



Microcuásares

Instituto de Astronomía, UNAM

Erick Alejandro Rangel

Clasificación de LMXBs

Clasificación por configuración del sistema:

- LMXBs con estrella de MS o Gigante roja.
- Sistemas Binarios de Rayos X Ultra-Compactos (UCXBs)
- LMXBs Eclipsantes
- LMXBs Alimentados por Viento
- Acreción Canalizada Magnéticamente en LMXBs

Clasificación de HMXBs

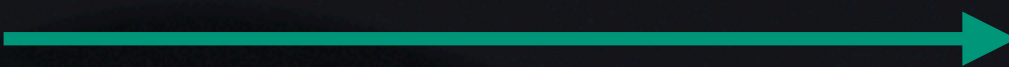
La mayoría de los objetos compactos aciertan material por vientos en los HMXBs, se clasifican por:

- Tipo espectral de estrella compañera:
 - Supergigantes (Sg XBs).
 - Estrellas Be (Be XBs).
 - Estrellas Wolf-Rayet
 - Binarias de rayos gamma
 - Ultraluminosos de rayos X (ULXs)
- Tipo de objeto compacto

HMXBs en rayos gamma

Clasificación de HMXBs

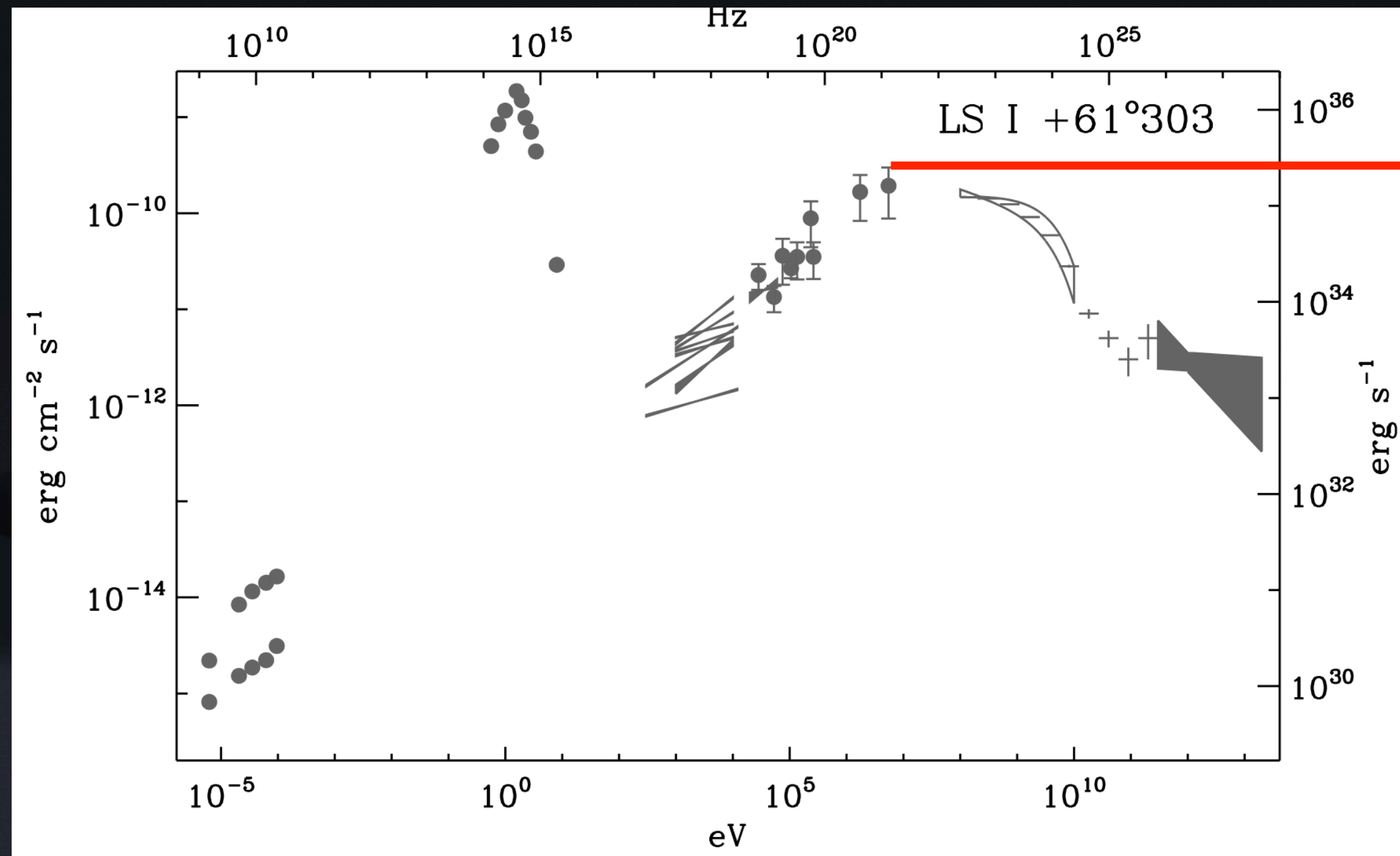
Binarios de rayos Gamma

- Emiten más energía por encima de $> 1\text{MeV}$ que en rayos X.
- Emisión proviene de partículas no térmicas.
- Aceleración de partículas  radiación
- La mayoría son alimentados por rotación y no por acreción.
- Posible vínculo evolutivo con los HMXBs.

Clasificación de HMXBs

Binarios de rayos Gamma

- La emisión va desde el radio hasta energías de TeV



Pico $\sim 10 \text{ MeV}$

Clasificación de HMXBs

Binarios de rayos Gamma

- PSR B1259-63 y PSR J2032+4127, albergan púlsares de radio con períodos de pulsos de 48 ms y 143 ms.
- Alimentados por rotación: combinación de su rápida rotación y alto campo magnético ($10^{12}G$)

- 
- Genera un viento relativista
 - La energía se extrae de la rotación
 - Partículas relativistas.

Clasificación de HMXBs

Binarios de rayos Gamma

- PSR B1259-63 y PSR J2032+4127, albergan púlsares de radio con períodos de pulsos de 48 ms y 143 ms.
- Alimentados por rotación: combinación de su rápida rotación y alto campo magnético ($10^{12}G$)

• Vientos Relativistas

- Radiación pulsada desde radio a rayos gamma en las cercanías de la NS.
- Interacción de vientos con MI, se tiene la PWN.

Clasificación de HMXBs

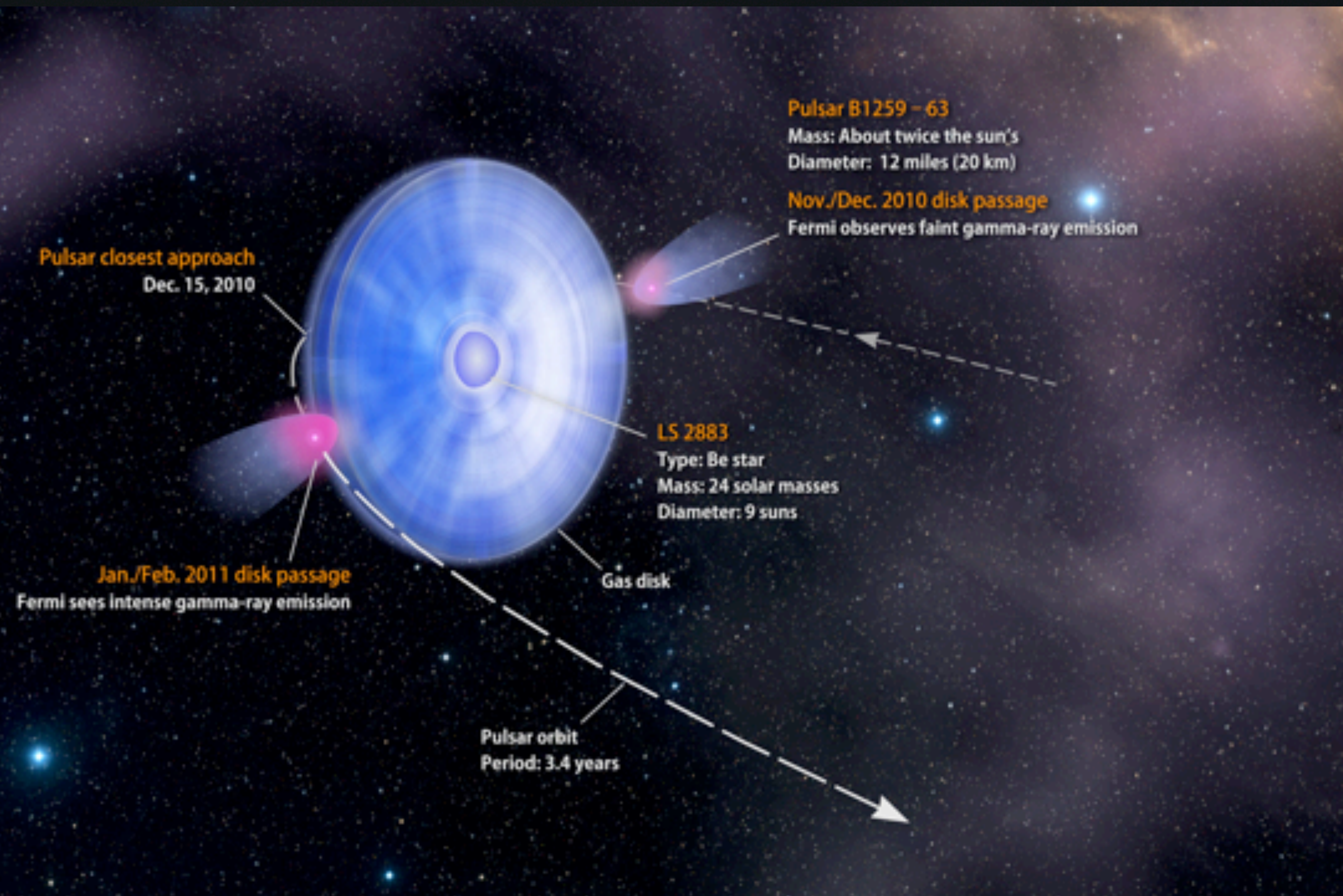
Binarios de rayos Gamma

- Se cree que todos podrían estar alimentados por rotación.
- Fase entre el nacimiento de la NS y una fase de HMXBs, la cual comienza con la acreción.
- Se han interpretado como microcuásares
 - Radiación por partículas aceleradas en chorros relativistas.
 - Se apoya si tuviera un BH como motor central

Clasificación de HMXBs

Binarios de rayos Gamma

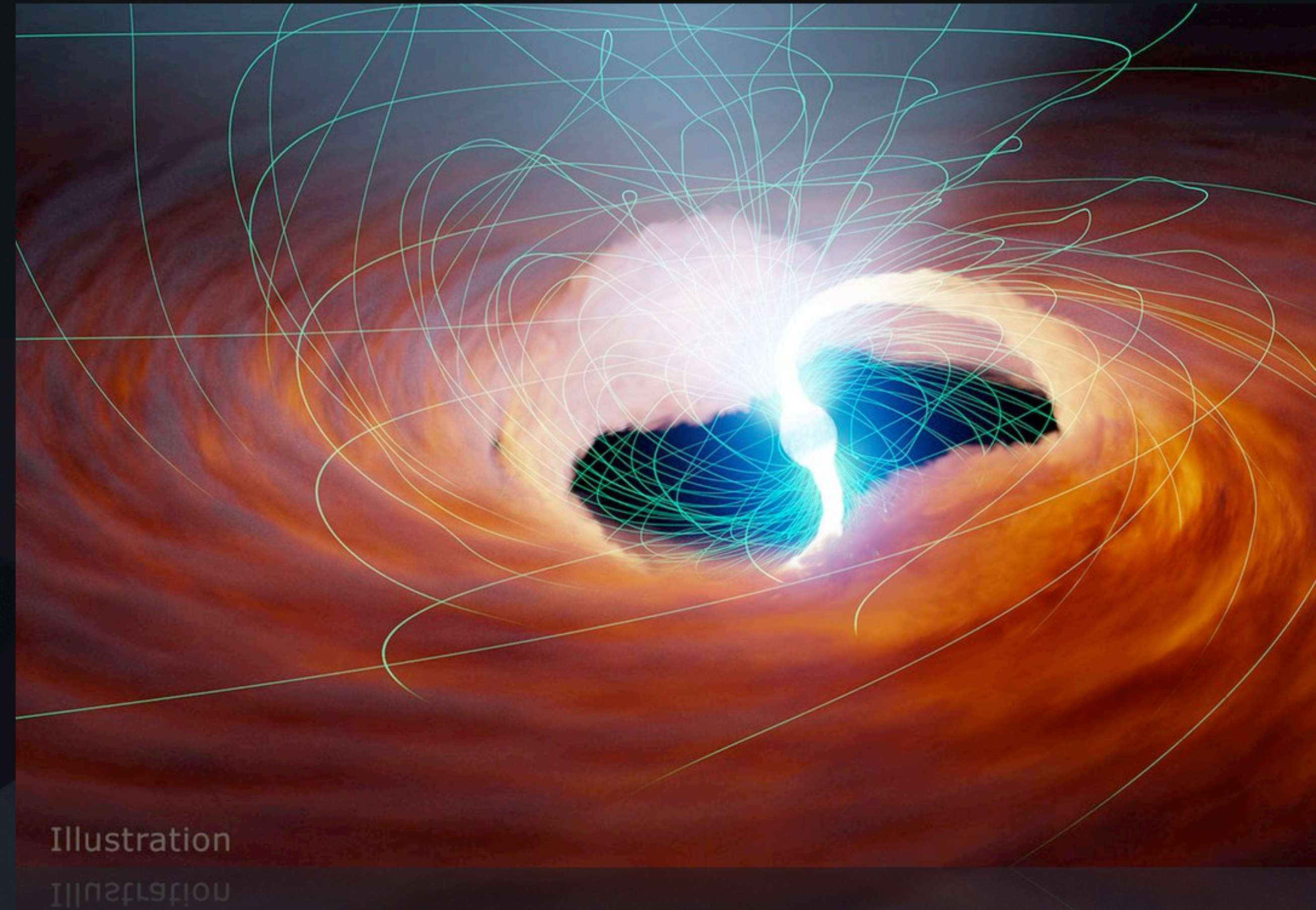
- Pulsar binario: B1259-63:
- Periodo: 3.4 años
 - Estrella compañera: Be
 - Emisión gamma: Periastro



