

ESTABILIDADE DAS ÓRBITAS PLANETÁRIAS NOS SISTEMAS DE ESTRELAS BINÁRIAS

Eduardo Andrade, Tatiana Michtchenko
IAG/USP

Estima-se atualmente que mais de 60% das estrelas constituem um sistema binário ou múltiplo (Duquennoy e Mayor 1991), e devido a complexidade do problema, pouco se conhece atualmente sobre zonas habitáveis nesses sistemas. O primeiro passo para se determinar a zona habitável em torno de um sistema binário é determinar as regiões que o movimento do planeta é estável. No presente projeto foram desenvolvidos algoritmos de integração numérica para o sistema de três corpos com o integrador numérico *RA15* (Goździewski e Maciejewski 1995) e elaborado um critério de estabilidade baseado no desenvolvimento analítico do sistema de três corpos. O método foi aplicado no sistema binário *HD 82817*, onde foi determinada a região de estabilidade no espaço de fase dos semi-eixo maior e excentricidade iniciais do planeta. Determinadas as estabilidades dos parâmetros iniciais, foram feitas integrações numéricas da evolução do sistema para se verificar os resultados obtidos pelo critério.

MANOBRAS ASSISTIDAS POR GRAVIDADE E OS ASTERÓIDES VESTA E MAGNYA

Rosana Aparecida Nogueira de Araujo¹, Othon Cabo Winter^{2,1},
Antônio F. Bertachini de A. Prado¹

1 - INPE
2 - UNESP

O asteroide Vesta (4), é o único asteroide do cinturão principal de asteroides a apresentar uma superfície de rocha basáltica, originária de antigas erupções vulcânicas (McCord et al., 1970). Estudos feitos através da análise de imagens obtidas pelo telescópio espacial Hubble, indicam a presença de cálcio, magnésio e olivina (Binzel et al., 1997). Há também uma gigantesca bacia de impacto, o qual provavelmente gerou todos os pequenos corpos que compõem a chamada família de Vesta. (Thomas, et al. 1997). Recentemente foi verificado que o asteroide Magnya (1459) tem características físico-químicas similares aos corpos da família de Vesta (4) (Lázzaro et al., 2000), também apresentando uma formação basáltica, o que deixa a possibilidade dele ser originário deste asteroide. No entanto, o que se verificou é que ele possui uma localização orbital (semi-eixo maior, excentricidade, inclinação) muito distante em comparação com os outros membros dessa família. Diante disso, acredita-se que ele deve ter sofrido a ação de algum mecanismo que o retirou de sua órbita inicialmente próxima à destes asteroides. Neste trabalho consideramos os efeitos de possíveis grandes aproximações entre estes asteroides para justificar esta distante localização orbital. Para isso, a técnica da *manobra assistida por gravidade*, também conhecida como manobra de *swing-by* foi utilizada (Broucke, 1988). O método do trabalho consistiu primeiramente em definir, utilizando esta técnica, para quais condições iniciais de Magnya existiria a possibilidade da ocorrência de encontros próximos com Vesta. Feita esta delimitação, passamos a analisar a possibilidade de algumas destas condições iniciais levarem o asteroide Magnya até sua órbita atual, após a realização de múltiplos encontros. Essa análise foi baseada na informação dada pela variação de energia. Calculamos que uma variação de energia suficiente para tirar Magnya de sua suposta órbita próxima à de Vesta (semi-eixo maior de aproximadamente 2,36 U.A) e levá-lo a sua órbita atual (semi-eixo maior de aproximadamente 3,14 U.A) seria de aproximadamente $9,07 \times 10^{37} \text{J}$. Foram feitas diversas simulações com o objetivo de mostrar que tal variação poderia ser proporcionada por passagens próximas de Magnya por Vesta. Considerando apenas um encontro, vimos que o valor máximo dessa variação estaria entre $7,96 \times 10^{36} \text{J}$ e $9,95 \times 10^{36} \text{J}$. Vimos também que múltiplos encontros seriam suficientes apenas para dobrar essa variação. Concluímos portanto que a realização de múltiplos swing-bys de Vesta com Magnya não seriam suficientes para resultar em tal mudança de órbita, e, que portanto, ele teria que sofrer outras influências para proporcionar esta variação.

