

Leyendo entre líneas (II)

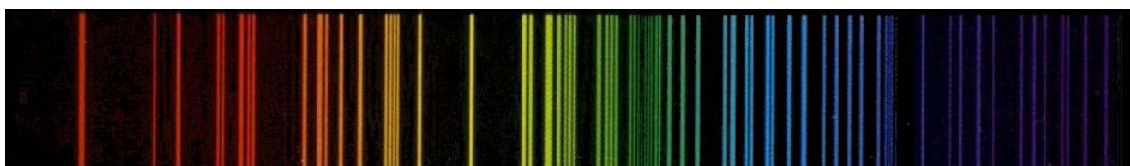
En los espectros de los objetos astronómicos se hallan las claves para desentrañar algunos de los misterios más fascinantes del universo

Montse Villar
Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)

EN EL NÚMERO ANTERIOR PUBLICAMOS el artículo Espectroscopía (I): leyendo entre líneas, en el que repasamos algunas nociones básicas sobre la naturaleza y el comportamiento de la radiación y la materia que nos permiten entender dos aspectos fundamentales en los que se basa la aplicación de la espectroscopía en la investigación astronómica.

Por un lado, el efecto Doppler, que establece que la longitud de onda (y por tanto, el color) de la luz emitida por una fuente luminosa depende de su movimiento con respecto al observador. Así, su espectro estará desplazado al azul o al rojo dependiendo de si se acerca o se aleja. Por otro, debido a la estructura interna del átomo y a la disposición de los electrones alrededor del núcleo, estos absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas. Así, cada especie atómica tiene un espectro único que podemos identificar a partir de las líneas de emisión o de absorción que aparecen en el espectro de los objetos astronómicos.

En las nociones anteriores radican las bases para estudiar los movimientos de los cuerpos celestes y determinar su composición. En el presente artículo pondremos en práctica estos conocimientos para descubrir agujeros negros en el centro de otras galaxias, planetas extrasolares, moléculas en el medio interestelar y las estrellas más viejas de la Vía Láctea.

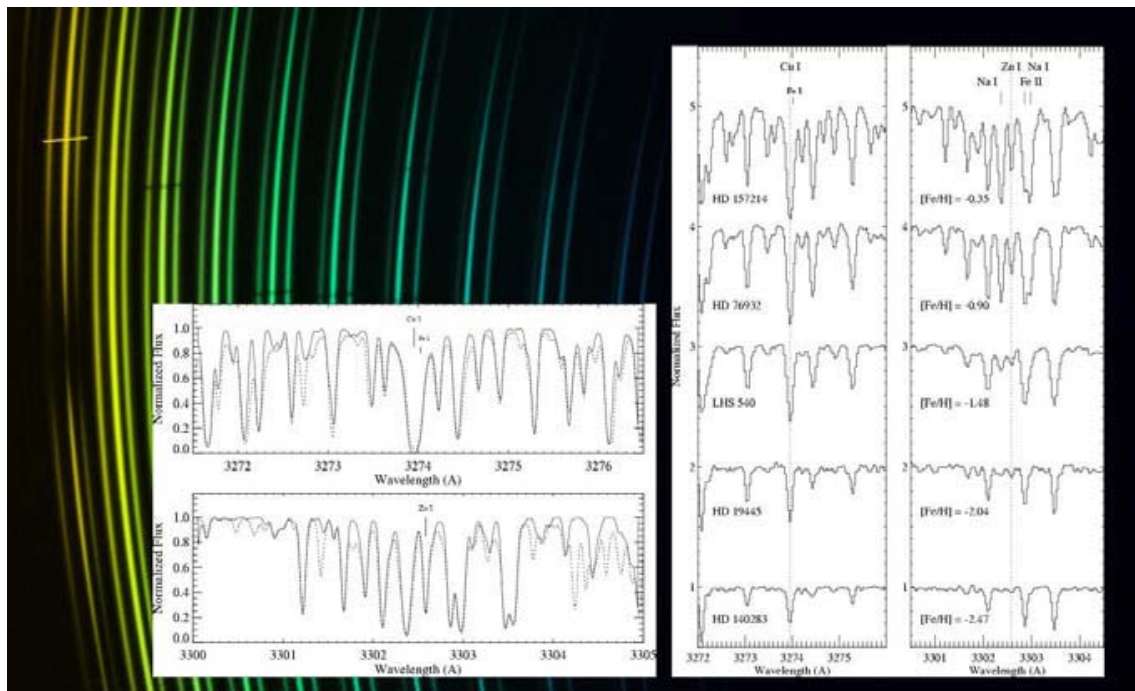


1. La estrella que no debería existir

Este es el intrigante título que encabezó una noticia publicada en prensa a principios de septiembre de 2011. Se trata de la estrella de nombre impronunciable SDSS J102915+172927 perteneciente a nuestra Vía Láctea. Tiene una masa algo menor que la del Sol y una composición química difícil de explicar.

