

Féléves beszámoló

4. félév beszámoló (2020/2021 II.)

Boldog Ádám (boldog.adam@csfk.org)

ELTE Fizika Doktori Iskola
Részecskefizika és csillagászat doktori program

Témavezető: Dr. Kiss L. László
CSFK főigazgató

Konzulens: Dobos Vera
Kapteyn Astronomical Institute – Marie Curie fellow

A dolgozat címe: **Habitability studies of exoplanets**

Bevezetés: A félév során a korábbiaktól eltérő módon vizsgáltam naprendszeren kívüli közetbolygók lakhatóságát. Kutatásom során a lakhatósági zónán belül keringő exobolygók belső szerkezetének modellezésével foglalkoztam. Ennek eredményeképp becslést tudtam adni az égitestek H₂O-tartalmára, valamint vasmagjuk méretére egyaránt. Belső szerkezetük mellett azon égitestek esetén, melyeknél az relevanciával bírt, a csillagtól származó árapályfűtési erőt is megbecsültem. Az ebből származó hőfluxus beviteli paraméterként szolgál majd a kutatás későbbi részeiben, melyben a bolygón lévő H₂O fázisállapotát kívánom megbecsülni.

Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése: A képzés első három félévében a TRAPPIST-1 bolygók mágneses tulajdonságainak megállapítására, valamint a nem termikus úton történő légkörszökés megbecslésére fókuszáltam kutatásom során. Ennek első lépéseként a hét bolygó mágneses dipólmomentumát számoltam ki a Badro et al. 2018.^[1] cikkben ismertetett dinamómechanizmust véve alapul. Ennek lényege, hogy a mágneses teret létrehozó dinamó hajtóereje a könnyebb elemek, elsősorban a MgO vasmagból való kiválás során generált felhajtóerő-fluxus, ahogyan ez a Föld korábbi szakaszában is zajlott. Mivel a könnyebb elemek kiválásának rátája a bolygó hűlésével változik, ahhoz, hogy a TRAPPIST-1 bolygókra megbecsülhessem ennek mértékét, a Virtual Planetary Laboratory^[2] kódot használva a bolygók termikus evolúcióját modelleztem. Ezt kombináltam a TRAPPIST-1 bolygók belső szerkezetét vizsgáló kutatásokkal^[3] a bolygók vasmag-méretének becsléséhez. A MgO-kiválásból származó felhajtóerő-fluxust használtam beviteli paraméternek a felszíni mágneses térerősség és a mágneses dipólmomentum megbecsléséhez.

A magnetoszféra nagyságának becsléséhez a TRAPPIST-1 csillagszélére a Dong et al. 2018.^[4] cikkben ismertetett értékeket használtam. Kiszámítottam a TRAPPIST-1 bolygókra a magnetoszféra kiterjedését leíró magnetospheric standoff distance-t, valamint a poláris sapka kiterjedését is. Ez utóbbi azt a régiót jelenti, ahol a mágneses erővonalak nyitottak; a nem termikus úton történő légkörszökés ezek mentén végbe mehet.

A kutatás későbbi szakaszában a nyitott erővonalak mentén történő ionszökést terveztem megbecsülni. Ehhez többféle nem termikus szökést számoló kódot is használtam, melyek a csillagszél-bolygóléggör kölcsönhatások során a planetáris mágneses térrel is kalkuláltak. Az egyik ilyen kód a BATS-R-US elnevezésű programcsomag, amely az SWMF (Space Weather

Modelling Framework) részét képezi. A kód bonyolult használata miatt, amely a többféle moduljának csatolásával állítja fel a kívánt szimulációs környezetet, a nyitott erővonalakon történő légkörszökés (poláris szél) modellezése nem sikerült. Mivel feltétlenül lényeges volt, hogy az általam számított mágneses dipólmomentumokat adjam meg kezdeti paraméterként, sajnálatos módon azonban épp az ezt lehetővé tévő modul (Polar Wind Module) csatolása nem sikerült. Ezután más kódokkal is próbálkoztam. Megkíséreltem a légkörszökés modellezését egy 2014-es cikkben^[5] ismertetett kóddal, mely a BATS-R-US-nál jóval egyszerűbb, 1D-s számolással becsüli meg a szökési rátát. A kód szerzőjével egyeztetve azonban utólag kiderült, hogy az 1D-s változat, amit megoszt velem, nem képes poláris szél modellezésére, ehhez újabb kódok csatolása szükséges, amihez azonban további segítséget nem nyújtott.

Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése: A légkörszökési ráta kiszámításának akadályai miatt ebben a félévben egy másik irányból láttam neki a kőzetbolygók lakhatóságának vizsgálatához. Kutatásom lényege a bolygók belső szerkezetének feltérképezése, H₂O-tartalmuk megbecslése. Ehhez először kiválasztottam célobjektumaimat – ehhez a Planetary Habitability Laboratory oldala nyújtott segítséget. Összesen 60 darab, lakhatósági zónán belül keringő, Föld-szuperföld méretű égitestből álló listát állítottam össze első körben. Ezek szükséges paramétereit az exoplanet.eu táblázataiból nyertem ki. A belső szerkezet modellezéséhez szükséges az égitestek sugarának és tömegének ismerete. A kiválasztott égitestek nagyrésze azonban ebből a kettőből csupán az egyikkel rendelkezett. Ahhoz, hogy megbecsüljem a hiányzó paraméter értékét, a Forecaster^[6] kódot használtam. A kód inputjaként tömeg- vagy sugáreloszlás szolgál (attól függően, melyik az ismert paraméter), amelyet a mért érték és hibahatárainak felhasználásával Gauss-generálással adtam meg. A Forecaster outputként empirikus összefüggésen alapuló módszerével a hiányzó paraméterre vonatkozó, sugár- vagy tömegeloszlást ad. A kód emellett a meglévő tömeg-sugár párok alapján klasszifikálja is az adott exobolygót, így lehetőségem nyílt azon égitestek kiszzelektálására is, melyek nagy valószínűséggel a mini-neptunusz kategóriába tartoznak. A klasszifikációnál a határ $2 M_{\text{Föld}}$ volt, az ennél nagyobb tömegű égitestek már mini-Neptunuszok. A vizsgálni kívánt objektumaim száma ezzel felére csökkent, innentől csak a Forecaster klasszifikációjában is kőzetbolygóként szereplő égitestekkel dolgoztam tovább. A Forecasterben generált eloszlás az ismert paraméter eloszlásával együtt szolgál inputként a belső szerkezetet modellező kód számára^[7].

A kód a bolygókat négyféle különböző rétegre felosztva modellezi. Ez a négy réteg a vasmag, a szilikátos köpeny, egy nagy nyomású jégréteg (HPP), valamint a felszíni jégréteg. Az égitest belső modelljét tehát ezek különböző aránya adja. A kutatás első lépéseként a TRAPPIST-1 bolygók belső szerkezetének reprodukálása volt a célom, melyhez útmutatóként a fent említett Barr et al 2018. cikk szolgált. A lehetséges belső szerkezetek modellezését követően célom a bolygók H₂O-tartalmának (HPP + felszíni jégréteg együttesen) megbecslése volt. Lévéen a beviteli tömeg valójában egy tömegeloszlás volt, első lépésként meghatároztam az átlagos H₂O-tartalmat egy adott tömegre vonatkozó belső szerkezetek esetén. Ezen átlagos értékek minimális és maximális értéke adta meg a bolygó lehetséges H₂O-tartalmára vonatkozó intervallumot. Kutatásom következő lépéseként hasonló eljárással tervezem megvizsgálni a többi lakhatósági zónán belül keringő kőzetbolygót is.

A belső szerkezetet modellező kód e mellett becslést ad a csillag által okozott árapályfűtésből származó hőfluxusra is. A kutatásom későbbi szakaszában célom kiszámítani, hogy a

bolygón, vagy annak belsejében található jégréteg képes-e megolvadni a csillag sugárzása, az árapály-fűtés, valamint a bolygó belsejében jelen lévő radioaktív elemek bomlásából származó hő hatására.

Publikációk: a képzés során még nem jelent meg referált publikációm, azonban elérhető egy konferenciaelőadásomhoz kapcsolódó kétoldalas, az eredményeket is bemutató absztraktom az EPSC-DPS 2019 konferenciakiadványában: *Boldog et al. 2019, Magnetospheric properties of the TRAPPIST-1 planets, EPSC-DPS Joint Meeting 2019, held 15-20 September 2019 in Geneva, Switzerland, id. EPSC-DPS2019-1403.* E mellett az EPSC2020 konferenciára készített online poszterem is elérhető: *Boldog et al. 2020, Non-thermal escape on magnetized planets in the TRAPPIST-1 system, 14th Europlanet Science Congress 2020, held virtually, 21 September 2020 - 9 October, 2020. id. EPSC2020-702.*

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben: A félév során elvégeztem a Fejezetek a többes csillag-és bolygórendszerek elméleti és megfigyelési kérdéseiből II. (azonosító: FIZ/2/100E) kurzust, mellyel 6 kreditet teljesítettem.

