

**Különleges pulzálóknak és kettősök: új
kutatói eredmények űrcsillagászati,
többszín-fotometriai és spektroszkópiai
módszerekkel**

Derekas Aliz

az MTA doktora cím megszerzéséért készített értekezés tézisei

Szombathely, 2022

1. A kutatások előzménye

A változócsillagok felfedezése és megfigyelése történelmileg meglehetősen régre nyúlik vissza. Már az ókori Egyiptomban ismerték az Algolt, azonban fényességváltozásának magyarázatára először csak a 18. században John Goodricke, majd a 19. században Pickering adott elméleti magyarázatot, amit végül 1889-ben igazoltak színeképelemzéssel. Az első pulzáló csillag az omikron Ceti volt, amelynek fényességváltozását Fabricius fedezte fel 1596-ban, majd Johannes Holwarda 1538-ban határozta meg a fényességváltozás periódusát. A 18–19. században a változócsillagok száma lassú ütemben, de egyre növekedett, majd a 19. század végétől, a fotográfia elterjedésével gyorsabban nőtt az ismert változók száma. A CCD-k megjelenésétől számítva pedig ugrásszerű növekedés tapasztalható. A nagy felmérő programok (MACHO, OGLE, ASAS, stb.) újabb és újabb felfedezéseket tettek lehetővé, valamint a hosszabb ideig tartó és homogén méréseiknek köszönhetően mind mélyebb ismeretekre tehetünk szert. Számos változócsillag-típus létezik, értekezésemben pulzáló csillagokkal és többes csillagokkal foglalkozom.

Az utóbbi évtizedek kutatásai alapján egyre inkább úgy tűnik, hogy majdnem minden csillag – köztük a Napunk is – végez valamilyen rezgést (pulzációt), ami megfelelő gerjesztés esetén több módusban és nagy amplitúdóval is történhet. Az asztroszeizmológia az utóbbi évtizedben a csillagászat egyik leggyorsabban fejlődő ágává nőtte ki magát, elsősorban a nagyon nagy pontosságú fotometriai megfigyeléseket szolgáltatató űrteleszkópoknak köszönhetően, mint a CoRoT, a Kepler- és a TESS űrtávcsövek.

A klasszikus pulzáló változócsillagoknak fontos szerepük van a kozmikus távolságmeghatározásban is, például az RR Lyrae és cefeida típusú változócsillagok ún. sztenderd gyertyák a periódus-fényesség ($P-L$) relációjukon keresztül. Ha azonban kísérő is kering körülöttük, az észlelt pulzációs jellemzők különbözni fognak a valódi paraméterektől, mivel a kísérőtől származó fény módosítja a pulzáló csillagtól eredő tényleges változásokat. Az adott csillag és kísérője közötti fényesség- és hőmérséklet-különbségtől függően változik a fel nem bontott kettős rendszer megfigyelhető fényessége és színe. Ezért is elengedhetetlen, hogy a pulzáló csillagokat kettősség szempontjából is tanulmányozzuk, még mielőtt bármilyen kalibrálási eljárásra használnánk azokat.

A kutatások szerint a csillagok körülbelül 50%-ának van egy vagy több kísérője (Abt, 1983; Raghavan et al., 2010). Ha a többes rendszer pályasíkja éppen a látóirányunkba esik, akkor a bekövetkező fedések segítségével sokkal pontosabban meghatározhatjuk a kettős rendszer komponenseinek alapvető jellemzőit (tömeg, hőmérséklet, sugár, luminozitás), mint egyedülálló csillagokra (Clausen et al., 2008). Szoros kettősök esetében a kísérő ráadásul jelentős hatást gyakorol a másik komponens pulzációjára. Gravitációs hatásuk, ún. árapályerejük oszcillációkat gerjeszthet, vagy megváltoztathatja a már létező oszcillációk jellemzőit (Aerts & Harmanec, 2004).

