

3753 Cruithne: drugi księżyc Ziemi?

Czym jest 3753 Cruithne?

- 3753 Cruithne /krinje/ jest planetoidą z pasa planetoid o $d \approx 5$ km i $m \approx 1,3e14$ kg
- Należy do grupy NEOs (Near Earth Objects) – Obiektów Bliskich Ziemi
- Znajduje się w rezonansie 1:1 z Ziemią w swoim obiegu dookoła Słońca
- W peryhelium przecina orbitę Wenus, a w aphelium orbitę Marsa

3753 Cruithne



Podstawowe pytanie:

Jak wygląda orbita 3753 Cruithne i co wynika z jej kształtu?

Równania ruchu

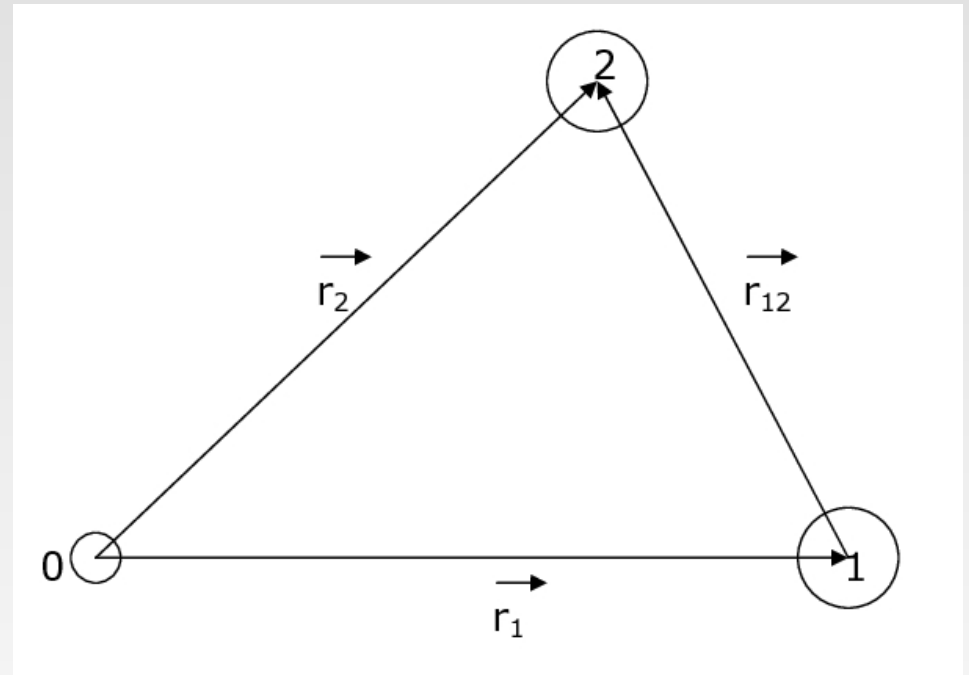
$$\vec{F} = m_2 \vec{a}$$

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

$$m_2 \vec{a} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12} \quad | : m_2$$

$$\vec{a} = G \frac{m_1}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

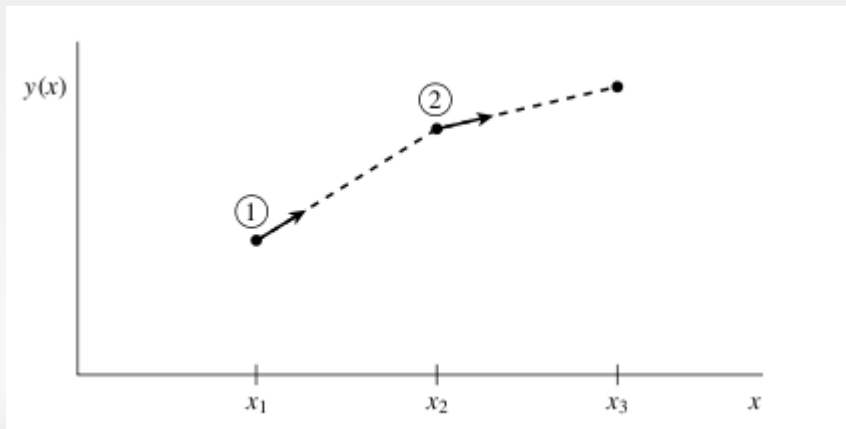
$$\vec{r}_k = \vec{v}_k = \vec{a}_k = \sum_{i=1, i \neq k}^{i=n} -Gm_i \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_k}{|\vec{r}_i - \vec{r}_k|^3}$$



Metody numeryczne

■ Eulera

$$y_{n+1} = y_n + hf(x_n, y_n) + O(h^2)$$



■ Runge-Kutta

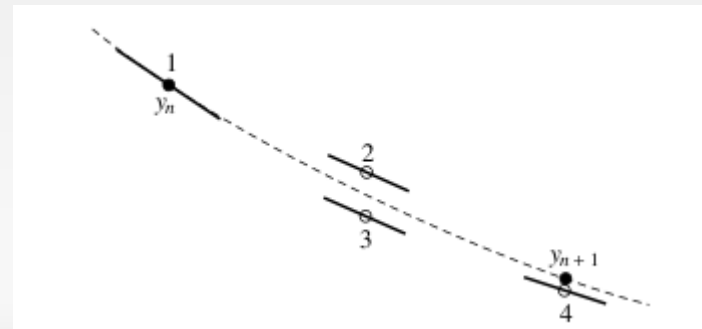
$$k_1 = hf(x_n, y_n)$$

$$k_2 = hf\left(x_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}k_1\right)$$

$$k_3 = hf\left(x_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}k_2\right)$$

$$k_4 = hf(x_n + h, y_n + k_3)$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6}k_1 + \frac{1}{3}k_2 + \frac{1}{3}k_3 + \frac{1}{6}k_4 + O(h^5)$$



