

Prof. Erich Paul Heilmaier

## La materia interestelar

(Observatorio del San Cristóbal)



L objeto que persigue la ciencia de la Astronomía es estudiar el universo material. De aquí, que investigue la distribución de la materia dentro del universo, sus movimientos y su estado físico. Dos problemas se plantean con preferencia: Primero conocer los cuerpos celestes de nuestra próxima vecindad, a saber, los astros, que componen nuestro sistema solar y que por su proximidad ofrecen la ventaja de permitir un estudio más detallado. Así, los movimientos planetarios nos revelan las fuerzas de gravitación, que actúan entre los astros, las mediciones de la temperatura, de la masa, de las dimensiones del sol, de los planetas y de los cometas nos indican su constitución física. Estos conocimientos sacados del sistema solar los aplicamos después al segundo problema, al estudio del sistema estelar compuesto por las estrellas fijas.

Miles y miles de observaciones recogidas constituyen un material valioso, que una vez ordenado nos permite levantar en parte el telón, que esconde tras de sí los secretos del mundo estelar. Así aprendemos a distinguir los tipos estelares más diversos, a conocer su forma de agrupación dentro de un sistema grandioso y espectacular, el sistema de nuestra vía láctea, estudiamos su dinámica para encontrarnos, por fin, con una perfecta «armonía de esferas», aun más maravillosa que la ideada

por Aristóteles, a la vista del espacio lleno de un sinnúmero de tales vías lácteas.

Espacio, tiempo, materia, estos tres conceptos de la especulación matemática y física, reciben un significado real al pasar por el tamiz de la observación sobria del astrónomo. Esta misma observación es la que decide, al fin, cuál es entre las tantas geometrías, todas lógicas en sí mismas, la única realizada en el universo. Aun más, ante nuestros ojos se manifiesta no sólo el estado actual del universo, sino que podemos imaginarnos también el desarrollo cosmogónico, podemos deducir la edad del mundo material y pensar en la suerte futura del universo.

La materia, condensada en la forma de astros, representa entonces el mundo material y su estudio es capaz de resolver todos los problemas astronómicos. Así se ha considerado y bajo este concepto se ha trabajado hasta hace pocos años. Sin embargo, esta tesis encierra un gran error. Tenemos hoy día muchas razones para creer, que no basta el estudio y las investigaciones que se refieren únicamente a las estrellas; tenemos indicios seguros para creer en la existencia de materia, que en forma regular y también irregular llena el espacio dentro de nuestro sistema galáctico y quizás aún más allá de éste. La presencia de esta *materia interestelar* y su estudio nos han obligado a ir cambiando poco a poco los conceptos que nos habíamos formado sobre la constitución y las dimensiones de la vía láctea. Veamos en seguida algunos aspectos, que ofrece el problema de la materia interestelar, y las conclusiones a las cuales su estudio nos ha conducido.

La existencia de la materia interestelar se manifiesta bajo formas diversas. La forma más impresionante, la constituyen quizás, las nubes oscuras distribuídas a lo largo de la vía láctea. La existencia de estas nubes se pone de manifiesto por el hecho de que debido a su poder de absorción dan la impresión de que faltaran estrellas en ciertas regiones de la vía láctea. ¿Quién no conoce el llamado saco de carbón, el mejor ejemplo de

una nube oscura? Las nebulosas luminosas, otra forma de la materia interestelar, en su esencia no se distinguen de las nubes oscuras. Su luminosidad se debe a la presencia de una estrella vecina, que la excita a causa de su alta temperatura y su propia luminosidad. Como ejemplo de estas nebulosas citaremos la conocida nebulosa de Orión. Nubes oscuras y nebulosas luminosas, muy a menudo se encuentran unidas y representan sólo partes del mismo medio interestelar, expuesto en cada parte a distintos influjos externos.

