

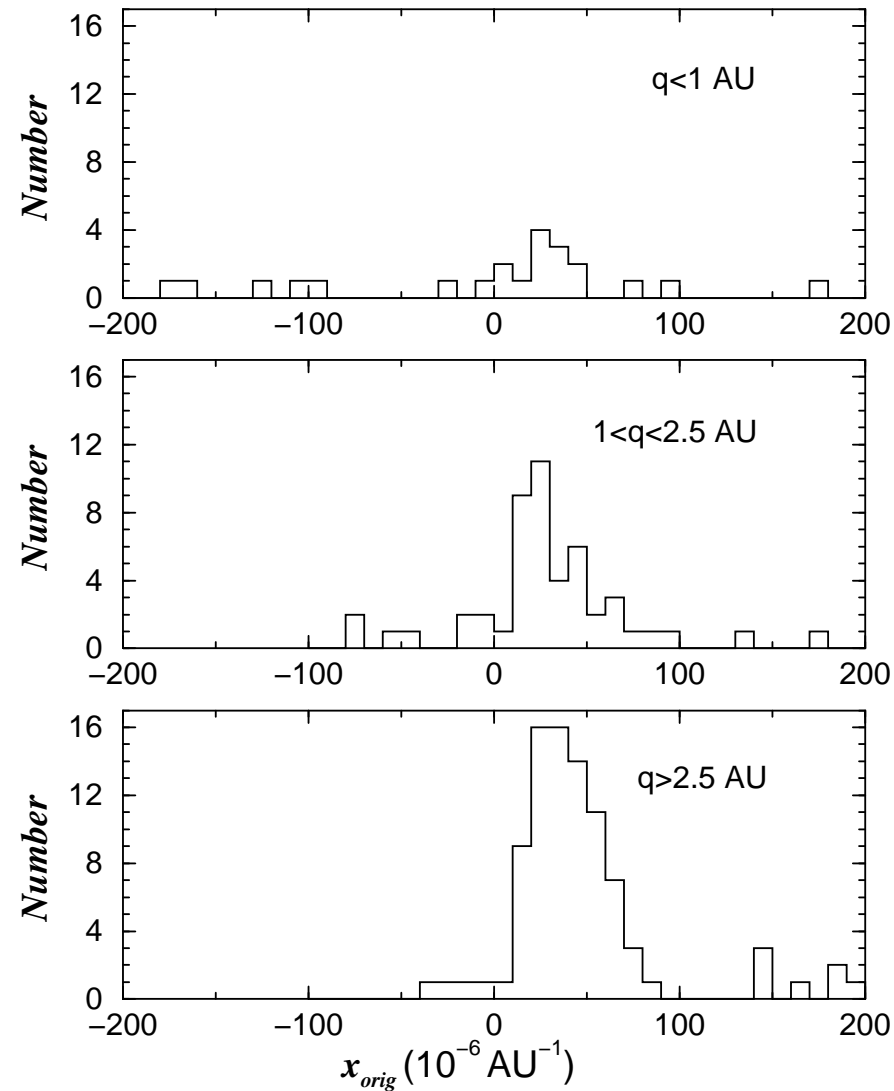
# COMETAS HIPERBOLICOS EN EL SISTEMA SOLAR: ¿CUAL ES SU EXPLICACION?

**Julio A. Fernández**

Departamento de Astronomía, Facultad de Ciencias,  
Montevideo, URUGUAY

- \* La precisión de las órbitas originales cometarias: El rango de energías de cometas de la nube de Oort.
- \* Los cometas “hiperbólicos”.
- \* La hipótesis de un compañero solar masivo.
- \* Huellas en la distribución de afelios cometarios en la esfera celeste de la acción reciente de fuertes perturbadores.
- \* El rol de las fuerzas nogravitacionales.
- \* Discusión.

