

Relaciones de escala para jets hidrodinámicos en astrofísica

MARTÍN HUARTE ESPINOSA <mhuarte@astroscu.unam.mx>

INSTITUTO DE ASTRONOMÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA

DE MÉXICO (UNAM)

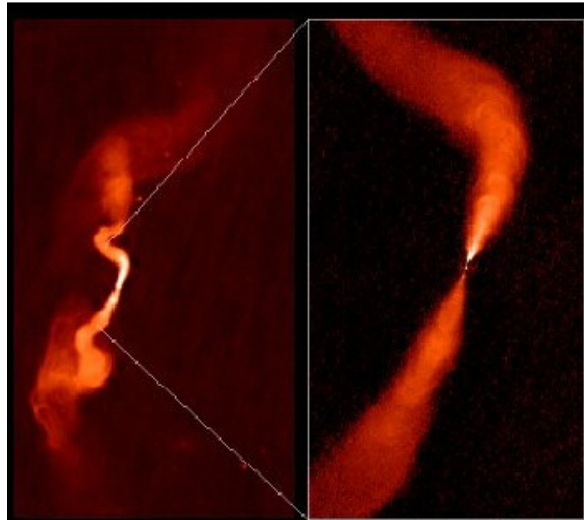
Plática disponible en:

<http://cosmos.astroscu.unam.mx/~sergio/students/2004/huarte/>

XLVII Congreso Nacional de Física,
Hermosillo Sonora
OCTUBRE 26, 2004

1. Jets astrofísicos

Cuasares

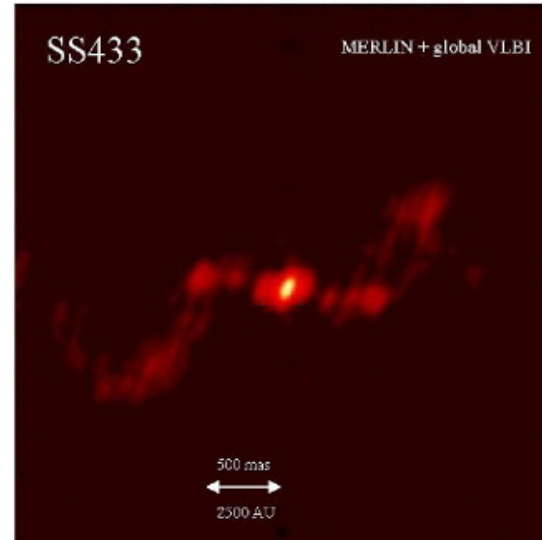


FR Class I source: radio galaxy 3C31

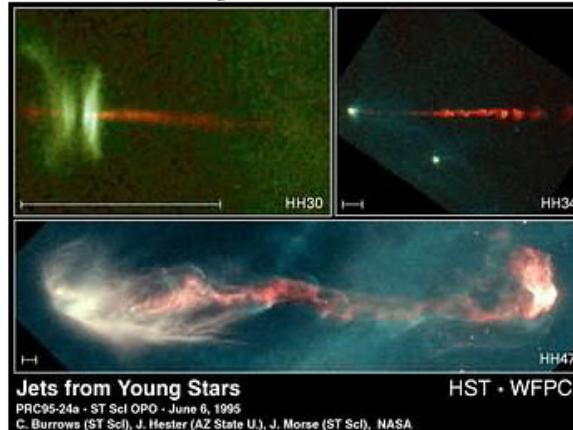


FR Class II source: quasar 3C175

Microcuasares



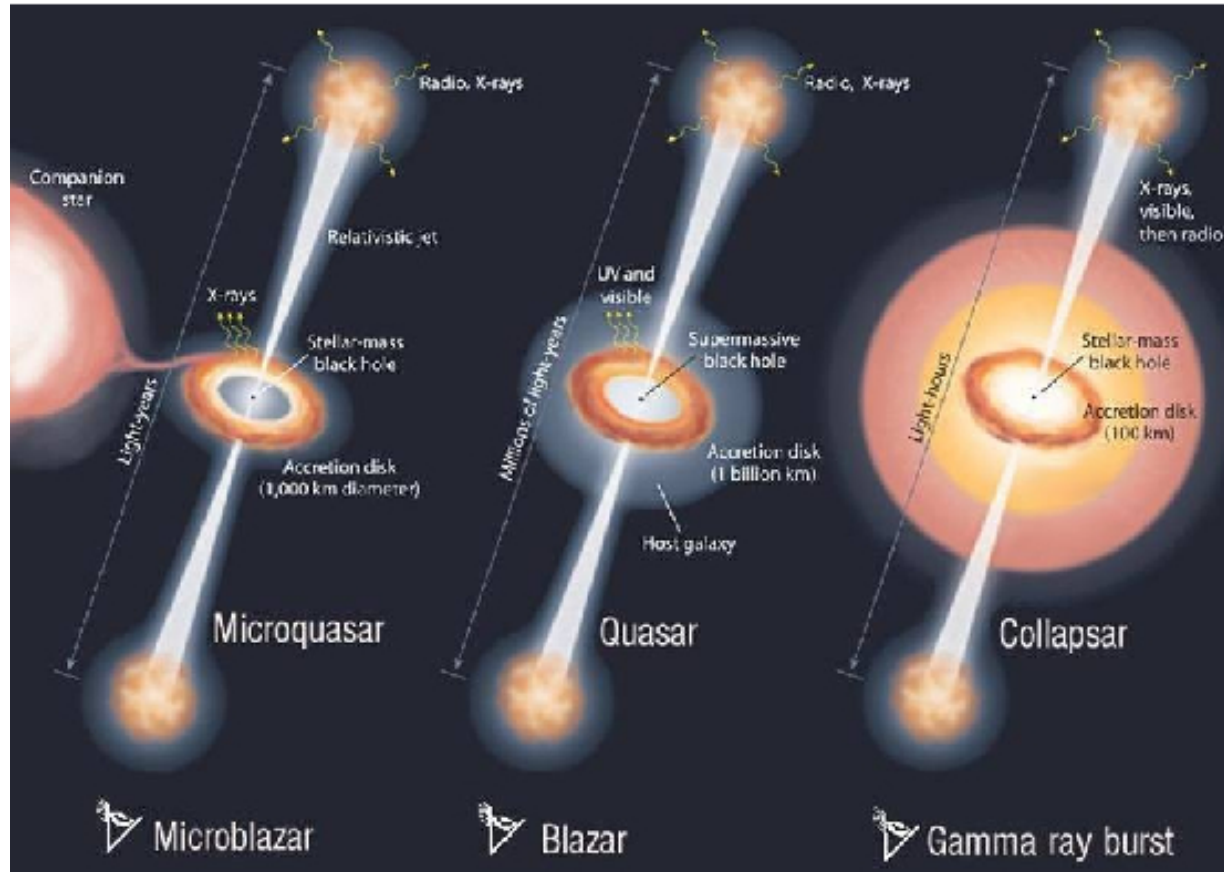
Objetos H-H



Todos estos jets comparten las siguientes propiedades:

- ❖ Objeto compacto central (estrella recién formada, explosión tipo supernova, estrella de neutrones o agujero negro)
- ❖ Disco de acreción alrededor del objeto central
- ❖ Campos magnéticos “zurcidos” al disco de acreción
- ❖ Un mecanismo de colimación para el jet
- ❖ Dos “lóbulos” simétricos respecto al núcleo que emiten radiación

Se producen debido a un mecanismo físico común



2. Leyes de escala para agujeros negros

Sunyaev et al. (1996) mostraron que la física en todos los sistemas dominados por agujeros negros es esencialmente la misma y es gobernada por las mismas leyes de escalamiento. Es decir, para agujeros negros con masa M_a ocurre que

- ★ $r_s \propto M_a$ el radio del horizonte de eventos
- ★ $\rho_{\text{acreción}} \propto M_a^{-1}$ la densidad de acreción
- ★ $\langle T_{\text{acreción}} \rangle \propto M_a^{-1/4}$ la temperatura media del disco de acreción
- ★ $t_{\text{orbital}} \propto M_a$ el tiempo en que una partícula da una vuelta en la última órbita estable del agujero negro

son proporcionales a la masa del agujero negro elevada a alguna potencia.

3. Relaciones dimensionales para jets

Todas las variables importantes en la producción y flujo de los jets astrofísicos están relacionadas mediante una función

$$L_s = L_s(\dot{M}, M_a, c, G, \Omega, B, l, v, \rho).$$

Usando el teorema Π de Buckingham (1914) del análisis dimensional obtuvimos los parámetros