La disminución de la intensidad luminosa de las estrellas, producida por la materia interestelar oscura, puede verificarse de distintas maneras. Si el medio interestelar está constituido por partículas relativamente grandes, estas partículas tapan solamente partes de los rayos estelares. En otros casos pueden influir también los fenómenos de la difusión y absorción. Generalmente intervienen ambos efectos. La materia que produce estos fenómenos de absorción se encuentra en estado de polvo, no en estado gaseoso.

El citado ejemplo de una nube oscura, el saco de carbón, es semejante a una nube de la atmósfera terrestre del tipo cúmulos, con bordes claramente limitados. En la mayoría de las nubes oscuras, sin embargo, no podemos constatar, donde ésta empieza ni donde termina. Una nube se confunde con otra en tal forma que sería más exacto, hablar de un sistema de nubes interestelares.

Todas las nubes oscuras se concentran hacia el ecuador galáctico. Más allá de los 30° de latitud galáctica no se ha encontrado hasta hoy día ninguna de ellas y es probable, que fuera de la zona citada no queden más que algunas insignificantes.

El problema, que nos interesa ahora en primer lugar, es el siguiente: ¿Qué valor alcanza el poder de absorción de una nube oscura y a qué distancia de nosotros se encuentra ésta? Mientras la primera parte de este problema es directamente accesible a la observación, la segunda parece ofrecer dificultades inaccesi-

bles. ¿Cómo podemos medir la distancia de un objeto, que es invisible y que se manifiesta sólo indirectamente por la absorción que sufren rayos luminosos provenientes de otra parte del espacio? Sin embargo, como veremos, ambas partes de nuestro problema se resuelven simultáneamente mediante un método sencillo a la vez que genial.

Este método se debe al gran astrónomo *Max Wolf*. En un área cercana a la nube oscura, pero no sometida a ninguna absorción, se cuenta el número de estrellas de cada magnitud. Este procedimiento nos da gráficamente la relación entre el número de estrellas y su luminosidad aparente. Lo mismo se hace con el área ocupada por la nube oscura. Resulta una relación análoga a la anterior.

Ahora bien, ambas curvas coinciden en la primera parte, es decir, en la parte donde la segunda curva todavía no incluye estrellas dentro o detrás de la nube oscura. En el momento, en que tales estrellas entran en el gráfico, el número de estrellas aumenta más lentamente con la magnitud en la segunda curva que en la primera. Al llegar la curva hasta luminosidades bastante débiles, incluirá prácticamente sólo estrellas, que quedan detrás de la nube oscura. Entonces otra vez aumentará el número de estrellas con la magnitud en igual forma en ambas curvas.

El valor, por el cual la segunda curva está trasladada con respecto a la primera da directamente la absorción de la nube oscura expresada en magnitudes. Además, en término medio, las estrellas de menor luminosidad tienen una distancia mayor que las de mayor luminosidad. A base de otras observaciones conocemos la distancia, que en término medio nos separa de las estrellas de cada magnitud. De ahí, que conozcamos también la distancia, que corresponde a la magnitud estelar en el punto, donde se apartan las dos curvas. A esta distancia se encuentra entonces la nube oscura. Así se encontró, por ejemplo, para el saco de carbón una distancia de 150 parsecs y una absorción de una magnitud.

Si recorremos toda la vía láctea, encontramos que las nubes oscuras más cercanas a nosotros están situadas en las constelaciones del Toro y del Ophiucho, es decir, en dos regiones opuestas de la esfera celeste. Este hecho hace suponer, que ambas nubes oscuras están unidas entre sí a través de nuestro sistema solar. Ahora bien, Hoffmeister pudo constatar que existe una corriente interestelar de meteoros entre las mismas zonas. De ahí, que es muy probable, que los meteoritos de esta corriente formen parte de la materia, que compone ambas nubes oscuras, meteoritos, que caen diariamente sobre la tierra, contribuyendo así a aumentar el conocimiento que poseemos del universo más allá de nuestro sistema solar.

