

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
FIZIKA DOKTORI ISKOLA

**Szoros, hierarchikus hármas csillagrendszerek
az égboltfelmérő űrtávcsövek korszakában**

PhD értekezés tézisei

Czavalinga Donát Róbert

okleveles fizikus

Témavezető:

Dr. Hegedüs Tibor, tudományos főmunkatárs
SZTE Bajai Observatórium

Konzulensek:

Dr. Borkovits Tamás, tudományos főmunkatárs
SZTE Bajai Observatórium, HUN-REN-SZTE Sztelláris Asztrofizikai Kutatócsoport

Dr. Mitnyan Tibor, tudományos munkatárs
SZTE Bajai Observatórium, HUN-REN-SZTE Sztelláris Asztrofizikai Kutatócsoport

Szeged

2023

1. Tudományos háttér

A csillagok esetén egyáltalán nem ritka, hogy kettős vagy többes csillagrendszereket alkotnak. Napunkkal ellentétben, amely egy egyedülálló csillag, a kozmikus környezetünket vizsgálva a hozzá hasonló tömegű csillagok körülbelül fele kettős rendszernek a tagja. (Raghavan és mtsai, 2010) Kettős csillagrendszerek esetén a bennük található csillagok gravitációsan kötöttek és a közös tömegközéppont körül keringenek. Ezen rendszerek mozgását az égi mechanika törvényszerűségei alapján írhatjuk le, ezért tanulmányozásukkal a csillagok olyan fizikai tulajdonságai is meghatározhatóak, amelyek egyedülálló csillagok esetén nem lenne lehetséges vagy csak jóval pontatlanabban. A kettőnél több csillagot tartalmazó rendszerek még ennél is érdekesebbek és paraméterek meghatározása szempontjából még hasznosabbak lehetnek. Amint kettőnél több csillag található a rendszerben, figyelembe kell venni, hogy azok hosszú idő távlatában nem keringhetnek tetszőleges pályákon, hanem csak és kizárólag hierarchikus konfigurációba rendeződhetnek. A hierarchikus konfiguráció lényege, hogy amennyiben kiválasztunk három véletlenszerű csillagot a rendszerben, az egyik mindig sokkal messzebb fog keringeni a másik kettő csillagtól. Ha ez a feltétel nem teljesülne, a rendszer a dinamikai perturbációk miatt rövid időn belül szétesne. Minél több csillagot tartalmaz egy rendszer, annál kevesebb található belőle a Galaxisunkban, így a többes rendszerek leggyakoribb képviselői a hierarchikus hármas csillagrendszerek. Ezen rendszerek konfigurációja csak egyféleképpen nézhet ki: Egy szoros kettőscsillag két csillaga kering a rendszer tömegközéppontja körül (ezt nevezzük a rendszer belső pályájának), és ettől sokkal távolabb található egy harmadik komponens. A belső kettőscsillag tömegközéppontja és a harmadik komponens a teljes rendszer tömegközéppontja körül kering, ezt nevezzük a külső pályának. Magas elemszámú rendszer esetén már többféle konfiguráció is elképzelhető. A hierarchikus hármas csillagrendszerek evolúciója nagyon különleges utat járhat be a harmadik komponens perturbáló hatása miatt. A fejlődés során a hierarchikus hármas rendszerek instabillá válhatnak, s valamelyik csillag el is hagyhatja a rendszert. Ez magyarázatot adhat a Tejútrendszerünkben nagy sebességgel haladó csillagok egy részére, mivel a dinamikai hatások miatt nagy sebességgel dobódhatnak ki egyes csillagok az ilyen rendszerekből (Toonen és mtsai, 2022). Más esetekben viszont csillagütközéshez is vezethet ez, így "kék kószákat" létrehozva. Ritka esetekben fehér törpék összeütközését is kiválthatja, amiből Ia típusú szupernóva jöhet létre. Az egyik dinamikai perturbációs hatás, amely szoros belső kettősök létrehozásában játszik szerepet a harmadik komponens okozta KCTF-mechanizmus¹ révén (Kiseleva és mtsai., 1998). A mechanizmus lényege, hogy ha a köztes inklináció értéke (a külső és belső pálya inklinációjának különbsége) eléri a 90° körüli értéket, akkor a dinamikai per-

