

ETO: 524.382-862

Vincze István

## GÁZKORONGOK A KORAI TÍPUSÚ FEDÉSI KETTŐS CSILLAGOKBAN

### *Accretion Disks in Early Type Eclipsing Binary Stars*

Mivel a csillagok száma exponenciálisan csökken a tömegükkel, a nagy tömegű (korai típusú) csillagokból kevés van. Következésképpen a nagy tömegű kettős csillagok, amelyek radiális sebességéből a tömegük jól meghatározható, ritkaságnak számítanak. A tömegátvitel folyamata a nagy tömegű kettősöknél rövid ideig tart, és különleges fizikai állapotokhoz, valamint a vegyi összetétel változásához vezethet. Ezért az ilyen csillagokban lejátszódó fizikai folyamatok tanulmányozása igen fontos és kihívó feladat. Ebben a cikkben három korai típusú fedési változót tanulmányozunk: a  $\beta$  Lyraet, az RS Scutit és a V448 Cygnit. A  $\beta$  Lyrae fedési kettős csillag, mivel nagy a fényessége, már nagyon jól ismert a kutatók számára. Nemrégiben végleg bebizonyosodott, hogy a nagyobb tömegű komponens körül gázkorong alakult ki. Összehasonlítva és kiértékelve a  $\beta$  Lyrae, a RS Scuti és a V448 Cygni ibolyántúli színképeit, arra a következtetésre jutottunk, hogy az RS Scuti és a V448 Cygni kettősöknek is van gázkorongjuk.

Kulcsszavak: csillagok, fedési kettősök, szoros kettősök, gázkorongok

### BEVEZETÉS

Statisztikai kimutatások szerint a csillagoknak legalább a fele kettős vagy többszörös csillagrendszerbe sorolható. Már ez a tény is elég indok arra, hogy a kettős csillagok a csillagászati kutatás egyik legfontosabb részét képezzék. Ha ehhez még hozzátesszük, hogy a kettősök segítségével a csillagok egyes fizikai tulajdonságai sokkal egyszerűbben meghatározhatók, mint az egyedül álló csillagok esetében, akkor kitűnik, hogy miért olyan fontos a kettős csillagok kutatása. A kettős csillagok továbbá igen alkalmasak a csillagfejlődési modellek ellenőrzésére, hiszen minden valószínűség szerint ezek a csillagok azonos vegyi összetételű anyagból fejlődtek csillaggá. Csak a tömegükben különbözhetnek egymástól. Így a kettős csillagok komponensei közötti különbség a fejlődésük

ütemétől függ, amelyet viszont a kezdeti tömeg határoz meg. Szerencsés körülmény az is, hogy a kettős csillagok közös dinamikai rendszert alkotnak, és a mozgásuk megfigyeléséből a tömegük kiszámítható. A tömegek ismeretében a két komponens között megfigyelhető különbségek egyedül a koruktól függnék. Ehhez azonban hozzá kell tenni, hogy a kettős rendszerek fejlődése nem minden szempontból tükrözi híven az egyedül álló csillagok fizikai tulajdonságait és fejlődését, hiszen a két csillag hatással van egymásra .

A megfigyelésük lehetőségeit véve alapul a kettős csillagokat a következő csoportokra oszthatjuk:

- vizuális kettősök,
- fedési kettősök,
- spektroszkópiai kettősök és
- asztrometriai kettősök.

