

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
FIZIKA DOKTORI ISKOLA

Érintkező kettőscsillagok fotometriai és
spektroszkópiai vizsgálata, valamint a
TIC 278825952 hármas rendszer analízise

PhD értekezés tézisei

Mitnyan Tibor
okleveles fizikus

Témavezető:

Dr. Vinkó József, tudományos főmunkatárs

CSFK Csillagászati Intézet

SZTE TTIK Fizikai Intézet, Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Konzulensek:

Dr. Szalai Tamás, tudományos munkatárs

SZTE TTIK Fizikai Intézet, Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Dr. Borkovits Tamás, tudományos munkatárs

SZTE Bajai Obszervatórium

Szeged

2020

Tudományos háttér

Közvetlen kozmikus környezetünkben a csillagok legalább fele kettős- vagy többes rendszerben található meg. Ezekben a csillagok egymásra gyakorolt hatásainak (pl. a rendszer tömegközéppontja körüli keringés, megfelelő inklináció esetén periodikus fedési jelenségek észlelése, dinamikai kölcsönhatások) révén számos olyan megfigyelhető tulajdonsággal rendelkeznek, amik alapján olyan alapvető fizikai jellemzőiket (pl. tömeg, méret, felszíni hőmérséklet, stb.) is meg tudjuk határozni, amelyekre magányos csillagok esetében nem, vagy csak kevés esetben nyílik lehetőség. Ezen fizikai paraméterek pontos ismeretére pedig elengedhetetlenül szükség van, egyrészt a csillagok kialakulására és fejlődésére, másrészt az azokon, illetve azok között végbemenő fizikai jelenségek leírására megalkotott elméletek pontosításához. Ennek köszönhetően a kettős- és többescsillagok kutatása a mai napig is a szakma egyik alappilléreinek számít.

Ezekben a vizsgálatokban kiemelt szerepük van azoknak a rendszereknek, amelyekben az egyes csillagok tömegközéppontjuk körüli keringésük során kölcsönösen kitakarnak egymásból egy darabot, és ennek köszönhetően az általunk megfigyelhető fényességükben periodikus elhalványodások, illetve felfényesedések következnek be. A csillagfedések extra információkkal szolgálnak a csillagok egymáshoz viszonyított fizikai tulajdonságairól és helyzetéről, ami miatt az ilyen típusú rendszerekben található csillagok összes fizikai és pályaparaméterét nagy pontossággal lehet meghatározni fotometriai és spektroszkópiai észlelések kombinálásával.

A fedési kettőscsillagok egyik alosztályát jelentő érintkező kettőscsillagok kialakulására és fejlődésére még napjainkban sem rendelkezünk olyan kielégítő elméleti ismeretekkel, amelyek segítségével ezek összes megfigyelt tulajdonságát meg lehetne magyarázni. A jelenleg legszéleskörűbben elfogadott modell (Lucy 1968) szerint jellemzően két F, G, K színképosztályú (közel) fősorozati törpecsillagokból állnak, amelyek kitöltik Roche-lebenyüket és fizikailag érintkeznek egymással. Ezen kívül egy közös konvektív burok veszi őket körbe, melynek köszönhetően a csillagok között energia- és anyagáramlás mehet végbe, így közöttük termális egyensúly jön létre. Ebből az elrendeződésből adódóan az erős árapály-kölcsönhatás miatt a csillagok alakja torzult (csepp alakú), és tengely körüli forgásuk szinkronizálódott a keringésükkel, amelynek periódusa jellemzően rövidebb 1 napnál. Megfigyelhető fényességük ebből kifolyólag folyamatosan, közel szinuszosan változik keringésük során. Ez a változás azonban a megfigyelések szerint az esetek többségében nem szabályos, és egy keringésen belül a fényességmaximumok, illetve fényességminimumok között is felléphetnek különbségek. Utóbbiak eltérésén alapul az érintkező kettősök A- és W-típusok szerinti megkülönböztetése is: az A-típusúak esetében a főminimum bekövetkezésekor a főkomponens, míg W-típusúak esetén a mellékkomponens van elfedve (Binnendijk 1965, 1970). Ennek legvalószínűbb magyarázata a komponensek felszíni

(mágneses) aktivitásában keresendő (Mullan 1975).