A pulzáció mind pontosabb megértéshez modellekre van szükségünk. E modellek kiszámításához azonban pontos fizikai paraméterekre van szükség. Azok a pulzáló csillagok, amelyek fedési kettős rendszer tagjai, fontos asztrofizikai szereppel bírnak, hiszen a fedési kettősökből nagyon nagy pontossággal lehet meghatározni a komponensek fizikai

paramétereit, özte a tömeg, a sugár, az effektív hőmérséklet és a luminozitás értékét. A pulzációs modellekből kapott paraméterek így összevethetőek a fedési kettősökből kapott paraméterekkel, ezáltal a pulzációs modellek tesztelhetőek.

A változócsillag-kutatás gyökerei Magyarországon közel egy évszázadra nyúlnak vissza és nemzetközi szinten is kiemelkedő eredmények születtek. A Konkoly Observatóriumban, későbbi nevén MTA CSFK Konkoly Thege Csillagászati Intézetben foglalkoztak először változócsillagokkal, és több nemzedéken át mind a mai napig vezető kutatási téma, főként a pulzáló csillagok vizsgálata. Az 1930-as években Detre László vezetésével kezdtek el egyes pulzáló változócsillagok periódusának és periódusváltozásainak vizsgálatait. Később Szeidl Béla az RR Lyrae és δ Scuti változók kutatásaiban ért el jelentős eredményeket. A δ Scuti csillagok esetén megfigyelte, hogy gyakran kettős rendszer tagjai, és módszert dolgozott ki a pulzátort tartalmazó kettős rendszerek pályaelemeinek pontos meghatározására (Szeidl, 2005). A cefeida változók vizsgálatában ért el jelentős eredményeket Szabados László, különös tekintettel a kettősség kimutatásában. Az RR Lyrae és cefeida csillagok elméleti vizsgálatában Kolláth Zoltán, Kovács Géza és Szabó Róbert végeztek numerikus hidrodinamikai modellezést, nemlineáris dinamikai és káoszelméleti számításokat.

A változócsillagok iránti érdeklődésem még egyetemi évek alatt kezdődött a Szegedi Tudományegyetemen, ahol a csillagászképzés alapjait Szatmáry Károly tette le, amikor az 1990-es évek elején megépítették a Szegedi Observatóriumot, ahol egy 40 cm-es távcső állt rendelkezésre kezdetben kizárólag kutatási, majd oktatási célokra is. Ezzel a távcsővel végeztem első méréseimet fedési kettősökről és nagyamplitúdójú δ Scuti csillagokról, ezek jelentették diplomamunkám témáját, melynek témavezetője Kiss László volt. A Szegedi Tudományegyetemhez kötődik a korábban önálló intézményként működő bajai BKKM Önk. Csillagvizsgáló Intézete, amelynek fő kutatási területe a fedési kettősök vizsgálata Hegedüs Tibor, Bíró Imre Barna és Borkovits Tamás révén. A fő kutatási vonalat a relativisztikus apszismozgástmutató fedési kettősök, harmadik kísérőt tartalmazó fedési rendszerek szisztematikus keresése és az ún. eclipse mapping (fedési feltérképezés) módszer, amellyel fedések során a pulzáció rekonstruálható.

Kutatásaim két területet ötvöznek: pulzáló csillagok és kettős (többes) rendszerek vizsgálatát. Mindkét területnek vannak hazai előzményei, azonban a kettő együtt, különösen fedési rendszerekben lévő pulzálók és a kettősség pulzációra gyakorolt hatása új.

