

4. félévi beszámoló

Kalup Csilla

kalup.csilla@csfk.org

ELTE CSILLAGÁSZAT ÉS ŰRFIZIKA DOKTORI PROGRAM

Témavezető: Dr. Molnár László

Dolgozat címe: *Gömbhalmazok vizsgálata nagy égboltfelmérések segítségével*

Bevezetés

A doktori kutatási programom során a *Kepler* űrtávcső K2 missziója által észlelt gömbhalmazok RR Lyrae és vörös óriáscsillagainak vizsgálatával foglalkozom. A gömbhalmazok vizsgálatának nagy előnye, hogy csillagaik hasonló korú és kémiai összetételű populációkból állnak, ezáltal lehetővé téve a bennük található változócsillagok pulzációjának és oszcillációjának karakterizálását a halmaz fizikai tulajdonságainak függvényében. Vizsgálataimat a Gaia űrobszervatórium adataival is kiegészítem, hiszen a DR3 katalógus alapján létrehozott precíz szín-fényesség diagramok pontos szín- és fényesség információkat szolgáltatnak az egyes csillagokról, ezáltal pedig a csillagfejlődési stádiumukról is. A halmazbeli változók szeizmikus vizsgálata lehetővé teszi továbbá szeizmikus tömegek meghatározását, immár mind RR Lyrae, mind vörös óriásokra, melyek alapján a csillagfejlődés egyes állapotai között veszített tömeg mennyisége is meghatározhatóvá válik. Ennek értékét a szakirodalomban ezidáig leginkább elméleti modellekből határozták meg.

Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése

A doktori képzésem első felében K2 adatokra optimalizált adatredukciós eljárásokat teszteltem és fejlesztettem tovább annak érdekében, hogy olyan, külön RR Lyrae és külön vörös óriáscsillagokra tervezett fotometriai pipeline-okat hozzak létre, melyek millimagnitúdós jelek detektálására képesek az instrumentális effektusok lehető legalaposabb karakterizálása és korrigálása segítségével.

Míg az RR Lyrae csillagok kutatásának a CSFK Csillagászati Intézetében évtizedes hagyományai vannak, és ennek megfelelően az MSc diplomamunkámat is ebben a témában írtam, addig a sztochasztikus oszcillációt mutató csillagok asztroszeizmológiájának elméleti és gyakorlati hátterét a 2021 és 2022 tavasza során az Európai Űrügynökség ESTEC bázisán eltöltött 1-1 hónapos vendégkutatói látogatásaim során, Oliver Hall ESA Research Fellow segítségével sajátítottam el.

A munkám során elsősorban az NGC 5897-es, kifejezetten fémszegény K2 gömbhalmazal dolgoztam. Az itt található RRc típusú RR Lyrae csillagok 67%-ban sikerült eddig nem detektált millimagnitúdós plusz módusokat kimutatnom, melyek közül a 0.61-es típusú módust mutató csillagra Henryka Netzel közreműködésével sikerült elsőként szeizmikus tömeget is becsülni. A halmaz vörös óriásainak szeizmikus vizsgálatához jelentős segítséget

kaptam Madeline Howell-tól, a melbourne-i Monash Egyetem PhD hallgatójától, akivel az előző három szemeszter során, több lépcsőben, a meglévő kódjainkat folyamatosan fejlesztve és megosztva egymással alapoztuk meg a mostani félévem szeizmikus eredményeit.

Az NGC 5897-es halmaz analízisén túl részt vettem még az M4-el, M80-al, M9-el és M19-el kapcsolatos munkákban is. Az M80 esetében Gaia adatok speciális fotometriai problémáira korrigálva hoztam létre a lehető legtisztább, izokrón illesztésre tökéletes szín-fényesség diagramot. Az M4 esetében én végeztem el a halmaz ismert RR Lyrae csillagainak fotometriáját, valamint ennél a halmaznál kezdtem el dolgozni a galaktikus dudor közeli gömbhalmazokat érintő differenciális vörösödés problémáján, melyet aztán az M9 és M19 halmazokra is kiterjesztettem.