¹Kozai Cycles with Tidal Friction: Kozai ciklusok árapály-fékező hatással

turbáció miatt a belső kettőscsillag excentricitása olyan mértékben meg tud nőni, hogy az egymáshoz közel kerülő komponensek pályájának mérete az árapály-fékeződés miatt jelentősen lecsökken. Ez a folyamat egészen addig tart, amíg az árapályerők eredője megakadályozza, hogy a mechanizmus tovább csökkentse a belső pálya méretét. Ez a jelenség lehetőséget ad arra, hogy a kettőscsillagok ne csak a kialakulásukkor, hanem életüknek egy későbbi szakaszában is szorosra válhassanak. Később az ilyen rendszerekből kialakulhatnak "kék kószák", ill. kompakt objektumokat (pl. fehér törpe vagy neutroncsillag párosokat) tartalmazó szoros kettősök. Minél kisebb a külső, harmadik komponens és a belső kettőscsillag keringési idejének aránya, a dinamikai perturbáló hatások annál inkább felerősödhetnek. Amennyiben a külső pálya keringési ideje 1000 nap alatt van a rendszert szoros hierarchikus hármas csillagrendszernek tekinthetjük. Az ilyen rendszerekben várunk leginkább erős és emberi időskálán is megfigyelhető dinamikai hatásokat, amelyek tanulmányozásával még jobban megérthetjük ezeket a különleges objektumokat.

A hierarchikus hármas csillagrendszerek egyik ritka fajtáját képviselik azok a rendszerek, amelyekben a belső kettőscsillag és a harmadik komponens is mutat fedéseket. Az első ilyen objektumokat két független kutatócsoport találta meg ugyanabban az évben, 2011-ben: Carter és mtsai a KOI-126 jelű, míg Drekas és mtsai a HD 181068 jelű rendszert. Mind a két rendszert a *Kepler* űrtávcső méréseit felhasználva fedezték fel. A *Kepler* és a későbbiekben bekapcsolódó *TESS* űrtávcső kifejezetten alkalmas a triplán fedő hármas csillagrendszerek azonosítására. A távcsöveknek köszönhetően nagy időbeli felbontással rendelkező, ultraprecíz fotometriai mérések állnak a rendelkezésünkre. Mivel a harmadik komponens fedései viszonylag ritkán következnek be, ezért folyamatos hosszútávú megfigyelés szükséges ahhoz, hogy a fedéseket több alkalommal is detektálni tudjuk, ezzel megerősítve a harmadik komponens létét. A *Kepler* űrtávcső eredetileg az égbolt csak egy kis szeletét észlelte, viszont azt négy éven keresztül, nagyobb megszakítások nélkül tette. A *TESS* űrtávcső már a teljes égboltot képes megfigyelni, egy-egy égterületet azonban mindössze nagyjából 1 hónapig észlel, majd jellemzően 1 év után tér vissza ugyanarra a területre. Az északi és déli ekliptikai pólus közelében, ahol átfednek a mérési szektorok egymással, ennél még jobb időbeli lefedettségű fénygörbék is elérhetőek. A legtöbb triplán fedő hierarchikus hármas rendszert ezen két távcső által kimért fénygörbék tanulmányozása révén fedezték fel.

Fontosságuk ellenére a szoros hierarchikus hármas csillagrendszerekből viszonylag keveset ismerünk, jelenleg összesen 394 rendszert. Tokovinin és mtsai., (2018) többcsillag-katalógusában (Multiple Star Catalog, MSC) összesen 201db ilyen rendszer található. Hajdu és mtsai 2019-ben az OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment; Udalski és mtsai, 1992) felmérés adatainak vizsgálata után 177db, majd később 2022-ben még 16db szoros hierarchikus hármas csillagrendszert fedeztek fel. A triplán fedő hierarchi-

kus hármas csillagrendszerekből pedig összesen kevesebb mint 50 rendszert ismerünk a szakirodalomban. Nem véletlen tehát, hogy az ilyen rendszerek kutatása jelenleg is a csillagászat homlokterében áll, hiszen ezen objektumok jobb megértéséből a csillagászat más ágai is profitálhatnak.