A mágneses aktivitás a csillagok egyik olyan tulajdonsága, amelynek működését még Napunk esetében sem értünk pontosan, ugyanakkor az egyik legfontosabb jelenség, amely a legtöbb érintkező kettőscsillagon is megfigyelhető. Ennek vizsgálata fontos információkkal szolgálhat egyrészt a Naphoz hasonló csillagok működésével és belső szerkezetével kapcsolatban, másrészt közelebb vihet az érintkező kettőscsillagok kialakulásának és fejlődésének jobb megértéséhez. A fotoszférában zajló aktivitást (csillagfoltok) leginkább az objektumok fénygörbéin, illetve a színképvonalaikban megfigyelhető torzító hatásuk által detektálhatjuk, míg a kromoszférikus aktivitást jellemzően a csillaglégkör felsőbb rétegeiből származó, többszörösen ionizált elemek által keltett színképvonalakban megjelenő emissziós többlet segítségével mutathatjuk ki. A különböző aktivitási jelenségek kapcsolatának, illetve a kromoszférikus aktivitás vizsgálatára irányuló tanulmány érintkező kettősök esetében csak néhány található a szakirodalomban. Kaszás és mtsai (1998) a VW Cephei esetén végzett vizsgálatuk alapján felvetették, hogy a fotoszférikus és kromoszférikus aktivitás szinte teljes egészében a főkomponensen zajlik, és közöttük közvetlen összefüggés lehet. Rucinski (1985) kis felbontású ultraibolya tartományban készült spektrumokban található Mg II színképvonalak emissziós mértéke alapján 15 érintkező kettős esetében azt találta, hogy a kromoszférikus aktivitás mértéke korrelál a rendszer néhány fontosabb fizikai paraméterével, úgy mint keringési periódus, B–V színindex és az inverz Rossby-szám. Barden (1985) egy jóval kisebb (négy elemű) mintán hasonló megfigyeléseket tett az optikai tartományban, a $H\alpha$ -vonalban észlelhető kromoszférikus aktivitás mértékére vonatkozóan. Az általam elvégzett munka első részének fő motivációját a Kaszás és mtsai (1998) által felvetett összefüggések igazolása, illetve a Barden (1985) által, az optikai tartományban észlelhető kromoszférikus aktivitás és az érintkező kettőscsillagok fizikai paramétereinek közötti korrelációk kimutatására végzett vizsgálat kiterjesztése jelentette, saját készítésű fotometriai és spektroszkópiai adatsorok gyűjtése és elemzése révén.

Munkám utolsó fázisában egy eddig fedési kettőscsillagként katalogizált objektum, a TIC 278825952 azonosítóval rendelkező rendszer komplex analízisét végeztem el, amelyről ezidáig nem született hasonló elemzés a szakirodalomban. Ennek motivációját az adta, hogy a *TESS* űrteleszkóp majdnem egy év hosszúságú, ultraprecíz fotometriai adatsort szolgáltatott róla, amelynek vizsgálata során olyan extra fedési eseményekre bukkantam, amit egy, a rendszerben található, az ismert fedési kettőstől jóval távolabb keringő harmadik csillag hoz létre. Az ehhez hasonló, triplán fedő hierarchikus hármas rendszerekből egyelőre meglehetősen keveset ismerünk, ugyanis a rendszerben található csillagok pályasíkjainak egyrészt közel egybe kell esniük, másrészt megfelelő hosszúságú, időfelbontású és pontosságú mérések szükségesek felfedezésükhöz. Mindazonáltal kiemelt jelentőséggel

bírnak mind a rendszerben található csillagok összes fizikai jellemzőjének nagy pontossággal való meghatározása, mind a közöttük fellépő dinamikai kölcsönhatások vizsgálatának lehetősége miatt. Ennek köszönhetően a csillagkeletkezési és csillagfejlődési elméletek pontosításához természetes laboratóriumként szolgálnak.

