

3. félévi beszámoló

Kővári Emese (e.kovari@astro.elte.hu)

Részecskefizika és csillagászat PhD program

Témavezető: Dr. Sándor Zsolt Mózés

A dolgozat címe: Mean motion resonances and the role of chaotic phenomena in shaping the dynamical structure of planetary systems

Bevezetés

Előző félévi beszámolómban bemutattam, hogyan alkalmazható a Shannon-entrópia (Shannon és Weaver, 1949; Beaugé és Cincotta, 2019) égi mechanikai problémákban, illetve a három szuper-Földet tartalmazó Kepler-60 jelű exobolygó-rendszer vizsgálatát is megkezdtem az entrópián alapuló numerikus számítások elvégzésével.

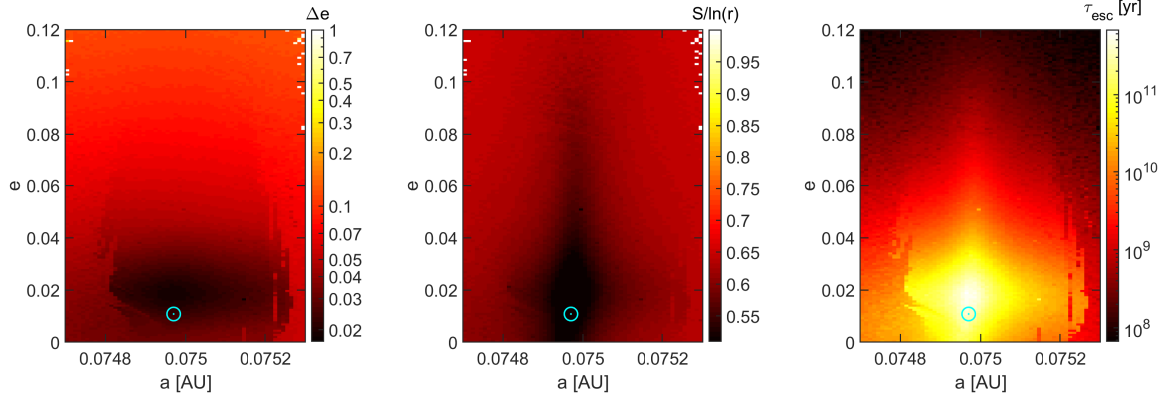
Láttuk azt is, hogy a Kepler-60 rendszer b , c és d jelű bolygói 5:4:3 arányú középmozgás-rezonancia-láncban állnak egymással. Goździewski és mtsai. (2016) kétféle rezonáns konfigurációt javasoltak: (i) valódi Laplace- (3-test) rezonanciát, amikor a 2-test rezonanciák kritikus argumentumai cirkulálnak és csak a Laplace-rezonancia kritikus argumentuma librál; valamint (ii) két 2-test rezonancia szuperpozícióját, amikor mindegyik rezonancia-változó librál. 2. félévi beszámolómban az (i) esettel foglalkoztam, jelen munkában pedig a (ii) eset eredményeit mutatom be, összevetve azokat az (i) esettel.

Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

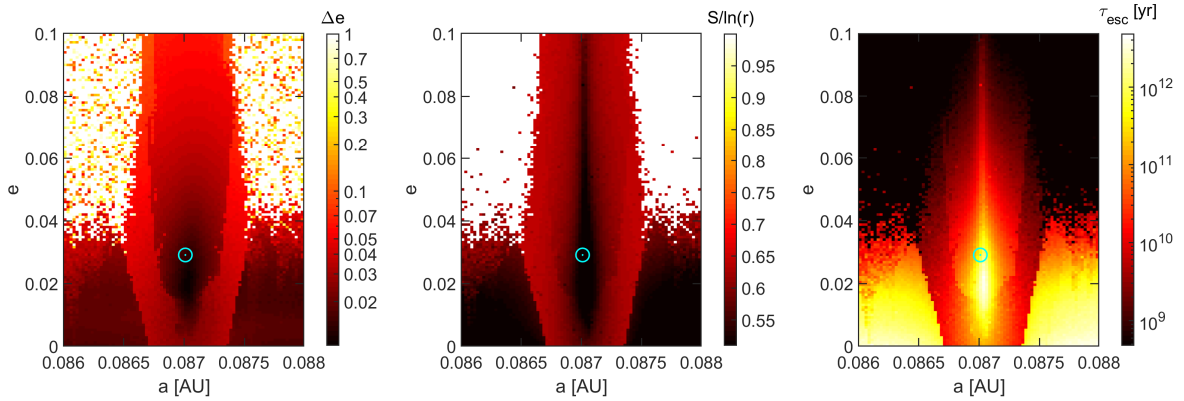
Az 1. ábra a b jelű bolygó dinamikai térképeit mutatja abban az esetben, amikor a három bolygó pályamenti helyzete között két 2-test rezonancia áll fenn ((ii) eset). Az egyes paneleken ábrázolt mennyiségek (excentricitás-variáció, normált Shannon-entrópia és szökési idők) megegyeznek az előző félévi beszámoló ábráin látottakkal, azzal a különbséggel, hogy a diffúziós együtthatókat tartalmazó panel nincs feltüntetve, mivel az tulajdonképpen a szökési időket mutató panel inverze. (A felhasznált pályaelemek Goździewski és mtsai. (2016) publikációjából származnak, a számítások paraméterei az ábraaláírásban láthatóak.) Az ábrát tanulmányozva megállapítható, hogy a b bolygó (lásd: kék kör) egy, a rezonanciához kapcsolódó stabil sziget belsejében foglal helyet, közvetlen környezetében $10^{11} - 10^{12}$ éves stabilitási idővel találkozunk.