2. Célkitűzések és vizsgálati módszerek

PhD fokozatom megszerzésének évében állt pályára a Kepler-űrtávcső, amely addig soha nem látott pontosságú, hosszúságú és mintavételezésű, folyamatos fotometriai méréseket ígért. Ez új lehetőséget nyitott meg és mutatta az irányt az addigi kutatásaim továbbfejlesztésére. Kutatásaim fókuszában a kettősség és pulzáció kapcsolata áll: pulzáló komponens tartalmazó fedési kettős csillagok kimutatása és vizsgálata, valamint pulzáló változókhöz tartozó kísérők keresése, különös tekintettel a kísérő csillag pulzációra

gyakorolt hatására (pl. az árapályerők által gerjesztett, illetve perturbált oszcillációk). Kutatásaiban mind fotometriai, mind spektroszkópai módszereket alkalmaztam.

A Kepler-, majd a TESS nagyon pontos mérései olyan kis változások kimutatását is lehetővé tették, amelyeket földi műszerekkel alig vagy nem lehet kimutatni. A hosszú és folyamatos mérések pedig lehetővé tették új dinamikai jelenségek megfigyelését, hosszú távú vagy nagyon rövid időskálájú és kismértékű változások feltárását.

A nagy mennyiségű adat kezelése és feldolgozása egyben új kihívásokat is jelentett. Habár az űrfotometriai adatok átmennek bizonyos adatfeldolgozási rendszeren, még nem minden esetben alkalmasak tudományos felhasználásra, hanem további feldolgozásra van még szükség.

Pulzáló csillagok legjellemzőbb paramétere a periódus, ezáltal jellemezhető maga a pulzáció, valamint jelentős információt hordoz a kettősségről is. Multiperiodikus csillagoknál a fénygörbe frekvenciaanalízise során a PERIOD04 (Lenz & Breger, 2005) programot használtam. Monoperiodikus csillagnál a periódus vizsgálatára az O–C diagramot használtam, amelynek segítségével kettősségre utaló változás is kimutatható a fényidő-effektuson keresztül. Az O–C diagramot alkalmaztam a Kepler-űrtávcső által mért cefeida periódusa instabilitásának kimutatására is.

A többszörösen periodikus pulzáló csillagok kísérőinek kimutatására Shibahashi & Kurtz (2012) fejlesztett ki egy módszert, amely azon alapszik, hogy komponensek mozgása a Fourier-spektrumban frekvenciamodulációként nyilvánul meg, minden frekvenciacsúcs körül multipletteket okozva. A módszert frekvenciamodulációs (FM) módszernek nevezzük és segítségével a rendszer összes releváns paramétere kiszámítható: a keringési periódus, a fél nagytengely, sőt a radiális sebességek és a tömegfüggvény is, amelyeket hagyományosan spektroszkópai megfigyelésekből kaphatunk. Az FM módszer mellett Murphy & Shibahashi (2015) és Murphy et al. (2016) kifejlesztette a fázismodulációs (PM) módszert (Murphy et al., 2014). Az FM és PM módszerek ekvivalensek, de mivel a PM módszerrel a fénygörbét feldaraboljuk, csak azokra a rendszerekre érzékeny ez a módszer, ahol a periódus hosszabb, mint a darabolás alapegységének kétszerese.

A pulzáció amplitúdójának és frekvenciáinak időbeli változása a wavelet-analízis segítségével vizsgálható. Ez az analízis hosszabb adatsoron használható és leginkább akkor, ha alig vannak kisebb űrök az adatsorban. Az űrtávcsöves mérésekre jól alkalmazható ez a módszer.

Az O–C diagram alapján kimutatott esetleges kettősség spektroszkópai mérésekkel igazolható egyértelműen. A kutatásaimban vizsgált csillagokra saját méréseket végeztem vagy nemzetközi nagy távcsövekkel végzett észlelésekre szerveztem együttműködést, illetve nyertem távcsőidőt, hogy a radiális sebességeken keresztül kimutassam a kettősséget, illetve a rendszer paramétereit meghatározzam. Amennyiben nem állt rendelkezésre dedikált spektrumredukáló program, a színeképeket az IRAF kód segítségével dolgoztam fel és annak FXCOR taszkjával határoztam meg a radiális sebességeket. Nagy felbontású spektrumokból a csillagok fizikai paraméterei is meghatározhatóak, amelyet a legjobban egyező elméleti modellspektrummal határoztam meg.

