

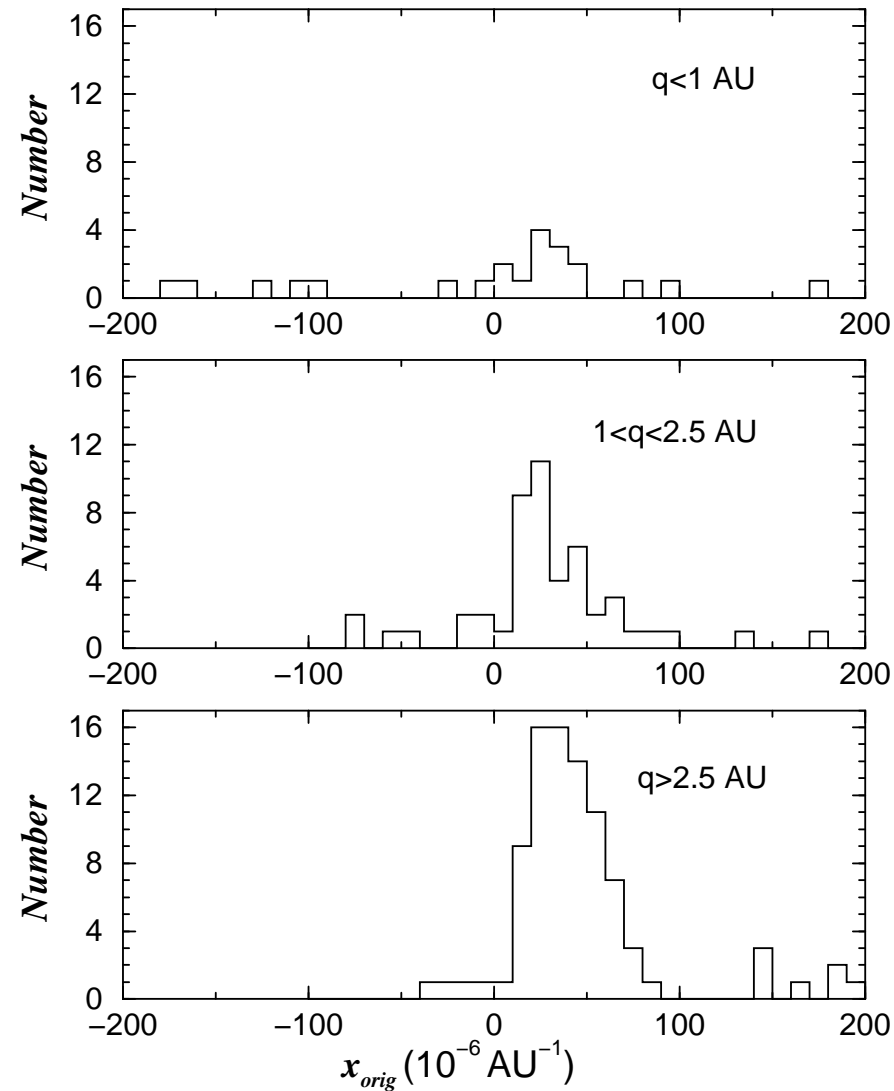
COMETAS HIPERBOLICOS EN EL SISTEMA SOLAR: ¿CUAL ES SU EXPLICACION?

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”

