

IV. félévi beszámoló

Görgei Anna Mária (gorgei.anna@csfk.org)

Csillagászat és Űrfizika PhD program

Témavezető: Vida Krisztián

A dolgozat címe: Studying star–planet interactions

2023. június 6.

Bevezetés

A kutatási munkám célja megvizsgálni, hogy idővel hogyan változnak a csillagok mágnességének tulajdonságai, és hogy a környezetükkel milyen módon hatnak kölcsön a rajtuk végbemenő nagyenergiás események. Az eddigi félévekben a Pizskéstetői Observatórium mérései alapján a nyílthalmazok fotometriájával és a Gaia űrtávcső adatai alapján a nyílthalmazok tagjainak meghatározásával és a halmaztagok TESS fotometriájával foglalkoztam. Ezt a munkát folytattam ebben a félévben is.

Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése

Exobolygóval rendelkező csillagok

Az XMM-Newton archívumának felhasználásával röntgen adatokat kerestem olyan csillagokról, amelyek exobolygóval rendelkeznek. A pozíció alapján való keresés eredményeként több mint kétszáz olyan csillagot találtam, amely beleesett korábbi mérések látómezejébe. Az űrtávcső a röntgenméréseket két rendszerrel végzi: az egyik az European Photon Imaging Camera (összesen három CCD kamera), a másik a Reflection Grating Spectrometers (összesen kettő CCD kamera). Munkám során mind az öt kamera adataival dolgoztam.

Az archívumban elérhető adatok redukálásával kezdtem, ehhez mindkét kamerarendszerhez elérhető egy-egy pipeline, amely az eredeti adatokból (Observation Data Files) létrehozza a kalibrált fájlokat. Ezek alapján következő lépésben elkészíthetők a csillagok fénygörbéi az XMM-Newton Science Analysis System felhasználásával. A fénygörbéket a beütésszámok ellenőrzésének érdekében készítettem, mert ahhoz, hogy spektrumot készíthessünk, ahhoz legalább száz foton szükséges. Ezt is figyelembe véve kevesebb mint tíz fénygörbe marad az eredetiek közül, amelyek összesen három csillaghoz tartoznak, ami egy statisztikai vizsgálathoz nem elég.

Nyílthalmazok vizsgálata

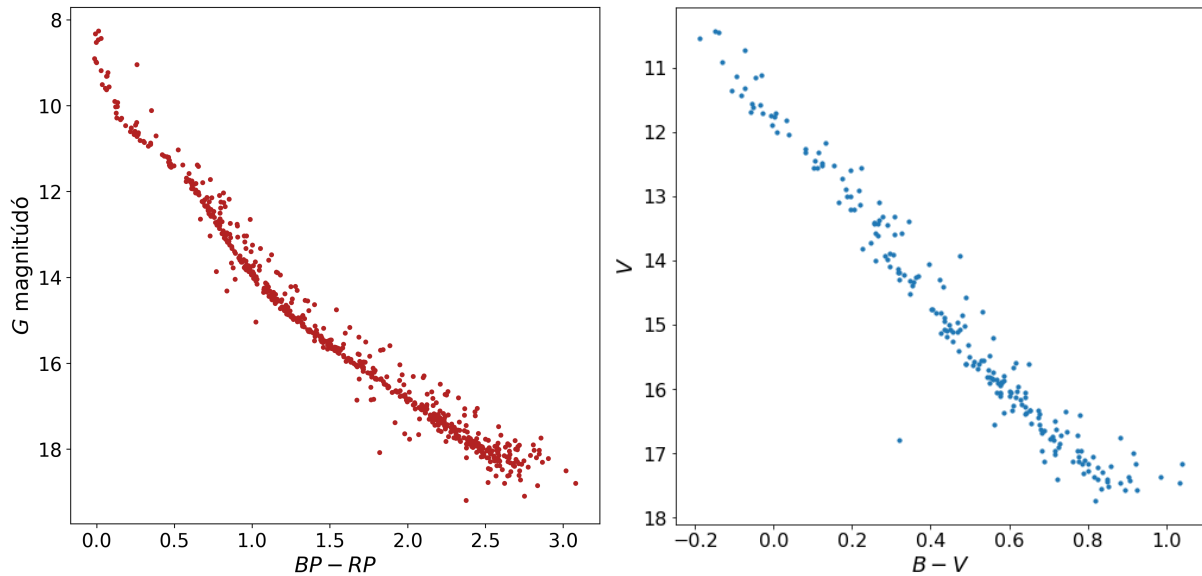
A célom a kiválasztott nyílthalmazokat optikai és röntgen tartományban történő vizsgálata, amely lehetőséget biztosít arra, hogy a csillagok mágnességének korral történő változását tanulmányozzuk.

