

## PRESENTACIÓN MURAL

### La conexión rayos-X – óptico en la NLR de la galaxia Mrk 573. Mecanismos de ionización.

V. Reynaldi<sup>1,2</sup>, M. Guainazzi<sup>3</sup>, C. Feinstein<sup>1,2</sup> & J.A. Combi<sup>4</sup>

(1) Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

(2) Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP)

(3) XMM Newton Science Operations Center, Madrid, España

(4) Instituto Argentino de Radioastronomía (CONICET-UNLP)

**Abstract.** We analyze the ionizing mechanisms for the narrow-line region (NLR) of Mrk 573. The alignment of radio, optical and X-ray features suggest that some interaction may be taking place in this region. We investigate if the optical and X-ray emission are being generated in shock waves triggered by the interaction between the radio jet and the intergalactic medium.

**Resumen.** En este trabajo analizamos los mecanismos de ionización de la región de líneas angostas (NLR) de la galaxia Mrk 573. En base al alineamiento de las estructuras observadas en radio, óptico y rayos-X, estudiamos la posibilidad de que la emisión en óptico y rayos-X se genere por ondas de choque desencadenadas en la interacción del *jet* con el material intergaláctico.

## 1. Introducción

La galaxia Mrk 573 y su NLR han sido ampliamente estudiadas en rayos-X y en el óptico. Si bien existen dudas sobre la fuente de ionización, todos los análisis apuntan al AGN como fuente de radiación ionizante (Kraemer et al. 2009; Fischer et al. 2010; Guainazzi & Bianchi 2007; Bianchi et al. 2010).

Por otra parte, otros estudios sostienen que la emisión en rayos-X blandos (0.3-1.2 keV) y la emisión óptica proveniente de la NLR se forman dentro del mismo material (Bianchi et al. 2006). La coincidencia espacial de la emisión en ambas bandas sostiene esta hipótesis. Sin embargo, en el caso de Mrk 573 también existe superposición con las estructuras observadas en radio (ver Bianchi et al. 2010, fig.5), lo cual nos permite preguntarnos si el estado de la región puede explicarse a través de una relación intrínseca entre estas estructuras.

### 1.1. Antecedentes

Bianchi et al. (2010) estudiaron los espectros en rayos-X de RGS/XMM-Newton (banda *soft*) y ACIS/Chandra (banda ancha) y concluyeron que ambos espectros pueden reproducirse satisfactoriamente con dos componentes de fotoionización y una componente colisional. En el óptico, Kraemer et al. (2009) mostraron que un proceso de fotoionización multifase es capaz de reproducir la intensidad de las

líneas de emisión del espectro tomado con STIS/HST. Allí se propone que líneas con distintos niveles de excitación se producen en distintos grupos de nubes del MIG.

Sin embargo, la superposición y el alineamiento de la emisión (óptico y rayos-X) con las estructuras en radio sugiere que la interacción entre el *jet* y el material de la NLR podría desencadenar la emisión (Ferruit et al. 1999; Schlesinger et al. 2009). En este trabajo, nos proponemos evaluar esta posibilidad.

## 2. Motivación

En el rango óptico podemos comparar ambos escenarios mediante diagramas de diagnóstico que involucran a las líneas de emisión. En la Fig. 1 se muestran las observaciones de Mrk 573 tomadas de Kraemer et al. (2009) (círculo verde<sup>1</sup>), junto con la secuencia de fotoionización bifaz (Binette et al. 1996, línea continua) dada por el parámetro  $A_{M/I}$  y los modelos magnetohidrodinámicos (MHD) de ionización por ondas de choque (Allen et al. 2008) para dos valores de densidad *pre-shock*:  $n_e = 100 \text{ cm}^{-3}$  (línea punteada), y  $n_e = 1000 \text{ cm}^{-3}$  (línea de punto-raya).

