Uogólniony model układu planetarnego

Michał Marek

Seminarium Zakładu Geodezji Planetarnej
22.05.2009

PLAN PREZENTACJI

1. Wstęp, motywacja, cele
2. Teoria wykorzystana w modelu
3. Zastosowanie modelu na układach planetarnych
4. Podsumowanie

Wstęp

Celem pracy magisterskiej było określenie, w których przypadkach i w jakim stopniu zmieni się dynamika systemów planetarnych, jeśli ich składniki będziemy traktować jako **obiekty rozciągłe**, a także gdy uwzględni się efekty relatywistyczne wynikające z **OTW**.

Model oddziaływań grawitacyjnych dwóch obiektów, w którym to układ jest izolowany oraz oba ciała są całkowicie sferyczne (bez deformacji pływowych czy rotacyjnych) lub traktowane jako masy punktowe, sprowadza się do zagadnienia Keplera.

Jest to dobre podejście, gdy odległości pomiędzy oboma ciałami są znacznie większe od ich rozmiarów.

Na ogół stosuje się model oddziałujących na siebie grawitacyjnie mas punktowych.

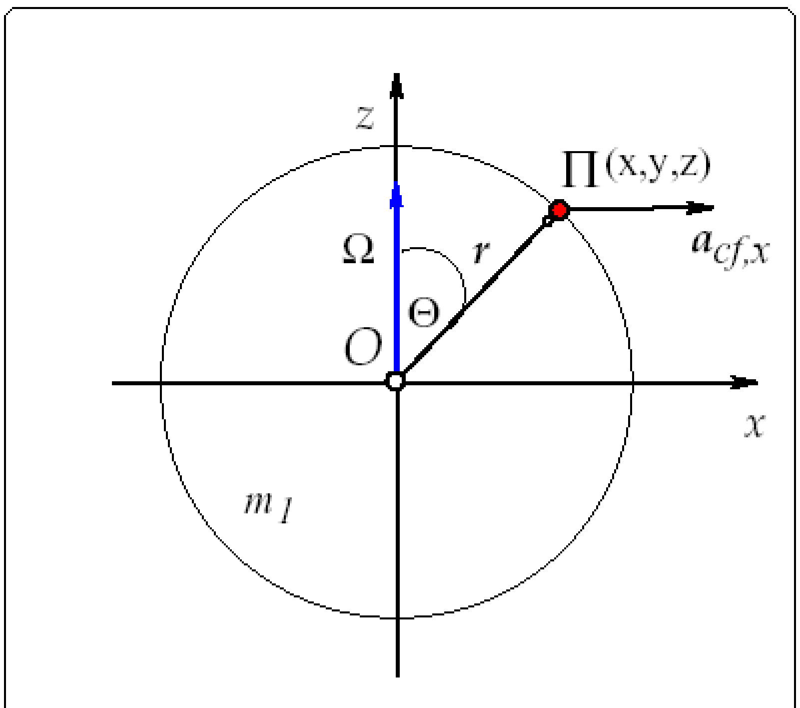
W rzeczywistości, kształty w różnym stopniu odbiegają od sferycznego a także istnieją układy składające się z większej ilości składników niż dwa ciała.

Niektóre masywne, pozasłoneczne planety znajdują się na orbitach o rozmiarach mniejszych niż ziemska i oddziaływania pływowe z macierzystą gwiazdą mogą wpływać na dynamikę układu.

Teoria wykorzystana w modelu

Potencjał odśrodkowy

W układzie odniesienia związanym z rotującą sferą, dowolny punkt umieszczony na jej powierzchni, doznaje bezwładnościowego przyspieszenia odśrodkowego.