# Distribución de energías orbitales originales: La nube de Oort



Cometas de clases de calidad 1A, 1B (Marsden & Williams 2008)

# Posibles causas de los cometas “hiperbólicos”

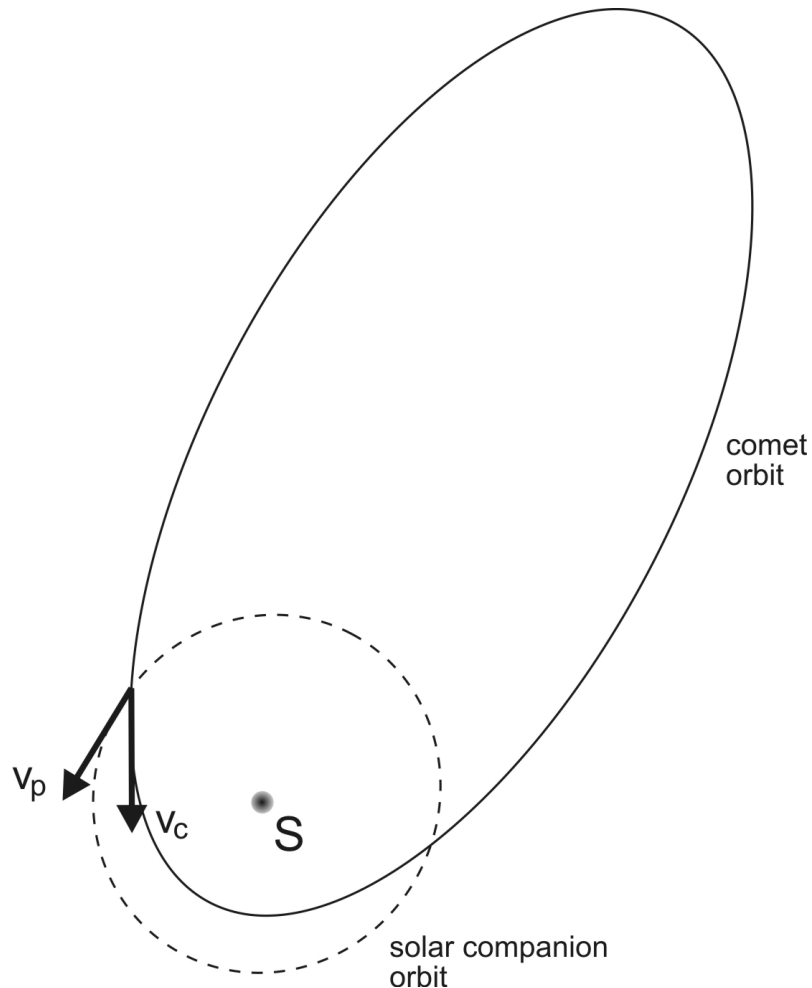
Origen interestelar?: DIFICIL!

\* El mayor exceso hiperbólico computado es  $x = -172$ . Un cometa interestelar que se aproximara al sistema solar con una pequeña velocidad relativa (digamos  $v_\infty = 1$  km/s), tendría exceso de energía hiperbólica de  $x \sim -1100$ . Para velocidades de encuentro más típicas de  $v_\infty = 30$  km/s, el exceso sería  $x \sim -10^6$ !

¿Pueden las órbitas originales hiperbólicas explicarse por las perturbaciones no tenidas en cuenta de un compañero solar?



\* Un planeta como Neptuno a una distancia de 1200 UA tendría una magnitud aparente 24.



Energía orbital :  $x = \frac{1}{a_c}$   
 $a_c$  : semieje mayor del cometa.

Velocidad del cometa :

$$v_c^2 = \mu \left( \frac{2}{r} - x \right) \quad (1)$$

donde  $\mu = GM_{\odot}$ .

El compañero solar producirá un cambio en la energía orbital del cometa:

$$\Delta x = -\frac{2v_c \Delta v_c}{\mu} \quad (2)$$

Cambio en la velocidad del cometa  $\Delta v_c$  debido a la perturbación del compañero solar de masa  $M_{comp}$ :

$$\Delta v_c = -\frac{2GM_{comp}}{uD} \quad (3)$$

$u$  : velocidad relativa del compañero solar con respecto al cometa,

$D$  : distancia de máxima aproximación.