Clasificación de HMXBs

Ultraluminosos de rayos X (ULXs)

- Fuentes puntuales con luminosidades:
 $L_X \sim (1 - 2) \cdot 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$
- Corresponde al límite de Eddington para BH de
 $M \sim 10 - 20 M_\odot$
- Galaxias espirales e irregulares.
- Poblaciones estelares jóvenes y entornos de baja metalicidad.
- Postulaciones:
 - BH de masa intermedia acretando a una tasa sub-Eddington
 - BH de masa estelar con acreción super-Eddington



Clasificación de HMXBs

Ultraluminosos de rayos X (ULXs)

- Fuentes puntuales con luminosidades:
 $L_X \sim (1 - 2) \cdot 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$
- Corresponde al límite de Eddington para BH de
 $M \sim 10 - 20 M_\odot$
- Galaxias espirales e irregulares.
- Poblaciones estelares jóvenes y entornos de baja metalicidad.
- Postulaciones:
 - BH de masa intermedia acretando a una tasa sub-Eddington
 - BH de masa estelar con acreción super-Eddington

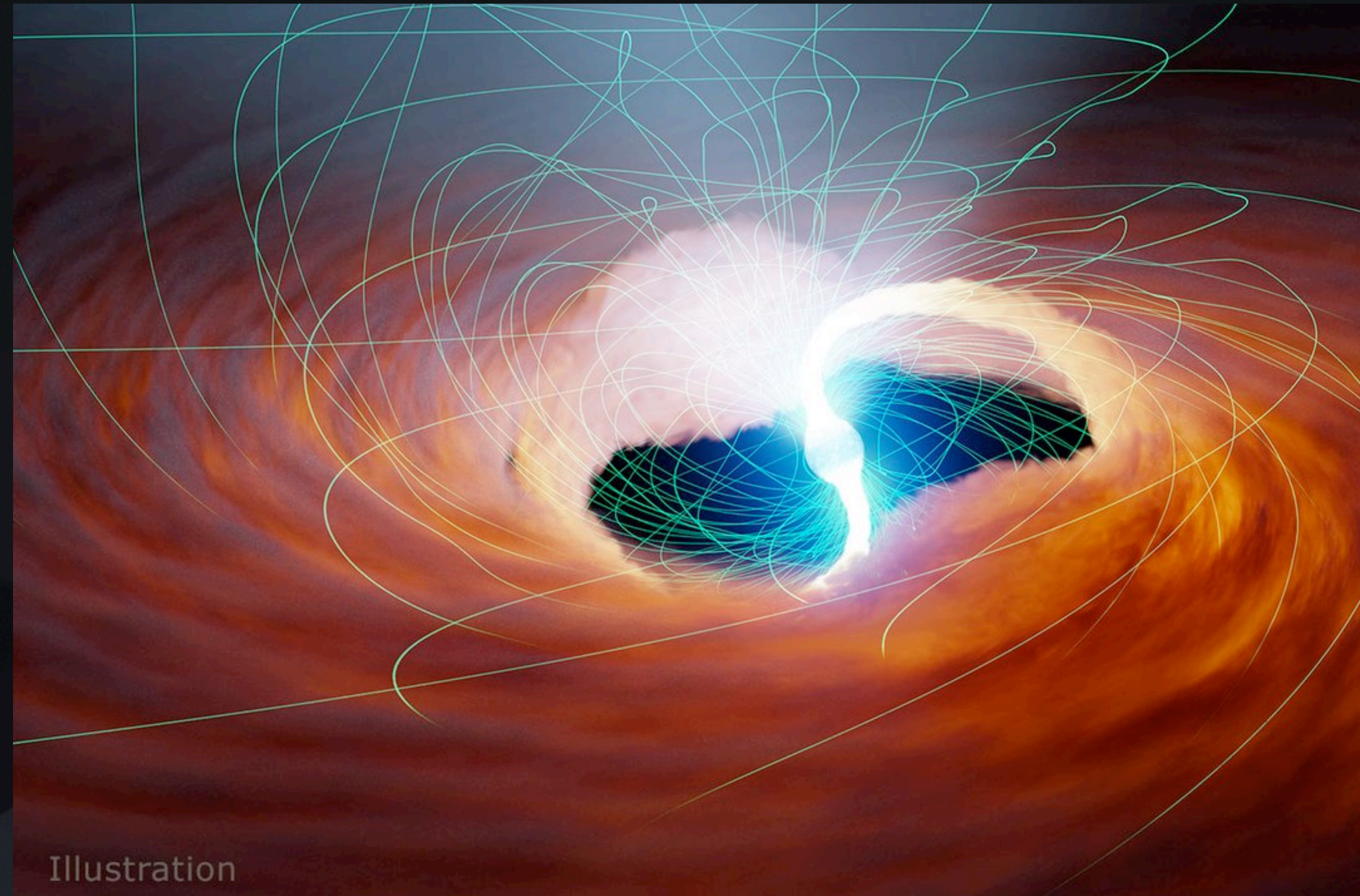
Ejemplo: Microcuásar SS 433



Clasificación de HMXBs

Ultraluminosos de rayos X (ULXs)

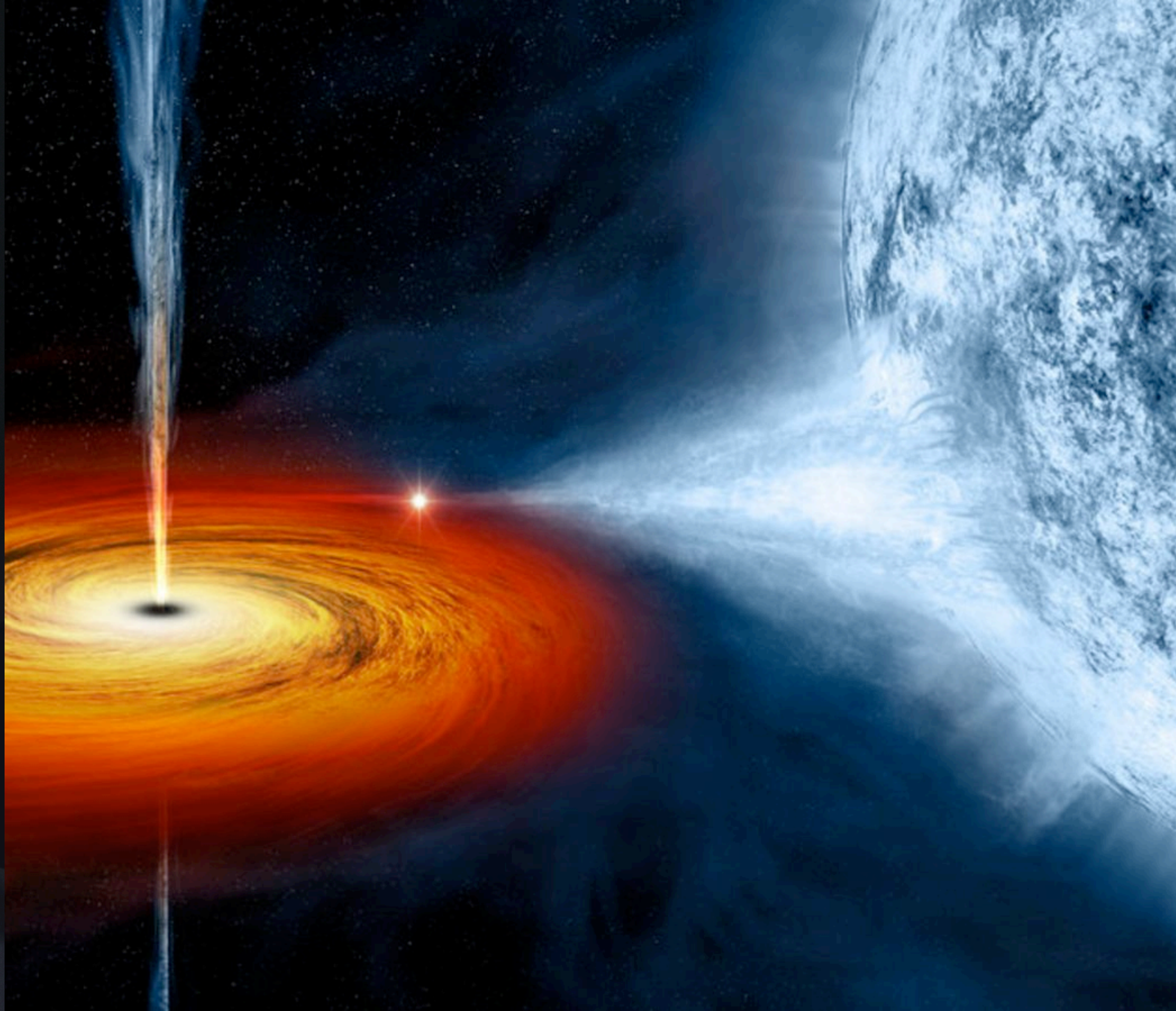
- M82 X-2 y otras ULXs tienen pulsaciones en rayos X. Tienen NS
- $10 - 100 \dot{M}_{Edd}$
- Pequeña fracción odia contener un BH de masa intermedia:
 - Espectro y variabilidad
 - Más luminosas
 $> 5 \times 10^{40} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$



Illustration

Illustration

Microcuásares



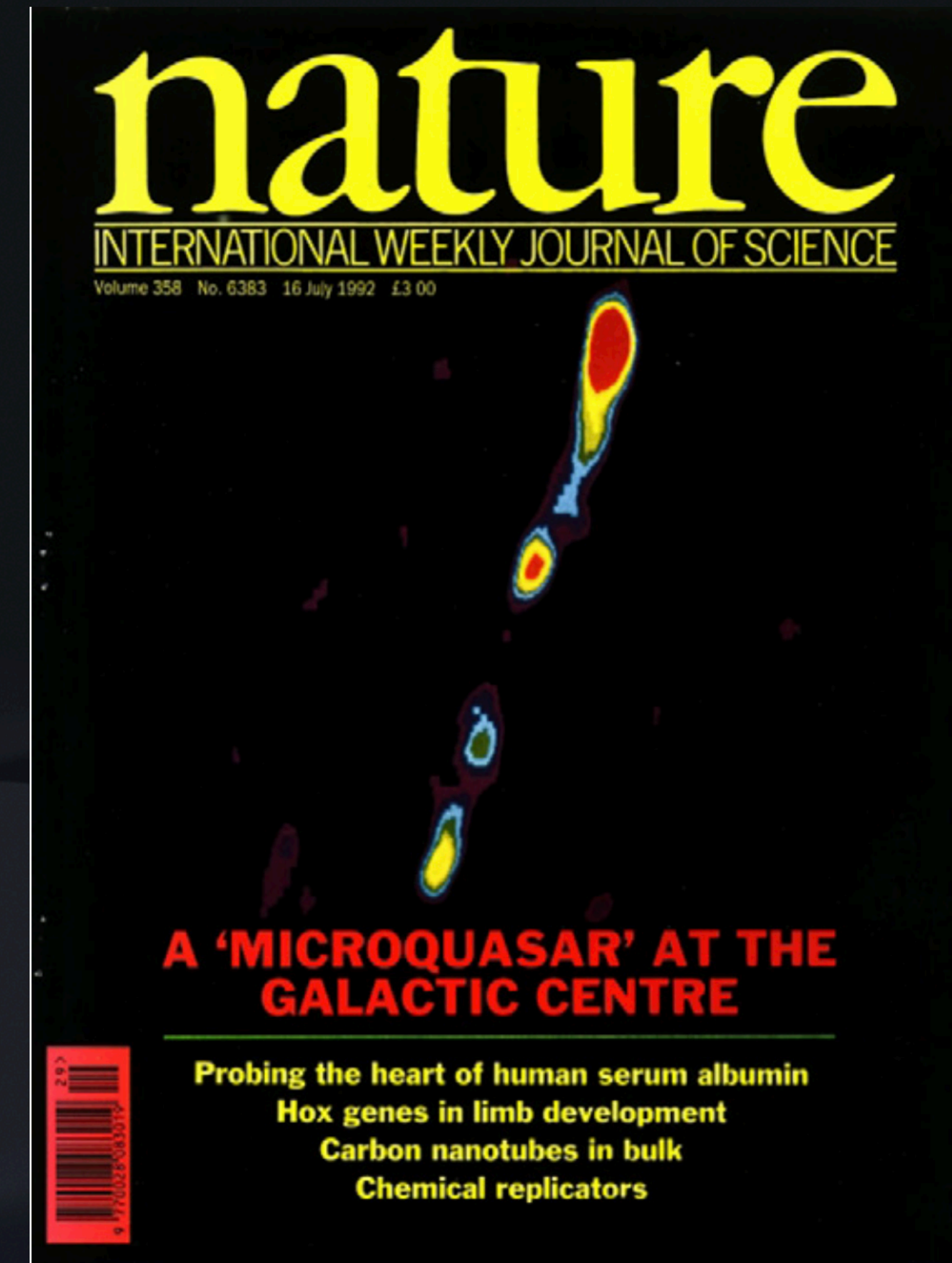
Microcuásares

- Sistemas binarios de rayos X que pueden acelerar partículas a muy altas energías.
- Contienen un jet relativista producto de la acreción de material de la estrella compañera.
- El nombre lo recibe por ser versiones miniatura de los QSO.



