

SIMULACIONES DE FUSIONES DE GALAXIAS EN CUMULOS

M. Mosconi¹, J. Navarro^{1,2} y D. García Lambas¹

1 OAC

2 CONICET

ABSTRACT. We consider galaxy merging in a cluster under the condition of Aarseth & Fall (1980). The models include the presence of dark matter, which is simulated by a Schuster's radial density law. We present the results obtained from full N-body numerical simulations.

RESUMEN. Se analizan los resultados de simulaciones numéricas autogravitantes de la fusión de galaxias en cúmulos. Los modelos estudiados incluyen la presencia de materia oscura en los cúmulos de galaxias. Se adoptó la condición de Aarseth & Fall (1980) para considerar la fusión de dos galaxias del sistema, y el material no luminoso intergaláctico se simuló mediante un potencial de Schuster.

1. INTRODUCCION

Se estudia la evolución del proceso de fusión de galaxias en cúmulos o grupos, por medio de simulaciones numéricas autogravitantes.

El propósito de este trabajo es investigar la influencia de las fusiones sobre:

- i) la determinación de la función de masa.
- ii) la formación de las galaxias CD en los centros de los cúmulos o grupos.
- iii) la alteración de la segregación de masas de un sistema.
- iv) la relación densidad local vs tipos morfológicos.

2. METODO

Se basa en la integración numérica de las ecuaciones de movimiento de N cuerpos, donde cada partícula representa una galaxia, a la cual se le asigna cierto tamaño efectivo ϵ , tal que

$$r_h = 1.3\epsilon ,$$

donde r_h representa el radio que contiene la mitad de la masa.

Las partículas orbitan en un potencial de interacción de la forma:

$$\phi(r_{ij}) = - \frac{G \sum_{i < j}^N m_i m_j}{(r_{ij}^2 + \epsilon_i^2 + \epsilon_j^2)^{1/2}} ,$$

donde m_i es la masa de una partícula, ϵ_i el radio efectivo y G la constante de gravitación.

3. CONDICIONES DE LOS EXPERIMENTOS

Se debe definir adecuadamente la sección eficaz de la fusión de dos cuerpos. Para que exista fusión, se tienen en cuenta dos condiciones:

- i) condición de proximidad.
- ii) parámetros orbitales.

donde i) implica considerar únicamente pares de partículas separadas a lo sumo por un cierto radio máximo, dentro del cual suponemos existe probabilidad de fusión. Para todo par que se encuentra en esas condiciones, se calculan sus distancias (r_p) y velocidades (v_p) pericéntricas, y se fusionan si se satisface:

$$\left(r_p / 2.6(\epsilon_1 + \epsilon_2) \right)^2 + \left(v(r_p) / 1.16 v_e(r_p) \right)^2 \leq 1,$$

donde

$$v_e(r_p) = 2G(m_1 + m_2) / (r_p^2 + \epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)^{1/2}.$$

Esta sección eficaz (Figura 1) es un resultado empírico de simulaciones de la fusión de galaxias (van Albada y van Gorkom, 1977; White, 1978; Roos y Norman, 1979; Efsthathiou y Jones, 1979; Aarseth y Fall, 1980).