Az egyre újabb égboltfelmérő űrtávcsövek új lehetőséget biztosítanak ilyen rendszerek felfedezésére. A *Gaia* űrtávcsövet 2013 telén bocsájtották fel, hogy a közeli csillagokra ultrapontos asztrometriát és parallaxisméréseket végezzen, ezzel pedig meghatározza a csillagok pontos helyzetét és távolságát. A 2022-ben megjelent harmadik nagy adatkibocsájtás során vizsgálták először, hogy a katalógusban található csillagok lehetnek-e kettős rendszerek tagjai. A *Gaia* NSS² katalógusában találhatóak azon kettős rendszerek pályamegoldásai, amelyeket asztrometriai, spektroszkópiai és/vagy fedési módszerekkel detektáltak.

2. Kutatási módszerek

A *Gaia* által detektált kettőscsillagok pályamegoldásai lehetőséget adtak arra, hogy új hármas rendszereket azonosítsak. Az asztrometriai detektálás esetén a *Gaia* kollaboráció (Halbwachs és mtsai., 2022) erős megköteket alkalmazott annak érdekében, hogy biztosítsák az adatok helyességét. Az olyan kettőscsillagokat, amelyeket a *Gaia* időszakosan hol felbontva, hol egybeolvadva látott, kizárták a további vizsgálatokból, ezért a *Gaia* asztrometriai megoldásai között csak fel nem bontott csillagok találhatóak. Ez pedig azt jelenti, hogy a *Gaia* NSS katalógusában hierarchikus hármas csillagrendszerek is megtalálhatóak abban az esetben, ha a *Gaia* a hierarchikus hármas külső pályáját detektálta és az ahhoz tartozó paramétereket határozta meg. Ennek eldöntésére és ezen csillagok megkeresésére kiválogattam az elérhető fedési kettőscsillag katalógusokból több mint 1 millió fedési kettőscsillagot, majd megkerestem ezek *Gaia* NSS megoldásait, és abban az esetben, ha volt ilyen megoldásuk, a keringési periódus értékét összehasonlítottam a fedési kettőscsillagok katalógusában megadott periódussal. Amennyiben a *Gaia* NSS megoldás periódusa legalább ötszörösen meghaladta a fedési kettőscsillag fedési periódusát, feltételezhettem, hogy a nem egyedülálló csillagokra vonatkozó megoldás egy távolabb keringő harmadik komponens periódusához tartozik. Ezt kihasználva tehát a *Gaia* adatai között új hierarchikus hármas csillagrendszerek fedezhetőek fel. Az így talált hármas csillagrendszer jelöltek egy részét a *TESS* űrtávcső is észlelte, így az ezekből az észlelésekből származtatott fénygörbék segítségével lehetőségem nyílt független forrásból és más típusú módszer alapján történő ellenőrzésükre. A fénygörbék előállítását Dr. Mitnyan Tibor konzulensem végezte el a FITSH (Pál, 2012) szoftvercsomag segítségével. A *TESS*

