



Dinámica de planetesimales debido a la fricción de gas de un disco excéntrico con precesión

C. Beaugé¹, A. M. Leiva¹, N. Haghighipour² y J. Correa Otto¹

¹Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba.

²Institute for Astronomy and NASA Astrobiology Institute. University of Hawaii-Manoa.

Introducción

- Se piensa que la formación planetaria en sistemas binarios, es similar a la de estrellas simples.
- El modelo de acreción requiere velocidades de impacto bajas, lo cual es complicado en sistemas binarios cercanos ($s < 1000\text{km}$).
- Velocidades de impacto bajas, implica orbitas con e similares y $\Delta\varpi \sim 0^\circ$.



Introducción

- La presencia de la compañera, trunca el disco por superposición de RMM, modifica el perfil de densidad del gas, genera una excentricidad e_g en el disco e incluso una precesión retrograda con frecuencia g_g .
- Estas condiciones no favorecerían la acreción de planetesimales con tamaño $s < 1000$ km.
- Sin embargo existen 3 ejemplos de sistemas planetarios en binarias cerradas: γ -Cephei, HD41004A y HD196885

Introducción

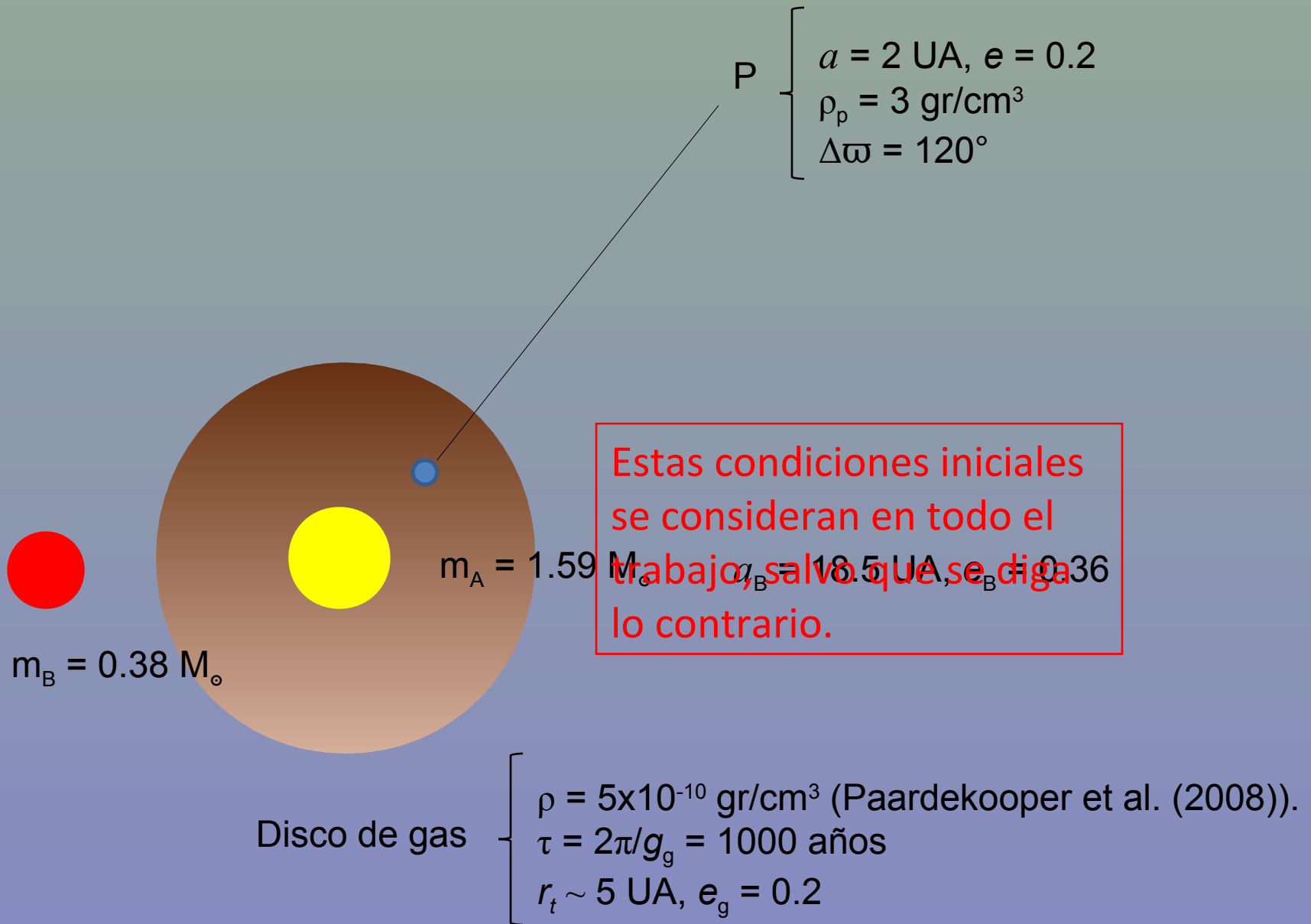
- Para un disco de gas circular en orbita a la estrella principal.
- Marzari & Scholl (2000) encontraron que los efectos combinados de la gravedad y de la fricción generan un atractor.
- Todas las condiciones iniciales tienden a una solución de equilibrio: e_{eq} , $\Delta\varpi_{eq}$.
- Pero las solución de equilibrio depende del tamaño de la partícula (s), Thébault et al. (2004, 2008).

