

Galaxias

1. Nuestra galaxia: La Vía Láctea

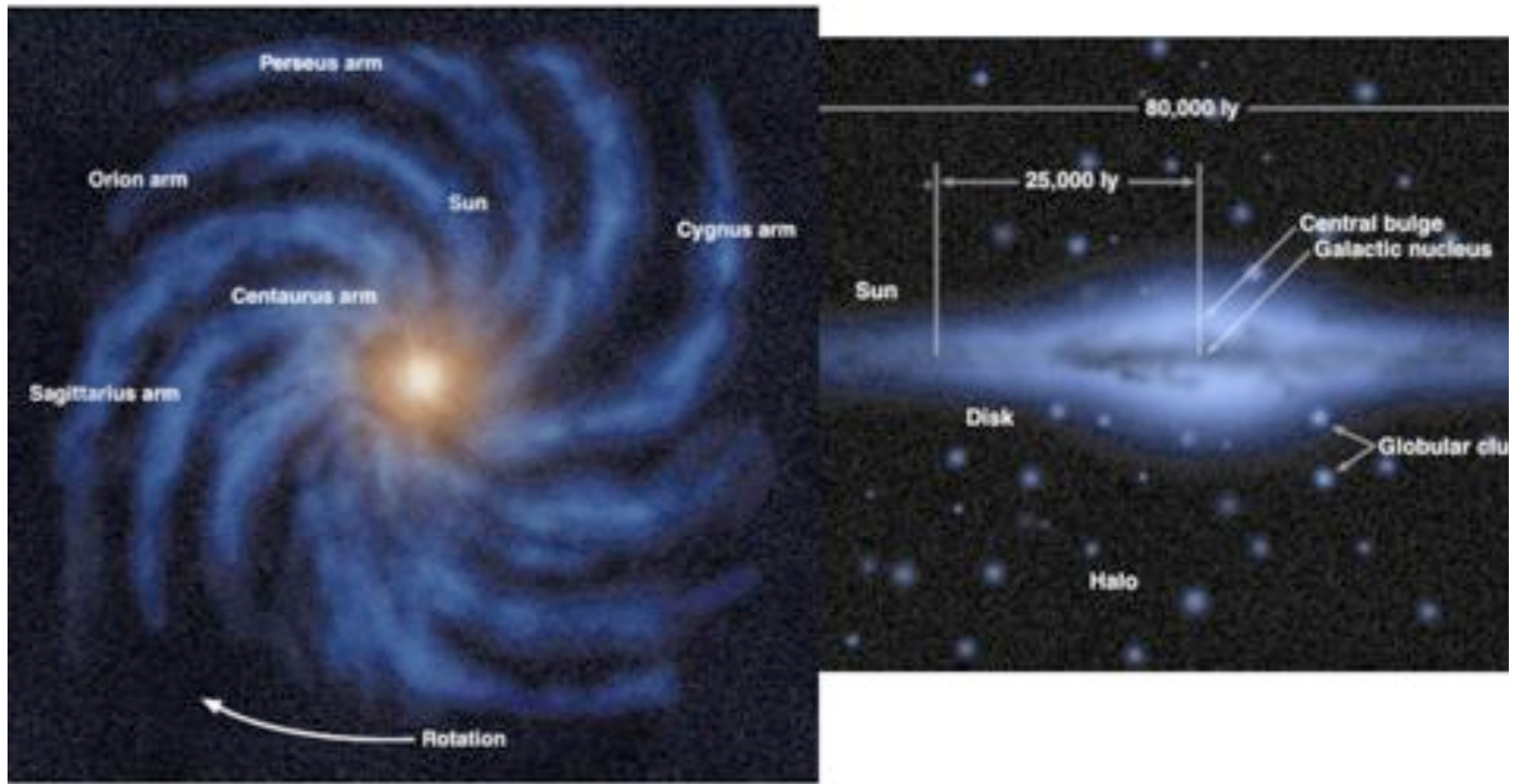
- Estructura
- Formación estelar
- Centro Galáctico

