

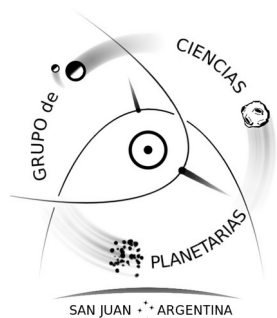


# Transporte de agua hacia los planetas internos de un sistema binario abierto

**M. F. Calandra**

Grupo de Ciencias Planetarias, FCEFN, UNSJ  
San Juan – Argentina

[mfcalandra@hotmail.com](mailto:mfcalandra@hotmail.com)



# Resumen

Los cometas se consideran un resultado natural de la formación de sistemas planetarios y son responsables de la transferencia de agua a la región más interna del Sistema Solar. Sin embargo, es razonable suponer que en la mayoría de los sistemas planetarios debería haber actividad cometaria. Entre los más de 3000 sistemas exoplanetarios que se encuentran en la actualidad, aproximadamente 170 residen en sistemas binarios, lo que también plantea la cuestión de cómo la binariedad afecta la eficiencia del transporte de agua. Para estimar la tasa de transporte de agua hacia los planetas en la zona más interna del sistema se calculó la probabilidad intrínseca de colisión y dado que la probabilidad de recibir una colisión con un cometa es uno de los parámetros que intervienen en el cálculo del transporte de agua, es posible estimar si el transporte en diferentes configuraciones es posible.

# Métodos

Se integró un sistema binario con un planeta interno y una nube esférica de 10000 cometas en torno a la primaria. Se usó un integrador simplético basado en Chambers et al. (2002) un tiempo total de 1000 periodos de la binaria. Se llevaron a cabo sets de simulaciones donde se consideran distintos valores para la excentricidad de la secundaria y la inclinación inicial de los cometas de la nube, que se detallan en la Tabla 1.

El planeta utilizado en las simulaciones tiene  $\sim 70000$  km de radio, y se ubica a  $a_p = 5$  ua de la estrella central

*Tabla 1: Elementos orbitales iniciales para  $m_2$ , cometas, y el planeta interno. Aquellos elementos no incluidos en la tabla se calcularon de forma aleatoria.*

Secundaria $m_2$	Cometas	Planeta
$a_2 = 1000$ ua	$a_c = 1 - 700$ ua	$a_p = 5$ ua
$e_2 = 0.2 - 0.8$ $i_2 = 0^\circ$	$e_c =$ aleatoria $i_c = 0^\circ - 180^\circ$	$e_p = 0.005$ $i_p = 0^\circ$
$m_2 = 0.25 M_{\text{sol}}$		$R_p = 69911$ km

# Resultados

En las integraciones de guardaron las aproximaciones entre objetos y velocidades entre los proyectiles y el planeta, estos parámetros fueron utilizados para aplicar el método de Marzari et al. (1996) para determinar la probabilidad intrínseca de colisión media  $\langle P_i \rangle$ , donde el numero acumulativo de encuentros a una distancia  $d_{enc}$ , es una distribución de la forma:

$$N_{enc} < d_{enc} = P_1 \times d_{enc}^2$$

$P_1$  es una constante de proporcionalidad que puede ser encontrada realizando un ajuste, y se relaciona con  $\langle P_i \rangle$  mediante:

$$\langle P_i \rangle = \frac{P_1}{n_{pares}} T_{inte}$$

donde  $n_{pair}$  es el número de pares de objetos que pueden formarse en la población, y  $T_{inte}$  es el tiempo integrado.

# Resultado: $\langle P_i \rangle$

Los valores hallados para la  $\langle P_i \rangle$  entre el planeta y los cometas se muestra en la Tabla 2. Se observa, en general, que la  $\langle P_i \rangle$  no se vería modificada significativamente para las distintas excentricidades de la secundaria, como así tampoco para diferentes inclinaciones de los cometas de la nube.

$e_2$	$i_c$	$P_1$	$\langle P_i \rangle$
0.2	0°	0.48	6.70304E-29
0.2	60°	2.19167	3.0606E-28
0.2	120°	4.59474	6.4164E-28
0.2	180°	0.511803	7.14715E-29
0.4	0°	1.71021	2.38826E-28
0.4	60°	11.0881	1.54842E-27
0.4	120°	10.3273	1.44218E-27
0.4	180°	0.511803	7.14715E-29

