



Modelo de microcuásar de Población III

P. Sotomayor Checa¹, G.E. Romero^{1,2}, L.J. Pellizza²

¹ *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina*

² *Instituto Argentino de Radioastronomía, CONICET-CICPBA, Argentina*

Contacto / pablosotomayor.fcag@gmail.com

Resumen / En este trabajo presentamos los resultados obtenidos en la elaboración de un modelo completo de microcuásar de Población III. Consideramos que la pérdida de masa de la estrella se debe exclusivamente al derrame de materia por desborde del lóbulo de Roche hacia el agujero negro. Hemos determinado que el régimen de acreción para estos objetos es súper-Eddington, con una intensa pérdida de masa del sistema en forma de vientos del disco de acreción y jets. El campo magnético en el disco es supuesto toroidal y en equipartición con la densidad de energía térmica. Calculamos la distribución de energía espectral del disco de acreción y de la distribución de partículas relativistas en los jets, considerando un modelo leptohadrónico.

Abstract / In this work we present the results obtained in the elaboration of a complete model of microquasar of Population III. We consider that the loss of mass of the star is due exclusively to the spill of matter due to overflowing of the Roche lobe towards the black hole. We have determined that the accretion regime for these objects is super-Eddington, with a large mass loss of the system in the form of wind from the accretion disk and jets. The magnetic field in the disk is assumed to be toroidal and in equipartition with the density of thermal energy. We calculate the spectral energy distribution of the accretion disk and the distribution of relativistic particles in the jets, considering a leptohadronic model.

Keywords / accretion disks — dark ages, reionization, first stars — radiation mechanisms: non-thermal — X-rays: binaries

1. Introducción

Las primeras estrellas son consideradas las principales fuentes de reionización del Universo temprano. Debido a su alta temperatura, habrían radiado predominantemente en la banda ultravioleta del espectro electromagnético. Sin embargo, observaciones recientes del telescopio espacial Hubble sugieren que esa radiación no habría sido suficiente para ionizar el medio intergaláctico (IGM, por sus siglas en inglés) en grandes volúmenes de espacio, por lo que ha sido necesario explorar otras posibles fuentes de reionización. Mirabel et al. (2011) han sugerido que los primeros sistemas binarios acretantes habrían desempeñado un rol importante en la reionización del Universo, manteniéndolo ionizado en grandes volúmenes de espacio en regiones del IGM de baja densidad. Tueros et al. (2014) han propuesto que rayos cósmicos producidos en los jets de microcuásares de Población III son otra posible fuente de reionización. Estas sugerencias no están avaladas por un modelo concreto de microcuásar de Población III.

En este trabajo el objetivo principal es comenzar la elaboración de un modelo completo de estos objetos, a fin de realizar predicciones cuantitativas sobre los efectos de los mismos. Como objetivo secundario pretendemos realizar predicciones realistas de la producción de radiación y rayos cósmicos que serán inyectados en el medio intergaláctico, cantidades que tienen valor por su poder ionizante para estudios posteriores sobre el Universo temprano.

2. Modelo

2.1. Binaria de Población III

El sistema binario en estudio consiste de una estrella de Población III de $50 M_{\odot}$ y un agujero negro de $30 M_{\odot}$. La transferencia de masa hacia el objeto compacto ocurre exclusivamente por desborde del lóbulo de Roche. La separación orbital se calcula aproximando el radio de la estrella por el radio medio del lóbulo de Roche (Paczynski, 1971). Las propiedades físicas de la estrella son adaptadas de Marigo et al. (2001). Considerando que la tasa de transferencia de masa en el borde externo del disco de acreción ocurre en una escala de tiempo térmico se obtiene $\dot{M}_* \approx 2 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, siendo la tasa de acreción de Eddington del agujero negro $\dot{M}_{\text{Edd}} \approx 6 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$. Es decir, la tasa de acreción de masa en el borde externo del disco está en un régimen súper-Eddington $\dot{M}_* \approx 3 \times 10^3 \dot{M}_{\text{Edd}}$. Por el modelo empleado, la tasa de acreción sobre el agujero negro coincide con el valor de la tasa de Eddington (ver Fukue (2004)).