Corotational frame

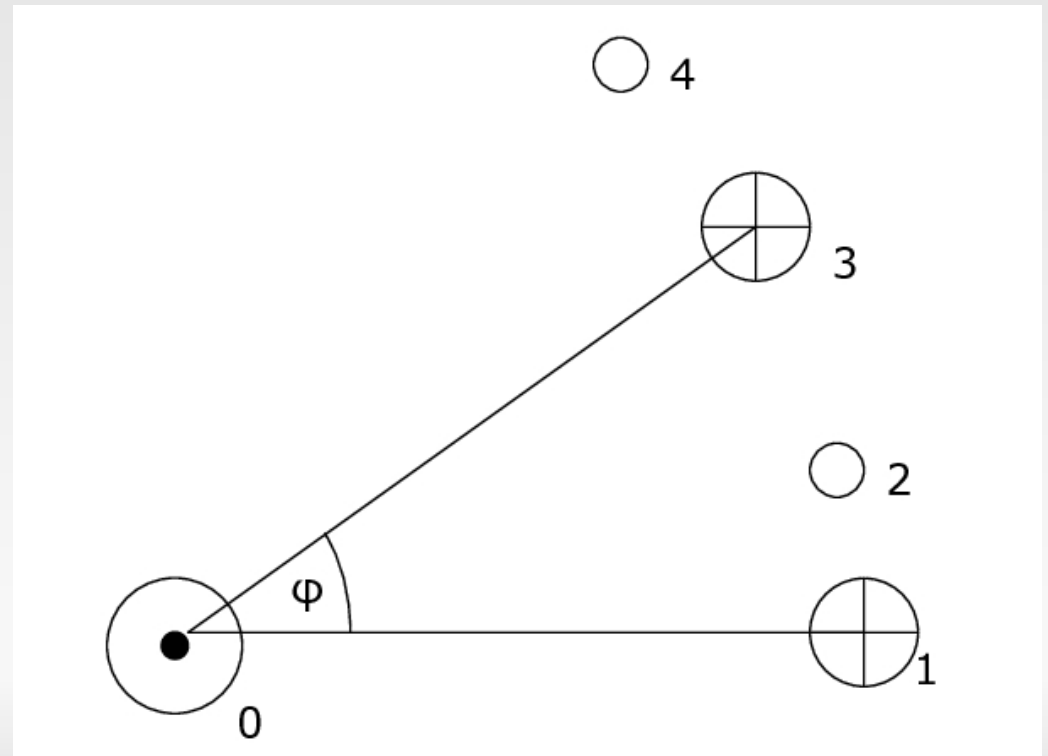
- Macierz transformacji

$$\begin{bmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) & 0 \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

