

1. félévi beszámoló

Kálmán Szilárd (xilard1@gothard.hu)

Részecskefizika és Csillagászat PhD program

Témavezető: Dr. Szabó M. Gyula

A dolgozat címe: Exobolygó-rendszerek fotometriai vizsgálata

Bevezetés

A más naprendszerekhez tartozó-, avagy extraszoláris bolygók (röviden exobolygók) vizsgálata az első fősorozati csillag körül keringő exobolygó 2019-es fizikai Nobel-díjjal elismert detektálása (Mayor M. & Queloz D., 1995, *Natur*, 378, 355) után a csillagászat egyik húzóágazatává vált. Mára közel 5000 exobolygó-rendszert ismerünk, ezek jelentős többségét a csillaguk fényességének a bolygó *tranzitja* (azaz a csillag és a megfigyelő közötti áthaladása) által okozott apró csökkenések segítségével fedezték fel. Ezen fényességváltozások detektálásában az ultra-precíz méréseket végző űrtávcsövek (mint pl. a jelenleg is aktív CHEOPS¹ és TESS² vagy a korábban üzemelő igen sikeres Kepler-űrtávcső) minden korábbinál több és jobb minőségű adatokat szolgáltatottak, egyértelművé téve ezáltal, hogy az exobolygó kutatás jövője az űrfotometriában keresendő. Mára az új rendszerek felfedezésén túl a már ismert exobolygó-rendszerek fizikai paramétereinek és szerkezetének minél jobb megismerése, jellemzése a fő irányvonal. Itt jut majd nagy szerephez az Ariel-űrtéleszkóp³ és a PLATO-nak⁴.

A doktori munkám célja már ismert exobolygó-rendszerek fénygörbéinek elemzése, paramétereik pontosítása, a szub-Jupiter sivatag (Szabó Gy. M. & Kiss L. L., 2011, *ApJ*, 727L, 44; Szabó Gy. M. & Kálmán Sz., 2019, *MNRAS*, 485L, 116) vizsgálata, valamint az Ariel és PLATO küldetésekbe való becsatlakozás algoritmikus fejlesztésekkel és célpontjavaslatokkal. Kutatásom során becsatlakoztam az MTA-ELTE Exoplanet Research Group nevű kutatócsoportba.

Elvégzett kutatások

Az első félévben három fő irányvonalon végeztem kutatásokat, ezek: a szub-Jupiter sivatag (az exobolygók keringési periódus - bolygótömeg vagy bolygósugár paramétereinek azon része, ahol kb. Neptunusz méretű bolygók szerepelnének, a csillagukhoz közeli pályán, ám ilyen égitestekből nagyon keveset ismerünk annak ellenére, hogy kisebb és nagyobb méretű bolygókból a csillaguktól hasonló távolságra nagy mennyiségű került felfedezésre) vizsgálata, az időben korrelált zaj tranzitos exobolygók fénygörbéiből meghatározható paraméterekre gyakorolt hatásának vizsgálata és a WASP-33 rendszer TESS által készített fénygörbéjének elemzése.

A szub-Jupiter sivatag újbóli vizsgálatát a legutóbbi elemzés óta eltelt 2-3 év alatt detektált új rendszerek indokolják. Kiválasztva a sivatag peremét felölelő tartományt a keringési periódus - bolygósugár, majd ezen keresztül a periódus - tömeg paraméterterben is, fő eredményként azt találtuk, hogy a hűvösebb csillagok körül közelebb keringenek az exobolygók, a korábbi eredményekkel összhangban. Az eredményeket bemutató publikáció előkészítés alatt áll.

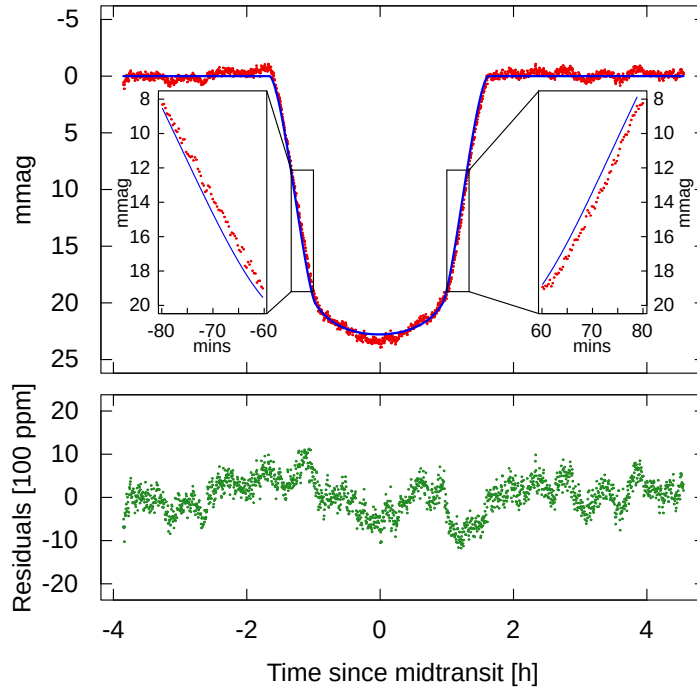
Az időben korrelált zaj (pl. csillagpulzáció, szisztematikusok, flerek stb.) a tranzitos exobolygók fénygörbéjét (és etáltal az ezeket leíró paramétereket) jelentős mértékben torzíthatják.