Tras el Big Bang, el universo estaba compuesto por hidrógeno, helio y pequeñas trazas de litio. Puesto que prácticamente todos los demás elementos se formaron a partir de reacciones nucleares ocurridas en los interiores estelares, la primera generación de estrellas no pudo contener elementos más pesados al nacer. Estos sí estarán presentes en generaciones posteriores. Estas estrellas nacieron en nubes de gas enriquecidas con los elementos fabricados en el interior de las generaciones

anteriores y posteriormente expulsados al medio interestelar. Así, una forma de buscar las estrellas más viejas consiste precisamente en identificar aquellas que tengan abundancias extremadamente pequeñas de elementos más pesados que el helio, como el oxígeno, el nitrógeno o el hierro.



A la izquierda, espectros de estrellas pobres en elementos pesados (estrellas muy viejas). A la derecha, espectro del Sol –las líneas son más numerosas y profundas (Ref. Bihain et al. A&A).

¿Cómo hacemos esto? Como los elementos químicos presentes en la atmósfera de una estrella dejan su impronta en el espectro en forma de líneas de absorción, su identificación y medida permiten determinar qué átomos e iones están presentes en la atmósfera de la estrella y sus abundancias.

Fijémonos en la gráfica de arriba (izquierda). De arriba abajo se muestran los espectros de cinco estrellas. A la izquierda se aprecian las líneas de absorción de los átomos de cobre (CuI) y hierro (FeI). A la derecha se observan las líneas del sodio (NaI), el cinc (ZnI) y los iones de hierro (FeII). Con estas y otras líneas determinamos las abundancias de los elementos químicos comparadas con las del Sol, que suele usarse como referencia. A medida que descendemos en la figura, vemos que las líneas de absorción se hacen menos prominentes. Esto nos dice que las estrellas son más y más pobres en elementos pesados –en contraposición con lo numerosas y profundas que son las líneas de absorción en el espectro del Sol que se muestra en la imagen superior-.

Con esta misma técnica se determinó que la proporción de elementos pesados en la estrella SDSS J102915+172927 es al menos veinte mil veces menor que la del Sol. Según las teorías más aceptadas sobre formación estelar, esta estrella no debería existir. La nube a partir de la que se formó debió tener unas abundancias similarmente extremas. Según los modelos, estaría demasiado caliente para fragmentarse, colapsar y formar estrellas tan pequeñas. ¿Cómo se explica la existencia de esta estrella?

¡Un misterio sin resolver acerca de una de las estrellas más viejas conocidas!

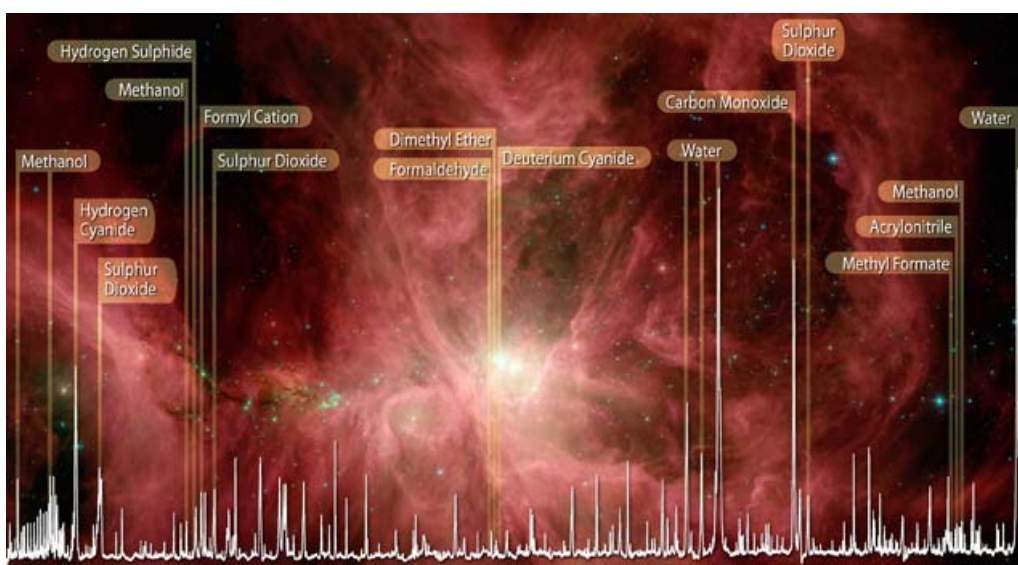
2. ¿Qué moléculas hay en el espacio interestelar?



