

II. félévi beszámoló

Középnéhez fekete lyukak dinamikája

Részecskefizika és csillagászat

Deme Barnabás (deme.barnabas@gmail.com)
Témavezető: Dr. Kocsis Bence

2019 június

1. Vizsgált problémakör

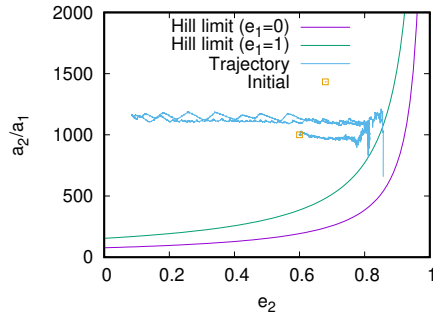
A galaxisok központi térségeinek (nukleuszainak) dinamikája rendkívül gazdag [Alexander, 2017], kezdve a csillag-párok közötti gravitációs szórástól (nem-rezonáns relaxáció) egészen a statisztikus jelenségekig (ún. vektor és skalár rezonáns relaxáció, ld. Rauch and Tremaine [1996]). A centrumban lévő csillagtömegű fekete lyuk kettősök (vö. Hailey et al. [2018]) a központi szupermasszív objektummal (ún. hierarchikus) hármas rendszert alkotnak, így ezek dinamikai vizsgálata jelentős, főként mivel a Lidov–Kozai mechanizmus révén (az excentricitás periodikus változása a szupermasszív fekete lyuk perturbációjának hatására, ld. Lidov [1962], Kozai [1962]) ez potenciális LISA- [Hoang et al., 2019], vagy LIGO/Virgo-forrás [Hoang et al., 2018]. Bár a hierarchikus hármas rendszerek stabilnak tekinthetők az ellipszis-pályákra történő dupla-átlagolás miatt [Valtonen and Karttunen, 2006], bizonyos stabilitás-kritériumok teljesülése ennek ellenére is szükséges. Ezek közül a legjelentősebb a Hill-féle (vö. Hill [1878]), mely szerint

$$\frac{a_2}{a_1} > \frac{1 - e_2}{1 + e_1} \left(\frac{m_1}{3m_{\text{SMBH}}} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

ahol az '1' index a csillagtömegű (fekete lyuk) kettősre, a '2' index pedig a szupernehéz fekete lyuk (SMBH) körüli pályára utal; a a fél-nagy tengely, e az excentricitás, m pedig a tömeg. A környezetből, pl. a középnéhez fekete lyukakból származó perturbáció egy kezdetben Hill-stabil hármas rendszert könnyen destabilizálhat, mely a rendszer széteséséhez vezet.

2. Féléves kutatás ismertetése

Doktori kutatásom második félévében tovább kutattam a fent leírt mechanizmust, történetesen öt darab középnéhez fekete lyuk perturbáló hatását egy eredetileg Hill-stabil hármasra (SMBH + csillagtömegű kettős). A konfigurációt egy direkt n -test kóddal, az ARCHAIN-nel vizsgáltam [Mikkola and Aarseth, 1990, Mikkola and Tanikawa, 1999, Mikkola and Merritt, 2008, Arca-Sedda and Capuzzo-Dolcetta, 2017]. A kb. 3400 szimuláció futtatása az előző szemeszterben zajlott, ebben a félévben a kapott eredményeket analizáltam. A(z) 1. ábrán



1. ábra. Középhehez fekete lyukak által perturbált hierarchikus hármas fázistérbeli trajektóriája [Deme et al., in prep.].

szemügyre vehető az egyik, demonstratív jelleggel kiválasztott rendszer trajektóriája a fázistérben: középhehez fekete lyukak hiányában a rendszer megmaradt volna kezdeti pozíciójának környezetében, a perturbáció hatására azonban elvándorolt, majd belépve a Hill-instabil zónába a csillagtömegű kettős szétesett a szupermasszív objektum árapályerejének hatására. Teljesen új felismerés volt, hogy a szétesés a Hill-, és nem pedig a Mardling–Aarseth-féle stabilitási kritérium [Mardling and Aarseth, 2001] sérülésének következménye.

A kutatási téma, nevezetesen a már említett Lidov–Kozai-mechanizmus további vizsgálata végett a félév során három hetet a Kaliforniai Egyetemen töltöttem Los Angelesben (UCLA), ahol Prof. Smadar Naozzal és Bao-Minh Hoanggal dolgoztam együtt. Velük azt vizsgáltam, hogy szupermasszív fekete lyuk kettősök környezetében, hierarchikus konfigurációban mozgó kisebb (csillagtömegű) objektum (vö. Li et al. [2015]) milyen gravitációshullám-jelet/spektrumot eredményez. Az ott megkezdett kutatást egy megpályázott, elbírálás alatt lévő ÚNKP-projektben szeretném befejezni és az eredményeket publikálni.

3. Publikációk

- Az első féléves kutatásomból készülő publikáció [Deme et al., in prep.] már előrehaladott állapotban van. A kézirat elkészült, szerzőtársaimmal (Yohai Meiron és Kocsis Bence) az utómunkákat (hipersebességű csillagok analízise a numerikus adatokban, az indirekt kettős-destabilizáció statisztikai magyarázata) végezzük.
- [Deme et al., 2018]. Ebben a korábbi munkámban a korlátozott háromtest-probléma egy speciális esetét vizsgáltuk egy olyan modell keretében, ami a csillagközi molekulafelhők belsejében kialakult presztelláris magok dinamikáját írja le.

4. Tanulmányi tevékenység

Ebben a szemeszterben három kurzust hallgattam.

