

Estudo Dinâmico de Objetos em Sistemas Extrassolares

Nilce da Silva dos Santos, Silvia Maria Giuliatti Winter

nilce.s.santos@unesp.br, giuliatti.winter@unesp.br

GDOP/Unesp-Guartatinguetá

Introdução

Os cometas são corpos gelados considerados subprodutos da formação planetária. Ao colidir com planetas, esses corpos podem transportar água e matéria de importância astrobiológica.

Dvorak et al. (2019) analisam a dinâmica de cometas hipotéticos nos sistemas 47 UMa, HD10180 e HD141399. Os autores fazem um estudo estatístico de colisões e capturas de partículas nos sistemas extrassolares.

Neste trabalho, analisamos a dinâmica de partículas nos sistemas extrassolares Kepler-90 (K90) e os binários Kepler-35 (K35) e Kepler-38 (K38) considerando um conjunto de corpos hipotéticos com altas excentricidades e diferentes valores de inclinações.

O interesse por K90 se deve por ser um sistema semelhante ao nosso: possui oito planetas confirmados, sendo um sistema hierárquico com os planetas internos possuindo valores de massas próximas à da Terra e os planetas na região externa, gigantes gasosos.

K35 e K38 possuem um planeta confirmado. Barbosa et al. (2020) mostrou que há possibilidade de esses sistemas formarem um planeta do tipo Terra na zona habitável. Desta forma, há o interesse pelo estudo de K35 e K38 para analisar possíveis colisões de partículas, principalmente com o planetas terrestres.

Objetivo: Este trabalho tem como principal objetivo analisar colisões de partículas e o possível transporte de água com planetas do sistema Kepler-90 e os sistemas binários Kepler-35 e Kepler-38.

Metodologia: Foi utilizado o pacote Mercury (Chambers, 1999) para as simulações numéricas do sistema Kepler-90 e uma versão alterada do Mercury para sistemas binários.

Kepler-90 é um sistema multiplanetário e compacto. Possui oito planetas confirmados, sendo dois gigantes gasosos. O planeta mais externo, h, possui um semi-eixo maior de aproximadamente $1u.a.$ Integramos por um milhão de anos.

Tabela: Condições iniciais

Valor inicial	Valor final	Variação
$a_i = 5$	$a_f = 7$	$\Delta a = 0.1$
$e_i = 0.85$	$e_f = 0.95$	$\Delta e = 0.005$
$I_i = 0^\circ$	$I_f = 180^\circ$	$\Delta I = 10^\circ$

As partículas estão sob influência gravitacional dos planetas e da estrela, sendo que as mais externas, em $7u.a.$, podem orbitar até aproximadamente 104800 vezes no tempo considerado.

Na primeira etapa, consideramos a excentricidade dos planetas iguais à zero.

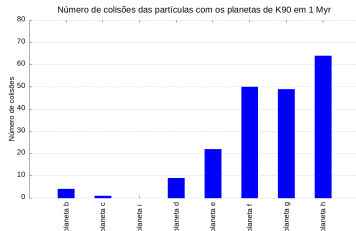


Figura: Número de colisões com cada planeta do sistema para $e = 0.000$.

Ocorreram aproximadamente 2% de colisões, e o maior número delas são com o planeta gigante gasoso mais externo, h.

Na segunda etapa, consideramos o mesmo conjunto de partículas e tempo de integração. Agora, os planetas possuem excentricidade de ordem 10^{-3} . Segundo Gaslac (2021), o sistema K90 é estável para esses valores de excentricidade.

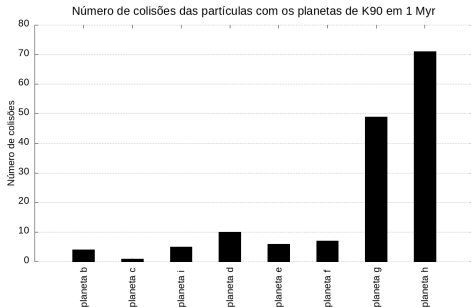


Figura: Número de colisões com cada planeta do sistema para $e = 0.001$.

Houve um aumento no número de colisões para aproximadamente 3% e todos os planetas sofrem colisões, sendo h o mais atingido.