Az elmúlt években a Pizskéstetői Observatórium Schmidt-távcsövével (*B, V, R, I* szűrőkkel) készültek mérések nyolc nyílthalmazról: NGC 7160, NGC 1039, NGC 2632, NGC 752, NGC 6633, NGC 188, Melotte 20, M 67. Az adatok összesen 268 éjszakáról származnak. Ezekről a halmazokról elérhető röntgen tartományú mérési adat az XMM-Newton vagy a Chandra űrtávcsövek archívumában.

A munkát az adatok redukálásával kezdtem, amihez a `fits` programot (Pál, A. 2012, MNRAS, 421, 1825) használtam, majd a kiredukált képekre az asztrometriát is elvégeztem. Az ilyen módon feldolgozott adatok fotometriáját a python programozási nyelv `photutils` könyvtárának használatával végeztem el, mivel ennek segítségével apertura és PSF (Point Spread Function) fotometria is alkalmazható a csillagokra. Az összes adat feldolgozásához egy olyan pipeline elkészítését tűztem ki célul, amely a magányos csillagokra elvégzi az aperturafotometriát, amíg azokon a területeken, ahol a csillagok sűrűn helyezkednek el, pontos PSF fotometriát végez. Ehhez a megfigyelt égiterrületen található csillagok koordinátáit letöltöttem a Gaia adatbázisából, és a csillagok közötti távolság alapján két csoportra osztottam őket. Az egyikben a magányos csillagok voltak, amelyekre apertura fotometria végezhető, a másikban az egymáshoz közeli, ahol PSF fotometria szükséges. Az apertura sugarának kiválasztásához a fotometriát több értékkel is elvégeztem, ennek alapján a csillagok két csoportját pontosítottam, úgy hogy egy aperturán belülre ne essen két csillag PSF-je. Mindkét listából eltávolítottam azokat a csillagokat, amelyek esetében legalább egy pixel szaturálódott a mérés során. A méréseken a csillagok PSF-je nem volt pontosan modellezhető Gauss-függvényel, így minden képre 20-25 magányos csillag PSF-jét alapul véve építettem fel a modellt, amellyel a PSF illesztését végeztem az egymáshoz közeli csillagokra. Az modellezéshez illetve az illesztéshez a `photutils` `ePSF` (effective Point Spread Function) modellt és `IterativelySubtractedPSFPhotometry` rutint használtam. A PSF fotometria eredményét aperturafluxusokkal való összehasonlítással ellenőriztem. Az elkészült program segítségével az összes mérés fotometriáját elvégeztem, így megkapva a képek látómezejében található összes csillag fénygörbéjét.

A nyílthalmazok csillagainak vizsgálatához elengedhetetlen megállapítani, hogy a látómező csillagai közül melyek tartoznak a halmaz tagjai közé. Ehhez a feladathoz a Gaia EDR3 (Early Data Release 3) adatait kezdtem el használni, majd a DR3 (Data Release 3) megjelenésével áttértem annak használatára. Ezek a katalógusok tartalmazzák azokat a paramétereket, amelyek alapján megállapítható, hogy a csillagok besorolhatóak a halmaz tagjai közé vagy nem. A sajátmozgás, parallaxis, koordináta és radiális sebesség alkalmas paraméterek, de ezek közül a radiális sebesség csak a csillagok kis részére elérhető, így azt nem használtam fel a csoportosítás során.