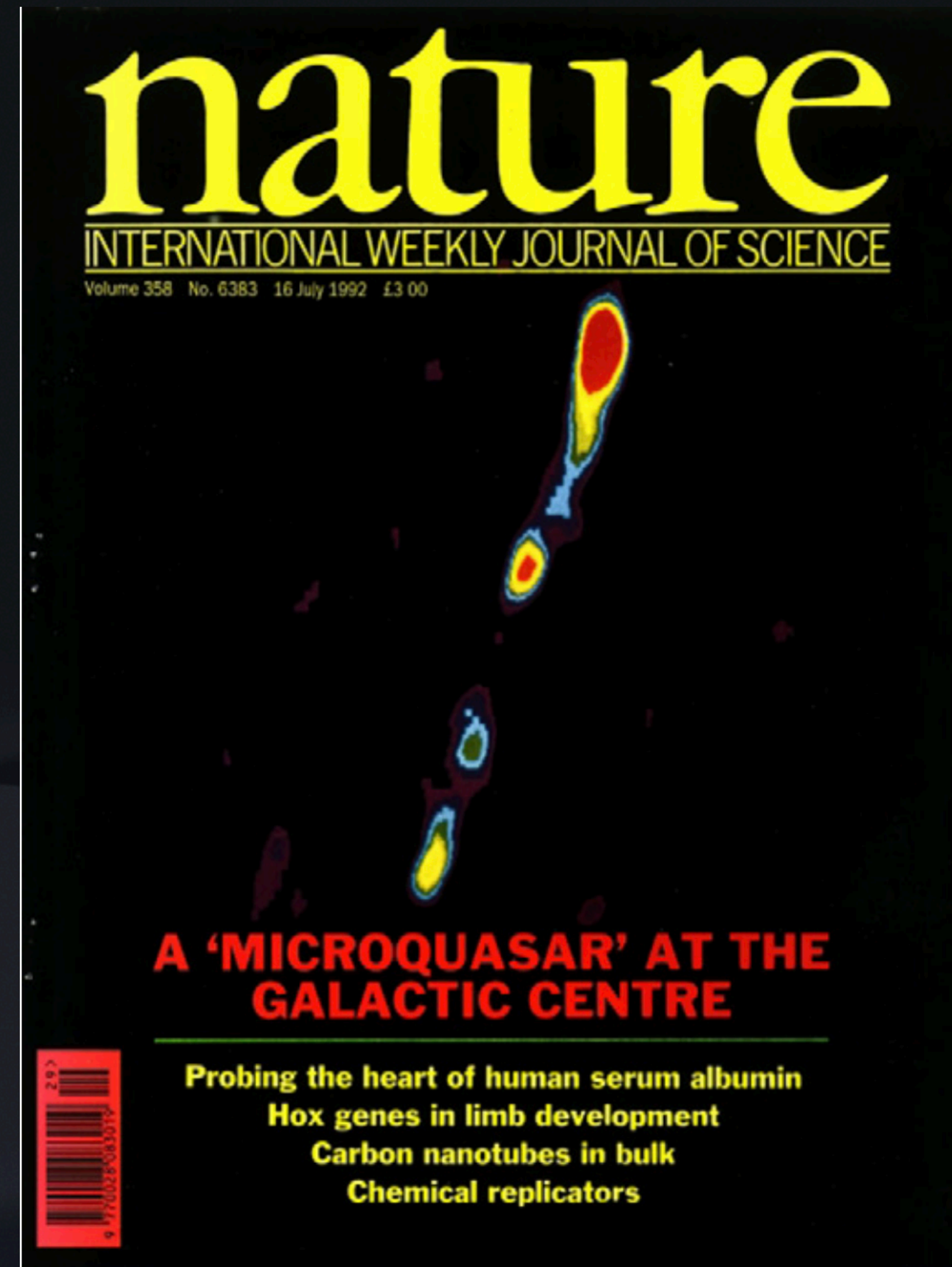
Microcuásares

- En la década de los 60s se identificaron por primera vez las binarias de rayos X.
- En 1979 se descubrió que **SS 433** era capaz de producir jets de materia. Pero se creía que era una fuente extraña sin conexión con características de QSO.
- La velocidad de los jets $\sim 26\% c$
- En 1990 se lanzó el satélite GRANAT (rayos X y gamma)
 - Comenzaron a aparecer evidencias entre jets-XBs.
 - Precisión de arcsec para fuentes de rayos gamma.
 - Se ubicaron fuentes con gran precisión



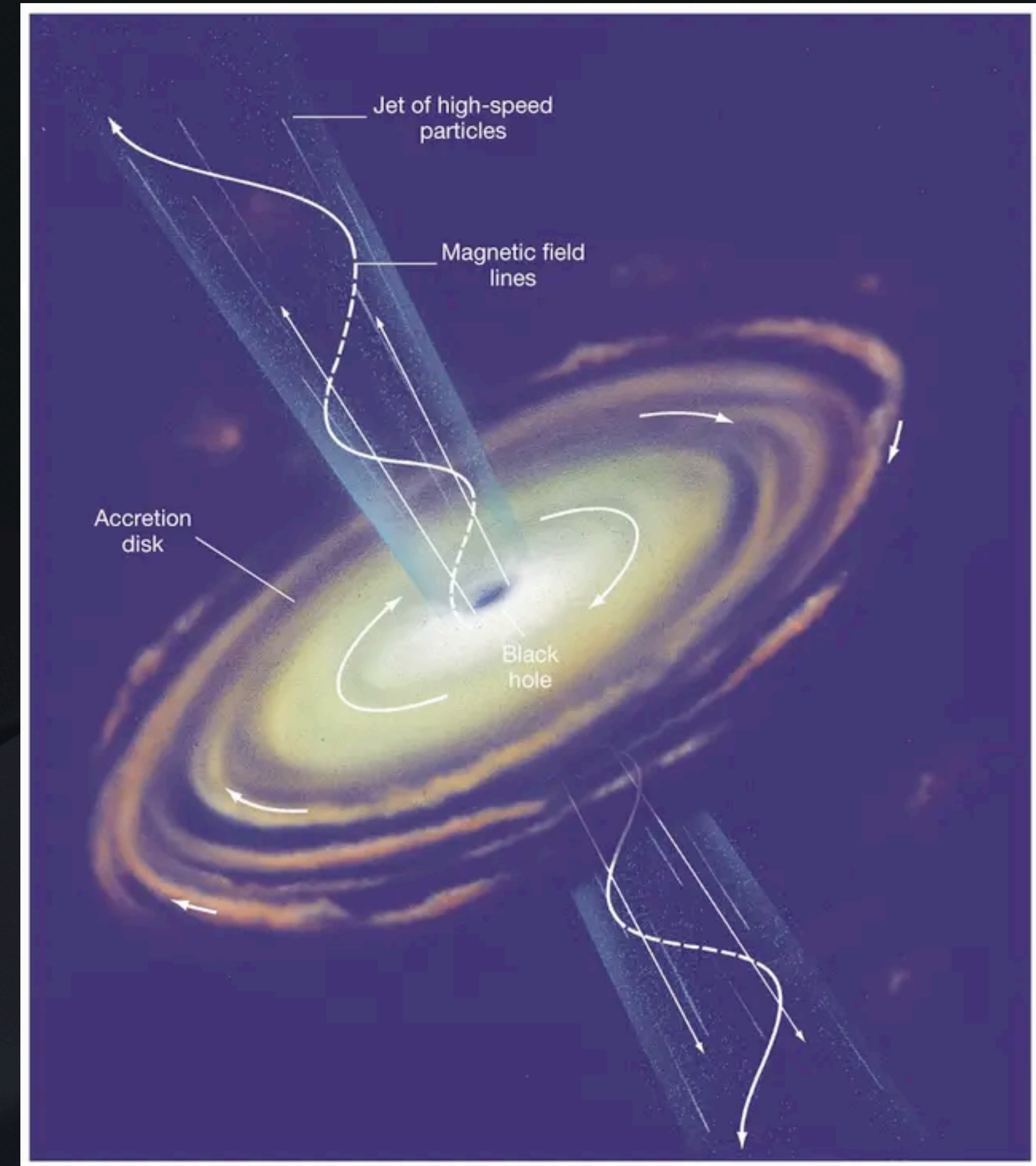
Microcuásares

- Para determinar su naturaleza era necesaria mayor precisión.
- Si se emitían fotones muy energéticos, también debería emitir partículas energéticas
- Al interactuar con un campo B, emiten por sincrotrón (radio)
- En 1992 con observaciones del VLA se determinó la posición de 1E1740.7-2942.
- Espectro consistente con acreción alrededor de un BH
- Detección de **Jets colimados**
- Misma morfología que los jets en QSO y radio galaxias.



Microcuásares

- Hay una relación entre los jets bipolares y los discos de acreción.
- Los jets son impulsados:
 - Energía de rotación del objeto compacto.
 - Energía de rotación del disco de acreción.
- Por procesos magneto-hidrodinámicos:
 - La energía de rotación es evacuada por los jets
 - El resto de materia cae al objeto compacto.



Microcuásares

- En 1977 se observó en GRS 1915+105 una caída en luminosidad en rayos X y gamma.
- Seguida de una eyección de jets
- Primero en IR y luego en radio.
- Caída de rayos X:

Desaparición silenciosa de la parte más caliente del disco de acreción interno, más allá del horizonte de eventos.

Materia nueva de la estrella alimentando el disco

Se evacua parte de la energía cinética en forma de jets

Microcuásares

- Espectros en rayos X: Para sistemas con un BH
- Componente suave: Disco de acreción
- Ley de potencias ($\Gamma \sim 2 - 2.5$): dispersión IC por electrones en la corona.
- Dos estados espectrales:
 - Alto/Suave
 - Bajo/Duro

- Radio interior del disco $R_{in} \sim 3R_S$
- Emite eficientemente en rayos X.

- Dominado por emisión térmica del disco.
- Ausencia de jets de radio.

Microcuásares

- Espectros en rayos X: Para sistemas con un BH
- Componente suave: Disco de acreción
- Ley de potencias ($\Gamma \sim 2 - 2.5$): dispersión IC por electrones en la corona.
- Dos estados espectrales:
 - Alto/Suave
 - Bajo/Duro

- Radio interior del disco $R_{in} > 50R_S$
- Disco interno desplazado o enfriado.
- Se reduce su emisión térmica.

- Dominado por una ley de potencias más plana ($\Gamma \sim 1.6$)
- Emisión continua e jets en radio.

Microcuásares

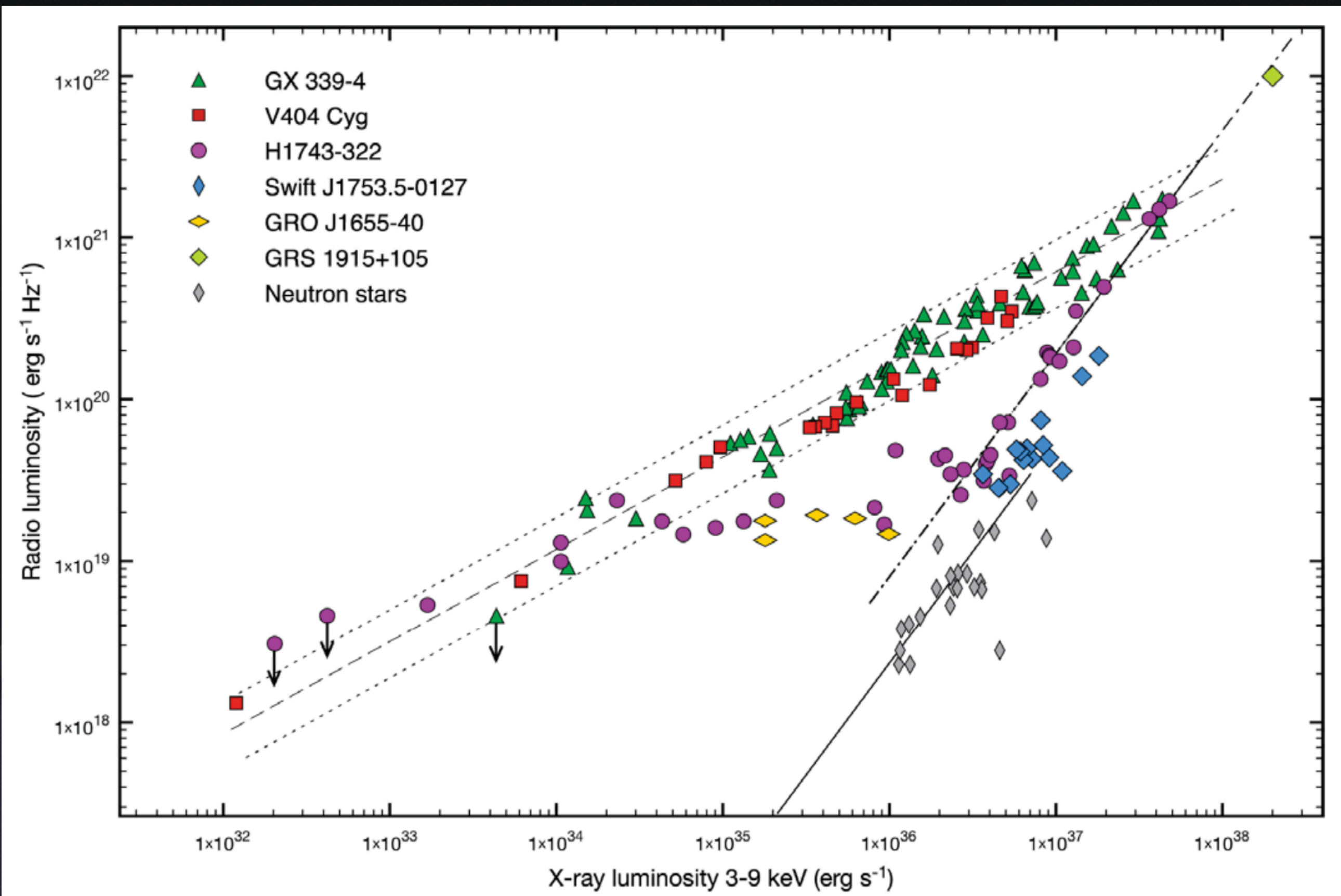
- Alto/Suave

- Sistema silencioso en radio.
- Dominado por disco térmico ($T_{in} \sim 1keV$)
- Ley de potencias ($\Gamma \geq 2$)