Ez a felosztás nem teljesen egyértelmű, mert egyes kettős csillagok két, sőt több csoportba is besorolhatók. Például egy fedési kettős lehet vizuális, asztrometriai és spektroszkópiai kettős is. Pontosabb felosztást szorgalmazva nagy bonyodalmakba ütköznénk, hiszen a kettős csillagok komplett jellemzését hét paraméter különböző kombinációjával lehetne leírni. Ezek a két csillag tömege, luminozitása, sugara és a komponensek közötti távolság. Első pillanatban a komponensek közötti távolság nem tűnik jellemző (fontos) paraméternek. Azonban tudjuk, hogy ha a távolság egy bizonyos értéknél kisebbre csökken (szoros kettősök), akkor a két csillag között tömegcsere lép fel, ami egyik fő forrása a gázkorongok kialakulásának. Azt már említettük, hogy a csillagok fejlődési üteme erősen tömegfüggő. Tömegcsere esetén tehát megváltozik a komponensek fejlődése. Megtörténhet az is, hogy a kezdetben kisebb tömegű csillag, befogadva a nagyobb tömegű csillag anyagát, lesz a nagyobb tömegű. Ezeknél a szoros kettősöknél a komponensek közötti távolság annyira kicsi, hogy a kettős csillag még a legnagyobb távcsővel is egy csillagnak látszik. Ilyenkor a kettősségre a csillagok fénygörbéje (fedési kettősök) és színképe (spektroszkópiai kettősök) alapján következtethetünk. Vannak olyan csillagpárok, amelyeknél csak az egyik komponens figyelhető meg, a másik jelenlétére a megfigyelhető komponens mozgásából lehet következtetni (asztrometriai kettősök), de ebben az esetben az esetleges gázkorongról semmilyen információt nem kapunk. A komponens csillagokról nyerhető információ is sokkal szegényebb, mint az előző két csoport esetében. Ezért a továbbiakban ezekkel a kettősökkel nem foglalkozunk.

A kataklizmikus változók olyan csillagok, amelyek fő jellemzője a nagy energiával járó kitörés. A kitörés energiájának csökkenő értékét követve e csillagok közé tartoznak a szupernóvák, nóvák, szimbiotikus csillagok stb. Ismert tény, hogy a kataklizmikus változó csillagok kisebb energiájú kitörést produkáló csoportját szoros kettős csillagok alkotják. Ezek tipikus modellje a kö-

vetkező: az egyik komponens (főkomponens) fehér forró törpecsillag, a másik komponens (mellékkomponens) pedig egy fősorozatbeli, viszonylag alacsony hőmérsékletű (vörös) csillag, amelynek anyaga kitölti az úgynevezett Roché-féle tartományt. E csillag légköréből, az úgynevezett belső Lagrange-ponton keresztül, anyag áramlik a törpe csillag felé. Az átáramlott anyag nem esik közvetlenül a törpe felszínére, hanem körülötte kering, és gázkorongot alkot. Az utóbbi időben azonban olyan kettős csillagoknál is gázkorong létezésére utaló megfigyelési adatokat gyűjtöttek össze, amelyeknél a mellékkomponens is forró óriáscsillag. A kataklizmikus változóktól ezek a kettősök lényegében abban különböznek, hogy a mellékkomponens viszonylag forró, kék csillag, és a rendszer össztömege meghaladja a Nap tömegének néhány tízszeresét, sőt ez az arány százon felüli is lehet. Éppen nagy tömegük folytán az ilyen kettősök ritkaságszámba mennek, de kutatásuk nagyon fontos adatokat szolgáltat a nagy tömegű csillagok fizikai tulajdonságairól és fejlődéséről. Ebből kifolyólag a kataklizmikus változók és a nagy tömegű forró kettősök korongjának fizikai tulajdonságai is különböznek. E cikkben éppen az ilyen típusú nagy tömegű forró kettős csillagok kérdésével foglalkozunk. A korong kialakulásának feltételeit gázdinamikai vizsgálatok alapján állapították meg. A feltételek egyik fő jellemzője az átáramló gázt befogadó csillag viszonylagos sugara. Ha ezt a feltételt alkalmazzuk, akkor kiderül, hogy csak viszonylag kicsi átmérőjű (pl. fehér törpe) csillagok körül alakulhat ki gázkorong. Azoknál a kettős csillagoknál, amelyekkel ebben a cikkben foglalkozunk, ez a feltétel nem mindig teljesül.