²NSS - Non-Single Star: nem egyedülálló csillag

úrtávcső által előállított fénygörbéken látható fedések minimumidőpontjainak meghatározása után az úgynevezett ETV³-k vizsgálatával foglalkoztam, mivel az azonos típusú fedések között eltelt időtartamok változásai utalhatnak egy harmadik komponens jelenlétére a rendszerben. Ennek oka többek között lehet látszólagos⁴ vagy valódi. Látszólagos periódusváltozást okoz a fény véges terjedési sebessége miatt fellépő Rømer-effekus, amelyet a hármas rendszerek kutatása esetén jellemzően LTTE⁵-nek nevezünk. Az effektus akkor lép fel, amikor a fedési (belső) kettőscsillag a hármas rendszer közös tömegközéppontja körül keringve hol közeledik, hol pedig távolodik a megfigyelőtől, ezért a tőlünk észlelhető fedések időnként egyre hamarabb, máskor fokozatosan később következnek be. Az általam vizsgált csillagrendszerek esetén az LTTE leírására alkalmazható analitikus összefüggés (Irwin, 1952) elegendő volt az ETV-k modellezésére. A *TESS* fénygörbék tüzetes átvizsgálása során találtam négy, eddig nem ismert triplán fedő hierarchikus hármas csillagrendszert. A rendszerek komplex fotodinamikai elemzését a konzulensem, Dr. Borkovits Tamás által kifejlesztett LIGHTURVEFACTORY nevű programcsomagjával végeztem el (Borkovits és mtsai., 2020a, 2022). A program képes triplán fedő hierarchikus hármas csillagrendszerek komplex fotodinamikai elemzésére a rendszer fénygörbéjének és más forrásokból származó adatainak felhasználásával. A programcsomagon belül beállítható, hogy a hierarchikus hármas rendszer csillagainak a mozgását numerikusan integráljuk-e, vagy pedig a program két kepleri pályával írja le a belső és külső pályákat, amennyiben a dinamikai perturbációk elhanyagolhatóak. A numerikus számításokhoz a beépített integrátor hetedrendű Runge-Kutta-Nyström módszeren alapul. A paraméterteret, és a hibákat a program az MCMC⁶ módszeren alapuló algoritmussal keresi meg. A programcsomag segítségével a rendszer szinte összes fontosabb sztelláris és orbitális paramétere meghatározható. Munkám során numerikusan integráltam a pályákat, így lehetőségem volt a csillagok dinamikai perturbációit is vizsgálni.

³ETV - Eclipse Timing Variation: fedési minimumidőpont-változás

⁴nincs valódi periódusváltozás, csak a megfigyelő szemszögéből láthatóan változik a periódus

⁵LTTE - Light Travel Time Effect: fényidőeffektus

⁶Markov Chain Monte Carlo: Markov láncos Monte Carlo módszer, amely képes a teljes paraméterteret feltérképezni, ezzel a lokális minimumon kívül is keres megoldásokat és hibaszámításra is használható.

3. Új tudományos eredmények

1. **A szakirodalomban eddig nem alkalmazott, teljesen új módszer segítségével azonosítottam korábban nem ismert szoros hierarchikus hármas csillagrendszereket. (Czavalinga és mtsai., 2023a)**
 - 1.a. Több, fedési kettőscsillagokat tartalmazó katalógusban található objektumok esetén kerestem olyan *Gaia* NSS megoldásokat, amelyekre a fedési kettőscsillag periódusát legalább ötszörösen meghaladja a *Gaia* NSS megoldásból származó keringési periódus, mivel feltételeztem, hogy a *Gaia* nem egyedülálló csillagokra vonatkozó katalógusában találhatóak olyan hierachikus hármas rendszerek, amelyek esetén a *Gaia* a külső pályához tartozó paramétereiket találta meg.
 - 1.b. Összesen 403 szoros hierarchikus hármas csillagrendszer jelöltet azonosítottam, amelyből 27 már korábban is ismert rendszer volt. A többi 376 rendszer új felfedezés, amelyekből 100 rendszer esetén tisztán spektroszkópiai megoldás, 267 esetén asztrometriai megoldás és 31 csillag esetén pedig ezek kombinációja érhető el a *Gaia* NSS katalógusban.
 - 1.c. Elemeztem a jelöltek külső periódus- és excentricitáseloszlásait, és megállapítottam, hogy a külső excentricitás eloszlása hasonló a szakirodalomban a *Kepler* és OGLE által felfedezett rendszerek eloszlásaihoz.
 - 1.d. A *TESS* úrtávcső fénygörbéiből előállított ETV-k vizsgálatával összesen 218 rendszer esetén találtam nemlineáris változásokat, amelyek segítségével megerősítettem a harmadik komponens jelenlétét. Ezzel jelentősen növeltem az ismert szoros hármas csillagrendszerek számát.
 - 1.e. Négy, eddig nem ismert, triplán fedő hierarchikus hármas csillagrendszert fedeztem fel a *Gaia* NSS adatbázis és a *TESS* fénygörbéinek felhasználásával.
2. **A *Gaia* NSS adatbázisában található kettőscsillagok paramétereinek megbízhatóságáról adtam számot 22 hierachikus hármas rendszer esetén, az LTTE analízisből származó paraméterek segítségével. (Czavalinga és mtsai., 2023a)**
 - 2.a. Eddig nem ismert 22 hierarchikus hármas csillagrendszer LTTE analízisét végeztem el. Meghatároztam a rendszerek külső periódusát, excentricitását, félnagy tengelyük látóirányunkra merőleges vetületét. Ennek köszönhetően megvizsgálhattam a *Gaia* NSS paraméterek megbízhatóságát is összehasonlítva őket az LTTE analízisből

