

IV.félévi beszámoló

Takácsné Farkas Anikó (farkast.aniko@gmail.com)

Részecskefizika és Csillagászat PhD

Témavezető: Kiss Csaba

Hőtermelő kémiai folyamatok bolygócsírákban

Bevezetés

Kutatómunkám végső célja a bolygócsírákban lezajló hőtermelő folyamatok vizsgálata, és a belső szerkezet meghatározása. Ehhez kulcsfontosságú ismerni a vizsgált égitest fizikai paramétereit, legfőképpen a méretet és a sűrűséget.

Kutatásom a Neptunuszon túli égitesteket célozza, amelyek vizsgálata igen nehéz mivel nagy távolságuk miatt nagyon halványak illetve pontszerűnek látszanak a felvételeken. Így fizikai tulajdonságuk meghatározásához nem elegendő csupán egy mérési sávban megfigyelni őket. A méret meghatározására több módszer is rendelkezésünkre áll: i. Direkt módszer vagyis a felbontott képalkotás csak igen kevés égitest esetén lehetséges. ii. Csillagfedéssel is pontos méretet lehet megadni, azonban ezek az események nagyon ritkák, és nehéz előrejelezni. iii. Radiometriai módszer során az adott objektumok infravörös és látható tartománybeli méréseinek kombinálásával meg lehet határozni a méretét, albedóját és további tulajdonságokat (mint például a hőtehetetlenség és a felszín porózussága). A Neptunuszon túli égitestek felszíne igen hideg (40-50 K) ezért távoli infravörösben sugározzák vissza az energiát, ebben a tartományban azonban a földi megfigyelés nem lehetséges a légkör átlátszatlansága miatt, így űrtávcsövek szükségesek az észleléshez.

A Herschel-űrtávcső – "TNOs are Cool! A Survey of the trans-Neptunian region" – nyitott kulcsprogramja volt a közelmúlt egyik legnagyobb kutatása, amely a Neptunuszon túli égitesteket célozta. A program során közel 400 óra mérési idő alatt mintegy 140 égitestet sikerült megfigyelni távoli-infravörös hullámhosszakon. A mérések elsődleges célja volt minél több objektumra meghatározni a méretet és az albedót. Még Msc tanulmányaim során kapcsolódtam be ebbe a munkába és tovább gyarapítottam ismereteinket az elmúlt félévek során is.

Kutatómunka

Korábbi kutatási eredményeim

1. Az elmúlt félévek során folytattam az Msc tézisemben végzett munkámat és véglegesítettem a Neptunuszon túli rezonáns, lecsatolódtott és szórt korong égitestek távoli-infravörös méréseken alapuló méret és albedó adatbázisát újra meghatározott fizikai paraméterekkel, összesen 68 (ebből 23 új) objektumra.
2. Foglalkoztam az 2007 OR10 holdjának vizsgálatával, ami azért fontos a témám szempontjából, mert a fő fizikai tulajdonságok megismerése a kettős rendszerekben lehetséges, ugyanis ha ismerjük az adott égitestek átmérőit, akkor megbízható közelítést lehet adni az átlagos sűrűsége, amiből a kialakulásra, illetve a belső szerkezetre lehet következtetni.

3. Uránusz irreguláris holdjainak vizsgálata: az irreguláris holdak feltehetően befogott planetezimálok, amelyeket az anyabolygók a bolygókeletkezés utolsó fázisában foghattak be. Ezáltal fizikai és kémiai tulajdonságaiknak ismerete információval tud szolgálni az eredetükről és a fejlődésükről, valamint a korai Naprendszeréről.
4. Small Bodies: Near and Far (SBNAF): Az elmúlt időszakban az SBNAF program keretein belül is végeztem kutató munkát, amelynek eredményei szorosan kapcsolódnak fő témámhoz, hiszen a Naprendszerben található kis égitestek fizikai paramétereit határoztuk meg különféle módszerekkel.

Neptunuszon túli rezonáns égitestek

A Herschel "TNOs are Cool!" nyitott kulcsprogramjának keretein belül a PACS műszer 70, 100 és 160 μm -es hullámhossztartományon végzett megfigyeléseit használtam fel a még nem publikált rezonáns, lecsatolódt és szórt korong objektumok esetében. A Herschel fluxusokat 5 esetben kombináltam a Spitzer MIPS műszerével készített megfigyelésekből származó fluxusokkal valamint minden esetben optikai mérésekkel kiegészítve, majd a Near-Earth Asteroid Thermal Model (NEATM [2]) segítségével meghatároztam az égitestek méretét, albedóját és a felszíni tulajdonságokat leíró ún. infravörös nyálábparamétert (η).