EFEITOS GRAVITACIONAIS E NÃO GRAVITACIONAIS SOBRE O MOVIMENTO ORBITAL DE SATÉLITES ARTIFICIAIS

**Jean Paulo dos Santos Carvalho, Rodolpho Vilhena de Moraes
UNESP**

Uma teoria para estudar o movimento orbital de satélites artificiais sobre efeitos do arrasto atmosférico e da pressão de radiação solar direta (considerando a sombra da Terra e alguns termos do geopotencial) é desenvolvida analiticamente. O método de Hori para sistemas não-canônicos é aplicado para eliminar termos periódicos da hamiltoniana. Um software para manipulação algébrica é fundamental para fazer os cálculos necessários. Efeitos seculares e periódicos que influenciam no movimento orbital dos satélites artificiais são analisados. É dada ênfase aos termos de acoplamento que surgem na solução do sistema de equações diferenciais. Utilizando dados orbitais do satélite CBERS-1 um estudo é feito para analisar ordens de grandeza da variação do semi-eixo maior em função das perturbações consideradas. Os resultados obtidos mostram que a solução de primeira ordem causa uma diminuição no semi-eixo maior devido ao arrasto, de aproximadamente 10^{-3} km/dia. Para a solução de segunda ordem, foi considerado para o semi-eixo maior o acoplamento dos termos de perturbação: geopotencial-arrasto e pressão de radiação solar-arrasto (diminuição de aproximadamente 10^{-7} km/dia e 10^{-11} km/dia, respectivamente). Estes resultados podem ser importantes para missões que necessitam de uma precisão acurada da órbita do veículo espacial. Mostramos também que a ordem do valor do acoplamento da pressão de radiação solar e o arrasto atmosférico não é simplesmente a multiplicação da ordem de ambas as perturbações, verificamos uma queda na ordem de grandeza devido aos termos do movimento médio os quais, devido ao processo de integração, aparecem no denominador das expressões de acoplamento.

PERTURBAÇÃO ORBITAL DEVIDA A UM TERCEIRO CORPO EM ÓRBITA ELÍPTICA E ACHATAMENTO LUNAR

**Jean Paulo dos Santos Carvalho¹, Rodolpho Vilhena de Moraes¹,
Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado²**

1 - UNESP

2 - INPE

Uma teoria semi-analítica está sendo desenvolvida para estudar o movimento orbital de um satélite artificial da Lua. São considerados efeitos perturbadores em consequência da atração da Terra (em órbita elíptica) e a não-esfericidade do campo gravitacional da Lua (considerando o efeito do J_2 e o C_{22}). A função perturbadora é expandida em polinômios de Legendre até a quarta ordem. Método de perturbação Lie-Hori é utilizado para eliminarmos os termos de curto período da hamiltoniana, em que um software de manipulação algébrica é fundamental para fazer os cálculos necessários. Apresentamos a solução periódica de longo período de primeira ordem, substituímos os resultados nas equações planetárias de Lagrange e analisamos as variações dos elementos orbitais. É calculada a inclinação crítica para uma "órbita congelada" levando em conta a dinâmica proposta. Resultados preliminares mostram que a perturbação periódica não causa variação no semi-eixo maior, que é constante durante a integração. Já os parâmetros orbitais: excentricidade, inclinação, argumento do pericentro e a longitude do nodo ascendente sofrem perturbações em função dos efeitos considerados. A inclinação crítica depende das condições iniciais do satélite quando consideramos o efeito do terceiro corpo com o polinômio de Legendre expandido até a quarta ordem e quando consideramos ambos os efeitos de J_2 e C_{22} . São apresentados os valores para a inclinação crítica que precisam manter o argumento do pericentro e a excentricidade da órbita constante. A inclinação crítica pode ser afetada pelo coeficiente C_{22} e pelo valor da longitude do nodo ascendente h .

