

A bolygókeletkezés kezdeti körülményeinek tanulmányozása infravörös interferometria segítségével

Juhász Tímea
(IV. féléves beszámoló)

Részecskefizika és csillagászat doktori program

Témavezető: Dr. Ábrahám Péter

1. Tudományos háttér

A bolygórendszerek a fiatal csillagok körüli korongokban születnek, melyek élettartama hozzávetőleg 10 millió év. Ezalatt a viszonylag rövid idő alatt a porszemcsék növekednek és összetapadnak, egyesekből bolygók születnek, a korong egy részét pedig a központi csillag akkretálja. Végül a protoplanetáris korong szétszóródik. A korong és a bolygók fejlődésének pontos mechanizmusát azonban még mindig nem ismerjük.

A bolygókeletkezési régiók a központi csillagtól néhány CsE távolságra figyelhetők meg. Vizsgálatukhoz nagy felbontású megfigyelésekre van szükség (jellemzően néhány 0,01 ívmásodperc), melyek hosszú bázisvonalú, közép-infravörös interferometriával történnek. Ekkor kettő vagy több távcső fénynyalábjának kombinálásával kapjuk meg a térbeli információkat hordozó interferencia képet a forrásról, a felbontás pedig a távcsövek közötti távolsággal növelhető. Korábbi kutatásaim során a VLT MIDI és PIONIER műszerének méréseit használtam, mostanra azonban átvette a helyét egy újabb eszköz, a VLT MATISSE, amely még nagyobb felbontású képalkotást tesz lehetővé 3 és 13 μm között.

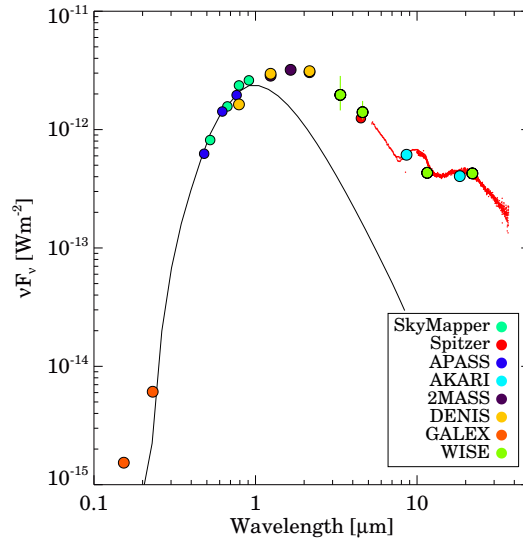
Munkám során a bolygókeletkezés korai stádiumának folyamatát szeretném mélyebben megismerni. Ez részben a protoplanetáris korongok térbeli struktúrájának feltérképezésével történik, mely magába foglalja annak a kérdésnek a megválaszolását is, hogy hogyan oszlanak el a korongban a porszemcsék kristályosságuk és szemcseméretük szempontjából. Kutatásom másik szerves része a protoplanetáris korongok időbeli változékonyságának vizsgálata, valamint annak felderítése, hogy ahol megfigyelhető jelentős fényességváltozás közép-infravörös tartományon, ott milyen fizikai folyamat állhat a változékonyság hátterében.

2. Korábbi kutatási eredmények

A doktori tanulmányaim első három félévében a Kaméleon csillagképben található DI Cha A fiatal, T Tauri típusú csillag protoplanetáris korongjának vizsgálatával foglalkoztam. Az ilyen típusú objektumok rendszerint kis tömegűek ($M < 2M_{\odot}$), és már elérték a csillagkeletkezésnek azt a

fázisát, amikor optikai tartományban is megfigyelhetőek, de még jelentős sugárzási többletet ad a körülöttük lévő protoplanetáris korong infravörös-, illetve rádiótartományban. Gyakran mutatnak időbeli változékonyságot is a sugárzásokban.