2. Galaxias

- Propiedades
 - Clasificación
 - Luminosidad y Tamaño
 - Masa y materia oscura
- Evolución
 - Entorno
 - Interacciones entre galaxias
 - Formación y evolución a lo largo del tiempo

3. Galaxias con Núcleo activo

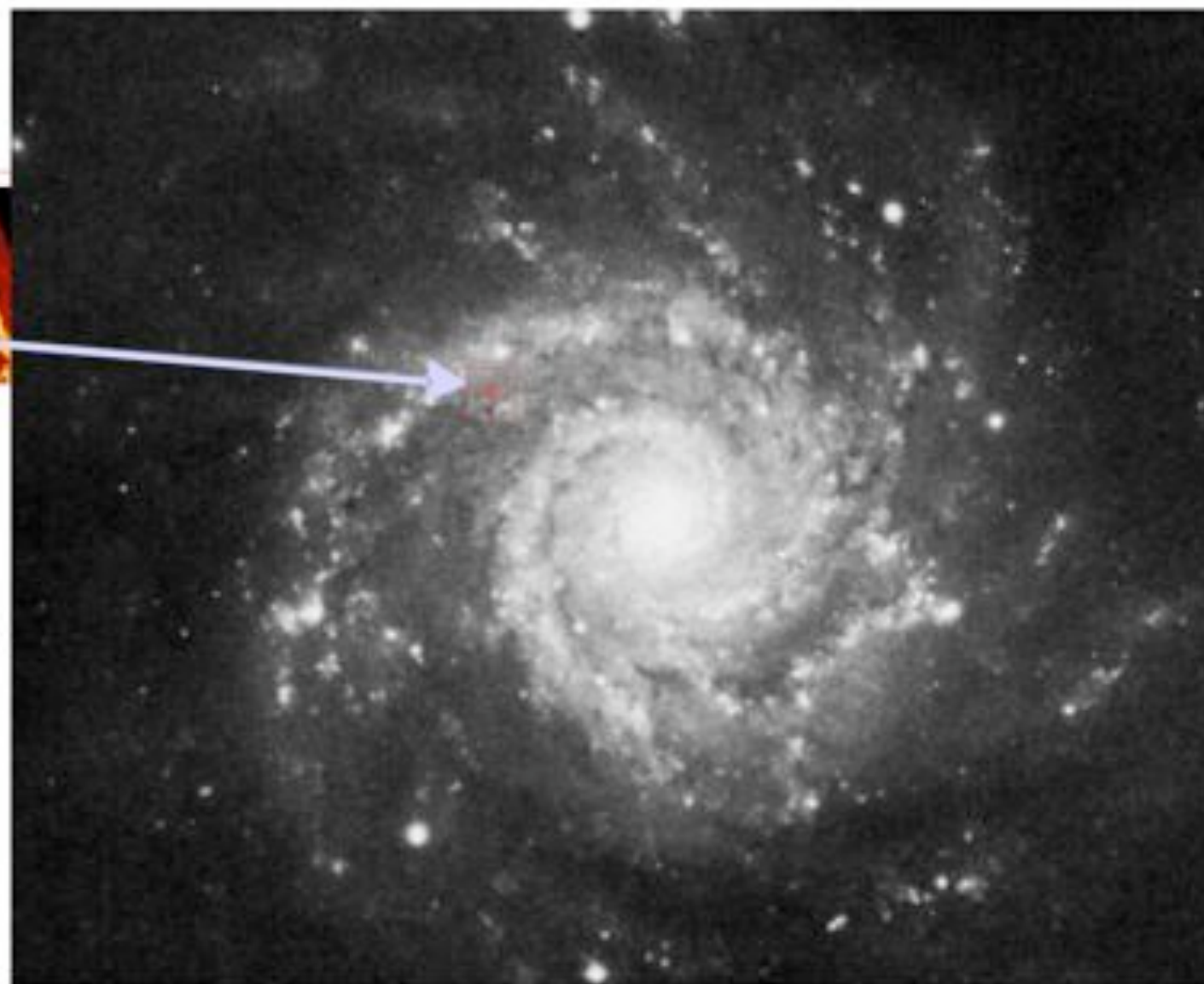
1. Nuestra galaxia: La Vía Lactea



- La Vía Láctea es una galaxia espiral parecida a ésta
- Todas las estrellas (y el gas) están rotando alrededor del centro galáctico
- Duración de una rotación: unos 200 000 años (el sol ya ha dado 20000 vuelta durante su vida)



Diametro tipico:
30 kpc
(90 000 años luz)



¿De qué está formada una galaxia espiral?

