyelések időpontját jelzik



16. ábra: A V1548 Aql H α vonalprofilja

A szakirodalomban az ilyen vonalprofilt 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 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 szinképet épp a P Cyg profilt kapjuk meg. (l. 17.ábra) Innen az abszorpciós komponens eltolódása, kb. 900 km/s-nak adódik.

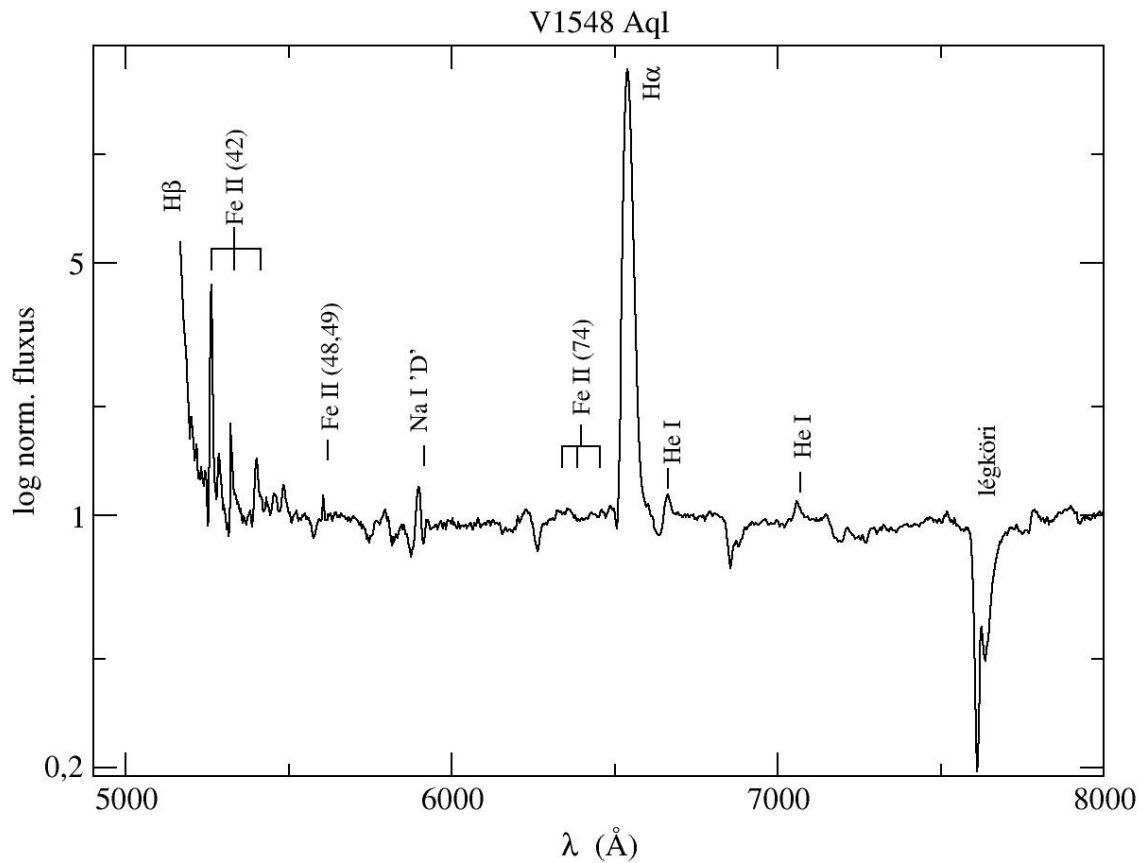


17. ábra: A V1548 Aql P Cyg profiljának „rekonstruálása”

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 jet-es 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-nál. A kérdés eldöntése további vizsgálatot igényel.

A teljes optikai színeképet, ami 2001.10.08-án készült $d=831$ vonal/mm rácscsillósítással, $\lambda=6500$ Å központi hullámhossznál, a 18. ábra mutatja. Ezen a H α vonal mellett jól láthatók az FeII, HeI vonalai, az NaI D vonala és egy nagyon erős légtörési vonal.



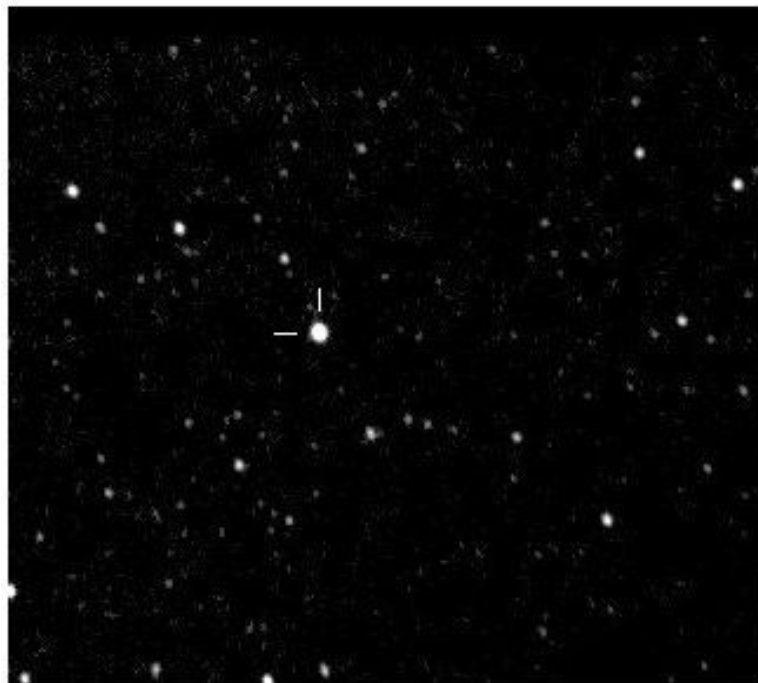
18. ábra: A V1548 Aql optikai színeképe az azonosított spektrumvonalakkal