Introducción

- Para un disco de gas excéntrico (e_g), Paardekooper et al. (2008) encontraron que para un a dado, e_{eq} se encuentra entre e_g y e_f .
- En este trabajo realizamos un análisis de la dinámica de planetesimales individuales en un disco de gas perturbado por los efectos gravitacionales de una compañera estelar cercana.
- No utilizamos simulaciones hidrodinámicas, consideramos un P3CRP y simulamos los efectos del gas con una fuerza de fricción no lineal:

$$\ddot{\mathbf{r}} = -\mathcal{C}|\mathbf{v}_{\text{rel}}|\mathbf{v}_{\text{rel}}$$

Como ejemplo tomamos el sistema γ -Cephei:



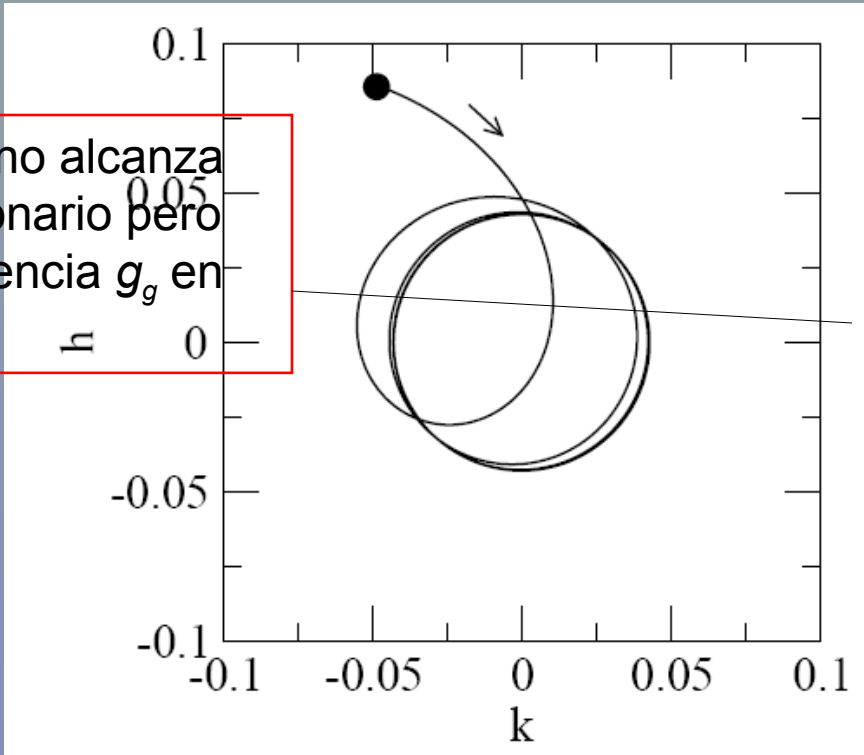
Dinámica del problema de 2 cuerpos

- Comenzamos con un sistema formado por una estrella, un planetesimal y el disco de gas excéntrico con precesión.
- Objetivo: Analizar las perturbaciones del disco sobre el planetesimal.
- Resolvemos el sistema de 2 cuerpos con fricción, expandiendo en series de potencias de e hasta 2° orden y promediando sobre los términos de corto periodo

Dinámica del problema de 2 cuerpos

- Los resultados numéricos muestran:

El planetesimal no alcanza un punto estacionario pero oscila con frecuencia g_g en el plano (k, h)