Estrella viejas y jóvenes



Cúmulo globular



Cúmulo
Abierto
(Pléyades)

Gas y polvo interestelar

- **Gas ionizado**
 - Alrededor de estrella jóvenes y masivas
- **Gas atómico**
 - Está en toda la galaxia
 - Más extendido que las estrellas
- **Gas molecular**
 - Concentrado en las zonas interiores de las galaxias
 - Indica sitios de nacimiento de estrellas
- **Polvo interestelar**
 - Presente en las zonas de formación estelar

...y campo magnético y rayos cósmicos

.....y materia oscura



- Su composición es desconocida
- Vemos los efectos de su gravitación
- El >90% del universo está hecho de materia oscura

¿Cómo sabemos que la Vía Láctea es así?

Es difícil saberlo porque:

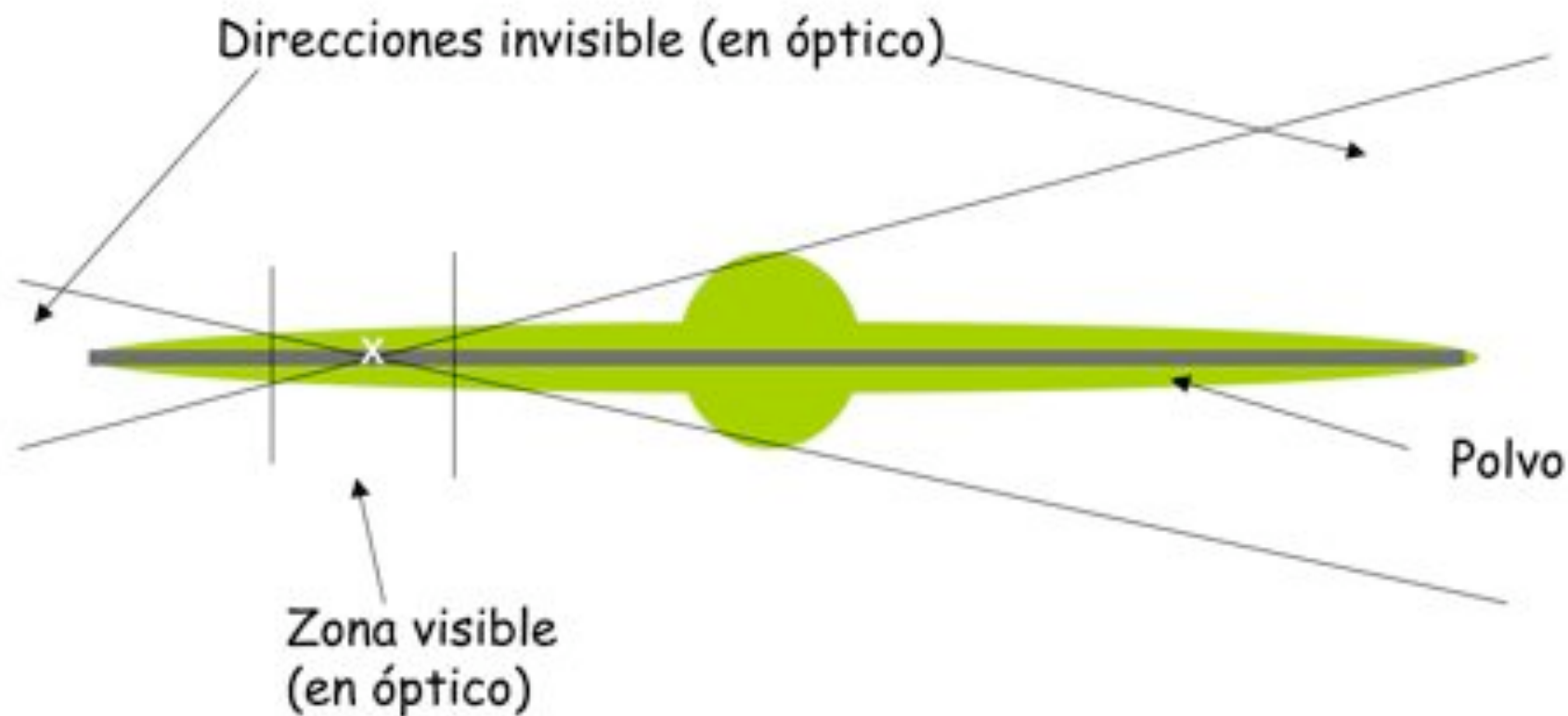
- El polvo interestelar nos impide una visión completa (como a un viajero en la niebla)
- Estamos dentro del disco - no podemos verlo "desde arriba"