3. Új tudományos eredmények

3.1. A HD 181068 hármas fedési rendszer felfedezése

A Kepler-űrtávcső vörös óriás fénygörbéinek analízise során találtam egy olyan pulzáló vörös óriás csillagot (HD 181068), amelynek fényességváltozása arra utalt, hogy a pulzáción kívül nemcsak a vörös óriás teljes fedései, hanem más fedések is, azaz három csillag kölcsönös fedései láthatóak. Megszerveztem nagy felbontású spektroszkópiai mérések végzését, hogy egyértelműen bizonyíthassam a hármas rendszer fizikai összetartozását, így négy, 2 méter feletti átmérőjű távcső által felvett 38 nagy felbontású spektrum állt rendelkezésemre. A spektrumokat feldolgoztam, és meghatároztam a radiális sebességeket, ami egyvonalas spektroszkópiai kettősre utalt, mivel a vörös óriás komponens adja a rendszer fényének nagy részét, 99,2%-át. Elméleti spektrum illesztésével meghatároztam az alapvető fizikai paramétereket. A CaII K emissziós vonal segítségével és a Wilson–Bappu-effektus felhasználásával meghatároztam a vörös óriás komponens abszolút fényességét. A fénygörbeillesztés során kapott paraméterek felhasználásával evolúciós modellekkel becslést végeztem a komponensek tömegére. A főkomponens egy vörös óriáscsillag, amely körül 45,5 napos periódussal egy vörös törpék alkotta pár kering, amelyben a két csillag kölcsönösen is fedi egymást 0,9 naponta.

A HD 181068A vörös óriás komponens rövid periódusú oszcillációkat is mutat. Ennek vizsgálatához Fourier-analízist végeztem. A kimutatott frekvenciák a két keringési periódus harmonikusai, illetve lineáris kombinációi voltak. Azonban a vörös óriásokra jellemző Nap-típusú oszcillációk nem látszanak a Fourier-spektrumban. Teszteltem a Kepler-űrtávcső által mért hasonló paraméterekkel jellemezhető vörös óriásokon, amelyeknél egyértelműen jelen voltak a várt Nap-típusú oszcillációk. Azt a következtetést vontam le, hogy a Fourier-analízis során kapott frekvenciák árapályerők által gerjesztett oszcillációk, és ezek elnyomják a Nap-típusú oszcillációkat.

A tézisponthoz tartozó publikációk: [1], [6], [7]

3.2. Bolygó hatása a csillagpulzációra

A WASP-33 jelű csillag egy hibrid δ Scuti - γ Dor pulzáló csillag, amelynek egy 2,1 jupitertömegű bolygója van, 1,2 napos keringési periódussal. A TESS űrtávcső adatait felhasználva a csillag pulzációját a Fourier-analízis segítségével vizsgáltam. Három olyan frekvenciát azonosítottam, amelyek közel esnek a keringési periódus harmonikusaihoz (3., 12. és 25. harmonikusok) a frekvenciaspektrumban. A WASP-33 rendszerben a csillag forgástengelye és a bolygó keringési síkja nem merőleges egymásra, meglehetősen szoros rendszerként árapály-perturbációk lépnek fel, amelyek a pulzációs frekvenciát elhangolják. Az analízis alapján arra következtettem, hogy a WASP-33 esetében egyedi, árapályperturbált oszcillációk keletkeznek mind a p-, mind a g-módusok esetében. Ez az első megfigyelt eset, hogy csillag-bolygó rendszerben árapály okozta perturbációk lépnek fel a frekvenciában.