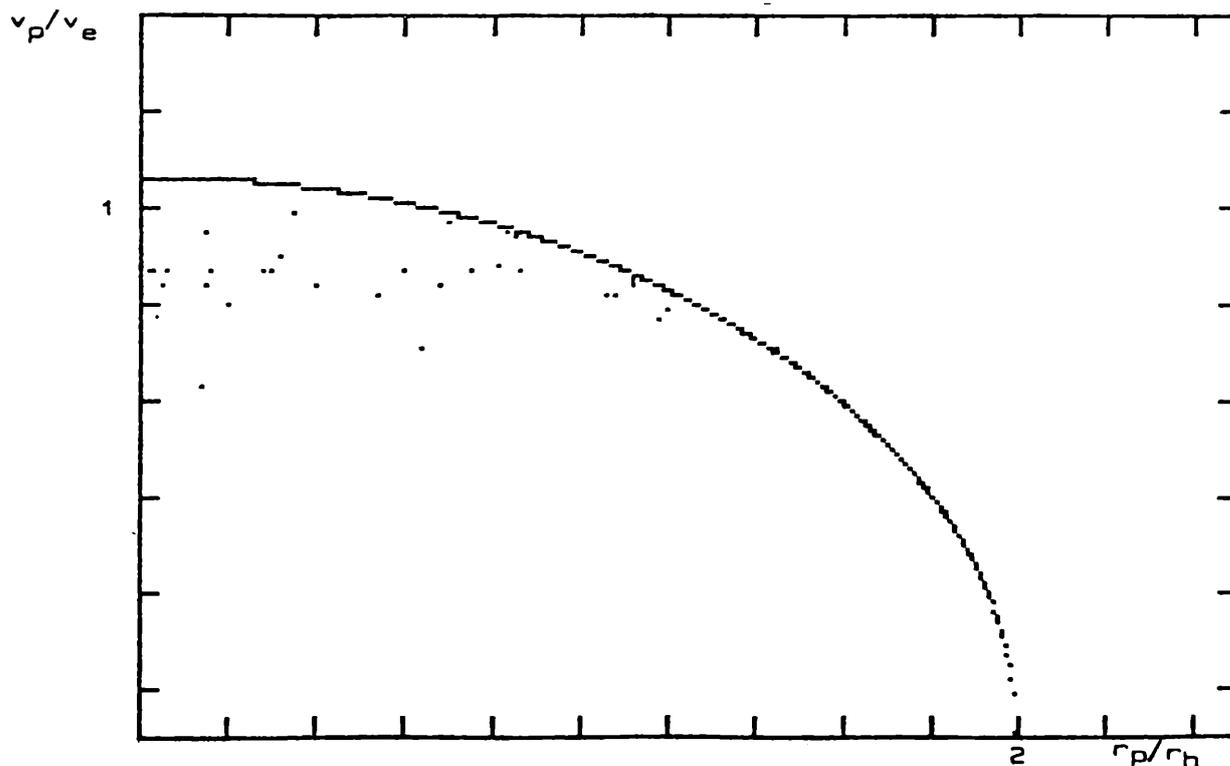


Figura 1: Sección eficaz de captura. Todo lo que se encuentra debajo de la curva es lo que se fusionó.

Cuando dos partículas satisfacen la condición de fusión, éstas son reemplazadas por una sola partícula, cuyas características son determinadas por la conservación de todas las cantidades dinámicas en el esquema del centro de masa de los dos cuerpos que interactúan (Aarseth & Fall, 1980).

4. CONDICIONES INICIALES

Se estudiaron modelos en los cuales:

a) las partículas están distribuidas uniformemente dentro de una esfera de radio R .

b) las condiciones dinámicas iniciales incluyeron:

i) modelos fríos ($K/W = 0$).

ii) en equilibrio ($K/W = 0.5$).

iii) en expansión,

siendo K y W las energías cinéticas y potencial del sistema, respectivamente.

En todos los casos se estudiaron modelos con y sin materia oscura.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Teniendo en cuenta las condiciones a) y b), los parámetros que determinan la tasa de fusión de galaxias son:

i) la razón dm/ϵ .

ii) la razón σ_c/σ_g .

donde dm es la distancia media interpartículas, la cual en condiciones de uniformidad es:

$$dm = R / N^{1/3},$$

con R que representa el radio inicial del sistema y N el número total de partículas; σ_c es la dispersión de velocidad del cúmulo y σ_g la dispersión de velocidad de una galaxia.

