

TEMPO MÁXIMO DE ESCAPE EM FUNÇÃO DA RAZÃO DE MASSA DOS PRIMÁRIOS. Tiago de Araujo Bastos, Othon Cabo Winter. – Física – Astronomia – Mecânica Celeste – Departamento de Matemática – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá.

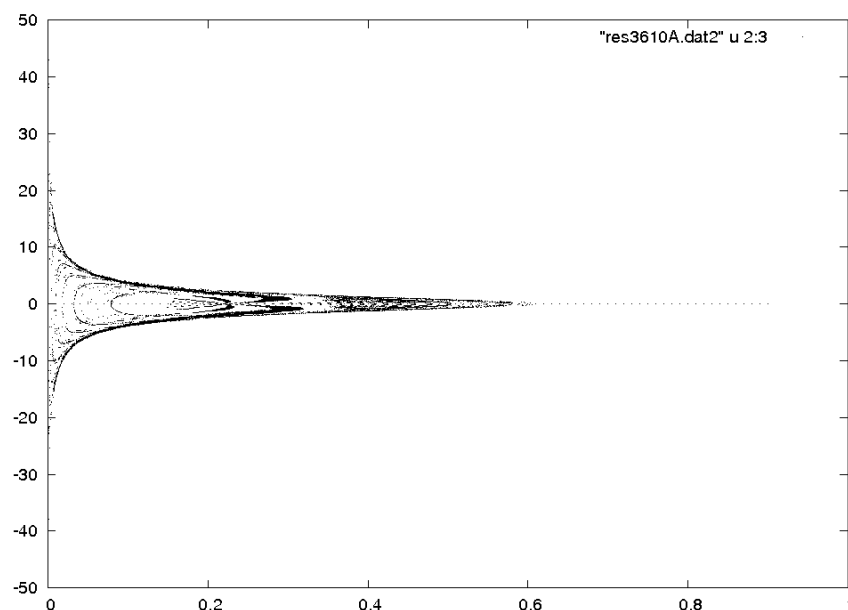
O movimento de muitos corpos do sistema solar pode ser aproximado pelo problema de dois corpos. O efeito gravitacional de outros corpos pode ser tratado como perturbação a esse problema. Sua resolução é analítica e sua solução é a equação geral de uma cônica. Entretanto, o problema de três corpos não possui solução geral analítica exata. E, por definição, chama-se o mesmo de circular e restrito.

O estudo desses problemas é largamente utilizado em simulações computacionais sobre a dinâmica de astros. Esse mecanismo é conhecido como escape ou captura, dependendo do caso. Mas, quando a partícula, inicialmente em órbita aberta, é capturada pelo planeta, o mecanismo é chamado de captura gravitacional temporária, já que ele ficará em órbita com o planeta por algum tempo.

O tempo que a trajetória leva para escapar é chamado de tempo de escape. Esse tempo depende da condição inicial da trajetória. Quanto mais próxima estiver a trajetória da esfera de Hill (Roy 1988), isto é, quanto mais próxima estiver da região de grudamento (*stickiness regions*), maior será o tempo nas proximidades do planeta, onde as órbitas do sistema dinâmico ficam por tempos muito longos confinadas perto de ilhas de estabilidade, escapando posteriormente para regiões de caos global.

Esse método é utilizado em Mecânica Celeste para explicar a existência de satélites irregulares dos planetas gigantes, assim como estudar a transferência de órbita de veículos espaciais da vizinhança da Terra para a vizinhança da Lua.

Para determinar os elementos orbitais de uma partícula é necessário conhecer sua posição e sua velocidade, levando em consideração um sistema de quatro dimensões: x, y, \dot{x} e \dot{y} . Fazendo $y = 0$ definimos um plano no sistema, onde os valores de x e \dot{x} são determinados sempre que a partícula estiver passando pelo plano, representado como um ponto. Esta técnica pode determinar a natureza caótica ou regular de uma trajetória da partícula, demonstrando ilhas de estabilidade e regiões de grudamento. Abaixo segue uma superfície de seção de Poincaré:



Superfícies de seção de Poincaré para $\mu = 1 \times 10^{-1}$

É possível notar na superfície diversas regiões, ou ilhas, onde a trajetória da partícula permanece confinada e regular. Pontos fora dessa região representam a instabilidade da órbita, sendo que grande parte da trajetória é irregular e caótica.

A “faixa de transição” entre as ilhas e as regiões instáveis é chamada de região de grudamento (*stickiness regions*).