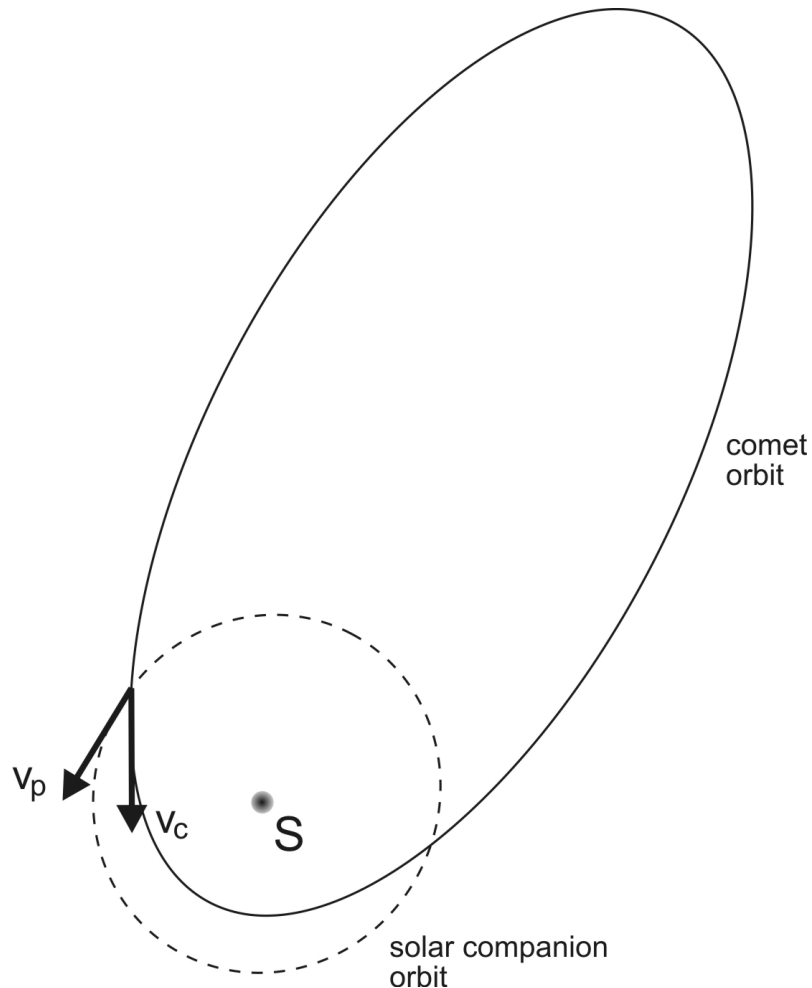
Origen interestelar?: DIFICIL!

* 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 Δv_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:

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

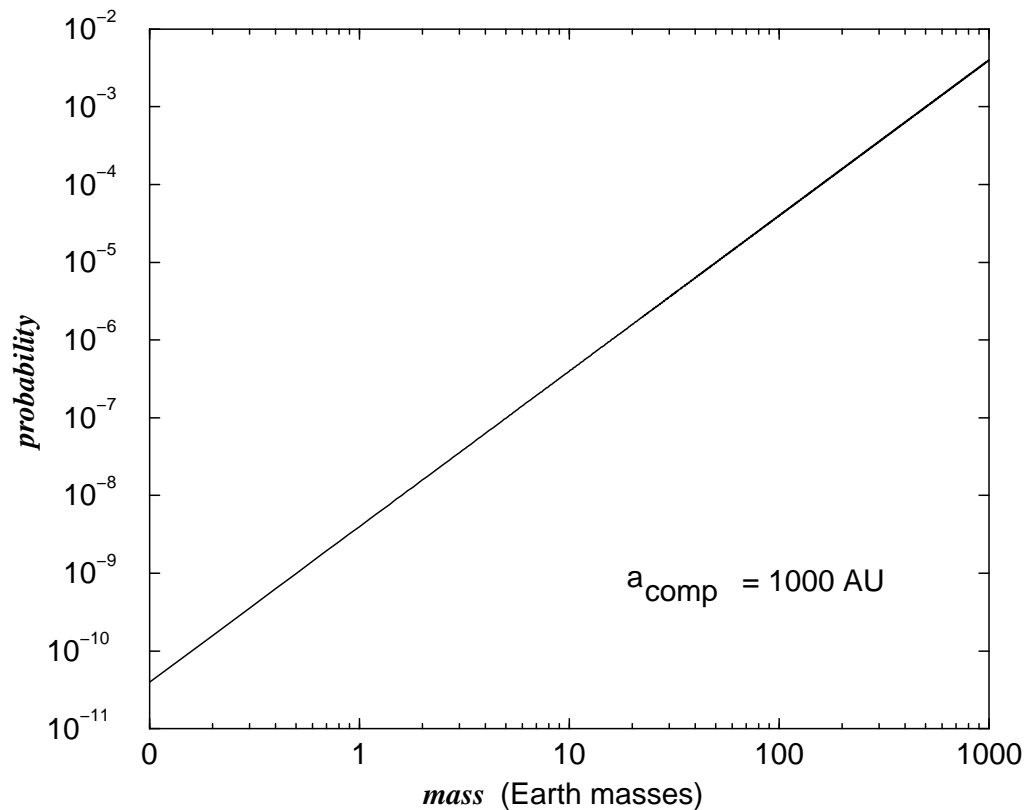
Probabilidad de un encuentro cometa - compañero solar a una distancia $\leq D$:

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

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

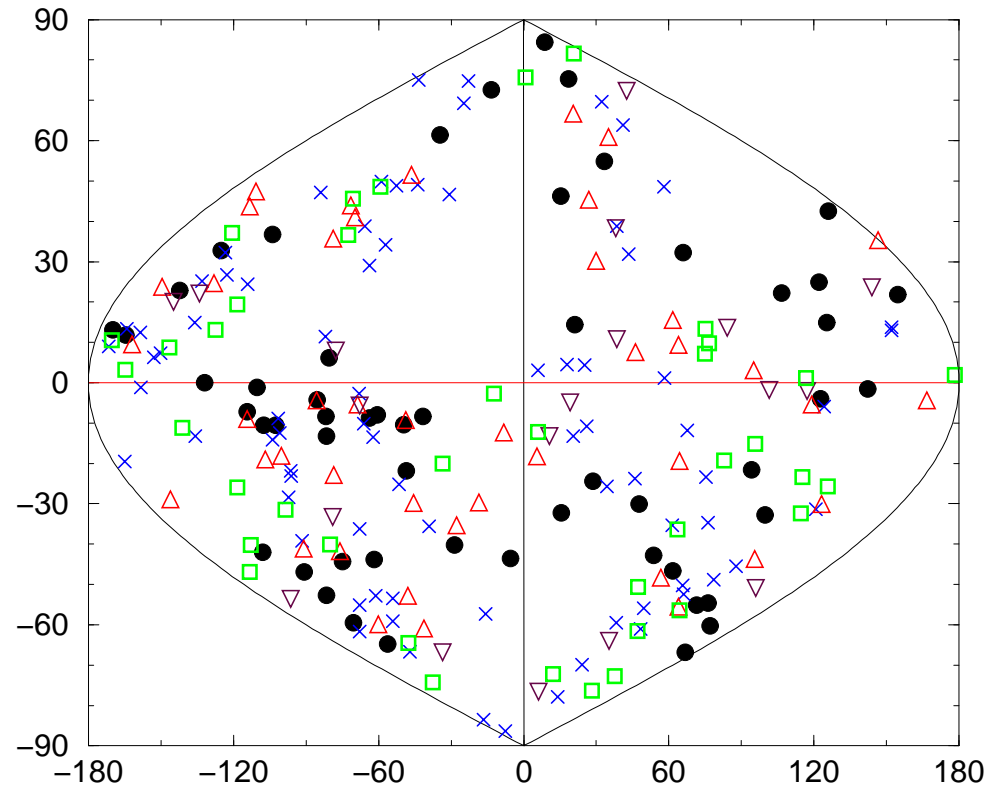
Combinando ecs.(2) y (3), podemos vincular D con el cambio de energía Δx a través de:

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



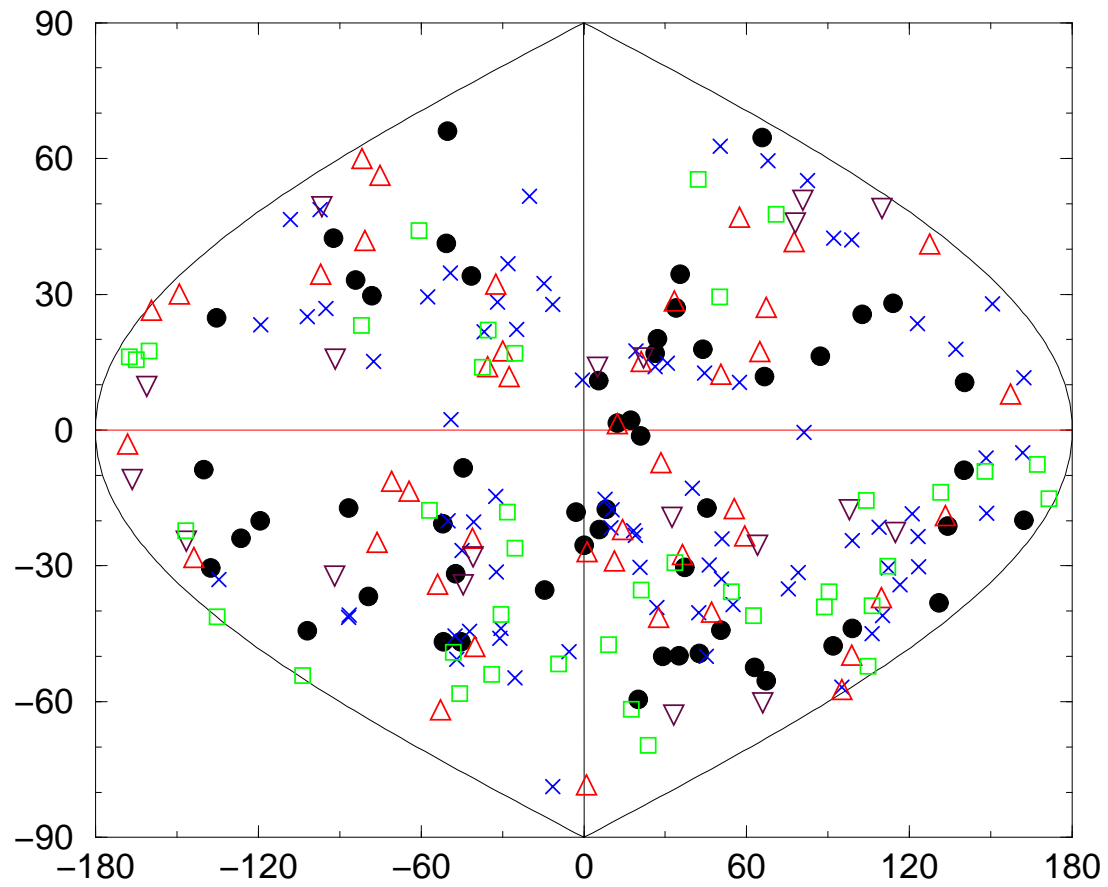
Probabilidad de que la energía orbital del cometa cambie en $\Delta x = 100$ (10^{-6} UA^{-1}) en función de la masa de un hipotético compañero solar que lo perturba. Se asume para este objeto una órbita de semieje mayor $a_{comp} = 1000 \text{ UA}$.

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)