4.4. 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 7.0 magnitúdós fényességnél. Liller ennél korábban, szept. 3-án készített fotón 10 magnitúdósnak találta, de felfedezését csak később, szept. 6-án készített CCD képpel erősítette meg. Ezen a képen az objektum 7.27 magnitúdós volt. Liller az erős folytonos színeképben gyenge H α 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 átfogó színeképben a Balmer-sorozat H α vonalai és az FeII vonal különböző multiplettjei domináltak. A Na I D P Cyg profiljából az abszorpció 1500 km/s-nak felel meg. (IAUC 7706, 7709)



NOVA Sgr 2001 N.3 V4740 Sgr
09 Sep. 2001 20.30 U.T.
0.20-m SC f/6.3 MX916 Antonio Giambersio

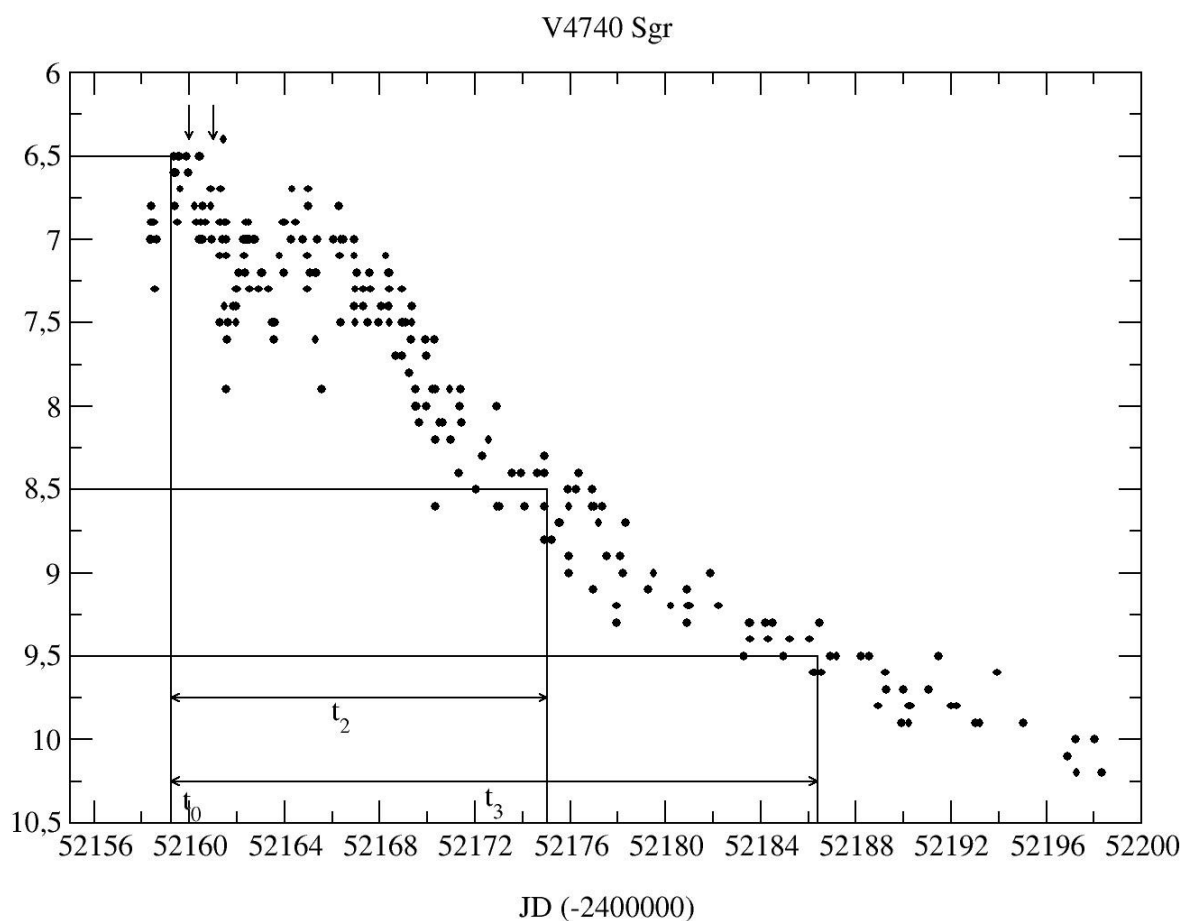
19. ábra: A V4740 Sgr

A fénygörbe:

A 20. ábrán látható fénygörbéről a maximum időpontja: $t_0=52159.2^{+0.5}_{-0.2}$ nap bizonytalansággal. A látszólagos magnitúdo maximuma ekkor: 6.5 ± 0.3 magnitúdo.

A halványodás: $t_2=15.5 \pm 1$ nap, $t_3=27 \pm 2$ nap. Behelyettesítve a (2–4) összefüggésekbe a számított magnitúdok rendre: -7.9 , -8.2 , -8.33 , -7.96 . Tehát a maximumban a vizuális abszolút magnitúdo értéke: -8 ± 0.4 .

Az ekvivalens szélességből, illetve a fényességekből a távolságmodulus definíciója alapján a csillag távolsága, bár nagy pontatlansággal, de számítható: $r=5.9^{+2.5}_{-1.7}$ kpc. A hiba valószínűleg nagyobb, mert a 6613 Å-nél lévő DIB bizonytalanul azonosítható, így az ekvivalens szélesség meghatározása is kevésbé pontos.