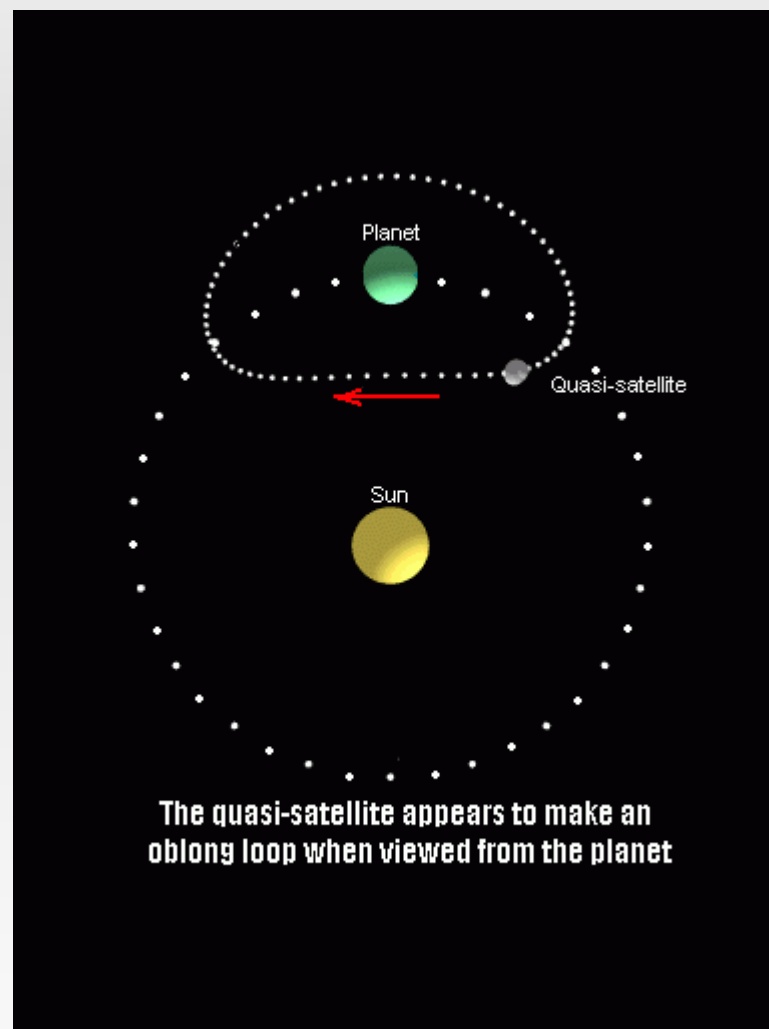
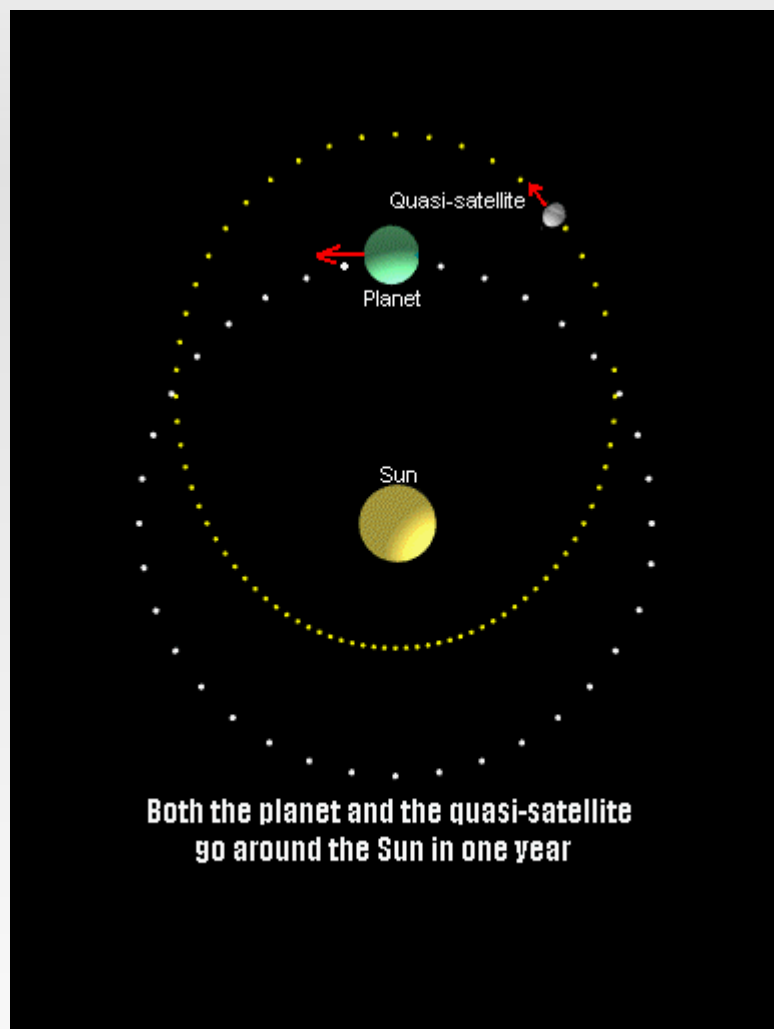
$$\phi = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$$

- ϕ to kąt pomiędzy początkowym położeniem Ziemi a wektorem Z-S
- x, y to składowe wektora pozycji

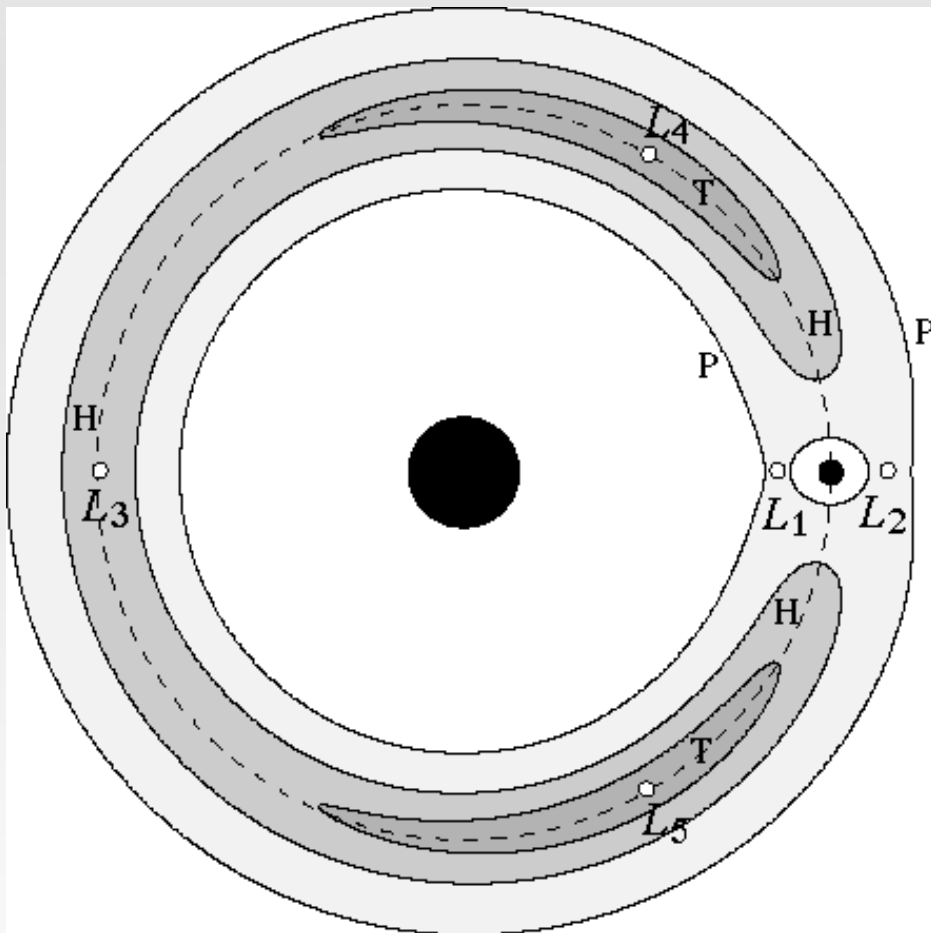
- Corotational frame lub układ współobracający się



Jak powstaje nerka?