A tézisponthoz tartozó publikáció: [11]

3.3. Pulzációból kimutatott kettősség igazolása

A KIC 5709664 egy 11,2 magnitúdós hibrid δ Scuti - γ Dor pulzáló változócsillag, amelynek fényességváltozását a Kepler-űrtávcső mérte. A Q0-Q10 adatok frekvenciamodulációs vizsgálata arra utalt, hogy a csillag kettős rendszer tagja. Ennek igazolására nagytávcsövekhez szerveztem spektroszkópiai méréseket, így hat obszervatórium közepes és nagy felbontású spektrumait analizáltam. Meghatároztam mindkét komponens radiális sebességeit, továbbá a rendszer pályaelemeit.

A pulzáció elemzésére Fourier-analízist végeztem, amelynek során 38 frekvenciát találtam. A két legerősebb frekvencia arányából arra következtettem, hogy azok a második és harmadik felhangú radiális módusnak felelnek meg. Az alacsony frekvenciájú tartományban az 1,78 ciklus/nap csúcs r-módusú pulzáció jelenlétére utal. A 38 frekvenciával végzett fehérítés után kapott maradék fénygörbe forgási változásra utal. Azt találtam, hogy a 0,395 ciklus/nap frekvenciánál található kiszélesedett csúcs összhangban van ezzel, ez 2,5 napos forgási periódusnak felel meg.

A tézisponthoz tartozó publikáció: [10]

3.4. Cefeida változók kettősségének kimutatása

A Siding Spring Obszervatóriumban (SSO) korábban kapott spektroszkópiai méréseimet, valamint az ESO-ban (FEROS, CORALIE) a projekt számára mért spektrumokat dolgoztam fel, amellyel cefeida változók kísérőit mutattam ki. 11 cefeida radiális sebességeit mértem ki, és vettem össze az irodalomban található adatokkal.

A GH Car esetén nincsenek korábban közzétett radiális sebesség-adatok a szakirodalomban. A 2004–2005-ös és a 2006-os SSO-mérések γ -sebessége $-4,6$ km/s és $-3,5$ km/s, míg a 2011-es CORALIE-méréseké $-5,3$ km/s. Bár a különbség kicsi, az adatok és azok feldolgozásának homogenitása biztosítja, hogy a γ -sebesség változása valós, és a GH Car egy kettős rendszer tagja.

A V419 Cen-ről 1955-ből és 1980-ból találhatóak radiális sebesség-adatok. Ezeket összevettem az SSO-ban mért két időszakból kapott γ -sebességekkel, amelyek már magukban is eltérést mutattak, a korábbi adatokhoz képest pedig jelentős a változás. Az adatok arra utalnak, hogy a keringési periódus néhány év lehet a korábban javasolt több évtized helyett.

A V898 Cen-ről az irodalomban csak egyetlen radiális sebesség-mérés található. A méréseim során már az első időszakban látszott, hogy a radiális sebességek változása kettősségre utal,

ezért további mérések készültek a FEROS spektrográffal 2009-ben és 2011-ben. A radiális sebesség-adatokat 7 szegmensre osztottam, és ezekre határoztam meg a γ -sebességeket, amelyek jelentős eltérést mutatnak, és egyértelműen igazolják a kettősséget. A pálya menti sebesség változásának nagy amplitúdója meghaladja a 40 km/s-t, és excentrikus a pálya. A keringési periódus 2000-3000 nap lehet. A FEROS-spektrum alapján meghatároztam a V898 Cen fizikai paramétereit (T_{eff} , $\log g$, $[M/H]$, $v_{\text{sin}i}$) is szintetikus spektrumillesztéssel.

Az X Pup-ról számos korábbi radiális sebesség-adat található az irodalomban. Ezeket összevetve a γ -sebességek monoton változást mutatnak, ami a pálya menti mozgás jele a spektroszkópiai kettős rendszerben. A keringési periódus több évtizedes is lehet.

