

Estudio del espectro de un AGN

Cedric Prieels

Marzo 2017

Resumen

En este ejercicio se estudia el impacto del efecto de lente gravitatoria sobre la luz de un cuásar. Vamos a considerar las dos imágenes resultante de este efecto de un cuásar lejano, y los dos espectros asociados a cada imagen. Con estos dos espectros vamos primero a calcular los redshift del cuásar (de emisión y de absorción) para verificar que el efecto lente no tenga impacto sobre estos valores. Vamos a poder también calcular la velocidad de eyección del gas del cuásar gracias estos valores que acabamos de calcular. La siguiente parte consiste en estudiar en más detalles 5 partes de los espectros que consideramos como continuas. El objetivo de esta última parte consiste en calcular las razones de flujo y en verificar que observemos (o no) un "bump" de extinción similar al que se puede detectar en la Vía Láctea a 2175 Å.

Tenemos a nuestra disposición dos espectros UV distintos y obtenidos con el telescopio espacial Hubble, llamados A y B, que corresponden cada uno a una imagen del cuásar doble Q0957+561, afectado por el efecto de lente gravitatoria de una galaxia G. Lo primero que podemos con estos datos es pintar simplemente los espectros.

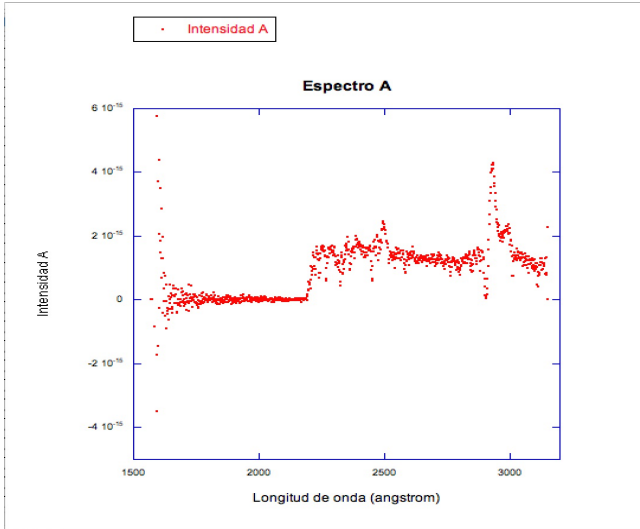


Figura 1: Espectro A

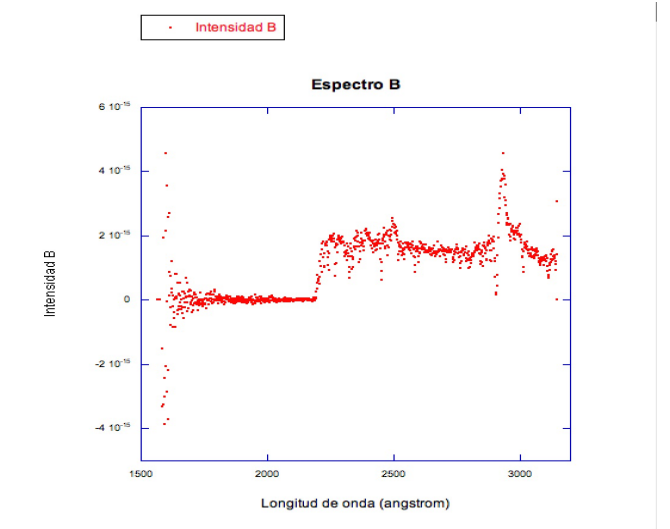


Figura 2: Espectro B

Una vez este primera hecho, podemos empezar a estudiar estos dos espectros. Lo primero que queremos hacer consiste en determinar las longitudes de onda centrales de las dos líneas de emisión Ly_{α} (1215 Å) y Ly_{β} (1026 Å), para calcular el redshift z_{QSO} del cuásar.

	Ly_{α} (z_{QSO})	Ly_{β} (z_{QSO})
Espectro A	2933.7 Å(1.4157)	2496.6 Å(1.4333)
Espectro B	2935.2 Å(1.4156)	2498.0 Å(1.4347)

Como lo vimos en clase, el efecto de lente gravitatoria no debería tener un impacto sobre el redshift del cuásar. Vemos que esto se verifique en este caso, porque los dos espectros (que corresponden a las dos imágenes después de este efecto de lente gravitatoria) tienen un redshift muy similar, para las dos líneas de emisión.

Ahora podemos volver a calcular el redshift en cada caso, pero usando las líneas de absorción (las dos líneas Ly_{α} que se pueden observar) en lugar de las líneas de emisión que hemos considerado hasta ahora.