Por otro lado, en el modelo propuesto no se pueden fijar independientemente las relaciones

$$\sigma_c / \sigma_g \text{ y } dm / \epsilon$$

pues

$$(\sigma_c / \sigma_g)^2 \propto N \cdot \epsilon \text{ (ver Apéndice 1).}$$

6. CONCLUSIONES

1) Un sistema de partículas autogravitante es inestable si se cumple que:

$$\sigma_c < \sigma_g$$

El que sea inestable significa que en 1 ó 2 tiempos dinámicos, aproximadamente el 80 % de la masa se ha fusionado en una sola partícula (canibalismo), la cual tiende a ubicarse en el centro del sistema (Fig. 2)

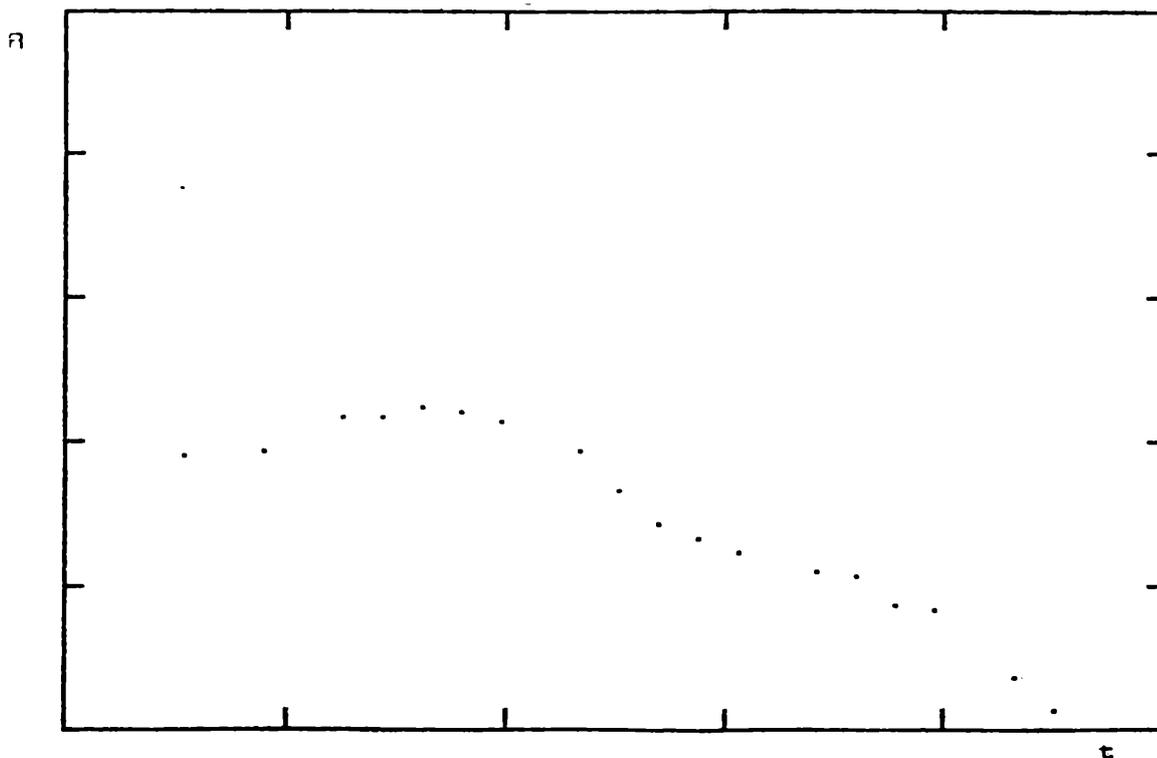


Figura 2: Variación de la distancia (R) de la partícula canibal en función del tiempo (t).

II) Si se cumple que:

$$\sigma_c \sim 4 \sigma_g,$$

la tasa de fusión se reduce y el sistema es estable ante esos parámetros.

III) Existen estadios intermedios en los cuales si una partícula comienza a crecer y se deja evolucionar el modelo suficiente tiempo, termina en la situación descrita en I).