Hasonló figyelhető meg a 2. ábrán is, mely a c jelű bolygó dinamikai térképeit mutatja, szintén a (ii) esetben. Ugyan a rezonancia sávján kívül magasabb excentricitásoknál összefüggő instabil ponthalmaz jelenik meg, a bolygó közvetlen környezetét 10^{12} éves stabilitási idők, illetve alacsony Δe - és entrópia-értékek jellemzik.

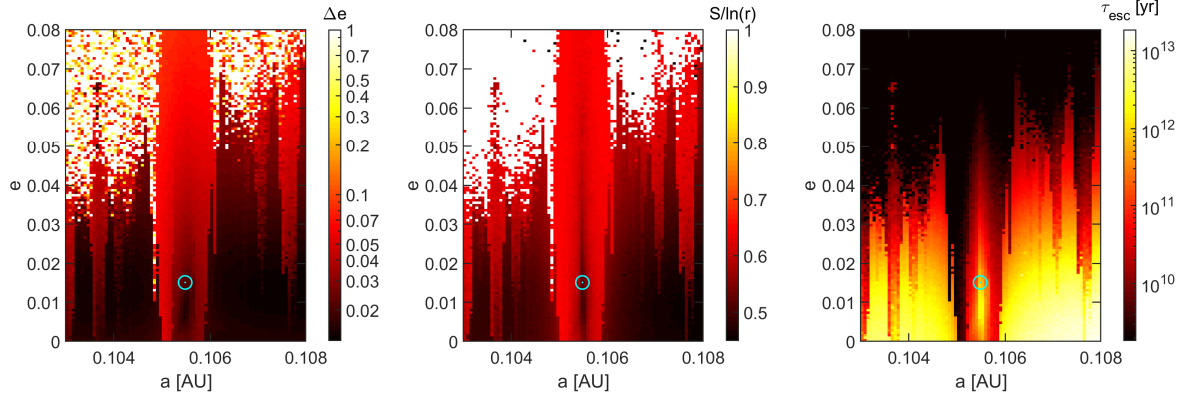
A legkülső, d jelű bolygó fázistérbeli környezetét mutató 3. ábra paneljein érdekes sávós szerkezet figyelhető meg: reguláris és kevésbé reguláris mozgást jelentő függőleges sávok váltják egymást, mely már az (i) esetben is megfigyelhető volt (lásd: 2. félévi beszámoló, 3. ábra). A d bolygó lokális környezetét azonban a középmozgás-rezonancia határozza meg. A stabilitási idők $\gtrsim 10^{12}$ évesek, az entrópia értékek 0.5 alatt, a Δe -értékek pedig 0.02 alatt maradnak.



1. ábra. Kepler-60*b*, két 2-test rezonancia esete. A kezdeti feltétel-grid paramétereit: grid-határok a -ban és e -ben: $[0.0747, 0.0753] \times [0, 0.12]$; kezdeti feltételek száma a -ban és e -ben: $N_a = 60$, $N_e = 150$; teljes integrációs idő: $3.2 \cdot 10^4$ év. Adott a_0 , e_0 kezdeti feltétel-ponthoz tartozó entrópia-grid paramétereit: $[a_0 - 0.001, a_0 + 0.001] \times [0, 0.2]$; $r_a = 200$, $r_e = 1000$. Kék kör: a bolygó pozíciója $a = 0.07497$ AU és $e = 0.0108$ értékeknél. Bal oldali panel: excentricitás-variációk. Középső panel: 1-re normált Shannon-entrópia. Jobb oldali panel: szökési idők.