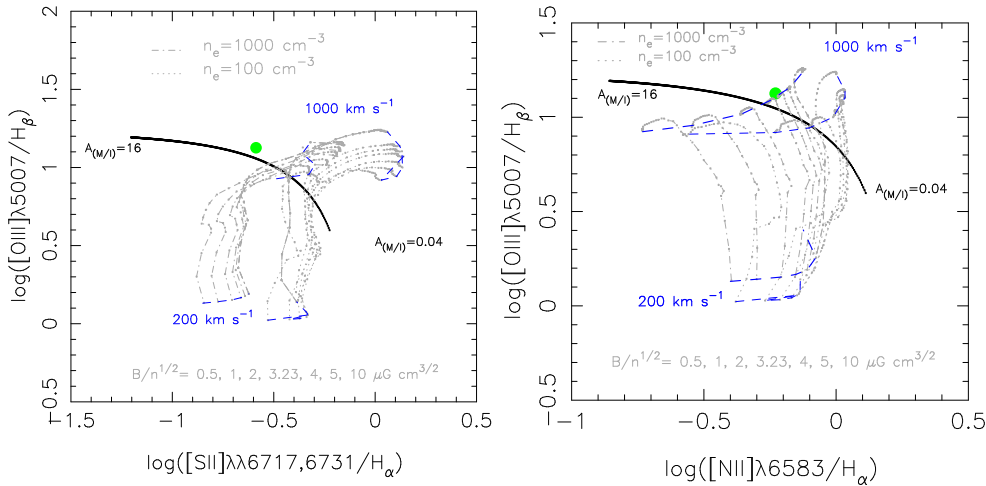


Figura 1. Observaciones de Mrk 573 en verde (círculo). Modelos: fotoionización bifaz en línea continua; ionización por ondas de choque en líneas punteadas y punto-raya, para dos valores de densidad del gas (ver texto).

El análisis de diagnóstico no permite obtener resultados concluyentes, pero muestra que con los modelos MHD también se puede reproducir la intensidad relativa de algunas líneas. Dado que la fotoionización ha sido estudiada en ambas regiones del espectro, nuestro propósito es estudiar la ionización por ondas de choque en el espectro de rayos-X blandos. Para ello, reemplazaremos las componentes de fotoionización en el ajuste realizado por Bianchi et al. (2010).

<sup>1</sup>las barras de error quedan contenidas en el círculo, notar que la escala es logarítmica

### 3. Discusión y Conclusiones Preliminares

Los datos de RGS/XMM-Newton y ACIS/Chandra fueron reducidos con SAS y CIAO, respectivamente; todos los espectros se analizaron con XSPEC. Los datos de RGS se ajustaron en forma conjunta, la falta de datos en una de las cámaras en el rango 20-24 Å (Fig.2, panel superior, color rojo) se debe a la rotura de uno de los CCD del detector de RGS 2.