IV) En la presencia de una componente oscura dominante, las fusiones se inhiben, pues en ese caso:

$$\sigma_c > 4 \sigma_g.$$

V) Las partículas fusionadas escalan sus tamaños en la forma

$$\varepsilon(m) = \varepsilon_0 m^\gamma$$

donde $\gamma \simeq 0.94$ (Figuras 3a y 3b).

VI) Un sistema en equilibrio, cuyo número de partículas va cambiando debido a las fusiones, mantiene aproximadamente igual la tasa de fusiones, pues:

$$\sigma_c / \sigma_g = (\sigma_c / \sigma_g)_0 (N / N_0)^\delta,$$

con

$$\delta = (1 - \gamma) / 2,$$

donde de acuerdo a los valores de γ se obtiene un valor para $\delta \simeq 0.03$ (Apéndice 2).

APENDICE 1

La dispersión de velocidades de una galaxia está dada por:

$$\sigma_g^2 = \frac{0.3 m}{\varepsilon}.$$

Si consideramos $m=M/N$ y $M=1$ entonces $m=1/N$, con lo cual:

$$\sigma_g^2 = \frac{0.3}{N \cdot \epsilon}$$

(1)

La dispersión de velocidades del cúmulo será:

$$\sigma_c^2 = \frac{GM}{Rg}$$

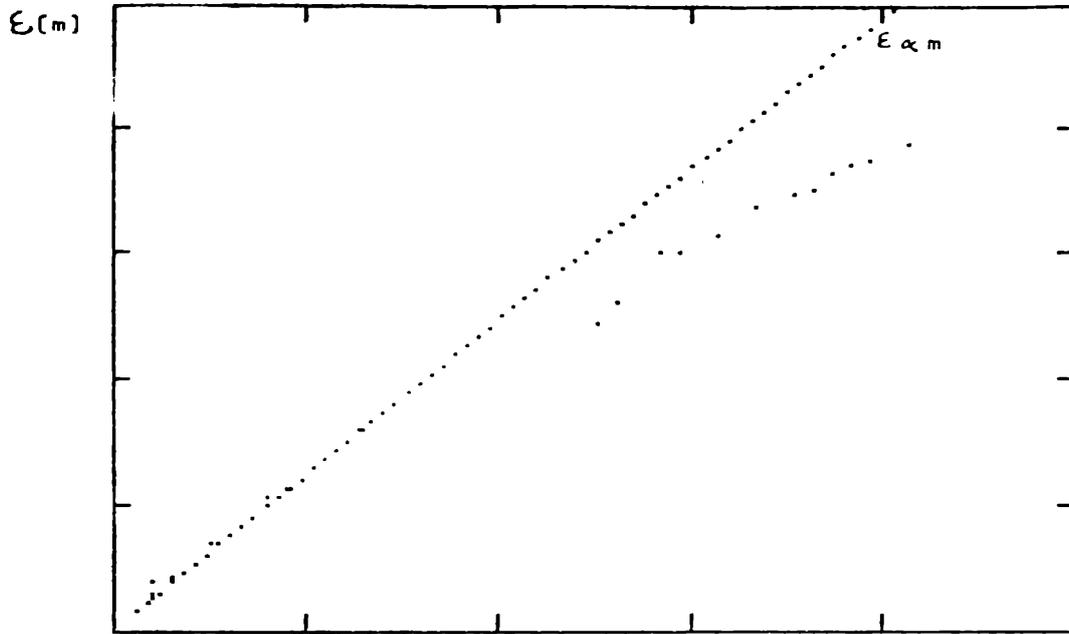


Fig. 3-a

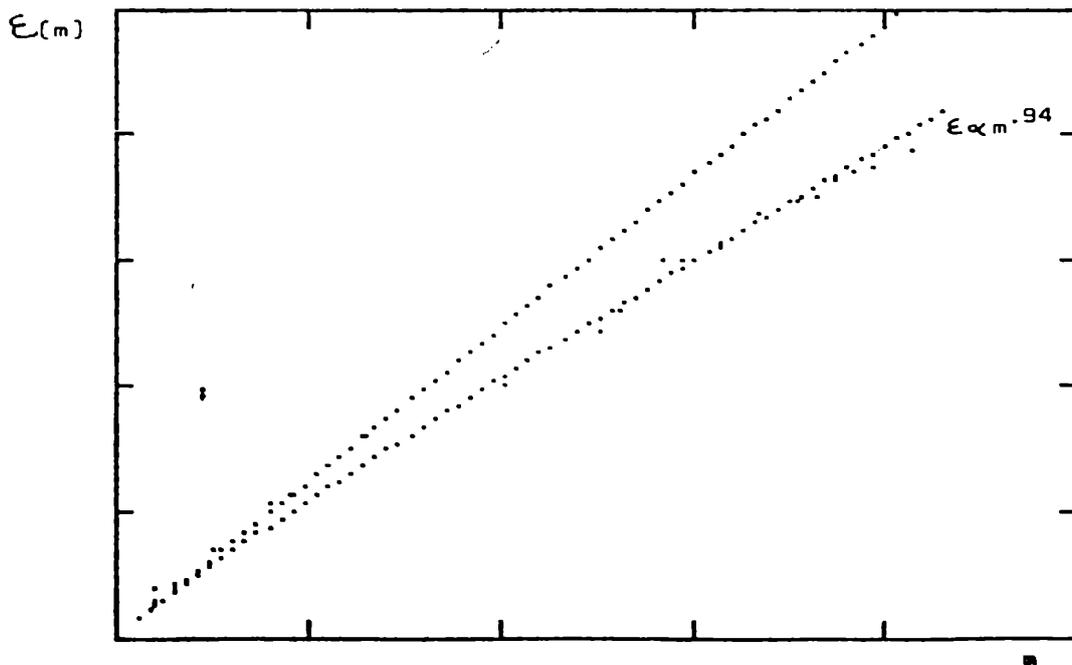


Fig. 3-b

Figuras 3a y 3b: Variación del radio efectivo () de la partícula canibal en función de la masa (m). Si $E \propto m^\gamma$, se obtiene $\gamma \approx 0.94$.