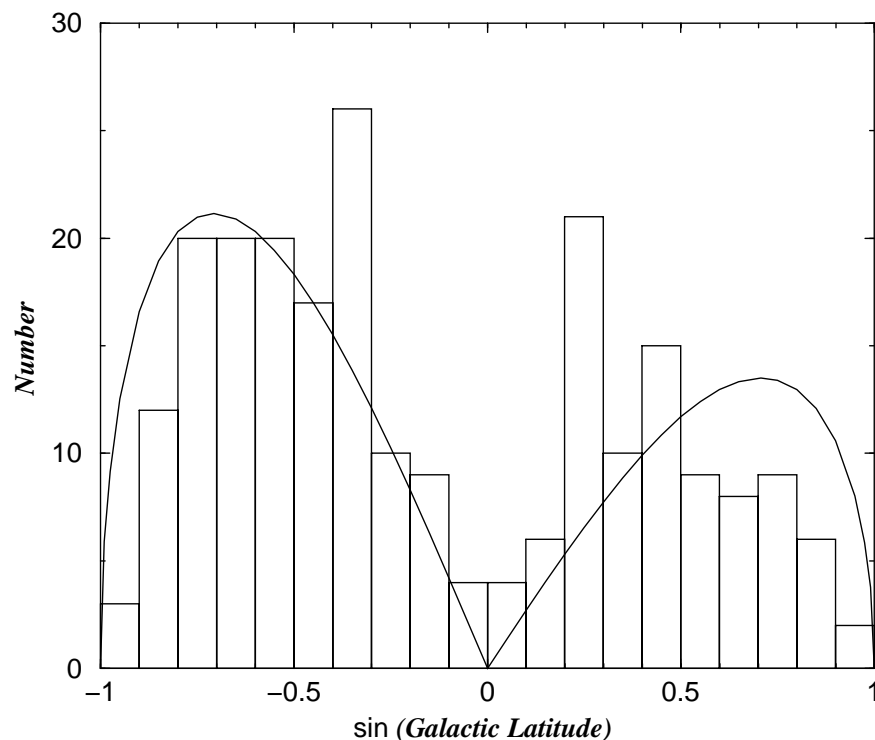
Coordenadas galácticas

¿Concentración de cometas a latitudes galácticas intermedias?

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

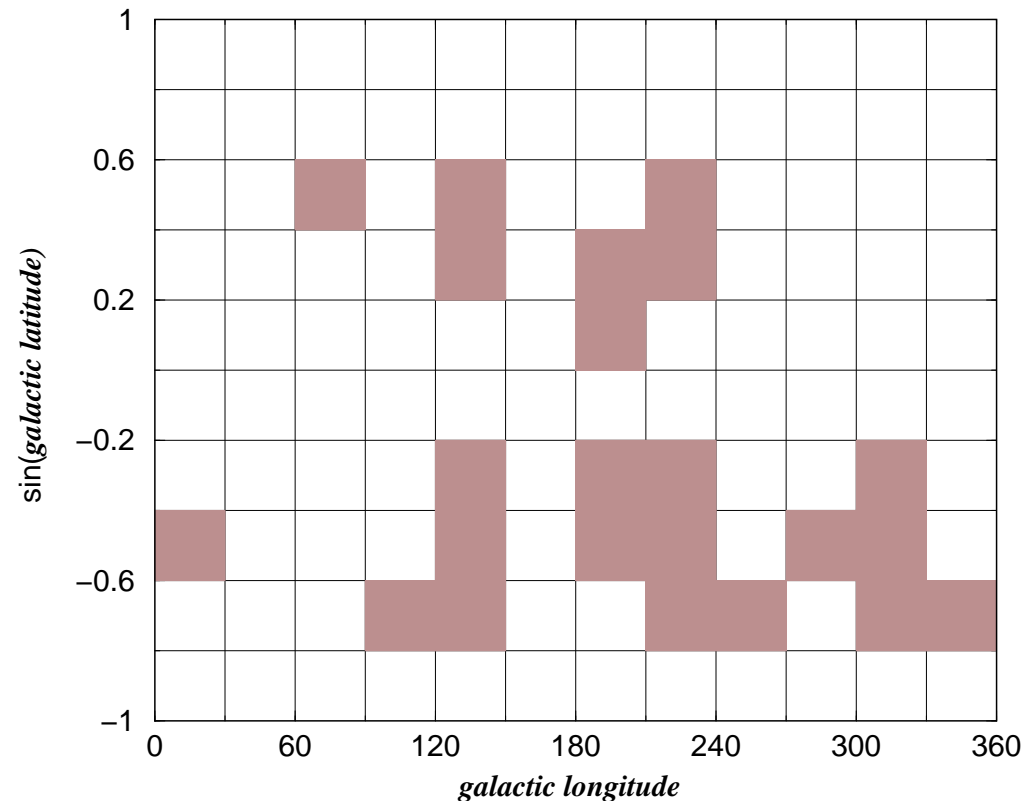
$$\frac{\Delta q}{q} \simeq 0.026 \left(\frac{q}{30\text{UA}} \right)^{-1/2} \left(\frac{a}{10^4\text{UA}} \right)^{7/2} \cos \alpha \sin 2\phi$$

(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 (H₂O)

u : velocidad efectiva del flujo gaseoso

ρ : 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.

