

estudio del espectro FUV de M42. Este resultado permite confirmar el depósito de cierta cantidad de silicio nebuloso en granos de polvo.

La nebulosa M43 es una región HII aparentemente esférica ionizada por una sola estrella (HD37061, B1V). Los parámetros estelares de la estrella ionizante, obtenidos mediante el análisis de su espectro óptico con *FASTWIND* se han utilizado como entrada del modelo de atmósfera estelar *WM-basic* para modelar su distribución de flujo ionizante. Esta distribución espectral de energía, junto con las abundancias nebulares obtenidas a partir del análisis del espectro óptico de M43, y los parámetros

morfológicos y fotométricos inferidos de las imágenes de la nebulosa en filtros estrechos, se han utilizado como entrada del código de fotoionización *CLOUDY* para construir modelos de la nebulosa “a medida”. Se han considerado dos tipos de modelos esféricos: con densidad constante y con una ley de densidad obtenida a partir del ajuste del perfil de brillo superficial en H α . Finalmente, se han dado los primeros pasos en el modelado de la nebulosa mediante el código *CLOUDY-3D*, un código pseudo-3D que permite construir modelos con geometrías de tipo “ampolla”.

VARIABILIDAD Y CROMATICIDAD DE CUÁSARES MÚLTIPLES

Aurora Ullán Nieto

aurora.ullan@postgrado.unican.es

Tesis doctoral dirigida por Dr. Luis J. Goicoechea Santamaría

Centro: Universidad de Cantabria (UC)

Fecha de lectura: 25 de abril de 2006

Se denominan lentes gravitatorias a los objetos que curvan la trayectoria de la luz por la acción de la gravedad. Así, el efecto lente gravitatoria fuerte sobre un cuásar se produce cuando una gran concentración de masa - una galaxia, un grupo o un cúmulo de galaxias - se encuentra situada en una dirección cercana a la línea de visión que une al observador con la fuente luminosa lejana. Evidentemente, la distancia a la gran concentración de masa (lente gravitatoria) es menor que la distancia a la fuente (cuásar). De esta manera, debido al fenómeno lente gravitatoria, un cuásar distante puede ser observado como un conjunto de imágenes (cuásar múltiple) o un anillo (anillo de Einstein) en lugar de una única imagen, dependiendo de la geometría del sistema fuente-lente-observador. Concretamente, en el caso más general de no cumplirse un alineamiento perfecto del sistema (conjunción) aparece un cuásar múltiple. Este caso más usual ha sido el objeto de la investigación realizada en esta tesis.

Gran parte de este trabajo ha sido dedicado al análisis del primer sistema lente gravitatoria, QSO 0957+561, un cuásar doble descubierto en 1979 (Walsh et al., 1979, Nat, 279, 381). En este sistema se observan dos imágenes (A y B) relativamen-

te separadas (aproximadamente 6'') de una misma fuente lejana ($z = 1,41$). La lente gravitatoria en este caso es un cúmulo de galaxias, y el efecto lente principal es debido a una galaxia elíptica gigante (G) en el corazón del cúmulo a $z = 0,36$. Para este cuásar doble se ha hecho el estudio más exhaustivo y completo hasta la fecha, incluyendo curvas de luz a dos longitudes de onda (filtros V y R) deducidas mediante observaciones con el *Nordic Optical Telescope* (NOT) dentro de la colaboración internacional GLITP y en tiempo de servicio, espectroscopía ultravioleta-óptica-infrarroja mediante observaciones con el telescopio espacial *Hubble* (HST), y, finalmente, nuevos flujos en los filtros V y R obtenidos a través de medidas en la Estación de Observación de Calar Alto (EOCA). Hemos deducido las curvas de luz en los filtros V y R mediante dos métodos fotométricos diferentes y se ha logrado separar el flujo debido a la lente principal (G) del flujo correspondiente a la imagen B (solo a 1''). Desde una perspectiva astrofísica, hemos caracterizado la variabilidad del cuásar durante los períodos de observación (2000-2003) y hemos obtenido las primeras razones de flujo B/A robustas en los filtros V y R. Además, usando las nuevas razones de flujo B/A, se ha podido concluir que la

galaxia gigante (G) y/u otros objetos entre el observador y el cuásar pudieran contener cantidades importantes de polvo y gas produciendo extinción diferencial. Esta hipótesis en la que fuimos pioneros, fue confirmada mediante el estudio cromático con los datos del HST. Así, los espectros revelaron que el halo oscuro de G consiste principalmente en material no colapsado, y que probablemente incluye nubes de gas polvorientas y compactas.

Por otra parte se ha estudiado el cuásar doble SBS 0909+532. En este caso, la separación entre sus dos componentes es muy pequeña - tan sólo $1,1''$ (Kochanek et al., 1997, ApJ, 479, 678)- por lo que este sistema es muy compacto y la obtención de los flujos de las dos imágenes por separado requiere la utilización de métodos de fotometría muy precisos. Se ha logrado obtener las primeras curvas de luz en los filtros V y R. Nosotros hemos observado en la EOCA, mientras que otros colaboradores lo hicieron en el Observatorio Maidanak (Uzbekistán) y el Observatorio Wise (Israel). En este caso, desde un punto de vista astrofísico, hemos presentado el primer estudio sobre la variabilidad del cuásar y las estrellas próximas. Como consecuencia de nuestros análisis, hemos encontrado que una estrella de campo es variable. Además, la variabilidad del cuásar en el filtro R ha permitido determinar el retardo entre sus imágenes, siendo ésta una cantidad fundamental para discutir la expansión actual del universo y la densidad superficial de la galaxia que

actúa como lente gravitatoria. Así, para un mismo tiempo de emisión, parece que los fotones asociados a la imagen B llegan primero, y los fotones asociados a la imagen A llegan 45_{-11}^{+1} días más tarde (con un intervalo de confianza del 95 % y empleando una técnica de minimización χ^2) ó 48_{-6}^{+7} días más tarde (intervalo de confianza del 90 % y mediante una técnica de dispersión, D^2). Estos resultados suponen la primera determinación del retraso temporal de SBS 0909+532 mediante datos observacionales. En la actualidad, se conocen aproximadamente cien sistemas lente gravitatoria, y hasta ahora sólo se conocía el retraso temporal de once de ellos. De este modo, con nuestros resultados ampliamos el número a doce sistemas lente. Por último, hemos realizado una estimación grosera de la constante de Hubble (H_0) y de la densidad superficial media del principal deflector ($\langle \kappa \rangle$). Usando los desplazamientos al rojo del deflector (galaxia lente) y de la fuente (SBS 0909+532), astrometría básica del sistema y el retraso medido por nosotros, obtenemos unos resultados (1σ) de $H_0 = 82 \pm 41 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (para un perfil isotermo) y $1 - \langle \kappa \rangle = 0.43 \pm 0.21$ (tomando $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$). Así, mientras la estimación de la constante de Hubble presenta mucho error en comparación con otras determinaciones de esta cantidad física, hemos obtenido la primera estimación de la medida de la densidad superficial media de la galaxia lente.