Kutatásunk alanyaként olyan csillagpárokat választottunk, amelyek a fedési kettősök közé tartoznak. Ugyanis ezeknél a pároknál modelljeink empirikus ellenőrzését megkönnyíti a fedések alkalmával létrejövő fényváltozás (fénygörbe) és a kettős csillag színképének változása a fedési kettős fázisától függően. A fénygörbe modellezésével a csillagpár szembeötlőbb tulajdonságairól kapunk adatokat, míg a finomabb részletekről inkább a színképek árulkodnak. E csillagok egyes közös és eltérő tulajdonságait három kettős csillag színképének példáján mutatjuk be. Ezek a kettős csillagok a következők: a  $\beta$  Lyrae, az RS Scuti és a V448 Cygni. E csillagok néhány alapvető adatát az 1. táblázatban tüntettük fel. A három csillag keringési periódusa hasonló: tíz nap körüli. A komponensek tömege és hőmérséklete között viszont nagyobb különbségek vannak. A  $\beta$  Lyrae főkomponensére nem találtunk megfelelő utalást a rendelkezésünkre álló irodalomban, de színképtípusa alapján hőmérsékletét 15 000 K felettire lehet becsülni. A csillagok sugara nem nagyon különbözik egymástól. Amint az 1. táblázatból kitűnik, a  $\beta$  Lyrae sokkal fényesebb a másik két csillagnál. Nem csoda tehát, hogy ezt a csillagot már régóta, több mint kétszáz éve, tanulmányozzák, és sok fizikai tulajdonságát már meghatározták. Sokszor e csillag nevét használják gyűjtőnévként az olyan csillagok csoportjára, amelyek hasonló tulajdonságokat mutatnak, azaz az ilyen csillagokat  $\beta$  Lyrae-típusú csillagoknak nevezik.

A cikkben e három csillag ibolyántúli sugárzásban megfigyelt színképeinek összehasonlítására, valamint az ebből levonható érdekes előzetes eredményekre összpontosítjuk figyelmünket. A színképek részletes analízise a következő néhány év kutatási programjának témája, és a végleges eredményekről csak e kutatás befejeztével tudunk beszámolni.

*1. táblázat. A három csillag néhány fontosabb adata*

Név	Periódus [nap]	Főkomponens tömeg/hőmérséklet	Mellékkomponens tömeg/hőmérséklet	Fényesség (V)	Színképtípus fő/mellék	Sugár fő/mellék
$\beta$ Lyr	12.91378	13.2/?	2.98/12000	3.52	B2V/B7II	7.8/19.9
RY Sct	11.12471	30/27000	7.1/30000	9.14	B0.5 I/O9.7Ib	9.1/17.9
V448 Cyg	6.5197	22.4/30000	17.5/20500	8.16	O9.5 V/B1Ib-II	7.8/19.9

## HIPOTÉZIS: GÁZKORONG A SZOROS FORRÓ KETTŐSÖKBEN

Kutatásunk kiindulópontja, hogy egyes szoros kettősökben, mint pl. az RY Scuti és a V448 Cygni kettősök, a kisebb átmérőjű, de nagyobb tömegű, forró főkomponens körül gázkorong képződik a kissé hidegebb, de még mindig elég forró mellékkomponens átáramló anyagából. A kataklizmikus változókhoz hasonlóan a mellékkomponens anyaga kitölti a Roché-féle tartományt, és a csillag légköréből a belső Lagrange-ponton (L1) keresztül anyag áramlik a főkomponens felé. Szerintünk az átáramlott anyag, az eddigi elképzelésekkel ellentétben, nem esik közvetlenül a főkomponens felszínére, hanem körülötte kering, és gázkorongot alkot. E csillagok fizikai tulajdonságaira vonatkozóan a fénygörbék és a színképek kiértékelése nyújt hasznos adatokat.

Mivel az RS Scuti és a V448 Cygni kettősök fénygörbéjének kiértékelése most van folyamatban, ebben a cikkben nem tudjuk a fénygörbe-analízis végleges eredményeit bemutatni. Ezért a DL Cygni kettős csillag példáján szemléltetjük modellünket, és azt, hogy a fénygörbe modellezéséből a rendszer mely adataira kaphatunk becsléseket. Az 1. ábrán a DL Cygni megfigyelt fénygörbéjét, ennek elméleti görbéjét és a modellt mutatjuk be. Az adatok közlését dr. Gojko Đurašević engedélyezte (Đurašević és mások, 2005). Az elméleti görbét úgy kapjuk meg, hogy a modell paramétereit addig változtatjuk, amíg a modellezett fénygörbe a legjobban illeszkedik a megfigyelt adatokhoz, azaz megkeressük a megfigyelt adatokhoz a legkisebb hibával illeszkedő elméleti fénygörbét. A DL Cygni legjobban illeszkedő fénygörbéjéből kapott modell paramétereit a

