



Componentes de AGNs

2da clase



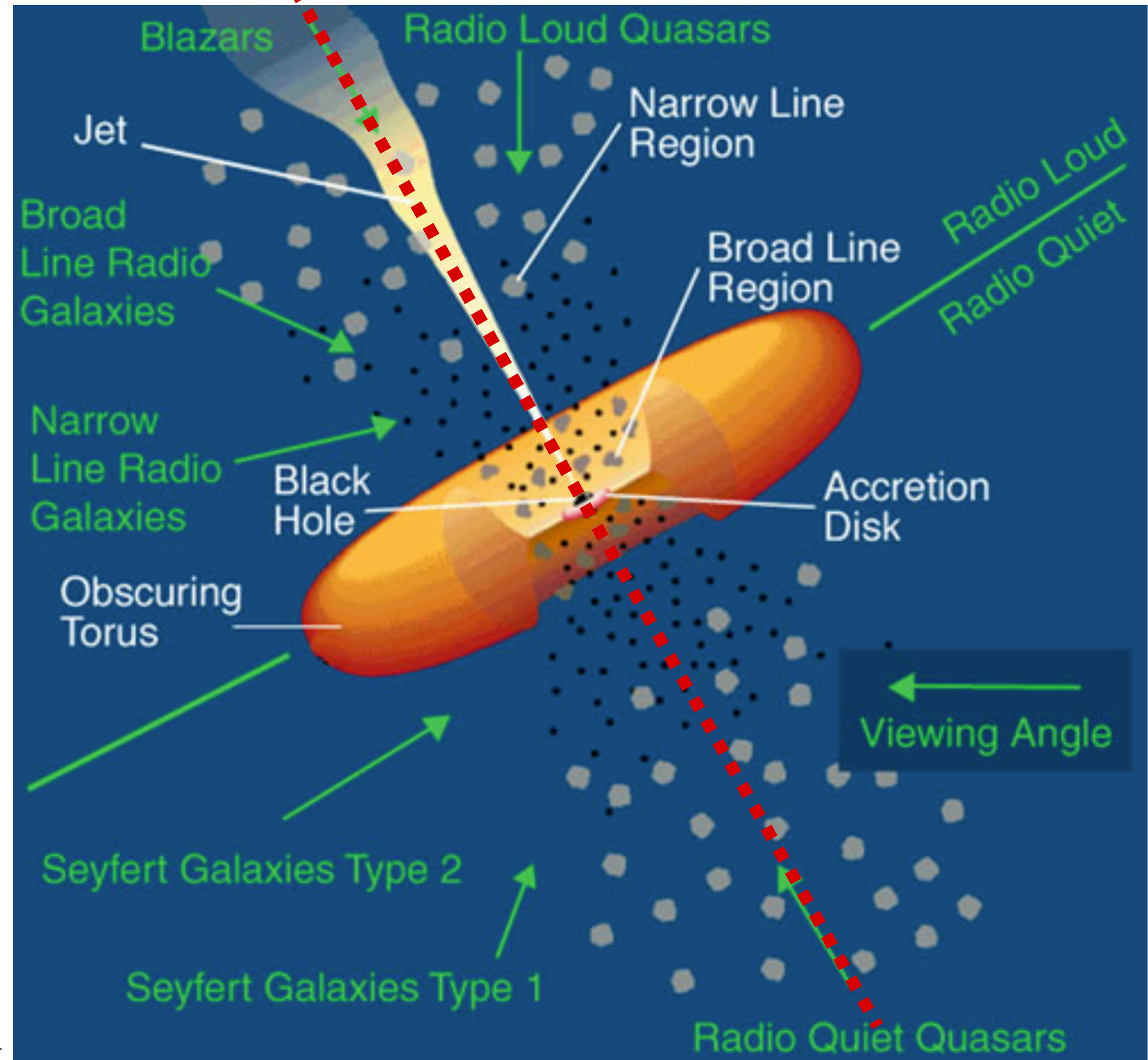
Mabel Osorio. Nov 20, 2024

Contenido

- Agujero Negro
- Disco de Acreción
- Toroide
- BLR y NLR
- JETS
 - Variabilidad
 - Superluminosidad
 - Beaming relativista

Modelo de unificación de AGNs

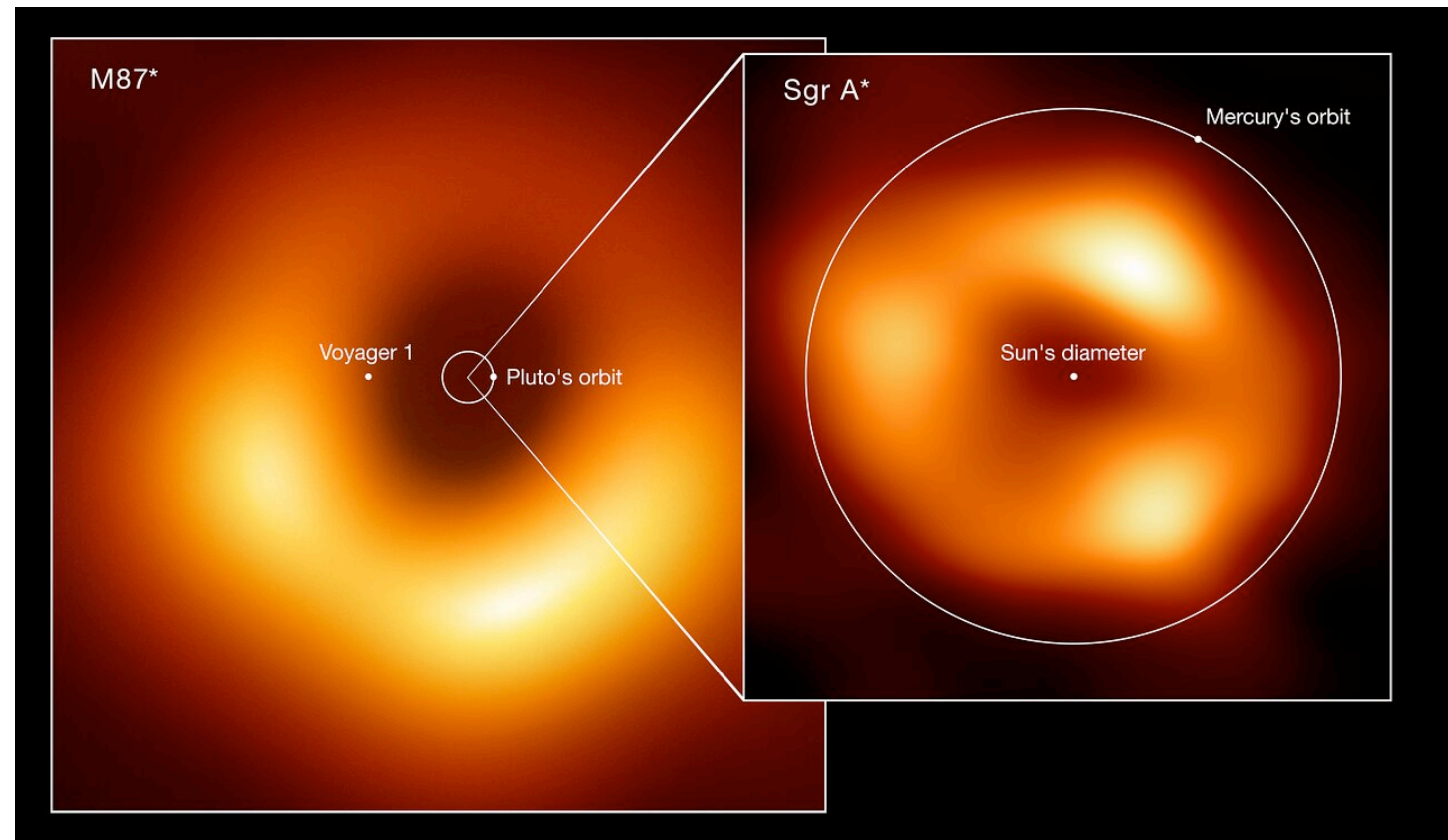
- Agujero negro supermasivo (SMBH)
- Disco de acreción
- Toroide de polvo
- Región de Líneas Anchas
- Región de Líneas Delgadas
- Jet



Agujero Negro Supermasivo

Motor central de los AGNs

- Convierte la energía potencial gravitacional de la materia acretada en radiación y flujo de partículas.
- Masas entre $10^6 - 10^{10} M_{\odot}$. La Vía Láctea tiene un agujero negro de masa $\sim 10^6 M_{\odot}$.
- Tamaño entre $10^{-7} - 10^{-3}$ parsecs³



Comparación del tamaño del BH de M87 y de Sgr A* en el centro de la Vía Láctea. Imagen de la colaboración EHT

Disco de acreción

- Gas, polvo y hasta estrellas de la galaxia son atraídas por el campo gravitacional extremo del SMBH.
- A medida que la materia se acerca al horizonte de eventos, empieza a acelerar y a rotar debido a la conservación de momento angular. Se forma un disco plano perpendicular al eje de rotación del SMBH.
- A medida que la materia se mueve hacia dentro, fricción y fuerzas gravitacionales causan que esta se caliente y que emita radiación térmica, generalmente en UV y rayos X.
- Dimensiones entre 10^{-7} y 1 pc.



Imagen descriptiva

Toroide

- Es una distribución de gas y polvo. Su tamaño es entre 1 a 10 parsecs.
- Rodea al disco de acreción y a la región de líneas anchas.
- Oscurece la región central. Esto es lo que genera que existan tipo I y tipo II en AGNs.
- Emite en la banda del Infrarrojo.
- La emisión del centro puede ser reflejada, transmitida o dispersada.

