

2. félévi beszámoló

Kővári Emese (e.kovari@astro.elte.hu)

Részecskefizika és csillagászat PhD program

Témavezető: Dr. Sándor Zsolt Mózses

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

Bevezetés

Doktori tanulmányaim első félévében a Shannon-entrópia égi mechanikai alkalmazásának lehetőségével foglalkoztam, mind elméleti, mind gyakorlati tárgyalásban. Utóbbihoz a naprendszerbeli Hilda-csoport nyújtott segítséget.

Jelen beszámolóban a Shannon-entrópia további lehetőségeivel foglalkozom, immár egy exobolygó-rendszer, a hárombolygós Kepler-60 példáján keresztül.

Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

Az előző félévben láttuk, hogy a Shannon-entrópia számítása az

$$S(\gamma, N) = \ln N - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^r n_k \ln(n_k) \quad (1)$$

formula alapján történik, ahol a γ trajektória egy adott kezdeti feltétel-pontnak felel meg az $a - e$ síkon, $N \equiv t/h$ a trajektória pályapontjainak száma t idő után h időbeli lépésköz mellett, n_k pedig az a szám, ahányszor γ az entrópia-számításhoz definiált $r = r_a \times r_e$ cellaszámú felosztás k -adik cellájába esett.

Egy adott rendszer dinamikájáról az entrópia, illetve annak időbeli viselkedése már önmagában sokat elárul. A Shannon-entrópia elsődleges hozadéka azonban az, hogy segítségével adott égitest fázistérbeli kaotikus diffúziójának mértéke, illetve a rendszerből való szökésének karakterisztikus ideje is meghatározható (Beaugé és Cincotta, 2019).

Normál diffúziót feltételezve, a diffúziós együtthatót a

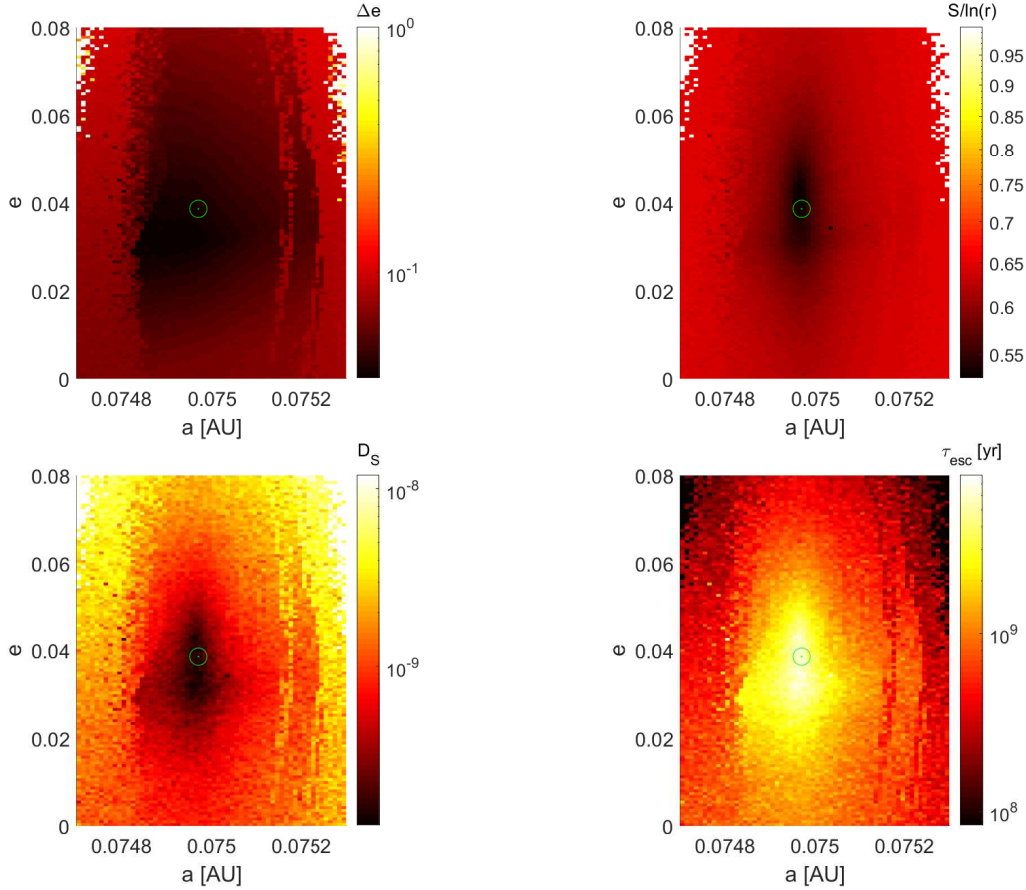
$$D_S \simeq \frac{(I_{\max} - I_{\min})^2}{r} r_0 \frac{dS}{dt} \quad (2)$$