Aunque las nubes oscuras desempeñan un papel sumamente importante, no constituyen la única forma, bajo la cual se manifiesta la materia interestelar. Podemos observar, que a los espectros emitidos por estrellas lejanas se imprimen ciertas líneas de absorción, especialmente del calcio, sodio, titanio etc.. La intensidad de estas rayas de absorción aumenta con el aumento de la distancia estelar. De ahí, que los rayos luminosos estelares sufren cierta absorción, que obviamente debemos a la presencia de materia interestelar, distribuída sobre todas las partes de nuestro sistema galáctico y quizás si también más allá en el universo. En este caso la materia interestelar se encuentra en estado gaseoso, más exacto, en estado de gas atómico o quizás también en la forma de gas molecular.

Otro criterio para la presencia de una absorción *general* en el espacio interestelar nos revela la observación. Esta nos indica, que en el espacio interestelar no se cumple la ley de la disminución de la intensidad luminosa con el cuadrado de la distancia. Por el contrario, la intensidad disminuye más rápidamente.

Este hecho nos sirve para deducir directamente la absorción general producida por la materia interestelar. Hay dos posibilidades para encontrar la distancia de una estrella. En primer

lugar podemos aplicar métodos trigonométricos, que naturalmente no son influidos por la presencia de la materia interestelar. En segundo lugar comparamos el brillo absoluto de la estrella con su brillo aparente y deducimos otra vez su distancia, basados ahora en las leyes fotométricas. Entre ambos resultados vamos a encontrar cierta diferencia debido a la existencia del medio interestelar. La distancia «fotométrica» va a ser mayor que la distancia «geométrica». Esta diferencia conduce directamente a valores numéricos para la absorción general interestelar.

Los métodos trigonométricos para la deducción de distancias estelares sirven sólo, si estas distancias no exceden mucho de unos 100 parsecs. Para conocer la absorción general interestelar a mayores distancias recurrimos con ventaja a la absorción de las Cefeídas. A base de sus distancias fotométricas y de sus latitudes galácticas podemos deducir su distancia vertical del plano galáctico. Supongamos ahora una concentración uniforme de las Cefeídas con respecto al plano de la vía láctea a través de todo el sistema estelar. En este caso tenemos que esperar, que estas distancias verticales den los mismos valores en todas las partes. En realidad se encuentra un aumento sistemático de las distancias con respecto al plano galáctico al aumentar la distancia fotométrica de las Cefeídas. Este fenómeno se debe al influjo de la absorción interestelar sobre las distancias fotométricas. Lo podemos eliminar introduciendo un coeficiente de absorción.

El empleo de los métodos citados y de otros semejantes han conducido a establecer la existencia de una absorción interestelar de más o menos 0.8 magnitudes por kiloparsec. Sin embargo, no se ha podido comprobar la existencia de una absorción interestelar distribuída en forma general en todas las partes de nuestra galaxia. Por el contrario, hay indicios, que echan por tierra la idea de la distribución general de la materia interestelar.

La irregularidad de la distribución de la materia interestelar dificulta enormemente las investigaciones sobre la constitución de nuestro sistema estelar. Pero esta irregularidad trae consigo

al mismo tiempo una gran ventaja. Existen algunas partes dentro de nuestra vía láctea, prácticamente libres de materia interestelar. Estas partes constituyen verdaderas ventanas, que van hacia el universo extragaláctico. A través de estas ventanas nos es posible observar mundos lejanos y conocer su constitución en forma objetiva, no dificultados por el velo, que en otras partes extiende la materia interestelar.

Los resultados obtenidos sobre la materia interestelar pueden cambiar completamente el concepto, que tenemos sobre la constitución de nuestra vía láctea. Los problemas principalmente afectados son los siguientes: ¿Tiene nuestra galaxia forma espiral y se encuentra nuestro sistema solar dentro de uno de los brazos de esta espira o está situado en uno de los espacios relativamente vacíos entre dos de estos brazos?