Összegyűjtöttem a teljes Herschel TNO mintát és elvégeztem egy analízist az átlagos albedó és a méret kapcsolatáról.

Az összegyűjtött mintából kiválogattam azokat amelyekre az irodalomban lehetett találni többsávú látható tartománybeli fotometriát, majd a [5]-féle osztályozás alapján a Kentaurok és a Plutínók esetében két csoportra (sötét-szürke (DN), illetve fényes-vörös (BR)) osztottam az objektumokat. Az eredményekből látható, hogy a külső rezonánsok esetében nem lehet jól használni az átlagos albedót a méret meghatározásához, szemben a Kentaurok BR csoportjával, ahol a legjobb a korreláció az átlagos albedóból számolt és a radiometriai módszeren alapuló méretek között.

Az Uránusz irreguláris holdjainak jellemzése a K2, Herschel és a Spitzer megfigyelések alapján

Farkas-Takács, A.; Kiss, Cs.; Pál, A.; ... "Properties of the Irregular Satellite System around Uranus Inferred from K2, Herschel, and Spitzer Observations", *The Astronomical Journal*, 154, pp. 119, (2017)

Ebben a munkában az Uránusz irreguláris holdjainak – Sycorax, Caliban, Prospero, Ferdinand és Setebos – jellemzésével foglalkoztam a K2, Herschel és a Spitzer megfigyelések alapján. A Kepler űrtávcső K2 missziójának keretein belül készült felvételek illetve a Piszkéstetői 1m-es távcsővel Sloan r' szűrőn keresztül készült felvételek (a Sycorax esetében) alapján meghatároztuk az Uránusz irreguláris holdjainak látható tartománybeli fénygörbét. Ezen felül felhasználtuk a Herschel és a Spitzer űrtávcső infravörös mérésekből származó fluxusokat, hogy NEATM modellel meghatározzuk a méretét, albedóját és a felszíni tulajdonságokat leíró ún. infravörös nyálábparaméterét (η) az adott objektumoknak. A Caliban esetében az $p_v = 0.22_{-0.12}^{+0.20}$, ez szokatlanul magas a korábban ismert irreguláris holdak között valamint a Sycorax esetében pedig a legjobban illeszkedő η értéke igen közel van a Kentaurok és a Neptunuszon túli égitestek η -jának mediánjához. Végül összehasonlítottuk az óriásbolygók irreguláris holdjainak forgási tulajdonságait, valamint felszínük jellemzőit (albedók és színek).

Az óriásbolygók irreguláris holdjainak forgási periódusait összehasonlítva, azt látjuk, hogy az Uránusz rendszerében a forgási frekvenciák átlagosan lényegesen nagyobbak, mint a többi óriásbolygó

rendszerében, ez egy a többitől eltérő ütközési fejlődést feltételez.

Valamint az Uránusz irreguláris holdjai, a Sycorax és a Caliban a reguláris holdakkal együtt a fényes vörös (BR) régióban találhatóak, ami különleges jellemző a többi óriásbolygó irreguláris holdjaihoz képest, és valószínűleg keletkezésbeli eltérésre utal.

A IV. félévben végzett kutatási eredményeim

A Makemake termális emissziójának vizsgálata

A Makemake egyike azon Kuiper-övi objektumoknak amelyek hivatalosan is törpebolygók, okkultációs mérések alapján ismert, hogy fényes felszínnel rendelkezik, albedója $\gtrsim 80\%$ [8][1]. A Makemake termális sugárzásának vizsgálata korábban már megtörtént a Spitzer űrtávcső MIPS kamerájával (24 és $71\ \mu\text{m}$), a Herschel űrtávcső PACS- és SPIRE eszközeivel (70, 100, 160, 250, 350 és $500\ \mu\text{m}$) valamint az ALMA-val submm-es tartományban [9][4][6]. Ezen mérések alapján a termális emissziót nem lehet egyetlen objektum egyetlen felszínéhez illeszteni. A magas 24 és $71\ \mu\text{m}$ -es fluxus egy sötét komponens jelenlétét mutatja akár a Makemake felszínén, akár egy külső forrásról (mint például egy sötét hold). Azonban ezek a sötét területek sem tudják teljesen megmagyarázni a megfigyelt fluxus sűrűségeket.