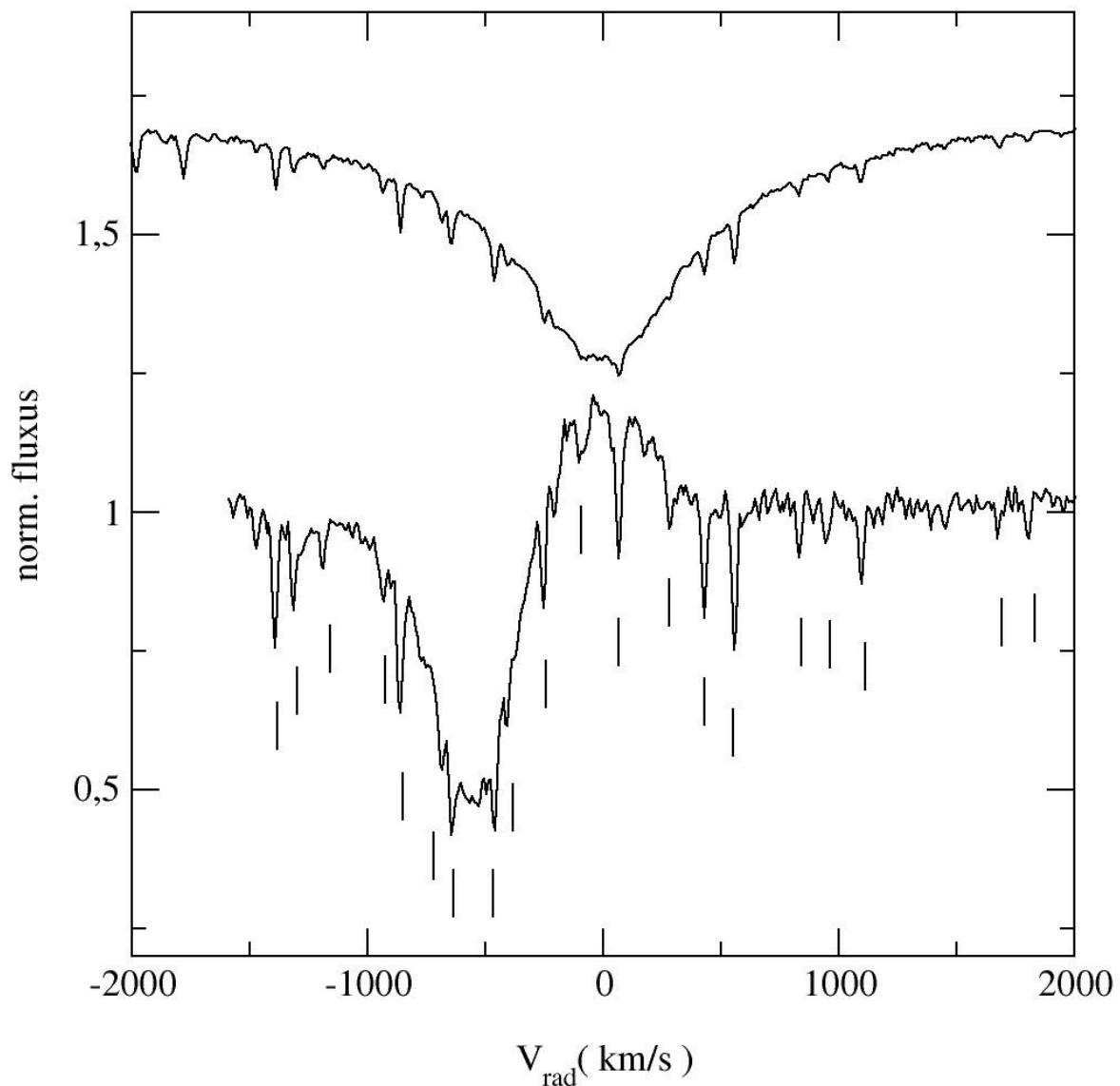
20. ábra: A V4740 Sgr fénygörbéje a maximum időpontjával (t_0), és a két, illetve három magnitúddal való fényességcsökkenéséhez szükséges idővel (t_2 , t_3). A kis nyilak a spektroszkópiai felvételek időpontját mutatják.

A spektrum:

A 21. 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 nóva színekével összehasonlítva kiszűrhetjük a légköri vonalakat (kis vonalkákkal 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.



21. ábra: Az alsó görbe a V4740 Sgr H α vonala, a felső pedig az összehasonlító csillag színeké. A kis vonalkák a légköri vonalakat mutatják.

4.5. V2275 Cygni

Előzmények:

A Cygnus 2001-ben másodikként feltűnt növőjét (lásd 2.ábra) A.Tago fedezte fel 2001. augusztus 18-án 8.8 magnitúdós fényességnél. Augusztus 19.9 UT-kor következett be a csillag maximuma 6.8 magnitúdós fényességnél, ami után gyors halványodásba kezdett.

A korai színképelemzés megerősítette a csillag nóva mivoltát, a hidrogén Balmer-sorozat vonalait mély P Cyg vonalprofil jellemzi. A $H\alpha$ vonalból a tágulás korai sebessége 1700 km/s-nak adódott. A B–V színindexre 1.1 magnitúdót adtak maximumban, valódi vörösödést sugallva. Ez megmaradt 1 magnitúdó körül a maximum utáni első héten, amikor a látszó fényesség 9.2 magnitúdóig csökkent.

A spektrum:

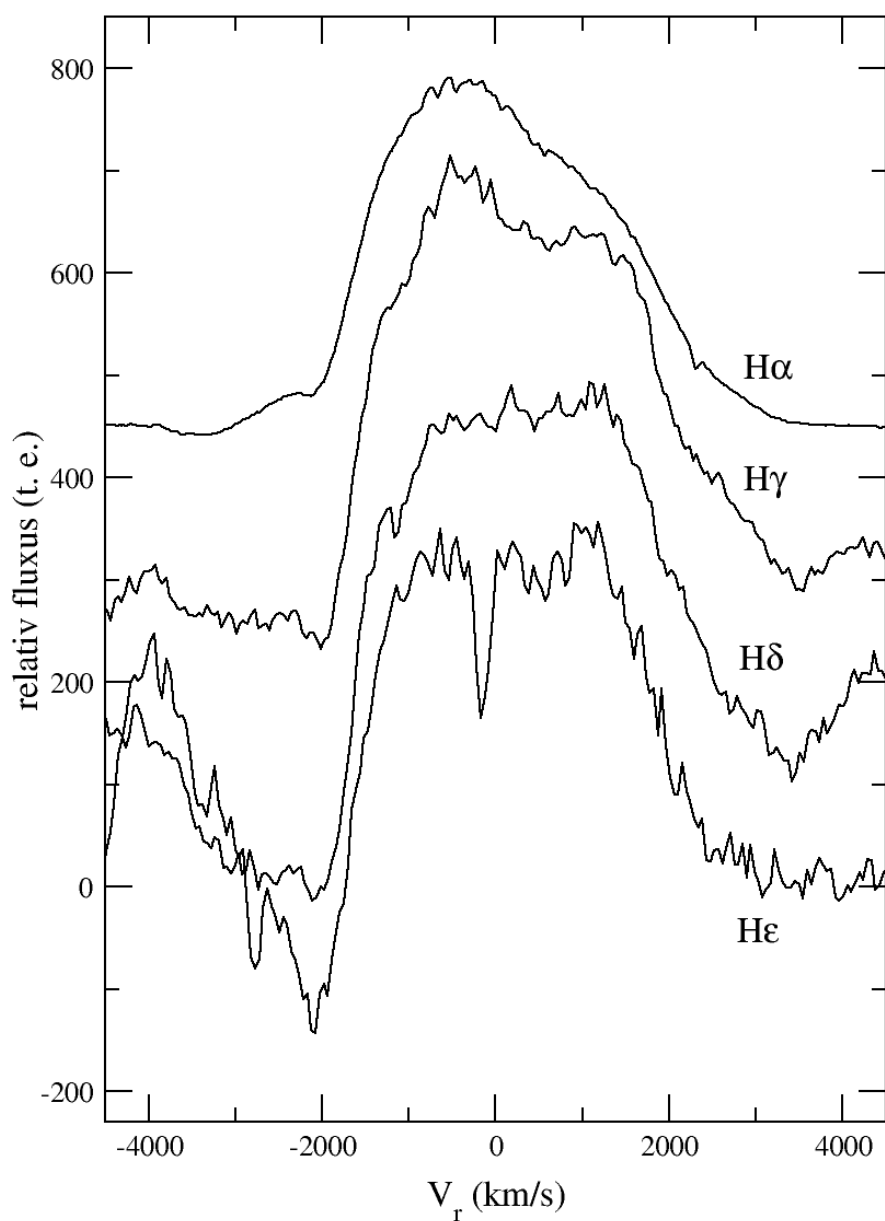
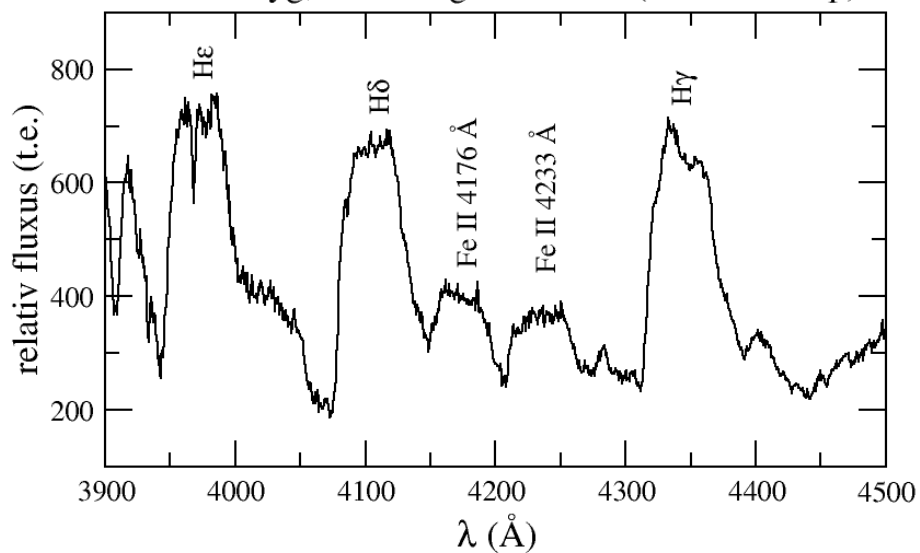
A 4. táblázat a felvételek időpontját, a használt rács rácscsillandóját, a lefedett hullámhossz tartományt (\AA), a felbontóképességet, illetve azt tartalmazza, hogy a maximum után hány nappal történt a megfigyelés.

Időpont	MJD	vonat/mm	tartomány	$\lambda/\Delta\lambda$	$\Delta\tau(\text{nap})$
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

Az első spektroszkópai mérés 2001. augusztus 22-én volt, kb. 2 nappal a vizuális maximum után. Ekkor egy 600 \AA -t átfogó spektrum készült a kék tartományból, és egy $H\alpha$ profil. A kék spektrum szembevető hidrogén Balmer-sorozatot ($H\gamma$, $H\delta$, $H\epsilon$) mutatott, és két széles vasvonalat. Az egymást részben átfedő emissziós vonalak jelenlétének köszönhetően a kontinuumszint bizonytalan. Ezért a spektrum nincs normálva. Ez a 22. ábra felső grafikonján látható. Az alsón az egyedi hidrogénvonal profilok jól összehasonlíthatók.