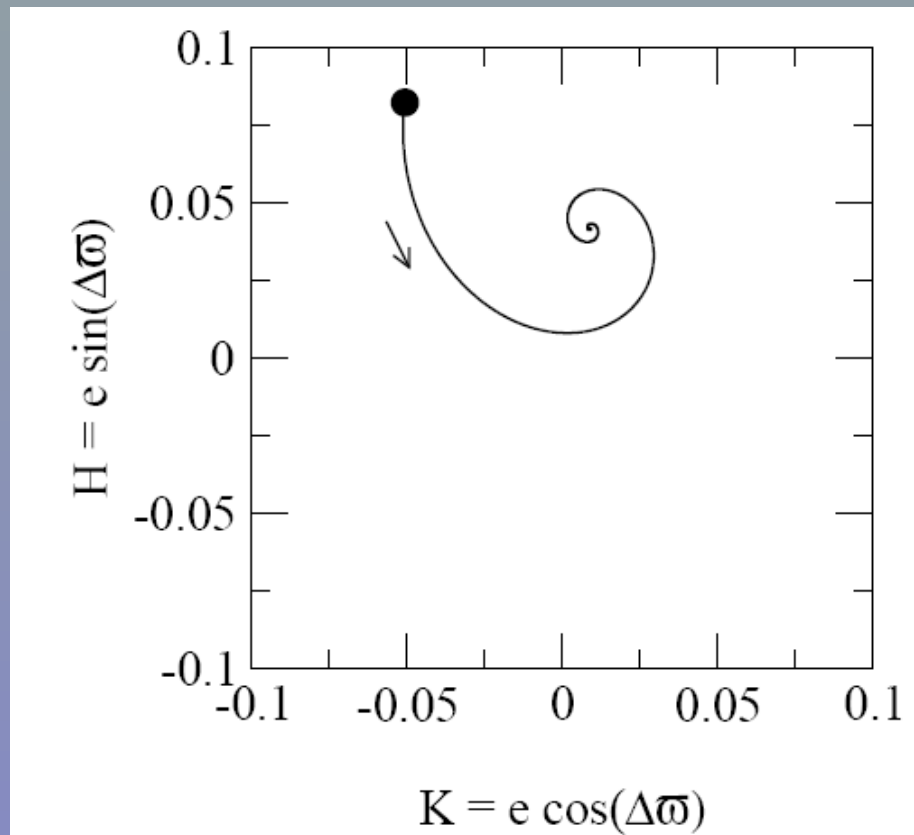


Con: $(k, h) = (e \cos \varpi, e \sin \varpi)$

Dinámica del problema de 2 cuerpos

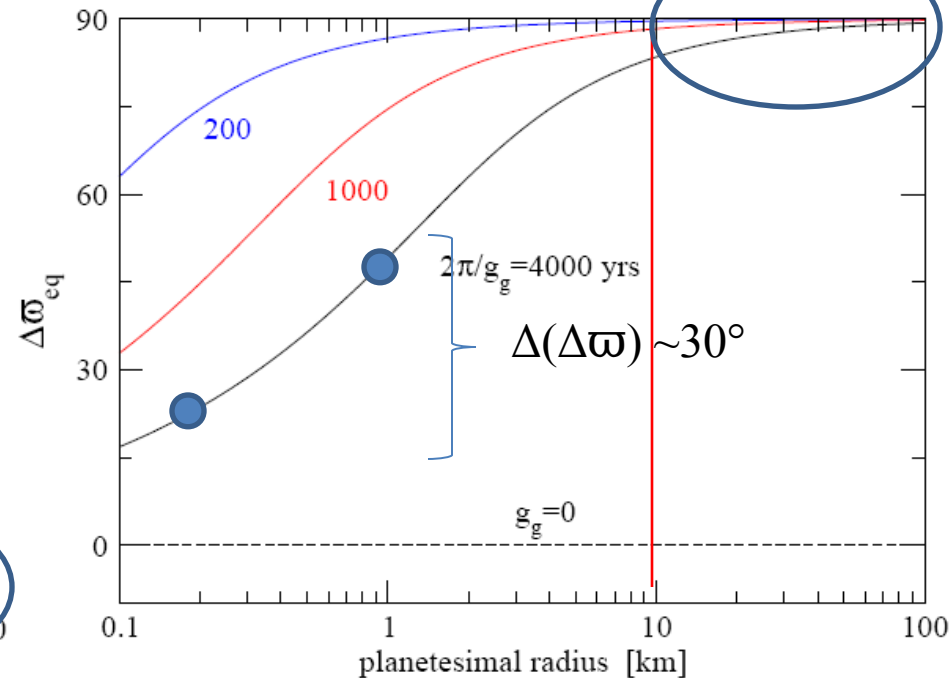
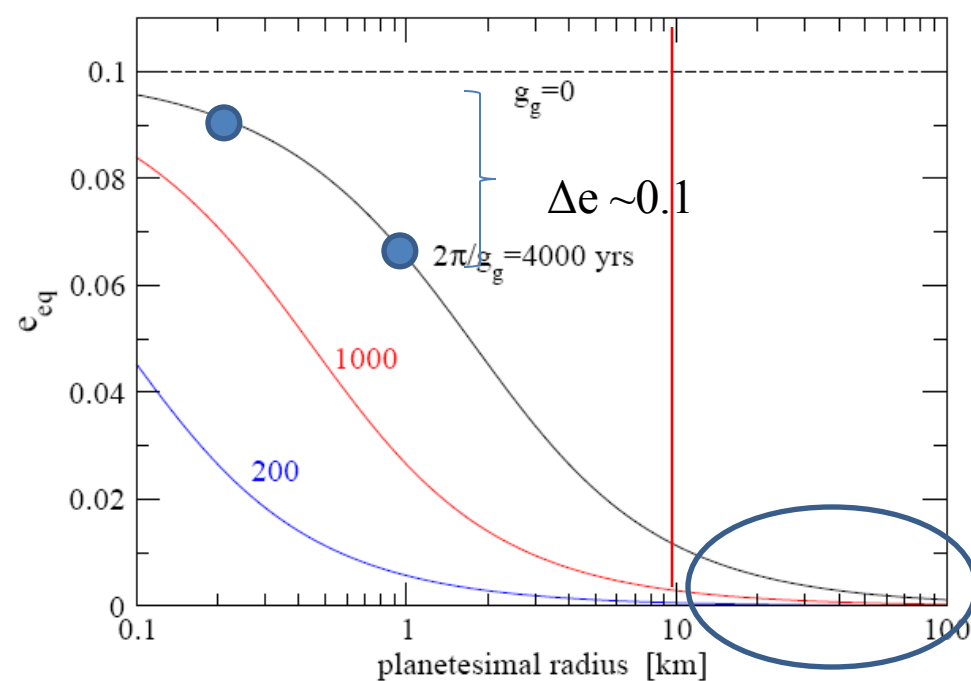
- Definiendo nuevas variables: $(K, H) = (e \cos \Delta\varpi, e \sin \Delta\varpi)$ $\Delta\varpi = \varpi - \varpi_g$, la solución del sistema aparece como un punto de equilibrio.