2. táblázat mutatja, majd a táblázatban előforduló szimbólumok magyarázata következik. Mint látható, a modell sok paramétert tartalmaz, ami megnehezíti a modell helyes megoldását. Ezért minden olyan paraméter értékét, amely más, független mérésekből is meghatározható, felhasználjuk a számításokban. Ily módon a modelltől számítandó paraméterek számát csökkenteni tudjuk. Ezeket a paramétereket nevezzük előre megadottaknak. A DL Cygni kettős csillag modelljének táblázatban megadott paramétereire nem szükséges külön magyarázatot fűzni, hiszen a paraméterek leírásából ezek érthetők.

2. táblázat. *A legkisebb hibával közelítő fénygörbéből kapott adatok*

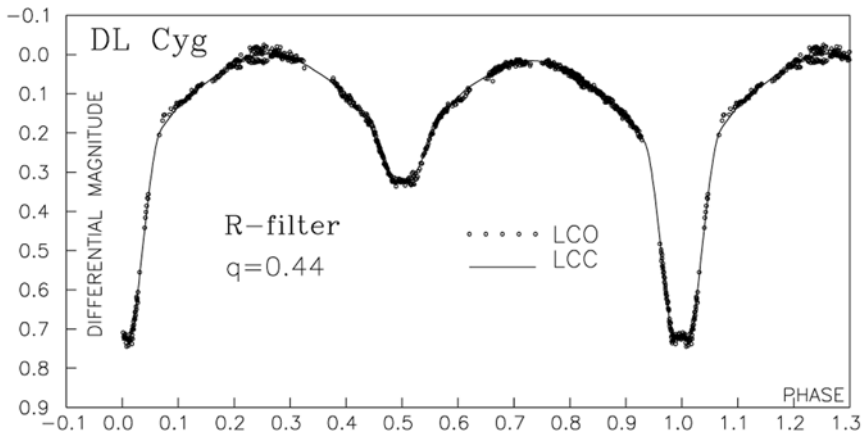
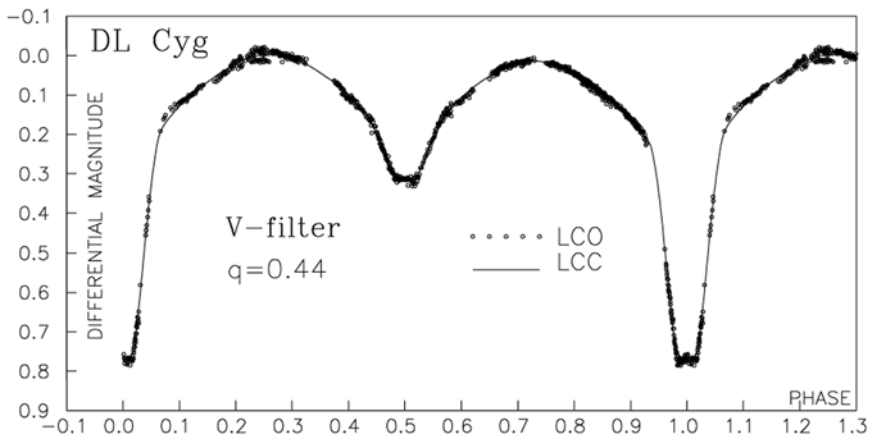
$\Sigma(O-C)^2$	0.2313	0.2643
$F_h$	0.310±0.001	0.305±0.002
$F_d$	0.818±0.014	0.816±0.006
$T_d$	10140±95	9888±81
$d$	0.040±0.001	0.037±0.001
$A_{hs}=T_{hs}/T_d$	2.10±0.10	2.06±0.15
$\theta_{hs}$	6.9±0.2	7.2±0.3
$\lambda_{hs}$	29.7±0.6	31.2±1.0
$A_{bs}=T_{bs}/T_d$	1.35±0.11	1.37±0.13
$\theta_{bs}$	77.6±1.4	87.0±1.3
$\lambda_{bs}$	173.2±0.5	169.7±0.6
$T_c$	10518±32	10164±40
$i$	83.66±0.04	83.53±0.05
$u_h$	0.28	0.23
$u_c$	0.40	0.34
$u_d$	0.41	0.34
$u_{hs}$	0.27	0.22
$u_{bs}$	0.32	0.27
$\Omega_h$	8.165	8.027
$\Omega_c$	2.759	2.759
$R_h$	0.129	0.132
$R_c$	0.290	0.290
$R_d$	0.370	0.369

