

I. félévi beszámoló  
Máthé Gergely ([gergelymathe@caesar.elte.hu](mailto:gergelymathe@caesar.elte.hu))  
Részecskefizika és csillagászat  
Dr. Kocsis Bence

“Statistical mechanics and gravitational wave astrophysics of galactic nuclei”

*Bevezetés:* A galaxismagok univerzumunk olyan extrém régiói, ahol egy szupermasszív központi fekete lyuk körül csillagok és kompakt objektumok minden más régiónál nagyobb számsűrűségű populációja kering. Mivel a központi szupermasszív fekete lyuk tömege jóval nagyobb, mint a körülötte keringő objektumok össztömege így azok közel kepleri pályákon keringenek öngravitáló módon. Ilyen eredő potenciál esetén az egyes objektumok pályáihoz tartozó impulzusmomentumok ( $\mathbf{L}_i$ , ahol  $i$  indexeli az egyes objektumokat) iránya (vektorrezonáns relaxáció, VRR) valamint azok nagysága ( $L_i=|\mathbf{L}_i|$ ) (skalárrezonáns relaxáció, SRR) dinamikai folyamatok révén relaxálódnak [1]. Megmutatható, hogy a Tejút esetében a jellemző VRR időskála  $\sim 10^6$  [2]. Ez jelentős kevesebb, mint a Hubble idő  $\sim 10^9$ , vagyis a relaxációs folyamat lényeges lehet. Mivel a rendszer dinamikáját meghatározó folyamatok: -keringés, -pályasík precesszió, -pályasík elfordulás (VRR), -excentricitás változás (SRR), -félnagy tengely megváltozása (a rendszer energiájának megváltozása), időskálája merőben eltérő, a különböző időskálán végbemenő folyamatok az adott időskálán meghatározzák a rendszer dinamikáját. Ez lehetőséget biztosít köztes egyensúlyi állapotok értelmezésére amely biztosítja a statisztikus fizikai, átlagtérelméleti eljárások [3,4] használatát. Kutatásom célkitűzése a galaxismagban a dinamikai relaxációs folyamatok révén kialakuló rendkívül komplex térbeli eloszlások megértése, prediktív modellek és eljárások fejlesztése illetve továbbfejlesztése. A kialakuló térbeli eloszlások több más implikációjuk mellett dominálhatják a földi gravitációs hullám detektorok potens forrásait [5].

*Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése:* Jelen félévben a mester szakon elkezdett, előző pontban ismertetett kutatás egy részfeladatából írom publikációm. A részfeladat a VRR megértése időfüggő szimplektikus integrátor [6] használatával egy komponensű rendszer esetén a rendszere Hamilton függvényének vezető, kvadrupolusos rendjében. Ez a megközelítés általánosítja a már létező átlagtérelméleti modellek eredményeit [3,4], mivel ez a model nem hanyagolja el a több részecske korrelációkat.

Munkám során először különböző energiájú és összimpulzusmomentumu rendszerek szimulációját végzem el, minden kezdeti paraméterekkel ( $E, L_{tot}$ ) esetében több különböző kezdeti eloszlással inicializálva a szimulációimat. Ezt követően a szimulációkat használva numerikus eszközök alkalmazásával leszármaztattam a rendszere Boltzmann féle entrópiáját ( $S_B$ ) valamint ennek deriváltjaként az inverz hőmérsékletet. A kapott eredmények a magas és alacsony energiákon jó egyezést mutatnak a már létező átlagtérelméleti modellek [3,4] jóslataival, azonban a köztes energiákon megvastagodott, kontrarotáló diszkeként inicializálva a rendszerünket, a származtatott entrópia értékek alulbecslik az átlagtérelmélet által jóslott értékeket. Ennek magyarázata, hogy ilyen speciális kezdeti konfiguráció esetén a relaxáció tiltottá válik, az nem megy végbe [7].

A félév során egy további cikk megjelenésében társszerzőként működök közre. Ebben azt a kérdést vizsgáljuk meg, vajon a Boltzmann féle entrópia-e az a mérték, amelynek maximalizálása jól leírja a végtelen hatótávolságu kölcsönhatással csatolt rendszerek egyensúlyi állapotait. Model rendszerünk a VRR alatt relaxáló galaxismag. Az én részfeladatom az átlagtérelméleti egyensúlyból elindított rendszerek szimulációiak önhasonlósági vizsgálata.

*Publikációk:*

1. A numerical study of the statistical physics of vector resonant relaxation: első szerző; kéziratban
2. Gravitational system driven by nonextensive entropy: társszerző; kéziratban

*Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben:* A félév során négy tárgy elvégzését tűztem ki célul. A tárgyakat minden esetben igyekeztem úgy összeválogatni, hogy legyen relevanciája jelen és jövőbeli asztrofizikai kutatásom során. A tárgyak a következőek voltak:

1. A magfizika kísérleti eljárásai; neptun kód: FIZ/2/022; A tárgyat Prof. dr. Kai Zuber vendégkutató tartotta neutrínó fizika témában.
2. Adatbányászat és gépi tanulás; neptun kód: FIZ/3/084; E tárgyhoz kapcsolódóan egy gépi tanuláson alapuló galaxisklasszifikációs eljárást dolgoztam ki.
3. Nagyenergiás asztrofizika; neptun kód: FIZ/2/118; E tárgyhoz kapcsolódóan az Illustris-, egy nagyléptékű univerzum-szimulációhoz kapcsolódó projektet valósítottam meg. A munka során betekintést kaptam az ott használt adatstruktúrákba illetve azok manipulálásába is.
4. Differenciál geometria és fizika szeminárium; neptun kód: MAT/362E; A tárgy célja a Hawking-Penrose szingularitás tételek megértése volt.

*Konferenciák az aktuális félévben:* A félév során a YAGN18 elnevezésű, Budapesten, 2018.10.29--31.-e között rendezésre kerülő nemzetközi konferencián vettem részt és adtam elő VRR-hez kapcsolódó kutatási eredményeimet.

*Irodalom jegyzék:*

1. Rauch, K.P. & Tremaine, S. 1996, New A. 1, 149.
2. Kocsis, B. & Tremaine, S. 2011, 412, 187
3. Roupas, Z. & Kocsis, B. and Tremaine, S. 2017 Astrophys. J.842, 90.
4. Takács, Á. & Kocsis, B. 2018 Astrophys. J. 856, 113.
5. Kocsis, B. & Levin, J. 2007, PRD, 76, 084022
6. Kocsis, B. & Tremaine, S. 2015, MNRAS 448, 3265
7. Fouvy, J-B. et al. 2018, arXiv:1812.07053