- Bajo/Duro

- Presencia de jets en radio
- Correlación entre luminosidades en radio y rayos X ($L_{rad} \propto L_X^{0.7}$)

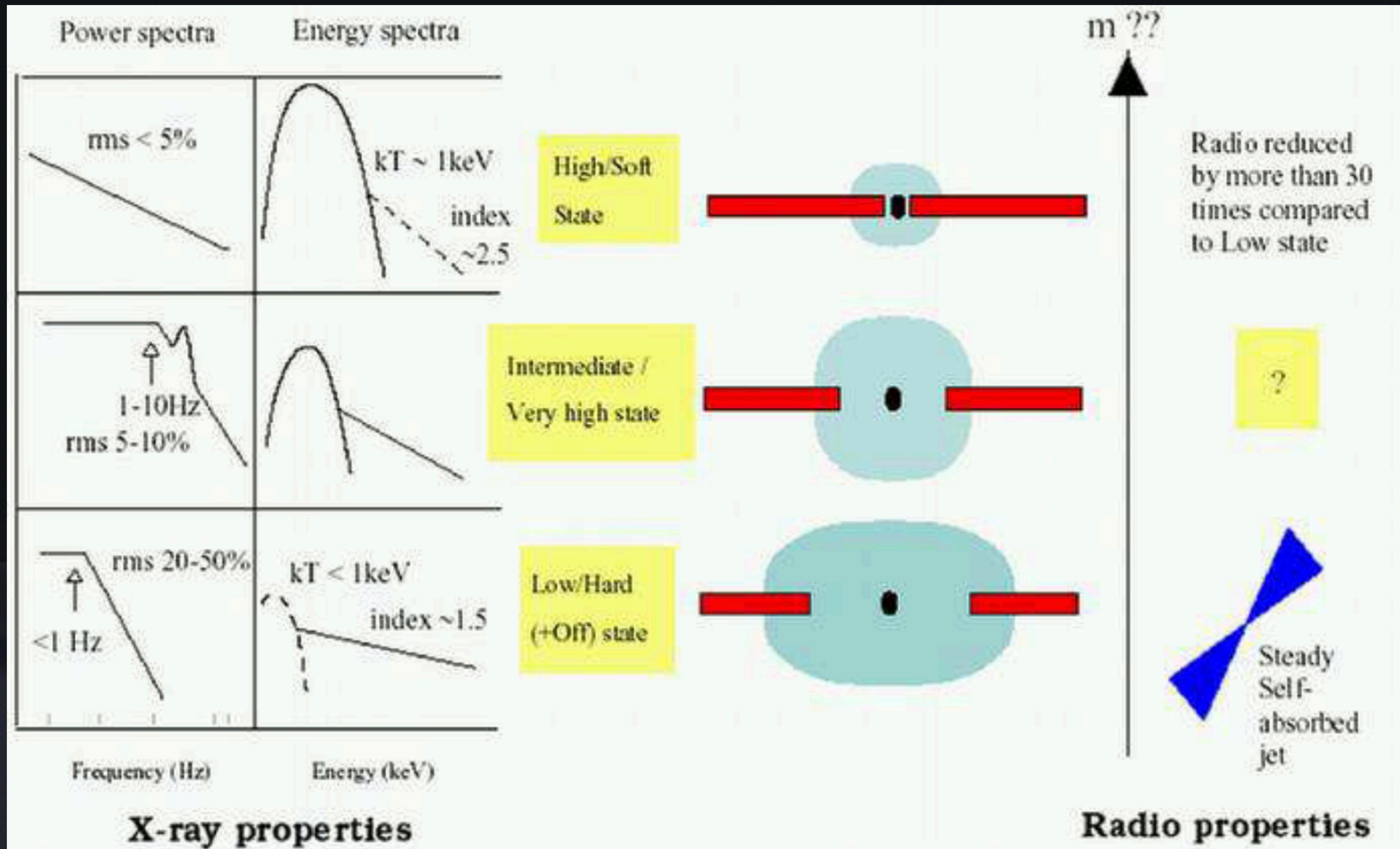
Microcuásares



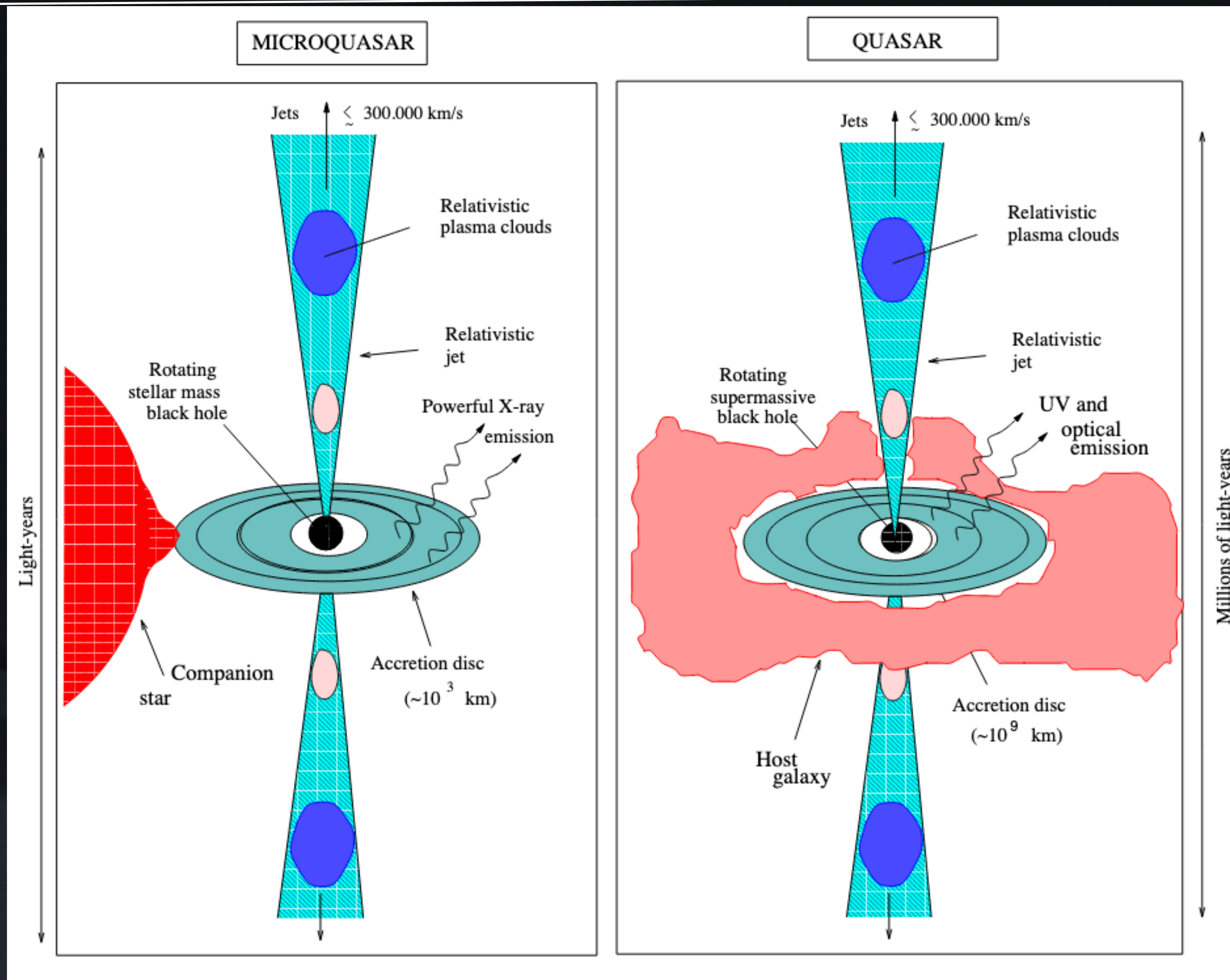
- Bajo/Duro

- Presencia de jets en radio
- Correlación entre luminosidades en radio y rayos X ($L_{rad} \propto L_X^{0.7}$)