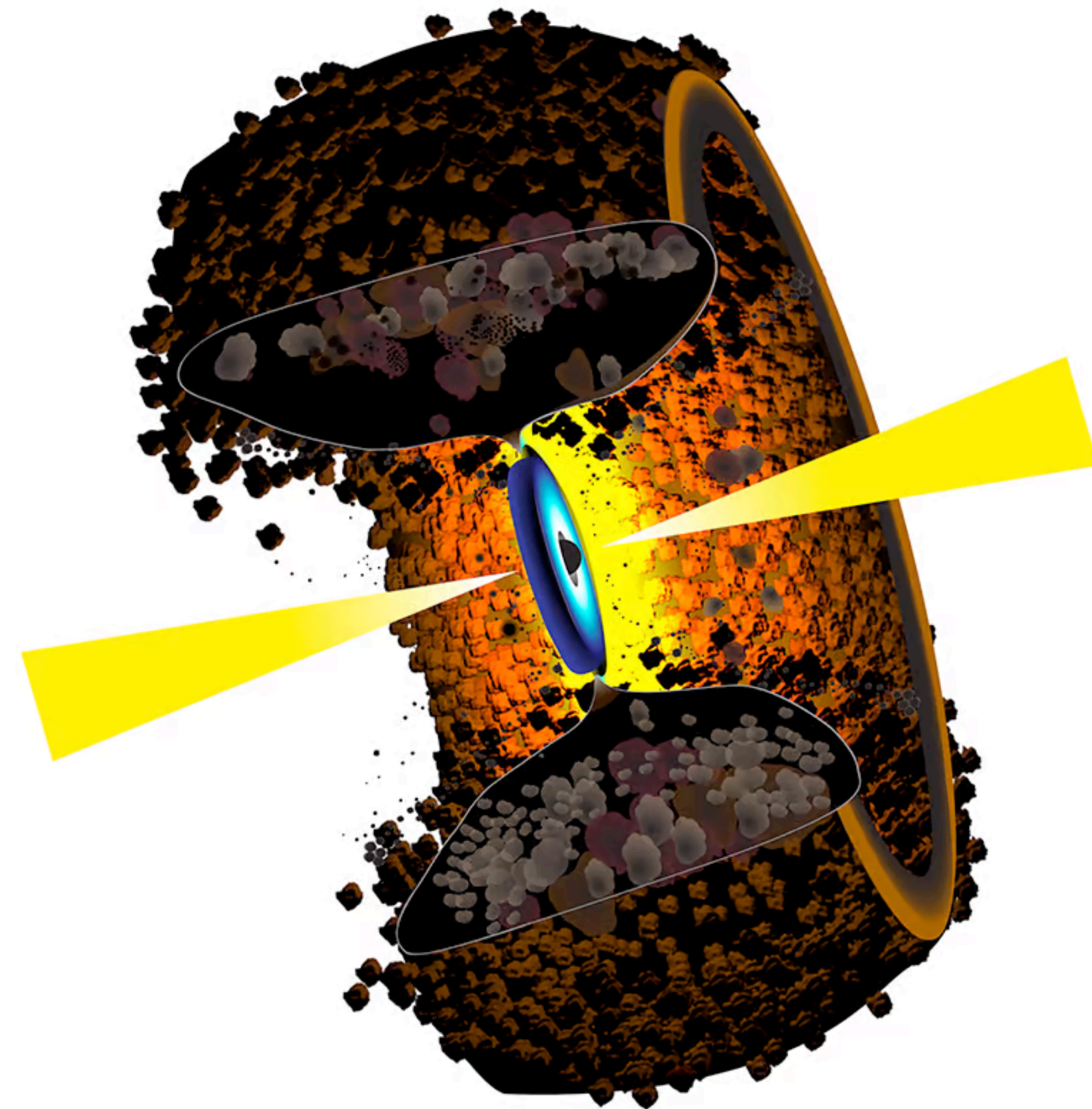
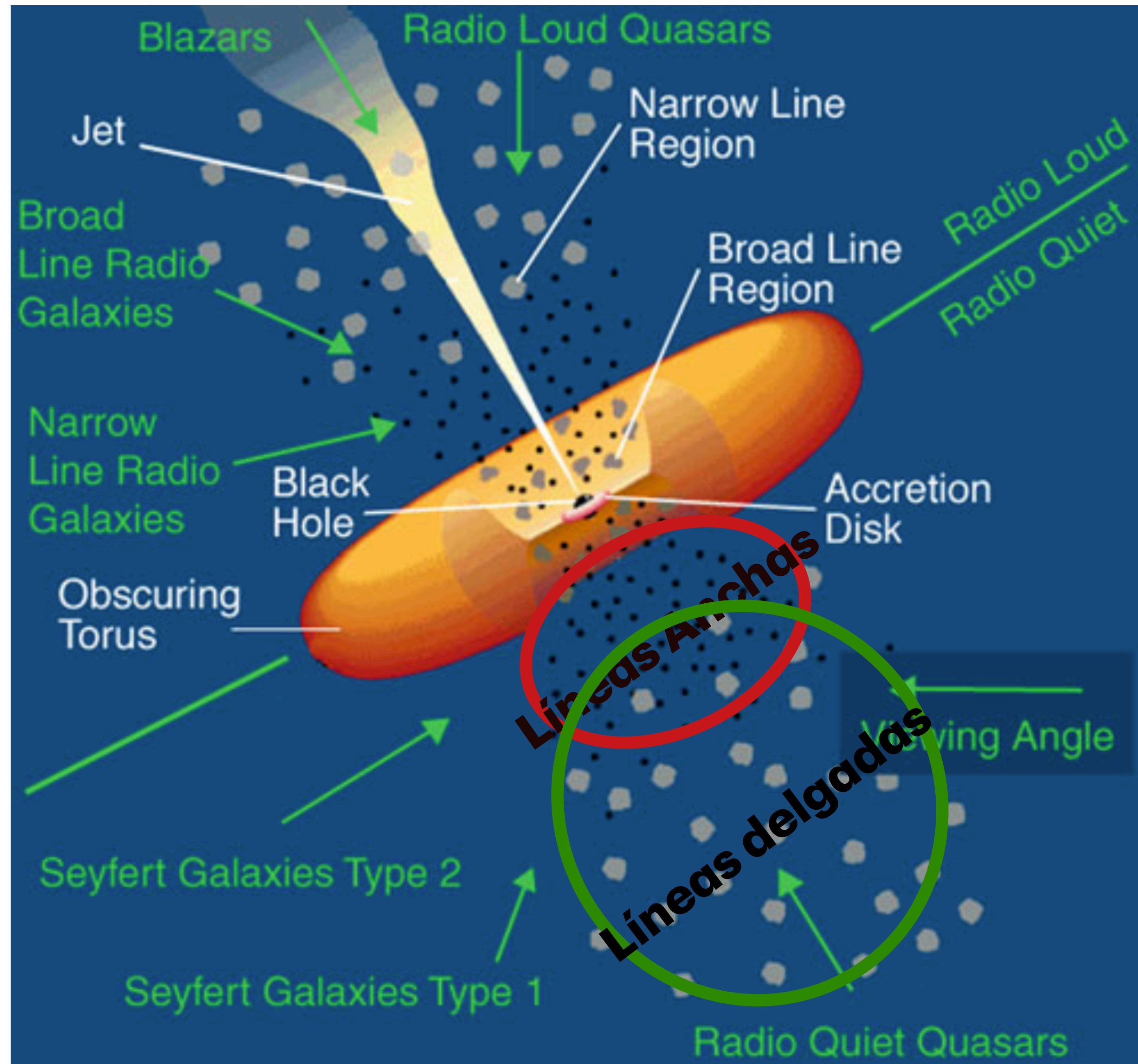


Imagen de un toroide, NRAO/AUI/NSF

Regiones de Líneas Anchas y Delgadas



- Nubes moleculares distribuidas en los alrededores del centro.
- Las nubes más cercanas al centro se mueven a velocidades $\sim 1000 \text{ km s}^{-1}$, son las regiones de líneas anchas (BLR)
- Las nubes alejadas del centro se mueven a velocidades $\sim 10 \text{ km s}^{-1}$, son las regiones de líneas delgadas (NLR).

