

2. félévi beszámoló

Anyiszonyan Artúr (benyakrik05@gmail.com)

Részecskefizika és Csillagászat PhD program

Témavezető: Dr. Sándor Zsolt

A dolgozat címe: Orbital evolution of planets through interactions with the protoplanetary disc

Bevezetés:

A félév során a nem nulla impulzusmomentummal rendelkező intersztelláris anyag kollapszusát és a protoplanetáris korong keletkezési folyamatát vizsgáltam. Ennek eredményei teszik lehetővé, hogy a későbbiekben – a bolygókezdemények dinamikájának vizsgálata során – rögzíthessem a protoplanetáris korong kezdeti állapotát és azokat a forrástagokat, amelyek az összeomló anyagfelhő maradványából való anyagbegyűjtést írják le.

Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése:

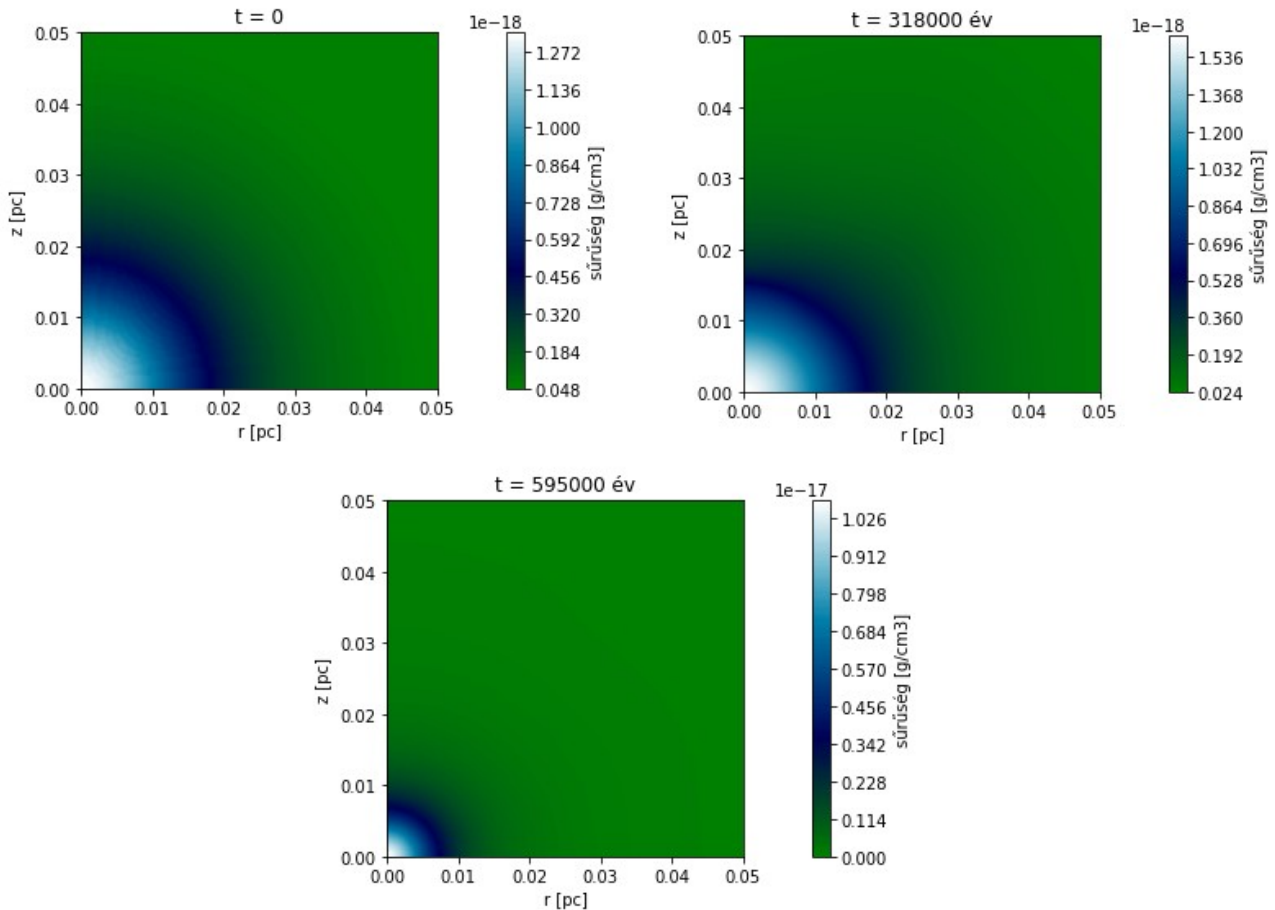
Az első félév során instabil Bonnor-Ebert gázgömbök gömbszimmetrikus kollapszusának dinamikáját vizsgáltam numerikus módszerekkel. A gömbszimmetrikus kollapszusmodell lehetővé teszi az akkréciós ráta becslését és az összetettebb folyamatokat leíró modellek validálását. A korongképződés vizsgálatához fel kell adni a gömbszimmetriát. Ezért ebben a félévben a vizsgálatot a hengersizimmetrikus kollapszus modellezésével folytattam. A számítások elvégzéséhez egy Python-programot írtam, amely a hidrodinamikai és a gravitációt leíró egyenleteket numerikusan integrálja.