Az aktuális félévben végzett kutatások ismertetése

A félév legelején Leiden-ben töltöttem egy hetet az MWGaiaDN elnevezésű téli iskolán, ahol Gaia adatokkal kapcsolatos projekten lehetett közösen ötletelve dolgozni. Ennek során megtanultam a meglévő relatív portérképek halmazok előtti E(B-V) vörösödés értékeit átkonvertálni Gaia szűrőkre, valamint megismerkedtem a Bayestar19 katalógussal, melyet aztán a relatív portérképekhez hozzárendelt abszolút zéruspontok kiszámításához kezdtem el használni.

Tavasszal bő két hetet töltöttem a Monash Egyetemen Ausztráliában, ahol Madeline Howell-el szorosan együttműködve dolgoztunk az NGC 5897, M9 és M19 halmazokon. Ennek során implementáltunk egy új megközelítést a ν_{max} értékek meghatározására, mely realisabban illeszkedik a K2 adatok nyújtotta limitációkhoz, és nemcsak jelentősen csökkenti a hibákat, hanem gyorsabb futási időt és stabilabb működést is lehetővé tesz. Ennek eredményeképp több mint 20 RGB és EAGB csillagban sikerült ν_{max} értékeket meghatározni az NGC 5897-es halmazban. Az M9 és M19 esetén dedikáltan azzal foglalkoztam, hogy a szakirodalomban jelenleg nem elérhető, a halmaz távolságát is figyelembe vevő zéruspontokat határozzak meg meglévő differenciális vörösödés térképekhez. Ennek hiányában vagy csak relatív vörösödés korrekció végezhető el, vagy pedig a meglévő zéruspontokat használva a vörösödés mértékének túlbecslése állhat fenn, mely például az M9 esetében egyértelműen látszott is a vörös óriás tömegeken.

Az NGC 5897-es halmaz csillagai közül hét fényes vörös óriásra érhető el spektroszkópiai adat, és ez alapján meghatározott spektroszkópiai hőmérséklet érték. Ezeket arra használtam, hogy összevegyem őket fotometriai hőmérséklet becslő módszerek eredményével. Ehhez háromféle fotometriai hőmérséklet relációt implementáltam május során, melyek Gaia fényességekből, Johnson BV színekből, valamint 2MASS K fényességből, mindenféle kombinációban képesek fotometriai hőmérséklet értéket becsülni. Ezek a tesztek arra szolgálnak, hogy a halmaz számára legjobban működő megoldást, megoldásokat kiválasztva tudják a vörös óriás mintám csillagaira is hőmérséklet értékeket becsülni. A csillagok hőmérséklete, luminozitása és ν_{max} értékei aztán lehetővé teszik, hogy szeizmikus tömegek becsüljek, amik aztán az M4-hez hasonlóan összevethetőek az RR Lyrae szeizmikus tömegekkel. A különböző fémességű halmazok egymással való összevetése pedig a csillagok fémessége és tömegvesztése közti reláció feltérképezését teszi lehetővé.

Végezetül, a fennmaradó időben az eredményeket összefoglaló szakcikk írásán dolgoztam, valamint a vizsgáimra és a Komplex vizsgámra készültem.

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

- BOLYGÓK ÉS BOLYGÓRENDSZEREK KIALAKULÁSA (Dr. Sándor Zsolt)
- KOMPAKT CSILLAGOK SZERKEZETE (Dr. Barnaföldi Gergely)

Oktatási és szakmai közéleti tevékenység

I). **KONKOLY KICKOFF WORKSHOP ÉS DEMONSTRÁTOR HÉT SZERVEZÉSE A CSILLAGÁSZATI INTÉZETBEN ÉS A PISZKÉSTETŐI OBSZERVATÓRIUMBAN:** Február 5-7 között rendeztem meg a III. Konkoly Kickoff Workshopot, melyen összesen 21 BSc, MSc és PhD hallgató vett részt a Csillagászati Intézetből. Április 4-7 között a II. Demonstrátor Hét főszervezőjeként voltam jelen a Piszkestetői Observatóriumban, ahol az Intézet aktuális demonstrátorai egy koordinált szakmai gyakorlaton vettek részt elméleti és gyakorlati előadásokkal, távcsöves mérések végzésével és adatredukálással. Mindkét esemény Szabó Róbert igazgató úr támogatásával valósult meg.