- Lineáris és nem-lineáris MHD hullámok (FIZ/2/073)

- Szakmai kitekintés, melyben a magnetohidrodinamika alapegyenleteivel, és azok megoldásaival ismerkedtünk meg.
- Naprendszerbeli plazmák fizikája (FIZ/2/082E)
 - Az előbb említett tárgy elméleti anyagát kitűnően kiegészítő, megfigyelés-alapúbb kurzus.
- Káosz-detektálási módszerek Hamilton-rendszerekben (FIZ/2/105E)

5. Konferencia, szakmai út

- Márciusban három hetet (03.01. - 03. 26.) Kaliforniában töltöttem egy új projekt megkezdése végett (ld. fentebb).
- Májusban egy egyhetes konferencián (MODEST19; 05.25. - 06.01.) vettem részt Bolognában, ahol poszteren mutattam be a kutatásomat.

6. Oktatási tevékenység

Ebben a szemeszterben a Csillagászati észlelési gyakorlatok III. (égi mechanika gyakorlat) c. kurzust tartottam másod- illetve harmadéves hallgatóknak. A tárgy tematikája szervesen kapcsolódik a kutatási területemhez: a Kepler-probléma legfontosabb matematikai összefüggéseit vettük át konkrét példák megoldásán keresztül. A kurzushoz jegyzetet is készítettem kidolgozott feladatokkal (demebarnabas.web.elte.hu/teaching), melyeknek egy jelentős része tőlem származik.

Hivatkozások

- Reinhard Genzel, Frank Eisenhauer, and Stefan Gillessen. The Galactic Center massive black hole and nuclear star cluster. *Reviews of Modern Physics*, 82 (4):3121–3195, Oct 2010. doi: 10.1103/RevModPhys.82.3121.
- M. D. A. Orkney, J. I. Read, James A. Petts, and Mark Gieles. Globular clusters as probes of dark matter cusp-core transformations. *arXiv e-prints*, art. arXiv:1906.04759, Jun 2019.
- C. J. Hailey, K. Mori, F. E. Bauer, M. E. Berkowitz, J. Hong, and B. J. Hord. A density cusp of quiescent X-ray binaries in the central parsec of the Galaxy. *Nature*, 556:70–73, April 2018. doi: 10.1038/nature25029.
- David Merritt. *Dynamics and Evolution of Galactic Nuclei*. 2013.
- M. Arca-Sedda and A. Gualandris. Gravitational wave sources from inspiralling globular clusters in the Galactic Centre and similar environments. *MNRAS*, 477:4423–4442, July 2018. doi: 10.1093/mnras/sty922.
- Tal Alexander. Stellar Dynamics and Stellar Phenomena Near a Massive Black Hole. *ARA& A*, 55(1):17–57, Aug 2017. doi: 10.1146/annurev-astro-091916-055306.

- K. P. Rauch and S. Tremaine. Resonant relaxation in stellar systems. *New Astronomy*, 1:149–170, October 1996. doi: 10.1016/S1384-1076(96)00012-7.
- M. L. Lidov. The evolution of orbits of artificial satellites of planets under the action of gravitational perturbations of external bodies. *Planetary and Space Science*, 9:719–759, October 1962. doi: 10.1016/0032-0633(62)90129-0.
- Y. Kozai. Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity. *AJ*, 67:591, November 1962. doi: 10.1086/108790.
- Bao-Minh Hoang, Smadar Naoz, Bence Kocsis, Will M. Farr, and Jessica McIver. Detecting Supermassive Black Hole-induced Binary Eccentricity Oscillations with LISA. *ApJ*, 875(2):L31, Apr 2019. doi: 10.3847/2041-8213/ab14f7.
- B.-M. Hoang, S. Naoz, B. Kocsis, F. A. Rasio, and F. Dosopoulou. Black Hole Mergers in Galactic Nuclei Induced by the Eccentric Kozai-Lidov Effect. *ApJ*, 856:140, April 2018. doi: 10.3847/1538-4357/aaafce.
- M. Valtonen and H. Karttunen. *The Three-Body Problem*. March 2006.
- G. W. Hill. Researches in the lunar theory. *American Journal of Mathematics*, 1(1):5–26, 1878. ISSN 00029327, 10806377. URL <http://www.jstor.org/stable/2369430>.
- S. Mikkola and S. J. Aarseth. A chain regularization method for the few-body problem. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 47:375–390, 1990.
- S. Mikkola and K. Tanikawa. Algorithmic regularization of the few-body problem. *MNRAS*, 310:745–749, December 1999. doi: 10.1046/j.1365-8711.1999.02982.x.
- S. Mikkola and D. Merritt. Implementing Few-Body Algorithmic Regularization with Post-Newtonian Terms. *AJ*, 135:2398–2405, June 2008. doi: 10.1088/0004-6256/135/6/2398.
- M. Arca-Sedda and R. Capuzzo-Dolcetta. The MEGaN project II. Gravitational waves from intermediate mass- and binary black holes around a supermassive black hole. *ArXiv e-prints*, September 2017.
- R. A. Mardling and S. J. Aarseth. Tidal interactions in star cluster simulations. *MNRAS*, 321:398–420, March 2001. doi: 10.1046/j.1365-8711.2001.03974.x.
- B. Deme, Y. Meiron, and B. Kocsis. Merger and disruption of stellar mass black hole binaries driven by intermediate mass black holes in galactic nuclei. *MNRAS*, in prep.
- Gongjie Li, Smadar Naoz, Bence Kocsis, and Abraham Loeb. Implications of the eccentric Kozai-Lidov mechanism for stars surrounding supermassive black hole binaries. *MNRAS*, 451(2):1341–1349, Aug 2015. doi: 10.1093/mnras/stv1031.
- B. Deme, B. Érdi, and L. V. Tóth. The restricted three-body problem in cylindrical clouds. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 130:73, November 2018. doi: 10.1007/s10569-018-9869-x.