Az AD Pup esetén csak több évtizeddel ezelőtti radiális sebesség-adat állt rendelkezésre, amelyet az SSO-ban felvett adataimmal összevetve egyértelmű eltérést tapasztaltam a γ -sebességben, így ennek a cefeidának is igazolt a kettőssége. A saját méréseimen belül nem figyelhető meg a γ -sebesség eltolódása, ami hosszú keringési periódusra utal. Az O-C diagrammal összevetve ez kb. 50 év lehet.

Az XX Sgr esetében a FEROS spektrográf által mért adatokat dolgoztam fel, és korábbi adatokkal vettem össze. Ezek alapján itt is megfigyelhető volt a γ -sebesség eltolódása, ami a kettősséget igazolja. Az XX Sgr kettős rendszer keringési periódusa az elmúlt 25 év radiális sebesség-aadataiból nem állapítható meg, az minden bizonnyal több évtizedes lehet.

Az AY Sgr-ról kizárólag több évtizeddel ezelőtti radiális sebesség-adat állt rendelkezésre. Ezt összevettem az SSO-ban végzett mérésekkel, és egyértelműen növekedett a γ -sebesség a nyolc évtized alatt, azonban az SSO-ban két megfigyelési évszak alatt végzett megfigyelések között nem találtam eltolódást.

Az LR TrA esetén az SSO-méréseim voltak az első radiális sebesség-mérések, valamint a CORALIE spektrográffal is mértük 2011 és 2012 folyamán. Az adatokból egyértelműen ki tudtam mutatni, hogy a γ -sebesség eltolódik, azonban keringési periódust nem lehetett meghatározni.

Az irodalomban számos radiális sebesség-mérés található az RZ Vel-ről, és új méréseket végeztem az SSO-ban, valamint a CORALIE spektrográf adatait is felhasználtam a kettősség vizsgálatához. A γ -sebességek változása egyértelműen mutatta, hogy az RZ Vel is spektroszkópiai kettős.

Az ST Vel-ről az SSO-ban végeztem méréseket, amelyekből kimért radiális sebességeket összevettem az egy évtizeddel korábbi mérésekkel. Már a saját méréseim is nagy szórást mutattak, ami kettősségre utalt. A keringési periódus több száz nap lehet, ami meglehetősen rövidnek számít a spektroszkópiai kettős cefeidáknál.

A BG Vel-ről két mérésorozat található az irodalom. Ezeket összevettem az SSO- és CORALIE-mérésekből kimért radiális sebességekkel, és a γ -sebességek egyértelmű eltolódását mutattam ki. Az adatok arra utaltak, hogy a keringési periódus nem lehet rövid, valószínűleg meghaladja az ezer napot.

A tézisponthoz tartozó publikációk: [2], [4], [5]

3.5. A V1154 Cygni pulzációs periódusának fluktuációja

A V1154 Cyg a Kepler-űrtávcső látómezejében lévő egyetlen cefeida változó, és négy évnyi folyamatos és nagyon pontos mérés állt rendelkezésre a fénygörbe analíziséhez. A pulzációs frekvenciákat standard Fourier-transzformációval vizsgálva 28 szignifikáns frekvenciát azonosítottam. A frekvenciaspektrum legszembetűnőbb csúcsai: a fő pulzációs frekvencia, amelynek értéke $f_1 = 0,2030246$ ciklus/nap és ennek a 11. rendig kimutatható harmonikusai nagyon kis amplitúdókkal. A fő pulzációs frekvencia, valamint a második és harmadik felharmonikus modulációját azonosítottam $f_{m1} = 0,0063$ ciklus/nap modulációs frekvenciával, ami ~ 159 napnak felel meg. Ezt a periodikus modulációt a Fourier-paraméterekben és az O–C diagramban is kimutattam. Egy másik modulációt is kimutattam a fő pulzációs frekvenciában $f_{m2} = 0,00086$ ciklus/nap frekvenciával (~ 1160 nap), azonban ez a moduláció viszonylag közel áll a teljes adatsor hosszához, de határozottan 300 nappal rövidebb, így valódi természete nem egyértelmű.