El espacio entre las estrellas no está vacío. Existen nubes de gas y polvo que constituyen el llamado medio interestelar, gran parte del cual se encuentra en forma de moléculas. Aquí se forman las estrellas y los planetas. Además, se trata de verdaderos laboratorios químicos donde se sintetizan moléculas en numerosas reacciones químicas. Por todo ello, existe un enorme interés por entender de qué están compuestas estas nubes, qué reacciones químicas se producen en ellas, los mecanismos que las desencadenan o en qué condiciones físicas se producen.

Hace unos sesenta y cinco años que se detectaron las primeras moléculas en el medio interestelar -CH, CH⁺ y CN-, formadas por dos átomos cada una. Hoy en día encontramos moléculas en cualquier dirección que miremos, siendo la más abundante la de hidrógeno (H₂). Incluso en los objetos más distantes conocidos, como algunos cuásares, se ha encontrado monóxido de carbono (CO). Se conocen cerca de ciento veinte especies moleculares en el espacio, algunas muy complejas con más de cien átomos.

¿Cómo detectamos e identificamos las moléculas del medio interestelar? Estas, al igual que los átomos, emiten y absorben luz con longitudes de onda (es decir, energías) muy concretas. Por ello cada especie molecular tiene también su propia "huella" que nos permite identificarla a partir de las líneas espectrales de emisión o absorción, dependiendo de dónde y cómo se generen. La emisión de la mayoría de las moléculas del medio interestelar se produce fundamentalmente en los rangos espectrales infrarrojo y radio. Dado que la atmósfera absorbe la radiación infrarroja, los telescopios espaciales infrarrojos han impulsado la astrofísica molecular de manera espectacular. Como ejemplo, en la imagen se muestra el espectro de la nebulosa de Orión. La multitud de líneas de emisión revela la presencia de numerosas especies moleculares como el agua, H₂O.



El espectro de la nebulosa de Orión muestra la existencia de gran variedad de moléculas, que podemos identificar a partir de sus líneas de emisión en el infrarrojo lejano. Fue obtenido por el telescopio espacial Herschel en marzo de 2010.

3. Un objeto de masa joviana compañero de una estrella de tipo solar



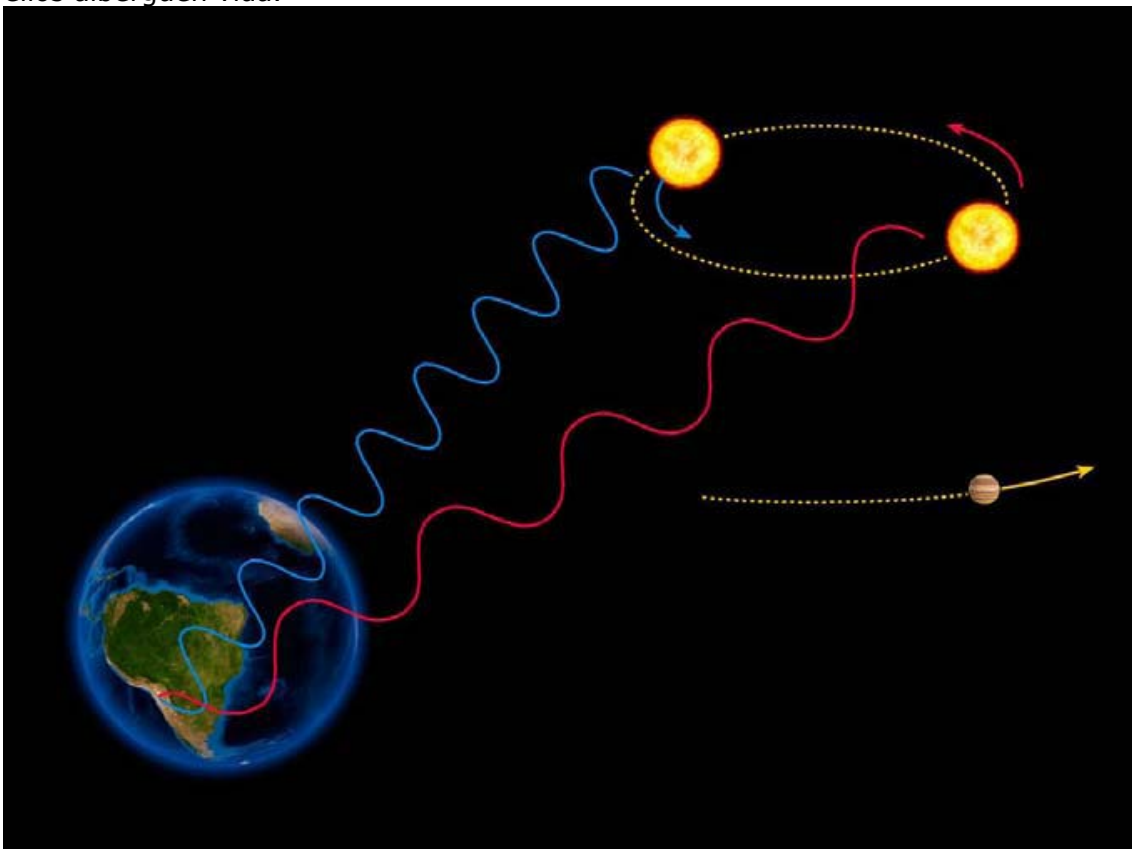
Este aburrido título abría el artículo publicado en 1995 en la prestigiosa revista Nature donde se presentaba un descubrimiento de gran importancia. Así comenzaba:

“La presencia de un objeto compañero de masa similar a la de Júpiter de la estrella 51 Pegasi es deducida a partir de observaciones de variaciones periódicas en la velocidad radial de la estrella. El compañero se encuentra a tan solo unos

ocho millones de kilómetros de la estrella y estaría dentro de la órbita de Mercurio en nuestro Sistema Solar. Este podría ser un planeta gaseoso gigante [...]”

Se trata del primer planeta externo a nuestro Sistema Solar (exoplaneta) que orbita alrededor de una estrella de la secuencia principal. Este no fue el primer exoplaneta encontrado, pero la importancia del descubrimiento radica en que 51 Pegasi es una estrella de tipo solar. Crecía así el optimismo en la búsqueda de planetas orbitando alrededor de estrellas similares al Sol e, indirectamente, de planetas parecidos a la Tierra.

Desde entonces se han descubierto más de setecientos exoplanetas (confirmados), la mayoría alrededor de estrellas de la secuencia principal. Su estudio tiene interés tanto para comprender cómo se forman los sistemas planetarios, incluido el Sistema Solar, como para investigar la posibilidad fascinante de que algunos de ellos alberguen vida.



Método de las velocidades radiales para detectar exoplanetas. El planeta no se ve, pero sí pueden medirse los cambios que su campo gravitatorio imprime en el movimiento de la estrella.

Existen diversas técnicas para buscar exoplanetas. Una de las más importantes se fundamenta en la medida de velocidades radiales (es decir, respecto al observador) de las estrellas mediante la espectroscopía, que dio lugar al descubrimiento del planeta compañero de 51 Pegasi. Veamos cómo: el planeta que gira en torno a la estrella es invisible. Sin embargo, el campo gravitatorio que genera actúa sobre la estrella imprimiendo ciertas distorsiones en su movimiento que, por el efecto Doppler, provocan desplazamientos de su espectro hacia el azul o el rojo, dependiendo de si se acerca o se aleja (ver imagen). Este desplazamiento, medible con espectrógrafos muy precisos, nos permitirá calcular la amplitud y el periodo de las variaciones en la velocidad radial de la estrella. Puesto que son provocadas por el campo gravitatorio del objeto compañero, indirectamente y complementando la información con ciertas propiedades de la estrella, determinaremos la masa del compañero y su localización respecto a la estrella. En el caso de 51 Pegasi los espectros indicaron una variación máxima de su velocidad radial de cincuenta y nueve metros por segundo con un periodo de poco más de cuatro días.

Fue necesario investigar con exquisito cuidado escenarios alternativos. Descartados estos, en 1995 se anunciaba al mundo el descubrimiento del primer exoplaneta compañero de una estrella parecida al Sol, con una masa similar a la de Júpiter y situado mucho más cerca de su estrella, a tan solo unos ocho millones de kilómetros.