Uma partícula do sistema é considerada ejetada, ou seja, não a consideramos mais na simulação numérica quando atinge um raio orbital superior a $30 u.a.$ e não necessariamente possuem órbitas hiperbólicas.

Desta forma, após o fim das simulações, poucas partículas sobrevivem no sistema e esse comportamento ocorre para as duas etapas do estudo de K90.

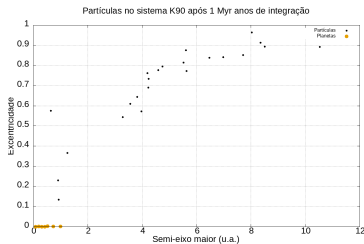
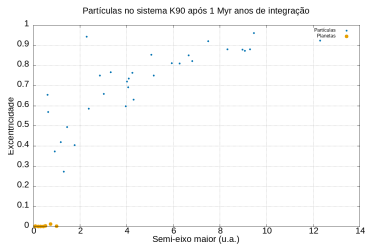


Figura: Semi-eixo maior e excentricidade das partículas que sobreviveram no sistema. O gráfico do lado se refere à simulação para a excentricidade dos planetas iguais à zero, e o direito, para $e = 0.001$. Os pontos azuis e pretos representam as partículas e os amarelos, os planetas.

As partículas sobreviventes no sistema são capazes de atingir baixos valores de excentricidades quando comparados aos valores iniciais.

Sistemas Binários

Para os sistemas binários, consideramos um conjunto de partículas com as condições iniciais.

Tabela: Condições iniciais

Elemento orbital	Valor inicial	Valor final	Variação
Semi-eixo maior ($u.a.$)	10	80	5
Excentricidade	0.915	0.985	0.005
Inclinação ($^{\circ}$)	0	180	10

fonte: Produzido pela autora

Integramos durante um milhão de anos com as simulações numéricas divididas em duas partes de 500 mil anos. Na segunda parte, realizamos simulações para as partículas com $a < 10u.a.$ ao final da primeira parte.

Os sistemas binários possuem um planeta confirmado em cada. A zonas habitáveis desses são exteriores aos planetas e consideramos, em nossas simulações, um planeta do tipo Terra em cada sistema nessas regiões. Todos os corpos orbitam o centro de massa dos sistemas binários e as partículas mais externas, em $80u.a.$ são capazes de evoluir aproximadamente 1820 vezes em torno do centro de massa de K35 e 1520 vezes em torno de K38 no tempo considerado.

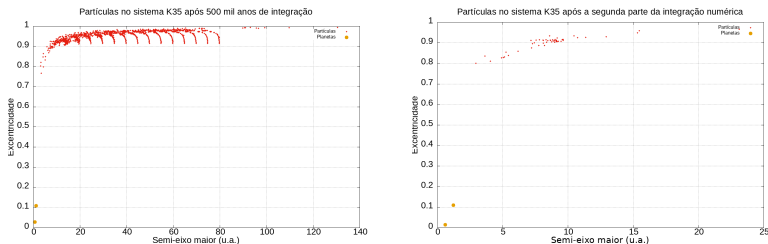


Figura: Semi-eixo maior e excentricidade das partículas após as integrações no sistema K35. Os gráficos da direita e da esquerda são, respectivamente, referentes às primeira e segunda etapas. O pontos vermelhos representam as partículas e os amarelos, os planetas.

Poucas partículas colidiram com as estrelas do sistema: menos de 1% e não ocorreram colisões com os planetas.

Como acontece no sistema Kepler-35, em K38 não ocorreram colisões com os planetas. Menos de 1% das partículas colidem com as estrelas.

Conclusões

- No sistema Kepler-90, para a excentricidade dos planetas iguais à zero, aproximadamente 2% das partículas colidem com os planetas.
- Quando a excentricidade dos planetas é $e = 10^{-3}$, aproximadamente 3% das partículas colidem com os planetas.
- Não verificamos colisões com os planetas dos sistemas Kepler-35 e Kepler-38.
- Menos de 1% das partículas colidiram com as estrelas dos sistemas Kepler-35 e Kepler-38.

Agradecimentos: Fapesp (Proc. 2016/24561-0) e Capes.