

Fizika Doktori Iskola féléves beszámoló

2016-2017/II. félév

Név: Dencs Zoltán

Neptun kód: A169IQ

Doktori program: Részecskefizika és csillagászat

Témavezető: Dr. Regály Zsolt

Az előző féléves munkám során csillag körüli törmelékkorongba ágyazott óriásbolygók és a korongokban található planetezimálok közötti gravitációs kölcsönhatást vizsgáltam a HIPERION direkt N-test kóddal, különös tekintettel a bolygópályán belüli régiókra. A planetezimálok eloszlását követő porszemcsék sugárzása révén képet alkothatunk a törmelékkorongokban létrejövő alakzatokról. A termikus sugárzás modellezésével (Dustmap) sikerült meghatározni a korongokban kialakult kiürített zónák méretének (δa_{cav}) és alakjának (e_{cav}) változását a bolygótömeg (M_{pl}), illetve a bolygópálya excentricitásának (e_{pl}) függvényében. Az ALMA OST szintetikus képeken a zónahatárokra illesztett ellipszisek jellemzői alapján megbecsülhető a bolygók utóbbi két tulajdonsága. Az óriásbolygó megfelelően nagy számú csillag körüli keringési periódusa (T_{pl}) után már nem változik számottevően sem a planetezimálok száma, sem δa_{cav} mennyiség. Azonban a zónahatár alakja egyetlen keringés során is folyamatosan változik. Munkám folytatásaként a II. félévben ennek a jelenségnek a vizsgálatával foglalkoztam.

A jelenség vizsgálatához minden korongmodellben egy adott keringést kiválasztva a bolygó negyven különböző pályamenti pozíciójában gyártottam képeket a planetezimálok eloszlásáról, amelyek alapján megállapítható, hogy a zónahatárra illesztett ellipszis adott periódusban (T_e) elfordul a bolygóval. Amennyiben $e_{pl} \leq 0,2$, a bolygó keringési és az ellipszis forgási periódusa megegyező. Az $e_{pl} \geq 0,3$ eseteknél $1/2T_e = T_{pl}$. A jelenség háttérében azok a porszemcsék állnak, amelyek a bolygóval középmozgás-rezonanciában keringenek és a kiürített zónán belül, vagy közvetlenül a zónahatár mentén csapdázódtak. Ha ezek a rezonáns szigetek elegendően populáltak, akkor a porszemcsék hőmérsékleti sugárzása módosítja az illesztett ellipszis lapultságát és nagytengelyének fázisszögét (rezonáns szigetek nélkül e_{cav} jelentősen lecsökken).

Fontos megjegyezni, hogy a rezonáns szigetek mentén történő ütközések miatt épp azok a μm -es átmérőjű szemcsék tűnnek el leghamarabb a törmelékkorongokból, amelyek a mm-es hullámhossztartományú termikus képek sugárzását biztosítják. Ezért megvizsgáltam, hogy a rezonáns szigetek kivonásával is látszódik-e az ellipszis forgása. Az ideális jel/zaj arányú (S/N), és 0,1" felbontású Dustmap referencia képeken végigkövethető a forgás. A szintetikus ALMA képek esetén négy féle teleszkóp konfigurációt próbáltam ki, 1398 m és 3638 m között (0,15"–0,35" beamméret), egy tőlünk 100 pc távolságban lévő törmelékkorong által kibocsátott 2 mJy-n rögzített teljes fluxus esetén.

A különböző felbontású szintetikus képek egyszerűbb és gyorsabb feldolgozása érdekében a

Dustmap és a témavezetőm által fejlesztett kód felhasználásával írtam egy IDL-rutint, amely az OST által generált fits file-okból kontúrtérképet állít elő, a kiválasztott kontúrszintre ellipszist illeszt, meghatározza az S/N-t, és inklinált korongok megillesztésére is alkalmas. A vizsgálatból kiderült, hogy egyik ALMA képen sem látszódik az ellipszis forgása a rezonáns szigetek nélkül. Nagy bázistávolságok esetén a beamméret megközelíti a referencia értéket, azonban ezekben az esetekben a 2 mJy-s fluxus miatt túl alacsony az S/N, így nem mutatható ki a forgás. 50 pc távolságban elhelyezkedő modellkorongoknál viszont a legkisebb felbontás mellett is látható a forgás. Ezekkel a számításokkal egészítettük ki Regály Zsolttal, Moór Attilával és Kovács Tamással közösen írt cikkünket, amely revízióra vár a Monthly Notices of the Royal Astronomical Society folyóiratnál.