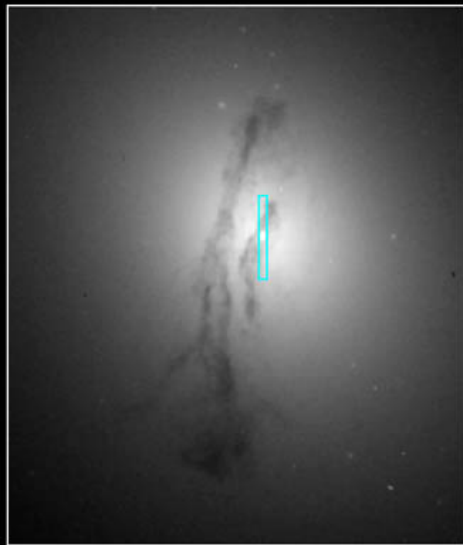
4. Agujeros negros en otras galaxias



La misma idea subyace en el método que nos permite detectar agujeros negros de masas enormes en los núcleos de las galaxias. El agujero negro no puede verse, pero sí podemos detectar y caracterizar el movimiento del gas y las estrellas que giran a su alrededor. Como en el caso anterior, esto se realiza a partir de los desplazamientos en longitud de onda (de nuevo el efecto Doppler) que experimentan las líneas de absorción en el caso de las estrellas y las líneas de emisión en el caso del gas (ver artículo I).

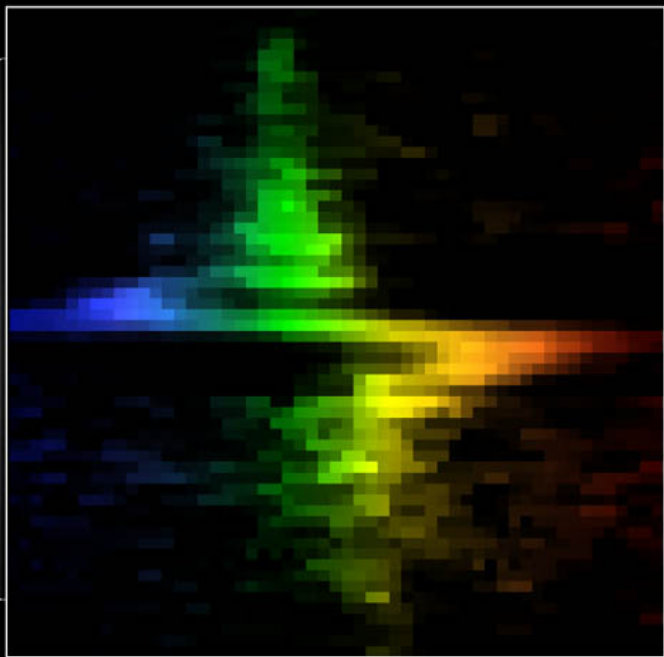
Veamos un ejemplo. La galaxia Messier 84 (o M84) fue descubierta en 1781. Se encuentra a unos sesenta millones de años luz y es uno de los miembros más brillantes del cúmulo de galaxias de Virgo. En 1997, algo más de dos siglos después, se descubrió que M84 contiene un agujero negro de masa enorme en su núcleo.

Galaxy M84 Nucleus



WFPC2

Hubble Space Telescope



STIS

PRC97-12 • ST Scl OPO • May 12, 1997 • B. Woodgate (GSFC), G. Bower (NOAO) and NASA

Izda: núcleo de la galaxia M84. El espectro de la derecha revela que el gas próximo al centro está rotando a gran velocidad. Este colorido zigzag es la firma de un agujero negro supermasivo. Fuente: G. Bower, R. Green (NOAO), the STIS I.D. Team, and NASA/ESA.

¿Cómo? Fijémonos en la imagen: a la izquierda vemos el corazón de M84, y a la derecha el espectro de la zona marcada con un rectángulo azul, donde se encuentra el verdadero centro de M84. De cada punto dentro de este rectángulo el espectrógrafo produce un espectro. Obtenemos así un espectro con dos dimensiones: la espacial en el eje vertical y la espectral (longitud de onda) en el eje horizontal. En la figura las longitudes de onda más cortas (azules) están en la izquierda y las más largas (rojas) en la derecha. El espectro muestra la línea de emisión H alfa del hidrógeno, que refleja los movimientos del gas. Vemos que en la zona más interna la emisión se desplaza bruscamente del azul (el gas se acerca) al rojo (el gas se aleja). Esto muestra un movimiento de rotación muy rápido (más de 1.300 kilómetros por hora!) del gas situado a menos de veintiséis años luz del centro de la galaxia, lo que requiere un campo gravitatorio de gran intensidad. A partir de la velocidad de rotación se infiere la masa responsable, equivalente a la de unos trescientos millones de soles. Esta enorme concentración de masa en un espacio tan pequeño hace pensar que en el centro de M84 existe un gran agujero negro. En la actualidad sabemos que, al igual que M84, muchas galaxias contienen agujeros negros supermasivos en sus núcleos.

Montse VILLAR (IAA-CSIC)

Este artículo aparece en el número 36, febrero 2012, de la revista Información y Actualidad Astronómica, del Instituto de Astrofísica de Andalucía.