Vista panorámica de la Vía Láctea

Problema: Polvo interestelar

- Disco está lleno de polvo que impide la vista a lo largo de el



Primeros intentos de averiguar la forma de la Vía Láctea

Herschel (1785): Estructura deducida a través de un cuento de estrellas. El Sol está en el centro.



Sol

Eddington (1912): "Stellar Movements and the Structure of the Universe":

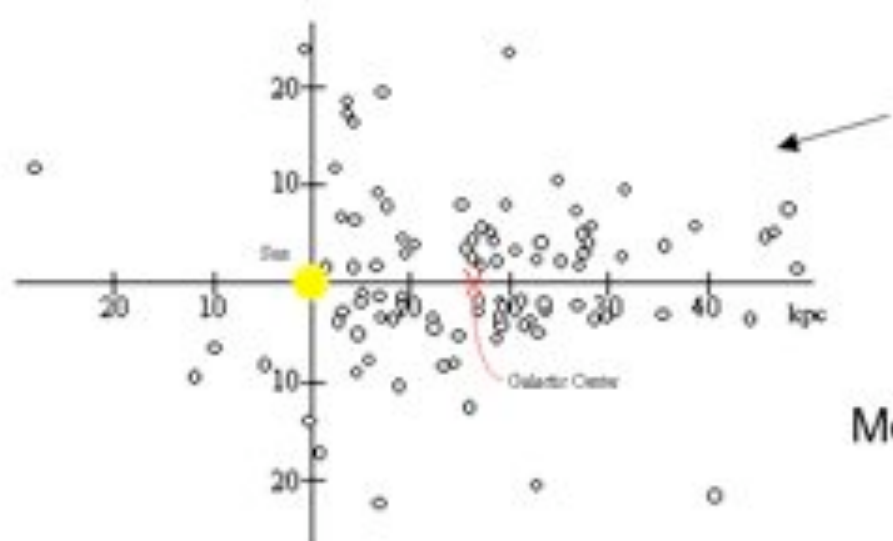
Cúmulo central con sol en el centro y alrededor torus con estrellas



Averiguar la forma de la Vía Láctea mirando la distribución de las estrellas es difícil (o imposible sin más información) - ¿porqué?