Para un observador colocado fuera de la vía láctea sería fácil contestar los problemas. No así para un observador dentro de este sistema. Mientras no nos demos cuenta de la absorción producida por la materia interestelar encontraremos, al contar el número de las estrellas, que la densidad estelar disminuye en todas las direcciones al aumentar la distancia con respecto al sistema solar. Así se hizo hasta hace pocos años y como consecuencia se creía en la existencia de un sistema estelar local, en cuyo centro se encontraba el sol.

Si incluimos en nuestras consideraciones la absorción interestelar, entonces todo depende del valor numérico, que adoptemos para el coeficiente de absorción. Según éste, los cálculos nos pueden conducir tanto al mismo sistema local ya citado como a un aumento rápido de la densidad estelar a mayor distancia. En el último caso se encontraría entonces nuestro sistema solar en un lugar de densidad mínima, concepto, como se ve, justamente inverso al anterior.

Si adoptamos un valor no muy grande para el coeficiente de la absorción, podemos constatar que la densidad estelar disminuye al alejarse del sol, con excepción de dos direcciones, don-

de queda constante. Estas direcciones se encuentran en las constelaciones de Carina y Cisne en puntos opuestos de la esfera. De ahí que el sistema estelar local se reduce a un sistema de extensión larga y de anchura pequeña. Con esto el sistema local pierde su posición autónoma y forma parte de un brazo de una galaxia espiral.

La inseguridad con respecto a la distribución de la materia interestelar afecta también las últimas conclusiones. Como factor decisivo entra el concepto que nos formamos sobre la región en la cual se produce la absorción. En el caso anterior supusimos, que la materia interestelar ocupe uniformemente todo el espacio de la galaxia, concentrada en capas simétricas al plano ecuatorial de la vía láctea. Pero más probable es, que la absorción se produzca solamente cerca del sistema solar con excepción de algunas direcciones, que fácilmente podemos excluir. Ambas posibilidades conducen a resultados completamente distintas.

Imaginémonos un caso análogo. Primero observamos la hilera de luces de una calle, cubierta uniformemente de una neblina, y después observamos las mismas luces en aire transparente, pero a través de un filtro absorbente colocado ante nuestros ojos. La neblina disminuye la intensidad de las luces tanto más, cuanto más lejos se encuentren éstas, el filtro disminuye la intensidad de todas las luces en el mismo valor, independiente de la distancia. Errores en el coeficiente de absorción influyen, en ambos casos en forma muy distinta sobre el número y la distribución de las luces.

Ahora bien, los últimos trabajos de *Oort* hacen pensar en la probabilidad, de que la materia interestelar se concentra en realidad en una capa delgada de unos 300 parsecs más o menos. Tenemos entonces el caso del filtro. El problema de la distribución de la densidad estelar se reduce ahora a un fácil problema geométrico.

Los resultados son sorprendentes. En oposición a todos nuestros conceptos anteriores, la densidad estelar aumenta cerca

del plano galáctico en dirección al centro de la vía láctea como también en dirección opuesta. En ambas direcciones se encuentran regiones de larga extensión, donde la densidad aumenta a valores máximos. Estas regiones corresponden a brazos de la galaxia espiral. Entre los dos brazos, en una parte relativamente poco densa, está situado el sol.

Así, el estudio de la materia interestelar conduce a nuevos conceptos sobre la constitución de nuestro sistema galáctico. No sabemos, en qué forma y hasta qué punto se van a cambiar también nuestros conocimientos sobre los sistemas extragalácticos. Todavía estamos en el estado de los primeros ensayos e inseguros sobre el camino, que debemos seguir. En la historia de cada ciencia: Dificultades invencibles parecen impedirnos llegar a la meta. Sin embargo, el trabajo modesto, pero perseverante y la fe irresistible en el éxito aseguran el triunfo.