Comportamiento general.
Diferentes radios (s) \rightarrow
distintos puntos.



Dinámica del problema de 2 cuerpos

- Graficando la solución de equilibrio vs. el radio de los planetesimales ($e_g = 0.1$, $e = 0.1$), vemos:



Dinámica secular en el P3CRP

- Luego consideramos el sistema completo y vemos como cambia la dinámica.
- La compañera binaria introduce:

$$g = \frac{3 m_B}{4 m_A} \sqrt{\frac{m_A + m_B}{m_A}} \frac{n a^3}{a_B^3 (1 - e_B^2)^{3/2}} \rightarrow \text{Frecuencia secular } (g \ll g_g)$$
$$e_f = \frac{5}{4} \frac{a e_B}{a_B (1 - e_B^2)} \rightarrow \text{Excentricidad forzada}$$

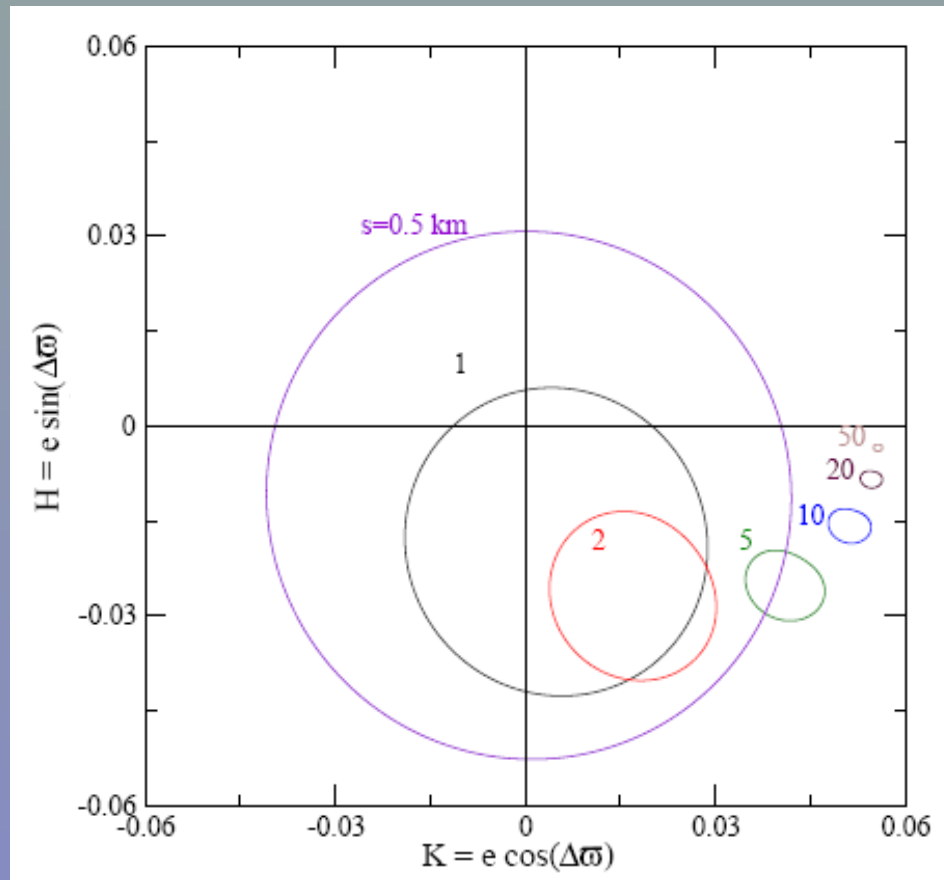
- La función perturbadora secular en variables regulares (k,h) es:

$$R = \frac{3}{8} \frac{\mathcal{G} m_B}{(1 - e_B^2)^{3/2}} \frac{a^2}{a_B^3} \left((k^2 + h^2) - \frac{5}{2} \frac{a e_B}{a_B (1 - e_B^2)} k \right)$$

Dinámica secular en el P3CRP

- En el plano (K,H) graficamos varias condiciones iniciales para planetesimales de diferentes tamaños (radio $\rightarrow s$), $e_f = 0.057$.

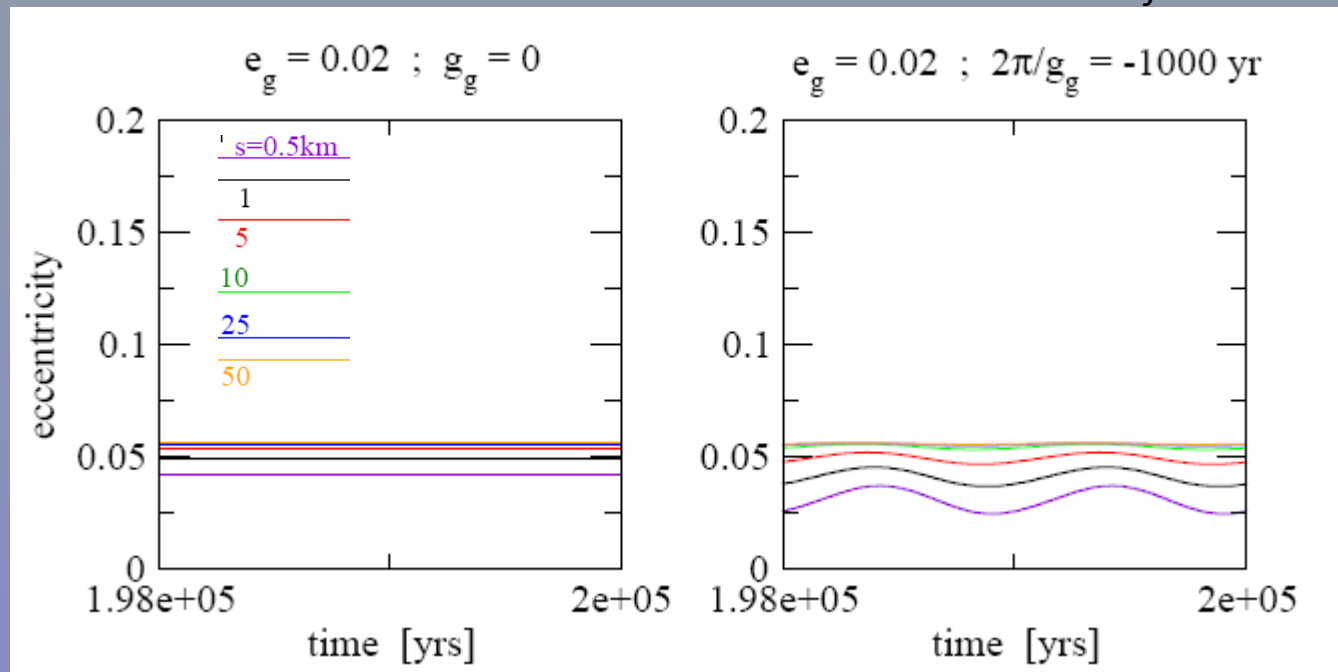
La órbita de cada planetesimal se grafica una vez alcanzado el ciclo límite.



Se observa una transición suave de menor a mayor tamaño.