donde R_g representa el radio gravitacional y verifica que $R_g = M/|W|$. Si $M=1$ y $G=1$, entonces:

$$(\sigma_c / \sigma_g)^2 = \frac{N \cdot \epsilon}{0.3 R_g}$$

Haciendo los reemplazos adecuados, se puede obtener:

$$(\sigma_c / \sigma_g)^2 \propto N \cdot \epsilon. \quad (2)$$

APENDICE 2

Si suponemos que $\epsilon = f(m)$, se tiene que:

$$\epsilon = \epsilon_0 m^\gamma,$$

donde γ varía entre 0.8 y 1.

Reemplazamos esta relación en la ecuación (2) y se obtiene

$$(\sigma_c / \sigma_g)^2 \propto N m^\gamma.$$

Si $m=1/N$, entonces:

$$\sigma_c / \sigma_g \propto (N/N^\gamma)^{1/2} = N^\delta,$$

donde

$$\delta = (1 - \gamma)/2.$$

Teniendo en cuenta los valores que puede tomar γ , se obtiene:

γ	δ
0.80	0.10
0.94	0.03
1.00	0.00

REFERENCIAS

- Aarseth, S. y Fall, M. 1980: Ap.J. 236, 43.
Aguilar, L. y White, S. 1985: Ap.J. 295, 374.
Efsthathiou, G. y Jones, B. 1979: MNRAS 186, 133.
Farouki, R. y Shapiro, S. 1982: Ap.J. 259, 103.
Miller, G. 1983: Ap.J. 268, 495.
Roos, N. y Norman, C. 1979: Astr. Ap. 76, 75.
van Albada, T. y van Gorkom, J. 1977: Astr. Ap. 54, 121.
White, S. 1978: MNRAS 184, 185.