A fénygörbe alakjának stabilitását Fourier-paraméterek vizsgálatával végeztem. Kimutattam, hogy az amplitúdók és az egyes Fourier-paraméterek nagyon kicsi, de periodikus változásokat is mutatnak átlagosan 159 napos modulációval.

A periódus hosszabb távú vizsgálatát az O–C diagram módszerrel végeztem. Négy különböző módszert alkalmaztam az O–C értékek kiszámításához: a fénygörbe maximumának, minimumának és a felszálló ág medián fényességének meghatározásával, valamint az egyes ciklusok fáziseltolódásaiból. A O–C értékek kb. $\pm 0,015$ napos (~ 20 perc) szórást mutatnak a fázisgörbe és a medián módszerek esetében, míg kb. $\pm 0,02$ nap (~ 30 perc) a maximum és minimum esetében. Az O–C diagram szórása jóval nagyobb, mint amekkorát egy cefeida változótól várnánk, így első alkalommal mutattam ki egy cefeidára, hogy a pulzáció nem óramű pontossággal stabil, hanem fluktuál. Statisztikai módszerek alkalmazásával azt a következtetést vontam le, hogy rövid távon ($x \sim 15$ cikluskülönbségig) a periódus és/vagy a fénygörbe alakja véletlenszerűen változik. Hosszú távon azonban van egy belső óra, amely a periódust az átlagérték körül tartja.

A Piszkéstetői Obszervatóriumban végzett spektroszkópiai mérésekből kimutattam, hogy a ~ 159 napos modulációt nem egy kísérőcsillag jelenléte okozza.

A tézisponthoz tartozó publikációk: [3], [9]

3.6. Egy extrém mély fedéseket mutató sdO+dM fedési kettős felfedezése

A Piszkéstetői Obszervatóriumban kisbolygók asztrometriai megfigyelése során az egyik objektum teljesen eltűnt, ami hirtelen mély fogyatkozásra utalt, azonban a teljes fedés nem volt kimérhető. A William Herschel-távcsőre sikeres pályázatot nyertem, amellyel Sloan r'és

i' szűrőkkel végeztek fotometriai, valamint spektroszkópiai méréseket. Ezen fotometriai mérésekből kiderült, hogy a főminimum 6 magnitúdó az r' szűrővel és 5 magnitúdó az i' szűrővel, valamint a teljes fedés időtartama kb. 5,7 perc, míg a főminimum teljes időtartama kb. 24 perc.

A spektroszkópiából kapott paraméterek felhasználásával három szűrős, szimultán fénygörbe-analízist végeztem, amelyekkel meghatároztam a pályaelemeket és a komponensek paramétereit.

A periódus hosszabb távú stabilitásának vizsgálatára az O–C módszert alkalmaztam. A kb. 400 napot lefedő időszakban a periódus stabilnak bizonyult.

A Piszkéstetői Obszervatórium 1 m-es távcsövével gyorsfotometriai méréseket végeztünk szűrő nélkül az sdO csillag esetleges oszcillációjának kereséséhez, azonban nem találtam jelentős periodikus jelet 0,007 magnitúdónál nagyobb amplitúdóval.

A tézisponthoz tartozó publikáció: [8]

A tézisekhez kapcsolódó publikációk

[1] **Derekas, A.**, Kiss, L. L., Borkovits, T., Huber, D., Lehmann, H., Southworth, J., Bedding, TR., Balam, D., Hartmann, M., Hrudkova, M. et al., 2011, HD 181068: A Red Giant in a Triply-Eclipsing Compact Hierarchical Triple System, SCIENCE, 332, 216

[2] Szabados, L., **Derekas, A.**, Kiss, Cs., Klagyivik, P., 2012, Discovery of the spectroscopic binary nature of the Cepheids X Puppis and XX Sagittarii, MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 426, 3154