Kutatási módszerek

Az érintkező kettőscsillagok esetében gyűjtött fotometriai és spektroszkópai felvételek redukcióját az IRAF¹ és az iSpec (Blanco-Cuaresma és mtsai 2014, Blanco-Cuaresma 2019) nevű szoftvercsomagok megfelelő rutinjait felhasználva végeztem el. A feldolgozott spektrumokból a csillagok radiális sebességeit keresztkorrelációs módszerrel határoztam meg, amelynek lényege, hogy a mért spektrumokat egy ismert radiális sebességű csillag spektrumához képest különböző mértékben eltoljuk, és meghatározzuk, hogy milyen mértékű az egyezés. Ilyen módon egy keresztkorrelációs függvényt (CCF) kapunk, amelyen a rendszerben található komponensek számától függően maximumcsúcsok jelennek meg. Ezeket megfelelő számú Gauss-függvények összegével illesztettem, és a Gauss-függvények maximumhelyével azonosítottam a CCF-eken megjelenő komponensek radiális sebességeit. Az így előálló radiális sebesség-görbéket a PHOEBE 1.0-ás verziójának (Prsa és Zwitter 2005) segítségével modelleztem az egyes rendszerek különböző fizikai paramétereinek pontosítása céljából.

A VW Cephei esetében a radiális sebesség-görbék mellé fénygörbék is rendelkezésemre álltak, így ebben az esetben ezeket szimultán illesztettem PHOEBE-modellekkel. A legutóbbi hasonló vizsgálatot Kaszás és mtsai (1998) végezték el a rendszeren. Bár a radiális sebességek kinyerésére alkalmazott módszer megegyezik a két vizsgálatban, mégis fontos eltérések tapasztalhatóak: a Kaszás és mtsai (1998) által mért spektrumok jel/zaj aránya 2-3-szor nagyobb az általam mért spektrumoknál, azonban az általam használt spektrográf jobb spektrális felbontóképességgel rendelkezik, és vizsgálatomban jóval (~7-szer) nagyobb hasznos spektráltartományt alkalmaztam. A fénygörbemodellek megfelelő illeszkedéséhez két, a felszíni hőmérsékletnél hűvösebb csillagfoltot kellett feltételeznem a főkomponens felszínén.

A mért spektrumokat ezt követően az összes rendszer esetében modellspektrumokkal illesztettem. A modellspektrumok előállításához feltételeztem, hogy a két komponens kompozit spektruma a közel hasonló effektív hőmérsékletük miatt leírható egyetlen jól választott, rotációsan kiszélesedett modellatmoszférával. A különböző keringési fázisokban készült mérésekhez az elméleti rotációs kiszélesedési függvényeket a WUMA4 programmal (Rucinski 1973) számítottam ki, majd ezeket különböző effektív hőmérsékletű ATLAS9

¹<http://iraf.noao.edu>

(Kurucz 1993), illetve MARCS.GES (Gustafsson és mtsai 2008) modellatmoszférákkal konvoláltam Naphoz hasonló felszíni gravitációs gyorsulás és fémességérték mellett. Azon rendszerek esetében, amelyek színekében a rendszerben található harmadik komponens vonalai is megjelentek, egy megfelelő paraméterekkel számolt és a spektrográf átviteli függvényének szélességével megegyező Gauss-függvény segítségével kiszélesített modellatmoszférát adtam hozzá – megfelelő fluxusarányt véve – az érintkező komponensek modelljéhez. Az ilyen módon előálló modellek közül a $H\alpha$ -vonalon kívüli tartományokon végzett illesztések segítségével választottam ki a végső, legjobb illeszkedést nyújtó eseteket. A modellspektrumokat végül levontam a mért spektrumokból, és a kapott különbségspektrumokon meghatároztam a $H\alpha$ -vonal visszamaradt profiljainak ekvivalens szélességeit, amit a kromoszférikus aktivitás mértékével azonosítottam. A mért ekvivalens szélességeket a keringési fázis függvényében ábrázolva vizsgálni tudtam a kromoszférikus aktivitás fázisfüggő változását mind a 13 rendszer esetében. Végül, az egyes objektumok esetében átlagolva a mért ekvivalens szélességeket, összefüggéseket kerestem a rendszerek fizikai paraméterei, illetve a kromoszférikus aktivitásuk átlagos szintje között.