Microcuásares

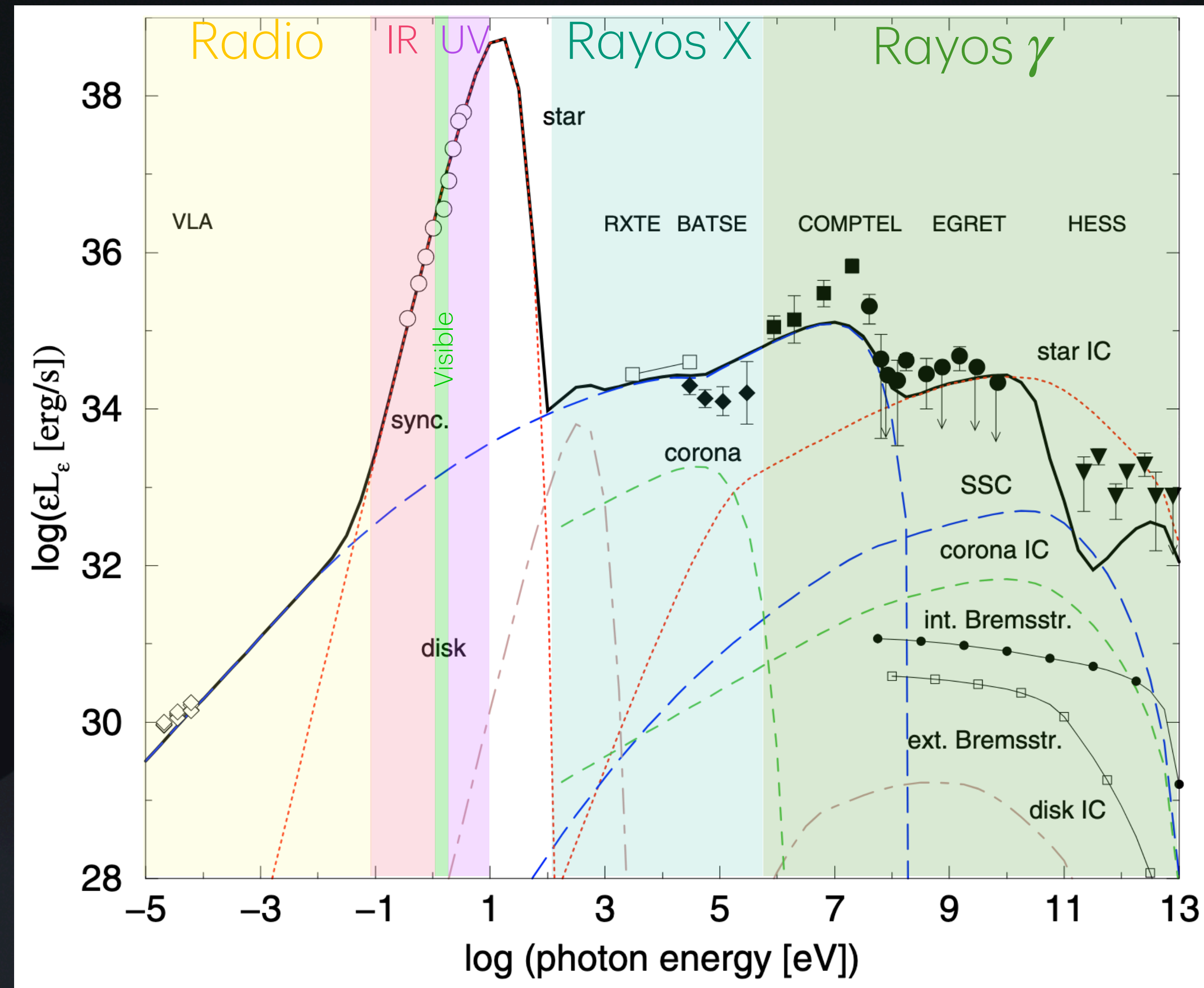


Microcuásares



Microcuásares

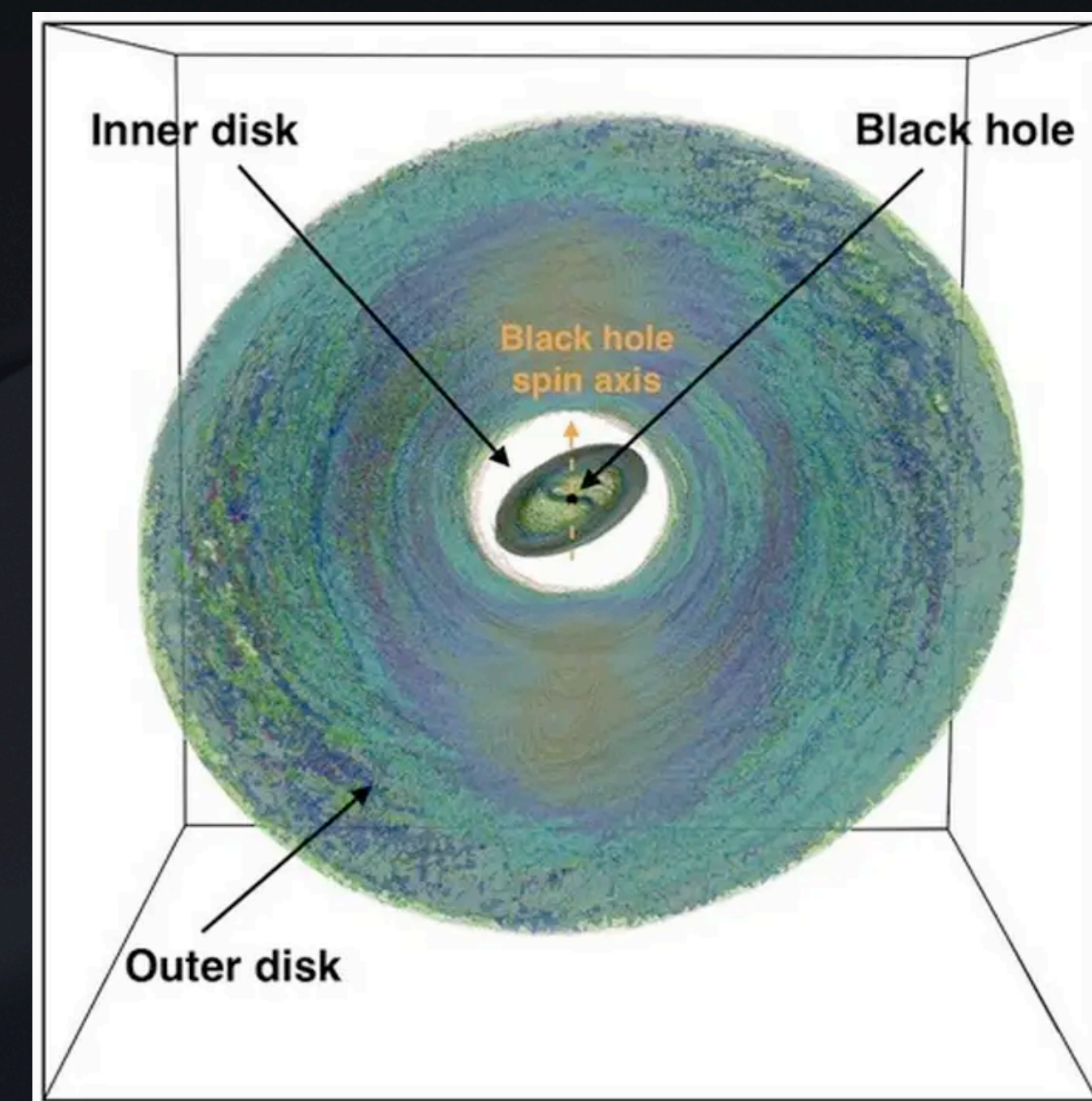
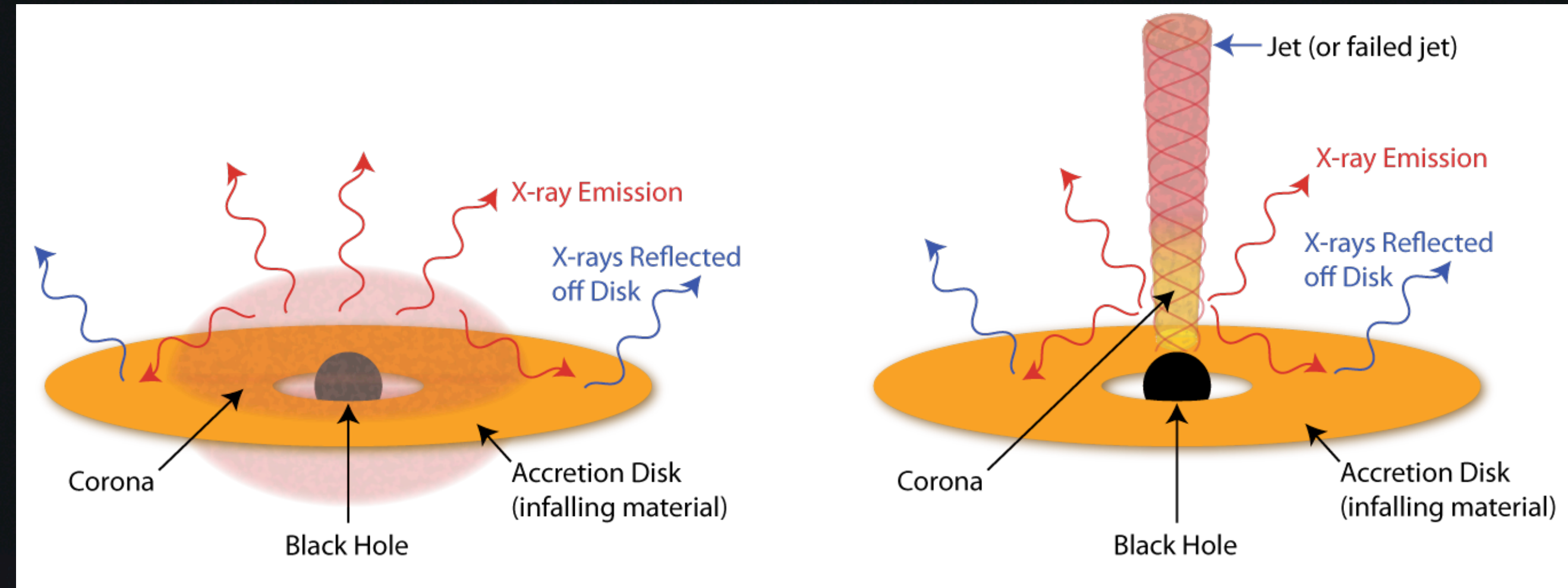
- **SS 433** fue el primer micro-QSO en ser descubierto (1977)
- Actualmente se conocen más de 40 micro-QSO en la Galaxia.
- Los micro-QSO tienen emisión en diferentes bandas de energía.
- Emisión térmica:
 - Óptico → Rayos X
- Emisión no térmica:
 - Radio → Rayos gamma



Microcuásares

- **Emisión Térmica:**

- Disco de acreción
 - Disco interno: $\sim 10^6 - 10^7 K$
 - UV, rayos X suaves
 - Disco externo: $\sim 10^3 - 10^4 K$
 - Radio, IR, Visible
- Estrella compañera.
- Corona: Plasma caliente que rodea el disco interno
 - Dispersión Compton Inversa con fotones ambientales.

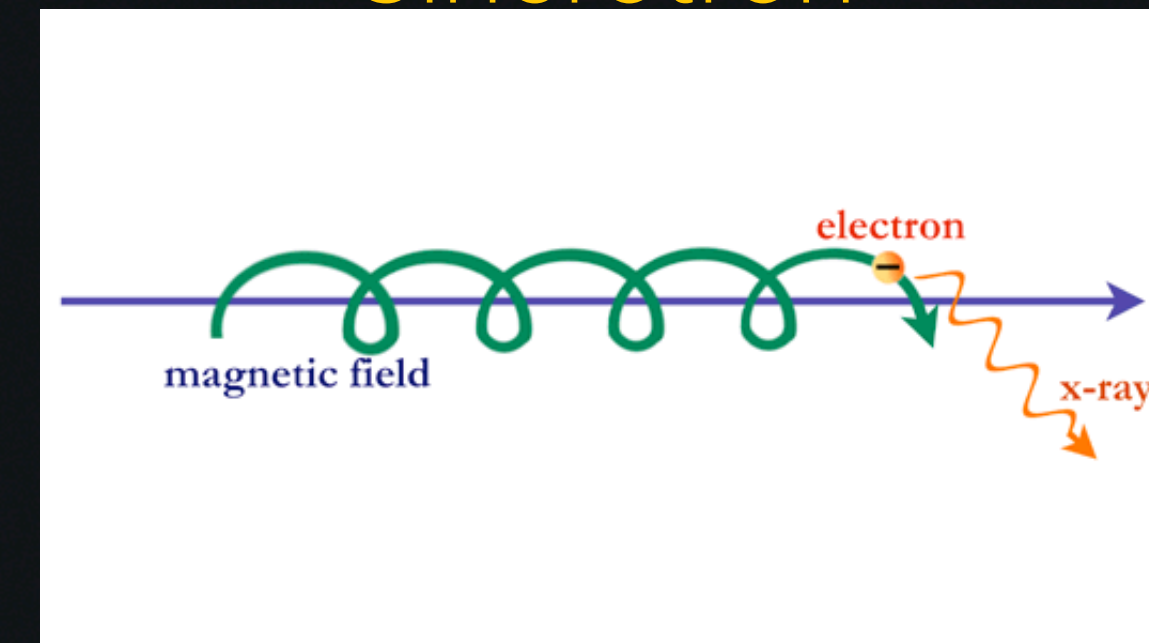


Microcuásares

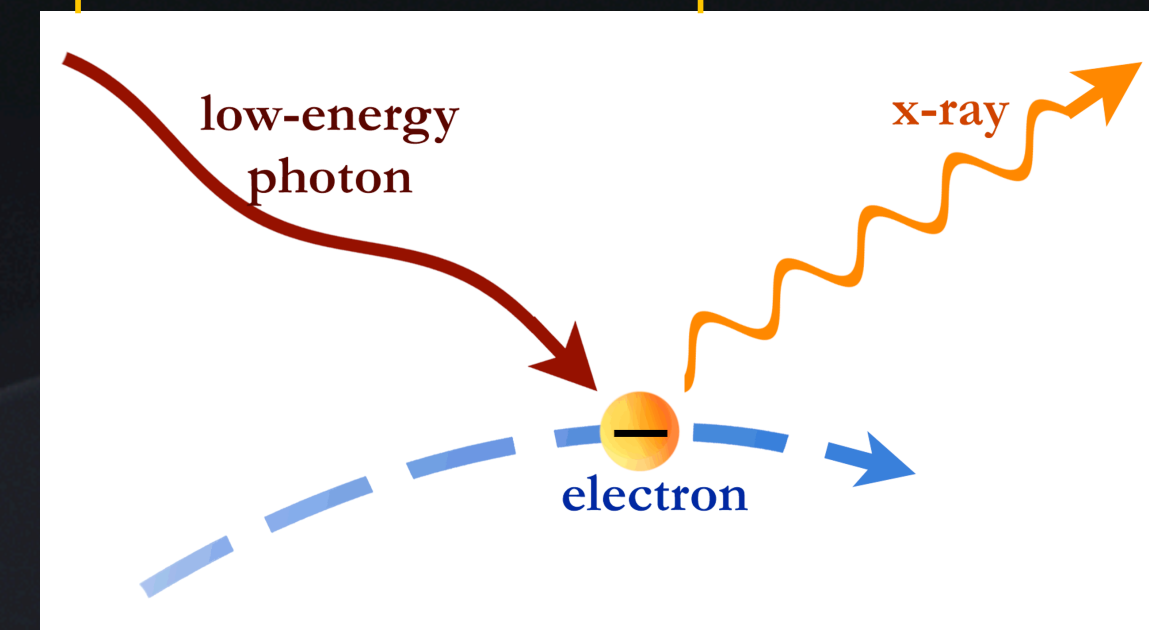
- **Emisión No Térmica (Jet):**

- Radiación sincrotrón.
 - Radio a Rayos X.
- Dispersión Compton Inversa (IC)
 - Rayos X - Rayos gamma
- Bremsstrahlung (no térmico) de partículas relativistas.
 - Rayos X - Rayos gamma