A klaszterezés elvégzéséhez több alternatívát is megvizsgálva a HDBSCAN algoritmus (Campello, Moulavi, Sander, 2013, Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates) mellett döntöttem. Ez egy sűrűségen alapuló, hierarchikus klaszterezési módszer, az adatban található csoportok alkotta fa felépíthető a hierarchikus klaszterezés eredményeként. A stabilitásvizsgálat kritériumai biztosítják, hogy a működéséből adódó mesterséges csoportok nem kerülnek be a kiválasztott valódi csoportok közé. A módszer a következő lépésekből áll: Először az adatokat transzformálja a sűrűségük szerint, majd felépíti a távolsággal súlyozott



1. ábra. Bal oldal: Szín–fényesség diagram az NGC 1039 halmazra a Gaia DR3 alapján. Az x tengelyen a Gaia $BP - RP$ színindex, az y tengelyen a Gaia G magnitúdó látható. Jobb oldal: Szín–fényesség diagram az NGC 1039 halmazra a Piszkéstetői Observatórium Schmidt-távcsövével készített mérések alapján. Az x tengelyen a $B - V$ színindex, az y tengelyen a V magnitúdó látható.

gráfját. Ezután kialakítja az összekapcsolt komponensek klaszter hierarchiáját és tömöríti azt a minimum klaszterméret alapján. Végül megállapítja a stabil klasztereket.

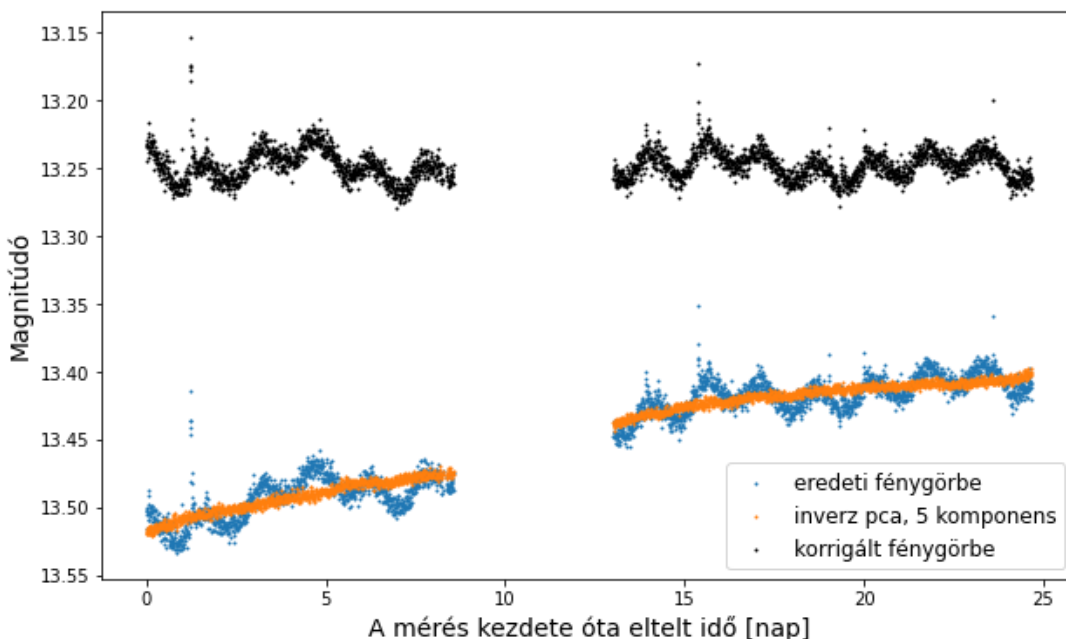
A DR3 katalógusban található `parallax_over_error` paraméter segítségével kizártam a nagy parallaxishibával rendelkező csillagokat az analízisből. A klaszterezés és a fotometria elvégzése után ábrázolni tudtam halmazok szín–fényesség diagramját, amelyre példa az 1. ábra.

A fotometria eredményeként kapott fénygörbék alapján forgási periódusok meghatározásához eredetileg a Lomb–Scargle periodogramot használtam. Mivel ez kis hatékonysággal találta meg a periódusokat, így más módszereket is kipróbáltam, amelyek implementálva vannak a P4J python csomagban (Huijse, P. et al. 2018 ApJS 236 12). Az adatok mintavételezése és az algoritmus ablakfüggvényének sajátosságai miatt, ez a módszer sem teszi egyszerűbbé a periódusok megtalálását. Ez alapján egyelőre az eredeti elképzeléshez térek vissza.