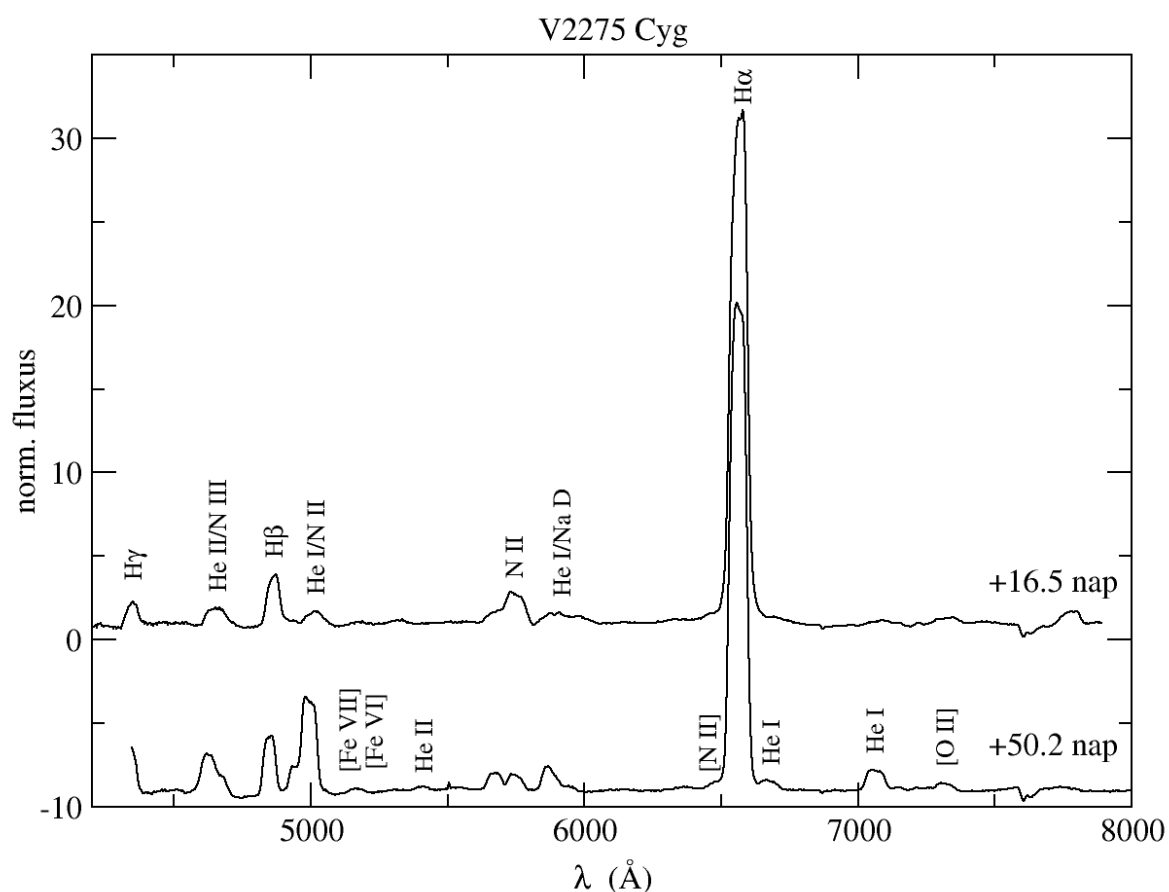
V2275 Cyg, 2001 Aug. 22.24 UT ($\Delta t = +2.3$ nap)



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

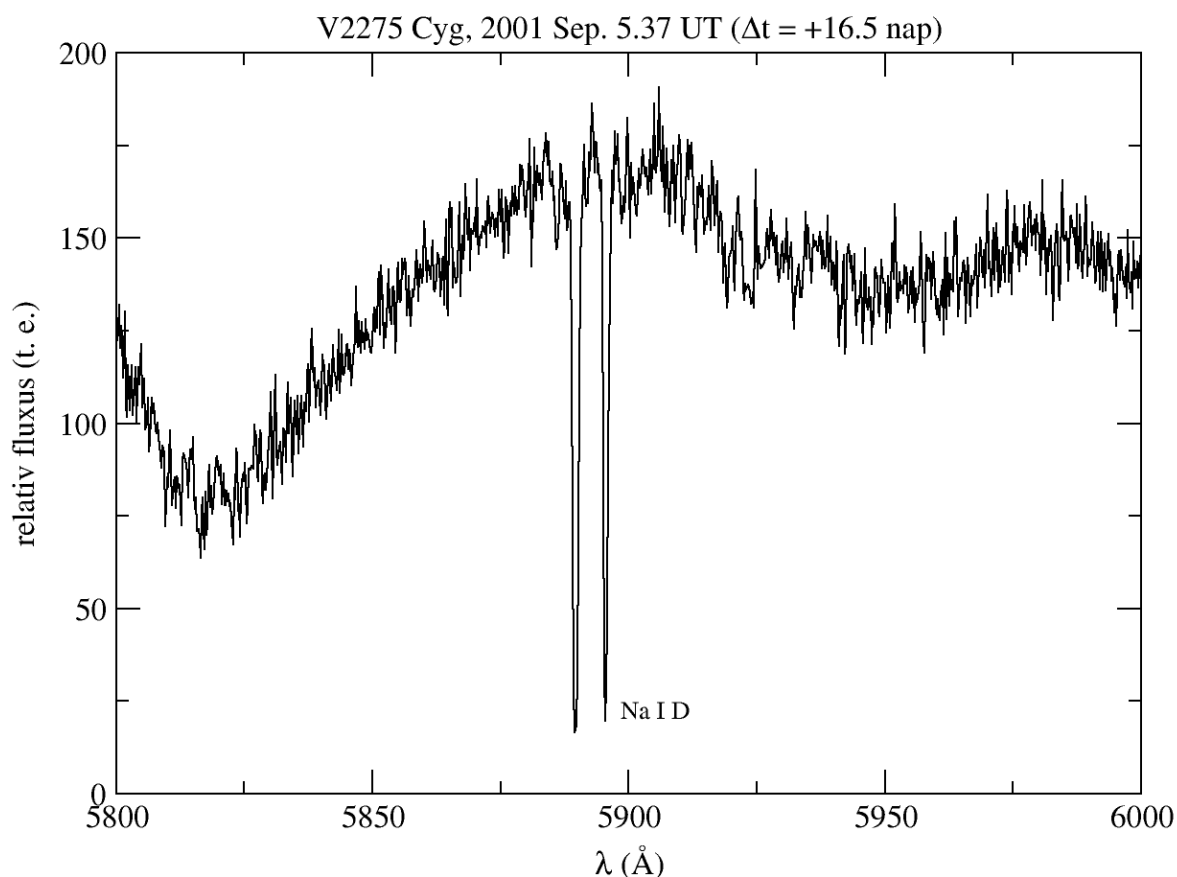
A P Cyg profil nagyon hasonló mind a négy vonalnál, és ezekből a tágulás sebessége kb. 2100 km/s (kb. 50 km/s felbontóképességgel).