La velocidad  $u$  promedio está dada aproximadamente por:

$$u = \mu^{1/2} \left[ \frac{4}{r} - \left( \frac{1}{a_c} + \frac{1}{a_{comp}} \right) \right]^{1/2} \quad (4)$$

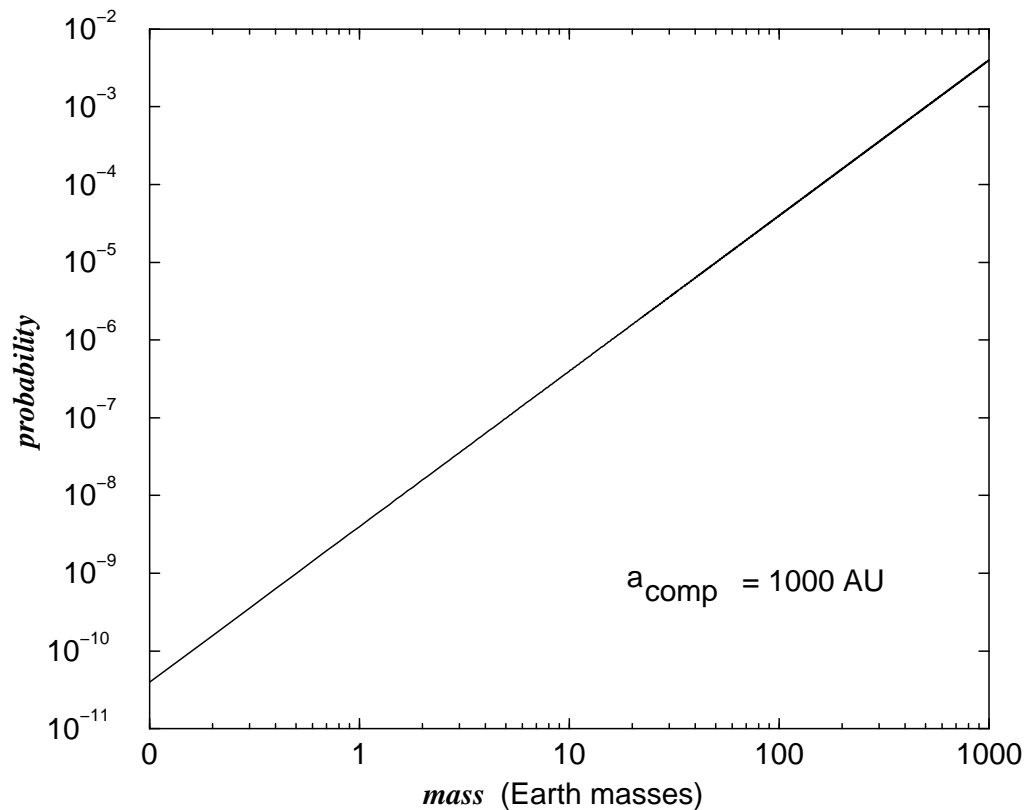
Probabilidad de un encuentro cometa - compañero solar a una distancia  $\leq D$ :

$$p = \frac{D^2}{4\bar{r}^2} \quad (5)$$

$\bar{r}$ : distancia heliocéntrica promedio del compañero solar, la cual está dada por:  
 $\bar{r} = a_{comp}(1 + e_{comp}^2/2)$ .

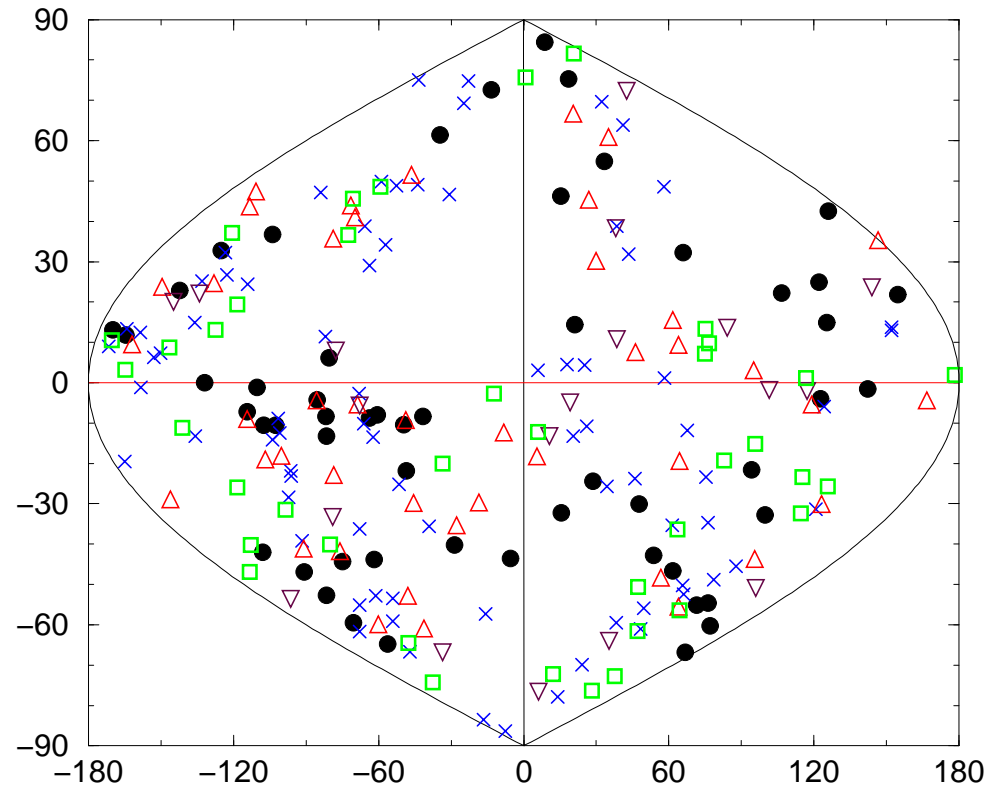
Combinando ecs.(2) y (3), podemos vincular  $D$  con el cambio de energía  $\Delta x$  a través de:

$$D = \frac{4}{\Delta x} \left( \frac{v_c}{u} \right) \left( \frac{M_{comp}}{M_\odot} \right) \quad (6)$$



Probabilidad de que la energía orbital del cometa cambie en  $\Delta x = 100$  ( $10^{-6} \text{ UA}^{-1}$ ) en función de la masa de un hipotético compañero solar que lo perturba. Se asume para este objeto una órbita de semieje mayor  $a_{comp} = 1000 \text{ UA}$ .

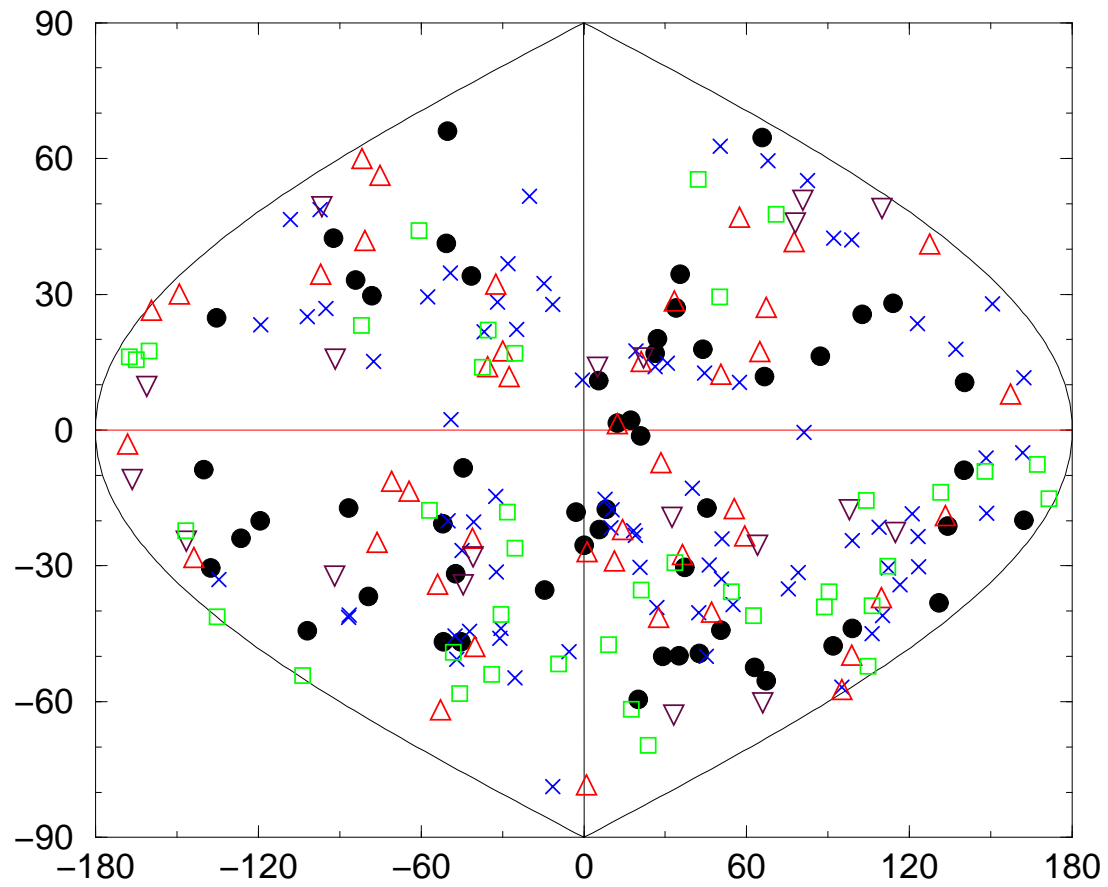
# Huellas de recientes encuentros en la esfera celeste