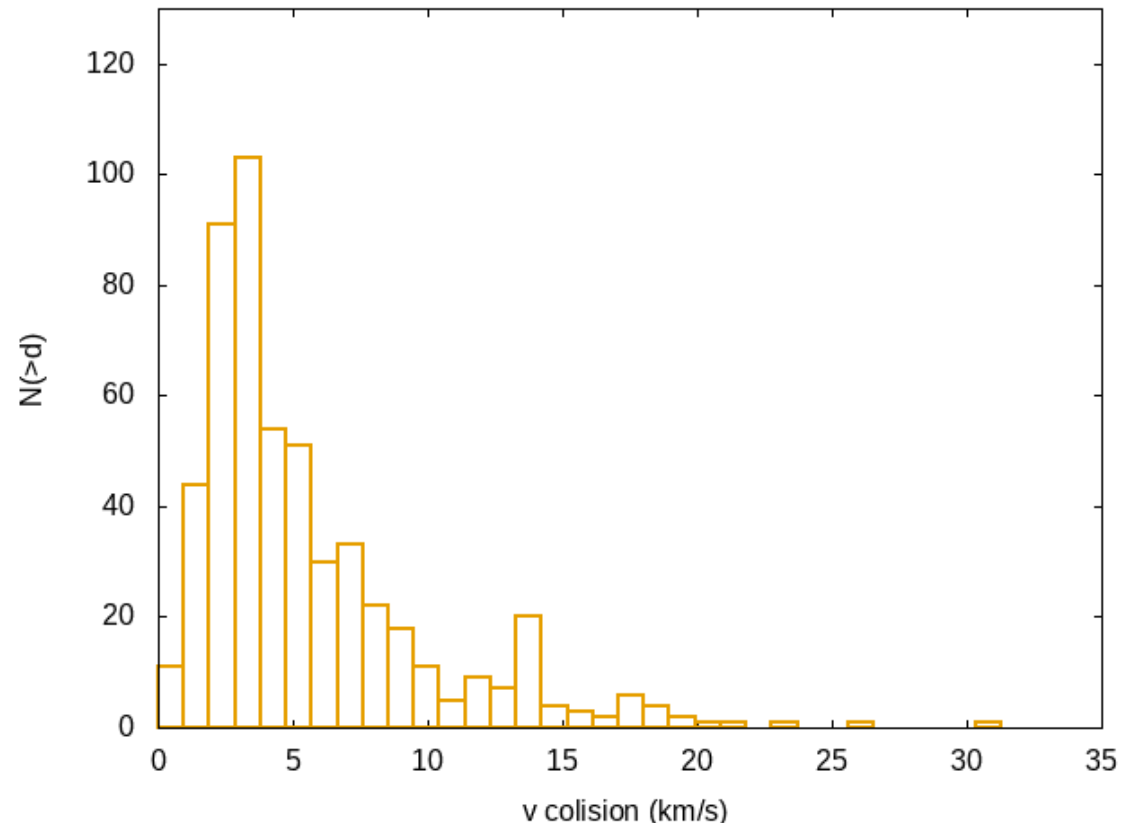
$e_2$	$i_c$	$P_1$	$\langle P_i \rangle$
0.6	0°	2.72508	3.80548E-28
0.6	60°	18.3911	2.56825E-27
0.6	120°	17.4875	2.44207E-27
0.6	180°	0.44	6.14445E-29
0.8	0°	3.72548	5.20251E-28
0.8	60°	33.3893	4.6627E-27
0.8	120°	34.8788	4.87071E-27
0.8	180°	0.511803	7.14715E-29

Tabla 2: Resultados de  $P_1$  y  $\langle P_i \rangle$  para distintos valores de  $e_2$  y  $i_c$ . Las unidades de  $\langle P_i \rangle$  están expresadas en  $\text{km}^{-2}\text{yr}^{-1}$ .

# Resultado: $\langle v_{col} \rangle$

Por su parte las velocidades arrojan valores similares considerando los diferentes escenarios de  $e_2$  e  $i_c$ , el promedio de velocidades de las distintas integraciones arroja  $\langle v_{col} \rangle = 5.0.9$  km/s. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de  $\langle v_{col} \rangle$  para  $e_2=0.8$  e  $i_c=120^\circ$ .

*Figura 1: Velocidad de colisión para la simulación correspondiente a  $e_2=0.8$  e  $i_c=120^\circ$ .*



# Resultados

Teniendo en cuenta que la probabilidad total de colisión de una población de cometas con un determinado planeta será proporcional a  $\langle P_i \rangle$ , y al área del planeta

$$p_{tot} = \langle P_i \rangle 4 \pi R_p^2$$

Esta ecuación puede ser multiplicada por un factor  $\alpha$  que nos permita estimar cuanto mas grande debe ser la nube para que el transporte de agua hacia la región interna del sistema sea posible.

Los resultados muestran que para que  $p_{tot}=1$ , la nube original del 10000 cometas debería ser multiplicada por un factor de entre  $1/\alpha=1.5E-16$  y  $1/\alpha=4.40E-18$ , dando como resultado que la nube debería albergar entre  $6.6E+19$  y  $2.60E+21$  objetos, implicando que la nube inicial debería ser alrededor de seis ordenes de magnitud mayor a la Nube de Oort del Sistema Solar.

# Conclusiones

En este trabajo se realizaron simulaciones numéricas en un sistema binario y una nube de cometas rodeando  $m_1$ , se calculó  $\langle P_i \rangle$  y  $\langle v_{col} \rangle$  para diferentes valores de  $e_2$  e  $i_c$ . Se encontró que valores no difieren con excentricidad o inclinación. Un promedio de todas las salidas arroja  $\langle v_{col} \rangle = 5.09$  km/s, y valores de  $\langle P_i \rangle$  entre  $1.54E-27$  y  $7.15E-29$   $\text{km}^{-2}\text{yr}^{-1}$ .

Haciendo una estima de la  $p_{tot}$  del valor que habría que multiplicar la nube para que la transferencia de agua sea probable, encontramos que la nube debería poseer al menos  $6.6E+19$  cometas. El objetivo futuro del trabajo es considerar diferentes tamaños de planeta y distancias a la estrella central, así como también agregar en el cálculo el efecto del potencial galáctico.



## Referencias

- Marzari, F., Scholl, H., & Farinella, P. 1996, *Icarus*, 119, 192.
- Chambers, J. E., Quintana, E. V., Duncan, M. J., & Lissauer, J. J. 2002, *AJ*, 123,,2884.