[3] **Derekas, A.**, Szabó, Gy. M., Berdnikov, L., Szabó, R., Smolec, R., Kiss, L. L., Szabados, L., Chadid, M., Evans, N. R., Kinemuchi, K. et al., 2012, Period and light-curve fluctuations of the Kepler Cepheid V1154 Cygni MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 425, 1312

[4] Szabados, L., **Derekas, A.**, Kiss, L. L., Kovács, J., Anderson, R. I., Kiss, C., Szalai, T., Székely, P., Christiansen, J. L., 2013, Discovery of the spectroscopic binary nature of six southern Cepheids, MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 430, 2018

[5] Szabados, L., Anderson, R. I., **Derekas, A.**, Kiss, L. L., Szalai, T., Székely, P., Christiansen, J. L., 2013, Discovery of the spectroscopic binary nature of three bright southern Cepheids, MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 434, 870

- [6] **Derekas, A.**, Borkovits, T., Fuller, J., Huber, D., Lehmann, H., 2013, HD 181068: a triply eclipsing system with intrinsically variable red giant component, EAS Publications Series, Vol. 64, 343
- [7] Fuller, J., **Derekas, A.**, Borkovits, T., Huber, D., Bedding, T. R., Kiss, L.L., 2013, Tidally induced oscillations and orbital decay in compact triple-star systems, MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 429, 2425
- [8] **Derekas, A.**, Németh, P., Southworth, J., Borkovits, T., Sárneczky, K., Pál, A., Csák, B., Garcia- Alvarez, D., Maxted, P. F. L., Kiss, L. L. et al., 2015, A new sdO+dM binary with extreme eclipses and reflection effect, ASTROPHYSICAL JOURNAL, 808, 179
- [9] **Derekas, A.**, Plachy, E., Molnár, L., Sódor, Á., Benkő, J. M., Szabados, L., Bognár, Zs., Csák, B., Szabó, Gy. M., Szabó, R. et al., 2017, The Kepler Cepheid V1154 Cyg revisited: light curve modulation and detection of granulation, MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 464, 1553
- [10] **Derekas, A.**, Murphy, S J., Dálya, G., Szabó, R., Borkovits, T., Bókon, A., Lehmann, H., Kinemuchi, K., Southworth, J., Bloemen, S. et al., 2019, Spectroscopic confirmation of the binary nature of the hybrid pulsator KIC 5709664 found with the frequency modulation method, MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 486, 2129
- [11] Kálmán, Sz., Bókon, A., **Derekas, A.**, Szabó, Gy. M., Hegedűs, V., Nagy, K., 2022, Gravity darkening and tidally perturbed stellar pulsation in the misaligned exoplanet system WASP-33, ASTRONOMY & ASTROPHYSICS, 660, L2

Irodalmi hivatkozások

- Abt, H. A., 1983, Annual Rev. Astron. Astrophys., 21, 343
- Aerts, C., Harmanec, P., 2004, ASP Conference Series, 318, 325
- Clausen, J. V., Torres, G., Bruntt, H., Andersen, J., Nordström, B., Stefanik, R. P., Latham, D. W., Southworth, J., 2008, Astron. Astrophys., 487, 1095
- Lenz, P., Breger, M., 2005, Comm. Asteroseismology, 146, 53
- Murphy, S. J., Bedding, T. R., Shibahashi, H., Kurtz, D. W., Kjeldsen, H., 2014, Mon. Not. Royal Astron. Soc., 441, 2515
- Murphy, S. J., Shibahashi, H., 2015, Mon. Not. Royal Astron. Soc., 450, 4475
- Murphy, S. J., et al., 2016, Mon. Not. Royal Astron. Soc., 461, 4215

Raghavan, D., et al., 2010, *Astrophys. Journal Suppl. Ser.*, 190, 1

Shibahashi, H., Kurtz, D. W., 2012, *Mon. Not. Royal Astron. Soc.*, 422, 738

Szeidl, B., 2005, *ASPC*, 333, 183