A következő mérés szeptember 5-én volt, amikor egy közepes felbontású nátrium D vonal (l. 24. ábra), illetve az egész optikai tartomány (4200–7900Å) lett felvéve. Ez az okt. 8-i kis felbontású spektrummal együtt látható a 23. 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.



23. ábra: A V2275 Cyg teljes optikai színképe 16.6 illetve 50.2 nappal a maximum után

A 24. ábrán egy erős intersztelláris Na D komponens látható, hisz ez nagyon vékony (kb. 50 km/s széles) ahhoz, hogy a nóvából származzon. A nóva Na D vonala a nagy sebességek miatt igen széles, ráadásul a közeli hullámhosszágú He vonallal összeolvadva látszik. Itt megint nem volt lehetőség a normálásra az ismeretlen kontinuum szint miatt.



24. ábra: A V2275 Cyg Na D és He összeolvadt vonala erős interstelláris komponenssel

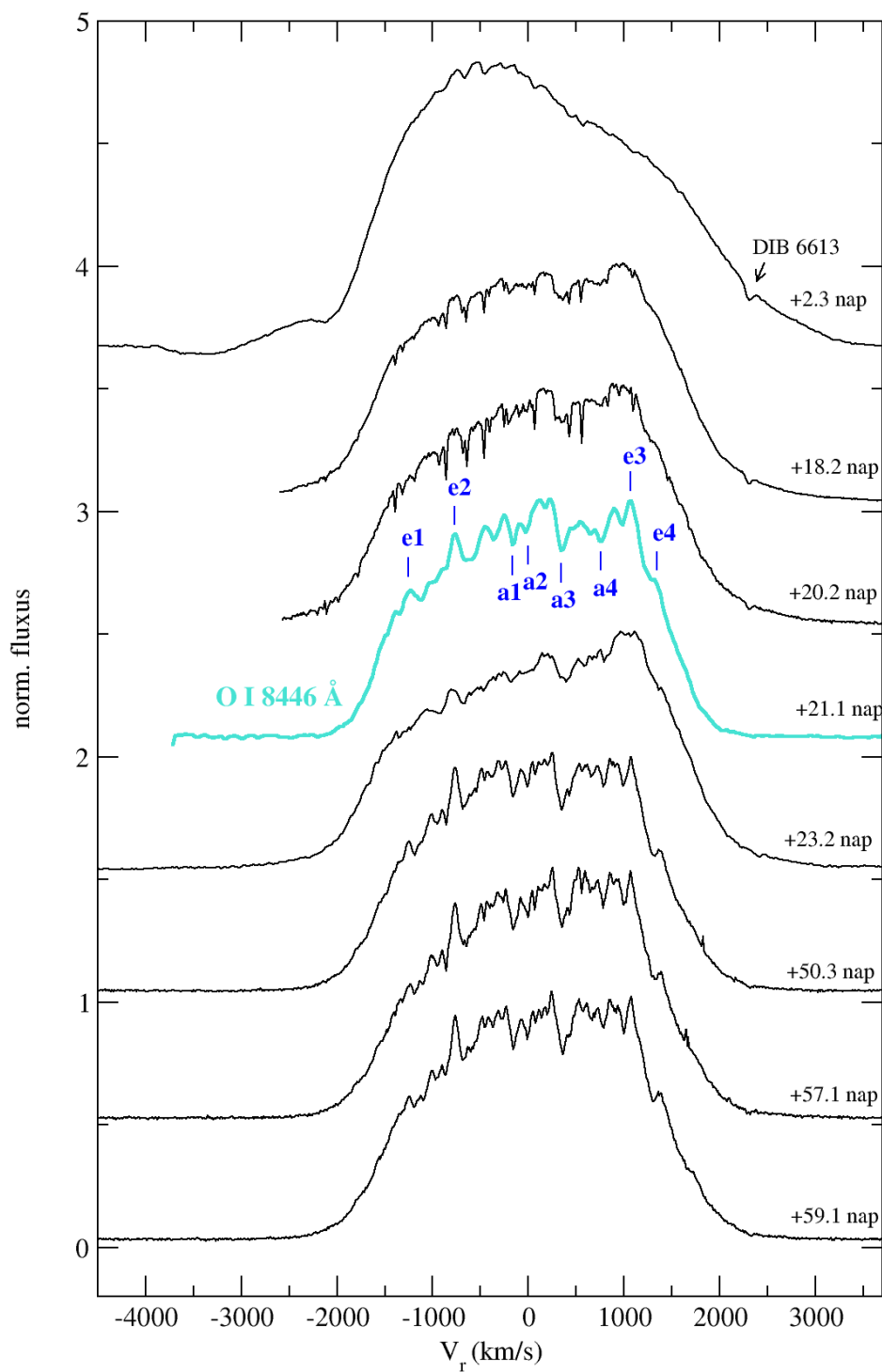
Mivel viszonylag sokszor készült spektrumfelvétel a $H\alpha$ vonalról, ezért fejlődésének vizsgálata is lehetségessé vált. A legerősebb emissziós vonal lévén, nagyon jól megfigyelhető volt még a késő fázisban (2001. október) is, amikor a látható fényesség már 12 magnitúdó alá csökkent. A 23. ábra a megfigyelt vonalprofilokat mutatja be összegyűjtve. Erős diffúz interstelláris 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.