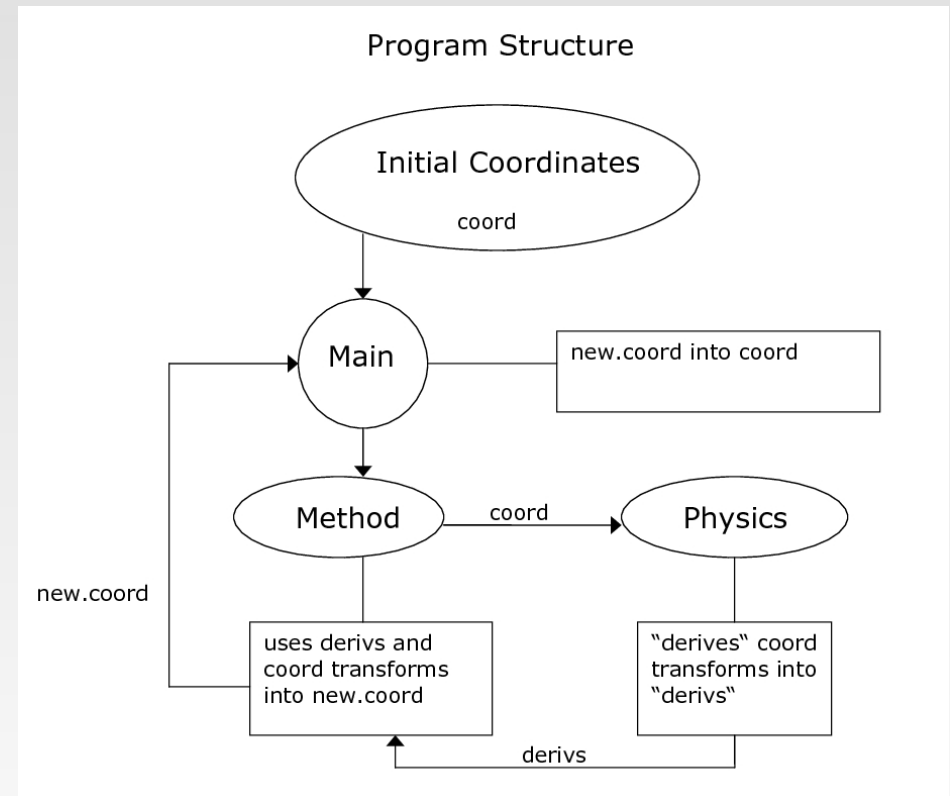
Możliwe orbity



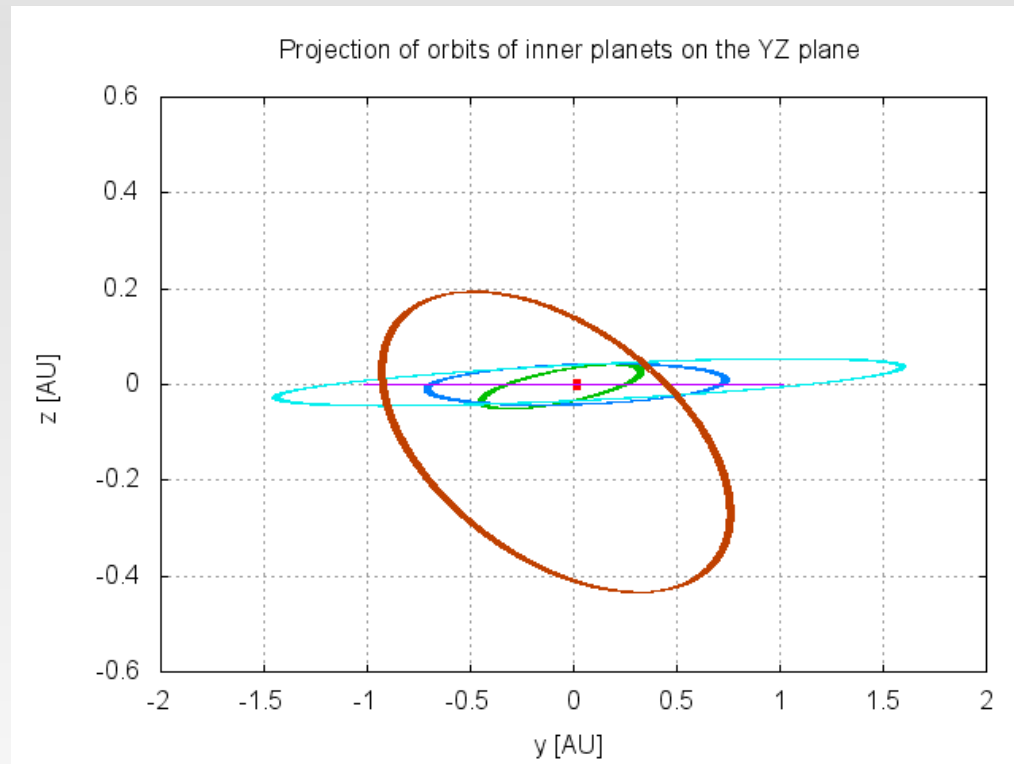
- Linia przerywana oznacza orbitę Ziemi
- Kółeczka oznaczają punkty Lagrange'a
- Zacięniowana pola oznaczają typy orbit:
T – tadpole/kijanka,
H –Horseshoe/podkowa,
P – passing/przechodząca;

Czemu Java? Struktura programu

- Gdy się w ogóle nie umie programować, to każdy język jest (prawie) tak samo dobry.
- Java jest uniwersalna, tzn. Jest gwarancja, że na każdym komputerze program będzie działał w ten sam sposób.