$$\mathbf{a}_{cf,x} = \Omega^2 x\hat{\mathbf{x}}$$

$$\mathbf{a}_{cf,y} = \Omega^2 y\hat{\mathbf{y}}$$

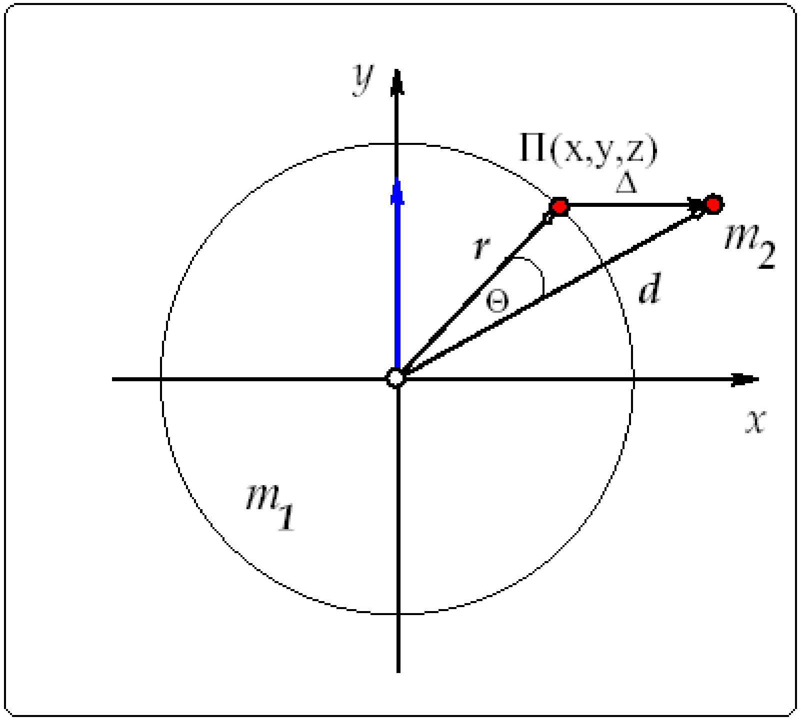
$$V_{cf} = -\frac{1}{2}\Omega^2 r^2 \sin^2\theta = -\frac{1}{3}\Omega^2 r^2 + \frac{1}{3}\Omega^2 r^2 P_2(\cos\theta)$$

(Murray & Dermott, 2000)

Potencjał pływowy

Potencjał pływowy deformuje powierzchnię gwiazdy.

Deformacja zmienia się wraz z rotacją gwiazdy i ruchem zaburzającej planety.



$$V_3 = -G\frac{m_2}{d^3}r^2 P_2(\cos\theta).$$

(Murray & Dermott, 2000)

Dyssypacja energii

Ze względu, że gwiazdy są nieelastyczne, część energii układu jest tracona kosztem **tarcia wewnętrznego** podczas zmiany kształtu gwiazdy.

Dyssypacja energii

Poprawka do równań ruchu:

$$\mathbf{f}_{\mathbf{TF}} = -\frac{9\sigma m_2^2 A^2}{2\mu d^{10}}\left(2\mathbf{d}\cdot\mathbf{d}\frac{\partial\mathbf{d}}{\partial t} + d^2\frac{\partial\mathbf{d}}{\partial t}\right)$$

$$\sigma = \frac{\alpha}{Q^2 m_1 r_1^2}\sqrt{\frac{G m_1}{r_1^3}} \qquad A = \frac{r_1^5 Q}{1-Q}$$

Model:

gwiazda o promieniu r1 i masie m1

+

punktowa planeta o masie m2 odległa o **d** od m1.

Eggleton, P. P., Kiseleva, L. G., & Hut, P. 1998, *ApJ*, **449**, 853

Dyssypacja energii

$$Q \approx \frac{3}{5}\left(1 - \frac{n}{5}\right)^{2.215} e^{0.0245n - 0.096n^2 - 0.0084n^3}.$$

Eggleton, P. P., Kiseleva, L. G., & Hut, P. 1998, *ApJ*, **449**, 853

Równanie te zawiera informacje o strukturze wewnętrznej gwiazdy.

n=1.0 gaz doskonały

n=1.5 ciśnienie gazu dominuje nad promieniowaniem

n=3.0 ciśnienie promieniowania dominuje nad ciśnieiem gazu

Poprawka relatywistyczna

Wpływ, jaki wywiera masa na geometryczne właściwości czasoprzestrzeni wyjaśnia OTW.