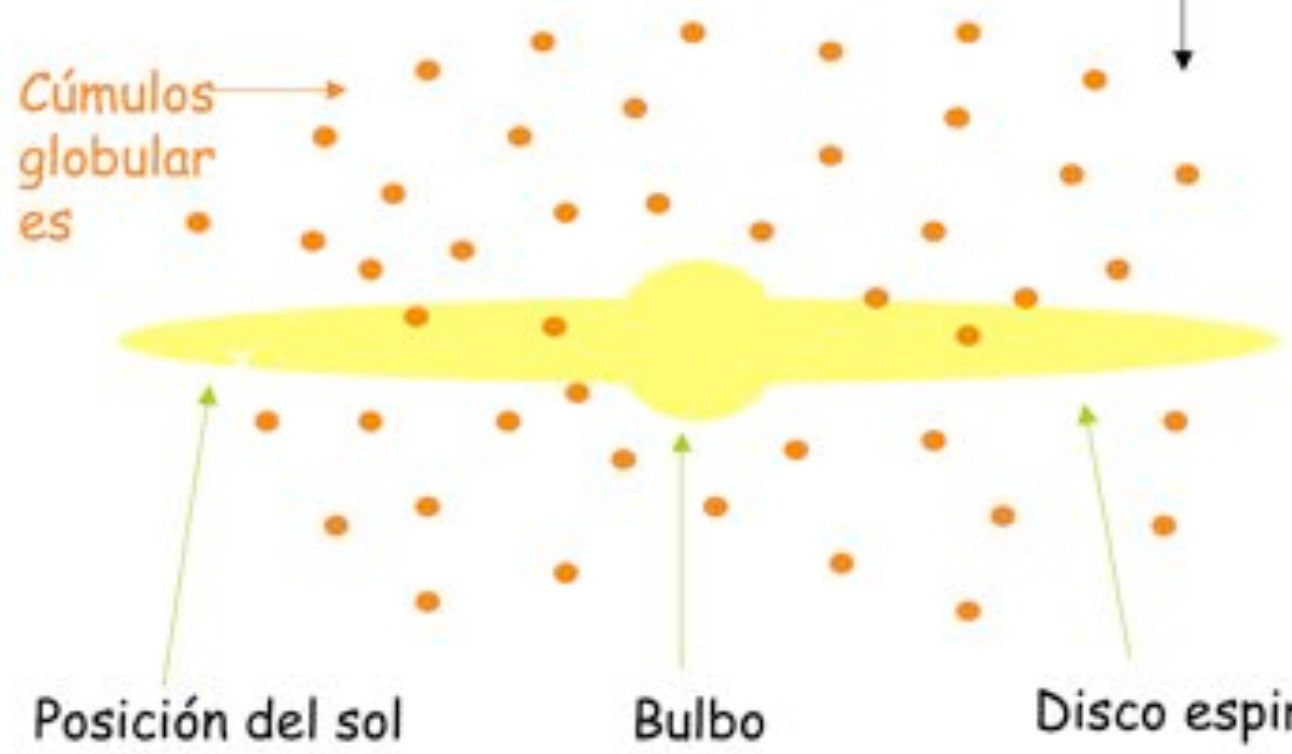
10 años después: Modelo correcto de Shapley

- Shapley usó la **distribución de cúmulos globulares** suponiendo que tienen una distribución approx. esférica (buena hipótesis). Ventajas: Son más luminosas que estrellas → puede medir la estructura de la Vía Láctea a distancias más grandes
- Tenía que determinar las distancias a los cúmulos. Lo hacía:
 - Con estrellas Cefeides. El calibró la relación periodo-luminosidad basándose en movimientos propios.
 - Para los cúmulos distantes donde no podía detectar estrellas Cefeides, suponía que su diámetro real era igual al diámetro medio encontrado para cúmulos cercanos (75 años luz).