II). **A MAGYAR ÉS SZAUD-ARÁBIAI CSAPAT FELKÉSZÍTÉSE A 17. NEMZETKÖZI CSILLAGÁSZATI ÉS ASZTROFIZIKAI DIÁKOLIMPIÁRA:** Részt veszek a 10 fős magyar diákolimpiai keret felkészítésében, ahol én koordinálok a diákok hetente kiadott feladatsorait, illetve én magam is feladatkitűző vagyok. Emellett június 1 és 10 között Rijádban, Szaud-Arábiában vendégelőadóként égboltismereti és planetáriumi képzésben részesítem a jelenleg 11 fős szaúdi keretet, majd a hét során le is vizsgáztatom őket a tanultakból. Mindezek mellett részt veszek a magyar diákolimpiai mozgalom háttérmunkálataiban is.

III). **TÉMAVEZETÉSEK:**

- Kertész Balázs elsőéves Fizika BSc hallgató ÚNKP témavezetője vagyok. A kutatási program címe: *Az RU Vul távcsöves észlelése, a mérések fotometriai analízise, a pulzációs állapot karakterizálása.* Munkánk során piszkestetői RC80 mérések abszolút fotometriájával foglalkozunk.
- Simon-Zsók Anett másodéves Fizika BSc hallgató társtémavezetője (témavezető: Dr. Meridith Joyce) és ÚNKP témavezetője vagyok. Közös munkánk során gömbhalmazok Gaia szín-fényesség diagramjainak összeállításával és izokron illesztéssel foglalkozunk, amelyhez én az észlelési és adatfeldolgozási oldalról járulok hozzá, főleg Gaia és Hubble űrtávcsöves adatok elemzésével.

Konferenciák, szemináriumok és nyári iskolák a képzés alatt

| | | |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 2024 április | University of Sydney, szeminárium | Sydney, Ausztrália |
| 2024 április | Monash University, szeminárium | Melbourne, Ausztrália |
| 2024 január | MWGaiaDN Workshop, téli iskola | Leiden, Hollandia |
| 2023 október | 55th DPS-EPSC konferencia, talk | San Antonio, Texas, USA |
| 2023 augusztus | MESA Summer School, nyári iskola | Budapest, Magyarország |
| 2023 július | TASC7/KASC14 konferencia, talk | Honolulu, Hawaii, USA |
| 2023 április | IAU Symposium 376, poszter | Budapest, Magyarország |
| 2023 április | 36. OTDK, előadás | Veszprém, Magyarország |

A doktori képzés alatt született összes publikáció

- 2023 október **Molnár László és mtsai:**
To grow old and peculiar: Survey of anomalous variable stars in M80 with age determinations using K2 and Gaia
Astronomy & Astrophysics, Volume 678, id.A104, 23 pp.
- 2023 szeptember **Kalup E. Csilla és Kiss Csaba:**
ALMA Band-7 Flux Density Prediction of the Haumea Ring System for Ongoing Observations
Research Notes of the AAS, Volume 7, Issue 9, id.186.
- 2023 január **Kecskeméthy Viktória és mtsai:**
Light Curves of Trans-Neptunian Objects from the K2 Mission of the Kepler Space Telescope
The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 264, Issue 1, id.18, 20 pp.
- 2022 szeptember **Szabó M. Zsófia és mtsai:**
A Multi-epoch, Multiwavelength Study of the Classical FUor V1515 Cyg Approaching Quiescence
The Astrophysical Journal, Volume 936, Issue 1, id.64, 20 pp.
- 2022 november **Moór Attila és mtsai:**
Mid-infrared time-domain study of recent dust production events in the extreme debris disc of TYC 4209-1322-1
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 516, Issue 4, pp.5684-5701