PERTURBAÇÕES NO MOVIMENTO ORBITAL DE SATÉLITES ARTIFICIAIS PROVOCADAS PELA MARÉ TERRESTRE

**Jarbas Cordeiro Sampaio, Rodolpho Vilhena de Moraes
FEG/UNESP**

Os satélites artificiais são utilizados em várias atividades percebendo-se a necessidade em definir cada vez melhor suas órbitas, através do entendimento das forças perturbadoras que atuam em seus movimentos orbitais. O efeito de maré é uma das perturbações que afetam um determinado satélite que orbita a Terra, pois tanto o Sol como a Lua deformam o planeta, alterando assim o seu formato e o potencial utilizado para estudar a variação nos elementos orbitais do satélite. Neste trabalho estuda-se a influência da maré terrestre da Terra sobre satélites artificiais que a orbitam em diferentes altitudes. Para isso, a função perturbadora é desenvolvida, com ajuda do programa computacional Maple 9.5, baseado no modelo de Kozai, o qual é um dos modelos que descrevem a influência da maré terrestre. Tendo desenvolvido a função perturbadora em termos do polinômio de Legendre de grau dois, aproveitando a parte secular e de longo período para estudar a variação dos elementos orbitais do satélite. Traçam-se gráficos da variação dos elementos orbitais em relação ao tempo, observando seus comportamentos em diferentes situações e verificando então qual dessas, se aproxima mais da realidade. Resultados parciais indicam a presença de fatores ressonantes que devem ser considerados nas análises das variações dos elementos orbitais, a partir de dados reais de satélites artificiais que estão orbitando a Terra.

PAINEL 234

A ORIGEM DOS SATÉLITES REGUALRES DE JÚPITER - DINÂMICA DA CAPTURA DE ASTERÓIDES BINÁRIOS

Helton da Silva Gaspar, Othon Cabo Winter, Ernesto Vieira Neto
FEG/UNESP

Atualmente, cerca de 169 satélites planetários são conhecidos no sistema solar, sendo classificados em dois grupos bem distintos: satélites regulares e irregulares. É consenso que os satélites regulares foram formados através da acreção de matéria do disco circumplanetário. Contudo, as características orbitais peculiares dos satélites irregulares, como grandes valores de semi-eixo maior, excentricidade e inclinação, são incompatíveis com o modelo de formação local. Deste modo, a explicação mais coerente é que os mesmos são produtos de captura, posterior a formação dos planetas, de objetos formados em outras regiões. Entretanto, no problema restrito de 3-corpos não é possível que um corpo seja permanentemente capturado sem um mecanismo auxiliar, motivação para proposição de diversos mecanismos de captura, dentre os quais, se destacam na literatura os mecanismos de captura por arrasto em gás, “*Pull down capture*” - captura por “puxão”, interação colisional e captura de asteróides binários. Nosso trabalho consiste em estudar a dinâmica de captura de asteróides binários com base no problema de 3 e 4-corpos considerando Sol, Júpiter e o asteróide binário. Para tanto, mapeamos o espaço das condições iniciais através de uma grade dos elementos $a \times e$, isto é, semi-eixo maior e excentricidade do binário. Integramos numericamente cada condição analisando as configurações do sistema nos instantes da captura temporária e ruptura do binário, bem como no instante em que um asteróide escapa e o outro permanece capturado por Júpiter. Os resultados mostram que aproximadamente 20% dos casos estudados resultaram na captura permanente de um dos membros do asteróide binário. O estudo também nos permitiu encontrar as condições mais propícias para ocorrência de captura permanente do asteróide remanescente.

PAINEL 235

EFEITOS RESSONANTES NOS SATÉLITES DO ASTERÓIDE 87 SYLVIA

Luiz Augusto Guimarães Boldrin¹, Othon Cabo Winter¹,
Ernesto Vieira Neto¹, Roberto Vieira Martins²,
Silvia Maria Giuliatti Winter¹, Rodney da Silva Gomes²
1 - FEG/UNESP
2 - ON/MCT

O asteróide 87 Sylvia, possui dois satélites orbitando ao seu redor, caracterizando-o como um pequeno sistema de corpos (sistema triplo). Estes satélites, denominados Remo e Rômulo, são pequenos (7Km e 18Km, respectivamente) em relação à Sylvia (280Km). Eles possuem órbitas quase circulares com raio de 710Km e 1360Km, enquanto Sylvia possui raio orbital aproximadamente 3,5 UA. Por meio de simulações numéricas, nós estudamos a dinâmica e estabilidades destes satélites. Na reunião anual da SAB do ano