Az elmúlt félév során a Spitzer/MIPS és a Herschel/PACS mérések részleges újraértékelésén dolgoztam a feldolgozó pipeline legújabb verziójával valamint felhasználtam a még nem publikált Spitzer/MIPS és Herschel/PACS méréseket is. A termális emisszió modellezésénél figyelembe vettem a Makemake forgását, lehetséges alakját, forgástengelyének irányát, tömegét valamint az ismert és feltételezett holdak hozzájárulását. Az új kiértékeléssel kapott fluxussűrűségek jelentősen alacsonyabbak a rövidebb (elsősorban $70\ \mu\text{m}$) hullámhosszakon, így a termális modellek kompatibilisek akár egy egykomponensű, homogén felszínnel is, ami jobban illeszkedik az illó anyag transzportot leíró modellekhez, illetve a megfigyelt nagyon nagy, 80% feletti átlagos albedóhoz. Ezzel a munkával az EPSC-DPS 2019-es konferenciára jelentkeztem előadásra (Genf, 2019 szeptember).

Neptunuszon túli rezonáns égitestek

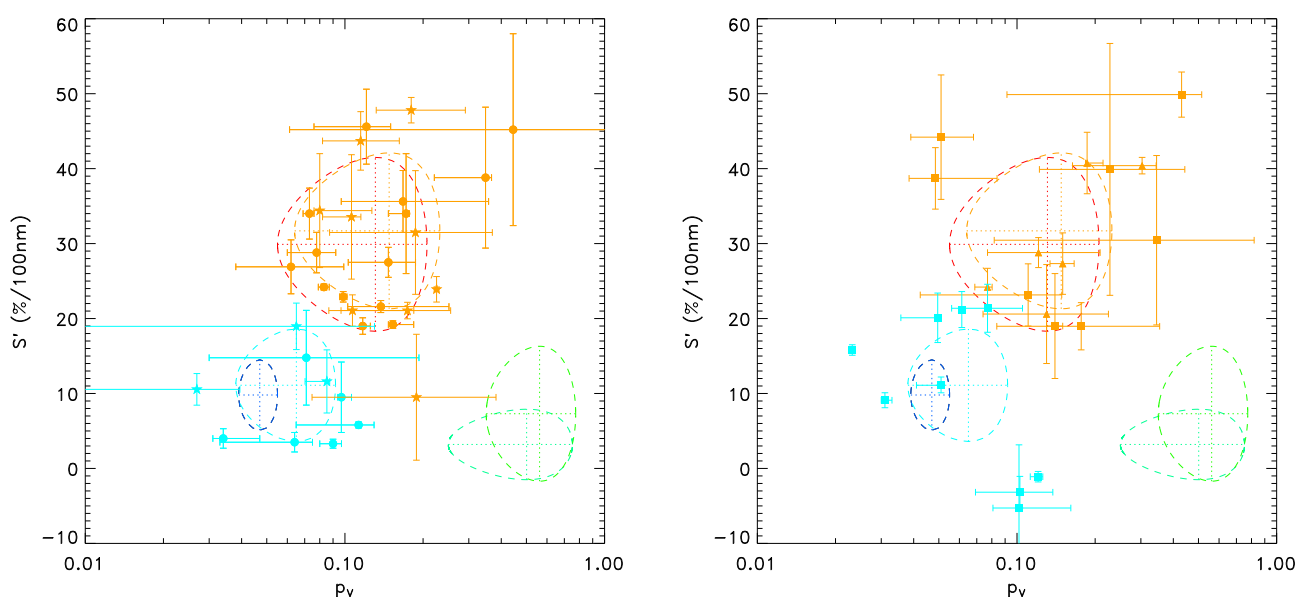
A. Farkas-Takács; Cs. Kiss; E. Vilenius; ... "TNOs are Cool! A Survey of the trans-Neptunian Region: XV. Physical characteristics of 23 resonant trans-Neptunian and scattering disk objects" társ szerzőknek kiküldve

Az elmúlt félévben kiegészítettem a rezonáns TNOk-ról szóló munkámat az alábbiakkal:

1. A [5]-féle szín-albedó cluster analízist újrafuttatuk a teljes mintára, ahol is a korábbi 3 csoport (dark-neutral (DN), bright-neutral (BR) és a bright-neutral (BN)) kirajzolódott, azonban ha csak a rezonáns vagy a szórt korong objektumait tekintjük, akkor látható, hogy azok szórása nagyobb a szín-albedó tekintetében.
2. Az albedó és átmérő kapcsolatát vizsgálva a teljes szórt korong és rezonáns mintára az látható, hogy hiányoznak a nagy méretű nagy albedójú objektumok a mintából és csak a kis méretekhez ($<100\ \text{km}$) tartoznak magasabb albedók.