közelítés adja ($I_k \equiv I(t_k) = \sqrt{a(t_k)^2 + e(t_k)^2}$, r_0 a trajektória által bejárt cellák teljes száma), melyből a szökési idő egyszerűen a

$$\tau_{\text{esc}} \simeq \frac{1}{D_s} \quad (3)$$

reciprokkal becsülhető.

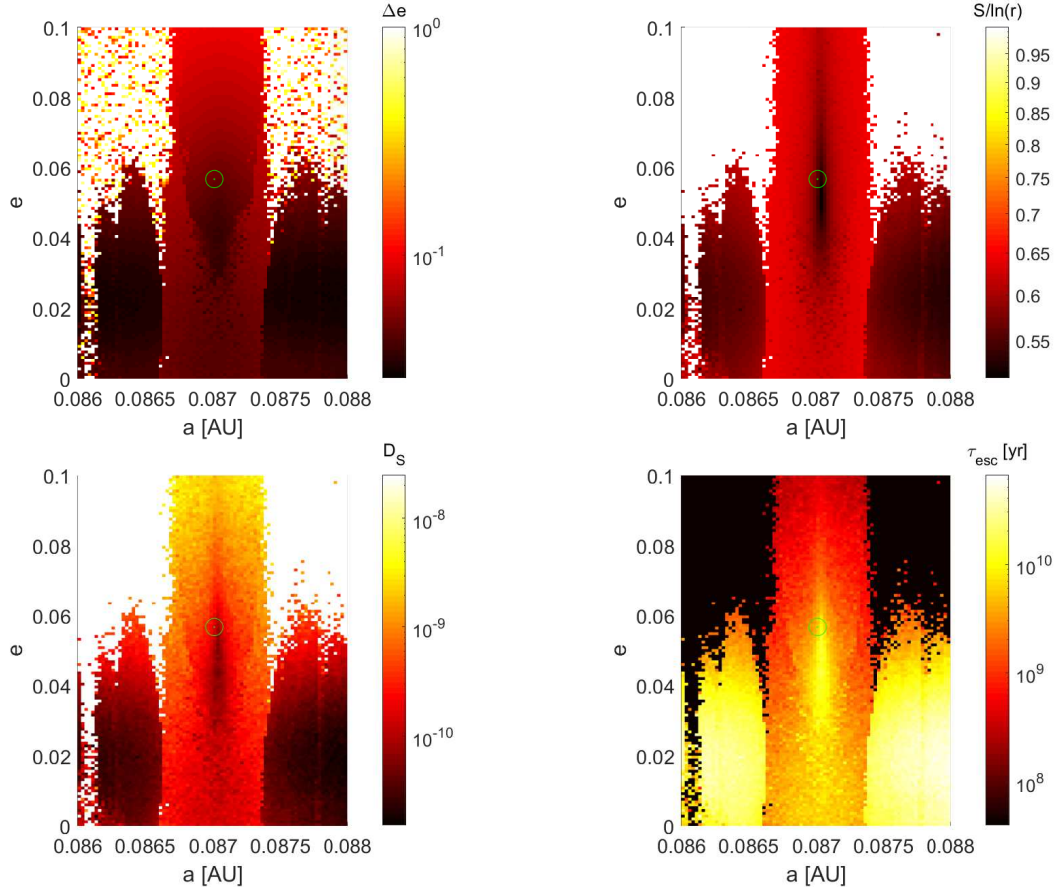
A következőkben a fentieknek a Kepler-60 exobolygó-rendszerre történt alkalmazását mutatom be. A rendszer három, körülbelül $4m_{\oplus}$ tömegű bolygót tartalmaz, melyek