Wyniki, czyli odpowiedź na pytanie

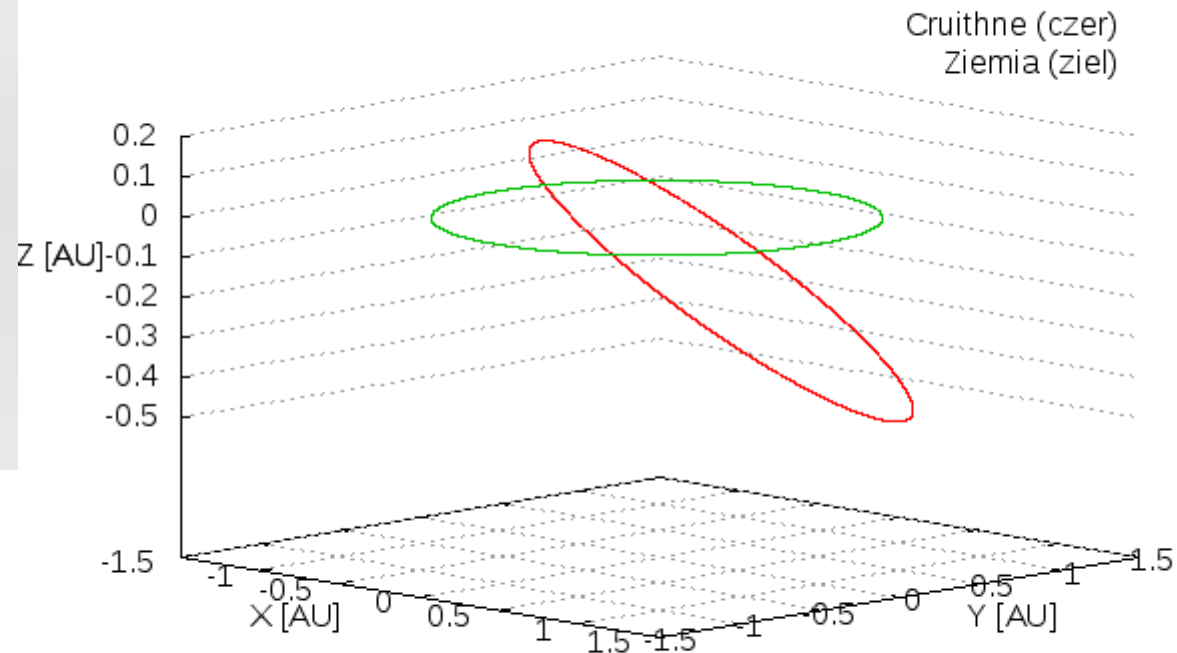


- I tak, i nie:

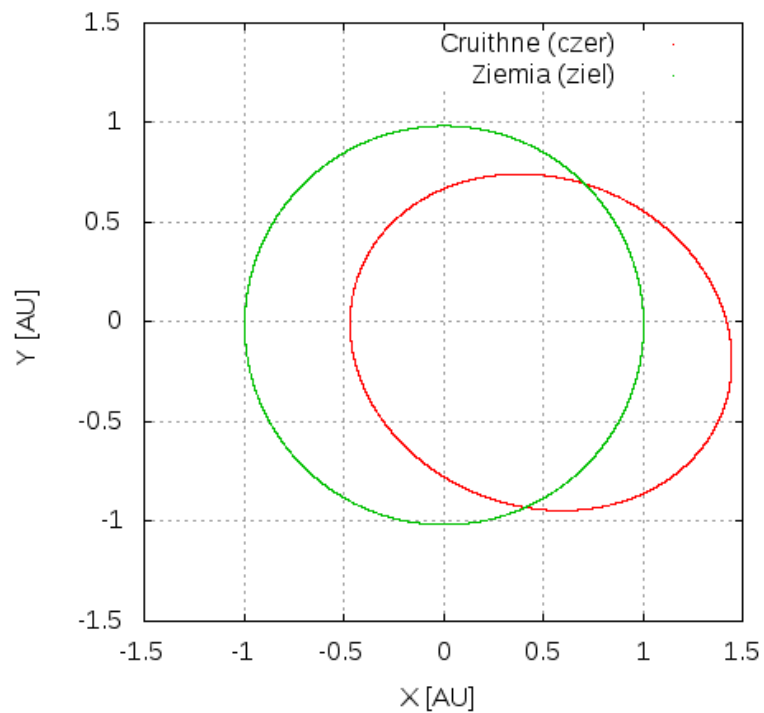
Można powiedzieć, że 3753 Cruithne jest księżycem Ziemi, lecz nie jest to precyzyjne stwierdzenie.