A vizsgált térbeli tartomány egy olyan henger, amelynél az alapkör átmérője és a magasság megegyezik, mindkettő 0,1 parszek. A kezdeti állapotban a hengert 12 K hőmérsékletű, 2,38 g/mol moláris tömegű gáz tölti ki. A hengerbe írt gömbön belül a gáz sűrűségeloszlása egy instabil Bonnor-Ebert gömbének megfelelő. A gázgömb teljes tömege 1,183 naptömeg, középpontjában a gáz sűrűsége 24,7-szer akkora, mint a peremen. A gázgömb a kezdeti állapotban merev testként forog $8,145 \cdot 10^{-8}$ 1/s szögsebességgel (a forgástengely a henger szimmetriatengelyével esik egybe). (Egy ilyen gázgömb forgási energiája a gravitációs potenciális energiája abszolútértékének kb. 2,6 százalékával egyenlő.) A hengernek a gömbön kívül eső tartományában kezdetben nyugvó, mindenütt azonos sűrűségű gáz van (a sűrűség a Bonnor-Ebert gömb peremének sűrűségével megegyező). A hengerben lévő gáz teljes tömege 1,404 naptömeg. A forgás és a gömbön kívüli gáztömeg jelenléte bőven elegendő perturbációt jelent ahhoz, hogy a rendszer hamar kollapszusba kezdjen.

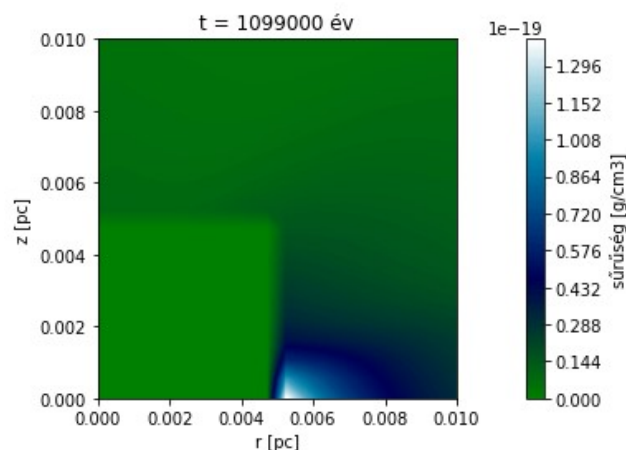
A rendszer a kezdeti állapotban tengely- és tükörszimmetriával rendelkezik, és a peremfeltételek is illeszkednek ehhez (a henger felszínén „tükröző” peremfeltételeket írtam elő, tehát a gáz össztömege és összperdülete állandó). A gáz állapota ezt a szimmetriát a kollapszus során megőrzi (bár a megoldás egy ponton instabillá válhat). A program a szimmetria fennmaradására épül. A szögkoordinátától nem függenek a gázt leíró mennyiségek, így elegendő egy kétdimenziós rács. Ez a rács a henger négyzetes keresztmetszetének egynegyedét fedi le. Ezt a tartományt 100×100 egyforma méretű cellára osztottam fel.

A modell nulla viszkozitást és izotermikus állapotváltozást feltételez. A gáz dinamikáját (a külső „visszaverő falak” mellett) a nyomásgradiens és az öngravitáció határozza meg. A számításokhoz a kontinuitási egyenlet, az Euler-egyenlet, a Poisson-egyenlet és az ideális gáz állapotegyenlete jelentik a kiindulópontot. A kontinuitási egyenlet és az Euler-egyenlet hengerkoordinátás alakját „megmaradási alakban” (conservation form) írtam fel, amelyben a gázt lokálisan jellemző mennyiségek a sűrűség mellett az impulzussűrűség komponensei. Az egyenletek numerikus integrálása a Godunov-sémára épül. A frissítések az aktuális időlépés hosszának meghatározásával kezdődnek (a v_r és v_z sebességkomponensek maximális értékéből a CFL-kritérium alapján). Ezután a program először az „ r -sweepet”, majd a „ z -sweepet” hajtja végre (Roe módszerével megoldva a cellahatárokhoz tartozó Riemann-problémákat). Végül a