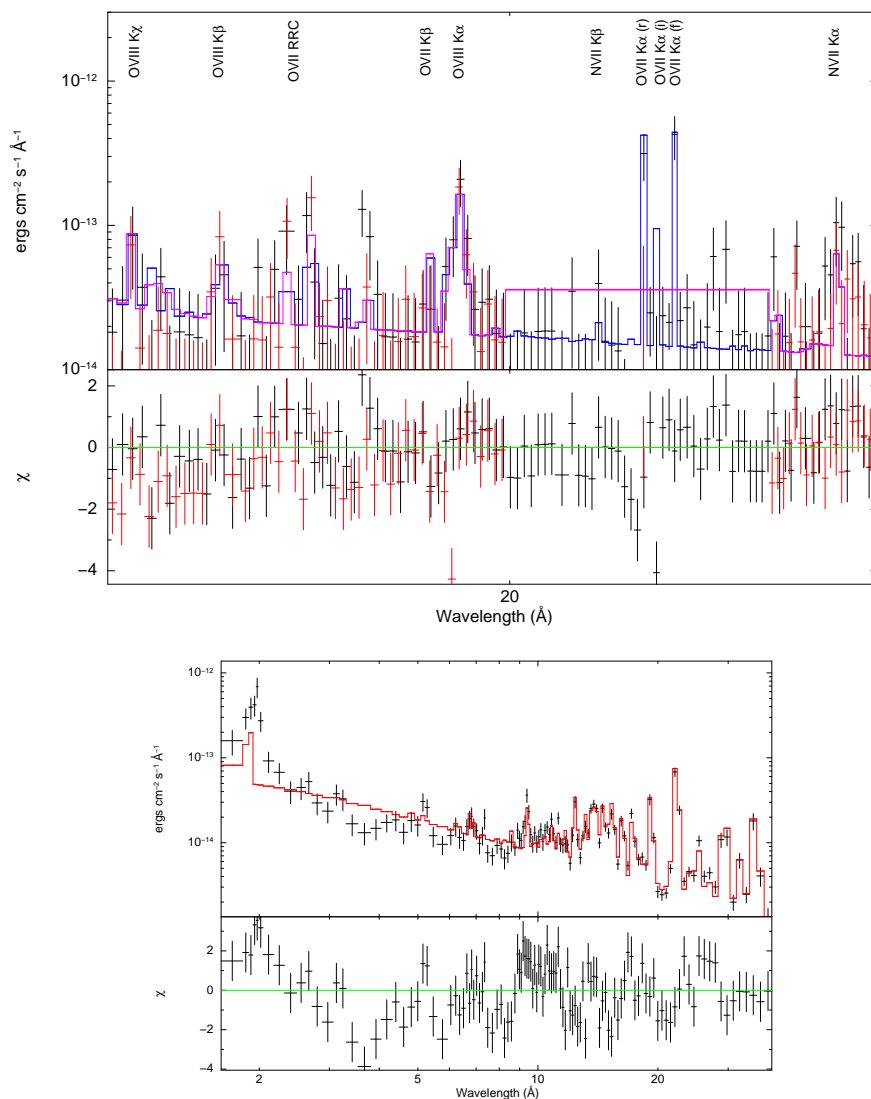


Figura 2. Arriba: Espectro de Mrk 573 en el rango 0.48-0.83 keV (15-25Å) con el ajuste conjunto de las cámaras RGS. Las líneas de emisión presentes pueden consultarse en Bianchi et al. (2010). Abajo: el espectro ACIS en el rango 0.3-8.0 keV (1.5-40Å). Los ajustes se muestran en líneas continuas. Comparar con Bianchi et al. (2010, fig. 5)

En el ajuste se tuvieron en cuenta la densidad columnar con la que se ve afectada la galaxia ( $N_H = 2.96 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$  Dickey & Lockman 1990) y se mantuvo la componente colisional (EQUIL). Las componentes de fotoionización se eliminaron para incorporar el modelo MHD en su lugar. Se recrearon las condiciones propuestas por Allen et al. (2008) con las herramientas adecuadas en XSPEC: la onda de choque misma (PSHOCK) y la región precursora (RAYMOND). Así, el modelo resultante: PSHOCK + RAYMOND + EQUIL afectados por la columna de absorción, que se mantuvo fija, se aplicó tanto al espectro RGS como ACIS. Los únicos parámetros que se variaron durante el ajuste fueron las temperatura y normalización (EM). En la Fig. 2 se muestran los resultados de los ajustes y en la Tabla 1 los parámetros relevantes asociados al espectro de XMM/Newton. El espectro ACIS no está restringido a la banda *soft*; es esperable que el ajuste falle en la zona comprendida entre  $\sim 2\text{-}8$  keV ( $\sim 1.5\text{-}6$  Å), básicamente porque la emisión en este rango de energías altas no proviene de la NLR, sino de la región interna cercana al AGN. Aunque se muestra sólo a modo cualitativo, destacamos el ajuste en la zona de bajas energías; las temperaturas asociadas a cada componente son:  $T_{psh} = 0.671 \pm 2.3 \times 10^{-2}$ ,  $T_{ray} = 7.03 \pm 0.93$  y  $T_{eq} = 0.11 \pm 6 \times 10^{-3}$ .

	PSHOCK	RAYMOND	EQUIL
T [keV]	$0.129 \pm 3.93 \times 10^{-2}$	$3.05 \pm 1.96$	$0.41 \pm 0.15$
EM	22 %	76 %	2 %

Tabla 1. Temperaturas y medidas de emisión para cada componente en el ajuste de los espectros RGS ( $\chi_{red}^2 = 0.14$ ).

En el espectro RGS el ajuste es capaz de reproducir la intensidad de las líneas de emisión, en particular el [O VII] alrededor de  $\sim 22$  Å. El aspecto más importante radica en que, de acuerdo con Allen et al. (2008), la mayor contribución proviene del plasma en emisión (RAYMOND) que representa a la región precursora.

Encontramos que el mecanismo de ionización por ondas de choque radiativas es compatible con el espectro de rayos-X blandos de la NLR de Mrk 573. Se planea continuar con un análisis exhaustivo en rayos-X y complementarlos con el estudio equivalente sobre el espectro óptico.

## Referencias

- Allen M. G., et al., 2008, ApJS, 178, 20  
 Bianchi S., et al., 2010, MNRAS, 405, 553  
 Bianchi S., Guainazzi M., Chiaberge M., 2006, A&A, 448, 499  
 Binette L., Wilson A. S., Storchi-Bergmann T., 1996, A&A, 312, 365  
 Dickey J. M., Lockman F. J., 1990, ARA&A, 28, 215  
 Ferruit P., et al., 1999, MNRAS, 309, 1  
 Fischer T. C., et al., 2010, AJ, 140, 577  
 Guainazzi M., Bianchi S., 2007, MNRAS, 374, 1290  
 Kraemer S. B., et al., 2009, ApJ, 698, 106  
 Schlesinger K., et al., 2009, ApJ, 699, 857