Távcsőidő pályázatok

Piszkéstetői Observatórium RC80 távcső, 2022-2024 (7 db)

László Molnár (PI) és Csilla Kalup (Co-I), Meridith Joyce (Co-I), Balázs Kertész (Co-I):
TERMÁLIS PULZUSOK NYOMÁBAN: AZ RU VUL PULZÁCIÓS PERIÓDUSAINAK FELTÉR-
KÉPEZÉSE

James Webb Space Telescope Cycle 3 proposal, 2023 október

Csilla Kalup (PI), Csaba Kiss (Co-PI) és Thomas Müller (Co-I), Estela Fernandez-Valenzuela (Co-I), Benjamin Proudfoot (Co-I):

A PORTRAIT OF THE HAUMEA SYSTEM: DIRECT IMAGING OF THE DUST RING, NEAR-
INFRARED CHARACTERISATION OF THE KNOWN MOONS, AND A DEEP SEARCH FOR NEW
SATELLITES

Nancy Grace Roman Space Telescope, white paper, 2023 június

László Molnár, Csilla Kalup és Meridith Joyce:

ASTEROSEISMIC SOUNDING OF BULGE GLOBULAR CLUSTERS WITH THE ROMAN SPACE TELESCOPE

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023arXiv230612459M/abstract>

James Webb Space Telescope Cycle 2 proposal, 2023 január

Csaba Kiss (PI) és Thomas Müller (Co-I), Estela Fernandez-Valenzuela (Co-I), Csilla Kalup (Co-I):

DETECTION OF HAUMEA'S DUST RING AND NEAR-INFRARED CHARACTERISATION OF HAUMEA'S SATELLITES WITH JWST/NIRCAM

Előkészületben

- Fiorellino et al.:
The Enigma of Gaia18cjb: a Rare Hybrid of FUor and EXor?
Accepted in A&A in March 2024.

Társzerzői hozzájárulás: Adatgyűjtés a célpontról a Piszkéstetői Observatórium RC80-as távcsövével 2022 során.

- Fortier et al.:
CHEOPS In-Flight Performance
A Comprehensive Look at the First 3.5 Years of Operations
Submitted to A&A in November 2023, the referee recommends publication after minor revision.

Társzerzői hozzájárulás: A HW Virginis fedési kettőscsillag fedéseinek észlelése a Piszkéstetői Observatórium RCC távcsövével, majd az adatsorok kiredukálása és elküldése a társszerzőknek a CHEOPS űrtávcső időbélyegei pontosításának céljából.

- Santos-Sanz et al.:
Unveiling the ringed centaur (10199) Chariklo from JWST through a stellar occultation
It will be submitted to Nature during the summer.

Társzerzői hozzájárulás: A Chariklo kisbolygó két gyűrűjének modellezése, azok anyagi összetételének megállapítása, majd a módszer és eredmények leírása 6 oldalban, mely része lesz a JWST okkultációt bemutató cikknek.

- Madeline Howell, Simon W. Campbell, Csilla Kalup et al.:
Asteroseismic Masses of Red Giants in the Galactic Globular Clusters NGC 6333 & NGC 6273
It will be submitted to MNRAS during the summer.

Társzerzői hozzájárulás: Az M9 és M19 gömbhalmazok differenciális vörösödés

jellemzőinek feltérképezése, meglévő portérképekhez frissített zéruspontok kiszámítása.

- László Molnár, Henryka Netzel, Madeline Howell, Csilla Kalup, Meridith Joyce:
A comparison of seismic masses of horizontal-branch stars in M4
It will be submitted to A&A during the summer.

Társzerzői hozzájárulás: Az M4 gömbhalmaz ismert RR Lyrae csillagainak fotometriája, valamint differenciális vörösödéssel kapcsolatos analízisek számítása.

- **Csilla Kalup et al.:**
Asteroseismic masses of red giant stars in a metal-poor globular cluster NGC 5897
It will be submitted to A&A within the next months.
- **Csilla Kalup, Csaba Kiss and László Molnár:**
Radiative transfer modeling of Haumea's dust ring
It will be submitted to PASP until the end of summer.