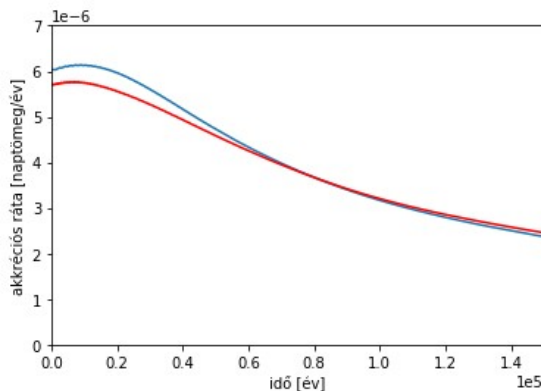
hengerkoordináta-rendszerből és a gravitációból eredő forrástagok figyelembevételével számítja ki az új cellaértékeket (ehhez negyedrendű Runge-Kutta-módszert használ). A gravitációs forrástag meghatározásához a program először a peremen lévő cellák gravitációs potenciálját számítja ki az egyes cellák által képviselt gyűrűk (valamint ezeknek a szimmetriasíkra vett tükörképe) járulékaiknak összegzésével. Ezután – a futási idő rövidítése érdekében – a belső cellák potenciálját a Poisson-egyenlet numerikus megoldásával határozza meg (ehhez a „successive over-relaxation” módszert használja). Az alábbi ábrák a sűrűségeloszlás változásait illusztrálják az összeomlás első fázisában.



Kb. 635.000 év elteltével a centrumban sűrűség-szingularitás keletkezik. A szimuláció folytatásához a programot úgy módosítottam, hogy a rács bal alsó sarkában lévő 10×10 cellát eltávolítottam. Az így keletkezett új peremeken „áteresztő” határfeltételeket alkalmaztam, és a rács megmaradt részéből „hiányzó” tömeget az origóba helyeztem. A szimulációt ezután addig futtattam tovább, amíg a teljes tömeg 99 százaléka nem összpontosult az eredeti rács bal alsó, 50×50 cella méretű tartományában. Ez kb. 1.099.000 év elteltével következik be. Az ehhez az időponthoz tartozó sűrűségeloszlást a bal alsó, 20×20 cellából álló tartományban az alábbi ábra mutatja. A „kivágott” tartománytól jobbra látható a keletkezőben lévő akkréciós korong legkülső tartománya.



A szimulációt ezután a felbontás megkétszerezésével indítottam újra a központi szingularitás megjelenését megelőző állapotból. A korábbi rács bal alsó 50×50 cellányi tartományából egy 100×100-as rácsot csináltam, amelybe kívülről anyag hullik be. A behulló gáz jellemzőit (azaz a „külső” peremfeltételeket) az előző szimulációs ciklus eredményeiből vettem. A bal alsó 10×10 cellát ezúttal is eltávolítottam. A második ciklus még nem zárult le, de a meglévő eredményei konzisztensek az első ciklus eredményeivel. Az alábbi ábra azt mutatja, hogyan alakul az akkréciós ráta egy origó középpontú, 0,0125 pc sugarú gömbre nézve a központi szingularitás megjelenését követő 150.000 év során. A kék görbe az első, a piros a második ciklusból számolt eredményt mutatja.



A továbbiakban még néhány ilyen ciklust fogok végigkövetni (újból és újból megkétszerezve a felbontást), amíg az akkréciós korong kellően nagy része nem kerül a „kivágott” tartományon kívülre. Utóbbi alakját esetleg módosítani fogom (négyzetről „körre”), hogy kevesebb műtermék keletkezzen. A felbontás növelésével növekszik a futási idő is. Ennek a legnagyobb részét a gravitációs potenciál számítása tölti ki. Minthogy a tömegeloszlás mindvégig csak kismértékben tér el a gömbszimmetrikustól, valószínűleg érdemes lesz a programot egyszerűsíteni, és az egyes cellákhoz tartozó gravitációs potenciált a héjtételek segítségével becsülni. Miután a korong kezdőállapotáról és anyagbegyűjtéséről sikerült viszonylag részletesebb képet kapni, rá lehet térni a bolygókezdemények mozgásának vizsgálatára.

Publikációk: -

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben:

A félév során az ELTE TTK „Asztrostatisztika II.” illetve „Bolygók és bolygórendszerek keletkezése” c. kurzusait végeztem el.

Konferenciák az aktuális félévben: -

Oktatási tevékenység az aktuális félévben:

A félév során a csillagász szakos hallgatók számára vezettem gyakorlatot („Az elméleti asztrofizika matematikai alapjai”, 2 kredit).