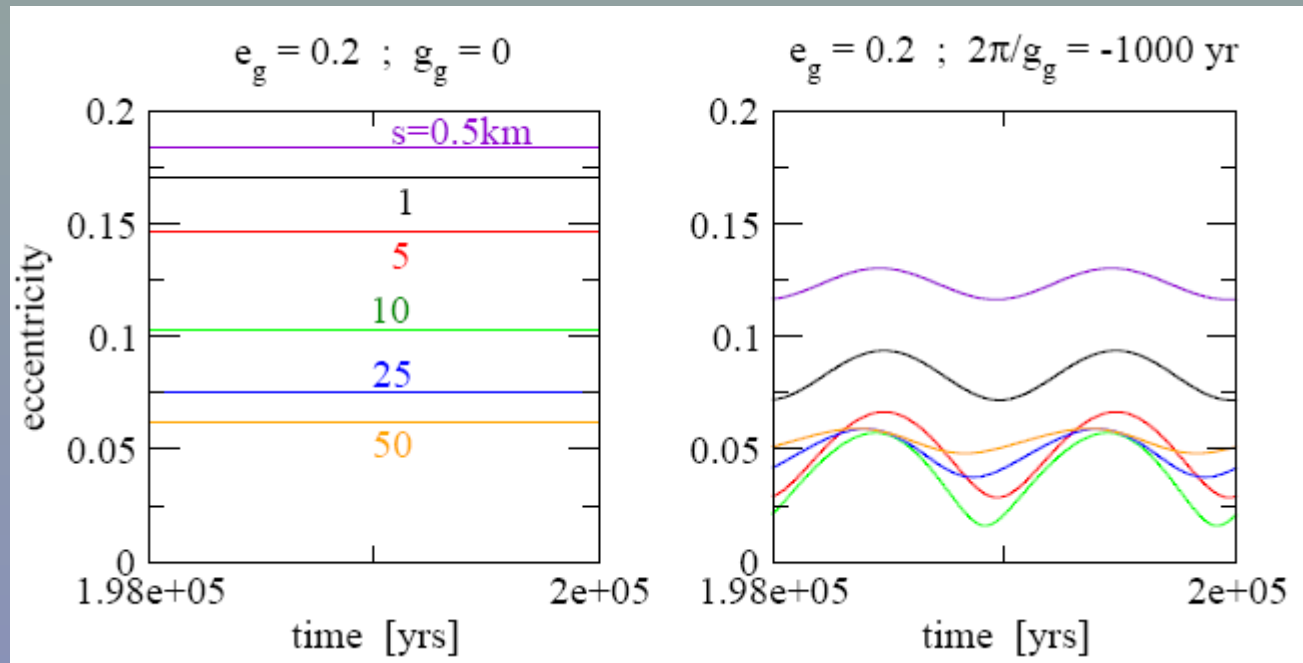
Aplicación a γ -Cephei

- Finalmente analizamos las consecuencias de la precesión del disco en el proceso de acreción.
- Para ellos estudiamos el movimiento relativo de planetesimales con diferentes tamaños ($e_f = 0.057$).



Aplicación a γ -Cephei

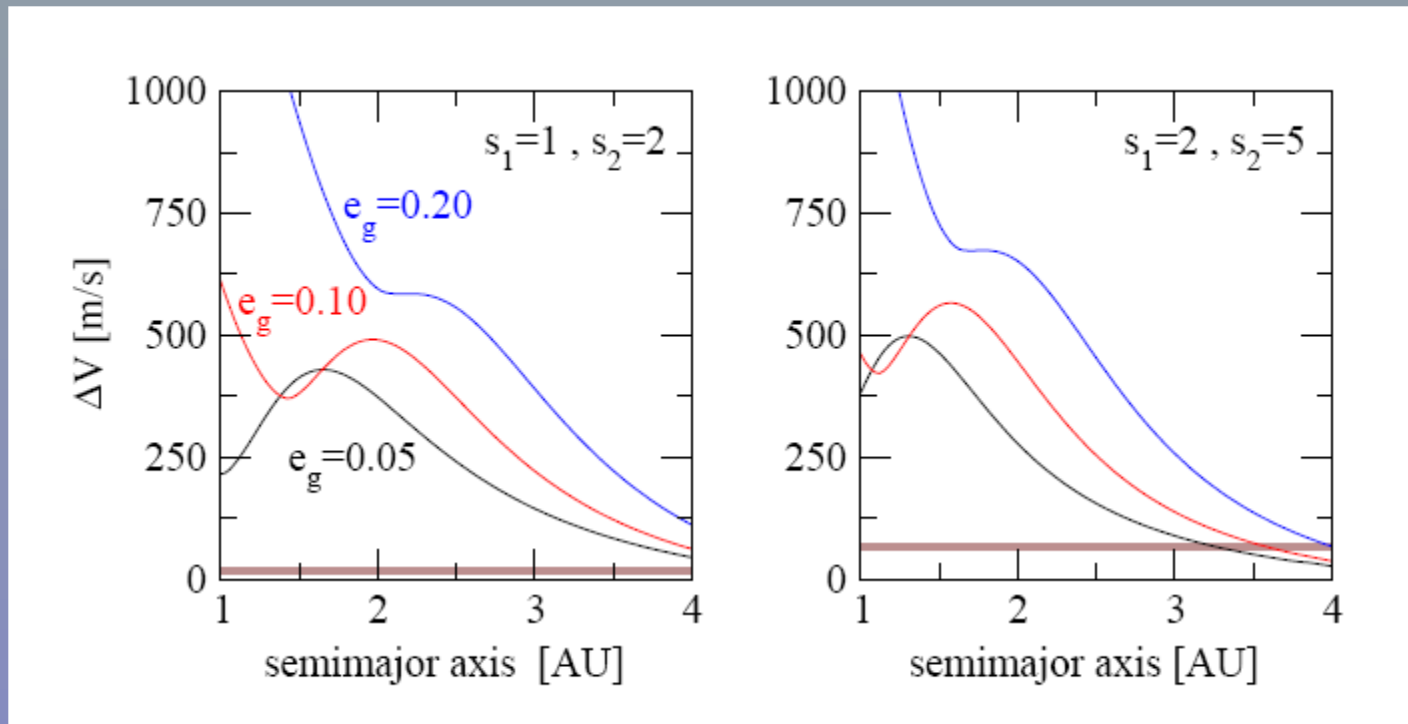
- Para un disco excéntrico ($e_f = 0.057$).