Jet

- Jets o chorros que se emanan a un ángulo de 90 grados del plano del disco de acreción.
- Tamaños entre 10^{-7} a 10^6 parsecs.
- Están compuestos de un campo magnético y de partículas con velocidades relativistas y emiten fotones de hasta TeV (10^{12} eV).
- Para los AGNs con jet como las radiogalaxias, cuasares y blazares, el chorro juega un papel muy importante en la emisión que se estudia.
- Algunas de las propiedades de los chorros son: emisión en todas las longitudes de onda del espectro electromagnético, alta variabilidad de flujo y observación de efectos relativistas

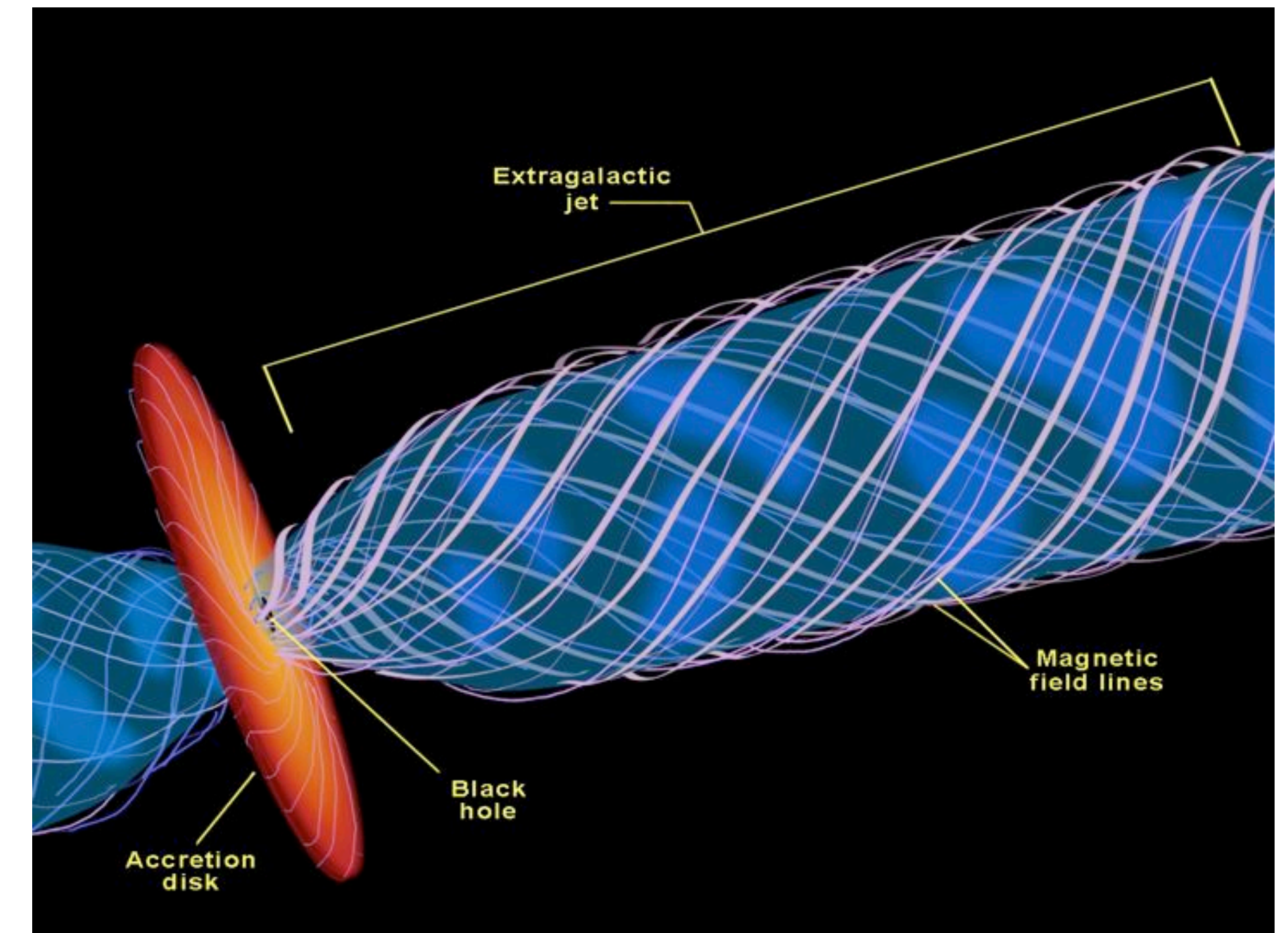


Imagen descriptiva

Jet

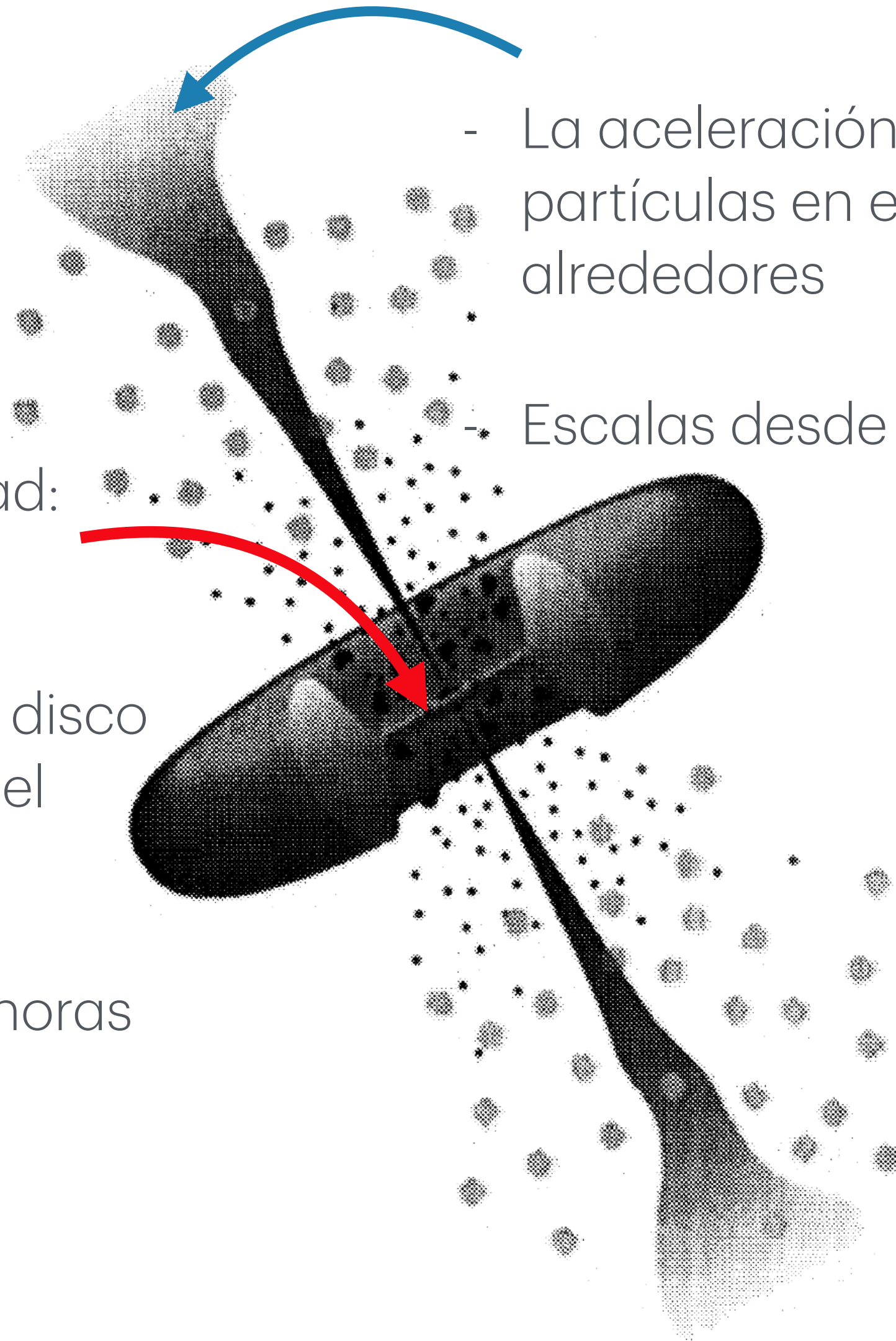
Variabilidad

Variabilidad más larga:

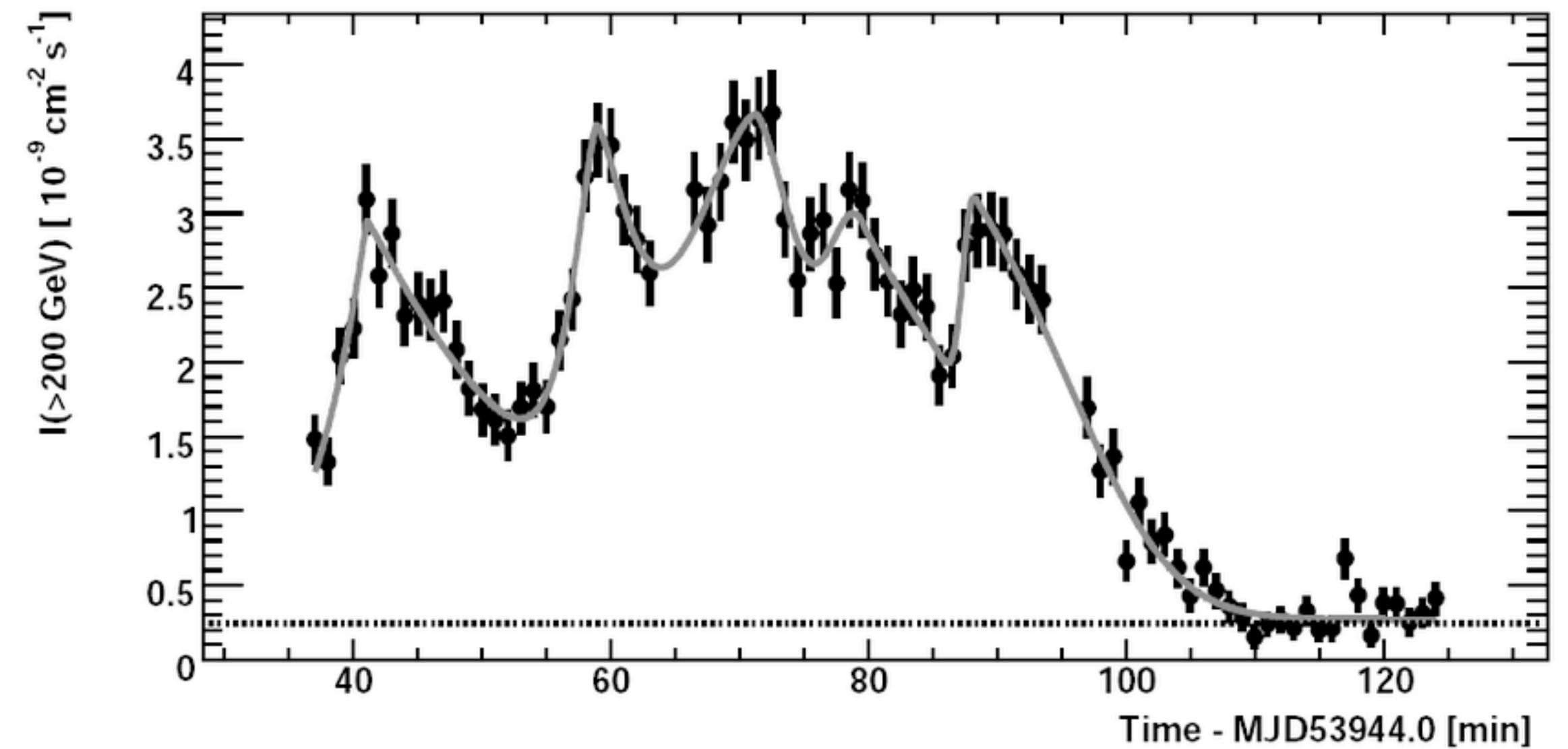
- La aceleración y enfriamiento de las partículas en el chorro o en los alrededores
- Escalas desde meses hasta horas.

