

EFEITOS DE UMA GRANDE APROXIMAÇÃO ENTRE ASTERÓIDES NA RESSONÂNCIA 3:1 E PLANETAS INTERIORES

Érica Cristina Nogueira (Bolsista PIBIC/CNPq)

Aluna da Universidade Estadual Paulista - UNESP

orientador(es): Antônio. F. B. de A. Prado, da DIVISÃO DE MECÂNICA ESPACIAL E CONTROLE - INPE e Othon Cabo Winter, do GRUPO DE DINÂMICA ORBITAL & PLANETOLOGIA - UNESP

Já há mais de um século é sabido que a distribuição de asteróides do cinturão principal, localizado entre Marte e Júpiter, não é uniforme. Fazendo-se um histograma da quantidade de asteróides em termos de semi-eixo maior orbital verifica-se lacunas em regiões conhecidas como Falhas de Kirkwood. Estudando a Falha de Kirkwood associada à ressonância 3:1, Wisdom (1982) mostrou que hipotéticos asteróides nesta ressonância teriam movimento caótico. Estas órbitas atingiriam altas excentricidades, passando a cruzar a órbita de Marte e, eventualmente, a órbita da Terra. A partir disto, Wisdom sugeriu que o “close approach” entre Marte e os asteróides removeriam os mesmos desta ressonância, resultando na falha observada.

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo analítico introdutório, baseado em manobras “swing-by” (Broucke, 1982 e Prado, 1998), sobre as condições em que a perturbação no “close approach” altera a órbita desses asteróides. Assume-se um sistema formado por três corpos: μ_1 - massa de um corpo no centro do sistema cartesiano (Sol); μ_2 - pequeno corpo em volta do Sol em uma órbita Kepleriana (Planeta); m - um asteróide de massa desprezível viajando numa órbita em volta do Sol, em ressonância 3:1 com Júpiter, quando produz um “close approach” com o Planeta. Problemas do tipo “swing-by” consistem no estudo de uma passagem próxima entre dois corpos celestes, utilizando-se a aproximação “patched conics”.

Os três parâmetros básicos que definem o “swing-by” são:

- r_p : distância do pericentro relativo ao planeta durante a passagem;
- ψ : ângulo entre a linha do pericentro e a linha que une o Planeta ao Sol;
- $|\vec{v}_\infty| = v_\infty$: a magnitude da velocidade relativa de aproximação do asteróide.

As três quantidades importantes calculadas via manobra “swing-by” são:

- a variação da velocidade: $\Delta \vec{V} = 2v_\infty \text{sen} \delta$
- a variação do momento angular: $\Delta h = -\frac{2v_\infty v_2 \text{sen} \delta \text{sen} \Psi}{\omega}$

onde v_2 é a velocidade o Planeta e ω a velocidade angular

- a variação da energia : $\Delta E = -2v_\infty v_2 \text{sen} \delta \text{sen} \Psi$

$$\text{onde: } \text{sen} \delta = \frac{I}{I + \frac{r_p v_\infty^2}{\mu_2}}$$

Este trabalho é voltado para o estudo da variação do semi-eixo maior e da excentricidade causadas pela variação da energia e do momento angular da órbita do asteróide em questão. Variando o semi-eixo maior e a excentricidade da órbita será possível verificar se o asteróide ainda estará librando na referida ressonância. Esta variação é dada por:

$$\Delta a = \frac{2a^2}{\mu_1} \Delta E$$

$$\Delta e = \frac{h \Delta E}{\mu_1} \left(\frac{h}{\mu_1} - \frac{1}{a \omega} \right) \sqrt{\frac{\mu_1 a}{\mu_1 a + h^2}}$$

Utilizando o Software Mathematica, estuda-se as regiões onde poderá ocorrer o encontro entre o asteróide e o Planeta calculando variação da energia, da excentricidade e do semi-eixo maior. Estuda-se as variações de a e e que sejam grandes o suficiente para remover o asteróide da ressonância. Os resultados obtidos revelam que Δe é muito pequeno, sem contribuição significativa para o processo considerado. Analisando os resultados em termos de Δa , e estimando o tamanho do arco orbital do Planeta, isto é, a máxima distância angular do ponto de colisão em que o Planeta pode estar e ainda assim remover o asteróide da ressonância. Uma compilação dos resultados estão nas Tabelas 1, 2 e 3, os quais mostram que o tamanho da esfera de influência não muda significativamente o tamanho do arco orbital do Planeta.

TABELA 1: Dada a excentricidade inicial e fixada a esfera de influência, obtêm-se o arco da órbita da Terra, $\Delta\theta$.

| e | $\Delta\theta (1 R_{Rov})$ | $\Delta\theta (2 R_{Rov})$ |
|-----|----------------------------|----------------------------|
| 0.7 | 2.0 | 2.0 |
| 0.8 | 1.0 | 1.0 |
| 0.9 | 2.0 | 2.0 |

TABELA 2: Dada a excentricidade inicial e fixada a esfera de influência, obtêm-se o arco da órbita de Vênus, $\Delta\theta$.

| e | $\Delta\theta (1 R_{Rov})$ | $\Delta\theta (2 R_{Rov})$ |
|-----|----------------------------|----------------------------|
| 0.8 | 2.0 | 2.0 |
| 0.9 | 0.8 | 1.0 |

TABELA 3: Dada a excentricidade inicial e fixada a esfera de influência, obtêm-se o arco da órbita de Marte, $\Delta\theta$.

| e | $\Delta\theta (1 R_{Rov})$ | $\Delta\theta (2 R_{Rov})$ |
|-----|----------------------------|----------------------------|
| 0.4 | 0.60 | 0.60 |
| 0.5 | 0.10 | 0.06 |
| 0.6 | 0.05 | 0.06 |
| 0.7 | 0.04 | 0.01 |
| 0.8 | 0.02 | 0.02 |
| 0.9 | 0.02 | 0.02 |

A partir destes resultados fica claro a necessidade de que o asteróide tenha de fato uma grande aproximação com um destes Planetas a fim de sofrer uma perturbação significativa e ser removido da ressonância 3:1 com Júpiter. Dentre os planetas estudados, Marte é o planeta que dá a menor contribuição para esse mecanismo de remoção.

No intuito de checar a validade destes resultados analíticos foram executados um número significativo de simulações numéricas. Na apresentação deste trabalho será feita uma análise preliminar dos resultados dessas simulações em comparação com os resultados analíticos obtidos e será verificado quais as condições tais que a variação da excentricidade e do semi-eixo maior orbital do asteróide removam-no da ressonância 3:1 com Júpiter.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Broucke, R. "The Celestial Mechanics of Gravity Assist". AIAA/AAS Astrodynamics Conference - Mineapólis – MN (AIAA-88-4220-CP) - 1982
- Roy, A. E. "Orbital Motion". Adam Hilger – Nova York – 3ª edição.- 1988
- Wisdom, J.. "The origin of Kirkwood gaps: A mapping for asteroidal motions near the 3/1 commensurability". The Astronomical Journal 87(3), 557-593. - 1982
- Prado, A. F. Bertachini de A. "A manobra assistida por gravidade". Apostila do INPE, In_press.