

# O EFEITO DO "CLOSE APPROACH" COM MARTE SOBRE ASTERÓIDES DA RESSONÂNCIA 3:1

ÉRICA CRISTINA NOGUEIRA

Unesp – Campus de Guaratinguetá - Bolsa PIBIC/CNPq

Orientadores: Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado, Tecnologista, DMC  
Dr. Othon Cabo Winter, Professor, 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 (ou entre a Terra) 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", sobre as condições em que a perturbação no "close approach" altera a órbita desses asteróides. Problemas do tipo "swing-by" consistem no estudo de uma passagem próxima entre dois corpos celestes, utilizando-se a aproximação "patched conics" que se divide em três fases:

- 1- Na primeira, o Planeta é negligenciado e o movimento do asteróide ao redor do Sol é considerado uma órbita Kepleriana;
- 2- Na segunda fase é assumido que o asteróide entra na esfera de influência do Planeta e o efeito do Sol é negligenciado. O movimento do asteróide em relação ao Planeta é hiperbólico e nesta etapa o seu vetor velocidade relativa gira de um ângulo  $2\delta$ , mas mantém sua magnitude constante. Então o asteróide cruza novamente a esfera de influência do Planeta e deixa este para retornar a órbita Kepleriana em volta do Sol;
- 3- Quando o asteróide atinge sua nova órbita Kepleriana em volta do Sol, o "swing-by" está completo.

Os três parâmetros que definem o "swing-by" são:

- $r_p$  : distância do pericentro durante a passagem;
- $\psi$  : ângulo entre a linha do pericentro e a linha que une o asteróide e Marte;
- $|V|$  : a magnitude da velocidade de aproximação do asteróide.

As três quantidades importantes calculadas no movimento "swing-by" são:

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

onde:  $\sin \delta = \frac{1}{1 + \frac{r_p v_{\infty}^2}{\mu_2}}$

Este trabalho é voltado para o estudo da mudança do semi-eixo maior orbital e 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:

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

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

### Referências Bibliográficas

- Broucke, R. (1982) "The Celestial Mechanics of Gravity Assist". AIAA/AAS Astrodynamics Conference - Mineapólis – MN (AIAA-88-4220-CP)
- Wisdom, J. 1982. "The origin of Kirkwood gaps: A mapping for asteroidal motions near the 3/1 commensurability". The Astronomical Journal 87(3), 557-593.
- Prado, A. F. Bertachini de A. (1998) "A manobra assistida por gravidade". (Apostila do INPE, In\_press)