származó paraméterekkel, amit még ilyen típusú független módszerrel nem végeztek el a szakirodalomban.

- 2.b. Megállapítottam, hogy a periódusidő a legmegbízhatóbb a paraméterek közül, mivel mind a 22 hierarchikus hármas csillagrendszer esetén a kétféle módszerből származó periódus értékek nagyon jó egyezést mutattak.
- 2.c. Megállapítottam, hogy az excentricitások esetén, bár nagyobb hibával terheltek, de hibahatáron belül jó egyezést mutat a kétféle érték, ezért szintén viszonylag megbízhatónak mondható.
- 2.d. A *Gaia* NSS katalógusból származó félnagy tengelyek látóirányra merőleges vetületi értékei és a periasztron argumentumai esetén jóval nagyobb eltéréseket tapasztaltam, így azt a következtetést vontam le, hogy ezeket a módszertani különbségek miatt nem lehet egyértelműen összehasonlítani az LTTE-ből származó hasonló paraméterekkel.

3. Az általam felfedezett 4 triplán fedő hierarchikus hármas csillagrendszer komplex fotodinamikai elemzését is elvégeztem a *TESS* űrtávcső és archív földfelszíni égboltfelmérő programok méréseit felhasználva. (Czavalinga és mtsai., 2023b)

- 3.a. A TIC 14839347, TIC 66893949, TIC 88206187 és TIC 298714297 triplán fedő hármas csillagrendszerek esetén kiszámítottam a főbb pályaelemeket és sztelláris paramétereket, valamint meghatároztam a rendszerekben található harmadik komponensek okozta dinamikai perturbációk mértékét.
- 3.a. A TIC 14839347 rendszer esetén megállapítottam, hogy a másodkomponens kitöltötte a Roche-lebenyét, ezzel anyagot adhatott át a főkomponensnek. A korábbi anyagátadás valószínűsíthetősége miatt a modellezés során nem használhattam csillagevolúciós útvonalakat, ezért egy iteratív eljárás segítségével határoztam meg a rendszer főbb paramétereit. Megmutattam, hogy a korábbi tömegátadásra az is utal, hogy a harmadik komponens már elfejlődött a fősorozatról, míg a hozzá hasonló tömegű főkomponens nem, tehát a főkomponens kezdetben kisebb tömegű lehetett. A köztes inklinációra nullától eltérő értéket kaptam, így hosszabb távon a dinamikai hatások megváltoztathatják a fedések mélységét.
- 3.b. Megállapítottam, hogy a rendszer mindhárom tagja a Napunkhoz hasonló tömegű csillag. A külső excentricitásra 0,402 értéket kaptam, amely a legnagyobb az általam tanulmányozott rendszerek közül. A köztes inklináció értéke kicsi, így erős dinamikai perturbáló hatásokat nem várhatunk.