de 2007, apresentamos nossos primeiros resultados. Estes resultados foram obtidos primeiramente considerando a interação gravitacional entre os dois satélites via problema de 3 corpos (Sylvia, Rômulo e Remo). Depois incluímos a perturbação do Sol (4 corpos) e finalmente, a perturbação de Júpiter (5 corpos). Os resultados mostraram que com a inclusão do Sol produz um efeito periódico, de longo período, na inclinação, com a amplitude de 20 graus. A inclusão de Júpiter aumenta esta amplitude até o ponto deles se desestabilizarem e colidirem com Sylvia. No presente trabalho, nós apresentaremos uma continuação dos estudos deste sistema, onde estudamos as razões dinâmicas que geraram os efeitos observados anteriormente. Em especial detectamos a importância de duas ressonâncias que atuam nesse sistema. Uma delas é uma ressonância secular entre as longitudes dos nodos de Rômulo e Remo. Outra, que ocasiona a colisão dos satélites com Sylvia é uma ressonância de Eveção, decorrente de uma comensurabilidade entre a longitude do pericentro dos satélites e a anomalia verdadeira de Júpiter.

PAINEL 236

ESTUDO PRELIMINAR DA FORMAÇÃO DE SATÉLITES COORBITAIS

**André Izidoro Ferreira da Costa¹, Othon Cabo Winter¹,
Masayoshi Tsuchida²
1 - FEG/UNESP
2 - UNESP**

Sistema de Satélites coorbitais é aquele onde pelo menos dois de seus corpos compartilham uma mesma órbita média. Saturno, o sexto planeta a partir do Sol, um gigante gasoso com um pequeno núcleo rochoso possui uma grande quantidade de luas e um complexo sistema de anéis. Seus satélites possuem características bem particulares entre si, em destaque ele é o único planeta conhecido que possui um sistema de satélites coorbitais. Esse tipo de satélite libra em torno de um dos pontos lagrangianos estáveis do sistema, ou descreve uma órbita que envolve L_3 , L_4 e L_5 chamada órbita ferradura. Exemplos são, Tétis que possui Telesto em L_4 e Calipso em L_5 e também Dione que é coorbital com Helene e Polideuco, onde esses ocupam L_4 e L_5 , respectivamente. Além desses há um par de satélites de massas comparáveis chamado Jano-Epimeteu que num sistema girante perfazem ambas órbitas de ferradura. Neste trabalho analisamos a acreção de massa na formação desses tipos de satélites. Consideramos Saturno o corpo central, um proto-satélite e um disco de partículas distribuído aleatoriamente dentro da região de ferradura do sistema, todos se atraindo mutuamente. Além disso é permitida a colisão inelástica entre os corpos do sistema. A massa relativa do proto-satélite é $\mu_2=10^{-6}$ em relação ao corpo central. Para as partículas são feitas simulações com massas da ordem de $\mu_p=10^{-12}$ ou até cem vezes menor. Resultados preliminares mostram o aparecimento de corpos maiores devidos as colisões dentro da região de ferradura do sistema, e isso faz com que esses corpos se tornem possíveis satélites coorbitais do sistema.

PAINEL 237

CONTROLE DE EXCENTRICIDADE EM ÓRBITAS POLARES LUNARES COM PROPULSORES DE BAIXO EMPUXO

**Décio Cardozo Mourão¹, Othon Cabo Winter^{2,3},
Cristiano Fiorilo de Melo³, Silvia Maria Giuliatti Winter²,
Elbert Neher Macau³, José Leonardo Ferreira¹
1 - UnB
2 - FEG/UNESP
3 - INPE**

Recentemente, muitas nações têm apresentado planos tendo a Lua como foco. Satélites têm sido lançados e muitos outros estão planejados para os próximos anos. Órbitas polares lunares são particularmente interessantes desde que foram encontradas evidências de água. Satélites ao redor do pólo lunar sofrem aumento gradativo da excentricidade devido a perturbação da Terra, o que acarreta a colisão do satélite com a superfície lunar. Este efeito é consequência da ressonância de Kozai. Portanto o controle desta excentricidade pode levar ao aumento da vida útil do satélite. Neste trabalho, estudamos este problema e introduzindo manobras utilizando propulsores de baixo empuxo que mantenham o satélite em sua órbita nominal. No estudo consideramos o sistema o sistema de 3 corpos: Lua-Terra-satélite. Simulamos o sistema com um veículo em redor do pólo da Lua com excentricidade igual a um valor mínimo de 10^{-3} para as altitudes de 100, 200, 500, 1000 e 50000 km da superfície lunar. Em cada simulação monitoramos a