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

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



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

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 (5) képlet alapján $E(B-V)=1.0 \pm 0.1$ mag-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: $eqw_{CaII}/eqw_{5780} \approx 0.81$ (Jenniskens & Désert, 1994). Ezért, bár mi nem detektáltuk a DIB5780-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: $E(B-V)=1.03 \pm 0.2$ mag.
3. A színindexekből: Maximumban, ha nem lenne vörösödés: $(B-V)_0^{max}$ -ra 0.23 ± 0.06 magnitúdót, t_2 -vel a maximum után $(B-V)_0^{t_2}$ -re ≈ 0.0 -t mérnénk (Warner, 1995). Sostero & Leopardo méréseinek eredménye: $B-V=1.1$, illetve 1.0 a maximumban, illetve 3 nappal a maximum után, ami ennél a csillagnál gyakorlatilag a t_2 . A színexcesszus 0.9 , illetve 1.0 magnitúdónak adódott.

Vagyis minden vörösödés becslés 1.0 mag körül szóródik. A fő értékek (1.0 , 1.03 , 0.9 , 1.0) jó egyezése ellenére nagyobb hiba elképzelhető.

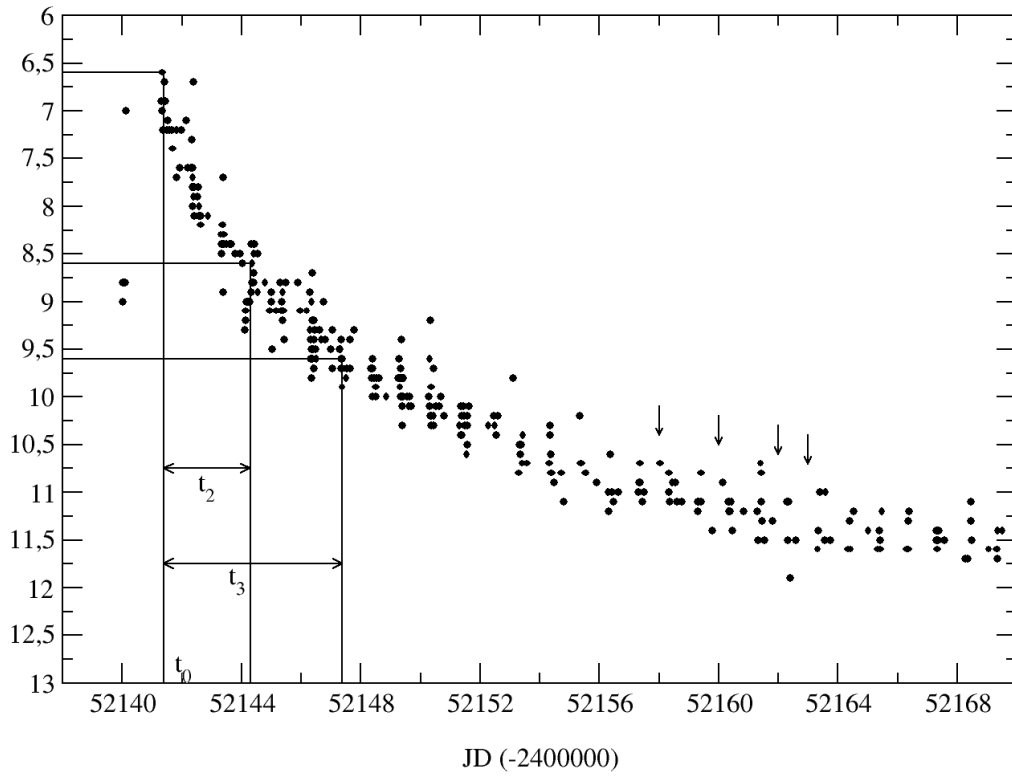
Az intersztelláris vörösödés tehát: $E(B-V)=1.0 \pm 0.1$ mag becsült bizonytalansággal.

A fénygörbe:

A fénygörbe a 26. ábrán látható. A spektroszkópiai észlelések nyíllal vannak jelölve. Sajnos csak kevés adat van a maximum környékéről, így a következtetett kezdőpont: $t_0=2452141.4^{+0.1}_{-0.5}$ 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. Következtetésképpen 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 (2-4) összefüggésekből rendre -9.0 mag, -10.6 mag, -9.9 mag, -9.4 mag. Az átlaguk $M_V=-9.7 \pm 0.7$ mag.

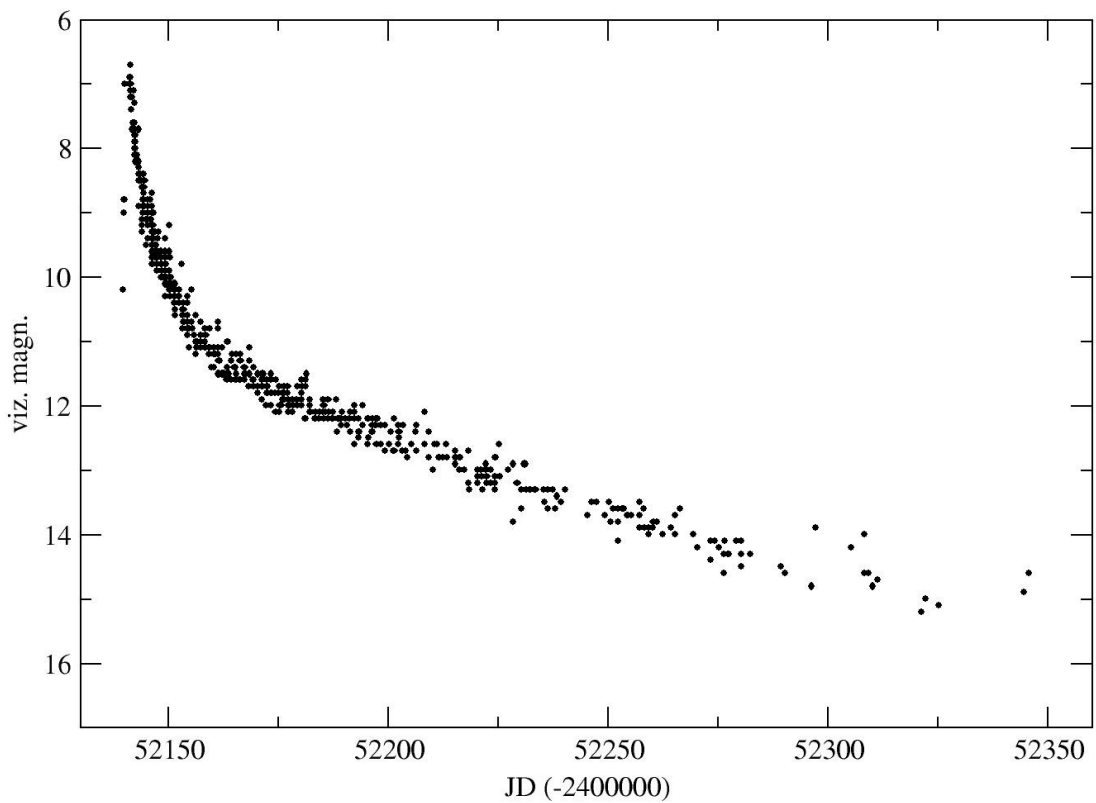
A becsült távolság a vörösödésből, és a kapott magnitúdókból eléggé pontatlanul az (1) összefüggésből határozható meg, 3 és 8 kpc közötti értéknek adódik.

