

Estudio observacional de moléculas precursoras para la formación de polvo en envolturas circunestelares

Autora: Sarah Massalkhi
(sarah.massalkhi@csic.es)

Tesis doctoral dirigida por:

Marcelino Agúndez y José Cernicharo

Centro: Universidad Autónoma de Madrid

Fecha de lectura: 18 de diciembre de 2020

La fase de la rama asintótica de gigantes (AGB, por sus siglas en inglés) es una etapa tardía en la evolución de las estrellas de masa baja a intermedia. Durante esta fase, las estrellas pierden copiosas cantidades de material a través de vientos estelares densos y lentos que dan lugar a una envoltura circunestelar extensa que rodea a la estrella central. Estas envolturas son entornos astrofísicos notables ya que en ellos tiene lugar la formación de muy diversas moléculas así como de granos de polvo. Este material circunestelar será finalmente expulsado hacia el exterior y será la principal fuente de enriquecimiento del medio interestelar, proporcionando así las piezas para la construcción de una nueva generación de estrellas y planetas.

Uno de los principales ingredientes del material circunestelar es el polvo. Sin embargo, cómo ocurre el proceso de formación del polvo sigue siendo un misterio. Preguntas como ¿cuáles son los componentes básicos en fase gaseosa que dan lugar a los primeros núcleos de condensación? y ¿cómo estas partículas de tamaño intermedio evolucionan hacia granos de tamaño micrométrico? permanecen aún sin respuesta. Estas preguntas están en el corazón de *NANOCOSMOS*, el proyecto ERC *Synergy* dentro del cual se ha realizado esta tesis, que tiene como objetivo comprender mejor los procesos físicos y químicos que gobiernan la formación y evolución del polvo cósmico, principalmente desde un punto de vista observacional.

El trabajo que se presenta en esta tesis se basa en la obtención y análisis de espectros en el rango de longitudes de onda milimétricas con el fin de estudiar el gas molecular en envolturas circunestelares alrededor de estrellas AGB. El objetivo de las observaciones es buscar la emisión de posibles candidatos que podrían actuar como precursores del polvo en fase gaseosa

alrededor de las estrellas AGB e investigar la importancia de su papel en la formación del polvo. Por esta razón, realizamos observaciones de alta sensibilidad de una gran muestra de estrellas AGB en la banda de 2 mm utilizando el radiotelescopio de treinta metros de diámetro de IRAM. La muestra de objetos observados contiene tanto envolturas ricas en carbono como ricas en oxígeno y abarca un amplio rango de tasas de pérdida de masa y propiedades circunestelares. Hemos buscado la emisión de las moléculas SiC₂, SiO, SiS y CS en 25 envolturas ricas en carbono, y de las moléculas SiO, SiS, CS, SO y SO₂ en una muestra de 30 envolturas ricas en oxígeno. Hemos construido modelos de excitación fuera del equilibrio termodinámico y transporte de radiación con objeto de reproducir las líneas observadas y determinar la abundancia con respecto a H₂ de estas moléculas. Destacamos que para la mayor parte de moléculas observadas, esta es la primera vez que se determina de forma coherente su abundancia en una muestra estadísticamente significativa.

Entre los resultados más interesantes encontrados, este estudio revela una clara correlación entre la abundancia de ciertas moléculas y la densidad de la envoltura. En concreto, en envolturas ricas en carbono la abundancia de SiC₂, SiO y CS disminuye a medida que aumenta la densidad de la envoltura. Esta correlación se interpreta como una evidencia de la desaparición de estas moléculas de la fase gas para pasar a formar parte de granos de polvo, proceso que es favorecido al aumentar la densidad debido al mayor ritmo de colisiones entre partículas. Por lo tanto, SiC₂, SiO y CS son fuertes candidatos a actuar como precursores de polvo en envolturas ricas en carbono. En el caso de envolturas ricas en oxígeno, la abundancia de SiO muestra también una clara correlación con la densidad de la envoltura en la que al aumentar la densidad la abundancia de estas moléculas disminuye. Por lo tanto, SiO es un claro candidato a precursor de polvo en envolturas ricas en oxígeno.

Otro resultado interesante es ver cómo se comporta la abundancia de cada molécula dependiendo del carácter rico en carbono o rico en oxígeno de la envoltura. Así, las moléculas CS y SiS muestran una clara diferenciación entre estos dos tipos de envolturas, siendo significativamente más abundantes en envolturas ricas en carbono que en envolturas ricas en oxígeno. Por otra parte, la molécula de SiO parece no verse afectada por el hecho de encontrarse en un ambiente rico en carbono o rico en oxígeno. Algunos de estos hechos pueden explicarse mediante modelos de equilibrio químico, aunque otros son difícilmente explicables mediante estos modelos, lo que apunta a procesos químicos fuera del equilibrio como importantes agentes reguladores de la composición química en las regiones internas de envolturas circunestelares de estrellas AGB.

Tesis disponible en <https://repositorio.uam.es/handle/10486/694426>

Abundancia relativa a H₂ de las moléculas SiO (izquierda) y CS (derecha) en la muestra de envolturas ricas en carbono (puntos rojos) y la muestra de envolturas ricas en oxígeno (puntos azules) en función del parámetro \dot{M}/V_{exp} , que es una medida de la densidad. Se aprecia cómo al aumentar la densidad disminuye la abundancia de SiO en los dos tipos de envoltura y la de CS en envolturas ricas en carbono. Se aprecia también cómo CS muestra una clara diferenciación entre envolturas ricas en carbono y ricas en oxígeno mientras que esto no ocurre para SiO.