Tanulmányi tevékenység

- FIZ/2/064E Haladó informatika a csillagászatban II.



1. ábra. Az ábrán az albedo-szín diagram látható kiemelve a rezonánsokat (bal), illetve a szórt korong objektumokat (jobb). A szaggatott vonalak jelölik a csoportok 1σ kontúrjait. piros – BR csoport, az eredeti mintára [5]; narancs – BR csoport a teljes minta figyelembevételével; sötét kék – DN csoport az eredeti mintára; világos piros – DN csoport a teljes mintára; zöld – BN group, csoport az eredeti mintára; világos zöld – BN csoport a teljes mintára. A teli karika és a csillag jelölik a plutinokat és más rezonáns objektumokat. A teli négyzet és a háromszög jelöli a szórt korong és a lecsatolódtott objektumokat.

Egyéb szakmai tevékenység

- XXVIII Canary Islands Winter School on Astrophysics (2016) téli iskola, amelynek témája: “Solar System Exploration”, Poszter: Farkas, A. T.; Kiss, C.; Mueller, T. G. et al.: Properties of resonant trans-Neptunian objects based on Herschel Space Observatory data
- Thermops III (2019.02.20-22., Budapest) szervezés, LOC tag
- Csillagászati alaptanfolyam (2018): előadás, 2 x 45 p
- Bevezetés a csillagászatba III. (2018): előadás, 2 x 45 p
- Ignác Bernadett TDK és Szakdolgozat témavezetése: Neptunuszon túli törpebolygók hold- és gyűrűrendszereinek vizsgálata

PhD képzés ideje alatt megjelent publikációk

1. Kóspál, Á.; Ábrahám, P.; Acosta-Pulido, J. A. ... **Farkas, A.**; ..., Multi-wavelength study of the low-luminosity outbursting young star HBC 722, 2016, A&A, 596, 52K
2. Kiss, Csaba; Marton, Gábor; **Farkas-Takács, Anikó**; ..., Discovery of a Satellite of the Large Trans-Neptunian Object (225088) 2007 OR_{10} : 2017, ApJ Letters, 838, 1K
3. Ortiz, J. L.; Santos-Sanz, P.; Sicardy, B.; ..., **Takácsné Farkas, A.**; ... "The size, shape, density and ring of the dwarf planet Haumea from a stellar occultation", Nature, 550, pp. 219-223, (2017)

4. **Farkas-Takács, A.**; Kiss, Cs.; Pál, A.; ... "Properties of the Irregular Satellite System around Uranus Inferred from K2, Herschel, and Spitzer Observations", *The Astronomical Journal*,154, pp. 119, (2017)
5. Müller, T. G.; Marciniak, A.; Kiss, Cs.; ... **Takácsné Farkas, A.** ..., "Small Bodies Near and Far (SBNAF): A benchmark study on physical and thermal properties of small bodies in the Solar System", *Advances in Space Research*,62, pp. 2326-2341, (2018)
6. Ábrahám, P.; Kóspál, Á.; Kun, M.; ...**Farkas-Takács, A.**; ... "An UXor among FUors: Extinction-related Brightness Variations of the Young Eruptive Star V582 Aur", *The Astrophysical Journal*,853, pp. 28, (2018)
7. Müller, T.; Kiss, Cs.; Ali-Lagoa, V.; ... **Farkas-Takacs, A.**; és mások, 2018, Haumea's thermal emission revisited in the light of the occultation results, *Icarus*, közlésre elfogadva (arXiv:1811.09476)

Korábban megjelent publikációk

1. Vinkó, J.; Sárnecky, K.; Takács, ... **Farkas, A.**, et al., Testing supernovae Ia distance measurement methods with SN 2011fe, 2012, *A&A*, 546, A12
2. Kóspál, Á.; Ábrahám, P.; Acosta-Pulido, J. A.; ... **Farkas, A.**, et al., Exploring the circumstellar environment of the young eruptive star V2492 Cygni, 2013, *A&A*, 551, A62
3. Kiss, C.; Pál, A.; **Farkas-Takács, A. I.**, et al., Nereid from space: rotation, size and shape analysis from K2, Herschel and Spitzer observations, 2016, *MNRAS*, 457, 2908
4. **Takácsné Farkas Anikó**, Kiss Csaba: Felszín alatti vizek naprendszerbeli égitestekben, *Fizikai Szemle*, 2016 február