TESS

Amíg a Piszkéstetői Observatórium mérései a mérés és a mintavételezés jellegzetességei miatt hosszú periódusú változások kimutatására alkalmasak, a TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) űrtávcső adatiból a rövid periódusúak nyerhetők ki. A TESS mérések fotometriai pontossága nagyobb mint a földi méréseké, ezért a perióduskeresés hatékonyságának tesztelésére is alkalmasak ezek az adatok.

Az általam vizsgáltak közül hat nyílthalmazról vannak mérések legalább egy TESS szektorban. A `qdlp-extract` algoritmust (Pál, A. 2012 MNRAS, 421, 1825) használva a halmaztagok TESS fénygörbéit is letöltöttem. Ezek az adatok még tartalmaznak instrumentális és az égi



2. ábra. A PCA működésének bemutatása egy fénygörbe esetén.

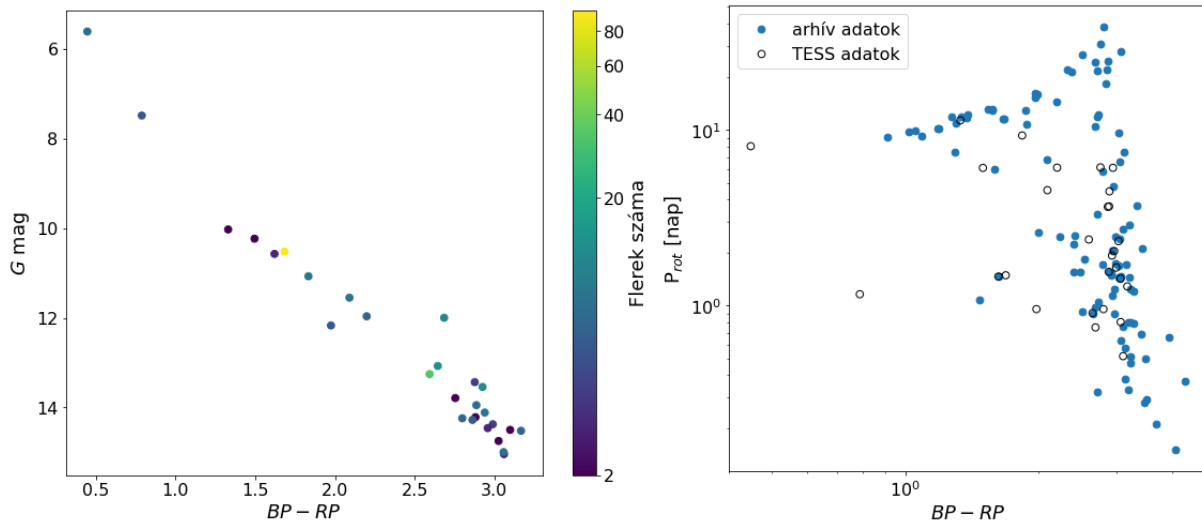
háttérből származó trendeket, ezek korrigálására ebben a félévben főkomponens analízist (PCA) alkalmazását próbáltam ki. Ez a módszer jól használható az egymás közelében lévő csillagok esetén, ahol azonosak az instrumentális trendek.

A félévben elvégzett kutatás

Főkomponens analízis

A PCA az adatok dimenziójának redukálására használt módszer. Miközben egy alacsonyabb dimenziójú altérre vetíti az eredeti adatot, az abban található információtartalmat nagy mértékben megőrzi. A megőrzött összes információ mennyisége attól függ, hány főkomponensre (dimenzióra) bontjuk le a kiindulási adatot. Az első főkomponensek fogják tartalmazni a nagyobb trendeket, amíg az egyre későbbi komponensek egyre kevésbé írják le azokat. A fénygörbék esetében az első öt főkomponenssel leírhatóak az instrumentális és égi háttérből adódó trendek. Ezekből a komponensekből inverz PCA segítségével adódik egy fénygörbe, amelynek illesztésével is levonásával az eredeti fénygörbe korrigálható a trendekre (2. ábra). Ehhez az analízishez a `sklearn.decomposition.PCA` python rutint használtam.