Előre megadott paraméterek:

$T_h=18700$  K – nagyobb tömegű (forróbb) csillag hőmérséklete,  
 $F_c=1$  – a kisebb tömegű csillag Roché-féle tartomány kitöltési együtthatója  
 $f_h=f_c=1.00$  – a komponensek szinkronforgási együtthatói  
 $q=m_c/m_h=0.44$  – a komponensek tömegaránya,  
 $\beta_{h,c}=0.25$  – a komponensek gravitációs szélsötédésének együtthatói,  
 $A_{h,c}=1.0$  – a komponensek albedói,  
 $a_r=0.15$  – a korong hőmérsékletének eloszlási együtthatója.

$\Sigma(O-C)^2$  – négyzetes eltérésösszeg a megfigyelt (LCO) és a számított (LCC) fénygörbe között,

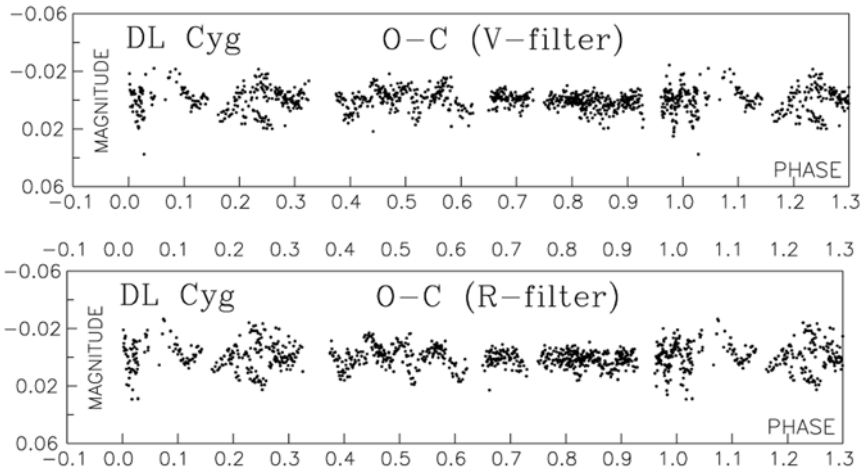
$F_h$  – a forróbb csillag Roché-féle tartomány kitöltési együtthatója,  
 $F_d=R_d/R_{yc}$  – a korong méretének faktora,  
 $T_d$  – a korong kerületén mért hőmérséklet [K]  
 $d$  – a korong vastagsága (a komponensek közötti távolságban kifejezve),  
 $A_{hs,bs}=T_{hs,bs}/T_d$  – a forró és a fényes folt hőmérsékleti együtthatója,  
 $\theta_{hs,bs}$  és  $\lambda_{hs,bs}$  – a foltok szögátmérője és pozíciója (fokokban mérve),  
 $T_c$  – a kisebb tömegű csillag hőmérséklete [K],  
 $i$  – pályasík hajlása (fokokban mérve),  
 $u_{h,c}$  – a komponensek szélsötédési együtthatói,  
 $u_{d,hs,bs}$  – a korong, a forró és a fényes folt szélsötédési együtthatói,  
 $\Omega_{h,c}$  – a komponensek felszíni potenciális energiája a pólusokon,  
 $R_{h,c}$  – a komponensek pólusirányú sugara a komponensek közötti távolságban kifejezve,  
 $R_d$  – a korong sugara a komponensek közötti távolságban kifejezve.