A TIC 278825952 esetében a *TESS* által mért, kalibrált felvételeket (FFI) a MAST portálról² letöltve konvolúción alapuló képlevonásos fotometriát végeztem, amelyhez a Pál András által üzemeltetett *fitess* szervert, illetve az általa megalkotott automata képredukáló szkriptet használtam, ami a szintén általa fejlesztett FITSH nevű programon (Pál 2012) alapul. Az így előállított *TESS* fénygörbét P. F. L. Maxted révén archiv, földfelszíni mérésekkel egészítettem ki, majd meghatároztam a belső kettős fénygörbéken megfigyelhető fedésimínimumidőpont-változásait. Ezen felül különböző égboltfelmérő-programokból származó, katalogizált fényességértékek összegyűjtése után előállítottam a rendszer spektrális energiaeloszlását (SED). A fénygörbét, a fedésimínimumidőpont-változásokat és a SED-et ezt követően szimultán modelleztem a LIGHTCURVEFACTORY nevű program (Borkovits és mtsai 2013, 2019, 2020a,b) segítségével. Radiálissebesség-görbék hiányában a rendszerben található csillagok tömegeit modellfüggő módon tudtam meghatározni az egyes illesztések során, elméleti PARSEC izokrónok (Bressan és mtsai 2012) felhasználása révén. Az átfogó modellezések eredményeként (a szakirodalomban elsőként) meghatározott fizikai paraméterek alapján következtetéseket tudtam levonni a rendszer keletkezési és fejlődési állapotával kapcsolatban.

Új tudományos eredmények

1. Saját készítésű fotometriai és spektroszkópiai adatsorok alapján elvégeztem a VW Cephei komplex fizikai modellezését. (Mitnyan és mtsai 2018)

²<https://mast.stsci.edu>

1.a. A mérések kiértékeléséből származó fény- és radiálissebesség-görbék szimultán illesztése segítségével pontosítottam a rendszer fizikai paramétereit. Az általam kapott paraméterek alapvetően jó egyezést mutatnak Kaszás és mtsai (1998) legutóbbi ilyen típusú vizsgálatának eredményeivel. Az általam kapott tömegarány ($q=0,302\pm0,007$) kisebb mint az említett publikációban szereplő ($q=0,35\pm0,01$), azonban az új mérésekből származó eredményeim vélhetően megbízhatóbbak. Az illesztett modellekben a főkomponens felszínének két átellenes oldalán egy-egy, a felszíni hőmérsékletnél hűvösebb csillagfolt jelenik meg, ami összhangban van Holzwarth és Schüssler (2003) elméleti megfontolásokból származó modelljével.

1.b. Az egyes mért spektrumok elméleti modellekkel való illesztése után a mért és modelspektrumok különbségein meghatároztam a $H\alpha$ -spektrumvonal visszamaradt emissziós profiljainak ekvivalens szélességeit. Az így kapott ekvivalens szélességeket ábrázolva a keringési fázis függvényében megkaptam a rendszer kromoszférikus aktivitásának időfüggő változását. Ez alapján a kromoszférikus aktivitásnak maximuma van azokban a fázisokban, amikor a fénygörbemodellekben szereplő foltok éppen irányunkba mutatnak. Ezt jól szemlélteti az is, hogy foltokat nem tartalmazó, a rendszer paramétereivel számolt fénygörbemodelleket levonva a fénygörbékből a reziduálon tapasztalható változás teljes mértékben összhangban van az ekvivalens szélességek változásával. Ezzel kimutattam, hogy a rendszerben megfigyelhető fotoszférikus és kromoszférikus aktivitás fázisfüggő változásai korrelálnak egymással.