Coordenadas eclípticas

Símbolos:  $0 \leq x < 30$  (círculo lleno);  $30 \leq x < 100$  (x);  $100 \leq x < 500$  (triángulo hacia arriba); hiperbólicos (triángulo hacia abajo);  $500 \leq x < 1000$  (cuadrado)





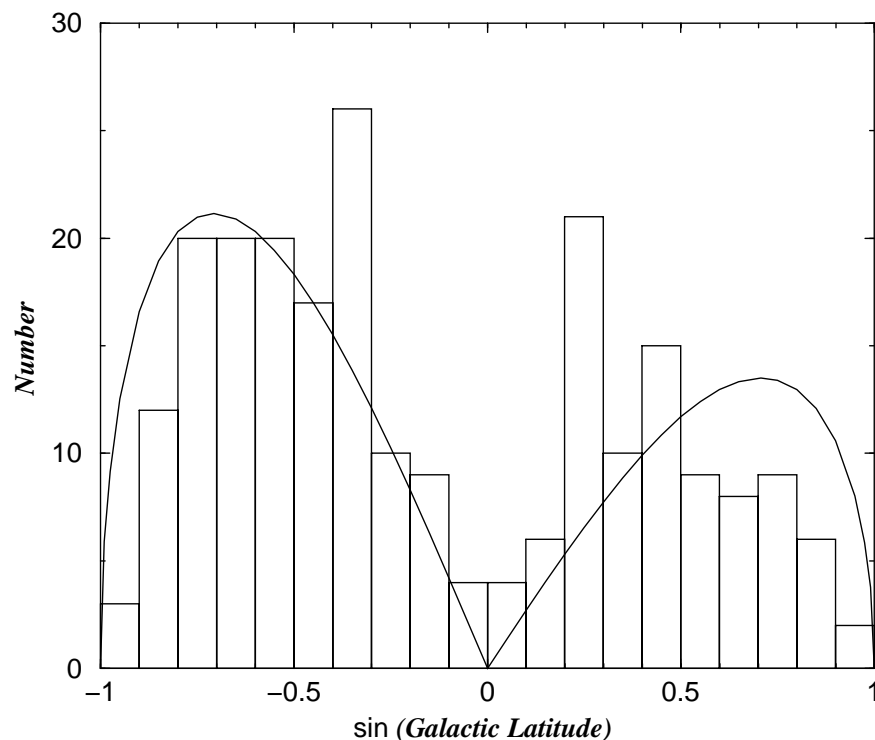
Coordenadas galácticas

## ¿Concentración de cometas a latitudes galácticas intermedias?

La acción de la fuerza de marea del disco galáctico es más eficiente a latitudes galácticas  $\phi$  intermedias. Cambio en la distancia perihélica  $q$  por revolución orbital:

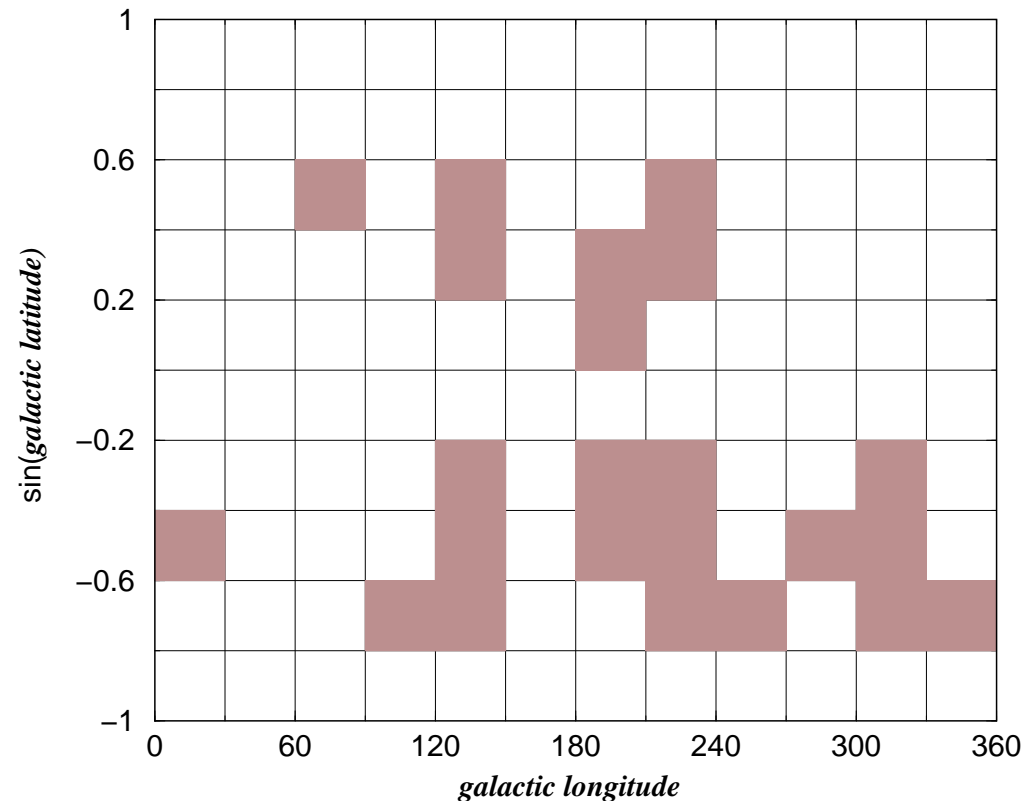
$$\frac{\Delta q}{q} \simeq 0.026 \left( \frac{q}{30\text{UA}} \right)^{-1/2} \left( \frac{a}{10^4\text{UA}} \right)^{7/2} \cos \alpha \sin 2\phi$$

(Fernández 2005)



⇒ No hay una clara concentración a latitudes galácticas intermedias, por otro lado parecen existir áreas de fuerte concentración.

## Areas de alta densidad cometaria



\* Si las concentraciones fuesen debidas a pasajes recientes de estrellas (se estima un encuentro a una distancia del Sol  $\leq 5.5 \times 10^4$  UA /  $10^6$  años), éstos igual tendrían poco efecto sobre cambios de energía cometaria.

⇒ No es factible explicar los cometas “hiperbólicos” por perturbaciones no tenidas en cuenta de un hipotético compañero solar o por pasajes cercanos de estrellas.

# La acción (no tomada en cuenta) de fuerzas nongravitacionales

Por conservación de momento lineal:

$$M_N \vec{J} = -Qm\vec{u}$$

$M_N$  : masa del núcleo cometario

$\vec{J}$  : aceleración nongravitacional

$Q$  : tasa de producción gaseosa (molec./s)

$m$  : masa de las moléculas gaseosas dominantes (H<sub>2</sub>O)

$u$  : velocidad efectiva del flujo gaseoso

$\rho$  : densidad del núcleo cometario

$$Q = 4\pi R_N^2 f Z$$

$f$  : fracción de la superficie del núcleo en sublimación libre

$Z$  : tasa de producción gaseosa por unidad de área

Si expresamos  $J = dv/dt$ , obtenemos (considerando valor absoluto):

$$\frac{dv}{dt} = \frac{3fZmu}{\rho R_N}$$

Integrando a lo largo de la órbita obtenemos

$$\Delta v = \frac{3fu}{\rho R_N} \Delta M$$

donde

$$\Delta M = m \int Z dt$$

es la pérdida de masa por revolución orbital.

Consideremos ahora la ecuación de Gauss:

$$\frac{da}{dt} = \frac{2}{\sqrt{1-e^2}} \left( Se \sin f + p \frac{T}{r} \right)$$

$n = mu^{1/2}a^{-3/2}$ : movimiento medio,  $f$ : anomalía verdadera,  $e \sim 1$ ,  $1 - e^2 \sim 2q/a$ ,  $S$  y  $T$ : componentes radial y transversa de la fuerza perturbadora.