Kutatásom során egy átfogó tanulmányt készítettem a VLT MIDI és a VLT PIONIER interferometrikus mérései alapján, kiegészítve ezeket számos földi bázisú és űrfotometriai méréssel, valamint rövid és hosszú időskálájú fénygörbe mérésorozatokkal. A kutatás elvégzéséhez a fő motivációt Varga és mtsai. MIDI Atlas munkája (2018, A&A) szolgáltatta, mivel a DI Cha azon néhány objektum között szerepelt, melynek korongjában rést feltételeztek a megvizsgált 82 fiatal csillag körüli korong modellezése során. A munka első fázisaként fotometriai adatokat gyűjtöttem, és előállítottam a forrás spektrális energiaeloszlását 0,1 és 50 mikrométer között. Ennek eredménye az 1. ábrán látható.



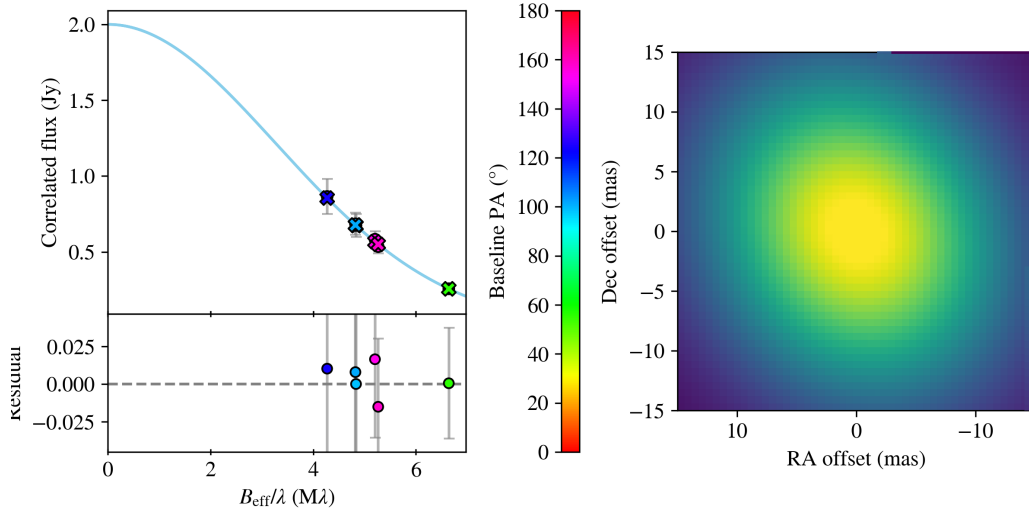
1. ábra. A DI Cha A spektrális energiaeloszlása. A fekete görbe a csillag vörösödéssel torzított feketetest spektrumát jelöli ($A_V = 2.1$ mag).

A spektrumelemzés elvégzése tovább fokozta a korongstruktúra részletesebb vizsgálatának szükségességét, hiszen a 2-4 mikrométeres tartományon megfigyelt közép-infravörös többletsugárzás minden valószínűség szerint egy csillaghoz közeli, forró korongkomponens jelenlétére utal.

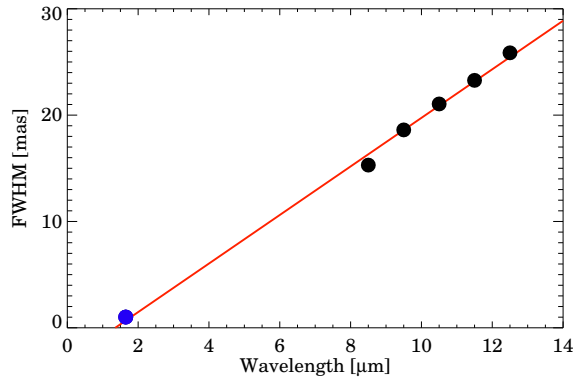
Mínt hogy a spektrumanalízis során felhasznált mérések nagyon eltérő epocháknál készültek, a belőlük előállított spektrális energiaeloszlás megbízhatóságának becslése időbeli változékonyság vizsgálatot igényelt. A rövid időskálájú változékonyság felmérésére a TESS és a Spitzer IRAC méréseit használtam. Az optikai tartományon készült TESS fénygörbékben nem találtam kimutatható változékonyságot, leszámítva a csillag 2,4 napos forgási periódusát. Az infravörös tartományon, az IRAC fénygörbéjében egy 6% körüli fényességváltozást tapasztaltam napos-hetes időskálán. A hosszú időskálájú változékonyság vizsgálata során az optikai tartományon készült ASAS fénygörbékben szintén nem találtam kimutatható változékonyságot, míg az infravörös WISE mérésorozat szintén egy 6-7% körüli változékonyságot mutatott.