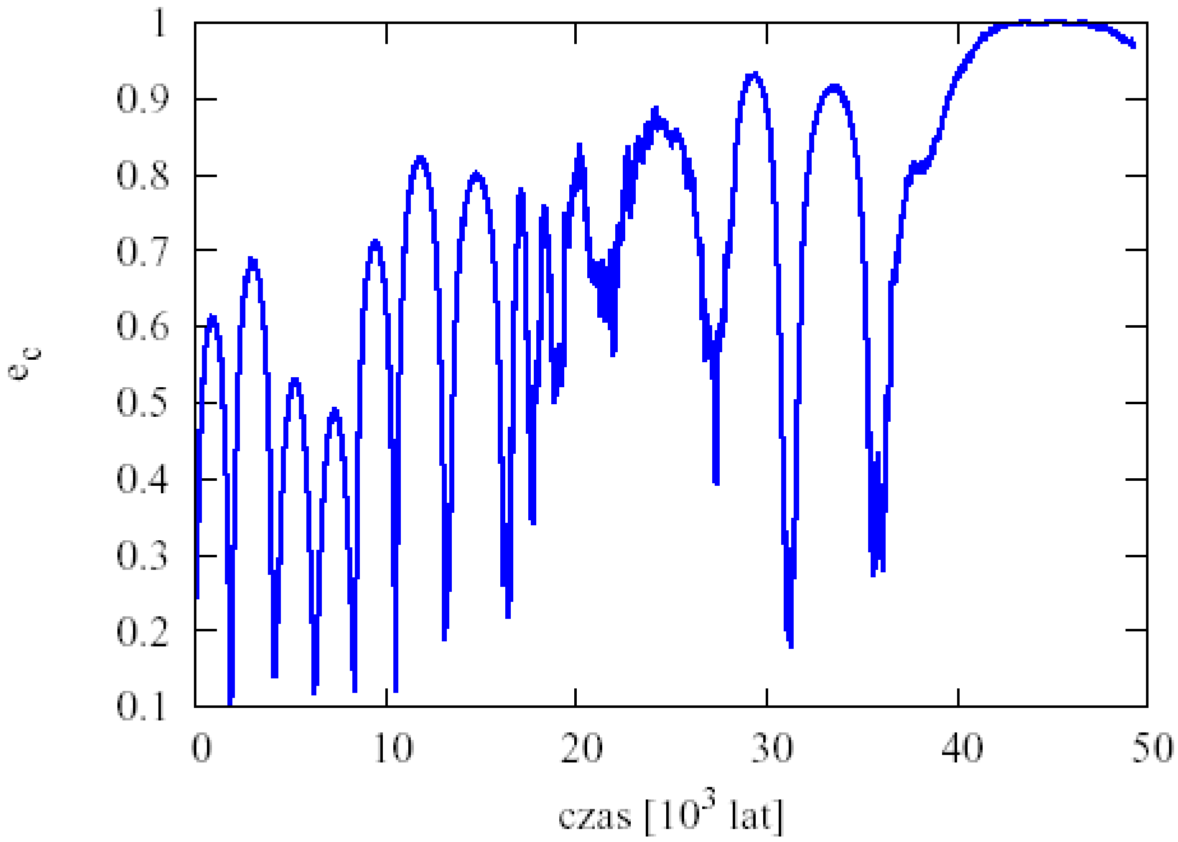
Oś wielka orbity Merkurego doznaje obrotu o 574 sekund łuku na wiek, z czego 43 sek. spowodowane jest zakrzywieniem czasoprzestrzeni przez Słońce.

Podejście relatywistyczne traktuje się jako **zaburzenie problemu Keplera**. Najprostszy model uwzględnia poprawkę rzędu $(v/c)^2$.