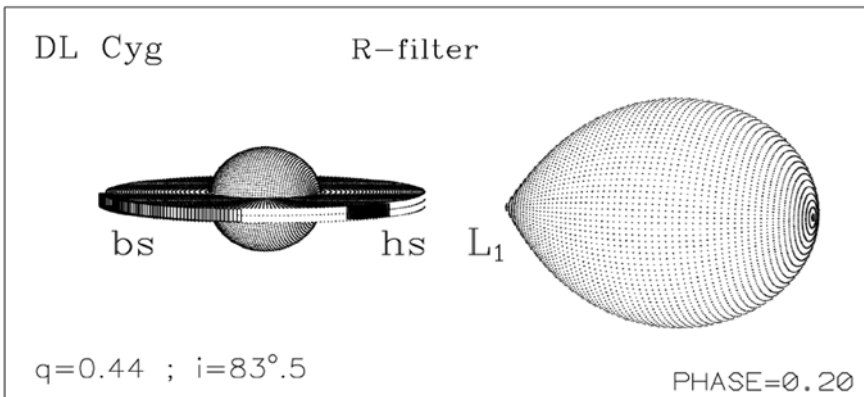
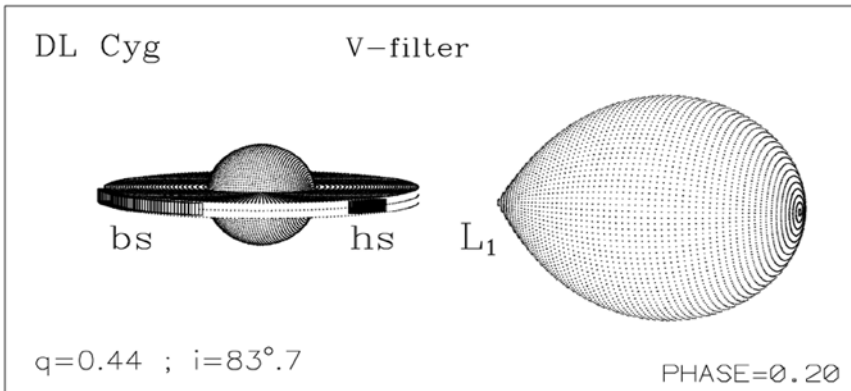
1. ábra

A DL Cygni kettős fénygörbéje és a modell. Az első két kép a V és az R fényszűrőkkel kapott megfigyelési adatokra (LCO, pontok) illesztett modellezett fénygörbét (LCC, vonal) mutatja be.

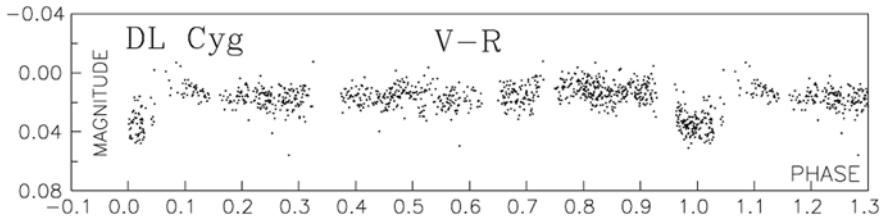
A következő két kép a modellből számított fénygörbe és a megfigyelt fénygörbe közötti különbséget ábrázolja.



Az alábbi képeken a kettős modelljét látjuk.







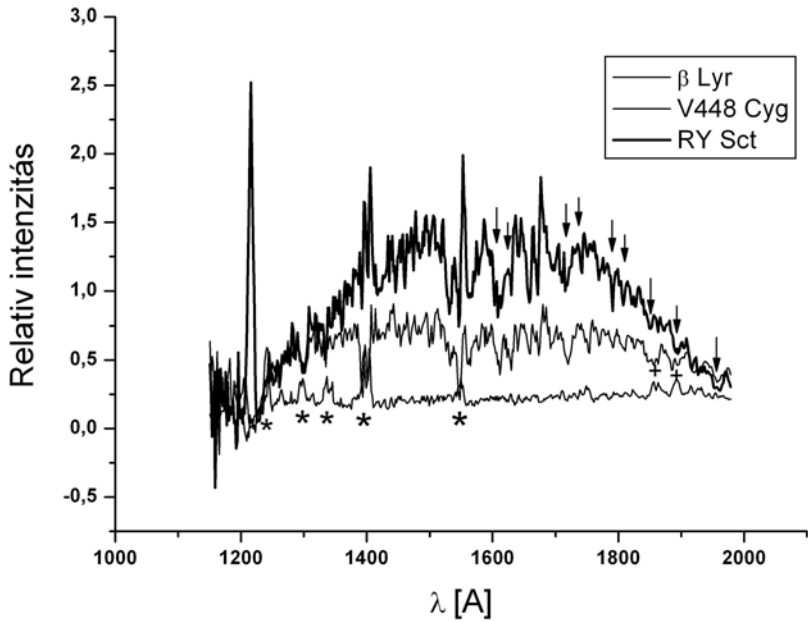
A két szűrőn kapott fényességek különbsége (színindex) látható.