A doktori kutatási tervemben megjelölt másik téma, amellyel ebben a félévben kezdtem foglalkozni, a késői nagy bombázáshoz (Late Heavy Bombardment, LHB) hasonló események lehetősége exobolygórendszerekben. A jelenleg hét felfedezett Föld-szerű bolygóval rendelkező TRAPPIST-1 rendszert választottam a vizsgálatom tárgyául. A HIPERION kód alkalmas az ismert rendszer és egy feltételezett törmelékkorong kölcsönhatásának modellezésére 8-test probléma és néhány százezer planetezimál numerikus integrációjával.

A TRAPPIST-1 M8 színképtípusú főszorozati csillag körül keringő kőzetbolygók közül három lakható zóna határai között kering, ami azt jelenti, hogy a csillag sugárzási energiája lehetővé teszi a vízkészlettel rendelkező bolygók felszínén a H₂O folyékony halmazállapotú megjelenését megfelelő légköri nyomás esetén. Azonban nincs egyértelmű magyarázat arra, hogyan kerülhet víz egy kőzetbolygó felszínére. Napjaink egyik legelfogadottabb bolygókeletkezési elmélete, az oligarchikus növekedés, illetve a korai bolygórendszerekben feltételezett kémiai differenciáció értelmében a kőzetbolygók kialakulásuk idején nem rendelkezhetnek vízkészlettel. Ezen bolygók anyagának jelentős részét fémek és szilikátok teszik ki, amely anyagok magas olvadáspontja miatt a központi csillaghoz közel kondenzálódtak ki a protoplanetáris korong gázanyagából, míg az illók, mint a H₂O, a csillagtól távolabb, az ún. hóhatáron túl alkotnak szilárd fázist. Eszerint a TRAPPIST-1 bolygók száraz felszínnel rendelkeznek, a rendszer legkülső tagját kivéve, amely a hóhatáron kívül található. Azonban egy LHB-hoz hasonló esemény során egy külső törmelékkorongból a rendszer belsejébe kerülő nagy számú aszteroida vagy üstökös szállíthat vizet a kőzetbolygók felszínére.

A bolygókeletkezés problémájáról, a TRAPPIST-1 rendszer tulajdonságairól és a lakhatóság feltételeiről szóló cikket küldtem be a Fizikai Szemle folyóirathoz, amely a nyári dupla kiadásban fog megjelenni. Ennek folytatásaként célom annak kiderítése, hogy jelentős számú aszteroida becsapódási esemény szállíthat-e megfelelő mennyiségű vizet a TRAPPIST-1 bolygóra, illetve milyen külső hatások idézhetnek elő megnövekedett aszteroidafluxust a rendszer belső részén.

A TRAPPIST-1 rendszer mért tulajdonságainak ismeretében témavezetőmmel létrehoztunk egy modellt, amely tartalmazza a központi csillagot, a vele és egymással gravitációsan kölcsönható hét bolygót, valamint egy törmelékkorongot. A szimulációk elindítása előtt T_{pl} arányok alapján kiszámoltam a bolygók kezdeti pozícióit, amelyekkel a lehető leghosszabb időskálán marad stabil