Rápida variabilidad:

- La acreción y eyección por el disco de acreción y del Agujero Negro.
- Escalas desde horas hasta minutos



Urry & Padovani, 1995

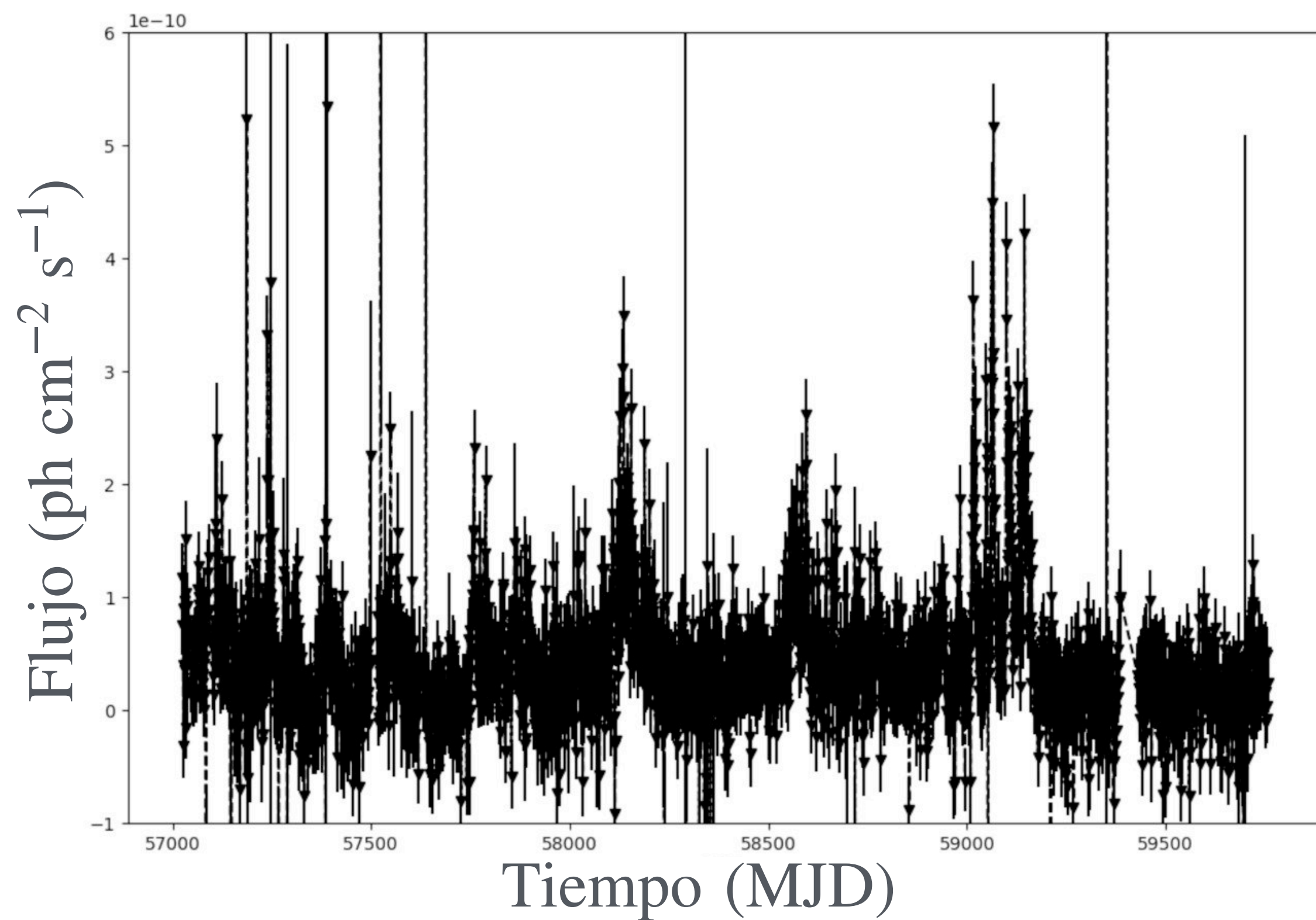


Curva de luz de PKS 2155-304 observada con HESS. Variabilidad observada de 2 min, Aharonian et al. (2007)

Jet

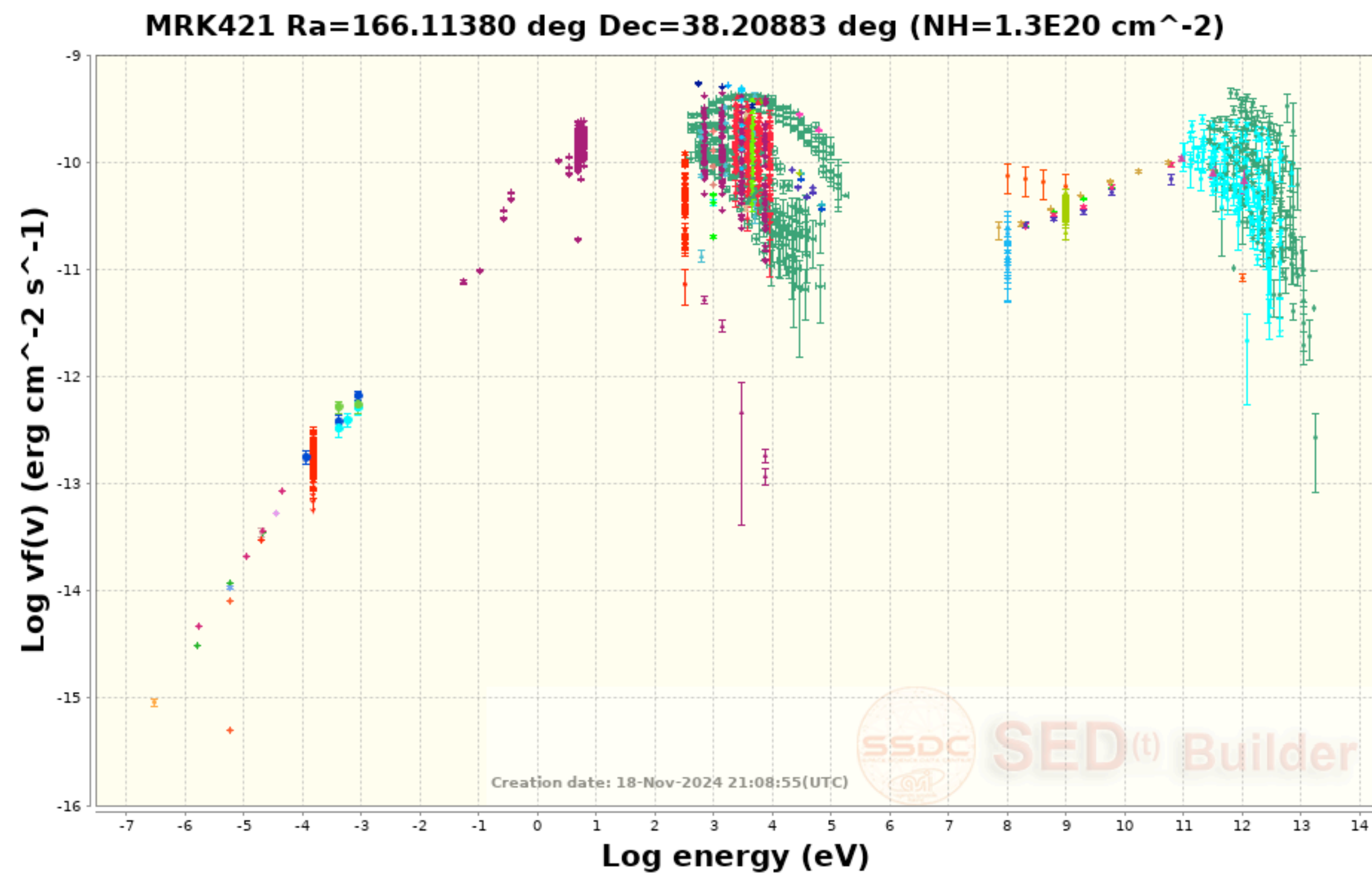
Variabilidad de Mrk 421

Tiempo



Curva de luz de 7 años del blazar Mrk 421 observada HAWC.