Zastosowanie

Ipsylon And

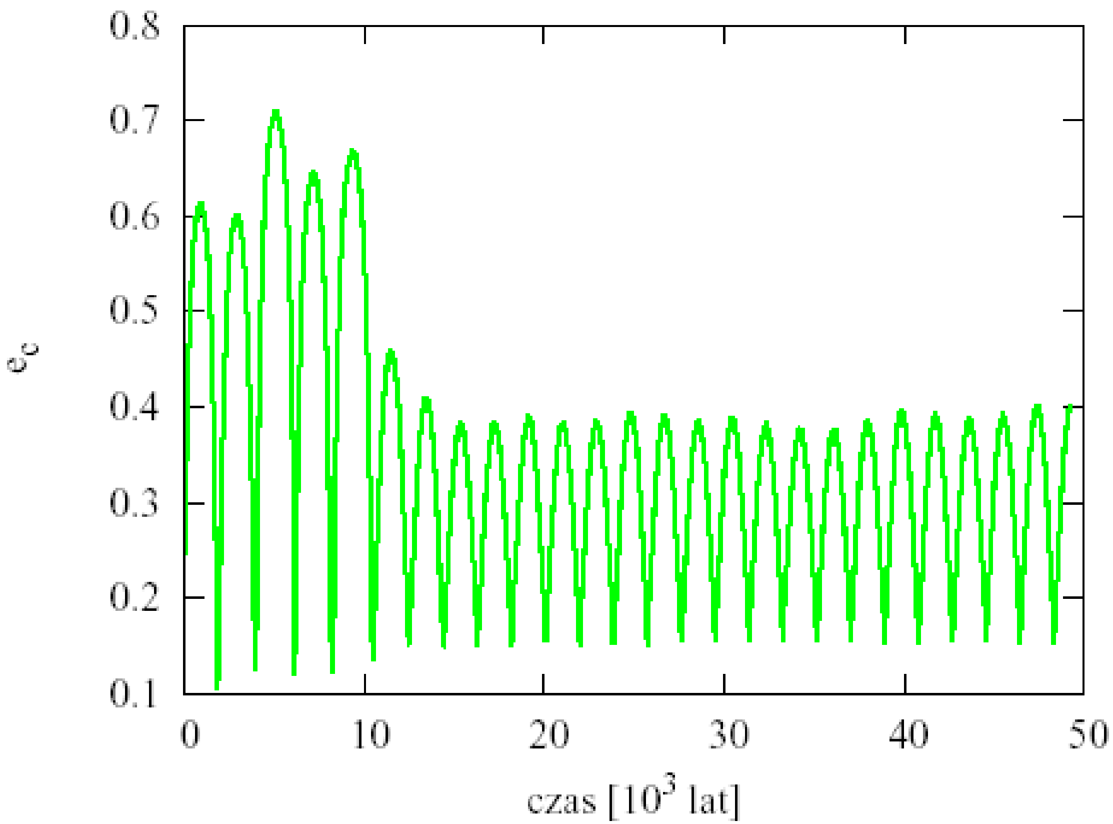
Model, w którym $m_C=4.11M_j$, $m_D=1.98M_j$, $M=1.3M_s$



Ewolucja mimośrodu orbity pozwala w przybliżony sposób określić, jak zachowuje się orbita w czasie. By była ona okresowa wartość mimośrodu musi być mniejsza od jedności.

(*Kiseleva-Eggleton* &Bois, 2001)

