

### 3. félévi beszámoló

**Kálmán Szilárd** (xilard1@gothard.hu)

Csillagászat és űrfizika PhD program

Témavezető: Dr. Szabó M. Gyula

A dolgozat címe: Exobolygó-rendszerek fotometriai vizsgálata

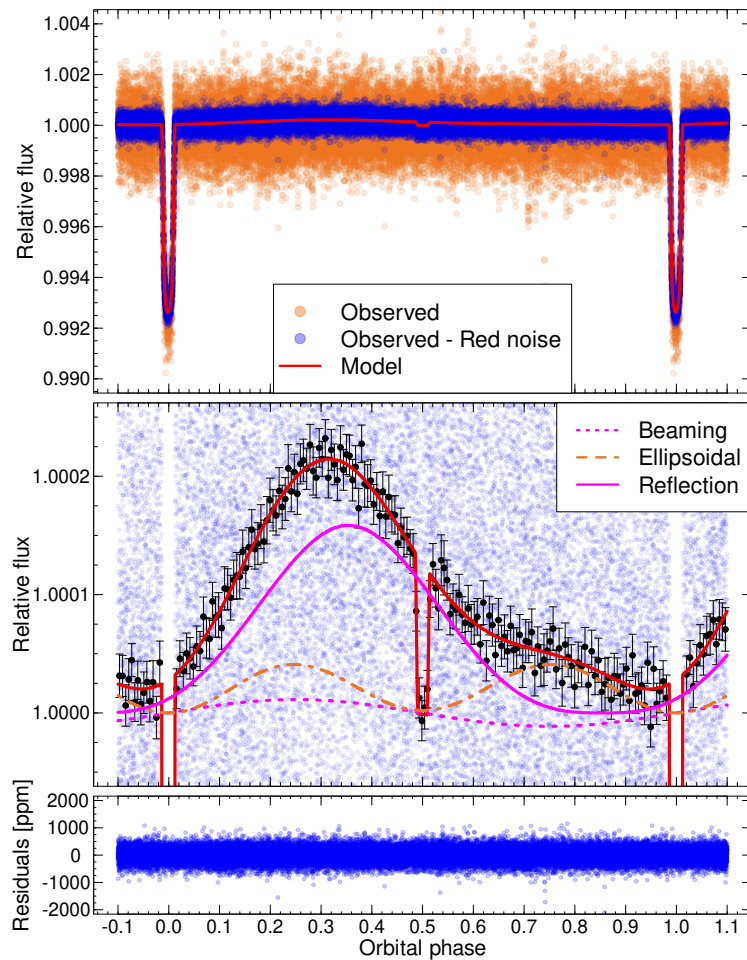
## Bevezetés

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. Az exobolygók vizsgálatának tekintetében az elmúlt évtizedek egyértelműen igazolták, hogy az űrtávcsövek, pontosabban az nagyon precíz űrfotometriai mérések jelentik a tudományág jövőjének legfontosabb szempontját. Ennek megfelelően nagy hangsúlyt kell fektetni a jövő űrteleszkópjainak fejlesztésére. A kutatómunkám során én az Európai Űrügynökség Ariel és PLATO küldetéseiben veszek részt, algoritmikus fejlesztésekkel, tesztelésekkel és tudományos programok javaslatával, az NVKDP ösztöndíjam programjának megfelelően.

## Elvégzett kutatások

A HD 31221 jelű,  $\delta$  Scuti/ $\gamma$  Doradus hibrid pulzáló csillag szubsztelláris kísérőjével foglalkoztam a TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) fénygörbéje alapján. A célpont körül elhelyezkedő, ismert csillagok fényessége és (relatív) pozíciója alapján megállapítottam, hogy a fénygörbében látható tranzitokat elenyészően kicsi valószínűséggel téveszthetjük csak össze háttérben lévő kettőscsillagok jelével. Mivel a HD 31221 jelű csillag a pulzáció mellett nagyon gyorsan forog, a kísérőjének tömegét a jól bevett radiálissebesség-módszerrel rendkívül nehéz lenne meghatározni. A TESS fénygörbe analízise során a tranzitokon kívül modelleztem a HD 31221 b légköre által okozott reflexiós effektust, valamint a Doppler-nyalábolást és az ellipszoidális effektust is. Utóbbi kettő segítségével a HD 31221 kísérőjének tömegére tehetünk megközelítést. Azt találtam, hogy tömegének  $1\sigma$  felső határa  $26.3 M_J$ , vagyis biztosan nem vörös törpe csillag, de azt nem lehet eldönteni, hogy barna törpe, vagy óriásbolygó-e. Megállapítottam továbbá, hogy a sugara  $1.32 \pm 0.14 R_J$ , míg keringési periódusa  $4.66631 \pm 0.00011$  nap. Azt is meghatároztam, hogy a fázisgörbe tranziton kívüli részét a reflexiós effektus dominálja, azaz a HD 31221 (geometriai) albedója nagy (1. ábra). Ezeket az eredményeket egy, az *Astronomy & Astrophysics* folyóirathoz beküldött cikkben kívánom publikálni (Kálmán et al.: Discovery of a substellar companion in the TESS light curve of the  $\delta$  Scuti/ $\gamma$  Doradus hybrid pulsator HD 31221, *A&A*, közlésre beküldve). A HD 31221 b további (fotometriai) analíziséhez szükség van a TESS-nél nagyobb pontosságú és más színben észlelő űrtávcsövekkel (CHEOPS – Characterizing ExoPLANets Satellite vagy PLATO – PLANetary Transits and Oscillations of stars) történő megfigyelésekre.