Energía

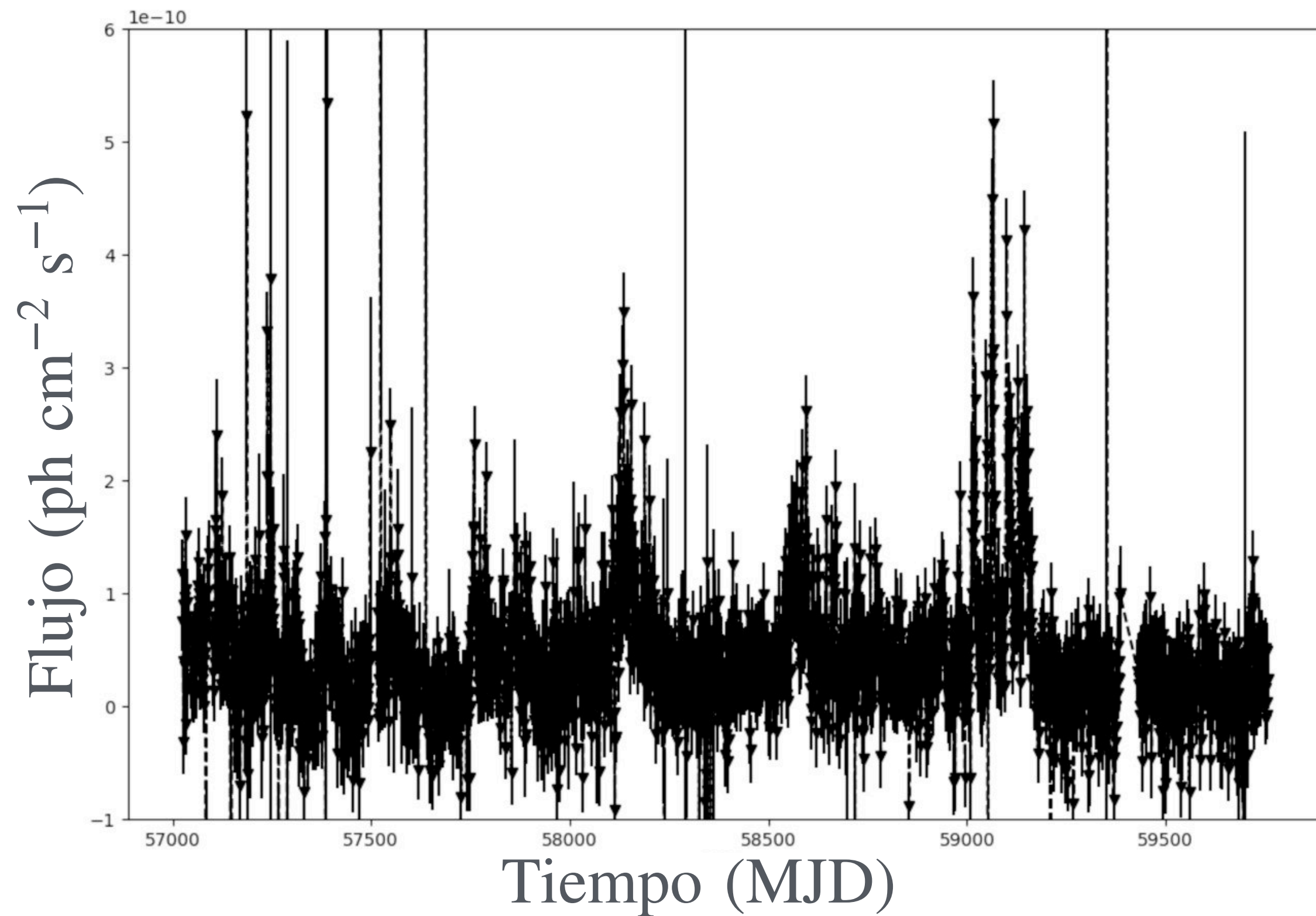


Distribución espectral de energía de Mrk 421.
SED Builder

Jet

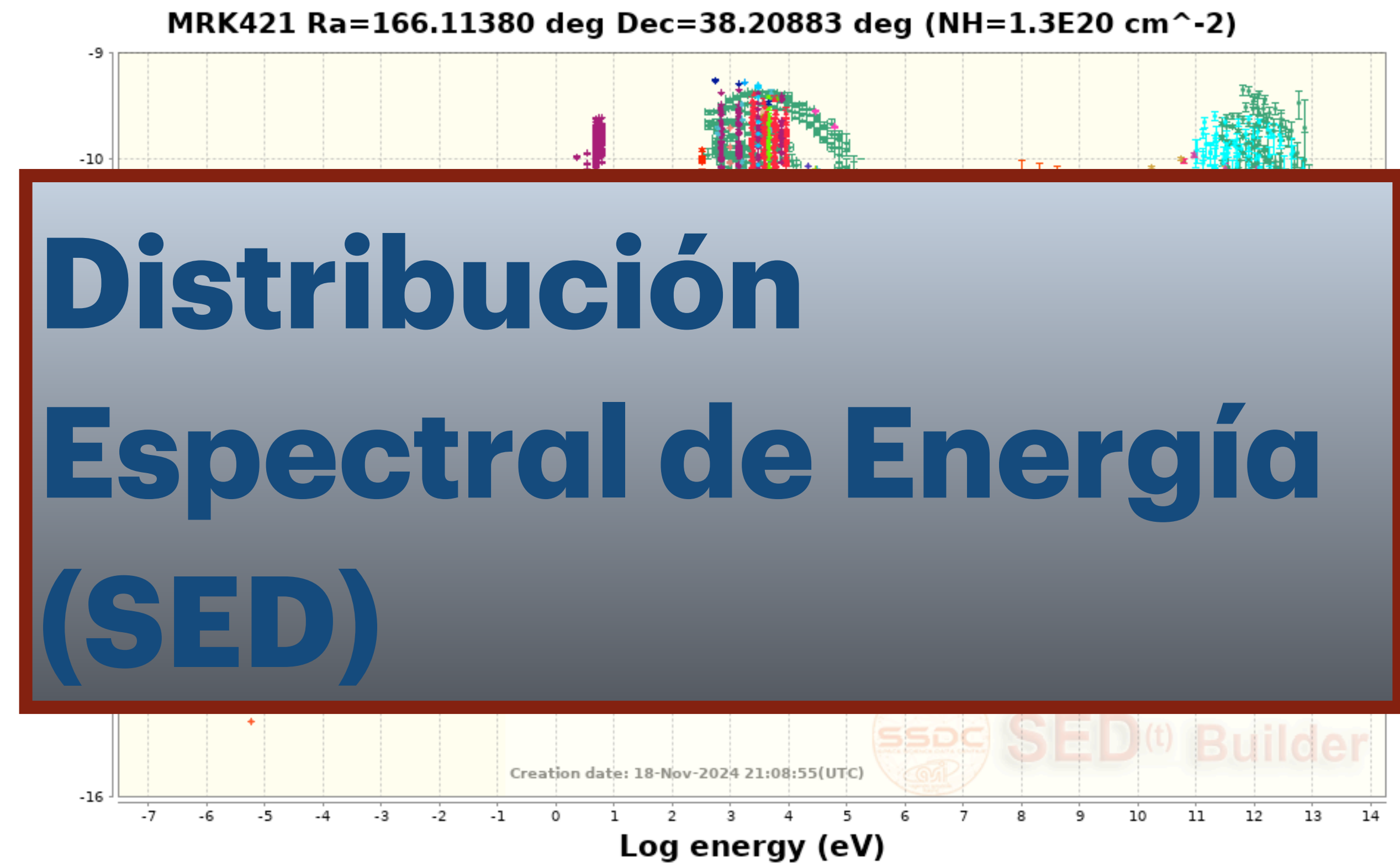
Variabilidad de Mrk 421

Tiempo



Curva de luz de 7 años del blazar Mrk 421 observada HAWC.