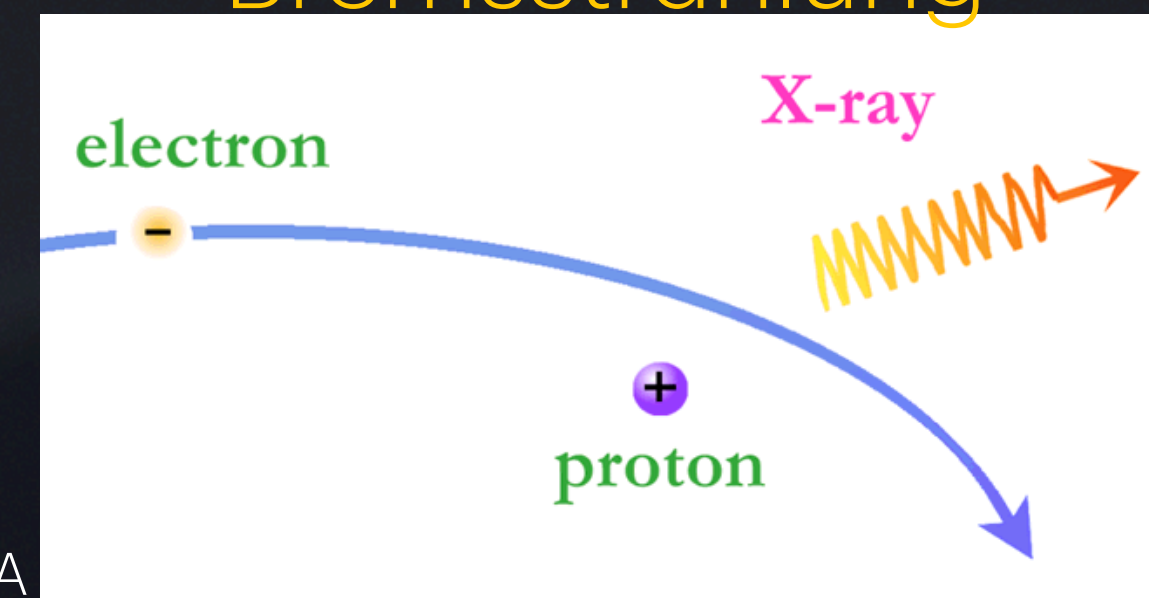
Sincrotrón



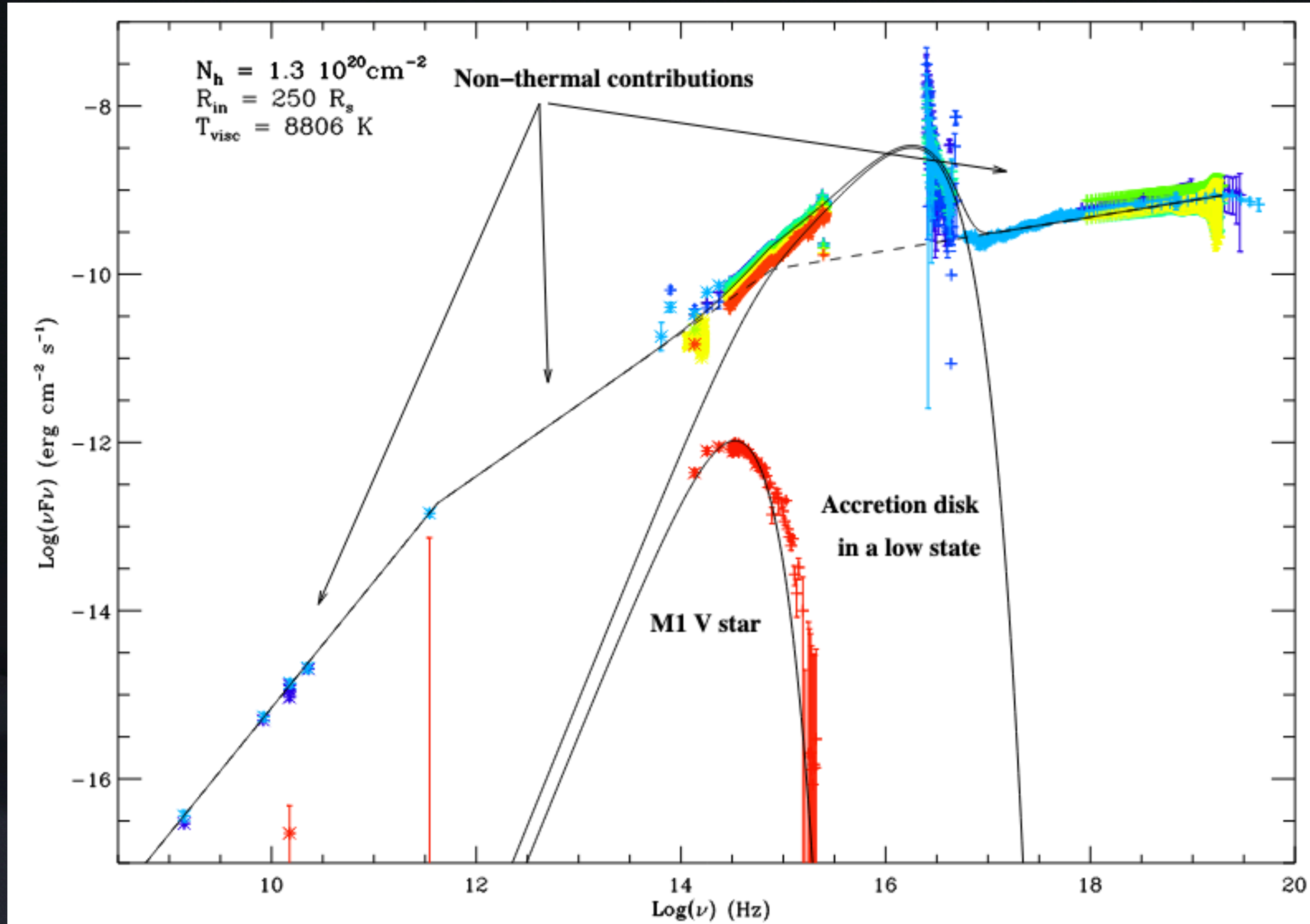
Dispersión Compton Inverso



Bremsstrahlung



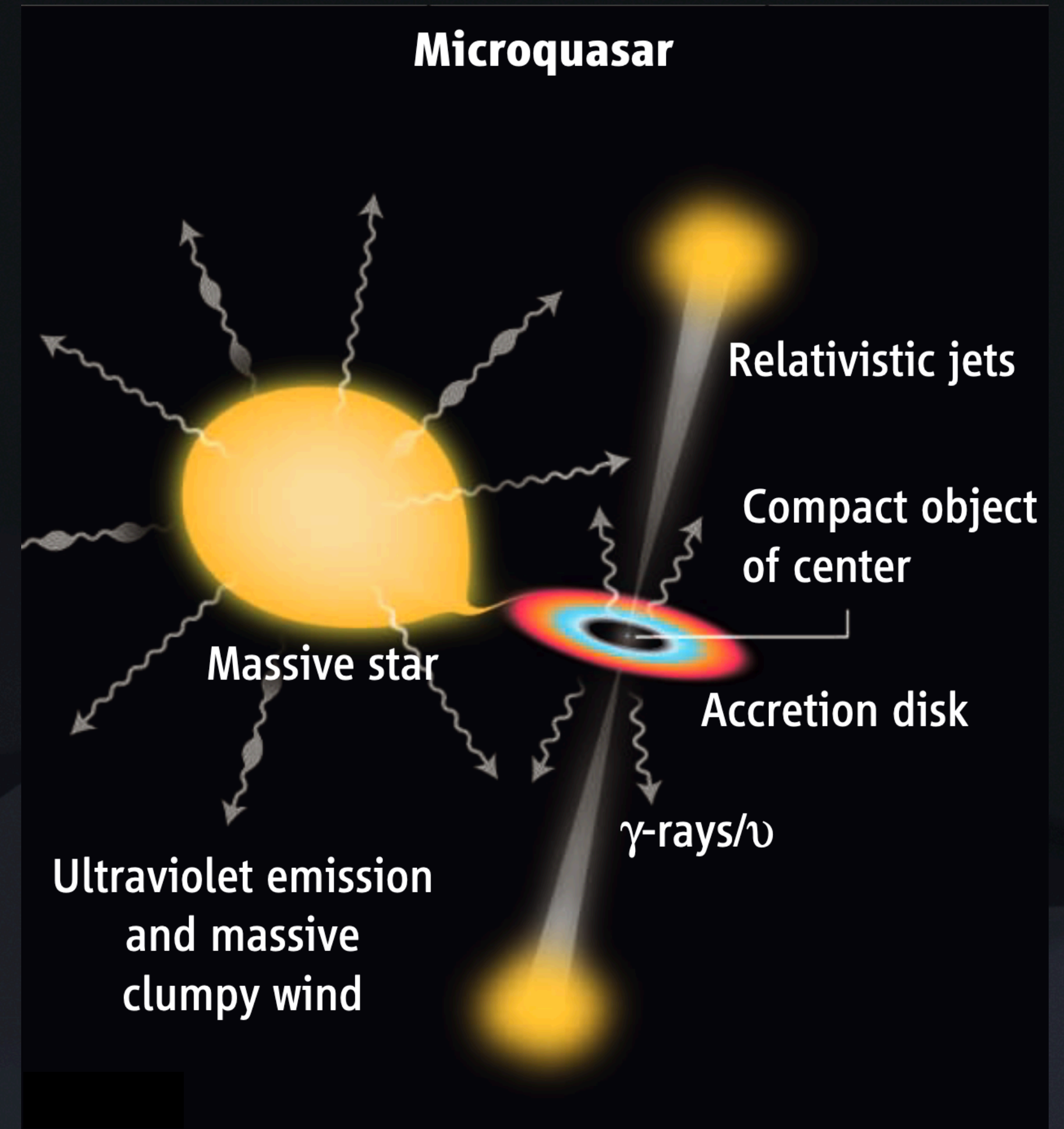
Microcuásares



SED del micro-QSO XTE J1118+480 (Chaty et al., 2003b)

Microcuásares

- Solo hay cuatro micro-QSO con emisión en rayos gamma:
 - SS 433
 - Cyg X-1
 - V4641 Srg
 - Cyg X-3
- Los mecanismos de aceleración de partículas que generan fotones son inciertos:
 - HE (> 100 MeV)
 - VHE (> 100 GeV)
 - UHE (> 100 TeV) son inciertos.



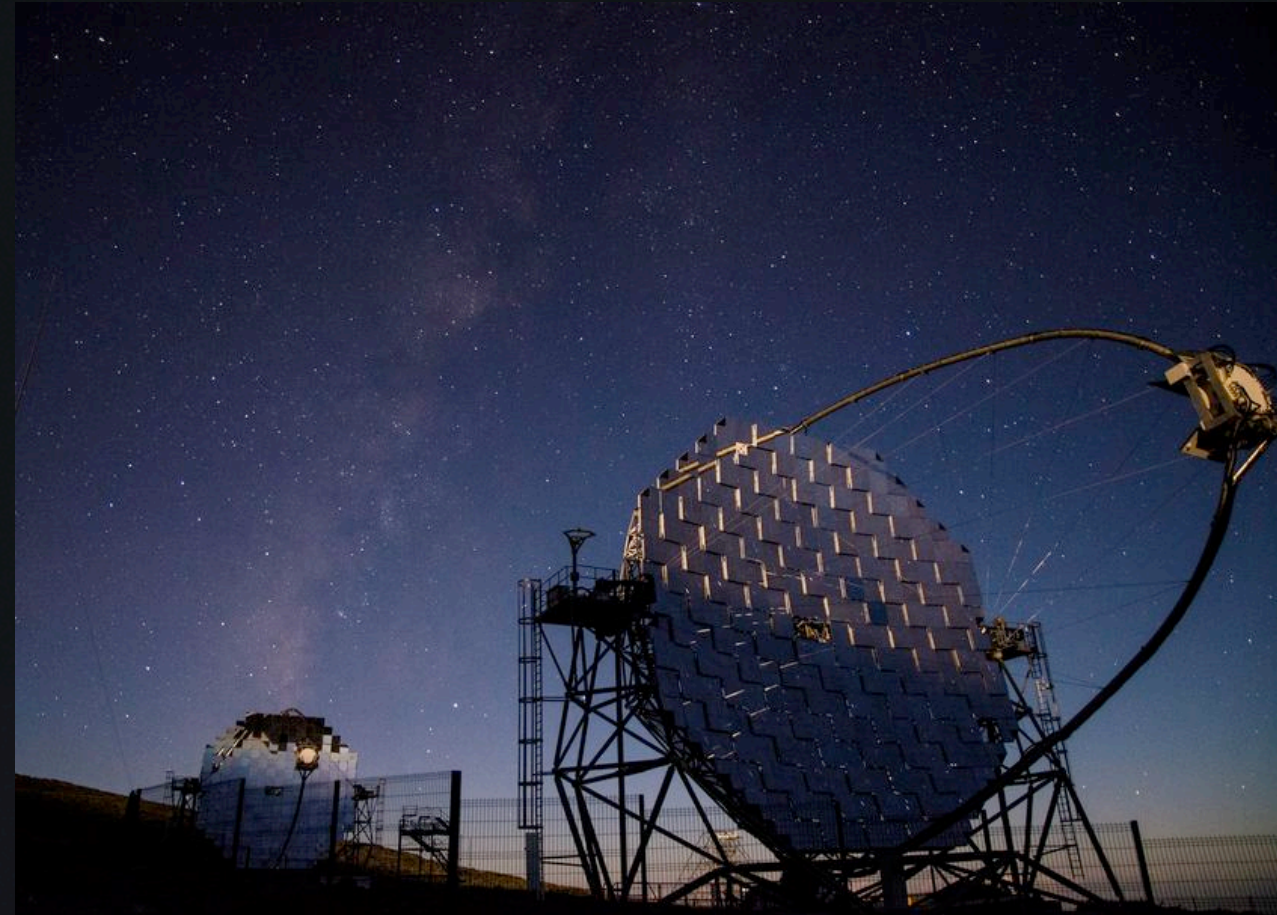
Observatorios de Rayos Gamma

- HE (> 100 MeV)



Fermi-LAT (Large Area Telescope)