1. ábra. Kepler-60b. A kezdeti feltétel-grid paramétereit: grid-határok a -ban és e -ben: $[0.0747, 0.0753] \times [0.0, 0.08]$; kezdeti feltételek száma a -ban és e -ben: $N_a = 60$, $N_e = 125$; teljes integrációs idő: $3.2 \cdot 10^4$ év. Adott a_0 , e_0 kezdeti feltétel-ponthez tartozó entrópia-grid paramétereit: $[a_0 - 0.001, a_0 + 0.001] \times [0.0, 0.16]$; $r_a = 200$, $r_e = 1000$. Zöld kör: a bolygó pozíciója $a = 0.07497$ AU és $e = 0.0386$ értékeknél. Bal felső panel: excentricitás-variációk. Jobb felső panel: 1-re normált Shannon-entrópia. Bal alsó panel: diffúziós együtthatók. Jobb alsó panel: szökési idők.

5:4:3-típusú középmozgás-rezonanciában állnak egymással. Egyelőre nyitott kérdés (Goździewski és mtsai., 2016), hogy a rezonancia-lánc egy tisztán három-test rezonanciának felel meg (amikor mindössze a hármas rezonancia rezonancia-változója librál, a két-test rezonanciáké cirkulál), vagy két középmozgás-rezonancia együttesen van jelen (mindhárom rezonancia-változó librál). Mindazonáltal a többféle rezonancia és azok esetleges fázistérbeli átfedése izgalmas dinamikát sejtet.

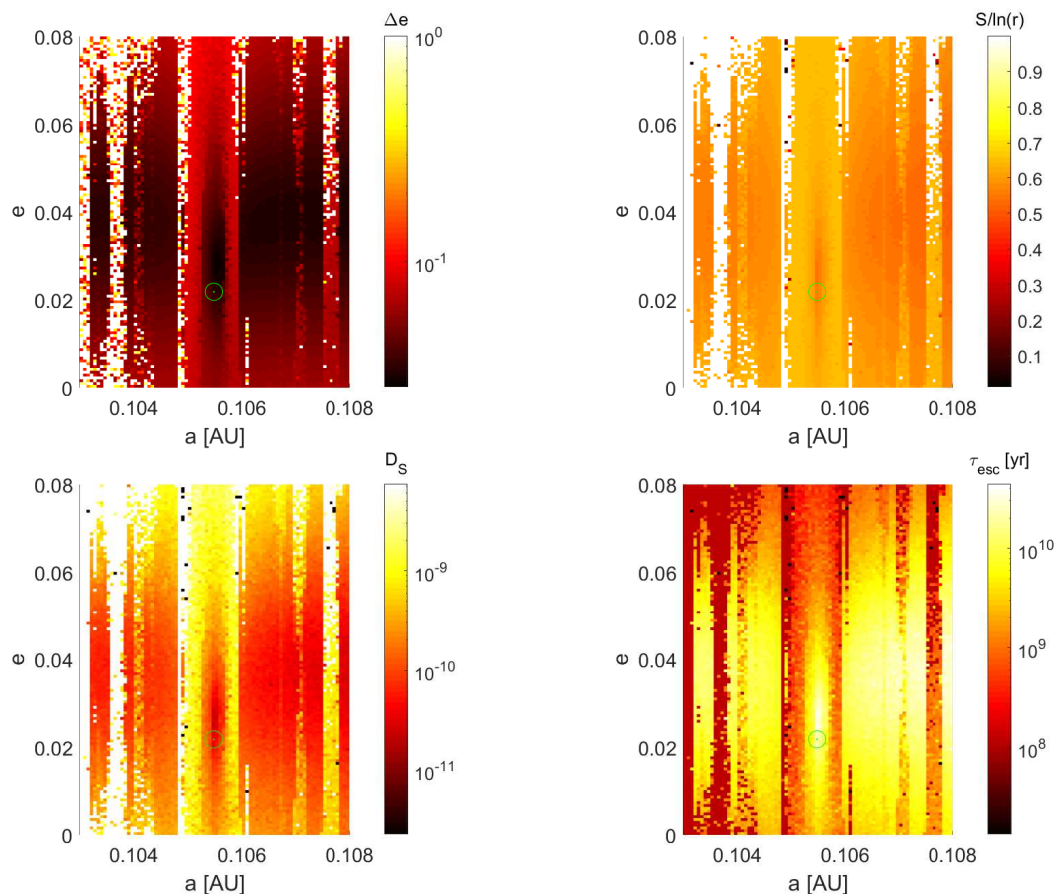
Az 1. ábra a rendszer legbelső, b jelű bolygójára vonatkozik (a pályaelemek forrása: Goździewski és mtsai. (2016), a számítások paramétereit lásd az ábraalírásban). A bal felső panel egy hagyományos káoszindikátor, az excentricitás-variációk alapján készült dinamikai térkép: a kis Δe -értékek reguláris mozgásra utalnak, mindössze az ábra bal és jobb felső sarkaiban láthatók irreguláris mozgással asszociált kaotikusabb régiók. A körülbelül 0.07515 AU félnagy tengely-értéknél húzódó függőleges sáv valószínűleg magasabb rendű rezonanciák megjelenése. A jobb felső panel az 1-re normált Shannon-entrópiát