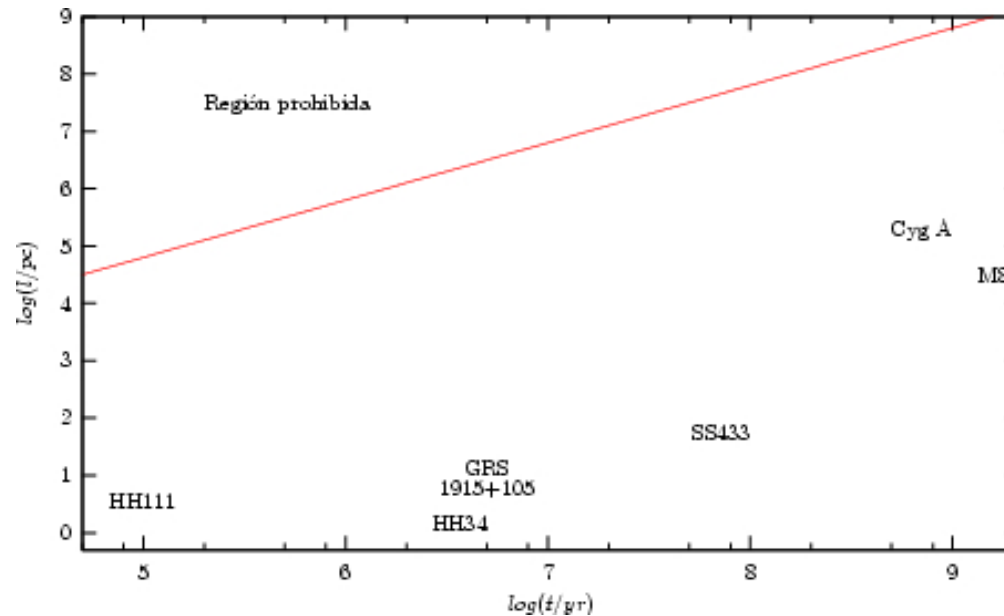
$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{L_s}{\dot{M}c^2}, & \Pi_2 &= \frac{G\dot{M}}{c^3}, & \Pi_3 &= \frac{Bc^{1/2}M_a}{\dot{M}^{3/2}}, & \Pi_4 &= \frac{l\dot{M}}{M_a c}, & (1) \\ \Pi_5 &= \frac{\Omega\dot{M}}{M_a^2 c^2}, & \Pi_6 &= \frac{v}{c}, & \Pi_7 &= \frac{\rho c^3 M_a^2}{\dot{M}^3}. \end{aligned}$$

Observando que dimensionalmente $[\tau] \equiv [M_a/\dot{M}] = T$, de (1) se tiene que

$$\Pi_2 = \left(\frac{GM_a}{c^2} \right) \left(\frac{\dot{M}}{M_a} \right) \frac{1}{c} \sim \frac{r_s}{2\tau c}.$$

De aquí obtenemos la longitud del jet en función de su tiempo de vida

$$\lambda \approx 2c\tau$$



De la ecuación (1) obtenemos:

$$\Pi_2^{3/2} \Pi_3 = \frac{B M_a G^{3/2}}{c^4} = \left(\frac{r_s}{r_j} \right)^{3/2},$$

de donde se sigue

$$r_j \approx 100 \left(\frac{M_a}{M_\odot} \right)^{1/3} \left(\frac{B}{1 \text{ G}} \right)^{-2/3} \text{ pc.} \quad (2)$$

Por lo anterior $\Pi_2^{3/2} \Pi_3 \ll 1$, que permite encontrar

$$B \ll \frac{c^4}{G^{3/2} M_a} \approx 10^{23} (M_a/M_\odot)^{-1} \text{ G.} \quad (3)$$

Finalmente, de la relación (1) tenemos:

$$\frac{\Pi_1}{\Pi_2 \Pi_3^2} = \frac{L_s \dot{M}}{B^2 M_a^2 G},$$

de donde se sigue

$$L_s \approx 10^{-12} \left(\frac{B}{1 \text{ G}} \right)^2 \left(\frac{M_a}{M_\odot} \right)^2 \left(\frac{\dot{M}}{M_\odot \text{ yr}^{-1}} \right)^{-1} L_\odot. \quad (4)$$

Ejemplos:

- ★ Para la radio galaxia M87 $L_s \approx 10^{10} L_\odot$
con $M_a \approx 2.5 \times 10^9 M_\odot$, $B \approx 100 \text{ G}$ y $\dot{M} \approx 4 M_\odot \text{ yr}^{-1}$
- ★ Para el microcuasar GRS 1915+105 $L_s \approx 10^2 L_\odot$
con $M_a \approx 16 M_\odot$, $B \approx 100 \text{ G}$ y $\dot{M} \approx 4.8 \times 10^{-8} M_\odot \text{ yr}^{-1}$
- ★ Predicción para un GRB típico $L_s \approx 10^{20} L_\odot$
con $M_a \approx 5 M_\odot$, $B \approx 10^{13} \text{ G}$ y $\dot{M} \approx 1 M_\odot \text{ s}^{-1}$

4. Conclusiones

Nuestras relaciones de escala hidrodinámicas para jets astrofísicos son:

$$\tau \propto \frac{M_a}{\dot{M}},$$

$$r_j \approx 100 \left(\frac{M_a}{M_\odot} \right)^{1/3} \left(\frac{B}{1 \text{ G}} \right)^{-2/3} \text{ pc},$$

$$B \ll 10^{23} (M_a/M_\odot)^{-1} \text{ G},$$

$$L_s \approx 10^{-12} \left(\frac{B}{1 \text{ G}} \right)^2 \left(\frac{M_a}{M_\odot} \right)^2 \left(\frac{\dot{M}}{M_\odot \text{ yr}^{-1}} \right)^{-1} L_\odot.$$

5. Agradecimientos

Gracias a mi director de tesis Sergio Mendoza por su apoyo y paciencia.