Orbita Cruithne

Orbity Ziemi i Cruithne

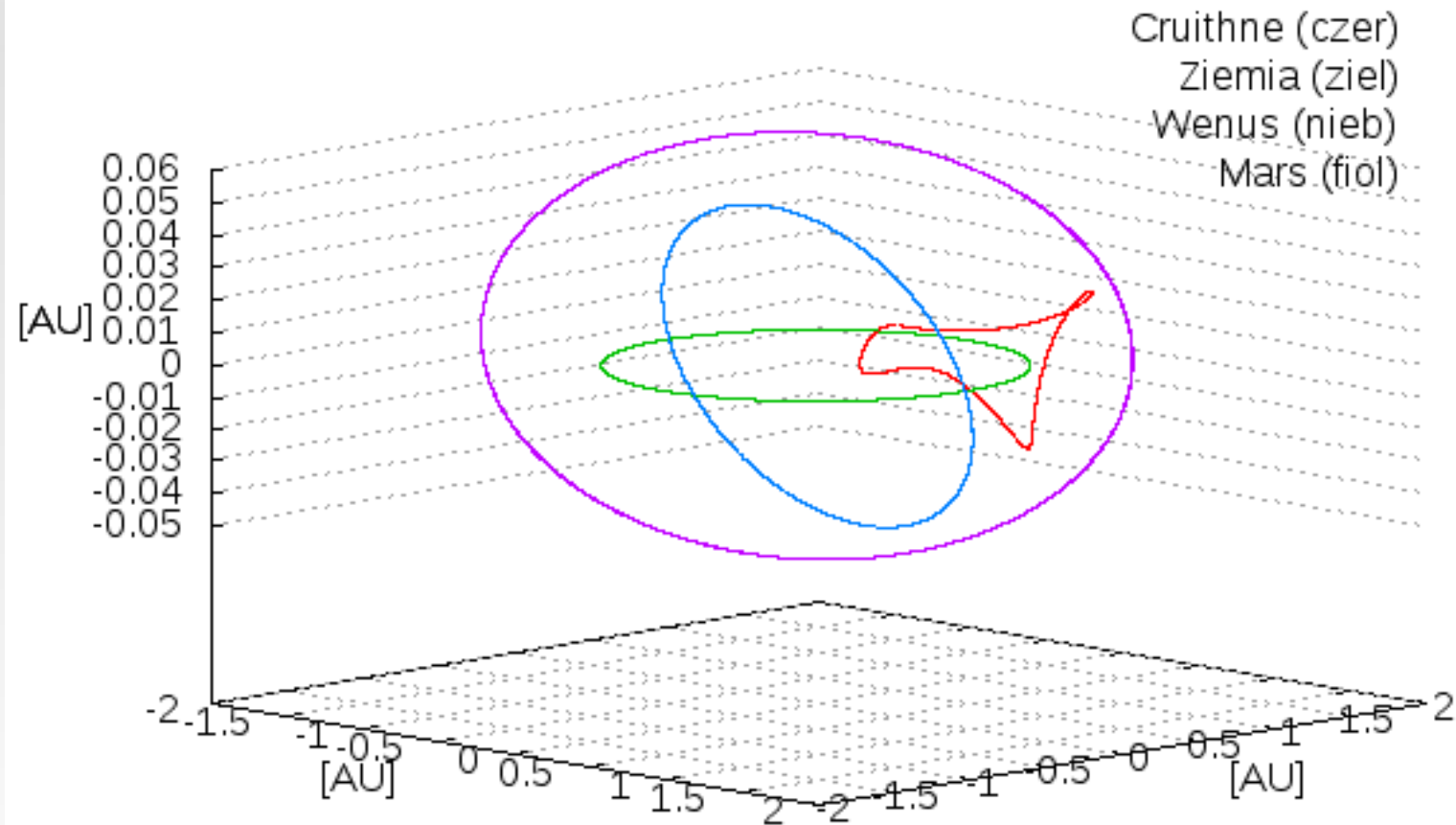


Orbity Ziemi i Cruithne



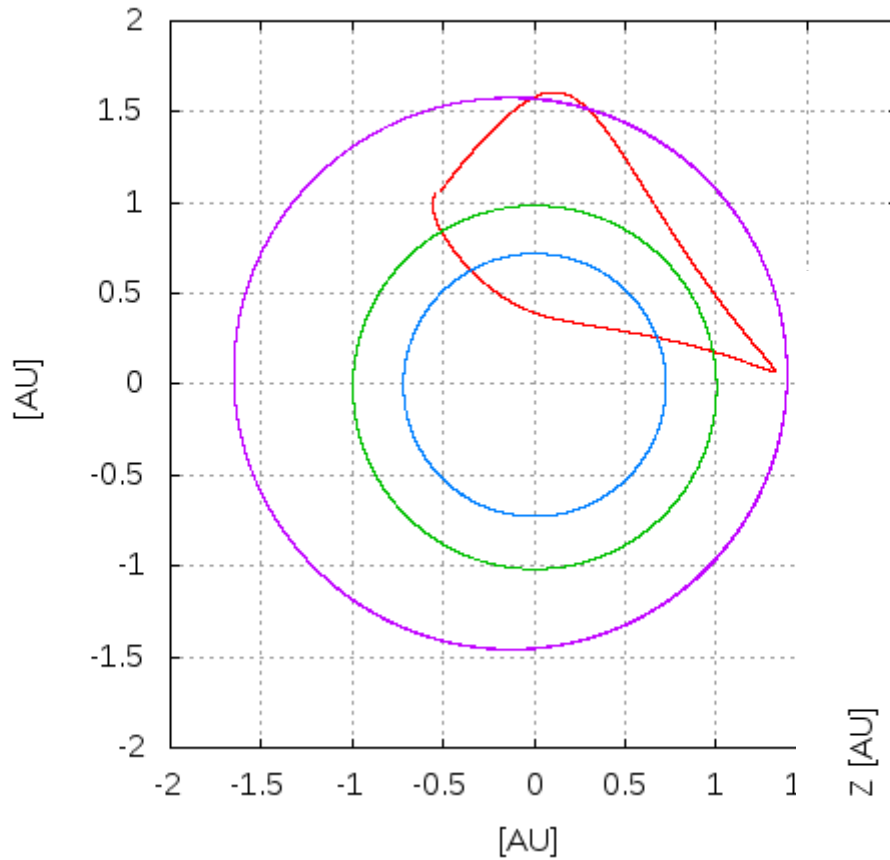
Orbita Cruithne - corotational