Külön kiemelő továbbá, hogy azt találtuk, hogy a HD 31221 kísérője befolyásolja a csillag pulzációját, valószínűsíthetően ún. árapály-perturbáció során. Ez azt jelenti, hogy a WASP-33 jelű rendszer (Kálmán et al., *A&A*, 2022, 660L, 2) után megtaláltuk a második olyan csillagot, ahol egy szubsztelláris tömegű objektum perturbálja a csillaga pulzációját. A két rendszerben közös, hogy a kísérők körpályán keringenek (így az excentricitástól várható árapály-gerjesztett pulzációk nem lépnek fel), valamint, hogy a csillag forgástengelye és a bolygó keringési síkjának normálisa egymásra közel merőlegesek. Valószínűsíthető tehát, hogy



**1. ábra.** A HD 31221 TESS fénygörbéje (felső panel, narancssárga) a kísérő keringési periódusával fázisba tekerve. A legjobban illeszkedő modell (felső és középső panel, piros) meghatározásához eltávolítottuk a pulzációt a fénygörbéről (felső és középső panel, kék). A középső panelen a HD 31221 okkultációja látható kinagyítva, továbbá itt látszik a reflexiós effektus, a Doppler-nyalábolás és az ellipszoidális effektus is. [Forrás: Kálmán et al., közlésre beküldve]

a keringési pálya ilyen konfigurációja tehető felelőssé a csillagpulzáció detektált perturbációjáért mindkét esetben.

Ebben a félévben foglalkoztam továbbá a korábban beküldött két cikk (Szabó, Kálmán et al.: Sub-Jovian desert of exoplanets at its boundaries: Parameter dependence along the Main Sequence, 2023, A&A, közlésre elfogadva és Kálmán et al.: Converting the sub-Jovian desert of exoplanets to a savanna with TESS, PLATO and Ariel, 2023, MNRAS, közlésre beküldve) bírálataira adott válaszokkal is. Az első cikkben az exobolygók mérete és a csillaguk különböző paraméterei (méret, kémiai összetétel stb.) között kerestünk összefüggéseket, különös tekintettel a periódus-sugár paramétertér azon régiójára, ahol a Földnél nagyobb, de Jupiternél kisebb méretű exobolygók helyezked(né)nek el,  $\sim 3$  napnál kisebb keringési periódussal (szubjupiter-sivatag). Megállapítottuk, hogy a csillagok besugárzása által indukált fotoevaporációnak alapvető szerepe van a sivatag kialakulásában, összhangban a korábbi eredményekkel (Szabó & Kálmán, 2019, MNRAS, 485L, 116). A második cikk néhány kiszemelt, a szubjupiter-sivatag szemponjtából jelentős exobolygó (LTT 9779 b, TOI-674 b és WASP-156 b) TESS fotometriájának analízisét, valamint az Ariel és PLATO űrtávcsövekhez készített szimulációkat és szimulációs algoritmusokat mutatja be. Azt találtuk, hogy a jövőbeni űrtávcsövekkel elérhető pontossággal detektálhatóvá válik ezen bolygók esetén a légkörük elvesztésének folyamata. Amennyiben valamilyen tömegvesztést detektálunk majd ezeknél a planétáknál, úgy megfigyelésileg is igazolhatóvá válik, hogy a fotoevaporáció az a tényező, amely a szubjupiter-sivatag formálódásában részt vesz.

A harmadik szemeszterben beléptem a CHEOPS (CHaracterizing ExOPlanets Satellite) űrtávcső tudományos csapatába. Ezáltal hozzáférésem van az exobolygók fotometriájával foglalkozó űrtávcső a nyilvánosság számára még nem publikus adatbázisához, ugyanakkor a jövőbeni mérések tervezéséből is kivehetem a részem. Elsődleges célom az exobolygók holdjainak (röviden exoholdaknak) detektálási stratégiájának optimalizálása. Az eddig ismert exohold-jelöltek (Teachey & Kipping 2018, SciA, 4, 1784; Kipping et al., Natur, 6, 367) tapasztalata alapján a méréseket terhelő asztrofizikai és műszeres eredetű korrelált zajok megkülönböztetése a valóban exohold okozta tranzitjeltől rendkívül nehéz. A következő szemeszterben végzendő kutatómunkám jelentős részét ezen témakör tölti majd ki, az NVKDP ösztöndíjam kutatási tervében tett vállalásoknak megfelelően.

## Publikációk

A félév során közelésre elfogadott publikáció:

- Szabó, Gy. M., **Kálmán Sz.** et al.: Sub-Jovian desert of exoplanets at its boundaries: Parameter dependence along the Main Sequence, 2023, A&A

A félév során beküldött publikáció:

- **Kálmán Sz.** et al.: Discovery of a substellar companion in the TESS light curve of the  $\delta$  Scuti/ $\gamma$  Doradus hybrid pulsator HD 31221, A&A

A félév során revízió alatt lévő publikáció:

- **Kálmán Sz.** et al.: Converting the sub-Jovian desert of exoplanets to a savanna with TESS, PLATO and Ariel, 2023, MNRAS

## **Tanulmányi tevékenység**

- Fejezetek a többes csillag- és bolygórendszerek elméleti és megfigyelési kérdéseiből I. c. kurzus teljesítése (jeles)
- Az exobolygó kutatása c. kurzus

## **Oktatási tevékenység**

- Optika c. tárgy (kód: SEK-ff5t1s04lr, kollokvium) az ELTE SEK levelező tanárképzésben. A kurzus összesen 12 előadásból állt, amelyből 6 előadást tartottam.

## **Konferenciák, szemináriumok az adott félévben**

- Ariel Consortium Meeting, 2022. okt. 10–12., Bologna; előadó, előadás címe: Converting the sub-Jovian desert into a savanna

## **Folyamatban lévő ösztöndíjak**

- NVKDP-2021, 43 hónap