

Proyecto Colapso Gravitacional

Estudio de simulación de un Cluster de estrellas

M.González¹, M. Maturana², E. Reyes³ and C. Riquelme⁴,

¹ Plan Común, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

e-mail: martin.gonzales@ug.uchile.cl

² e-mail: martin.maturana.a@ug.uchile.cl

³ e-mail: c.ptolemy@hipparch.uheaven.space

⁴ e-mail: emilio.reyes.b@ug.uchile.cl

⁵ e-mail: carlos.riquelme.c@ug.uchile.cl

December 7, 2024

ABSTRACT

Un cluster es un conjunto de estrellas o galaxias que se mantienen unidas mediante la interacción gravitacional, se estudió la evolución de un sistema que, como se muestra en el informe, este sufre colisiones internas. Debido a las colisiones este cúmulo, gana energía, se expande y la masa se concentra en un objeto masivo.

Key words. Clusters , Celestial mechanics.

1. Introduction

En el presente informe se detalla el estudio de un cluster simulado con "poner aquí como se hizo". Las principales cantidades que se estudiaron fueron los distintos radios lagrangianos del sistema, la trayectoria del centro de masas y del cluster () junto con la evolución de la energía del sistema y las estrellas que lo componen.

El principal propósito de este informe es el estudio del comportamiento de un cluster de estrellas en colapso gravitacional. Para llevar a cabo esto, se estudiaron datos simulados mediante AMUSE (tenemos link) los cuales contaban con información sobre radios, posiciones, velocidades y masas para 2.000 estrellas en 25.817 tiempos distintos. Las principales cantidades que se estudiaron fueron los distintos radios lagrangianos del sistema, la trayectoria del centro de masas y del cluster () junto con la evolución de la energía del sistema y las estrellas que lo componen. Un radio lagrangiano es el radio de una esfera imaginaria alrededor del centro de un sistema estelar que contiene una proporción fija de su masa. Estos radios son comúnmente utilizados para monitorear y analizar la evolución espacial de los sistemas. Por esta razón, es crucial contar con un centro representativo del sistema. En este estudio, se optó por utilizar el centro del cluster en lugar del centro de masa, dado que se considera más adecuado para el análisis.

El análisis de los cúmulos de estrellas es de vital importancia para comprender procesos extremos en las galaxias como la formación de objetos pesados, como nacen y su evolución, o el simple estudio de la evolución estelar. Este tipo de investigaciones permite comprender procesos astrofísicos que ocurren en la propia Vía Láctea.

En el presente informe, se comenzará

2. Metodología

En esta sección se revisará los métodos computacionales y modelos teóricos utilizados en este proyecto. En primer lugar, fue necesario familiarizarse con el framework de HDF5 el cual es una librería pensada para manipular archivos con grandes volúmenes de datos. Por otro lado se recurrió al software Amuse, el cual propicia herramientas propicias para el procesamiento de datos. Por la misma línea, la librería Logging se usó como reemplazo del comando "print", específicamente para informar al usuario constantemente sobre como avanzaba el proceso de datos. De la mano viene el multiprocessing, esta librería es vital para procesar grandes cantidades de datos de forma rápida, lo que se logró con esta librería fue disminuir el tiempo de procesamiento de seis horas a dos horas con cuarenta minutos separando las tareas en los dos núcleos disponibles en Colab. Por último se destaca el uso de Numpy con las herramientas matemáticas y Matplotlib para las figuras y ploteos.

Como marco teórico nos basamos principalmente en los trabajos de Sweatman y la definición que ocupa Makino & Sugimoto (1987) para el centro del cluster, el cual viene dado por:

$$\frac{\sum_{i=1}^N \frac{\mathbf{r}_i}{r_{6i}^3}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{r_{6i}^3}} \quad (1)$$

Donde r_{6i} representa la distancia de la sexta estrella más cercana. Por otro lado, se ocupó el siguiente tiempo de relajación

$$T_{relax} = \frac{N}{6 \ln(N)} t_{cr} \quad t_{cr} \equiv \frac{R}{v} \quad (2)$$

proporcionado por el ICC.