Początkowa orbita Cruithne na tle orbit Wenus, Ziemi i Marsa

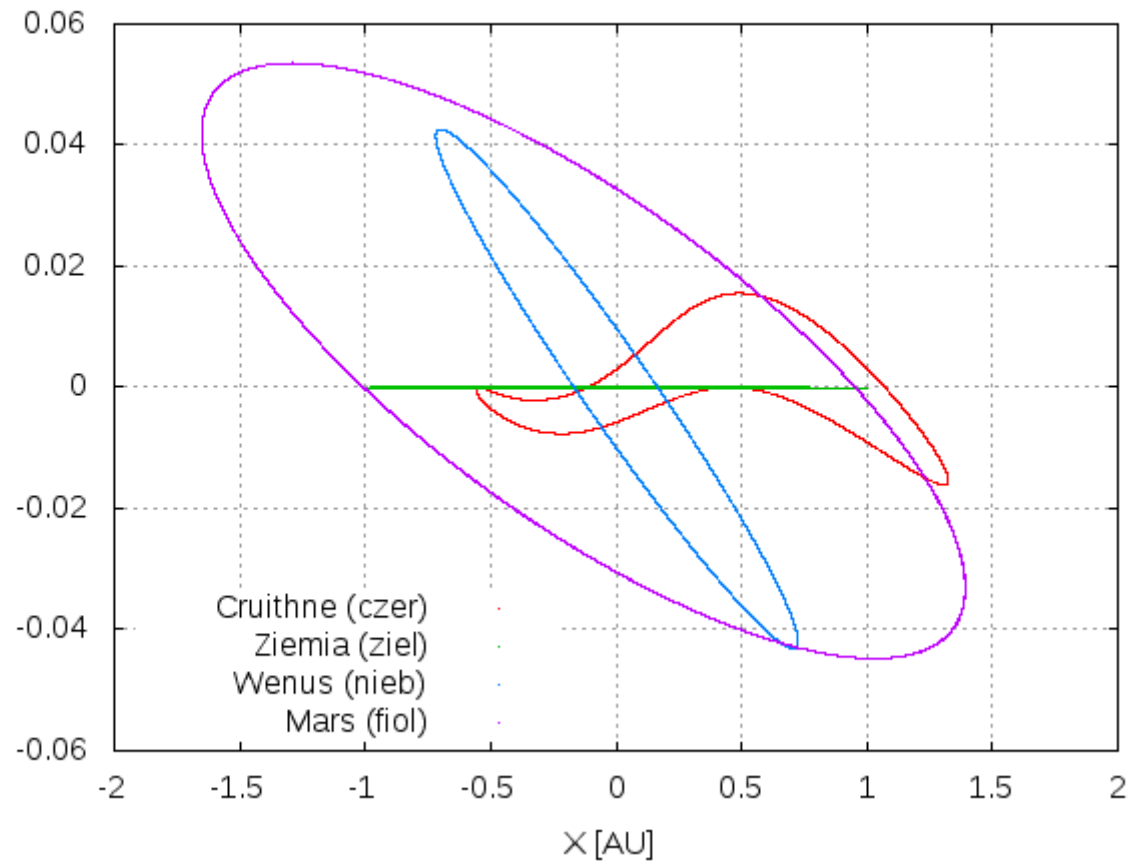


Orbita Cruithne - corotational

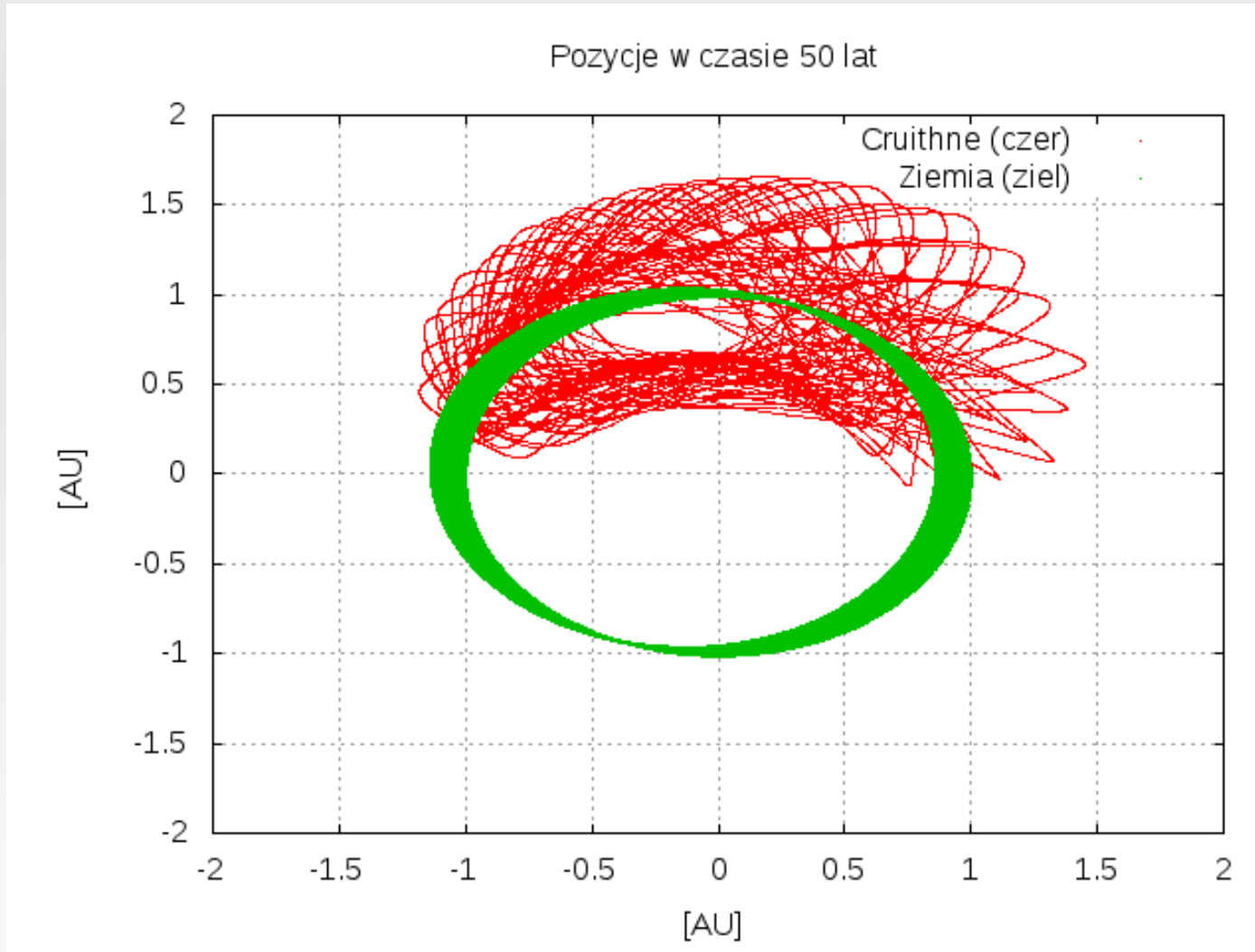
Początkowa orbita Cruithne na tle orbit Wenus, Ziemi i Marsa