- 3.c. A TIC 88206187 rendszer komplex fotodinamikai elemzéséből kiderült, hogy a harmadik olyan ismert rendszer, amelyben a relatív sugár meghaladja a 0,1-es értéket. A harmadik komponens egy vörös óriás, amely későbbi fejlődése során majd kitöltheti a Roche-lebényét és anyagot adhat át a belső kettőscsillagnak. Megállapítottam, hogy a rendszerben jelentősek lehetnek a harmadik komponens okozta árapályerők.
- 3.d. A rendszer analízise és a *Gaia* űrtávcső által mért parallaxis alapján a TIC 298714297 jelű rendszer az egyik legközelebbi triplán fedő hármas csillagrendszer. K és F típusú, Napunknál kisebb tömegű csillagokat tartalmaz. A fénygörbe vizsgálatával megállapítottam, hogy a belső kettőscsillag folttevékenységet és flereket mutat. Az elemzéseimből valószínűsíthető, hogy a főkomponensről erednek ezek a jelek, így mágnasesen aktív lehet.
- 3.e. A fotodinamikai elemzésből származó paramétereket összehasonlítottam a *Gaia* NSS megoldásaiból származó paraméterekkel. A fotodinamikai paraméterek a módszertannak köszönhetően sokkal pontosabbak, így számot adhattam a *Gaia* NSS paraméterek várható pontosságáról is. Megerősítettem, hogy a *Gaia* NSS megoldásból származó inklináció és külső periódusidő ezen négy rendszer esetén helyes értéket ad hibahatáron belül. Az excentricitás esetén nagyobb eltérések tapasztalhatóak.
- 3.f. A 4 triplán fedő hierarchikus hármas csillagrendszer komplex fotodinamikai elemzése révén fel tudtam rajzolni a rendszerekben található csillagok égbolt síkjára vetített mozgását és ebből meghatároztam a fotocentrumaik mozgását. Megállapítottam, hogy a *Gaia* űrtávcső ténylegesen a fotocentrumot láthatja, így a félnagy tengelyek látóirányunkra merőleges vetületének értékeit nem lehet közvetlenül összehasonlítani más módszerekből származó ugyanilyen paraméterekkel.

4. Hivatkozások

- Borkovits, T., Mitnyan, T., Rappaport, S. és mtsai, 2022, MNRAS, 510, 1
Borkovits, T., Rappaport, S., Hajdu, T. és mtsai, 2020, MNRAS, 493, 4
Carter, J., Fabrycky, D., Ragozzine, D. és mtsai, 2011, Science, 331, 6017
Derekas, A., Kiss, L., Borkovits, T. és mtsai, 2011, Science, 332, 6026
Hajdu, T., Borkovits, T., Forgács-Dajka, E. és mtsai, 2019, MNRAS, 485, 2
Hajdu, T., Borkovits, T., Forgács-Dajka, E. és mtsai, 2022, MNRAS, 509, 1
Halbwachs, J., Pourbaix, D., Arenou, F. és mtsai, 2023, A&A, 674, A9
Irwin, J., 1952, ApJ, 116, 211
Kiseleva, L., Eggleton, P., Mikkola, S., 1998, MNRAS, 300, 1
Pál, A., 2012, MNRAS, 421, 3

Raghavan, D., McAlister, H., Henry, T. és mtsai, 2010, ApJS, 190, 1
Tokovinin, A., 2018, ApJS, 235, 1
Toonen, S., Boekholt, T., Portegies Zwart, S., 2022, A&A, 661, A61

5. Publikációk

Az értekezéshez felhasznált saját publikációk

Referált angol nyelvű szakcikkek:

- Czavalinga, D. R., Mitnyan, T., Rappaport, S., Borkovits, T., Gagliano, R., Omohundro, M., Kristiansen, M., Pál, A.: *New compact hierarchical triple system candidates identified using Gaia DR3*, 2023, Astronomy & Astrophysics, 670, A75
- Czavalinga, D. R., Borkovits, T., Mitnyan, T., Rappaport, S., Pál, A.: *Four New Compact Triply Eclipsing Triples found with Gaia and TESS*, 2023, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, elfogadva

Egyéb, az értekezés témájához kapcsolódó anyagok

Referált angol nyelvű szakcikkek:

- Rappaport, S., Borkovits, T., Gagliano, R., Jacobs, T., Tokovinin, A., Mitnyan, T., Komžík, R., Kostov, V., Powell, B., Torres, G., Terentev, I., Omohundro, M., Pribulla, T., Vanderburg, A., Kristiansen, M., Latham, D., Schwengeler, H., LaCourse, D., Bíró, I., Csányi, I., Czavalinga, D. R., Garai, Z., Pál, A., Rodriguez, J., Stevens, D.: *A study of nine compact triply eclipsing triples*, 2023, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 521, 1
- Borkovits, T., Mitnyan, T., Rappaport, S., Pribulla, T., Powell, B., Kostov, V., Bíró, I., Csányi, I., Garai, Z., Gary, B., Kaye, T., Komžík, R., Terentev, I., Omohundro, M., Gagliano, R., Jacobs, T., Kristiansen, M., LaCourse, D., Schwengeler, H., Czavalinga, D. R., Seli, B., Huang, C., Pál, A., Vanderburg, A., Rodriguez, J., Stevens, D.: *Triply eclipsing triple stars in the northern TESS fields: TICs 193993801, 388459317, and 52041148*, 2022, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 510, 1
- Korth, J., Moharana, A., Pešta, M., Czavalinga, D. R., Conroy, K.: *Consequences of parameterization choice on eclipsing binary light curve solutions*, 2021, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 51, 1

Angol nyelvű konferencia-előadások

- Czavalinga D. R.: *Photometric examination of NGC2281 open cluster* – KOLOS 2017, 2017. december 7-9., Stakcin, Szlovákia
- Czavalinga D. R.: *The effect of unresolved binaries in the colour-magnitude diagram of open clusters*, International meeting on variable stars research – KOLOS 2019, 2019. december 5-7., Stakcin, Szlovákia
- Czavalinga D. R.: *Newly identified compact hierarchical triple system candidates using Gaia DR3* - APRIM2023, Asia-Pacific Regional IAU Meeting 2023, 2023. augusztus 7-11. Koriyama, Japán

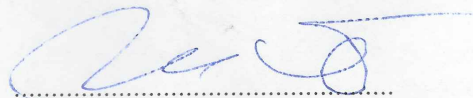
Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Czavalinga Donát Róbert „Szoros, hierarchikus hármas csillagrendszerek az égboltfelmérő űrtávcsövek korszakában” 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.

Czavalinga D. R., Mitnyan T., Rappaport S. A., Borkovits T., Gagliano R., Omohundro M., Kristiansen M. H. K., Pál A.: *Newly identified compact hierarchical triple system candidates using Gaia DR3*, 2023, *Astronomy and Astrophysics*, 670, A75 (T1, T2)

Czavalinga D. R., Borkovits T., Mitnyan T., Rappaport S. A., Pál A.: *Four New Compact Triply Eclipsing Triples found with Gaia and TESS*, 2023, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, elfogadva (T3)

Szeged, 2023. szeptember 30.



Dr. Borkovits Tamás


Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Czavalinga Donát Róbert „Szoros, hierarchikus hármas csillagrendszerek az égboltfelmérő űrtávcsövek korszakában” 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.

Czavalinga D. R., Mitnyan T., Rappaport S. A., Borkovits T., Gagliano R., Omohundro M., Kristiansen M. H. K., Pál A.: *Newly identified compact hierarchical triple system candidates using Gaia DR3*, 2023, *Astronomy and Astrophysics*, 670, A75 (T1, T2)

Czavalinga D. R., Borkovits T., Mitnyan T., Rappaport S. A., Pál A.: *Four New Compact Triply Eclipsing Triples found with Gaia and TESS*, 2023, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, elfogadva (T3)

Szeged, 2023. szeptember 30.


.....
Dr. Mitnyan Tibor

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Czavalinga Donát Róbert „Szoros, hierarchikus hármas csillagrendszerek az égboltfelmérő űrtávcsövek korszakában” 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.

Czavalinga D. R., Mitnyan T., Rappaport S. A., Borkovits T., Gagliano R., Omohundro M., Kristiansen M. H. K., Pál A.: *Newly identified compact hierarchical triple system candidates using Gaia DR3*, 2023, *Astronomy and Astrophysics*, 670, A75 (T1, T2)

Czavalinga D. R., Borkovits T., Mitnyan T., Rappaport S. A., Pál A.: *Four New Compact Triply Eclipsing Triples found with Gaia and TESS*, 2023, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, elfogadva (T3)

Szeged, 2023. szeptember 30.



.....
Pál András