A korong térbeli struktúrájának feltérképezése céljából elkészítettem a forrás geometriai modellezését, melynek alapja, hogy feltételezzük a korong fényességeloszlását. Az ilyen módon előállított

modellképből kiszámítható a modell vizibilitásfüggvénye, mely összevethető az interferometrikus mérésekből származó vizibilitás értékekkel. A mérésekre való minél jobb illeszkedést 10000 lépéses Monte Carlo ciklussal értem el. A feltételezett fényességeloszlás alapján kétféle modellt készítettem: egy Gauss-eloszláson alapulót, és egy hőmérsékletgradiencián alapuló modellt. A gaussi modell esetében az illesztett paraméter a korong félértékszélessége, inklinációja valamint pozíciósöge volt. A modellillesztést elvégeztem a PIONIER mérések 1.65 mikrométeres hullámhosszán, valamint a MIDI 8-13 mikrométeres mérési tartományán belül is több hullámhosszra. Az eredmények a 2. és a 3. ábrákon láthatóak.



2. ábra. A gaussi modellillesztés eredménye a MIDI adatokra 10.7 μm -en.

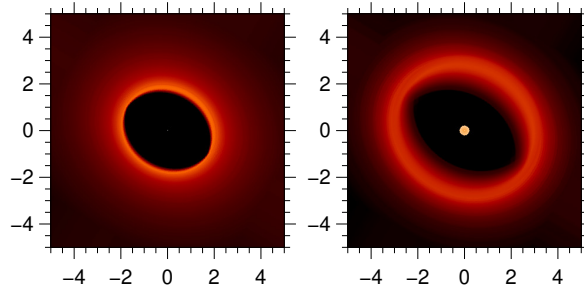


3. ábra. Az illesztett félértékszélességek hullámhosszfüggése.

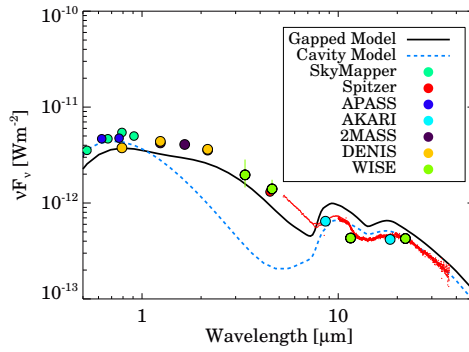
Az illesztett félértékszélességek hullámhosszfüggése alapján elmondható, hogy a korong hőmérsékletprofilja folytonos, a hőmérséklet monoton csökken a központi csillagtól távolodva. A 10,7 mikronon történt illesztés eredményeként a korong inklinációjára $29,54^{+4,36}_{-6,47}$ értéket kaptam, míg a pozíciósöge $30,7^{+6,7}_{-5,8}$ értékű lett, és minthogy ez az illesztés volt a legmegbízhatóbb, ezért ezeket a

helyzeti paramétereket használtam a későbbi modellező munkáim során. A hőmérsékletgradienciát feltételező modellem a közelmúltban lényegi változtatásokon esett át, így arról Az aktuális félév kutatási eredményei részben számolok be.

