

IV. féléves beszámoló

Deme Barnabás (deme.barnabas@gmail.com)

Témavezető: Kocsis Bence

Részecskefizika és csillagászat program

Középnéhez fekete lyukak szerepe a Kozai–Lidov-mechanizmusban

2020/2

1. A vizsgált problémakör

Kutatásom ebben a félévben is a közepnehéz fekete lyukak dinamikájára fókuszált [Greene et al., 2019], melynek potenciális színtere a galaxisok központi néhány parszekes tartománya, az ún. nukleusz [Neumayer et al., 2020, Alexander, 2017]. A kompakt objektumok ebben a térségben igen gyakran rendeződnek kettősökbe, melyek aztán potenciális gravitációshullám-források lehetnek, akár a LIGO–Virgo, akár (középnéhez fekete lyukak esetén) a jövőbeli LISA számára. Kiegészülve a központi masszív fekete lyukkal [Kormendy and Ho, 2013], a rendszer hierarchikus hármast alkot. Az ilyen rendszerek egy külső és egy belső kettősre oszthatók, ahol utóbbi dinamikáját az ún. Kozai–Lidov-mechanizmus szabályozza [Kozai, 1962, Lidov, 1962, Naoz, 2016]. Ez a belső kettős pályalapultságának olyan erős növekedéséhez vezethet, mely végül a belső kompakt kettős ütközését eredményezheti [Hoang et al., 2018]. A most vizsgolt, ún. dinamikai szcenárió nagyban hozzájárulhat a megfigyelt LIGO–Virgo-rátához.

2. Az előző félévek kutatásának ismertetése

Az első három szemeszterben azt vizsgáltuk, hogy közepnehéz fekete lyukak egy kisebb populációja (5 db) hogyan gyakorol hatást a nukleuszban található kettősökre. A feladat megoldásához egy igen precíz, regularizáción alapuló kódot használtunk, az *ARCHAIN*-t. Előzetes várakozásunk az volt, hogy a közepnehéz objektumok perturbáló hatása fokozza a kompakt kettősök ütközési rátáját, hasonlóan a vektor rezonáns relaxációhoz [Hamers et al., 2018]. A vizsgálatunk azonban kimutatta, hogy nem ez történik: a közepnehéz fekete lyukak a kettősök külső pályaelemeit úgy perturbálják, hogy azokat a központi szupermasszív fekete lyuk árapály-ereje szétszakítja.

3. A 4. félév kutatásának ismertetése

Ebben a szemeszterben befejeztük a tavaly márciusban Amerikában megkezdett projektünket Smadar Naozzal, Bao-Minh Hoanggal és témavezetőmmel, Kocsis Bencével. Azt vizsgáltuk, hogy a fent leírt Kozai–Lidov-oszcillációk hogyan befolyásolják egy kompaktnak objektum gravitációs hullám-spektrumát. A modellezéshez Smadar Naoz *OSPE* (Octupole Secular Perturbation Equation) kódját használtuk, ami nem közvetlenül a mozgásegyenleteket, hanem azoknak a szekuláris, pályára kiátlagolt alakját integrálja. Kimutatható, hogy az excentricitás periodikus változása a spektrum csúcsát periodikusan eltolja [Hoang et al., 2019, Emami and Loeb, 2019, Gupta et al., 2019]. Munkánkban mi a paraméterterületet kerestük, ahol a jelenség releváns olyan hármasok esetén is, melyben a belső kettős egy csillagtömegű és egy közepnehéz fekete lyukból áll (a hármas harmadik tagja pedig szupermasszív). A probléma azért nemtriviális, mert a nagy tömegekből adódó relativisztikus apszidális precesszió jellemzően elfojtja a Kozai–Lidov-mechanizmust¹.