Uwzględnienie poprawki TF



Promień gwiazdy *R* = 1.56R☉ (Ford et al., 1998),*

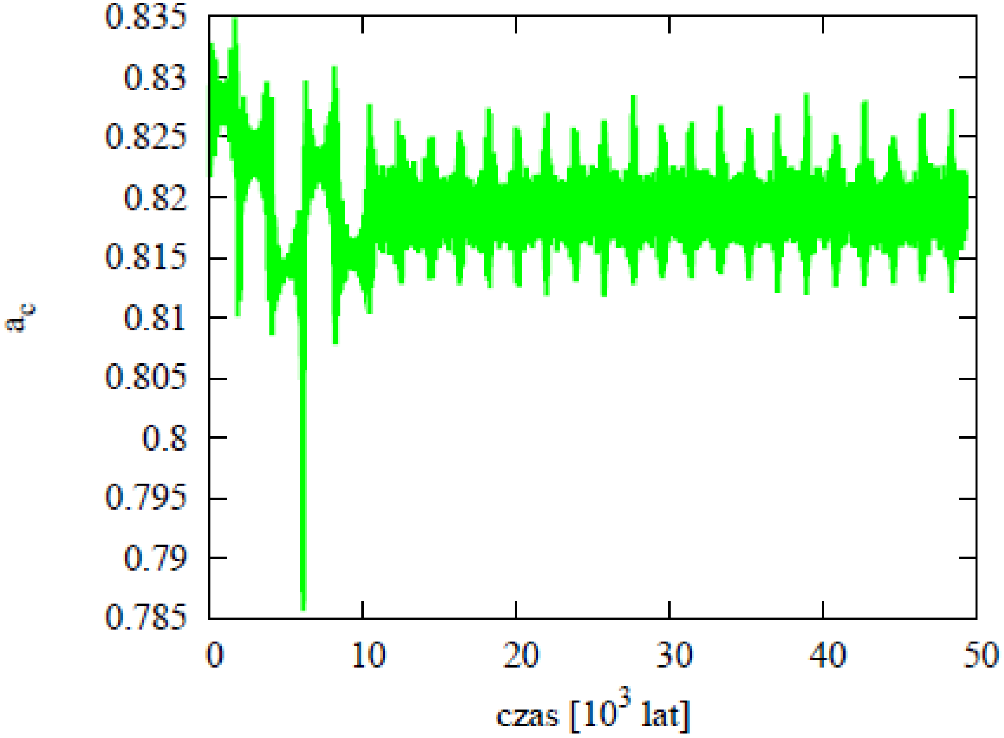
promienie planet: *RC = 1.09RJ , RD = 1.035RJ (Burrows et al., 2001),*

***parame*try wewnętrzne**: *n* = 2.36, nC,D = 1.5*

.

Zastosowanie poprawki TF zmieniło dynamikę układu z chaotycznego na stabilny.

Uwzględnienie poprawki TF cd



Po początkowym zmniejszeniu wielkiej półosi wewnętrznej orbity, następuje stabilizacja wokół 0.82 AU.

Relatywistyka

Uwzględnienie poprawki post-newtonowskiej prowadzi do wiekowych zmian argumentu perycentrum. Czyli rotacji lini apsyd orbity.

Argument perycentrum opisuje położenie orbity w przestrzeni. Jest to kąt pozycyjny mierzony w płaszczyźnie orbity między kierunkami od ciała centralnego do węzła wstępującego i do perycentrum.

Relatywistyka

Takie zmiany (w argumencie perycentrum) mogą być także spowodowane zniekształceniem gwiazdy oraz obecnością dodatkowego ciała.

Zmiany w ruchu linii apsyd wpływają na ewolucję układu, w tym na zachowanie się mimośrodu.