1.c. Eddig mindössze egyetlen érintkező kettőst ismerünk (HH UMa, Wang és mtsai 2015), amely esetében direktben kimutatták a flip-flop jelenséget. Az általam kapott folteloszlás Kaszás és mtsai (1998) különböző években készített korábbi fénygörbéivel való összevetése alapján felvetettem, hogy a VW Cephei szintén a flip-flop jelenség jeleit mutathatja. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a rendelkezésemre álló mérési adatsor hossza túl rövid a jelenség időskálájához képest, így a felvetésem igazolásához további (hosszútávú és rendszeres) mérések elvégzése szükséges.

2. Saját spektroszkópiai észlelések alapján további 12 érintkező kettőscsillag esetén vizsgáltam a hidrogén Balmer-alfa vonalában mérhető kromoszférikus aktivitást. (Mitnyan és mtsai 2020a)

2.a. 10 objektum esetében első alkalommal mutattam ki a kromoszférikus aktivitás jelenlétét, illetve ennek rövid időskálájú változásait. A fennmaradó két rendszer (SW Lac, HX UMa) esetén pedig megerősítettem a korábbi, aktivitással kapcsolatos eredményeket.

2.b. Az általam kapott eredmények szerint a rendszerek az ekvivalens szélességek időbeli változása alapján három csoportba oszthatók: i) az ekvivalens szélességek nem változnak számottevően a keringés során; ii) az ekvivalens szélességek egy jól meghatározott keringési fázisban maximumot mutatnak; iii) az ekvivalens szélességek két különböző

keringési fázisban is maximumot mutatnak.

2.c. A VW Cephei-nél megfigyelt fotoszférikus és kromoszférikus aktivitás közötti korreláció alapján feltételeztem, hogy a többi ilyen típusú rendszer is hasonló viselkedést mutat, így a háromféle csoportosulás mögött különböző foltkonfigurációk állhatnak. A 2.b. pontban szereplő felsorolás szerint: i) nincs számottevő foltaktivitás, vagy a kettős teljes felületén egyenletes a folteloszlás; ii) az adott keringési fázisban domináns folt vagy foltcsoport van; iii) két különböző fázisban is domináns folt vagy foltcsoport található az aktív komponens felszínén.

3. Az eddigi legnagyobb elemszámú mintán vizsgáltam az optikai tartományban mérhető átlagos kromoszférikus aktivitás és az érintkező kettőscsillagok fizikai jellemzői közötti kapcsolatot. (Mitnyan és mtsai 2020a)

3.a. Az általam vizsgált 13 elemű mintában 9 olyan csillag van, amely követi a Rucinski (1985) által közölt ultraibolya tartományban, illetve Barden (1985) által optikai tartományban végzett vizsgálatok alapján várható korrelációkat a B–V színindex, a keringési periódus és az inverz Rossby-szám logaritmusában. A vizsgált objektumok között található azonban 4 olyan (A-típusú) kilógó rendszer, melyek váratlanul nagy ekvivalens szélességeket produkálnak, és nem követik ezeket a korrelációkat. Ezen csillagok mind teljesen hasonló tulajdonságokkal bírnak: relatív hosszú keringési periódus (azaz lassabb forgás) és alacsony B–V színindex (azaz magas effektív hőmérséklet). Az ilyen tulajdonságokkal rendelkező csillagok esetében az eddigi megfigyelések alapján nem jellemző nagymértékű aktivitás, így feltételeztem, hogy ezen kilógó rendszerek esetén a kromoszférikus aktivitás csak részben lehet felelős a $H\alpha$ -vonalban megjelenő emissziós többletért.

3.b. Az előző pontban említett 9 csillagra vonatkozóan a következő paraméterek esetében figyelhető meg valamilyen szintű korreláció: B–V színindex, keringési periódus, inverz Rossby-szám logaritmus és a komponensek közötti hőmérsékletkülönbség. Ez összhangban van Rucinski (1985) ultraibolya tartományban kapott, illetve Barden (1985) optikai tartományban – mindössze négy objektumra elvégzett – prelimináris vizsgálatának eredményeivel. Megvizsgáltam továbbá a kromoszférikus aktivitás és egyéb fizikai paraméterek (tömegarány, kitöltési faktor, inklináció) kapcsolatát is, azonban ezek esetében nem találtam hasonló korrelációkat.