	$Ly_{\alpha} (z_{abs_1})$	$Ly_{\alpha,2} (z_{abs_2})$
Espectro A	2908.9 Å(1.3941)	2581.8 Å(1.1249)
Espectro B	2907.3 Å(1.3915)	2583.2 Å(1.1261)

Vemos claramente con esta última tabla que el primer sistema tiene un redshift comparable con el redshift anterior obtenido mientras que el segundo sistema tiene un redshift mucho más bajo y cercano a 1. Vimos en clase que existen diferentes sistemas de absorción (nubes difusas del bosque Ly_{α} , sistemas límite Lyman, sistemas *damped Ly α*), y podemos ahora intentar clasificar ambos sistemas que estamos estudiando. Primero, podemos calcular para ambos sistemas el valor límite en longitud de onda en la cual deberíamos ver el límite Lyman :

$$\begin{cases} \lambda_{limite_1} = \lambda_0 \cdot (1 + z_{abs_1}) = 912\text{Å} \cdot (1 + 1,3928) = 2182\text{Å} \\ \lambda_{limite_2} = \lambda_0 \cdot (1 + z_{abs_1}) = 912\text{Å} \cdot (1 + 1,1255) = 1938\text{Å} \end{cases}$$

En los plots precedentes, vemos claramente un corte en los espectros en una longitud de onda alrededor de unos 2200 Å. Podemos de esta manera concluir que el sistema de absorción 1 (el que tiene el valor límite el más alto y próximo a 2200 Å) es un sistema límite Lyman. Cuesta un poco más identificar el tipo de sistema del sistema 2, porque tenemos un espectro cortado en un valor de λ más alto que el valor límite que acabamos de calcular. Habría que hacer un estudio completo para caracterizar este sistema, intentando por ejemplo ajustar una gaussiana a la línea de absorción para verificar si podría ser o no un sistema de nubes difusas del bosque Ly_{α} . De momento, solo podemos concluir que este sistema también podría ser un sistema límite Lyman, porque vemos claramente en el espectro que la línea considerada tiene una intensidad bastante mayor que las otras líneas, una de las características de los sistemas Lyman límite.

Ahora, si consideramos que el sistema más próximo al cuásar se puede interpretar como un chorro de gas eyectado hacia nosotros, la diferencia entre el redshift calculado con las líneas de emisión y el redshift que acabamos de calcular no tiene un origen cosmológico, y solo depende de la velocidad del gas, que podemos por lo tanto determinar gracias a la ecuación (2).

$$z_{QSO} - z_{abs_1} = 1,4248 - 1,3928 = 0,032 \quad (1)$$

Podemos ahora calcular la velocidad de eyección del gas gracias a una simple formula¹, teniendo en cuenta el redshift que hemos calculado.

$$v = c \cdot \frac{\left(\frac{z_{QSO}+1}{z_{abs_1}+1}\right)^2 - 1}{\left(\frac{z_{QSO}+1}{z_{abs_1}+1}\right)^2 + 1} = c \cdot \frac{(1,014)^2 - 1}{(1,014)^2 + 1} = 0,013 \cdot c \simeq 3985 km \cdot s^{-1} \quad (2)$$

¹Esta formula viene de la página 293 de la referencia bibliográfica *Galaxies and cosmology*, de F.Combes (1995)

Podemos ahora seleccionar 5 regiones distintas de la parte continua de los espectros, de anchura 100 Å centradas en las longitudes de onda 2400, 2590, 2700, 2810 y 3070 Å. En cada zona, podemos calcular rápidamente el valor del flujo medio y el error asociado al cálculo de esta media (calculado como siempre como el ratio entre la desviación estándar por la raíz del número de puntos medidos en el intervalo de λ considerado).

$\lambda_{cen}(\text{\AA})$	$F_{med,A}(\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{\AA}^{-1})$	$F_{med,B}(\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{\AA}^{-1})$	$\epsilon(\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{\AA}^{-1})$
2400	$1,56 \cdot 10^{-15}$	$1,82 \cdot 10^{-15}$	$3 \cdot 10^{-17}$
2590	$1,33 \cdot 10^{-15}$	$1,57 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-17}$
2700	$1,25 \cdot 10^{-15}$	$1,49 \cdot 10^{-15}$	$1 \cdot 10^{-17}$
2810	$1,17 \cdot 10^{-15}$	$1,42 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-17}$
3070	$1,18 \cdot 10^{-15}$	$1,36 \cdot 10^{-15}$	$3 \cdot 10^{-17}$

Ya podemos calcular las razones de flujo B/A y los errores asociados a estos valores. Si suponemos que solamente el espectro A ha sido afectado por el polvo del Universo, se puede fácilmente determinar que deberíamos observar un "bump" de extinción similar al observado en la Vía Láctea a 2175 Å (sabemos que el redshift de la lente gravitatoria vale 0,36) :

$$\lambda_{obs} = \lambda_{em}(z + 1) = 2175 \cdot (z + 1) = 2175 \cdot 1,36 = 2958\text{\AA} \quad (3)$$

Podemos calcular con los datos que tenemos las razones de flujo (calculando el ratio entre los flujos obtenidos en la tabla precedente para los espectros A y B) y los errores asociados con una simple propagación de errores. Podemos pintar los resultados así obtenidos para verificar si observemos o no este bump.