- Luego comparamos las velocidades relativas de colisión entre planetesimales de diferente tamaño para un disco excéntrico que precesa.

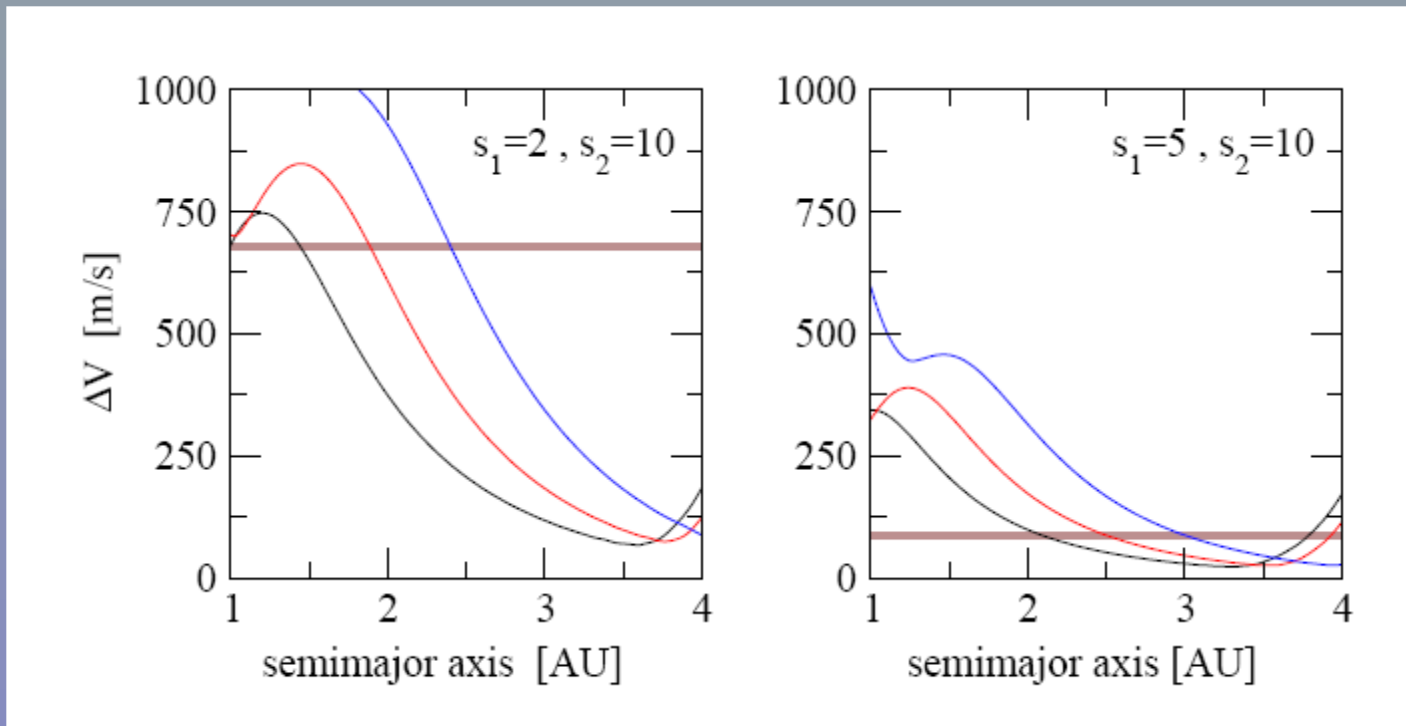
Aplicación a γ -Cephei

- Variación de ΔV (Whitmire et al. (1998)) para 6 pares de planetesimales con tamaños diferentes vs. el semi-eje mayor. La curva horizontal marca la velocidad límite para acreción (Stewart & Leinhardt (2009)).