Początkowa orbita Cruithne na tle orbit Wenus, Ziemi i Marsa. Przekroj XZ

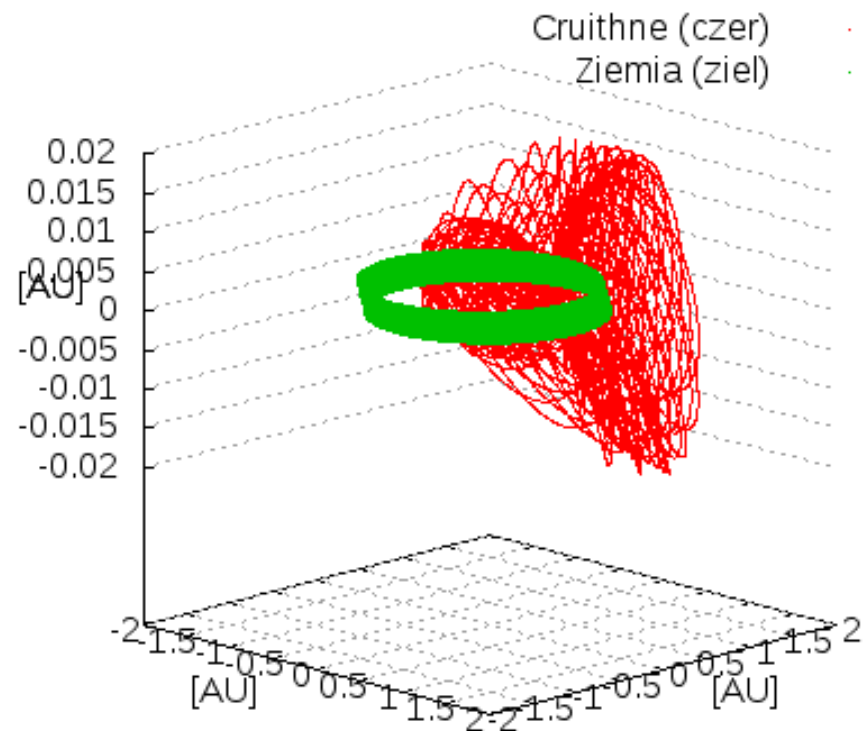


Orbita Cruithne - corotational



Orbita Cruithne - corotational

Pozycje w czasie 50 lat



Podsumowanie

- 3753 Cruithne znajduje się w 'pułapce' grawitacyjnej układu Ziemia-Słońce
- Cruithne jest jednym z kilku tego typu obiektów i jest największa
- Niedoskonałości wyliczonych orbit mogą brać się z uproszczeń dokonanych w modelu (zaniedbanie oddziaływania Księżyca, zaniedbanie masy Cruithne, przybliżenie związane z metodą Runge-Kutta)

Bibliografia

- Bradley W. Carroll, An introduction to Modern Astrophysics. Second Edition, 2006.
- Hannu Karttunen at. all, Fundamental Astronomy, 5th ed., chapter 6., 2007.
- William H. Press at. all, Numerical Recipes. Third Edition, chapter 17., 2007.
- F. Namouni at. all, New coorbital dynamics in the solar system, arXiv:astro-ph/9904016v1, 1999.
- Paul A. Wiegert and Kimmo A. Innanen, An asteroidal companion to the Earth, Nature, 387, 685-686, 1997.
- R.C. Domingos and O.C. Winter, Possibility of collision between co-orbital asteroids and the Earth, SBMAC, 2005
- Wikipedia
- <http://www.astro.uwo.ca/~wiegert/3753/3753.html>

Dziękuję za uwagę!
Pytania?