2. ábra. Kepler-60c. A kezdeti feltétel-grid paraméterei: grid-határok a -ban és e -ben: $[0.086, 0.088] \times [0.0, 0.1]$; 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-ponthez tartozó entrópia-grid paraméterei: $[a_0 - 0.001, a_0 + 0.001] \times [0.0, 0.2]$; $r_a = 200$, $r_e = 1000$. Zöld kör: a bolygó pozíciója $a = 0.08701$ AU és $e = 0.0567$ értékeknél. Bal felső panel: excentricitásvariációk. Jobb felső panel: 1-re normált Shannon-entrópia. Bal alsó panel: diffúziós együtthatók. Jobb alsó panel: szökési idők.

mutatja az egyes kezdeti feltételekre. Ezen - ellentétben az előző panellal - a rezonancia sávja ~ 0.075 AU-nál élesen kirajzolódik, és egybeesik a bolygó helyzetével is (lásd: zöld kör). Az alsó panelek a diffúziós együtthatókat, illetve a szökési időket mutatják. Utóbbiak nagyságrendje a rezonancia belsejében 10^{10} év, azonban a rezonancián kívül is mindössze egy nagyságrenddel kisebb csak.

Hasonlóan elemezhetőek a 2. és 3. ábrák is, melyek rendre a Kepler-60 rendszer középső, c jelű, illetve külső, d jelű bolygóinak dinamikai térképei. A jobb alsó panelekről leolvasható szökési idők a rezonancia belsejében hasonlóan 10^{10} év nagyságrendűek, azonban a bolygók fázistérbeli környezete kevésbé stabil: mind a 2., mind a 3. ábrákon kiterjedt kaotikus tartományok jelennek meg nagyobb excentricitásoknál, illetve sávos szerkezetben.



3. ábra. Kepler-60d. A kezdeti feltétel-grid paraméterei: grid-határok a -ban és e -ben: $[0.103, 0.108] \times [0.0, 0.08]$; 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-ponthez tartozó entrópia-grid paraméterei: $[a_0 - 0.001, a_0 + 0.001] \times [0.0, 0.16]$; $r_a = 200$, $r_e = 1000$. Zöld kör: a bolygó pozíciója $a = 0.10548$ AU és $e = 0.0218$ értékeknél. Bal felső panel: excentricitásvariációk. Jobb felső panel: 1-re normált Shannon-entrópia. Bal alsó panel: diffúziós együtthatók. Jobb alsó panel: szökési idők.

Publikációk

Kővári, E., Érdi, B.: The Axisymmetric Central Configurations of the Four-Body Problem with Three Equal Masses, *Symmetry* 12(4), 648 (2020)

Konferenciák, tanszéki és intézeti szemináriumok az aktuális félévben

Június 4-én tanszéki szemináriumi előadást tartottam „A new approach to investigating planetary dynamics using the Shannon entropy” címmel.

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

A félévben *Az intersztelláris anyag fizikája I.* (FIZ/2/025), valamint a *Bolygók és bolygórendszerek keletkezése* (FIZ/2/097E) kurzusokat vettem fel.

Oktatási tevékenység az aktuális félévben

A félév során a *Csillagászati észlelési gyakorlatok 1.* (cseszlgyk1g17ga) gyakorlatot vezettem.

Elismerések

A 2019/2020-as tanévre ÚNKP-ösztöndíjat nyertem.

Hivatkozások

Beaugé, C., Cincotta, P. M.: Shannon entropy applied to the planar restricted three-body problem, *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, **131**, 52 (2019)

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