3.c. A 3.a. pontban említett 9 csillag esetében az A- és W-típusú érintkező kettősök hasonló korrelációkat mutatnak minden vizsgált fizikai paraméter esetén. Az érintkező kettősök két nagy csoportjára vonatkozó, ilyen jellegű összehasonlító vizsgálat a szakirodalomban eddig még nem szerepelt.

4. A *TESS* űrteleszkóp által gyűjtött közel 1 év hosszúságú ultraprecíz fotometriai adatsor, archív földfelszíni optikai fénygörbék, illetve különböző katalógusokból összegyűjtött adatok alapján elvégeztem a TIC 278825952 fe-

dési rendszer komplex fizikai modellezését. (Mitnyan és mtsai 2020b)

4.a. A *TESS* fénygörbén megfigyelhető extra fedések, illetve a *TESS* és földfelszíni mérésekből származó fedésiminimumidőpont-változások alapján kimutattam, hogy az eddig fedési kettősként katalogizált rendszer valójában egy triplán fedő hierarchikus hármas.

4.b. A *TESS* és földfelszíni fénygörbék, az ezekből számolt fedésiminimumidőpont-változások és a spektrális energiaeloszlás szimultán fotodinamikai modellezése révén meghatároztam a rendszerben található három csillag asztrofizikai és keringési paramétereit. Radiálissebesség-adatok hiányában az egyes komponensek tömegeit elméleti izokrónából származtattam.

4.c. A belső és külső pálya köztes inklinációjára kapott érték azt mutatja, hogy a rendszer geometriája sík, és mindkét pálya közel kör alakú. Míg a szorosabb belső pálya esetén a körösödés nem szokatlan egy ilyen korú rendszerben, a külső pálya esetében ez – az eddigi megfigyelések alapján – nem jellemző. Eddig egyetlen hasonló objektum volt ismert (HD 181068, Borkovits és mtsai 2013), amelyben egy jóval kisebb sugarú külső pályán egy, a belső kettősnél jóval nagyobb tömegű és sugarú vörös óriás található, mindez pedig jó magyarázattal szolgálhat a körös külső pályára egyrészt a sokkal nagyobb árapályerők, másrészt pedig a rendszerben fellépő esetleges tömegátadás, illetve tömegvesztés miatt. A TIC 278825952 esetében azonban nem találtam ilyen jellegű fizikai okokat, melyek megmagyaráznák a külső pálya körösödését, így feltételeztem, hogy a rendszer eleve ilyen módon alakulhatott ki.

Hivatkozások

- Barden, S. C., 1985, ApJ, 295, 162
- Binnendijk, L., 1965, Veroeffentlichungen der Remeis-Sternwarte zu Bamberg, Nr. 40. International Astronomical Union Combined Colloquium of the Commissions 27 and 42, Bamberg, 11-14 August, 1965. The Position of Variable Stars in the Hertzsprung-Russell Diagram. 3. Veränderlichen-Colloquium, Bamberg 1965., p.36
- Binnendijk, L., 1970, Vist. Astron., 12, 217
- Blanco-Cuaresma, S., Soubiran, C., Heiter, U., Jofré, P., 2014, A&A, 569, A111
- Blanco-Cuaresma, S., 2019, MNRAS, 486, 2075
- Borkovits, T., Derekas, A., Kiss, L. L., et al., 2013, MNRAS, 428, 1656
- Borkovits, T., Rappaport, S., Kaye, T., et al., 2019, MNRAS, 483, 1934
- Borkovits, T., Rappaport, S. A., Hajdu, T., et al., 2020a, MNRAS, 493, 5005
- Borkovits, T., Rappaport, S. A., Tan, T. G., et al., 2020b, MNRAS, 496, 4624
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., et al., 2012, MNRAS, 427, 127
- Gustafsson, B., Edvardsson, B., Eriksson, K., et al., 2008, A&A, 486, 951
- Holzwarth, V., Schüssler, M., 2003, A&A, 405, 303
- Kaszás, G., Vinkó, J., Szatmáry, K., et al., 1998, A&A, 331, 231
- Kurucz, R., 1993, ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s Grid, Kurucz CD-ROM No. 13 (Cambridge, MA: Smithsonian Astrophysical Observatory)
- Lucy, L. B., 1968, AJ, 151, 1123
- Mullan, D. J., 1975, ApJ, 198, 563
- Pál, A., 2012, MNRAS, 421, 1825
- Prsa, A., Zwitter, T., 2005, ApJ, 628, 426
- Rucinski, S. M., 1973, AcA, 23, 79
- Rucinski, S. M., 1985, MNRAS, 215, 615
- Wang, K., Zhang, X., Deng, L., et al., 2015, ApJ, 805, 22