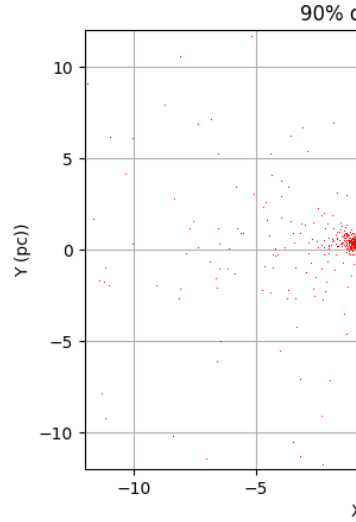
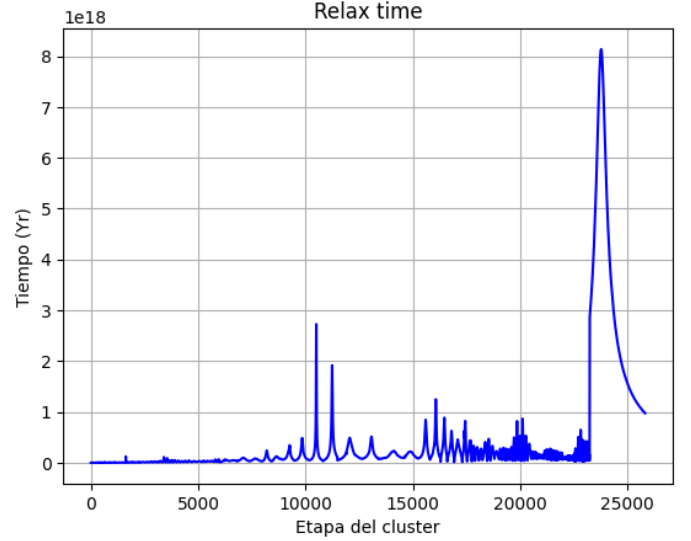
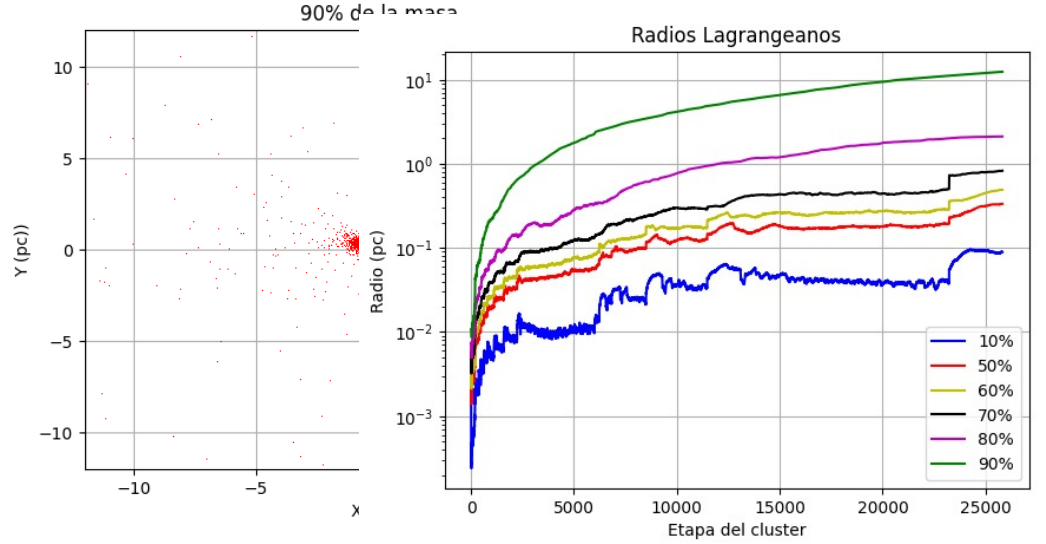
Table 1. Opacity sources.

Source	$T/[K]$
Yorke 1979, Yorke 1980a	$\leq 1700^a$
Krügel 1971	$1700 \leq T \leq 5000$
Cox & Stewart 1969	$5000 \leq$

3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de las simulaciones realizadas. Estos resultados buscan proporcionar información relevante sobre el comportamiento del sistema estudiado.

3.1. Identificación del centro del cluster

**Fig. 1.** Gráfico 1**Fig. 2.** Gráfico 2**Fig. 3.** Gráfico 3

3.2. Estimación de escalas de tiempo de colisión y relajación

3.3. Cálculo de radios lagrangianos

3.4. Monitoreo del objeto más masivo

3.5. Gráfico de energía del sistema

4. Conclusiones

1. The conditions for the stability of static, radiative layers in gas spheres, as described by Baker's () standard one-zone model, can be expressed as stability equations of state. These stability equations of state depend only on the local thermodynamic state of the layer.
2. If the constitutive relations – equations of state and Rosse-land mean opacities – are specified, the stability equations of state can be evaluated without specifying properties of the layer.
3. For solar composition gas the κ -mechanism is working in the regions of the ice and dust features in the opacities, the H_2 dissociation and the combined H, first He ionization zone,

as indicated by vibrational instability. These regions of instability are much larger in extent and degree of instability than the second He ionization zone that drives the Cepheid pulsations.

