

# Tarea 3:

## ¿Qué es el MMSN? y el tiempo viscoso

Ciencias Planetarias

Camilo Ospinal

Agosto, 2023

## 1 Introducción

### Minimum Mass Solar Nebula:

No se conoce realmente la cantidad de masa de la nube de gas y polvo que formó el Sistema Solar. Las observaciones realizadas de la observación de flujos de longitudes de onda de milímetros de discos protoplanetarios de estrellas similares al Sol, como la región de formación estelar de Tauro y el cluster de la Nebulosa de Orión, nos dan una idea. Asumiendo una proporción gas-polvo de 100, muestran masas en la región contenida entre las 0.3 AU y las 30 AU de  $0.005 M_{\odot}$ . Además, la distribución de masa en la nebulosa solar es igualmente desconocida, derivando a misterios como que Urano y Neptuno contienen cada uno al menos una masa terrestre de gas de hidrógeno y helio, para acretar esos gases se necesita que el planeta crezca unas  $10 M_{\oplus}$ , un proceso que se presume duraría más tiempo del que remanecería el gas en el disco. Este tiempo va de los 3 a los 6 millones de años y no sucede más allá de los 10 millones de años. Por ende, a partir de la masa observada, el radio orbital y la composición de cada planeta, se puede derivar el límite mínimo para la cantidad de material que tuvo que haber estado presente para poderse dar la formación del Sistema Solar (Sol, los 8 planetas, cinturón de asteroides). A la par se debe hacer una suposición de como el material estaba distribuido respecto a la distancia desde el Sol.

Se empieza infiriendo la masa de los elementos pesados (metales) en los planetas, añadiendo la cantidad de masa de cada planeta con suficiente hidrógeno y helio para que la mezcla resultante sea de composición solar. Luego se divide el sistema solar en anillos de forma que cada anillo esté centrado en el semieje mayor actual de un planeta y se extienda hasta la mitad de la órbita de los planetas vecinos. Para cada uno de estos anillos se rellena la masa aumentada de cada planeta, dando como resultado una densidad superficial de gas característica  $\Sigma$  en la ubicación de cada planeta. Esta masa distribuida da el valor mínimo de masa del cual el Sistema Solar pudo haber surgido, se le conoce, en inglés, como *Minimum Mass Solar Nebula* o abreviado **MMSN**.

### Tiempo viscoso

El tiempo viscoso es el tiempo en el cual se demora el gas en disiparse del disco protoplanetario. Una primera aproximación es utilizar la viscosidad molecular, que da cuenta de la capacidad que tienen las moléculas de acumularse entre ellas, si la viscosidad es mucha las moléculas se acoplarán con mayor facilidad, y con menor facilidad si es poca. No obstante, esta turbulencia causada por la viscosidad molecular no es suficiente para explicar el tiempo de disipación del disco, para tener un resultado mucho más cercano al real, utilizamos el resultado dado por Shakura-Sunyaev.

## 2 Cálculos

El tiempo viscoso, a través del modelo de acreción de Shakura-Sunyaev, está dado por:

$$t_v = \left(\frac{h}{r}\right)^{-2} \frac{1}{\alpha\Omega}$$

Donde  $r$  es la distancia de la zona del disco analizada al centro,  $\Omega = \sqrt{GM_*/r^3}$  es la frecuencia orbital, con  $G$  la constante gravitacional y  $M_*$  la masa de la estrella;  $h = c_s/\Omega$  es el espesor del disco en  $r$ , con  $c_s = \sqrt{kT\mu^{-1}m_H^{-1}}$  la velocidad del sonido <sup>1</sup> con  $k$  la constante de Boltzmann,  $\mu$  el peso molecular promedio y  $m_H$  la masa del hidrógeno; y  $10^{-4} < \alpha < 10^{-2}$  es un parámetro variable arbitrariamente. Solucionando a 5 AU para una estrella de masa solar:  $\Omega = 1.781 \times 10^8 s^{-1}$ ,  $c_s = 1016.668 m/s$ ,  $h = 57083671114.505 m$

Para  $\alpha = 10^{-4}$

$$t_v = \left(\frac{57083671114.505 m}{747989353500 m}\right)^{-2} \frac{1}{(1.781 \times 10^8 s^{-1})(10^{-4})} = 96405025537223.190 s$$

$$t_v \approx 3056983 yr$$

Para  $\alpha = 10^{-2}$

$$t_v = 964050255372.232 s \approx 30570 yr$$

## 3 Conclusiones

Los cálculos aquí realizados son una muestra aún más clara de que la variabilidad de los sistemas planetarios, tanto en su origen, evolución y etapas finales. Una nube de gas y polvo con propiedades claras similares a la del Sol, condiciones iniciales similares, con mucha probabilidad, seguirá un camino diferente llegando a un sistema planetario distinto. Esto se ve reflejado en el parámetro  $\alpha$ , puesto que su variación implica la obtención de distintas respuestas de tiempo de viscosidad, una desaparición más rápida del gas, lo que podría significar, por nombrar algo, una mayor cantidad de planetas gaseosos en el sistema que acretaron velozmente el gas en el disco. Esta "caoticidad" en la evolución de los sistemas planetarios nos revela la inmensidad de sistemas complejos que podríamos encontrar al realizar observaciones en aquellas estrellas distantes del universo.

## References

- [1] Armitage, P. (2009). Observations of planetary systems. In *Astrophysics of Planet Formation* (pp. 1-33). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511802225.002
- [2] Crida, A. (2009). MINIMUM MASS SOLAR NEBULAE AND PLANETARY MIGRATION. *The Astrophysical Journal*, 698(1), 606–614. doi:10.1088/0004-637x/698/1/606
- [3] Desch, S. J. (2007). Mass distribution and planet formation in the solar nebula. *The Astrophysical Journal*, 671(1), 878-893. <https://doi.org/10.1086/522825>

---

<sup>1</sup>La velocidad del sonido es la velocidad de propagación de las ondas mecánicas en el medio del disco. Para el cálculo de la temperatura en la ecuación ver Hayashi, 1981.