Konferenciák a képzés alatt:

Extreme Solar Systems IV Conference, Reykjavík, Izland, 2019. aug. 19-23.: poszter
EPSC-DPS Joint Meeting, Geneva, Switzerland, 2019. szept. 15-20.: előadás
Exoplanet Vision 2050, CSFK Csillagászati Intézet, Budapest, 2019. nov. 20-21.: előadás
TRAPPIST-1 Conference, Liège, Belgium, 2019. június 11-14.: poszter
EPSC 2020, online, 2020. szept. 21.-okt. 9.: online poszter
Exoplanets III, online, 2020. júl. 27-31.
THAI (TRAPPIST Habitable Atmosphere Intercomparison) Workshop, online, 2020. szept. 14-16.

Szakmai közéleti tevékenység:

Segédkeztem az IOAA 2019 Nemzetközi Csillagászati és Asztrofizikai Olimpia szervezésében, illetve részt vettem annak távcsöves éjszakai fordulójának felügyeletében.

Segédkeztem a Konkoly Intézetben szervezett Exoplanet Vision 2050 workshop lebonyolításában.

Ismeretterjesztő cikket írtam a Fizikai Szemlébe *A Kepler-misszió* címmel (Fizikai Szemle 69/7-8 260-267), valamint a Galaktikába *A 2019-es Fizikai Nobel-díj* címmel. Tagja vagyok az ESO-fordítók magyar csapatának, melynek kapcsán idén két cikket fordítottam le magyarra.

Csillagászati és csillagásztörténeti előadásokat tartottam a Svábhegyi Csillagvizsgálóban. A Svábhegyi Csillagvizsgáló oldalán 5 ismeretterjesztő cikkem jelent meg (*A sikeres rakétaindítás receptje, Jubileum a világűrben – 30 éves a Hubble!, A Hubble „leggyönyörűbb csillagai” – válogatás a Hubble űrtávcső felfedezéseiből, A kincs a szivárvány végén – a Hubble színei, A Földtől az Univerzum pereméig – 45 éves az Európai Űrügynökség,*).

Ismeretterjesztő előadásokat tartottam élőben a CSI normafai telephelyén, majd a korlátozások bevezetése után online formában. Szintén a Svábhegyi Csillagvizsgáló égisze alatt csillagászati témájú, oktató jellegű programokat dolgoztam ki gyerekek számára. Csillagászati ismeretterjesztő beszélgetéseket folytattam több médiafelületen (M1, M2, M5, RTL, Kossuth rádió, Info rádió...).

Az MCC Fiatal Tehetség Programjának keretén belül 6. osztályosoknak tartottam csillagászati kurzust, valamint egy másik, a távcsövek működését lézeres kísérletekkel bemutató kurzust.

Referenciák:

- ^[1]Badro et al. 2018, Magnesium Partitioning Between Earth's Mantle and Core and its Potential to Drive an Early Exsolution Geodynamo, *Geophysical Research Letters*, Vol. 45, Issue 24, p. 13 240-13 248
- ^[2]Barnes et al. 2020, VPlanet: The Virtual Planet Simulator, *PASP*, Vol. 132, Nr. 1008
- ^[3]Dobos et al. 2019, Tidal heating and the habitability of the TRAPPIST-1 exoplanets, *A&A*, Vol.624, id.A2, 5 pp.
- ^[4]Dong et al. 2018, Atmospheric escape from the TRAPPIST-1 planets and implications for habitability, *PNAS*, Vol. 115. 260-265
- ^[5]Varney et al, 2014, Heating of the sunlit polar cap ionosphere by reflected photoelectrons, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 8660– 8684
- ^[6]Chen and Kipping 2017, Probabilistic Forecasting of the Masses and Radii of Other Worlds, *ApJ*, Vol. 834, Nr.1
- ^[7]Barr et al. 2018. Interior structures and tidal heating in the TRAPPIST-1 planets, *A&A*, Vol. 613, id.A37, 13 pp.