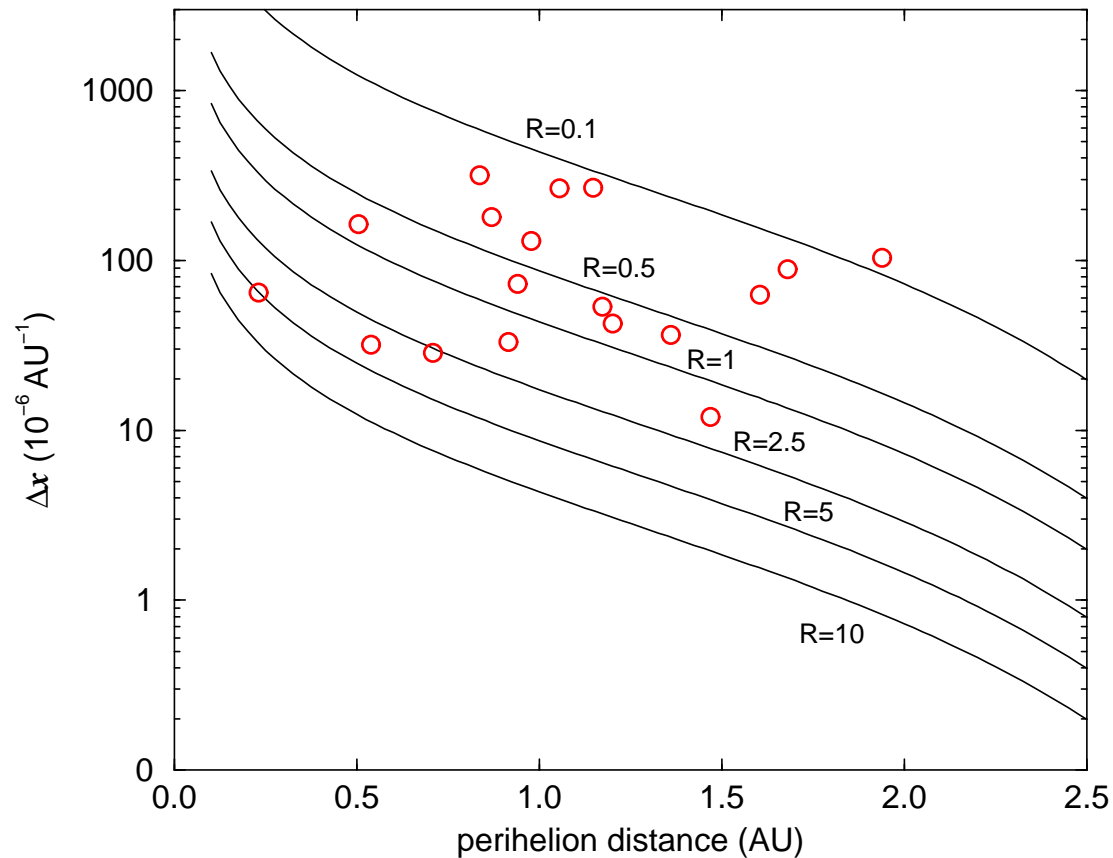
Sustituyendo  $dx/dt = -1/a^2 da/dt$ , haciendo algunas simplificaciones e integrando a lo largo de la órbita obtenemos:

$$\Delta x = \int dx, \quad \Delta v = \int S$$
$$\implies \Delta x = -\sqrt{\frac{2}{\mu q}} \Delta v$$

y finalmente:

$$\Delta x = -\sqrt{\frac{2}{\mu q}} \frac{3fu}{\rho R_N} \Delta M$$

# ¿Qué cometas muestran efectos nongravitacionales mensurables?



Cambio en la energía orbital  $\Delta x$  debido a fuerzas nongravitacionales en función de la distancia perihélica del cometa, para diferentes radios  $R$  cometarios. Los círculos corresponden a los cambios  $\Delta x$  computados por Królikowska (2004) para una muestra de cometas de largo período observados.

## Discusión

- \* Los cometas “hiperbólicos” forman un subgrupo de cometas de largo período con distancias perihélicas en general pequeñas.
- \* Origen interestelar : altamente improbable.
- \* Perturbaciones no tenidas en cuenta de un compañero solar también se descarta, a menos que éste fuese de masa estelar.
- \* Perturbaciones por estrellas cercanas : Sí muy probable, pero éstas no serían responsables de convertir órbitas elípticas en hiperbólicas.
- \* Perturbaciones de fuerzas nongravitacionales no tenidas en cuenta : lo más probable. Los cometas hiperbólicos serían una sub-población de cometas de pequeño tamaño ( $R_N \lesssim 1 - 2$  km) que se acercan al Sol ( $q \lesssim 2.5$  UA).