References

- Sweatman, W. L. (1993). A study of Lagrangian radii oscillations and core-wandering using TV-body simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 261, 497-512.
- Makino J., Sugimoto D., 1987, PASJ, 39, 589.
- Baker, N. 1966, in *Stellar Evolution*, ed. R. F. Stein, & A. G. W. Cameron (Plenum, New York) 333
- Balluch, M. 1988, A&A, 200, 58
- Cox, J. P. 1980, *Theory of Stellar Pulsation* (Princeton University Press, Princeton) 165
- Cox, A. N., & Stewart, J. N. 1969, *Academia Nauk, Scientific Information* 15, 1

Trayectoria del centro del cluster y centro de masa

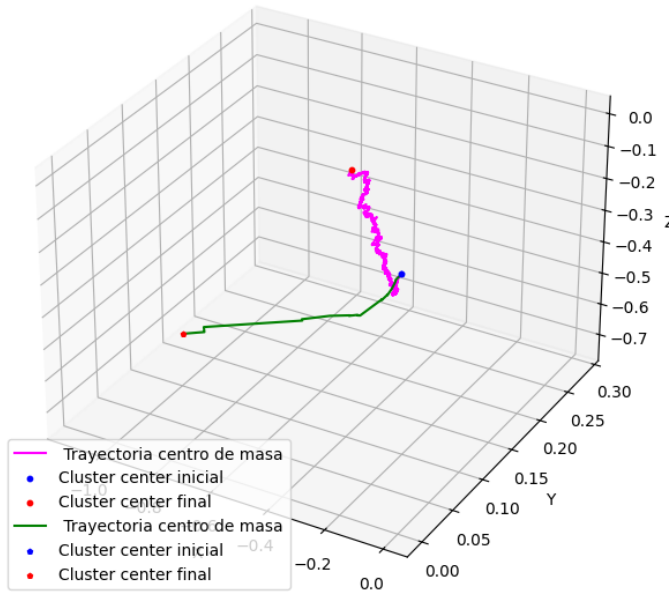


Fig. 4. Gráfico 4

Most massive track

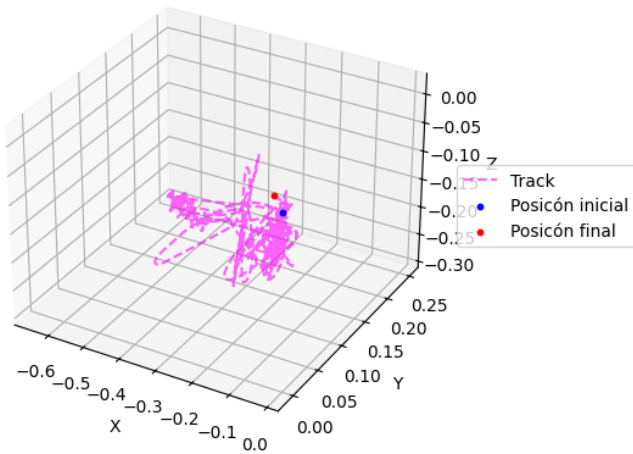


Fig. 5. Gráfico 5

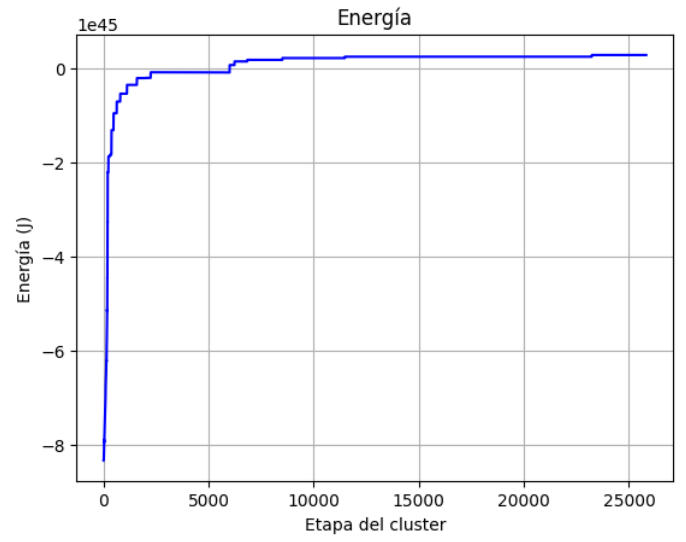


Fig. 6. Gráfico 6