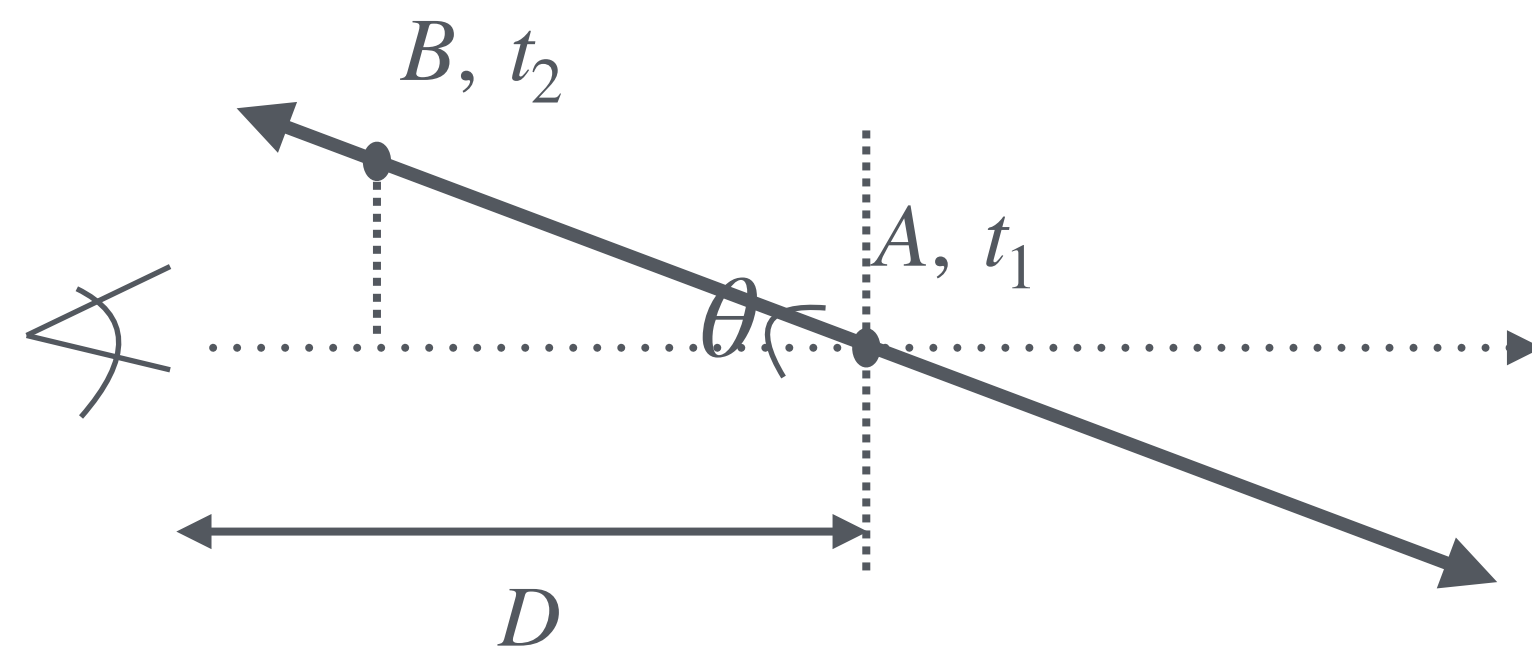
Energía



Distribución espectral de energía de Mrk 421.
SED Builder

Variabilidad para el observador:

- Variabilidad es el cambio de flujo en **tiempo**.
- Partimos de la Dilatación temporal de la relatividad espacial $\Delta t = \gamma \Delta t'$. Pero también tenemos que considerar el tiempo que le toma a los fotos desde que se emiten hasta que llegan al observador. Sabemos que $\Delta t = t_2 - t_1$ donde t_2 y t_1 son los tiempos en los que los fotones son emitidos en los puntos B y A , respectivamente.



$$t_2 = \gamma t'_2$$

$$t_1 = \gamma t'_1 + \frac{v \cos \theta}{c} \gamma \Delta t'$$

Variabilidad para el observador:

- Por lo que el intervalo de tiempo Δt (en el marco del observador $\mathcal{O}$) es:

$$\Delta t = \gamma \Delta t' (1 - \beta \cos \theta)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\Gamma}$$

El signo depende de la dirección de la velocidad.

$$\Gamma_{\pm} = \frac{1}{\gamma(1 \pm \beta \cos \theta)}$$

⚠ Para un jet que se dirige al observador, $\Gamma > 1$, $\Delta t < \Delta t'$,
Es decir, la escala de variabilidad es más corto para el observador en la Tierra que para un observador en el jet.

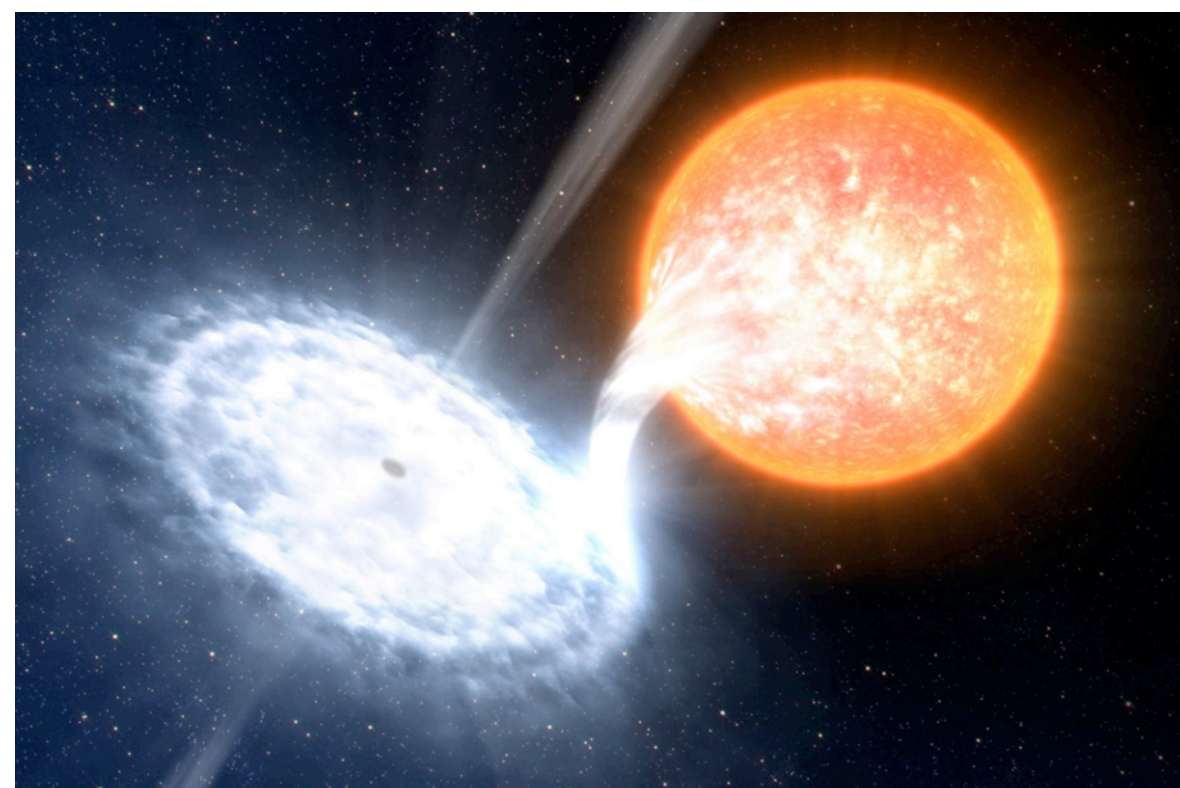
Factor de Doppler

- Para una fuente que se aleja, $\Gamma_+ < 1$
- Para una fuente que se acerca $\Gamma_- > 1$

