

Astrofísica Computacional

Ejercicios 04. Algoritmo de Barnes-Hut

El código incluido presenta una implementación del algoritmo de Barnes-Hut descrito en clase. El objetivo de este ejercicio es mejorar el código para poder simular un sistema con valores más realistas del modelo físico.

1. Modifique el código de tal manera que se utilice un sistema de unidades adecuado para la descripción de un sistema galáctico. Sugiero un sistema con $[M_\odot]$, [kpc] y [yr].
2. Modifique el código para permitir que cada partícula pueda tener una masa diferente (puede ser asignada aleatoriamente, dentro de un rango de masas determinado, en el proceso de inicialización).
3. Agregue al código una función que permita obtener una gráfica de velocidad orbital de todas las partículas vs. distancia radial al centro de la distribución.
4. **Modelo 1.** Agregue al código una opción que permita un modelo que incluya un agujero negro supermasivo con masa M en el centro de la galaxia y una distribución aleatoria de partículas con velocidades angulares iniciales Keplerianas,

$$\Omega_k(r) = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}. \quad (1)$$

5. **Modelo 2.** Agregue al código una opción que permita un modelo en el que las partículas se distribuyan con un perfil de densidad superficial exponencial [1],

$$\Sigma(r) = \Sigma_0 e^{-r/R_d} \quad (2)$$

donde la longitud de escala puede estimarse del orden de $R_d \sim 0,1R$ con R el radio de la galaxia y donde las velocidades tangenciales iniciales estén dadas por

$$v_0^2(r) = 4\pi G \Sigma_0 R_d y^2 [I_0(y)K_0(y) - I_1(y)K_1(y)] \quad (3)$$

con $y = \frac{r}{2R_d}$ y donde I_n y K_n son las funciones modificadas de Bessel (estas pueden ser implementadas utilizando la librería `scipy.special`).

Después de realizar estas modificaciones, utilice los modelos 1 y 2 implementados para ilustrar el comportamiento de la Vía Láctea utilizando alrededor de 5000 estrellas con masas entre $1M_\odot$ y $50M_\odot$, en un intervalo de tiempo de 13 Gyr y utilizando los siguientes parámetros [2]:

- Radio de la Galaxia: 30 kpc
- Masa del agujero negro central: $4 \times 10^6 M_\odot$

En el caso del Modelo 2 puede escalar la distribución de masa como considere adecuado, siempre y cuando tenga razones físicas para sustentar las suposiciones que realice. Obtenga también la curva de velocidad de las estrellas en el instante final de la evolución para cada uno de los modelos.

Referencias

- [1] James Binney y Scott Tremaine. *Galactic Dynamics: Second Edition*. 2008.
- [2] Yoshiaki Sofue. "Rotation and mass in the Milky Way and spiral galaxies". En: *Publications of the Astronomical Society of Japan* 69.1 (dic. de 2016), R1. DOI: [10.1093/pasj/psw103](https://doi.org/10.1093/pasj/psw103). URL: <https://doi.org/10.1093/pasj/psw103>.