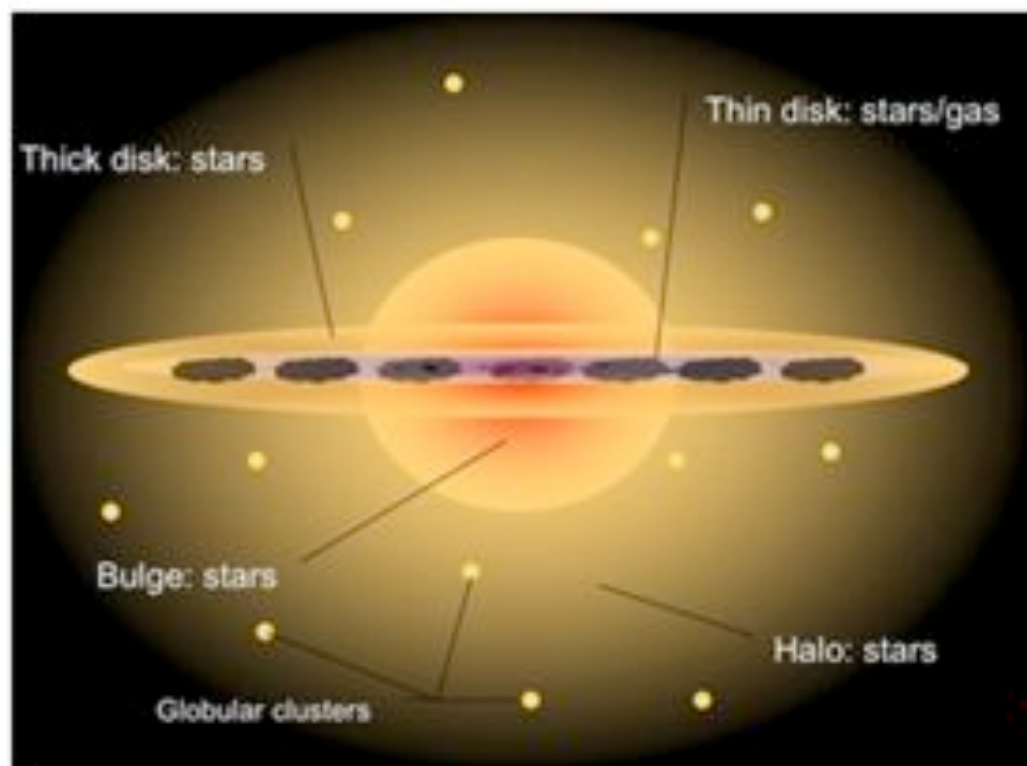


Distribución de cúmulos globulares medido por Shapley → el Sol no está en el centro

Módulo de la Vía Láctea basado en las observaciones de Shapley



Estructura de la Vía Láctea



- Gas y polvo, formación estelar reciente se limite a disco
- Las estrellas se distinguen
- Populación I: en el disco, alta metalicidad (más jóvenes)
- Populación II: en el halo, baja metalicidad (más viejas)
- ¿Cómo se puede deducir de la metalicidad la edad de una estrella?

Evolución química

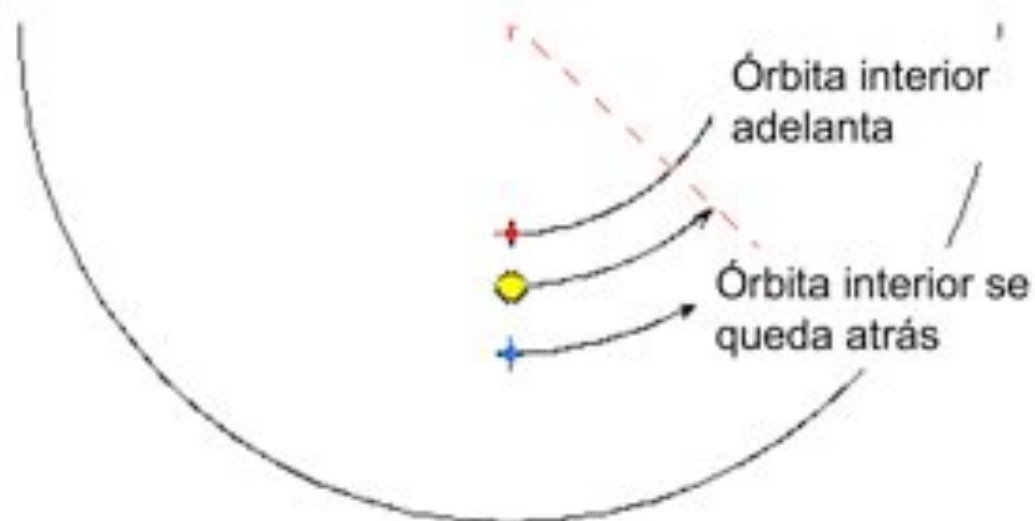
- Gas primordial consiste (sobre todo) de H y He
- Los demás elementos (metales): formado en estrellas, sobre todo supernovas

- Existe relación entre
 - la edad de una estrella y su metalicidad
 - más joven → más metales
 - el sitio de una estrella y su metalicidad
 - halo → baja metalicidad
 - disco → metalicidad más alta,
 - Metalicidad aumenta con distancia al centro galáctico