Az eddigi kutatások eredményei azt mutatják, hogy a  $\beta$  Lyrae kettős csillag főkomponense egy forró, nagyobb tömegű csillag, míg a mellékkomponens hőmérséklete alacsonyabb, tömege kisebb, és légkörének anyaga túlcsoportul a Roché-féle tartományon. Ennek következtében könnyen veszíti anyagát. Az anyagvesztés mennyisége évente a Nap tömegének kb. százezred része, ami igen nagy fokú tömegvesztésnek számít. A mellékkomponens anyagának legnagyobb része a belső Lagrange-ponton ( $L_1$ ) keresztül távozik. A kicsorgó anyag további sorsát a modellek segítségével lehet követni. Az eddigi modellek szerint a mellékkomponens anyaga a főkomponens felé áramlik. Ennek nagy részét a főkomponens befogja, és korongot formál belőle maga körül. Az  $L_1$  ponton kiáramló anyag kisebb része a korongon kívül kerül meg a főkomponenst. Majdnem teljes fordulatot téve az  $L_1$  ponton kiáramló anyaggal ütközik, és részévé válva követi az anyagáram sorsát. Egyes kutatók szerint (pl. Nazarenko és Glazunova, 2006) az ütközés helyén lökéshullámok keletkeznek, amelyekben energiafelszabadulás következtében, az anyag magas hőmérsékletre fűtődik fel. Az  $L_1$  ponton kiáramló anyag egy része a kettős rendszer körüli pályára kerül, és az  $L_2$  ponton kiáramló anyaggal együtt egy cirkumbináris gázkorongot alkot. Az  $L_1$  ponton kiáramló anyagból arra is jut, hogy a korong körül, a korong anyagánál kisebb sűrűségű, tóruszt alkosson. A képet még bonyolítja a forró csillagból kiáramló csillagszél is.

A másik két csillagról sokkal kevesebbet tudunk, de egyes megfigyelt tulajdonságuk alapján a  $\beta$  Lyrae-típusú csillagok közé sorolhatók. Éppen ezért a  $\beta$  Lyraet választottuk arra a célra, hogy a színeképét összehasonlítsuk a másik kettőével. Az összehasonlítás célja az, hogy a jól ismert  $\beta$  Lyrae csillag megfigyelt tulajdonságait a másik két csillag megfigyeléséből kapott adatokkal összehasonlítva azok fizikai tulajdonságaira következtethessünk. Ez esetben arra vagyunk kíváncsiak, hogy az RS Scuti és a V448 Cygni kettősök főkomponensei körül kialakult-e hasonló gázkorong, mint a  $\beta$  Lyrae körül. A kérdésre a három csillag ibolyántúli színeképének összehasonlítása alapján keressük a választ. Az ibolyántúli színeképet azért választottuk, mert mindhárom csillag viszonylag magas hőmérséklete folytán az ibolyántúli színeképtartományban sugároz