¹Characterizing Exoplanet Satellite

²Transiting Exoplanet Survey Satellite

³Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey

⁴PLANetary Transits and Oscillations of stars



1. ábra. Egy szimulált fénygörbéhez hozzáadott időben korrelált zaj (piros), az erre legjobban illeszkedő modell (kék), valamint a kettő különbsége (zöld). A két felnagyított betét ábrán az látható, hogy pusztán a korrelált zaj megjelenése (és ennek nem megfelelő kezelése) miatt a tranzit középideje nem határozható meg kellő pontossággal. Forrás: Kálmán Sz. et al., 2022, *A&A*, közlésre beküldve.

Erre szemléletes példa a 1. ábrán látható. Összevettem két különböző eljárást a zaj hatásainak kezelésére, ezek során azt találtam, hogy a zaj korrelált komponensét jellemző időskálával korrelált szisztematikuson keresztül az illesztés olyan torzítást okozhat, amely a hibahatár korrelációs mátrix alapú becslésében nem jelenik meg, és inkonzisztens paramétermeghatározáshoz vezet. Igazoltam, hogy a wavelet-alapú zajkezelésre épülő TLCM algoritmus (Transit and Light Curve Modeller, Csizmadia Sz., 2020, *MNRAS*, 496, 4442) mentes ettől az instabilitástól, és konzisztens eredményeket szolgáltat. Az eredményekről előadást tartottam az Ariel Science Consortium Hybrid Workshop nevű rendezvényen, Londonban.

A WASP-33 egy gyorsan forgó δ Scuti típusú pulzáló változócsillag, amely körül egy óriásbolygó kering $\sim 1,22$ napos periódussal. A pulzációt és a tranzitot szimultán modellezve TLCM szoftver segítségével azt találtam, hogy a csillag forgása következtében fellépő gravitációs sötétedés (ellaposodó, ellipszoid alakú csillagnál az egyenlítő jelentősen hűvösebb a pólusoknál) detektálható, ennek segítségével pedig megállapítható a csillag forgástengelyének iránya, valamint a bolygó pályájának ehhez viszonyított elhelyezkedése is. További elemzéseket folytatunk a pulzációs spektrumból esetlegesen kimutatható bolygó-csillag kölcsönhatások meghatározásáról. Az eredményeket bemutató cikk előkészítés alatt áll.

Publikációk

A félév során végzett kutatások eredményét három előkészületben lévő cikkben fogom közölni:

- **Kálmán Sz.**, Szabó Gy. M., Csizmadia Sz.: The power of wavelets in analysis of transit

and phase curves in presence of stellar variability and instrumental noise III. Accuracy of transit parameters, (2022), A&A, közlésre beküldve.

- Bókon. A., **Kálmán Sz.**,: *et al.*: WASP-33: δ Scuti-type oscillations excited by spin-orbit misalignment of the hot Jupter WASP-33b, előkészítés alatt – a bolygó-csillag kölcsönhatások diszkussziójának megírása szükséges csak
- **Kálmán Sz.**, Szabó Gy. M.: Revisiting the sub-Jovian desert, előkészületben – az eredményeket bemutató ábrák elkészültek, a szöveg megírása szükséges csak.

Tanulmányi tevékenység

- Radio Astronomy I. c. kurzus teljesítése

Konferenciák az adott félévben

- Ariel Science Consortium Hybrid Workshop, 2022. nov. 23–24., London; előadó, előadás címe: Accuracy of Transit Parameters in Presence of Stellar Noise: the Power of Wavelets

Elismerések

- ÚNKP-21-3 ösztöndíj, 12 hónap
- NVKDP-2021, 43 hónap