evolução da excentricidade do satélite na qual a taxa de crescimento aumenta progressivamente, de modo que após o valor de 0,01 em excentricidade em menos de 3 anos todos os satélites colidem com a Lua. Como as colisões ocorrem a partir de 0,05 em excentricidade, antes dela atingir este valor aplicamos manobras utilizando propulsores entre 100mN a 500mN continuamente, reduzindo a excentricidade em 0,01. Esta manobra dura entre 5 e 20 dias, dependendo do empuxo do propulsor, e deve ser aplicada periodicamente entre 50 e 200 dias dependendo da altitude do satélite para mantê-lo na órbita lunar. Estimamos o consumo anual nestes casos entre 7 kg a 15 kg de propelente nas diversas altitudes, considerando propulsores a plasma do tipo Hall como o que vem sendo desenvolvido na Universidade de Brasília. Constatamos também que a perturbação do Sol provoca a diminuição de 10% no intervalo de aplicação da manobra.

PAINEL 238

ESTUDO PRELIMINAR DA DINÂMICA DO SISTEMA HD 98800

Juliane Rovai¹, Othon Cabo Winter², André I. F. Costa²

1 - OV/UFRJ

2 - FEG/UNESP

O sistema quádruplo de estrelas HD 98800 consiste em dois pares binários HD 98800 A e B, ambos com estrelas tipo K, e dois discos ao redor da componente B. O par A-B tem uma separação de 50 UA e um período de 300-430 anos. As estrelas da componente B, com semi-eixo maior de $\approx 0,98$ UA e excentricidade 0,78, são denominadas HD 98800 Ba e Bb, suas massas são $0,699 M_{\odot}$ e $0,582 M_{\odot}$, respectivamente. Os discos ao redor de HD 98800 B se localizam nas distâncias radiais de 1,5 a 2 UA e de 5,9 a 6,5 UA. O plano dos discos apresenta uma inclinação superior a 10 graus. Como mais da metade das estrelas estão em sistemas múltiplos é de grande importância sabermos sobre a possibilidade de um sistema como este formar planetas. O objetivo inicial deste trabalho é o de localizar as regiões de estabilidade e instabilidade desse sistema. A metodologia adotada é a da integração numérica, utilizando o pacote MERCURY. Realizamos simulações considerando discos de matéria ao redor da binária B. Cada disco é composto de 5000 partículas e é distribuído aleatoriamente na região com semi-eixo maior entre 1 e 30 UA, excentricidade entre zero e 0.001. Em cada simulação é assumida uma inclinação inicial fixa, onde consideramos casos de zero a 90 graus. Os resultados obtidos são apresentados em termos das regiões estáveis determinadas por intervalos de semi-eixo maior, excentricidade e inclinação. Os resultados mostram que estas regiões são marcadas por estruturas ressonantes que as delimitam. Nos resultados damos especial atenção à localização dos discos de matéria observados. Também fazemos uma discussão sobre a instabilidade gerada devido a ressonância de Kozai no caso de grandes inclinações (maiores que 60 graus). Os próximos passos envolvem o processo colisional nas regiões estáveis ao redor de HD 98800 B visando estudar a viabilidade de acreção de matéria para a formação planetária.

PAINEL 239

EXISTÊNCIA DE SOLUÇÕES PERIÓDICAS PARA O PROBLEMA DOS TRÊS CORPOS

Gleidson Gomes Da Silva

IAG/USP

Neste trabalho apresentaremos alguns resultados relativos a existência de soluções periódicas para sistemas de equações diferenciais ordinárias. Definiremos uma continuação das soluções periódicas e em seguida conceituaremos as chamadas soluções elementares. Apresentaremos brevemente o método da continuação de Poincaré usado para obtermos uma continuação destas soluções numa vizinhança das mesmas. Vale à pena ressaltar que a essência deste método consiste em que o problema dado contenha uma órbita periódica para um certo parâmetro. Em particular, para o problema dos Três Corpos, mostraremos que as órbitas circulares do problema de Kepler podem ser continuadas para o problema restrito (planar) e também que existem famílias de soluções periódicas do problema restrito que dependem de um parâmetro. Finalmente, utilizando o método da continuação de Poincaré, mostraremos que algumas soluções periódicas do problema restrito podem ser continuadas para o problema dos Três Corpos Geral.