A módszer alkalmazásához a nyílthalmazok csillagai mellé, olyan csillagok fénygörbéit is letöltöttem a TESS mérésekből, amelyek magányosak és 10–15 TESS magnitúdo között van a fényességük. Ennek úrtávcsőnek egy pixele 21 szögmásodpercet fed le, így a közeli csillagok PSF-jei könnyen összeolvadnak egymással, így ugyanazt a fénygörbét mutatják. Az egyforma fénygörbék a rajtuk végbemenő változásokhoz nagyobb súlyt rendelnek a főkomponens analízis során, amivel hamis trendet visznek be a rendszerbe, ezért volt szükséges olyan csillagokat választani, amelyek távol vannak egymástól.



3. ábra. Bal oldal: Szín–fényesség diagram a Gaia DR3 adataiból, G magnitúdó a $BP - RP$ függvényében. A színskala mutatja a csillagokon megfigyelt flerek számát. Jobb oldal: Szín–forgási periódus diagram. A Gaia DR3 $BP - RP$ szín függvényében láthatók a forgási periódusok.

Hyadok

A Hyadok halmaz csillagairól elérhető textitshort cadence fénygörbe a TESS távcső adatbázisában, ezeken jól látható a fleraktivitás. A halmaztagok meghatározásához a fent részletezett HDBSCAN módszert használtam, a kiválasztott csillagok fénygörbének elemzésével folytattam a munkát. A fénygörbéken a flerek keresése a FLATW’RM kód (Vida, K et al. 2018 A&A 616, 163) segítségével történt.

A csillagok forgási periódusát a Lomb–Scargle módszerrel határoztam meg, a 175 halmaztag csillagból 70 flerezett, ebből 27 esetében találtam periódust (3. ábra). Mivel a TESS egy szektort 27 napig mér, ezért ezekben az adatokban megbízhatóan nem találhatóak meg hosszú periódusú változások. Az általam megtalált leghosszabb periódus 11.31 nap volt. A forgási periódusokat összehasonlítottam archívumban találtakkal (Douglas, S. T. et al. 2019 ApJ 879 100), az általam elemzettek közül néhány már ebben az adatbázisban is szerepelt, ezeknél jó egyezést kaptam. A többi esetben a csillagok beleillenek szín–forgási periódus diagramon kirajzolódó trendbe.

A következő lépés a flerek energiájának meghatározása. Ehhez meghatároztam a csillagok bolometrikus magnitúdóját Gaia DR3 adatokból, `Gaiadr3 Bcg` csomag (Creevey, O. L. et al. 2022, A&A) segítségével. Ezt és egy BT NextGen spektrumok alapján generált *logg*-effektív hőmérséklet gridet felhasználva megkaptam a csillagok TESS szűrőben mért luminozitását. Ezzel a flerek energiája meghatározhatóvá válik.

Obszervatóriumi tevékenység

A félév során két hetet töltöttem a Pizskéttetői Obszervatóriumban, ahol a STARK kutatócsoport távcsőidejében az RCC-távcsővel végeztem spektroszkópai méréseket. A célpont a EK Dra volt, amely BY Dra típusú változó. A mérések felhasználásával, Doppler imaging módszert

alkalmazva a csillagok végbemenő foltfeljlődés megfigyelése a cél.

Publikációk

- Mernier, F.; Werner, N.; Su, Y.; Pinto, C.; Grossová, R.; Simionescu, A.; Iodice, E.; Sarzi, M. ; Görgei, A.: The cycle of metals in the infalling elliptical galaxy NGC 1404; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 511, Issue 3, pp.3159-3178, 2022
- Kriskovics, L.; Kővári, Zs.; ... & Görgei, A.: El Eridani: a star under the influence; Astronomy & Astrophysics, publikálásra elfogadva

Tanulmányi tevékenység

- Bolygók és bolygórendszerek keletkezése (Sándor Zsolt Mózses, FIZ/5/045)
- Napfizika (Petrovay Kristóf, FIZ/5/057)
- LOFAR Science School
- 11th VLTI Interferometry School
- PHOEBE Workshop

Konferenciák

- EAS 2023, elfogadott poszter
- IAU Symposium 365, elfogadott poszter