A korongban feltételezett rés részletes vizsgálatát a RADMC-3D radiatív transzferen alapuló modellező programcsomaggal végeztem el. Felépítettem kétféle korongstruktúrát a 4. ábrán látható térszerkezettel. Előállítva a struktúrák spektrális energiaeloszlását összevettem őket a korábban már taglalt fotometriai mérésekkel. A kapott eredmény, mely egyértelműen a réses, két komponensű modell jelenlétét támogatja, a 5. ábrán látható. Mindemellett a 4. ábrán látható modellképekből kiszámítottam a vizibilitásfüggvényüket és összehasonlítottam a kapott eredményt a MIDI vizibilitásaival. Hasonlóan, előállítottam a képeket 1,65 mikronon is, és a belőlük számított vizibilitásokat a PIONIER értékeihez hasonlítottam. A MIDI mérésekre való illeszkedést mindkét geometria produkálja, azonban a PIONIER vizibilitásaira való illeszkedés szintén a réses modell létezését támogatja. A radiatív transzfer modellezés során a korongban található szemcsék méreteloszlására és anyag összetételére is kvantitatív becslést tettem.



4. ábra. Balra: Az egykomponensű modell képe 10,7 mikrométeren. A korong belső sugara 2 CsE. Jobbra: A kétkomponensű modell képe 10,7 mikrométeren. A belső komponens 0,19 és 0,21 CsE között található, a külső komponens 3 CsE-től kezdődően.



5. ábra. Fekete görbe: a réses, kétkomponensű modell spektruma. Kék szaggatott görbe: az egykomponensű modell spektruma.

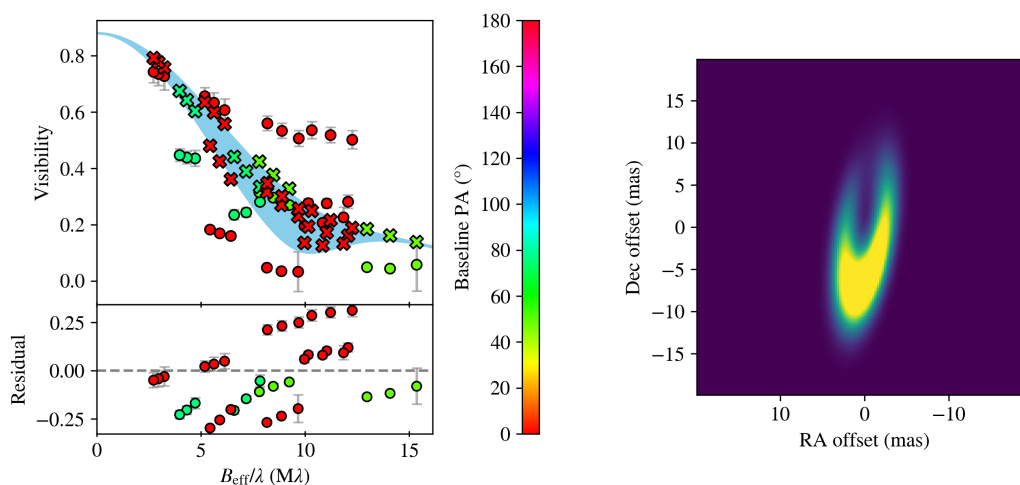
A tanulmányból készült cikket az Astronomy & Astrophysics lapnak 2021. augusztus 31-én küldtem be. Szintén ehhez a munkához kapcsolódóan távcsöidő pályázatot

nyújtottam be a VLTI MATISSE-ra, mely azóta pozitív elbírálásban részesült, és az új, nagyobb felbontású interferometrikus méréseknek hamarosan birtokában leszek.