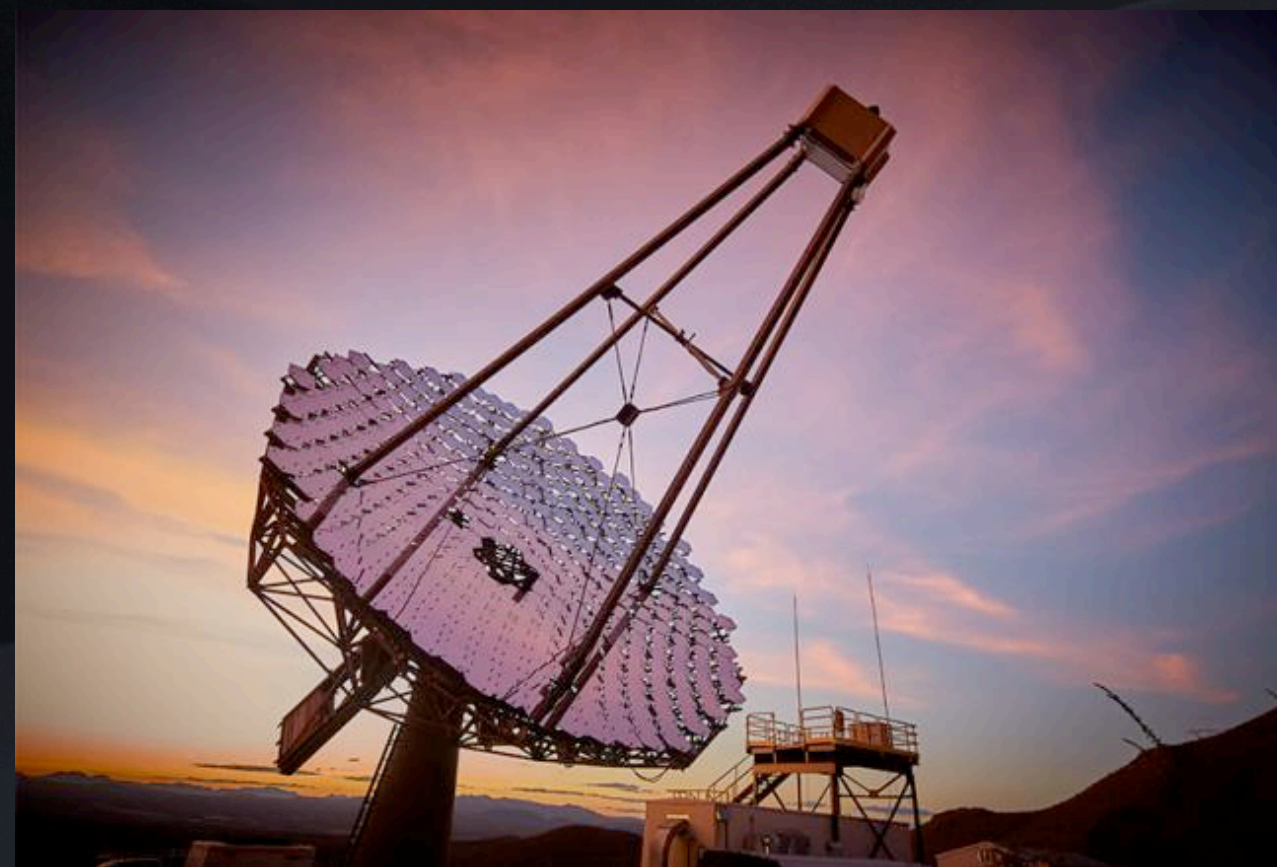
- VHE (> 100 GeV)



MAGIC



H.E.S.S.



VERITAS



CTA

Observatorios de Rayos Gamma

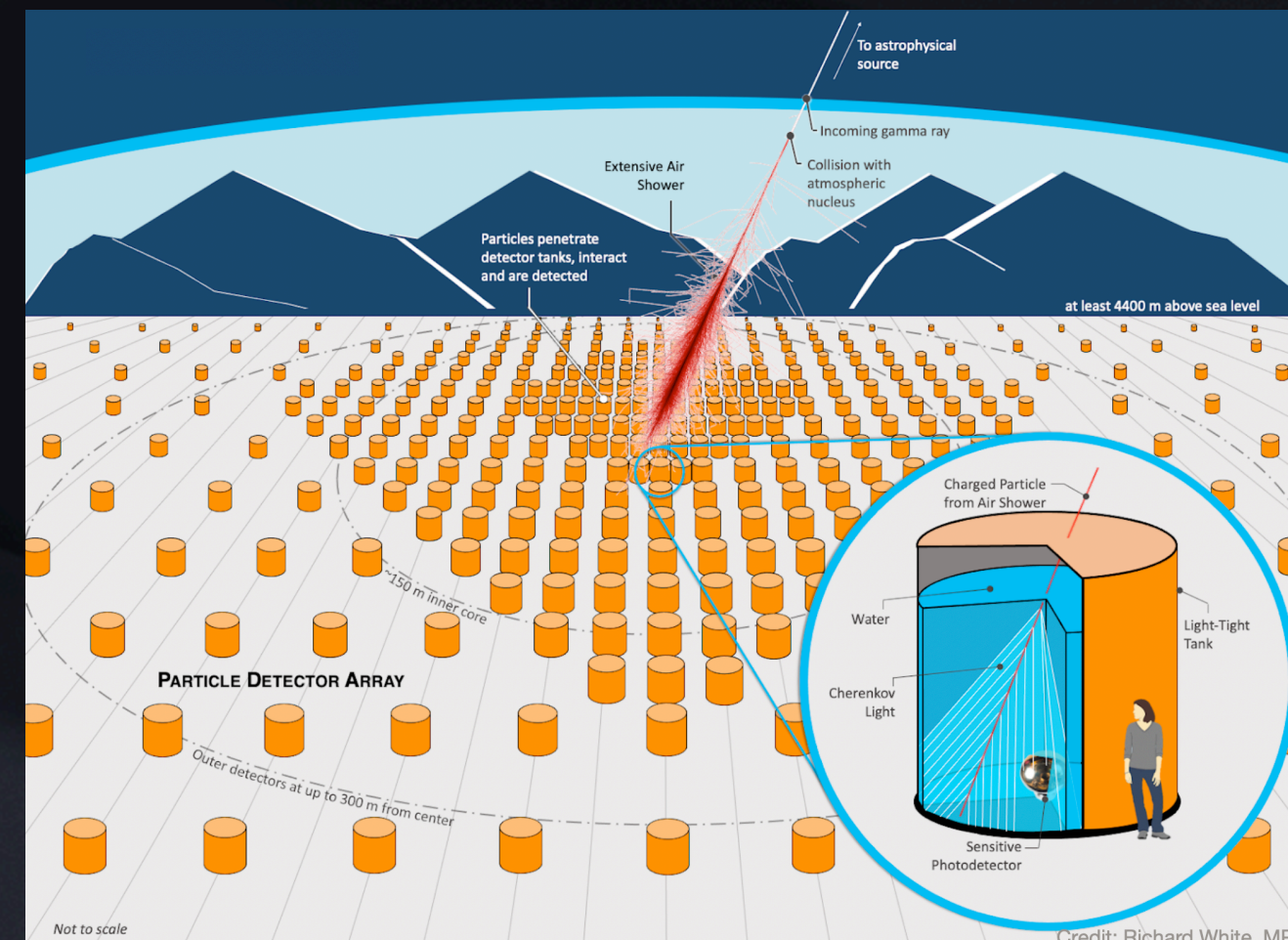
- VHE (> 100 GeV)
- UHE (> 100 TeV)



HAWC



LHAASO

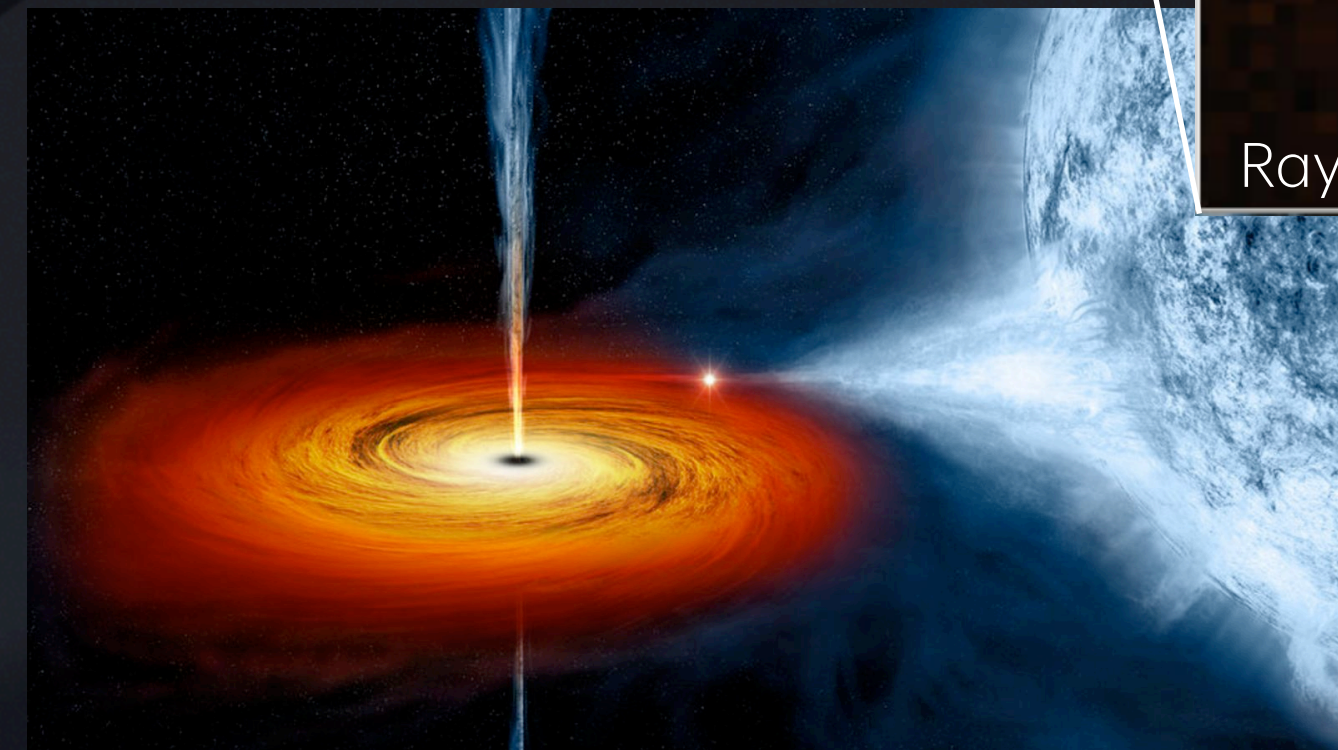
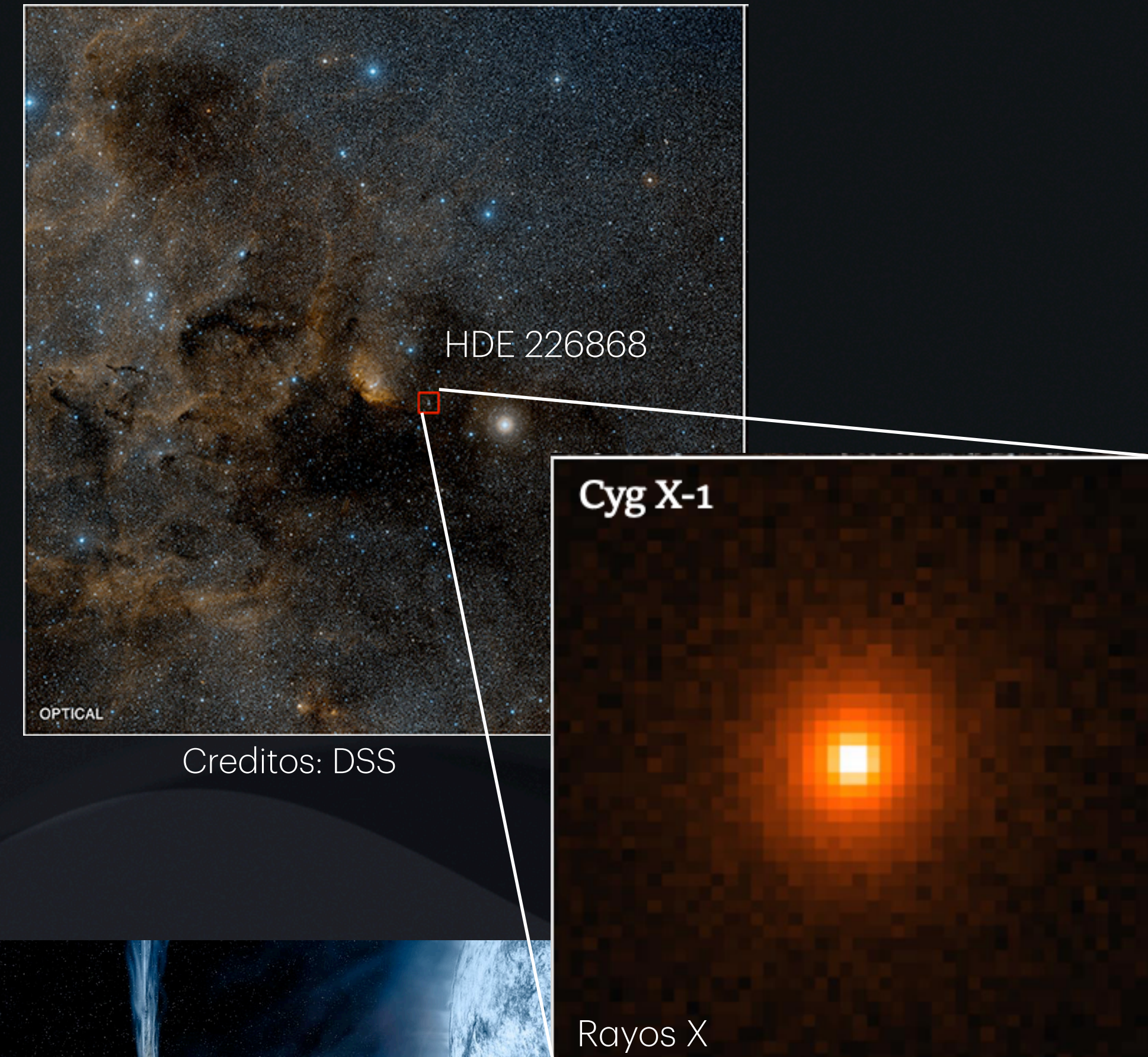