2.2. Disco de acreción

En un régimen de acreción súper-Eddington, los discos son ópticamente y geoméricamente gruesos. Este tipo de discos ha sido estudiado por diversos autores: Shakura & Sunyaev (1973), Paczynski & Wiita (1980), Jarozyński et al. (1980), Abramowicz et al. (1980), Abramowicz et al. (1988), Fukue (2004), Akizuki & Fukue (2006). En este trabajo modelamos el disco de acreción

considerando el disco crítico dominado por advección y desmagnetizado propuesto por Fukue y las soluciones para discos dominados por advección con campos magnéticos toroidales propuestas por Akizuki & Fukue. Para distancias al objeto compacto menores a 100 radios gravitacionales se considera el segundo modelo de disco de acreción, mientras que para distancias mayores se considera el primero. Los parámetros libres del modelo son la eficiencia de transporte de momento angular α , el factor beta del plasma β y el parámetro de advección del disco f .

2.3. Jets

Consideramos que en la región $r < 100 r_g$ del disco de acreción la materia eyectada es colimada formando jets relativistas. La colimación puede ser explicada por el viento impulsado por la presión de radiación eyectado en $r > 100 r_g$ y por el campo magnético eyectado desde el disco. El mecanismo de lanzamiento del jet es magnetohidrodinámico, el campo magnético en la región de lanzamiento se estima exigiendo equipartición entre la densidad de energía cinética y magnética. La aceleración de partículas tiene lugar en una región compacta del jet en la que la densidad de energía cinética domina sobre la densidad de energía magnética.

Suponemos que la función de inyección de partículas relativistas es una ley de potencias en la energía de las partículas

$$Q(E, z) = Q_0 \frac{E^{-p}}{z} \quad [Q] = \text{erg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{cm}^{-3}. \quad (1)$$

El índice espectral que hemos considerado es $p = 2$. La constante de normalización Q_0 para cada tipo de partículas depende de la fracción de la potencia cinética del jet empleada en acelerar partículas y la fracción entre hadrones y leptones contenidos en los jets (Romero & Vila, 2008).

Los procesos radiativos en los jets que hemos considerado en este trabajo son sincrotrón electrónico y de protones, sincrotrón auto-Compton, *Bremsstrahlung* relativista, y decaimiento de piones neutros por colisiones inelásticas pp y $p\gamma$. Para los cálculos se ha seguido lo realizado en Blumenthal & Gould (1970), Mannheim & Schlickeiser (1994), Atoyan & Dermer (2003), Kelner et al. (2006), Bosch-Ramon et al. (2006), Kelner & Aharonian (2008), Romero & Vila (2008), Reynoso et al. (2011), Romero et al. (2010b), Vila & Romero (2010).

Las luminosidades producidas en cada proceso radiativo son calculadas en el sistema de referencia comóvil con el jet, donde las distribuciones de partículas son isotrópicas. Las distribuciones de energía espectral (SED, por sus siglas en inglés) en el sistema de referencia del observador se obtienen aplicando las transformaciones de Lorentz apropiadas. La SED total producida en los jets es modificada por diversos procesos de absorción. En este trabajo hemos estudiado dos procesos de absorción para los fotones gama producidos en los jets: con los fotones UV del campo de radiación estelar (absorción externa) y con los fotones sincrotrón producidos dentro de los jets (absorción interna), para los cálculos hemos seguido a Dubus (2006), Cerutti et al. (2009) y

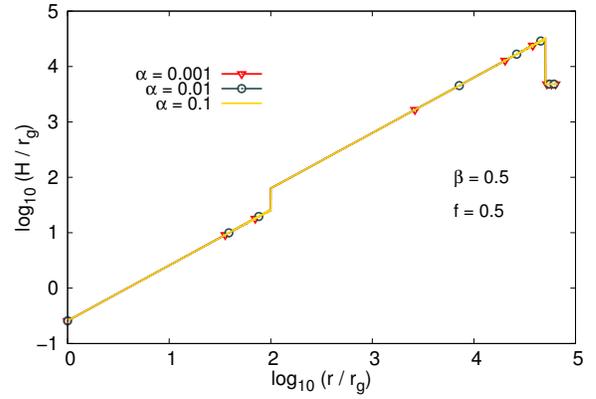


Figura 1: Espesor del disco de acreción.

