

Captura de asteróides pelos planetas gigantes

André Izidoro Ferreira da Costa, Masayoshi Tsuchida

Depto de Ciências de Computação e Estatística, IBILCE, UNESP,

15054-000, São José do Rio Preto, SP

E-mail: izidoro.costa@gmail.com, tsuchida@ibilce.unesp.br

No estudo do movimento dos cometas ou dos asteróides em torno do Sol, Júpiter o planeta de maior massa é o principal agente perturbador. O problema restrito de três corpos é o estudo do movimento de três corpos onde um desses não tem massa suficiente para perturbar o movimento dos outros dois.

As equações do movimento no plano (x, y) desse corpo de massa infinitesimal são:

$$\ddot{x} + 2\dot{y} = x - \frac{1-m}{d_1^3}(x-x_1) - \frac{m}{d_2^3}(x-x_2) \quad e \quad \ddot{y} + 2\dot{x} = y - \frac{1-m}{d_1^3}y - \frac{m}{d_2^3}y$$

Onde d_1 é a distância Sol-Asteróide, d_2 é a distância Júpiter-Asteróide, e $m = 0.00095388$ a massa relativa de Júpiter em relação ao Sol.

O objetivo desse estudo é analisar o comportamento de um asteróide que parte próximo de um ponto lagrangeano do sistema Sol-Júpiter



Figura 1: Captura ora pelo Sol, ora por Júpiter

$L_1 = (1.06883063, 0)$ é um ponto onde o movimento é instável como podemos observar pela figura 1, nessas condições iniciais o asteróide é temporariamente capturado pelo Júpiter, em seguida pelo Sol e vice-versa, até que o movimento se estabeleça somente em torno do Sol.

Colocando o asteróide na seguinte posição $(x_0, y_0) = (1.06883, 0.0005)$ e partindo com velocidade $v_x = -0.0005$ e $v_y = 0.0005$, esse é temporariamente capturado pelo Júpiter e depois passa a orbitar em torno do Sol e assim permanece, como mostra a figura 2.



Figura 2: Asteróide Temporariamente Capturado pelo Júpiter

A figura 3 abaixo representa o movimento de um asteróide com as seguintes condições iniciais $(x_0, y_0) = (0.932870, 0)$ e $v = (0.0005, 0.0005)$



Figura 3: Captura definitiva pelo Júpiter

Fornecendo mais energia para o asteróide em relação a condição inicial anterior, esse passa entre Júpiter e o ponto L_1 , começa a orbitar em torno do Sol e é capturado outras vezes pelo planeta até que ganhe energia suficiente para escapar do sistema como mostra a figura 4 onde $v = (0.05, -0.05)$ e a posição inicial é a mesma da figura 3.



Figura 4: Assistência gravitacional (gravity-assisted)

A figura 5 trata-se do movimento de um asteróide nas proximidades do ponto $L_3 = (-1.00039745, 0)$.



Figura 5: Órbita tipo ferradura

As condições iniciais desse asteróide da figura 5 são: $(x_0, y_0) = (-1.0009, 0)$ e $v = (0, 0.0007)$, e como podemos observar o movimento é instável. A órbita da figura 5 é do tipo ferradura e abrange os pontos L_4 e L_5 . E quanto mais próximo do L_3 é a condição inicial, maior é a oscilação do movimento do asteróide.

Mudando a velocidade do asteróide para $v = (0, 0.522020)$ e a posição inicial para $(x_0, y_0) = (-1.00004, -0.00035)$, ainda nas proximidades do ponto L_3 , há um ganho de energia ao passar próximo do Sol, ficando impossível a captura pelo Júpiter e assim o asteróide escapa do sistema como mostra a figura 6.



Figura 6: Ganho de energia com órbita em torno do Sol

O ponto L_4 é um ponto de estabilidade como podemos ver pela figura 7, onde as condições iniciais do asteróide são: $(x_0, y_0) = (0.498550, 0.866030)$ e $v = (0.050000, 0.050000)$.



Figura 7: Órbita estável confinada em torno de L_4

Como o ponto L_4 é um ponto estável para que o asteróide consiga sair de sua proximidades é necessária uma certa quantidade de energia. Com as condições iniciais $(x_0, y_0) = (0.499400, 0.866380)$ e $v = (0.070710, 0)$, o asteróide escapa da vizinhança de L_4 , e ao passar próximo de Júpiter tem sua órbita modificada drasticamente, como podemos ver na figura 8.



Figura 8: Após quase colisão com o Júpiter, o asteróide passa a descrever uma órbita envolvendo o Sol e Júpiter

Assim como L_4 , L_5 é um ponto estável conforme a figura 9, onde $(x_0, y_0) = (0.498690, -0.866380)$ e $v = (-0.05, 0.05)$. Modificando as condições iniciais para $(x_0, y_0) = (0.499550, -0.866030)$ e $v = (-0.050000, -0.050000)$, o asteróide é capturado temporariamente em uma órbita ferradura, mas passagens próximas a Júpiter levou o asteróide a escapar do sistema (figura 10)



Figura 9: órbita estável confinada em torno de L_5



Figura 10: Captura temporária em órbita ferradura e posterior escape do sistema

Através dessas simulações numéricas verificamos que os pontos L_1, L_2 e L_3 são pontos instáveis, e os pontos L_4 e L_5 são estáveis. Isso possibilita que os asteróides próximos aos pontos instáveis tenham grande chance de serem capturados pelo Júpiter.

Referências

- [1] Fundamentals of Celestial Mechanics-J.M.A.Danby
- [2] Introduction to Celestial Mechanics-S.W.Mc Cuskey
- [3] An Introduction to Celestial Mechanics-F.R.Moulton
- [4] Theory of Orbits-V.Szebehely
- [5] A Treatise on Analytical Dynamics-L.A.Pars