Publikációk

Az értekezéshez felhasznált saját publikációk

Referált, angol nyelvű szakkikkek:

- **Mitnyan T.**, Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, Astronomy and Astrophysics, 612, A91
- **Mitnyan T.**, Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, Astronomy and Astrophysics, 635, A89
- **Mitnyan T.**, Borkovits T., Rappaport S. A., Pál A., Maxted P. F. L.: *TIC 278825952: a triply eclipsing hierarchical triple system with the most intrinsically circular outer orbit*, 2020, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, elfogadva

Egyéb, az értekezés témájához kapcsolódó anyagok

Referált, angol nyelvű szakkikkek:

- Borkovits, T., Rappaport, S. A., Hajdu, T., Maxted, P. F. L., Pál, A., Forgács-Dajka, E., Klagyivik, P., **Mitnyan, T.**: *TICs 167692429 and 220397947: the first compact hierarchical triple stars discovered with TESS*, 2020, MNRAS, 493, 5005
- Borkovits, T., Rappaport, S. A., Tan, T. G., Gagliano, R., Jacobs, T., Huang, X., **Mitnyan, T.**, Hambsch, F. -J., Kaye, T., Maxted, P. F. L., Pál, A., Schmitt, A. R.: *The compact triply eclipsing triple star TIC 209409435 discovered with TESS*, 2020, MNRAS, 496, 4624

Angol nyelvű konferenciaelőadások:

- **Mitnyan, T.**: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, International meeting on variable stars research – KOLOS 2017, 2017. december 7-9., Stakcin, Szlovákia
- **Mitnyan, T.**: *Correlations between chromospheric activity and physical parameters of contact binary stars*, International meeting on variable stars research – KOLOS 2018, 2018. december 6-8., Stakcin, Szlovákia
- **Mitnyan, T.**: *Correlations between chromospheric activity and physical parameters of contact binary stars*, Joint Conference of the Sub-Regional European Astronomical Committee and the Bulgarian Astronomical Society, 2019. június 4-8., Szófia, Bulgária

- **Mitnyan, T.:** *Chromospheric activity of some bright contact binary stars*, Universe of binaries, binaries in the Universe, 2019. szeptember 7-11., Telc, Csehország
- **Mitnyan, T.:** *Chromospheric activity of some bright contact binary stars*, International meeting on variable stars research – KOLOS 2019, 2019. december 5-7., Stakcin, Szlovákia

Angol nyelvű szemináriumi előadás:

- **Mitnyan, T.:** *Correlations between chromospheric activity and physical parameters of contact binary stars*, 2018, Bolgár Tudományos Akadémia, Szófia, Bulgária

Angol nyelvű konferenciaposter:

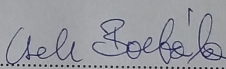
- **Mitnyan, T., Borkovits, T.:** *Complex photodynamical analysis of the close hierarchical triple systems KIC 6525196 and KIC 8043961*, The Impact of Binaries on Stellar Evolution, 2017. június 3-7., Garching bei München, Németország

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 (T2, T3)

Szeged, 2020. szeptember 30.