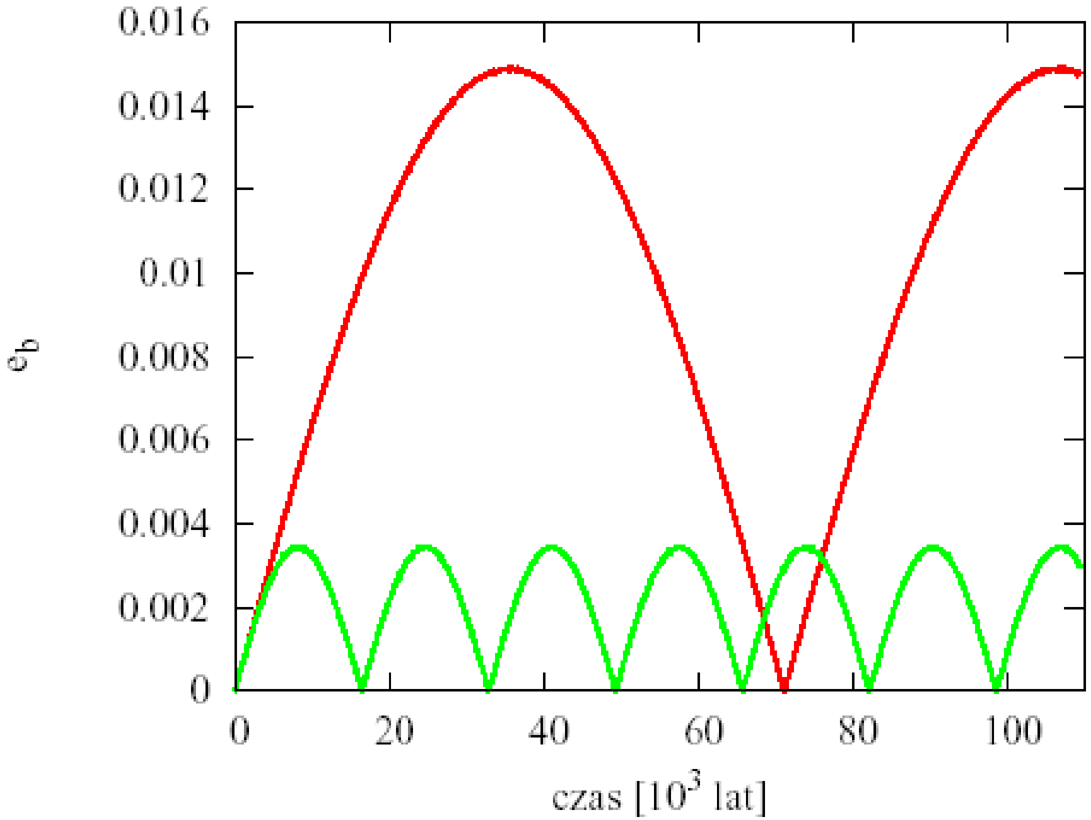
(Mardling & Lin, 2004)

Hipotetyczny układ:

Mb=1Mz, Pb=2.3d., ab=0.02AU

M=0.2Ms

Mc=1Mj, ac=0.7AU, ec=0.2



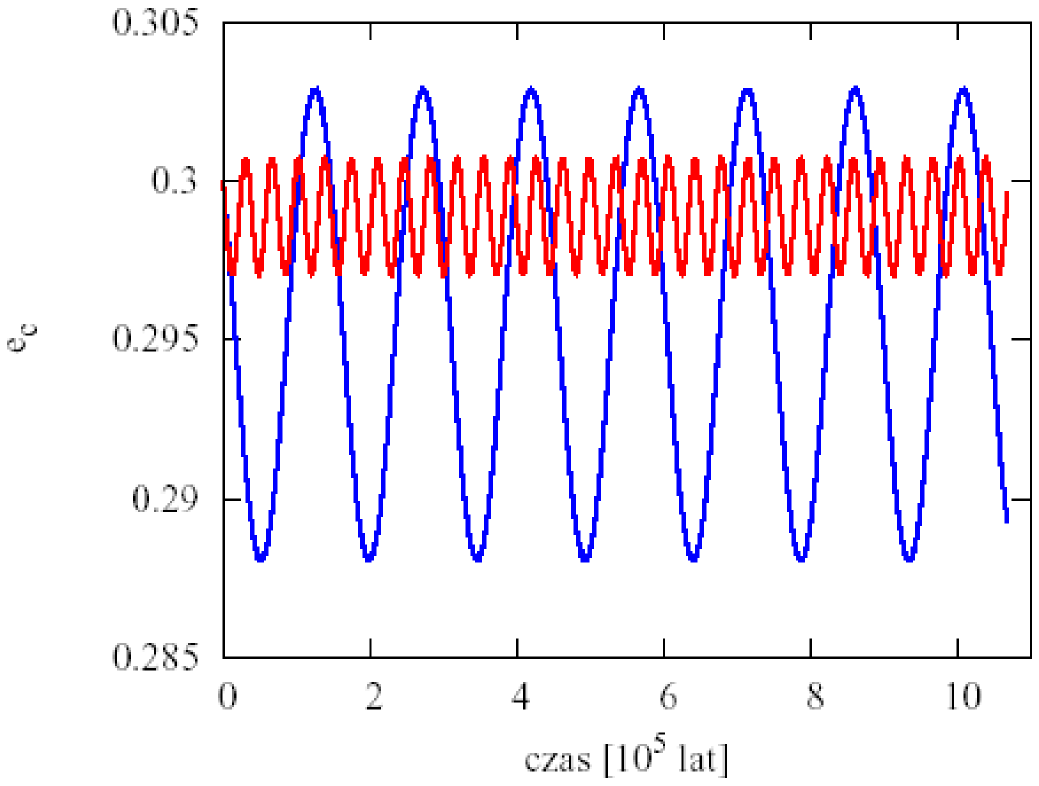
Uwzględnienie poprawki relatywistycznej (*kolor zielony*) zmienia dynamikę układu.