3. Az aktuális félév kutatási eredményei

Az aktuális félévben részben a DI Cha A kutatásából készült publikáció finomításán dolgoztam. A kapott bírálói visszajelzés összességében pozitív volt, emellett számos hasznos tanácsot is tartalmazott. A cikkben eszközölt legnagyobb változás a hőmérsékletgradiens modell cseréje volt. Míg korábban egy-egy külön modell készült a PIONIER és a MIDI adatokra, most a kód továbbfejlesztésével itt is egy réses modellt alkalmaztam, melynek köszönhetően szimultán illeszthetem meg a két műszer méréseit. A külső korong 2,78 CsE-nél kezdődik, mely hibahatáron belül konzisztens a radiatív transzfer modelltől kapott eredménnyel, a belső komponens azonban már 0,1 CsE-nél kezdődik ebben a modellben. Ez az érték kisebb mint a szublimációs sugár, így felvetődött, hogy a korongban refraktorikus részecskék lehetnek jelen, melyek extrém hőálló képességgel rendelkeznek. Az új MATISSE mérések modellezése során már ezzel a lehetőséggel is számolni fogok. Mindezekkel együtt a cikk legújabb formáját és válaszomat a bírálóknak már megküldtem a lap felé.

Emellett egy új kutatást, a HD 104237 (DX Cha) spektroszkópia kettős vizsgálatát kezdtem meg az utóbbi félévben. A kettős egy Herbig A4V típusú és egy K3 típusú forrásból áll, melyek szeparációja 0.22 CsE, periódusok kb. 20 nap. A kutatásom a VLTI MATISSE mérésein alapul, melyekre az ESO Consortium-mal való együttműködésünkből tettem szert. A modellező munka során szintén egy továbbfejlesztett változatot használok, mely az aszimmetriák észlelésére is képes. Az illesztés eredménye a 6. ábrán látható. A korongra kapott inklináció $72, 54^{\circ+0,6}_{-20,13}$, a pozíciószög $171, 7^{\circ+3,2}_{-44,4}$.



6. ábra. A DX Cha modellezésének eredménye a MATISSE adatokra.

4. Tanulmányi és oktatási tevékenység a félévben

- Az Asztrosztatisztika I. és a Csillagaktivitás - aktív csillagok I. tárgyakat sikeresen teljesítettem.

- A Csillagászati észlelési gyakorlatok 2. gyakorlatvezetője voltam. A tárgysorozat tovább oktatására vonatkozó szándékomat már jeleztem a tantárgy felelőse felé.

5. Pályázatok és konferenciák

- A múlt félévben beküldött VLTI MATISSE távcsőidő pályázatom pozitív elbírálásban részesült (PI: Tímea Juhász, ID: 108.22KE).
- 2020. szeptember 1. és 2021. augusztus 31. között ÚNKP ösztöndíjban részesültem. A program zárókonferenciáján sikeresen bemutattam az elkészült kutatásom eredményeit.
- ICDDPF 2022: 16. International Conference on Disc Dynamics and Planet Formation, Budapest, 2022. augusztus 30-31, tervezett konferenciárészvétel

6. Publikációk

- Varga, J.; Gerják, T.; Ábrahám, P.; Chen, L.; Gabányi, K.; Kóspál, Á., (Gerják Tímea néven a szerzőlistában)
Dust evolution in the circumstellar disc of the unclassified B[e] star HD 50138, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 485, Issue 3, p.3112-3123
- Juhász T.; Ábrahám, P.; Moór A.; Chen, L.; Kóspál, Á.; Varga J.; Regály Zs.; Zsidi G.; Pál A.
An infrared interferometric study of DI Cha A, 2021. augusztus 31-én lett beküldve az A&A folyóiratnak, 2021. november 31-én elküldtem válaszaimat a bírálói véleményre
- Juhász T.; Ábrahám, P.; Varga J.; Kóspál, Á.; Chen, L.; Moór A.
Surveying the disk structure of DX Cha using VLTI MATISSE interferometric observations, az előkészítési fázisban van, várhatóan a következő szemeszterben kerül beküldésre