2. ábra. Kepler-60*c*, két 2-test rezonancia esete. A kezdeti feltétel-grid paramétereit: grid-határok a -ban és e -ben: $[0.086, 0.088] \times [0, 0.1]$; kezdeti feltételek száma a -ban és e -ben: $N_a = 80$, $N_e = 125$; teljes integrációs idő: $3.2 \cdot 10^4$ év. Adott a_0 , e_0 kezdeti feltétel-ponthoz tartozó entrópia-grid paramétereit: $[a_0 - 0.001, a_0 + 0.001] \times [0, 0.2]$; $r_a = 200$, $r_e = 1000$. Kék kör: a bolygó pozíciója $a = 0.08701$ AU és $e = 0.0291$ értékeknél. Bal oldali panel: excentricitás-variációk. Középső panel: 1-re normált Shannon-entrópia. Jobb oldali panel: szökési idők.



3. ábra. Kepler-60*d*, két 2-test rezonancia esete. A kezdeti feltétel-grid paraméterei: grid-határok a -ban és e -ben: $[0.103, 0.108] \times [0, 0.08]$; kezdeti feltételek száma a -ban és e -ben: $N_a = 80$, $N_e = 125$; teljes integrációs idő: $3.2 \cdot 10^4$ év. Adott a_0 , e_0 kezdeti feltétel-ponthoz tartozó entrópia-grid paraméterei: $[a_0 - 0.001, a_0 + 0.001] \times [0, 0.16]$; $r_a = 200$, $r_e = 1000$. Kék kör: a bolygó pozíciója $a = 0.10548$ AU és $e = 0.0151$ értékeknél. Bal oldali panel: excentricitás-variációk. Középső panel: 1-re normált Shannon-entrópia. Jobb oldali panel: szökési idők.

Az eredményeket az előző félévi számításokkal összevetve elmondható, hogy a két 2-test rezonancia konfigurációja ((ii) eset) kedvezőbb a rendszer hosszútávú stabilitása szempontjából, mint a valódi Laplace-rezonancia ((i) eset), hiszen a stabilitási idők 1-2 nagyságrenddel hosszabbak. Mindez összhangban van Goździewski és mtsai. (2016) megállapításával, miszerint ha a bolygórendszer múltbeli evolúciója során konvergens migráción ment keresztül, az egyes égitestek 2-test rezonancia-láncba való befogódása a valószínűbb forgatókönyv.

Az eredményeket bemutató publikáció az MNRAS szakfolyóiratban áll elbírálás alatt.

Hivatkozások

Beaugé, C., Cincotta, P. M.: Shannon entropy applied to the planar restricted three-body problem, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **131**, 52 (2019)

Goździewski, K., Migaszewski, C., Panichi, F., Szuszkiewicz, E.: The Laplace resonance in the Kepler-60 planetary system, *MNRAS*, **455**, L104–L108 (2016)

Shannon, C. E., Weaver, W.: *The Mathematical Theory of Communication*, Illinois U.P., Urbana (1949)

Publikációk

- megjelent: Kóvári, E., Érdi, B.: The Axisymmetric Central Configurations of the Four-Body Problem with Three Equal Masses, *Symmetry*, **12(4)**, 648 (2020)
- beküldött: Kóvári, E., Érdi, B., Sándor, Zs.: Application of the Shannon entropy in planetary dynamics: the long-term stability of the Kepler-60 exoplanetary system, *MNRAS*

Konferenciák, tanszéki és intézeti szemináriumok az aktuális félévben

December 14-én került megrendezésre a 2019/2020-as tanév ÚNKP zárókonferenciája, melyen *Rezonáns bolygórendszerek dinamikájának vizsgálata a szekuláris rezonanciák figyelembevételével* című, előre rögzített konferencia-előadással vettem részt.

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

A félévben *A Naprendszer peremén* (FIZ/2/087E), *Az intersztelláris anyag fizikája II.* (FIZ/2/058), valamint a *Fejezetek a többes csillag- és bolygórendszerek elméleti és megfigyelési kérdéseiből I.* (FIZ/2/099E) kurzusokat vettem fel.

Oktatási tevékenység az aktuális félévben

A félév során a *Mérések és megfigyelések* (ft2mermeg0g17ga) kurzus csillagászat gyakorlat részét vezettem.

Elismerések

A 2020/2021-es tanévre ÚNKP-ösztöndíjat nyertem.