

Propuesta de proyecto final

Diego A. Campos Méndez, Carlos A. Enciso Sandoval, Juan S. Sierra Jaraba
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
Facultad de Ciencias - Departamento de Física
Herramientas Computacionales 2023-1

17 de Mayo del 2023

Título tentativo:

Dinámica Molecular Aplicada a la Evolución de Galaxias en un Universo en Expansión.

Descripción del problema

Las observaciones del universo muestran que este crece de forma tal que las distancias aumentan a una velocidad proporcional a las mismas, dicha proporcionalidad está dada por la constante de Hubble. A distancias planetarias la velocidad de Hubble es 10 ordenes de magnitud menor a las velocidades de los planetas, sin embargo a escala de una galaxia la proporción es de alrededor del 1 %, lo que hace que no se pueda despreciar la velocidad de Hubble en la dinámica de las galaxias debido a su efecto en la estabilidad [1]. Søren Toxvaerd [1] propone que las galaxias no son sistemas estables y aun no se puede asegurar que las estrellas mas alejadas esten gravitacionalmente ligadas a sus respectivas galaxias. Sin embargo parecen estables debido a que para edades tempranas del universo es posible la formación de galaxias por concentración de materia barionica.

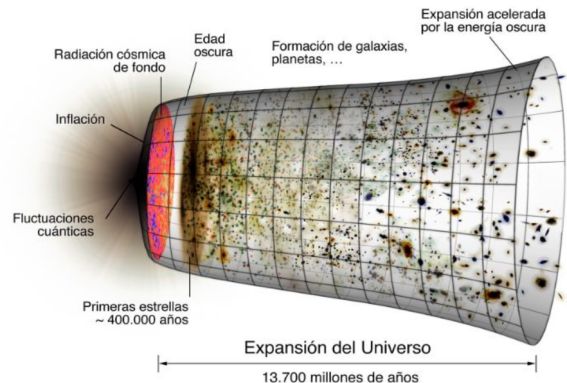


Figura 1: Ley de Hubble-Lemaître. Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Hubble-Lemaître

Trabajo a desarrollar

En el proyecto final se simularan galaxias en un universo en expansión usando el algoritmo reversible en el tiempo para la formación y envejecimiento de sistemas gravitacionales por autoensamblaje de objetos bariónicos, derivado en la referencia [1]. Se determinará la evolución temporal de las galaxias mediante simulaciones de sistemas con fuerzas gravitatorias puras mediante simulaciones clásicas de dinámica molecular. En la ecuación 1 está el algoritmo para la mecánica clásica con una expansión de Hubble del espacio incluida en la dinámica newtoniana usada en la referencia [2], la cual sigue siendo

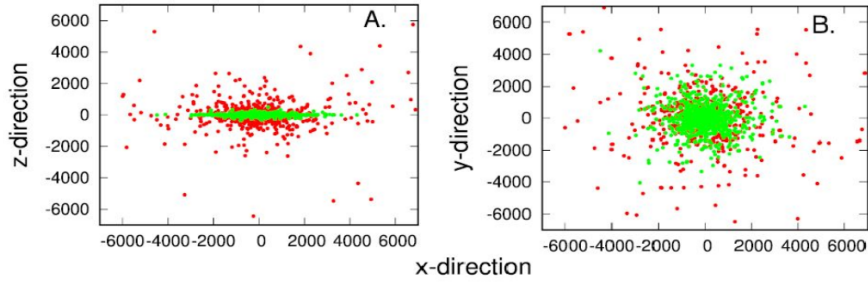


Figura 2: Posición de los objetos en una simulación de galaxia en momentos distintos. Imagen A: vista lateral; Imagen B: vista superior.

reversible en el tiempo, pero aumenta las velocidades, los momentos y los momentos angulares.

$$\mathbf{v}_k(t + \delta t/2) = \frac{(1 + \delta t H/2)\mathbf{v}_k(t - \delta t/2) + \delta t/m_k \mathbf{f}_k(t)}{1 - \delta t H/2} \quad (1)$$

En la ecuación 1 se determina la velocidad \mathbf{v}_k del k -ésimo objeto que se ve modificada por la velocidad Hubble y la fuerza $\mathbf{f}_k(t)$ que actúa sobre el objeto en las posiciones discretas $\mathbf{r}_k(t)$ en el tiempo t (ver apéndice de la referencia [2]).

Referencias

- [1] Toxvaerd, S. (2022). The stability of galaxies in an expanding Universe obtained by Newtonian dynamics. *Classical and Quantum Gravity*, 39(22), 225006.
- [2] Toxvaerd, S. (2022). An algorithm for coalescence of classical objects and formation of planetary systems. *The European Physical Journal Plus*, 137(1), 99.