

Formación y presencia de estructuras moleculares y cristalinas en la región de NGC6357

Resumen:

El estudio de la formación de sistemas estelares y planetarios en ambientes extremos es crucial para comprender el origen de nuestro sistema solar. Aunque la formación estelar en regiones como Tauro y Lupus [1] ha sido ampliamente investigada, estos discos protoplanetarios están en entornos relativamente aislados. La mayoría de las estrellas y sistemas planetarios, incluido el Sol, se desarrollan en regiones con ambientes hostiles debido a la intensa radiación ultravioleta lejana (FUV) emitida por estrellas tipo OB cercanas [2]. En este contexto, NGC 6357, a 1690 pc de distancia, es una región de formación estelar que alberga numerosas estrellas masivas (más de 20 estrellas tipo O) [3], ideal para estudiar el impacto de la radiación FUV en discos protoplanetarios y su formación planetaria [4].

Utilizando el espectro obtenido por el Telescopio Espacial James Webb (JWST) con el instrumento MIRI, diseñado para estudiar la banda del infrarrojo medio, así como el espectro en el infrarrojo cercano obtenido con el instrumento KMOS en el Very Large Telescope, se llevó a cabo un estudio del disco protoplanetario XUE2, ubicado en el subgrupo Pismis 24 de NGC 6357.

Para analizar el polvo en este disco protoplanetario, se comenzó por determinar la extinción. Para ello, se ajustaron los datos fotométricos de XUE2 obtenidos de diversas bases de datos [5-9] (desde la banda G de Gaia hasta la banda I4 del Telescopio Spitzer) a los datos teóricos enrojecidos provenientes del modelo estelar Drift Phoenix ($T = 4700$ K, $\log(g) = 3.0$) [10], utilizando la ley de extinción de Gordon et al. (2023) [11], al modificar los parámetros de extinción total en la banda visible (A_V), el coeficiente de extinción (R_V) y el radio de la estrella. El mejor ajuste por minimización del χ^2 se obtuvo con un A_V de 8.27 y un R_V de 4.7, un valor que se aproxima más a la curva de extinción galáctica para un medio interestelar denso ($R_V = 5$) [12]. La estimación del espectro del continuo se realizó a través de la herramienta ctool [13] utilizando el espectro corregido por extinción.

La identificación de especies de polvo se realizó mediante la herramienta DuCK de DuCKLinG (Dust Continuum Kit with Line Emission) [14]. Este modelo combina el flujo estelar, el flujo del borde interno del disco, el flujo del plano medio de polvo (ópticamente grueso) y el flujo de la capa superficial de polvo (ópticamente delgada) para ajustar el continuo de polvo en los espectros de discos protoplanetarios [15]. Gracias a este enfoque, se logró confirmar la presencia de olivina, piroxeno, sílice, enstatita y forsterita, siendo la olivina y la enstatita las que presentan las mayores fracciones en masa.

Este estudio proporciona información valiosa sobre las estructuras cristalinas presentes en las regiones internas de los discos protoplanetarios, donde se forman los planetas rocosos bajo condiciones de alta radiación FUV. Estos componentes son fundamentales para la formación de dichos planetas, demostrando que se dan condiciones para su formación en muchas más regiones de las que antes se tenían previstas.

Agradecimientos:

La Universidad Nacional de Colombia apoyo este trabajo via proyecto QUIPU 202010042199 y MinCiencias a través del Conv. 937.

Bibliografía:

[1] Mann, R. K., Di Francesco, J., Johnstone, D., Andrews S. M., Williams, J. P., Bally, J., Ricci, L., Hughes, A. M., & Matthews B. C. (2014). ALMA observations of the Orion Proplyds. arXiv: Astronomy and Astrophysics. <https://arxiv.org/pdf/1403.2026.pdf>

[2] Ramirez-Tannus, M.C., Bik, A., Cuijpers, L., Waters, R., Göpl, C., Henning, T., Kamp, I., Preibisch, T., Getman, K. V., Chaparro, G., Cuartas-Restrepo, P., de Koter, A., Feigelson, E. D., Grant, S. L., Haworth, T. J., Hernández, S., Kuhn, M. A., Perotti, G., Povich, M. S., Reiter, M., Roccatagliata, V., Sabbi, E., Tabone, B., Winter, A. J., McLeod, A. F., van Boekel, R., & van Terwisga, S. E. (2023). XUE. Molecular inventory in the inner region of an extremely irradiated Protoplanetary Disk. arXiv: Astronomy & Astrophysics. <https://arxiv.org/pdf/2310.11074.pdf>