V2275 Cyg



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

27. Ábra: A V2275 Cyg fénygörbéje
V2275 Cyg (2001. augusztus - 2002. május)



5. Összefoglalás

Dolgozatomban öt nóvakitörést vizsgáltam meg spektroszkópai és fotometriai módszerek segítségével. Az analízishez néhány egyszerű empirikus törvényt használtam fel. Így az egyedi rendszerek néhány fizikai tulajdonságát tudtam meghatározni.

Nagyobb jelentőséggel bíró eredményt két nóva esetén kaptunk. Az egyik a V1548 Aql, ahol a $H\alpha$ vonalprofil nem a szokásos nóvákra jellemző alakú volt. A ledobódott anyag tágulási sebességére kb. 900 km/s adódik.

A másik a V2275 Cyg, ahol a sok adat a nóva jellemzőinek részletesebb leírását tette lehetővé. Ezek: A tágulás sebessége 2100 km/s. Az optikai spektrumban a H, He és N vonalai domináltak. A vörösödés $E(B-V)=1.0\pm 0.1$ mag. A halványodás: $t_2=2.9\pm 0.5$ nap, $t_3=7\pm 1$ nap. Az abszolút vizuális magnitúdó: -9.7 ± 0.7 mag. A csillag távolsága pedig 3 és 8 kiloparszek közötti. Az eredményeket Kiss és mtsai (2002) cikkben közzétettük.

A további három csillagra vonatkozó eredményeim pedig a következők:

- A V1494 Aql-nek a kései spektrumát vizsgáltam. A korai spektrumokkal összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy a csillag színe átment a nebuláris színekbe.
- A V2274 Cyg fénygörbéjéből a halványodás mértéke: $t_2=14.5\pm 2$ nap, $t_3=33\pm 2.5$ nap. A vizuális abszolút magnitúdóra -8 ± 0.6 mag adódott. A vörösödés elhanyagolásával arra következtettem, hogy a csillag 50 kpc-nél közelebb van.
- A V4740 Sgr fénygörbéjéből a vizuális abszolút magnitúdó -8 ± 0.4 mag. Ebből $5.9^{+2.5}_{-1.7}$ kpc a csillag távolsága.

6. Irodalomjegyzék

1. Amatőr csillagászok kézikönyve, 2002, MCSE
2. M. Capaccioli, M. Della Valle, M. D'Onofrio, L. Rosino, 1989, AJ, 97, 1622
3. W. A. Cooper – E.N. Walker, 1994, Csillagok távcsővégen, Gondolat Kiadó
4. M. Della Valle, M. Livio, 1995, ApJ, 452, 704
5. P. Jenniskens, F.-X. Désert, 1994, A&AS, 106, 39
6. Kiss L. L., J. R. Thomson, 2000, A&A, 355, L9
7. Kiss L. L., A Nova Aquilae 1999/2 korai spektroszkópiája és fénygörbéje, Meteor 2000/2
8. Kiss L. L., Gógh N., Vinkó J., Fűrész G., Csák B., H. DeBond, J.R. Thomson & Derekas A., 2002, Nova Cygni 2001/2=V2275 Cyg, Astronomy & Astrophysics 384, 982
9. Marik Miklós, 1989, Csillagászat, Akadémiai Kiadó
10. U. Munari, T. Tomov, B.F. Yuida és munkatársaik, 2001, A&A 369, L1
11. Németh. P., A GK Persei körüli gázfelhő tágulásának mérése, Meteor 2002/11
12. T. Schmidt, 1957, Z. Astrophys, 41, 182
13. T. Tomov, U. Munari, P. M. Marresse, 2000, A&A 354, L25
14. B. Warner, 1995, Cataclysmic Variable Stars (Cambridge University Press)
15. <http://www.kusastro.kyot-u.ac.jp/vsnet>
16. <http://ddo.astro.utoronto.ca/ddohome/instruments.html>
17. IAUC No. 7323, 7324, 7325, 7665, 7674; 7666, 7677; 7627, 7628

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Kiss László egyetemi adjunktusnak a rám áldozott szabadidőt, illetve munkám során nyújtott segítséget és türelmet.

Köszönettel tartozom a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati Kutatóintézetének a távcsőidőért, illetve Jim Thomsonnak, Vinkó Józsefnek, Fűrész Gábornak és Csák Baláznak a spektroszkópiai felvételekért, amik a dolgozatom alapját képezték. Továbbá köszönet Németh Péternek és Derekas Alíznek 1-1 ábra elkészítéséért.