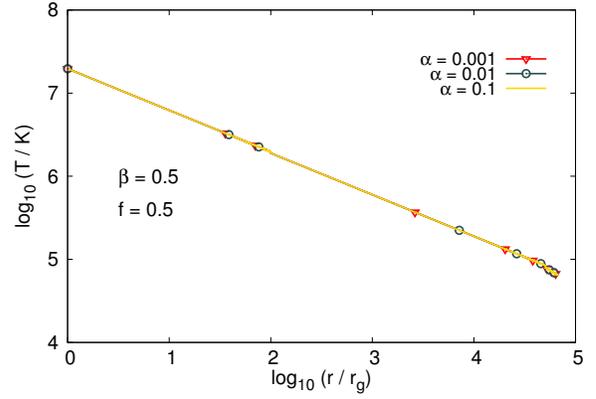


Figura 2: Temperatura del disco de acreción.

Romero et al. (2010a). Los principales parámetros del jet están listados en la Tabla 1.

3. Resultados

Las Figs. 1 y 2 muestran la distribución de espesor y temperatura en el disco de acreción en función de la distancia al objeto compacto, para distintos valores de la eficiencia de transporte de momento angular. En todos los casos se ha fijado el factor beta del plasma en 0.5, correspondiente a una equipartición estricta, así como el parámetro de advección del disco en 0.5, siendo un valor aceptable para discos de acreción súper-Eddington (Fukue, 2004; Akizuki & Fukue, 2006). En la Fig. 3 se muestra la SED del disco de acreción. En este caso, hemos variado la eficiencia de transporte de momento angular dentro de valores físicamente permitidos (Fukue, 2004).

En la Fig. 4 se muestran las SEDs para los procesos radiativos considerados. Las principales contribuciones a la SED total son la radiación sincrotrón, Compton inversa y las interacciones $p\gamma$. Hemos considerado un jet con mayor contenido leptónico que hadrónico, $a = L_p/L_e = 0.1$. El proceso de aceleración de partículas es eficiente ($\eta = 0.1$).

De los dos procesos de absorción considerados, la absorción interna es la más relevante, suprimiendo comple-

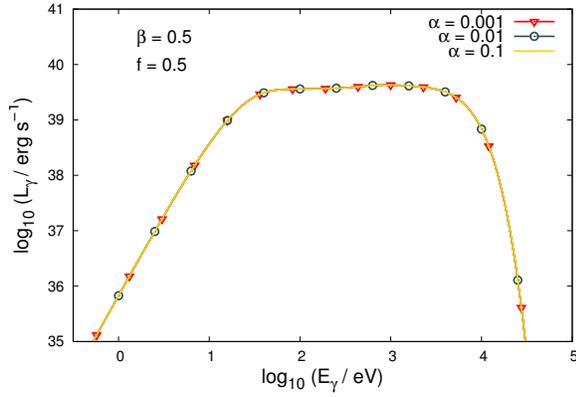


Figura 3: SED del disco de acreción.

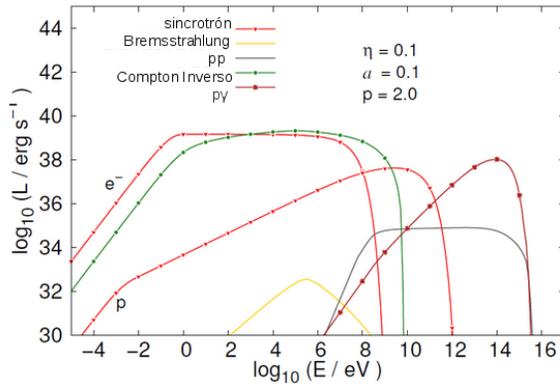


Figura 4: SED de las partículas relativistas en los jets.