Előkészületben lévő cikkek

1. **A. Farkas-Takács**; Cs. Kiss; et al., TNOs are Cool! A Survey of the trans-Neptunian Region: XV. Physical characteristics of 23 resonant trans-Neptunian and scattering disk objects, *Astronomy & Astrophysics*, beküldés előtt (társszerzőknek kiküldve)
2. **A. Farkas-Takács**; Cs. Kiss; et al., The thermal emission of Makemake reconsidered, *Astronomy & Astrophysics*, előkészületben
3. Kiss, Cs., ... **Farkas-Takács, A.**, et al., K2 light curves of ten Centaurs, *MNRAS*, beküldve
4. Szakács, R, ..., **Farkas-Takács, A.**, et al., 'Small Bodies: Near and Far' database for thermal infrared observations of Solar System small bodies *Experimental Astronomy*, előkészületben
5. Szakács, R, ..., **Farkas-Takács, A.**, et al., Serendipitous Herschel/PACS observations of bright main belt asteroids, *Astronomy & Astrophysics*, előkészületben

Előadások konferenciákon

- Properties of resonant trans-Neptunian objects based on Herschel Space Observatory data, **Farkas, A. T.**; Kiss, C.; Mueller, T. G. et al., 2016, DPS 4811306F (előadás)
- **Anikó Farkas-Takács**, Csaba Kiss, Esa Vilenius, Properties of Resonant Trans-Neptunian Objects Based on Herschel Space Observatory Data, TherMoPS III Workshop, 2019.02.20-22, Budapest

Részvétel társszerzőként egyéb konferenciaelőadásokban

- Physical characteristics of Centaurs and trans-Neptunian objects from combined K2 and Herschel observations, Kiss, Csaba; Pal, Andras; **Farkas Anikó, Takácsné** et al., 2016, DPS 4810602K
- Small Bodies: Near and Far (SBNFAF), Duffard, Rene; Mueller, Thomas G.; ...; **Farkas Aniko, Takácsné**, 2016, DPS 4832608D
- Parker, Alex; Buie, Marc W.; Grundy, Will; ... **Farkas-Takács, Aniko I.**, "The Mass, Density, and Figure of the Kuiper Belt Dwarf Planet Makemake", AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstract pp. 509.0 (2018)
- Lagoa, Victor M. Ali; Müller, Thomas G.; Marciniak, Anna; ... **Takácsné-Farkas, Aniko** ... "Thermal properties of large main belt asteroids derived from Herschel PACS data", AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstract pp. 408.01, (2018)
- Kiss, Csaba; Marton, Gábor; Parker, Alex; ... **Farkas-Takács, Aniko I.**; ... "The mass and density of the dwarf planet 2007 OR10", AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstract pp. 311.0 (2018)
- Kiss, Csaba; Kospal, Agnes; Moor, Attila; ..., **Farkas-Takács, Anikó**; ... "Spatially resolved thermal emission of the Eris-Dysnomia system", AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts #49, pp. 504.10, (2017)
- Marton, Gabor; Kiss, Csaba; **Farkas-Takács, Anikó** ... "Search for signatures of extended emission around dwarf planets on Hubble Space Telescope archival images", AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts #49, pp. 216.05, (2017)
- Müller, T.; Marciniak, A.; Kiss, C.; Duffard, ... **Takacsne Farkas, A.** ..., "Small Bodies Near and Far (SBNFAF): Characterization of asteroids and TNOs", European Planetary Science Congress pp. EPSC2017-474, (2017)

Hivatkozások

- [1] Brown, M.E., 2013, ApJL, 767, L7
- [2] Harris, 1998, Icar, 131, 291
- [3] Lacerda, P., Fornasier, S., Lellouch, E., et al., 2014, ApJL, 793, L2
- [4] Lellouch, E., Moreno, R., Müller, T., et al., 2017, A&A, 608, A45

- [5] Lacerda, P., Fornasier, S., Lellouch, E., et al., 2014, *ApJ*, 793, L2
- [6] Lim, T.L., Stansberry, J., Müller, T.G., et al., 2010, *A&A*, 518, L148
- [7] Müller, T. G. & Lagerros, J. S. V., 2002, *A&A*, 381, 324
- [8] Ortiz, J.L., Sicardy, B., Braga-Ribas, F., et al., 2012, *Nature*, 491, 566
- [9] Stansberry, J., Grundy, W.M., Brown, M.E., et al., 2008, *Physical Properties of Kuiper Belt and Centaur Objects: Constraints from the Spitzer Space Telescope*, in: *The Solar System Beyond Neptune* (Tucson, AZ: Univ. Arizona Press), p. 161