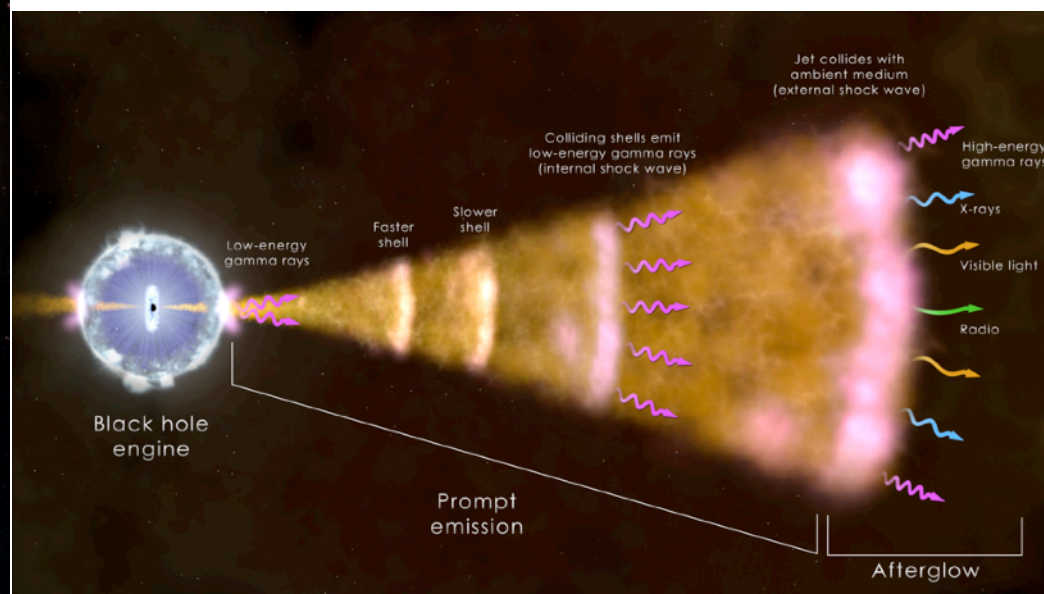
Jet

Superluminosidad

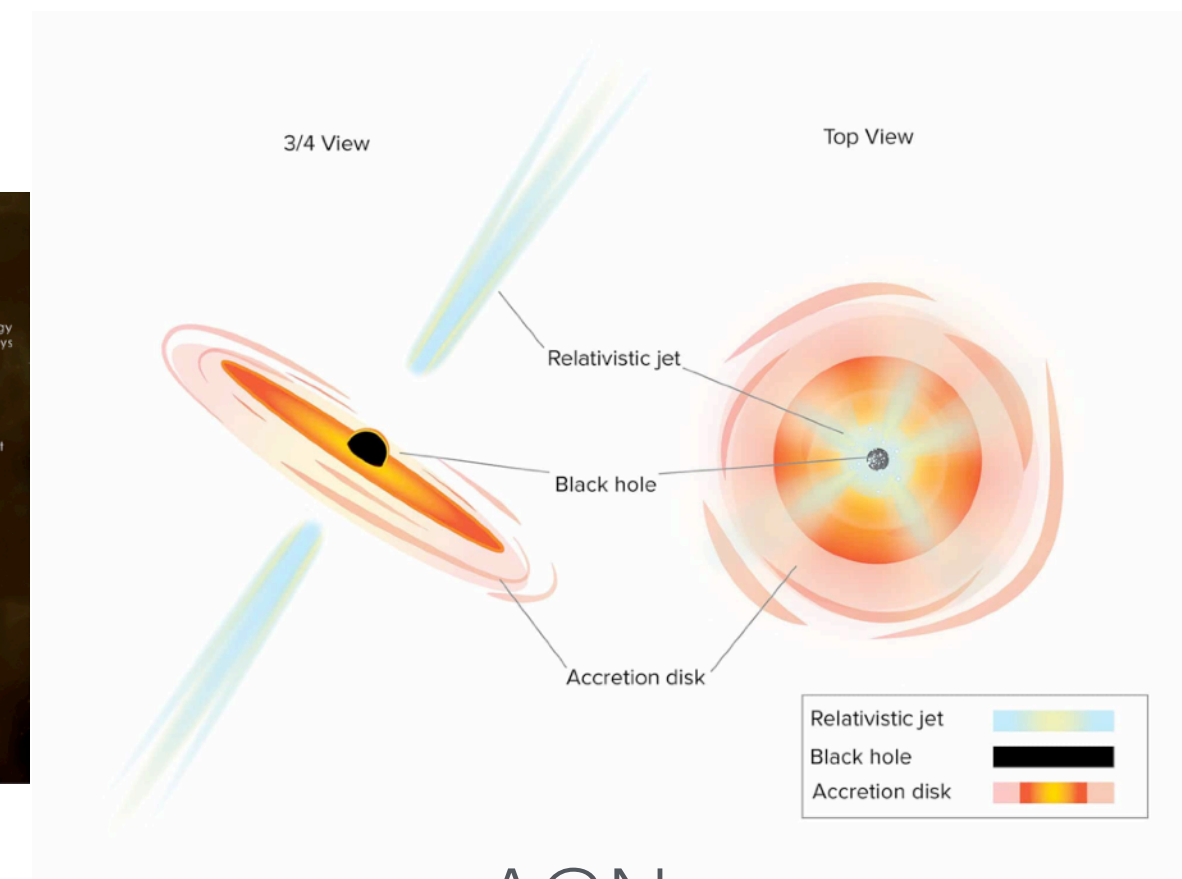
- Predicho en 1966. Es un efecto aparente en el que un observador en un marco de referencia en reposo mide que el jet que se dirige hacia él, tiene una velocidad transversal mayor a la velocidad de la luz.
- Este es un efecto totalmente clásico, se da por la geometría del objeto.
- Se encuentra superluminosidad en objetos que expulsan materia en forma de jets como sistemas protoestelares, púlsares, microcuasares, GRBs y algunos tipos de AGNs como blazares.



Microcuasares



GRBs

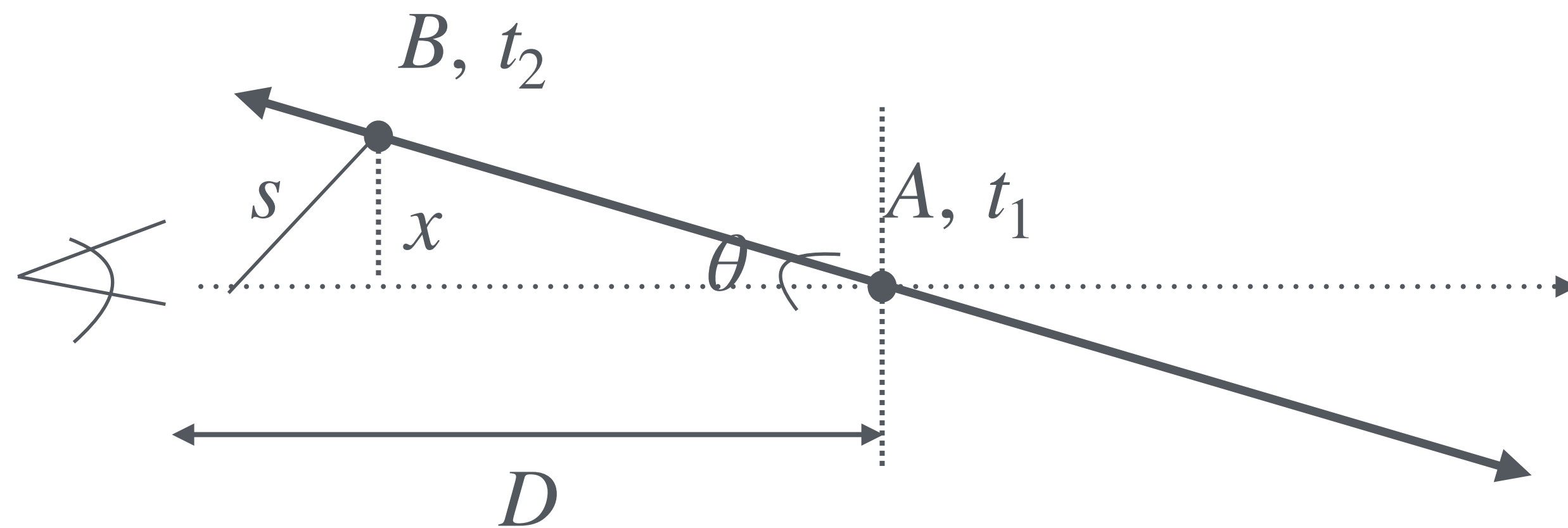


AGNs

Jet

Superluminosidad

- El efecto se da por el tiempo en que tarda el fotón desde que se crea (t), hasta que se mide por el observador (T)



$$t_2 = t_1 + \Delta t$$

$$T_1 = t_1 + \frac{D}{c} \quad T_2 = t_2 + \frac{D}{c}$$

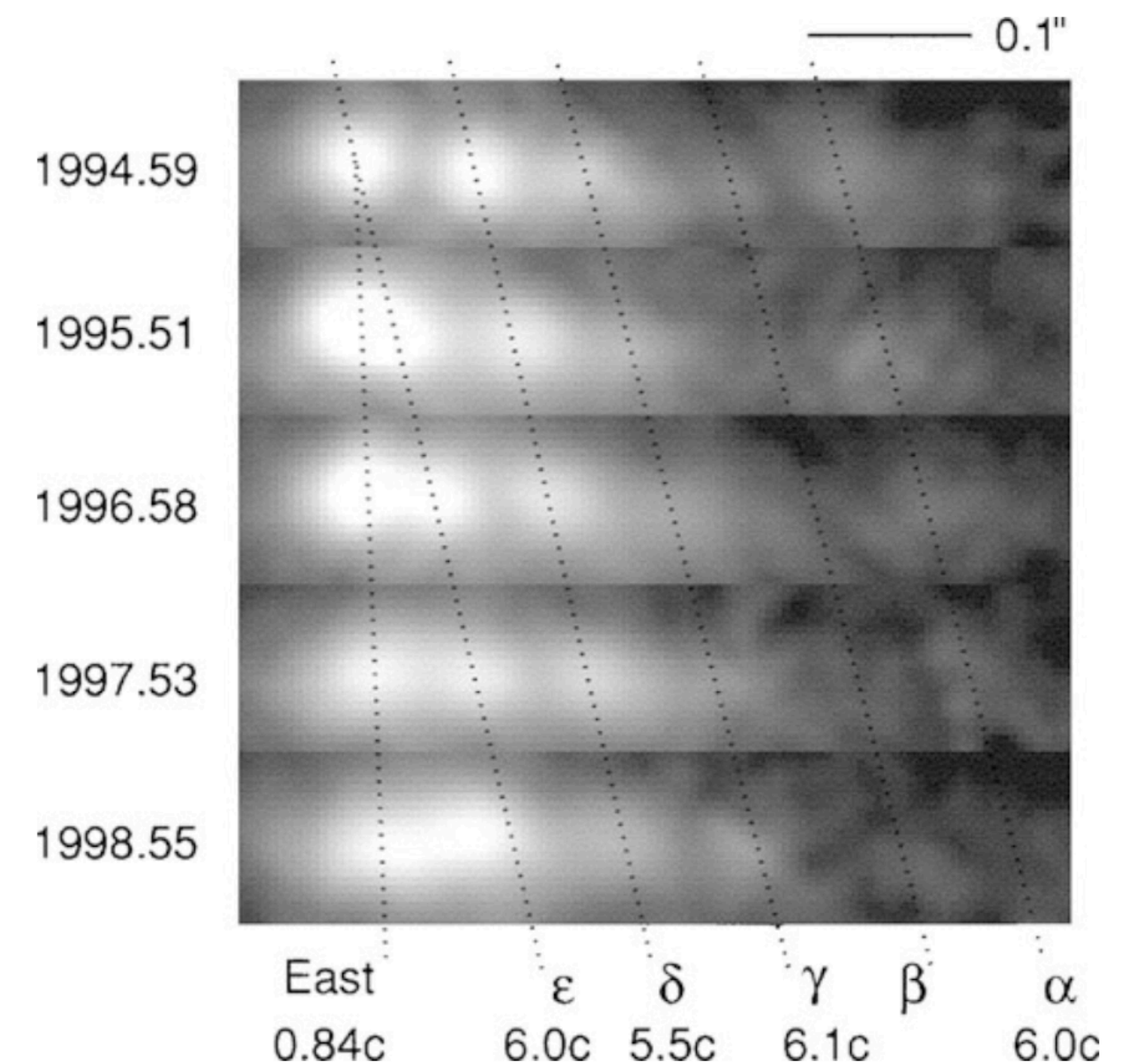


Imagen del jet de M87 en óptico mostrando movimiento superluminal J.A. Biretta et al. 1999, ApJ 520, 621, p. 623, Fig. 2.