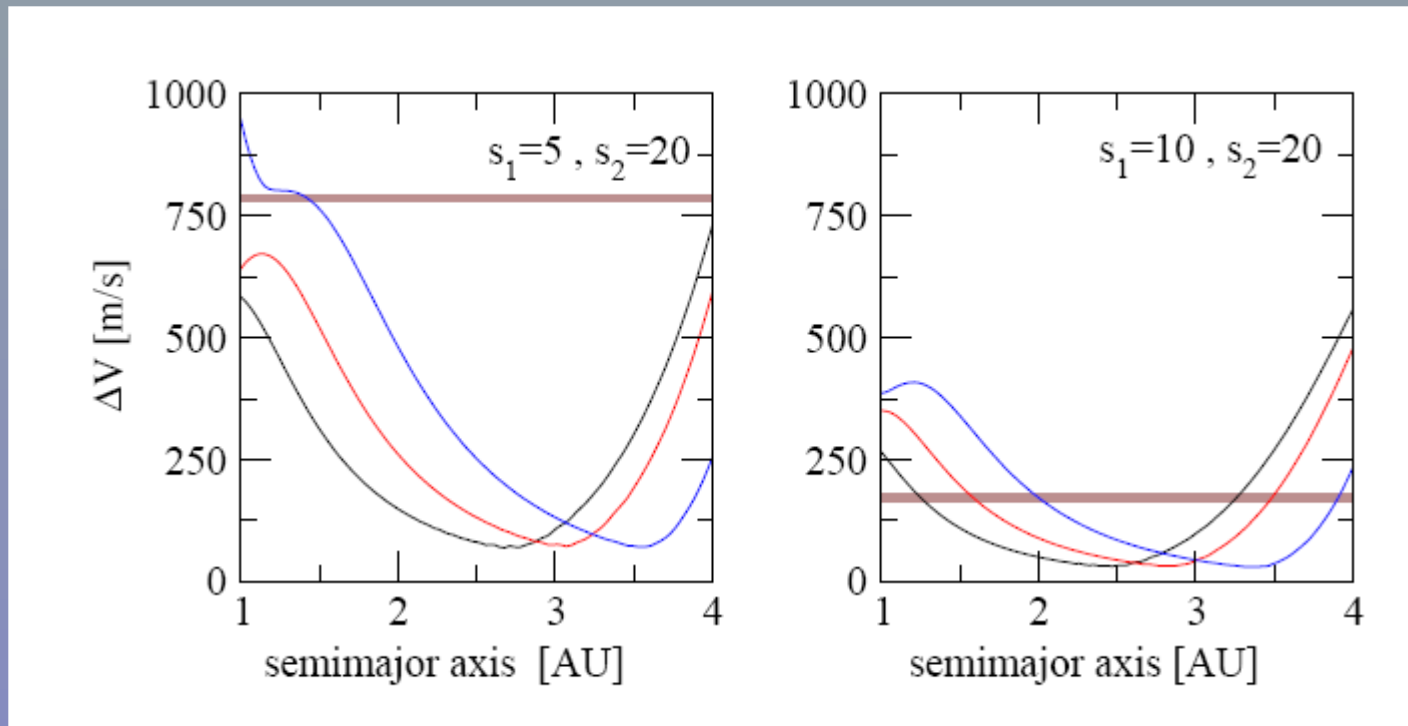
Aplicación a γ -Cephei

- Variación de ΔV (Whitmire et al. (1998)) para 6 pares de planetesimales con tamaños diferentes vs. el semi-eje mayor. La curva horizontal marca la velocidad límite para acreción (Stewart & Leinhardt (2009)).



Aplicación a γ -Cephei

- Variación de ΔV (Whitmire et al. (1998)) para 6 pares de planetesimales con tamaños diferentes vs. el semi-eje mayor. La curva horizontal marca la velocidad límite para acreción (Stewart & Leinhardt (2009)).



Conclusiones

- La precesión en un disco de gas excéntrico introducen cambios en la dinámica secular de los planetesimales.
- e y ϖ no llegan a un punto fijo, pero despliegan orbitas periódicas en el plano k y h .
- Para s grande $e \rightarrow e_f$. Para s chico el comportamiento depende de g_g . Si $g_g = 0$ $e \rightarrow e_g$, para $g_g \gg 1$, $e \rightarrow 0$
- También causa diferencias significativas en la velocidad relativa de colisión de planetesimales de diferente radio: $e_g \sim 0 \rightarrow$ aumenta las velocidades de encuentro, $e_g > 0.1 \rightarrow$ tiene un efecto contrario.

Perspectiva

- La región externa del disco (2.5-5 UA) esta dominada por RMM de alto orden. Se necesita una análisis que comprenda la dinámica resonante y secular.
- El objetivo final es intentar explicar la formación planetaria en sistemas binarios cercanos, mediante simulaciones con acreción.



FIN

Gracias por su atención