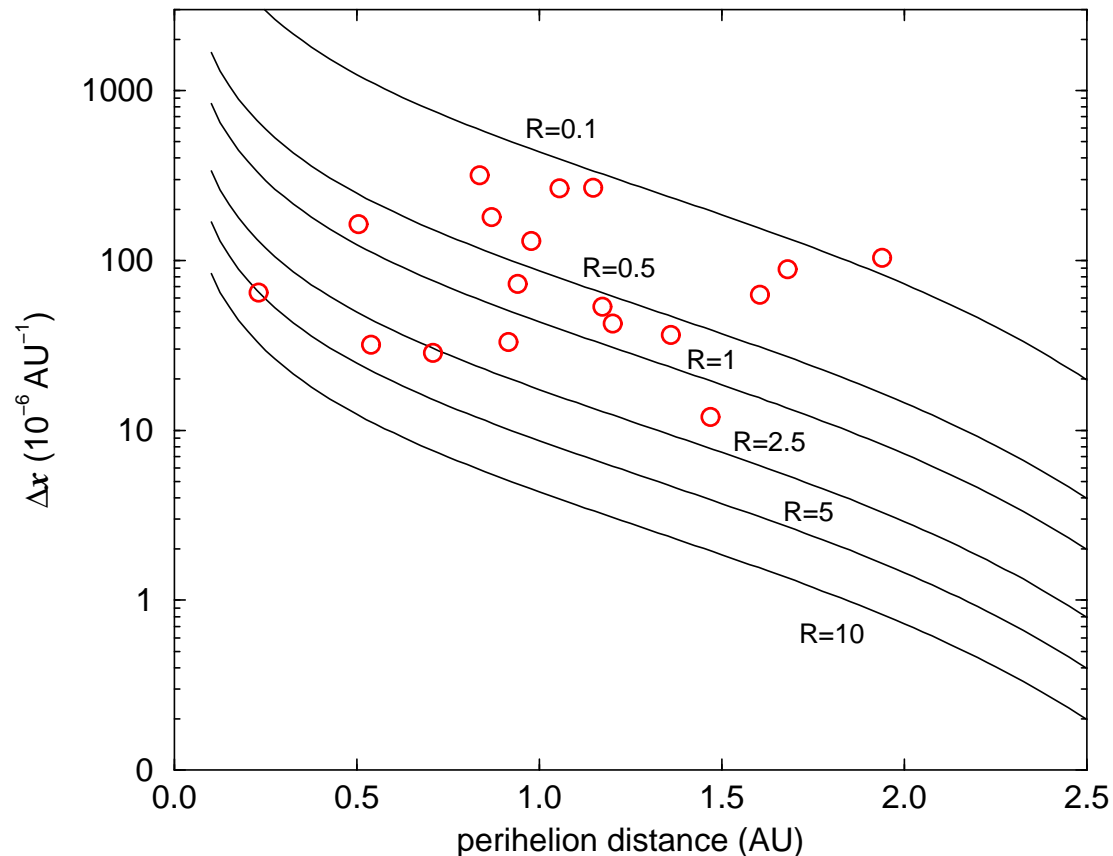
Sustituyendo $dx/dt = -1/a^2 da/dt$, haciendo algunas simplificaciones e integrando a lo largo de la órbita obtenemos:

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

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 Δx debido a fuerzas nongravitacionales en función de la distancia perihélica del cometa, para diferentes radios R cometarios. Los círculos corresponden a los cambios Δx 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).