SWGO

Cygnus X-1 (HMXB)

Microcuáasar

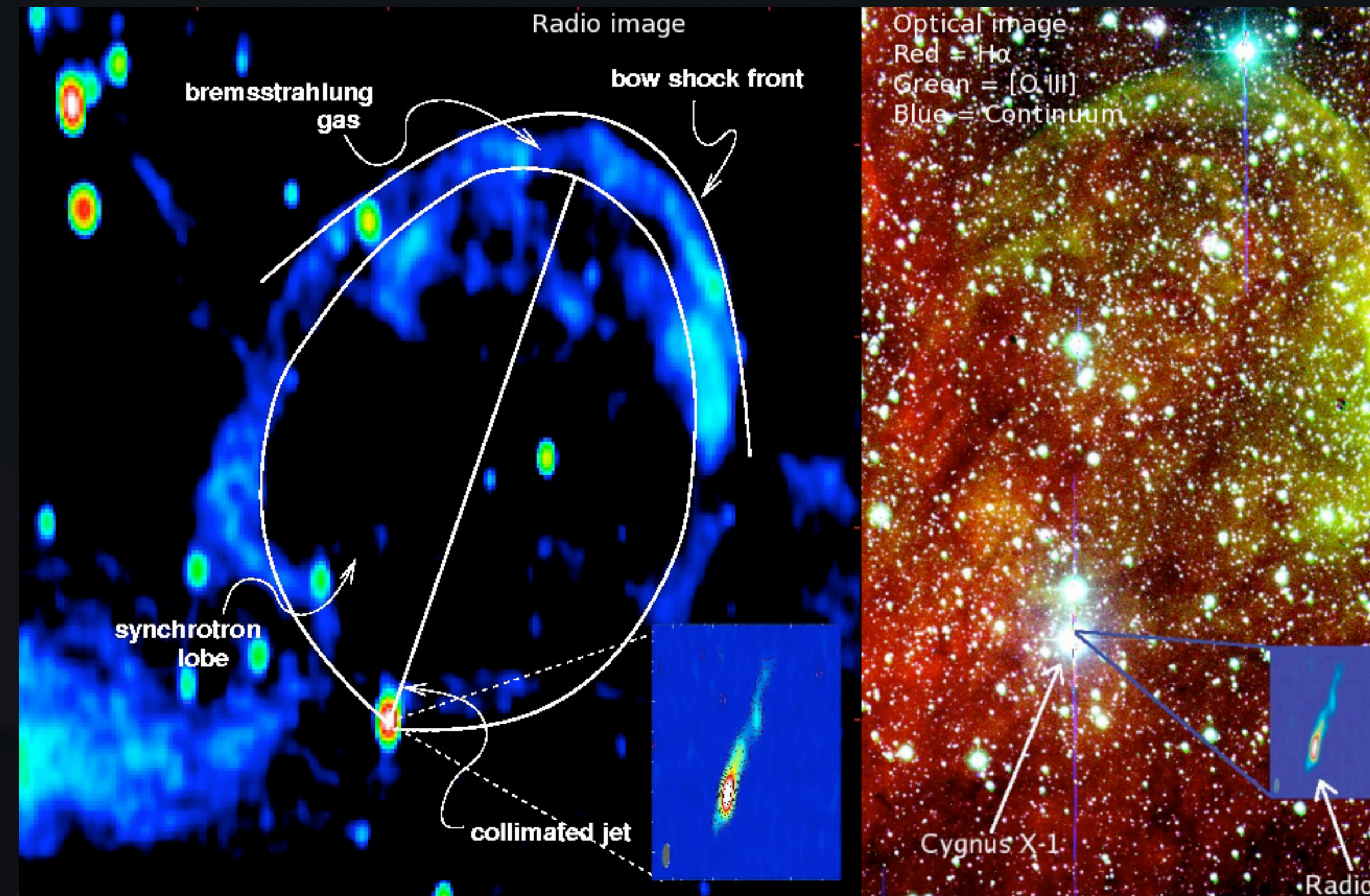
- Ubicado a 2.2 kpc en la constelación Cygnus
- De las fuentes más luminosas en rayos X.
- Primer BH de masa estelar en ser descubierto.
- Agujero negro ($M \sim 21M_{\odot}$) + estrella supergigante tipo O ($M \sim 40M_{\odot}$)
- Periodo orbital: 5.6 días
- Detección de un jet relativista unidireccional en radio.
- Dos estados de emisión en rayos X:
 - “Soft State”
 - “Hard State”



Cygnus X-1 (HMXB)

Microcuáasar

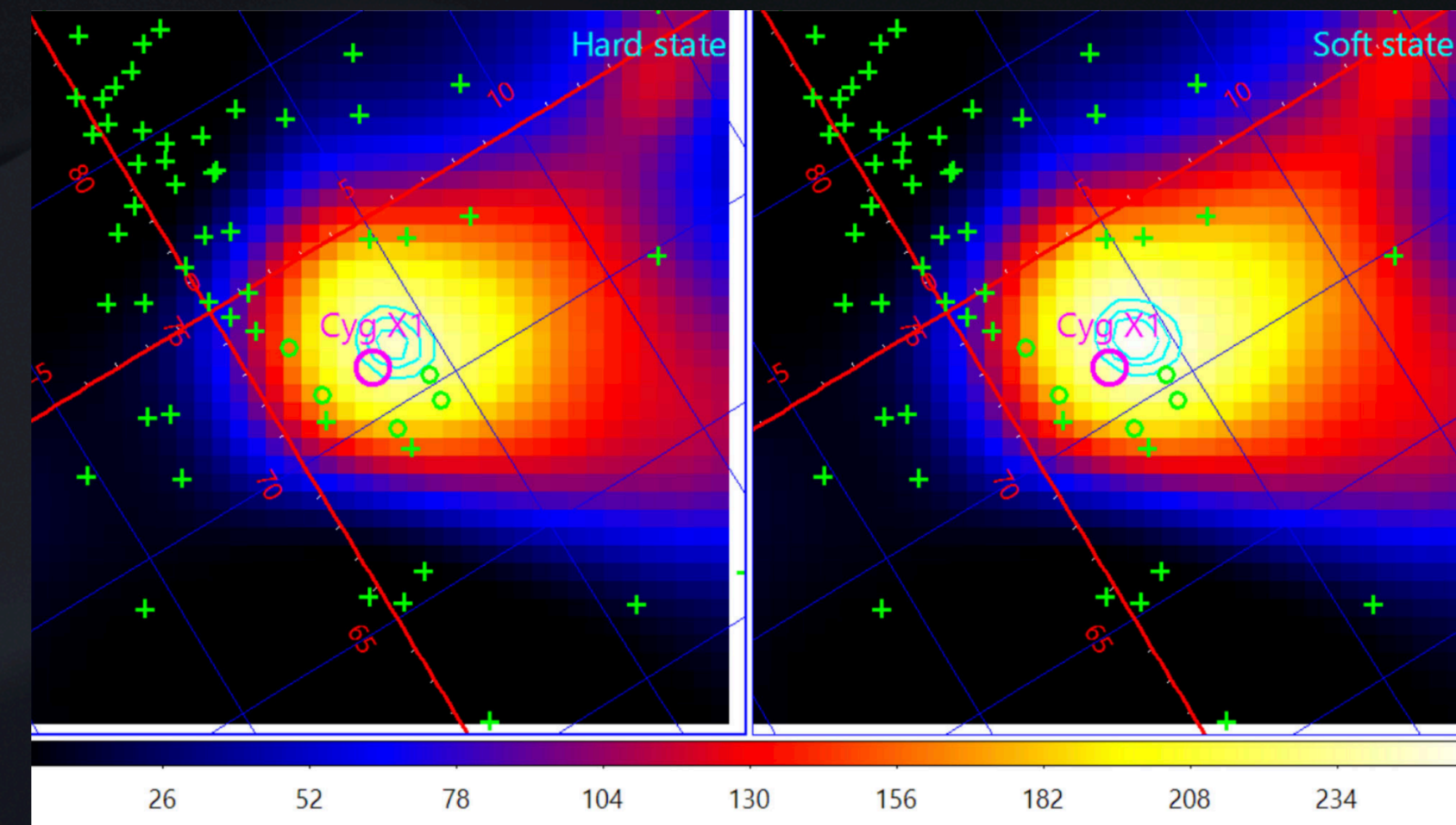
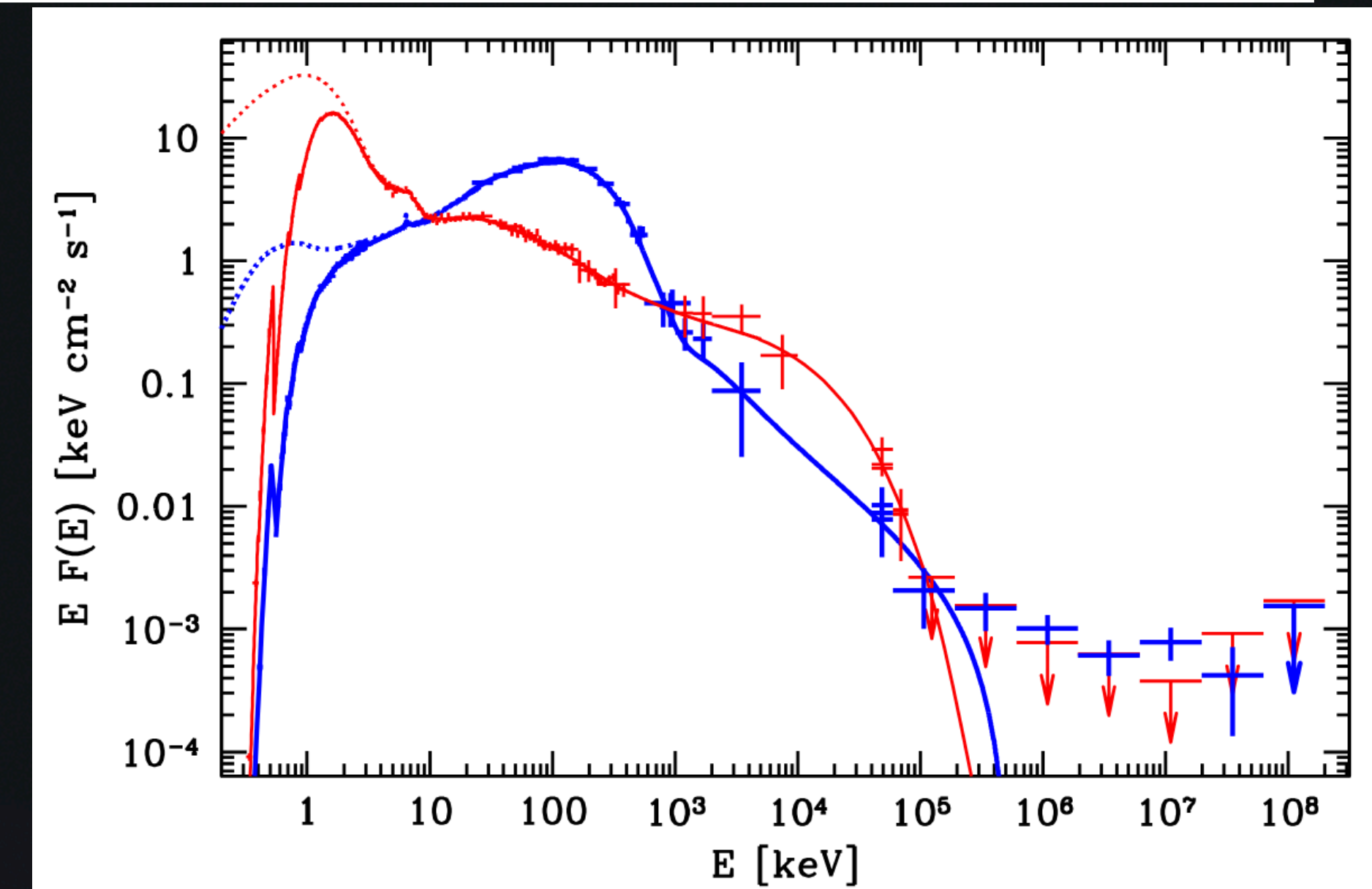
- Se observó con VLA un jet colimado unilateral
 - Extensión: ~ 15 mas
 - Angulo de apertura: $< 2^\circ$
 - Velocidad: $\geq 0.6c$
- El jet se piensa que crea un anillo de 15 pc de diámetro, ubicado a $\sim 3.2pc$ del BH
- La acreción se lleva a cabo mediante un disco.
- La emisión en radio y rayos X presenta periodicidad, relacionada con el periodo orbital.



Cygnus X-1 (HMXB)

Microcuáasar

- En el 2016, con 7.5 años de datos de Fermi-LAT, se detectó emisión significativa en el Hard State.
- Detección a energías HE ($E > 60\text{MeV}$)
- Se sugirió que esta emisión ocurre fuera de la corona.
- Posible procedencia de los jets.
- No se ha detectado en el régimen de VHE.



Cygnus X-1 (HMXB)

Microcuásar

- Soft State

- Componente térmica dominante
- Máximo $kT \sim 1\text{keV}$
- Región más interna del disco, hasta la ultima orbita estable

- Hard State

- Distribución de fotones de ley de potencias ($\Gamma \sim 1.4 - 1.9$)
- Comptonización de fotones térmicos del disco de acreción con electrones de la corona.
- Componente térmica despreciable