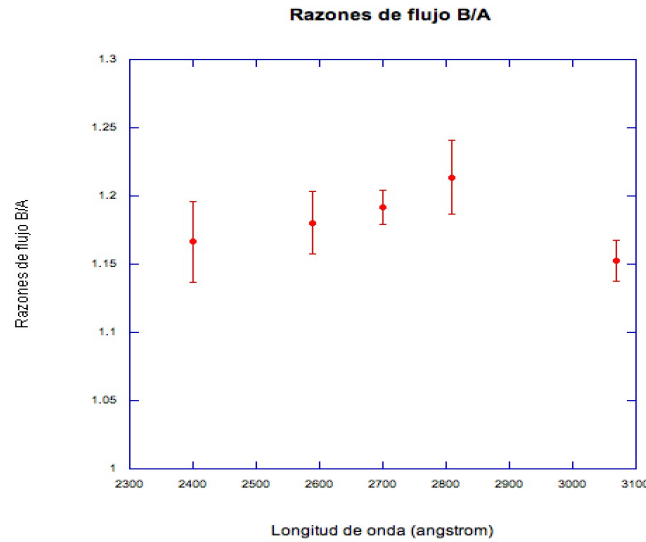


Figura 3: Razones de flujo B/A obtenidas

Parece que observemos el bump alrededor de 2800 Å, pero es difícil sacar conclusiones de este plot porque solamente tenemos 5 puntos experimentales. Para saber de manera un poco más precisa si hay un bump o si lo que vemos es una fluctuación, lo mejor consiste en calcular el valor de $2,5 \cdot \log\left(\frac{A}{B}\right)$ (equivale a la diferencia de magnitud entre A y B) e intentar ajustar una función del tipo (4) al plot así obtenido, poniendo como eje X el valor de $\frac{1+z_{lente}}{\lambda(\mu m)}$.

$$f(\lambda_0) = a + bx + \frac{cx^2}{(x^2 - d^2)^2 + x^2} \quad (4)$$

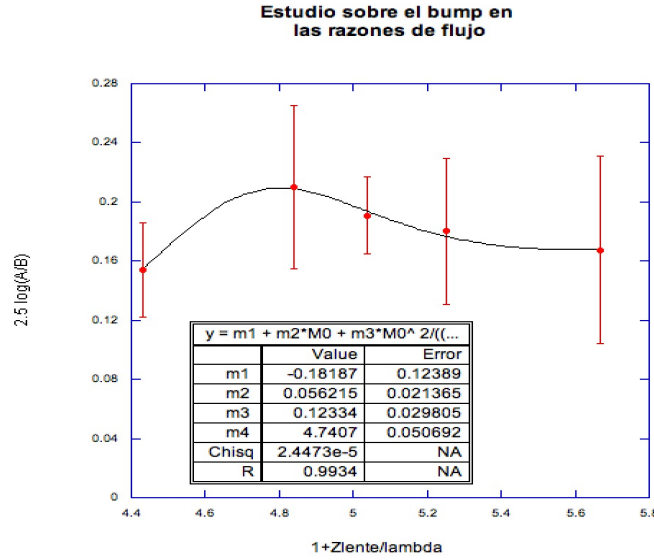


Figura 4: Mejor ajuste obtenido, con sus parámetros.

El ajuste con la función de tipo (4) queda bastante bien, comparado con los datos (tenemos un valor de R de 0.9934). Este ajuste tiene un máximo en más o menos 4,75 lo que corresponde a una longitud de onda de 2863 Å, valor bastante cerca del valor esperado para el bump (2958 Å). Por supuesto, el estudio hecho no tiene mucho sentido porque estamos ajustando una función que tiene 4 parámetros libres a 5 puntos experimentales. Lo mejor sería repetir el experimento muchas veces, o bien considerar más de 5 zonas de continuos para mejorar estos resultados.

Conclusiones

En conclusión, este ejercicio nos permitió estudiar el espectro de un AGN y el efecto de lente gravitatoria. Hemos observado dos espectros distintos, que corresponden cada uno a una imagen distinta del cuásar doble Q057+561, y que se ven afectados por el efecto lente de una galaxia que está entre este objeto y nosotros. Hemos estudiado en estos dos espectros dos líneas de emisión y dos líneas de absorción y calculado el redshift en cada caso. De esta manera, hemos podido verificar que el efecto de lente gravitatoria no afecte al valor del redshift, y hemos caracterizado las dos líneas de absorción más importante. También hemos estimado la velocidad de eyección del gas del cuásar como siendo igual a $3958 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ y hemos calculado el valor de las razones de flujo en 5 zonas de continuo del espectro. Con este último plot, hemos podido ajustar una ley de tipo (4) para verificar la presencia de un bump de extinción similar al bump observado en la Vía Láctea.