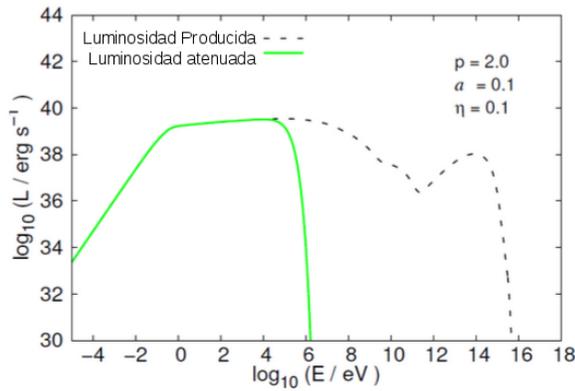


Figura 5: SED corregida por absorción interna.

tamente la emisión producida en los jets para energías mayores al MeV, esto puede verse en la Fig. 5.

4. Conclusiones

Los autores hemos desarrollado un modelo simple de microcuásar de Población III. Bajo las hipótesis consideradas, los discos de los microcuásares del Universo temprano acretan materia de la estrella compañera en un régimen súper-Eddington. La emisión radiativa de los discos en la banda de rayos X es significativa aun-

Tabla 1: Parámetros del jet.

Parámetro	Valor
L_{jet} : potencia cinética del jet	$10^{41} \text{ erg s}^{-1}$
Γ_{jet} : factor de Lorentz del jet	1.67
r_g : radio gravitacional	44.3 Km
z_0 : punto de lanzamiento del jet	$100 r_g$
Δz : tamaño de la región de aceleración	$200 r_g$
B_0 : campo magnético en la base del jet	$1.13 \times 10^7 \text{ G}$
p : índice espectral	2.0
η : eficiencia de aceleración	0.1

que estaría atenuada por interacciones Compton con las partículas del viento. En los jets se produce una intensa emisión de rayos gamma, suprimida internamente por aniquilación $\gamma\gamma$, dando lugar a la producción de pares ultra-energéticos. Los pares se enfrían principalmente por radiación sincrotrón, por lo que no ocurren cascadas electromagnéticas.

A futuro, incluiremos en el modelo un estudio más detallado del impacto radiativo del viento del disco de acreción. También se incluirá en un trabajo posterior la contribución de los pares producidos en las interacciones pp y $p\gamma$.

Referencias

- Abramowicz M. A., Calvani M., Nobili L., 1980, ApJ, 242, 772
 Abramowicz M. A., et al., 1988, ApJ, 332, 646
 Akizuki C., Fukue J., 2006, PASJ, 58, 469
 Atoyan A. M., Dermer C. D., 2003, ApJ, 586, 79
 Blumenthal G. R., Gould R. J., 1970, Reviews of Modern Physics, 42, 237
 Bosch-Ramon V., Romero G. E., Paredes J. M., 2006, A&A, 447, 263
 Cerutti B., Dubus G., Henri G., 2009, A&A, 507, 1217
 Dubus G., 2006, A&A, 451, 9
 Fukue J., 2004, PASJ, 56, 569
 Jaroszynski M., Abramowicz M. A., Paczynski B., 1980, Acta Astron., 30, 1
 Kelner S. R., Aharonian F. A., 2008, Phys. Rev. D, 78, 034013
 Kelner S. R., Aharonian F. A., Bugayov V. V., 2006, Phys. Rev. D, 74, 034018
 Mannheim K., Schlickeiser R., 1994, A&A, 286, 983
 Marigo P., et al., 2001, A&A, 371, 152
 Mirabel I. F., et al., 2011, A&A, 528, A149
 Paczyński B., 1971, ARA&A, 9, 183
 Paczyński B., Wiita P. J., 1980, A&A, 88, 23
 Reynoso M. M., Medina M. C., Romero G. E., 2011, A&A, 531, A30
 Romero G. E., Vila G. S., 2008, A&A, 485, 623
 Romero G. E., Del Valle M. V., Orellana M., 2010a, A&A, 518, A12
 Romero G. E., Vieyro F. L., Vila G. S., 2010b, A&A, 519, A109
 Shakura N. I., Sunyaev R. A., 1973, A&A, 24, 337
 Tueros M., del Valle M. V., Romero G. E., 2014, A&A, 570, L3
 Vila G. S., Romero G. E., 2010, MNRAS, 403, 1457