HD 147513

M=1.11Ms

Mc=0.11 Mj

a=0.08AU



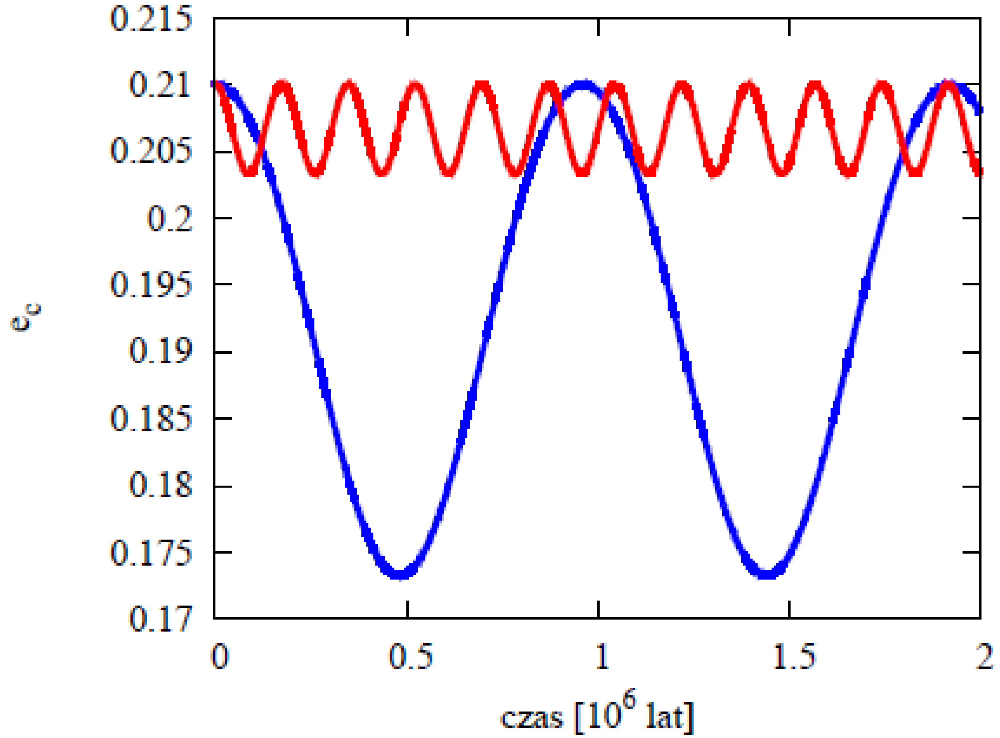
Uwzględnienie poprawki relatywistycznej (*kolor czerwony*) zmienia dynamikę układu.

HD 190360

M=1.04Ms

Mc=0.062 Mj

a=0.13 AU



Uwzględnienie poprawki relatywistycznej (*kolor czerwony*) zmienia dynamikę

Podsumowanie

Wykorzystując omawiane poprawki dynamika planet ulega zmianie.

W szczególnych przypadkach otrzymujemy stabilne rozwiązania. Chociaż model punktowych oddziaływań przedstawiał układ planetarny jako niestabilny.

Skala omawianych efektów jest porównywalna z wpływem na dynamikę układu od dodatkowej, małomasywnej planety.

Dziękuję za uwagę

mmarek@cbk.waw.pl