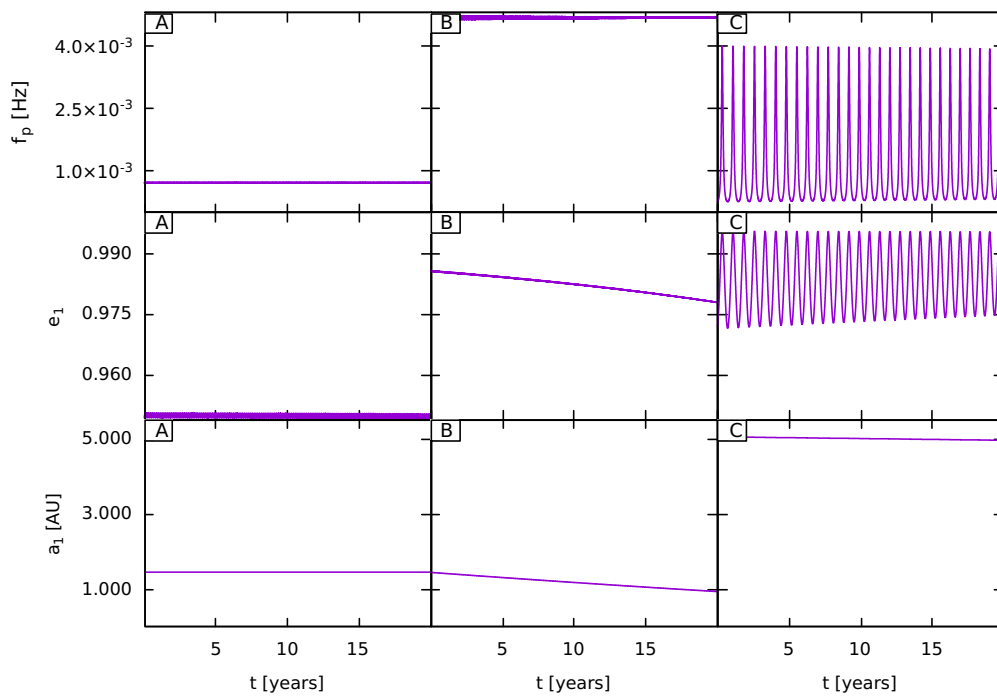
A gravitációs hullám-jelek egyik legfontosabb jellemzője a jel–zaj–arány. Mivel ez lényegében a spektrum és a detektor-érzékenység görbéje közötti területet jelenti, a jel Kozai–Lidov-modulációjával természetesen ez is változik. Ez azt jelenti, hogy a Kozai–Lidov-oszcillációk legjobb kvantitatív mércéje a jel–zaj-differencia (ΔSNR).

A(z) 1. ábrán három különböző kezdeti feltétellel indított hármas evolúcióját mutatjuk. Jól látható, hogy számottevő oszcilláció csak a 'C1' esetben figyelhető meg, itt a ΔSNR is nagy értéket vesz föl ($\sim 10^{2-3}$). Az 'A' esetben a relativisztikus precesszió teljesen elnyomja az oszcillációkat, itt $\Delta\text{SNR} \sim 10^0$. A 'B' scenárióban ugyan nincsenek oszcillációk, viszont az erős gravitációs hullám-sugárzás okozta bespirálozódás jelentősen megváltoztatja a jel–zaj–arányt, aminek a differenciája így kellően hosszú megfigyelési idő alatt ($T_{\text{obs}} \sim 10$ év) már kimutatható.

4. Konferenciák, tanulmányutak a képzés alatt

- *Young Astronomers on Galactic Nuclei*: Budapest, 2018 október. Előadás: Intermediate-mass black holes' effects on galactic nuclei
- Tanulmányút a UCLA-n: Los Angeles, 2019. március.
- *MODEST-19*: Bologna, 2019 május. Poszter: Intermediate-mass black holes' effects on galactic nuclei

¹Bár nem mindig, ld. pl. Naoz et al. [2013].



1. ábra

5. Publikációk

- Deme et al. [2020a]: Az előző fejezetben kifejtett munkánk, melyet az ApJ folyóiratba küldtünk be.
- Deme et al. [2020b]: Az ApJ-ben közlésre elfogadott cikkünk, melyben kimutattuk, hogy 5 középnehéz fekete lyuk már képes akár 50%-kal csökkenteni a nukleuszban található kompakt kettősök számát.
- Deme et al. [2018]: A *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy* lapban elfogadott cikkünk, melyben a korlátozott háromtest-probléma egy általánosított verzióját dolgoztuk ki.