a rendszer. A próba-futtatásokból látható, hogy néhány százezer keringés után a bolygópályák fél nagytengelye (a_{pl}) változatlan, míg az e_{pl} értékek a mérések alapján becsült maximális érték alatt maradnak. Az integráció energiahibája arányos a szimulált részecskék két különböző pozíciója közötti időlépéssel, amely arányos egy η paraméterrel. Különböző η értékek beállításával vizsgáltam az integráció pontosságát és sebességét. Ez alapján az e_{pl} időbeli változása az energiahiba növekedésével egyre nagyobbak adódtak. A bolygók nem csak egymás, hanem a törmelékkorong aszteroidáinak pályáját is perturbálják, ennek következtében az aszteroidák egy része a bolygókba csapódik. A HIPERION kód a modell számára kifejlesztett modulja regisztrálja bolygókra akkretálódott aszteroidák számát, illetve az általuk szállított víztömeget (a becsapódott aszteroidák számának időbeli változása alapján $\eta = 0,2$ pontosság bizonyult optimálisnak). Az aszteroidák vizes frakciója eltérő attól függően, hogy eredeti pályájuk milyen távol volt a központi csillagtól.

Jelenleg azt vizsgálom, mekkora időtartam szükséges ahhoz, hogy a bolygók által elnyelt aszteroidák száma ne változzék. A következő félévben az LHB-hoz hasonló eseményhez vezető külső hatásokat vizsgálom meg, pl. egy a rendszerhez közel elhaladó csillag, valamint egy vagy két a TRAPPIST-1-től távol keringő feltételezett óriásbolygó migrációja hogyan befolyásolja a kőzetbolygókra beérkező aszteroidák számát. A kutatási eredményeimet egy referált folyóiratban tervezem megjelentetni.

Tanulmányi tevékenység. Az egyetemen az alábbi kurzusokra jelentkeztem: 1.) *Törpebolygók a Naprendszerben*, ezenkívül felvettem 2.) *Az exobolygó kutatás modern módszerei* című tárgyat, valamint a 3.) *Precíz optikai fotometria* kurzust. Az ehhez kapcsolódó gyakorlati tapasztalat megszerzéséhez két hetet töltöttem a piszkéstetői obszervatóriumban, és méréseket végeztem az 1 m objektívátmérőjű Ritchey–Chrétien-teleszkóppal. Továbbá, részt vettem Kiss László *A tudományos közlés művészete* című kurzusán az MTA CSFK szervezésében.

Oktatási tevékenység. Szilágyi Máté III. éves, ELTE BSc hallgatót társtémavezetőként támogatom a munkájában. Szakdolgozatának címe: A HD 21997 törmelékkorong vizsgálata hidrodinamikai és N-test szimulációkkal. A vizsgálat tárgya a HD 21997 csillag körül található törmelékkorong, amelyben jelentős mennyiségű gázt fedeztek fel. A kutatás során azt vizsgáljuk, hogy különböző méretű porszemcsék hogyan mozognak egy feltételezett kis tömegű bolygó és a korong gázanyagának hatására a hidrodinamikai–N-test hibrid kóddal modellezett korongrendszerben. A szakdolgozat védésére ebben a félévben kerül sor.

Szakmai közéleti tevékenység. Továbbra is részt veszek a 3DNAL kutatócsoport munkájában, illetve a nem kutatási ügyek intézésében (pl. igénylések, beszerzések). Továbbá, sor került néhány csoportos vetítésre a 3DNAL projektorral, amelyeknél közreműködtem. Ezenkívül egy ismertető anyagot állítottam össze a vetítőrendszer és a terem technikai specifikációival a MOME egyik alkotójának kérésére.

Egyéb terveim. Továbbra is tervezem a bolygó pályán belüli és kívüli korongok együttes vizsgálatával kapcsolatos eddigi eredmények értelmezését és bemutatását, valamint a szimulációk folytatását inklinált törmelékkorongokkal kiegészítve, annak érdekében, hogy a HD 95086 törmelékkorongjával konzisztens képet kapjunk.

A következő féléves munkám tárgyát képezi, hogy a TRAPPIST-1 rendszerhez fűződő kutatásomból posztert készítek, amelyet Jénában, a szeptemberi Planet Formation and Evolution 2017 konferencián fogok bemutatni.