[3] Ramirez-Tannus, M. C., Poorta, J., Bik, A., Kaper, L., de Koter, A., De Ridder, J., Beuther, H., Brandner, W., Davies, B., Gennaro, M., Guo, D., Henning, T., Linz, H., Naylor, T., Pasquali, A., Ramírez-Agudelo, O. H., & Sana, H. (2020). The young stellar content of the giant H II regions M 8, G333.6-0.2, and NGC 6357 with VLT/KMOS. Astronomy & Astrophysics. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935941>

[4] Dishoeck, E.F., & Bergin, E.A. (2020). Astrochemistry associated with planet formation. arXiv: Earth and Planetary Astrophysics. <https://arxiv.org/pdf/2012.01472.pdf>

- [5] Ramírez-Tannus, M. C., Poorta, J., Bik, A., Kaper, L., de Koter, A., De Ridder, J., Beuther, H., Brandner, W., Davies, B., Gennaro, M., Guo, D., Henning, T., Linz, H., Naylor, T., Pasquali, A., Ramírez-Agudelo, O. H., & Sana, H. (2020). The young stellar content of the giant H II regions M 8, G333.6-0.2, and NGC 6357 with VLT/KMOS. *Astronomy & Astrophysics*. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935941>
- [6] Fang, M., van Boekel, R., King, R. R., Henning, Th., Bouwman, J., Doi, Y., Okamoto, Y. K., Roccatagliata, V., & Sicilia-Aguilar, A. (2012). Star formation and disk properties in Pismis 24. *Astronomy & Astrophysics*. doi: 10.1051/0004-6361/201015914
- [7] Gaia Collaboration. (2020). VizieR On-line Data Catalog: I/350. CDS/ADC. doi: 10.26093/cds/vizieer.1350
- [8] Cutri R.M., Skrutskie M.F., Van Dyk S., Beichman C.A., Carpenter J.M., Chester T., Cambresy L., Evans T., Fowler J., Gizis J., Howard E., Huchra J., Jarrett T., Kopan E.L., Kirkpatrick J.D., Light R.M., Marsh K.A., Mccallon H., Schneider S., Stiening R., Sykes M., Weinberg M., Wheaton W.A., Wheelock S. And Zacarias N. (2003). 2MASS All Sky Catalog of point sources, catalog: II/246. CDS/ADC. bibcode: 2003yCat.2246...0C
- [9] Minniti D., Lucas P., VVV team. (2017): VISTA Variable in the Via Lactea Survey DR2 (Minniti+, 2017). ADS. bibcode: 2017yCat.2348...0M
- [10] E. Baron, P. H. Hauschildt, F. Allard, E. J. Lentz, J. Aufdenberg, A. Schweitzer, and T. Barman. "Highlights of Stellar Modeling with PHOENIX". In: 210 (2003).
- [11] Gordon, K. D., Meixner, M., Indebetouw, R., & Zibetti, S. (2023). One relation for all wavelengths: The far-ultraviolet to mid-infrared Milky Way spectroscopic R(V)-dependent dust extinction relationship. *The Astrophysical Journal*, 950(86), 13pp. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/acb59>
- [12] Morales Durán, C., Alfonso Garzón, J., & Freire Ferrero, R. (2006). The R_v extinction factor. *Lecture Notes and Essays in Astrophysics*, vol. 2, p. 189-198.
- [13] K. M. Pontoppidan, C. Salyk, A. Banzatti, and et al. "High-contrast JWST-MIRI spectroscopy of planet-forming disks for the JDISC Survey". In: *The Astrophysical Journal* 963:158 (2023).
- [14] T. Kaeufer, M. Min, P. Woitke, I. Kam, and A. M. Arabhavi. (2024). "Bayesian Analysis of Molecular Emission and Dust Continuum of Protoplanetary Disks". <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202449936>
- [15] Jang, H., Waters, R., Kaeufer, T., Tamanai, A., Perotti, G., Christiaens, V., Kamp Dishoeck, I., Henning, T., Min, M., Arabhavi, A. M., Barrado, D., van Lieshout, E. F., Gasman, D., Grant, S. L., Güdel, M., Lagage, P.-O., Lahuis, F., Schwarz, K., Tabone, B., & Temmink, M. (2024). Dust mineralogy and variability of the inner PDS 70 disk: Insights from JWST/MIRI MRS and Spitzer IRS observations. *Astronomy & Astrophysics*. arXiv:2408.16367

Nivel de formación

Maestría

Autor primario: Sra. LEMUS NEMOCÓN, María Alejandra (Observatorio Astronómico Nacional de Colombia, Universidad Nacional de Colombia)

Coautores: Dr. HIGUERA GARZÓN, Mario Armando (Observatorio Astronómico Nacional de Colombia, Universidad Nacional de Colombia); Dr. RAMÍREZ-TANNUS, María Claudia (Max-Planck-Institut für Astronomie)

Presentador: Sra. LEMUS NEMOCÓN, María Alejandra (Observatorio Astronómico Nacional de Colombia, Universidad Nacional de Colombia)