6. Tanulmányi tevékenység

- Csillagaktivitás (FIZ/2/033E): ebben a kurzusban az aktív csillagok asztrofizikájáról, valamint megfigyelési technikáikról volt szó

7. Oktatási tevékenység

- Csillagászati észlelési gyakorlatok III. (cg1c4eg3): ebben a kurzusban (amit már másodjára tartottam) a kéttest-problémára vonatkozó feladatokat oldottunk meg a hallgatókkal

Hivatkozások

Jenny E. Greene, Jay Strader, and Luis C. Ho. Intermediate-Mass Black Holes. *arXiv e-prints*, art. arXiv:1911.09678, November 2019.

Nadine Neumayer, Anil Seth, and Torsten Boeker. Nuclear Star Clusters. *arXiv e-prints*, art. arXiv:2001.03626, January 2020.

Tal Alexander. Stellar Dynamics and Stellar Phenomena Near a Massive Black Hole. *ARA&A*, 55(1):17–57, August 2017. doi: 10.1146/annurev-astro-091916-055306.

John Kormendy and Luis C. Ho. Coevolution (Or Not) of Supermassive Black Holes and Host Galaxies. *ARA&A*, 51(1):511–653, August 2013. doi: 10.1146/annurev-astro-082708-101811.

Yoshihide Kozai. Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity. *AJ*, 67:591–598, Nov 1962. doi: 10.1086/108790.

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(10):719–759, Oct 1962. doi: 10.1016/0032-0633(62)90129-0.

- S. Naoz. The Eccentric Kozai-Lidov Effect and Its Applications. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 54:441–489, September 2016. doi: 10.1146/annurev-astro-081915-023315.
- 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.
- Adrian S. Hamers, Ben Bar-Or, Cristobal Petrovich, and Fabio Antonini. The Impact of Vector Resonant Relaxation on the Evolution of Binaries near a Massive Black Hole: Implications for Gravitational-wave Sources. *ApJ*, 865(1):2, September 2018. doi: 10.3847/1538-4357/aadae2.
- Bao-Minh Hoang, Smadar Naoz, Bence Kocsis, Will M. Farr, and Jessica McIver. Detecting Supermassive Black Hole-induced Binary Eccentricity Oscillations with LISA. *ApJL*, 875(2):L31, Apr 2019. doi: 10.3847/2041-8213/ab14f7.
- Razieh Emami and Abraham Loeb. Probing Intermediate Mass Black Holes in M87 through Multi-Wavelength Gravitational Wave Observations. *arXiv e-prints*, art. arXiv:1910.04828, October 2019.
- Priti Gupta, Haruka Suzuki, Hirotada Okawa, and Kei-ichi Maeda. Gravitational Waves from Hierarchical Triple Systems with Kozai-Lidov Oscillation. *arXiv e-prints*, art. arXiv:1911.11318, November 2019.
- Smadar Naoz, Bence Kocsis, Abraham Loeb, and Nicolás Yunes. Resonant Post-Newtonian Eccentricity Excitation in Hierarchical Three-body Systems. *ApJ*, 773(2):187, August 2013. doi: 10.1088/0004-637X/773/2/187.
- Barnabás Deme, Bao-Minh Hoang, Smadar Naoz, and Bence Kocsis. Detecting Kozai-Lidov imprints on the gravitational waves of intermediate-mass black holes in galactic nuclei. *arXiv e-prints*, art. arXiv:2005.03677, May 2020a.
- Barnabás Deme, Yohai Meiron, and Bence Kocsis. Intermediate-mass Black Holes’ Effects on Compact Object Binaries. *ApJ*, 892(2):130, April 2020b. doi: 10.3847/1538-4357/ab7921.
- Barnabás Deme, Bálint Érdi, and L. Viktor Tóth. The restricted three-body problem in cylindrical clouds. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 130(11):73, November 2018. doi: 10.1007/s10569-018-9869-x.