Superluminosidad

$$\Delta T = \Delta t + \frac{D - s}{c}$$

$$s = x^2 + (D - v\Delta t \cos\theta)^2$$

$$D \gg x$$

$$\Rightarrow s \approx D - v\Delta t \cos\theta$$

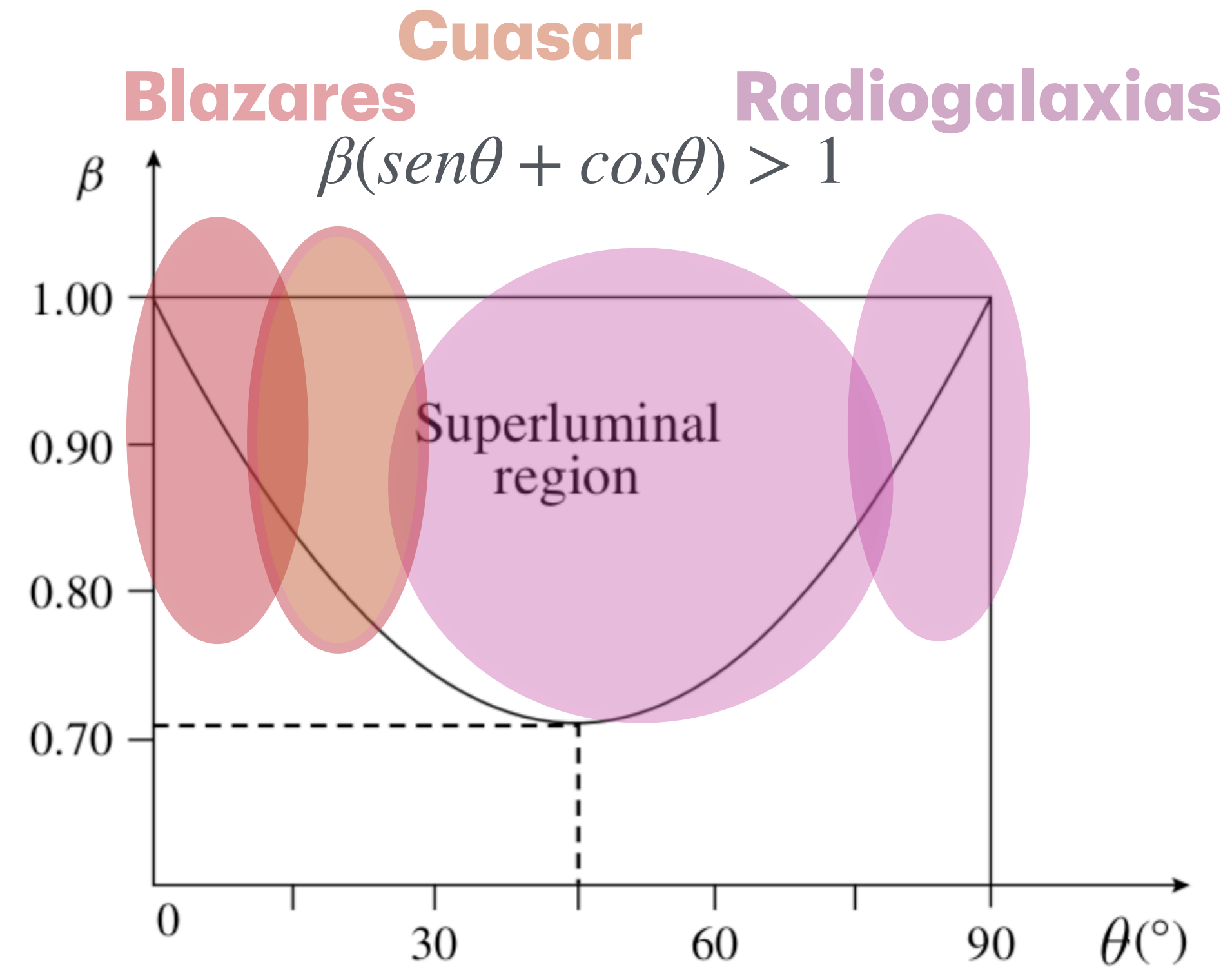
$$\Rightarrow \Delta T \approx \Delta t \left(1 + \frac{v \cos\theta}{c}\right)$$

$$\Delta T \approx \Delta t(1 \pm \beta \cos\theta)$$

$$\Delta T \approx \Delta t(1 - \beta \cos\theta)$$

$$\frac{v_t}{c} = \frac{x}{\Delta T c} = \frac{v \Delta t \sin\theta}{\Delta t(1 - \beta \cos\theta)c}$$

$$\beta_t = \frac{\beta \sin\theta}{1 - \beta \cos\theta}$$



DF Falla and MJ Floyd. European journal of physics, 23(1):69, 2001

Ejercicio:

¿Cuál es la velocidad transversal de un jet que se mueve a una velocidad de $0.99c$ con un ángulo $\theta = 10^\circ$?

Crisis de Doppler

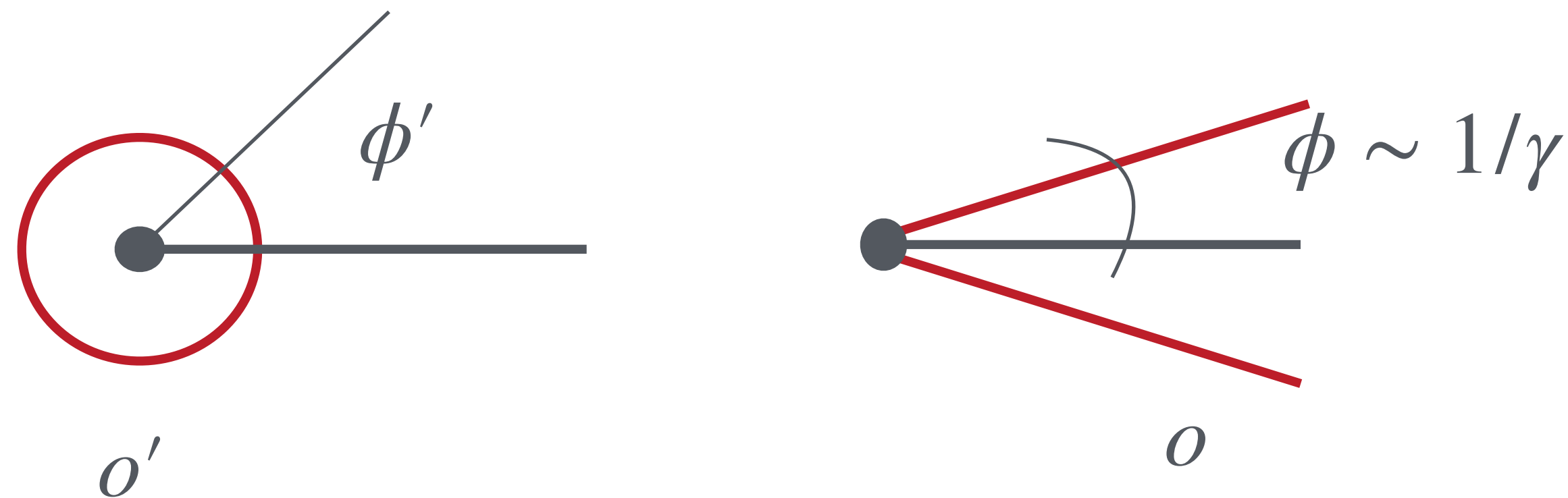
Discrepancia entre observaciones de rayos gamma y radio para AGNs.

- En observaciones de rayos gamma en blazares se detecta una velocidad superluminal de hasta $v \sim 10 c$, y valores de factor de Doppler de $\Gamma = 10 - 40$.
- Mientras que en observaciones en radio con el VLBA no se detectan velocidades superlumínicas y se infieren factores de Doppler más pequeños.
- Soluciones propuestas:
 - Jet compuesto de múltiples “blobs”
 - Desaceleración del Jet entre bandas de rayos gamma y radio
 - El jet con estructura transversal: un jet central rápido y una capa más lenta a su alrededor.

Jet

Beaming relativista o Efecto faro

- Fenómeno que ocurre en el marco de referencia del observador cuando una fuente se mueve a velocidades relativistas. Afecta a la geometría de la fuente, a la frecuencia electromagnética observada y a la escala de variabilidad.
- El Beaming relativista describe el incremento en gran medida de la intensidad de flujo para el observador.
- Aberración relativista:



Beaming relativista o efecto faro

Factor de Doppler y escala de variabilidad:

$$\Gamma_{\pm} = \frac{1}{\gamma(1 \pm \beta \cos \theta)} \quad \Delta t = \frac{\Delta t'}{\Gamma}$$

Cambio de la frecuencia de radiación:

$$\nu = \Gamma \nu'$$

Para obtener el beaming relativista partimos de:

$$\frac{I_{\nu}}{\nu^3} = \frac{I'_{\nu'}}{\nu'^3}$$

$$\frac{I_\nu}{\nu^3} = \frac{I'_{\nu'}}{\nu'^3}$$

$$I_\nu = I'_{\nu'} \left(\frac{\nu}{\nu'} \right)^3$$

$$I_\nu = I'_{\nu'} \Gamma^3$$

Asumimos que la emisión del chorro se modela con una ley de potencias:

$$I'_{\nu'} = C \nu'^{-\alpha}$$

$$\Rightarrow I_\nu = I'_{\nu'} \Gamma^{\alpha+3}$$

Los valores de Γ dependen del tipo de AGN. Para blazares de tipo FSRQ, $10 \leq \Gamma \leq 50$, y para BL Lacs $5 \leq \Gamma \leq 15$.