legerősebben. A színeképeket az IUE (International Ultraviolet Explorer) nevű, Föld körüli pályán keringő távcső archívumából töltöttük le. A három csillag sugárzási fluxusát a hullámhossz függvényében a 2. ábra szemlélteti. A grafikon jól mutatja, hogy a három objektum színeképe között egyrészt szembetűnő hasonlóság, másrészt jelentős különbség is van. Mindhárom csillag színeképében ugyanazon a hullámhosszon erős színeképvonalak láthatók. Ezeket a színeképvonalakat csillaggal (\*), nyíllal (→) és plusz jellel (+) jelöltük meg. Közös jellemzőjük, hogy a vonalak profilja viszonylag igen széles. A  $\beta$  Lyrae csillag színeképében, a csillaggal és plusz jellel megjelölt hullámhosszakon erős emissziós vonalak vannak. Ezeket a színeképvonalakat a kettős rendszert körülövező gázburok sugározza ki. Egyes emissziós színeképvonalak csúcsától jobbra jól látható, keskenyebb elnyelési vonalak találhatók, amelyek a csillag sugárzását elnyelő gázburokban jönnek létre. A  $\beta$  Lyrae-ben az ábrán bemutatott hullámhossztartomány bal felét főleg az emissziós vonalak uralják. A tartomány közepétől a végéig gyenge elnyelési vonalak találunk. Kivételt a plusszal jelölt két vonal képez. A V448 Cygni és az RY Scuti esetében az emissziós vonalak helyett inkább az elnyelési vonalak dominálnak. Némely széles elnyelési vonal jobb szárnyát viszonylag keskeny emissziós vonal szakítja meg. Ezek az úgynevezett P Cygni profilok. A P Cygni profilok jelenléte nagyarányú anyagkiáramlásra vagy az anyagnak a csillag felszínére való hullására utalnak. Az RY Scuti színeképe jobban hasonlít a V448 Cygni színeképére, hiszen itt szintén az erős elnyelési vonalak jelenléte jellemző. Hozzá kell azonban tenni, hogy a P Cygni profilok emissziós komponense, és az egyes (nyíllal jelölt) elnyelési vonalak ennél a csillagnál sokkal erősebbek. Kivételt képez az 1900 A közelében levő, két, plusszal jelölt színeképvonal.

A cikkben felvetett kutatási célt szem előtt tartva ezeknél a színeképeknél sokkal fontosabb az a tény, amelyet Mazzali (2000) közölt cikkében: a  $\beta$  Lyrae színeképében a csillaggal jelölt színeképvonalak profiljában a már említett két komponens mellett egy harmadik is mutatkozik. Ugyanis e vonalprofilok szárnyai annyira szélesek, hogy csak egy széles vonalprofil hozzáadásával lehet őket kellő pontossággal leírni. Mazzali szerint e széles vonalprofilok a kettős nagyobb tömegű csillaga körül keletkezett gázkorongtól származnak. Később a gázkorong létezését a  $\beta$  Lyrae-ban sikeresen ki is mutatták. Ugyanezekkel az érvekkel élve hasonló módon állíthatjuk, hogy a V448 Cygni és az RY Scuti esetében is a csillagokkal jelölt színeképvonalak profilja arra enged következtetni, hogy e két csillag nagyobb tömegű komponense körül gázkorong alakult ki. A gázkorong létezésének ténye nagyon fontos a kettősök helyes modellezésében, ami végeredményben a csillagok fizikai paramétereinek pontosabb meghatározását biztosítja.



2. ábra

## IRODALOM

Djurašević, G., Rovithis-Livaniou, H., Rovithis, P., Borkovits T., Bíró I. B., 2005, *New Astronomy* 10, 517

Mazzali, P. 1987, *The Ultraviolet Spectrum of Beta Lyrae*, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 65, 695

Nazarenko, V. V. and Glazunova, L. V., 2006, *Three-Dimensional Hydrodynamical Modeling of Mass Transfer in the close Binary System beta Lyr with an Accretor Wind*, *Astronomz Reports*, Vol. 50, 380

## *Accretion Disks in Early Type Eclipsing Binary Stars*

Since the number of stars decrease with increasing masses according to power law, the number of stars with large masses (early type stars) is relatively low. Consequently, the numbers of binary stars, which offer a good possibility of direct measurements of their masses from radial velocity curves, are exceptional. The duration of mass transfer processes in massive close binaries is very short and the mass transfer rate is very large that can yield to unusual physical conditions and chemical composition in such systems. Therefore, the investigation of physical processes and determination of parameters of such kind of stars is very important and challenge. In this paper we investigate three early type eclipsing binary stars with large masses:  $\beta$  Lyrae, RS Scuti and V448 Cygni.  $\beta$  Lyrae, due to its high brightness, is a very well studied eclipsing binary. Recently it has been proved that an accretion disk existed around the more massive component. By comparing and analysing the ultraviolet spectra of  $\beta$  Lyrae, RS Scuti and V448 Cygni we showed the existence of an accretion disk in the RS Scuti and V448 Cygni binary systems, too.

Keywords: stars, eclipsing stars, close binaries, accretion disks