O tempo que a trajetória leva para escapar é chamado de tempo de escape. Esse tempo depende da condição inicial da trajetória. Quanto mais próxima estiver a trajetória da região de grudamento (*stickiness regions*), maior será o tempo nas proximidades do planeta, onde as órbitas do sistema dinâmico ficam por tempos muito longos, escapando posteriormente para regiões de caos global.

Essa região pode ser verificada mais precisamente quando fazemos a simulação da partícula em órbita na pequena faixa de transição e colocamos os resultados em um gráfico da excentricidade do planeta pelo seu semi-eixo maior (E x A)

Para calcularmos o valor dessa faixa podemos utilizar a expressão da esfera de Hill, já que quanto mais próxima a partícula estiver dela, mais próxima estará também da região de grudamento.

A expressão é dada por:

$$R_H = \sqrt[3]{\frac{\mu}{3}} \cdot a$$

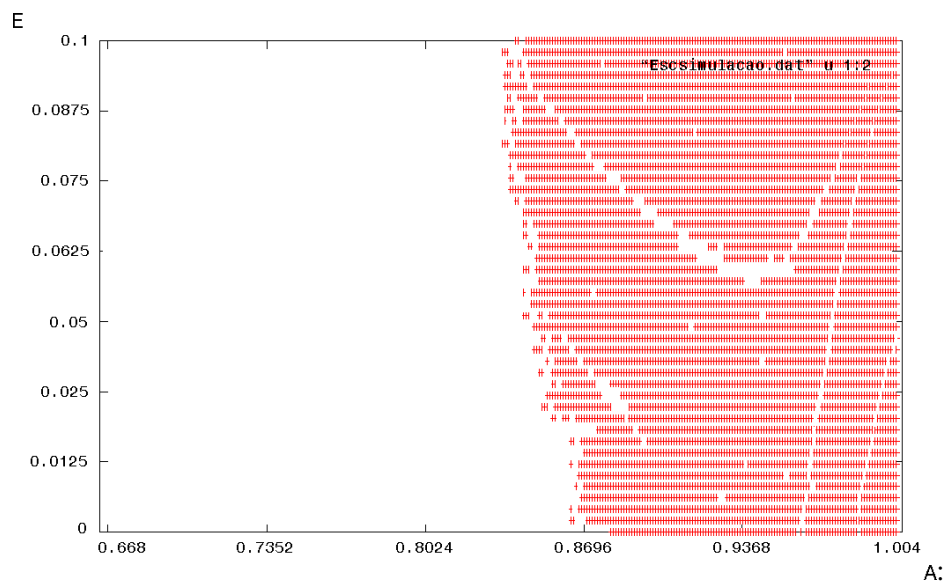
onde (μ) é a razão de massa entre o primeiro corpo (planeta) e o Sol; (a) é o valor do semi-eixo maior do planeta.

Identificamos a região fazendo:

$$A = A_f - A_i$$

$$\rightarrow A_i = 0,4 R_H$$

$$\rightarrow A_f = 0,6 R_H$$



A imagem mostra com clareza a região de transição onde a partícula deixa de orbitar Júpiter, designada pela área vermelha. Isso ocorre para além e nas proximidades de 0,175 U.A. do semi-eixo do planeta. Toda a área branca, isto é, antes de 0,175 U. A., é uma região de estabilidade, onde a partícula permanece em órbita.

A simulação acima fora feita para um período de 100 (cem) anos. Alguns dos pontos pertencentes à área de estabilidade poderiam não estar presentes, já que a partícula escaparia do

planeta caso um período maior fosse utilizado. Vale também dizer que nessa configuração (I) , (Ω) e (w) valem 0 (zero).

Esses resultados facilitaram o estudo e a identificação das regiões de grudamento (*stickiness regions*) de planetas considerando diferentes razões de massa.

O trabalho desenvolvido envolveu consultas freqüentes a livros, a professores colaboradores e ao orientador, entre outras fontes de pesquisa, que trouxeram uma visão ampla e aprimorada do funcionamento e da dinâmica do sistema solar.

MURRAY, C. D.; DERMOTT, S. F., **Solar System Dynamics**. Cambridge University Press, 1999.

ROY, A. E., **Orbital Motion**. Bristol, 1988.

WINTER, O. C., MURRAY, C. D., **Atlas of the Planar, Circular, Restricted Three-Body Problem – External Orbits**. University of London, 1994.