Cseh Borbála

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1., 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 (T1)
- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 (T2, T3)

Szeged, 2020. szeptember 30.



Dr. Vinkó József

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1., 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 **(T1)**
- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 **(T2, T3)**

Szeged, 2020. szeptember 30.

Bódi Attila

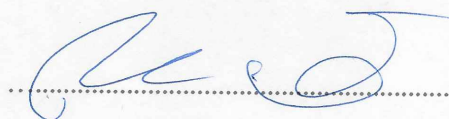


Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1. és 4. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 (T1)
- Mitnyan T., Borkovits T., Rappaport S. A., Pál A., Maxted P. F. L.: *TIC 278825952: a triply eclipsing hierarchical triple system with the most intrinsically circular outer orbit*, 2020, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, elfogadva (T4)

Szeged, 2020. szeptember 30.



Dr. Borkovits Tamás

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópai vizsgálata, valamint a TIC278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1. tézispontjában szereplő, az alábbi cikkben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 (T1)

Szeged, 2020. szeptember 13.

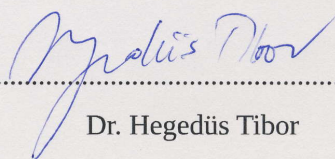
.....
Dr. Bíró Imre Barna

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1. tézispontjában szereplő, az alábbi cikkben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 (T1)

Szeged, 2020. szeptember 30.


.....
Dr. Hegedüs Tibor

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 (T2, T3)

Szeged, 2020. szeptember 30.


.....

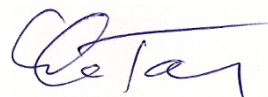
Kriskovics Levente

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1., 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 **(T1)**
- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 **(T2, T3)**

Szeged, 2020. szeptember 30.



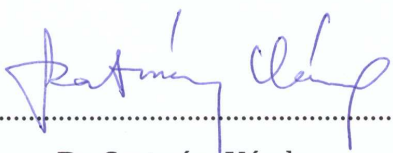
.....
Dr. Szalai Tamás

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1. tézispontjában szereplő, az alábbi cikkben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 (T1)

Szeged, 2020. szeptember 30.



Dr. Szatmáry Károly

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1., 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 **(T1)**
- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 **(T2, T3)**

Szeged, 2020. szeptember 30.

.....*Vida Krisztián*.....
Vida Krisztián

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 (T2, T3)

Szeged, 2020. szeptember 30.

.....*Ordasi András*.....

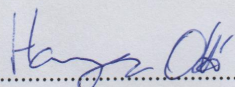
Ordasi András

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 (T2, T3)

Szeged, 2020. szeptember 30.

.....

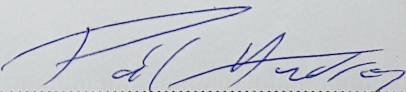
Hanyecz Ottó

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Mitnyan Tibor „Érintkező kettőscsillagok fotometriai és spektroszkópai vizsgálata, valamint a TIC 278825952 hármas rendszer analízise” című doktori értekezésének 1., 2., 3. és 4. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- Mitnyan T., Bódi A., Szalai T., Vinkó J., Szatmáry K., Borkovits T., Bíró I. B., Hegedüs T., Vida K., Pál A.: *The contact binary VW Cephei revisited: surface activity and period variation*, 2018, *Astronomy and Astrophysics*, 612, A91 (T1)
- Mitnyan T., Szalai T., Bódi A., Kriskovics L., Vida K., Cseh B., Hanyecz O., Ordasi A., Pál A., Vinkó J.: *Chromospheric activity in bright contact binary stars*, 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A89 (T2, T3)
- Mitnyan T., Borkovits T., Rappaport S. A., Pál A., Maxted P. F. L.: *TIC 278825952: a triply eclipsing hierarchical triple system with the most intrinsically circular outer orbit*, 2020, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, elfogadva (T4)

Szeged, 2020. szeptember 30.



Pál András