Masas y tamaños de agujeros negros

Agujero negro de Schwarzschild

Este tipo de agujero negro está en reposo y sin movimiento de rotación. El radio de Schwarzschild viene dado por

$$r_S = \frac{2GM}{c^2} \tag{1}$$

donde G es la constante de gravitación universal, M las masa del agujero negro y c la velocidad de la luz.

Si el disco de acreción rota alrededor del agujero negro, el radio de la **órbita estable** es algo mayor,

$$r^S_{Est} = \frac{6GM}{c^2} \tag{2}$$

Agujero negro de Kerr

Si el agujero negro tiene una velocidad de rotación se denomina agujero negro de Kerr, y en tal caso el radio de las órbitas estables viene dado por

$$r^K_{Est} = \frac{GM}{c^2}\left(1 + \sqrt{1 - a^2}\right) \tag{3}$$

donde a es el momento angular normalizado. En la fórmula 3, el caso límite se da cuando $a = 1$, con lo que el radio de las órbitas estables es ahora

$$r^K_{Est} = \frac{GM}{c^2} \tag{4}$$

Vamos a aplicar estos valores a nuestros resultados de las curvas de variabilidad del objeto BL Lac 1ES 1959+650. De las curvas de luz se ve que el periodo de oscilación que podemos asumir como el periodo de rotación del disco de acreción debido las variaciones de brillo resulta ser de $P = 3,6$ h, o lo que es lo mismo $P = 12\,960$ s.

Si suponemos que el movimiento es circular, la velocidad de la masa que llega al borde de la región de estabilidad podemos tomarla como la velocidad de la luz, con lo que

$$P = \frac{2\pi r_{Est}}{c} \tag{5}$$

Si de la ecuación 5 despejamos r_{Est} y lo sustituimos en la 2 y consideramos el corrimiento al rojo, la masa del agujero negro de Schwarzschild es

$$M^S_{BH} = \frac{Pc^3}{12\pi G(1+z)} \tag{6}$$

y en el caso límite del agujero negro de Kerr

$$M_{BH}^{K} = \frac{Pc^3}{2\pi G(1+z)} \tag{7}$$

donde z es el corrimiento al rojo, que para el objeto 1ES 1959+650 es $z = 0,047$. Si sustituimos todos los valores en las expresiones 6 y 7, las masas del agujero negro, ya sea de Schwarzschild o de Kerr, en unidades de masas solares, son respectivamente,

$$M_{BH}^{S} \simeq 7 \times 10^7 \ M_{\odot} \tag{8}$$

$$M_{BH}^{K} \simeq 4,1 \times 10^8 \ M_{\odot} \tag{9}$$

es decir del orden de 70 millones de masas solares si es un agujero negro sin rotación, o de 410 millones de masas solares si es un agujero negro de Kerr.

El radio de la órbita estable en ambos casos sería $r_{Est} = \dfrac{Pc}{2\pi} \simeq 890 \ R_{\odot}$

Los radios de Schwarzschild del agujero negro para cada caso serían, aplicando la fórmula 1

$$r_S = \frac{2GM_{BH}^{S}}{c^2} \simeq 297 \ R_{\odot} \tag{10}$$

$$r_K = \frac{2GM_{BH}^{K}}{c^2} \simeq 1780 \ R_{\odot} \tag{11}$$

Con este modelo se pretende hacer una estimación del orden de magnitud de los tamaños y masas de los agujeros supermasivos en los objetos BL Lac.