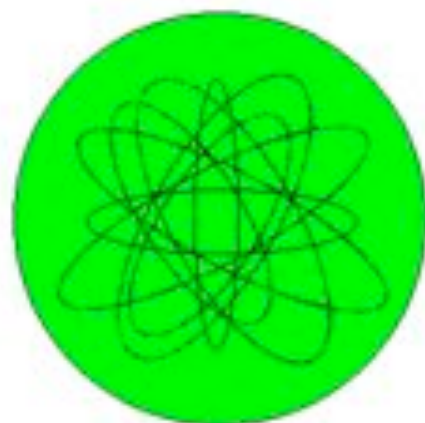
Cinemática en el halo y el disco

En el disco

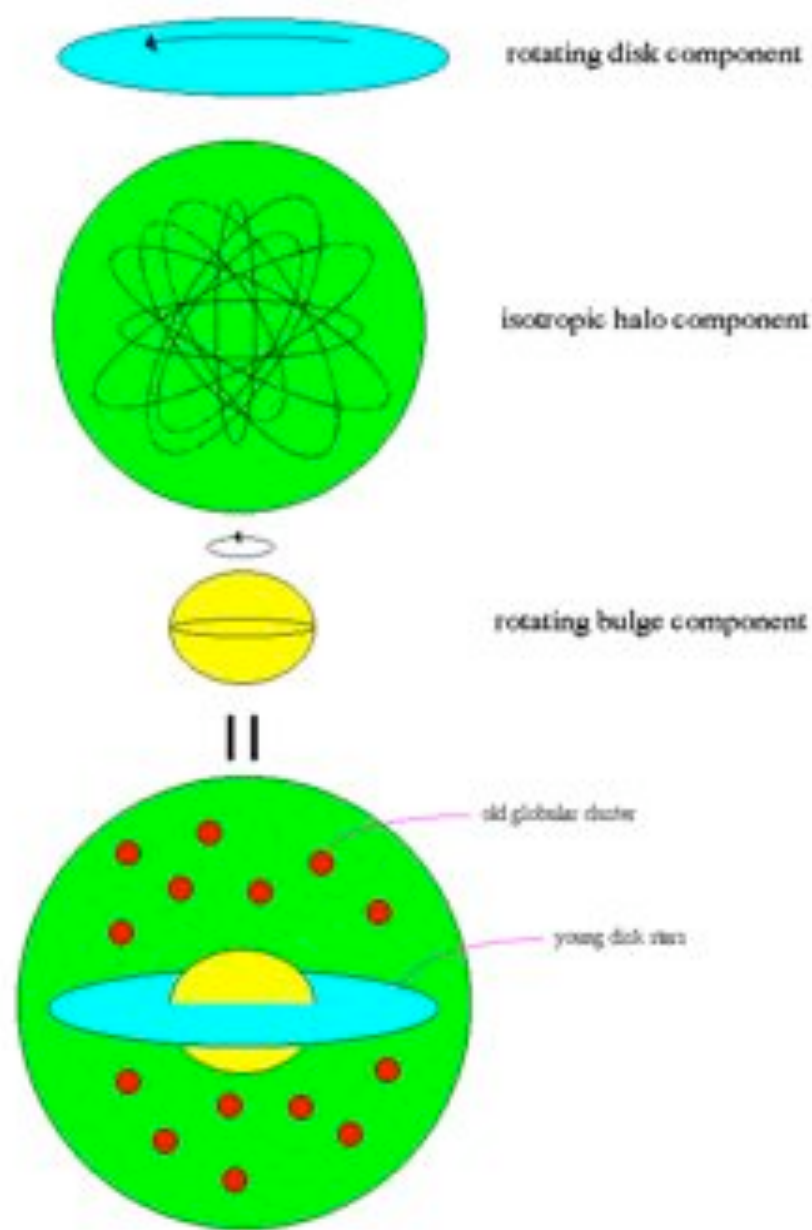
Rotación diferencial



En el halo: Movimientos en forma de elipse, orientado de forma aleatoria



Componentes de la Vía Láctea



Vía Láctea → Sistema dinámico de estrellas, constelaciones cambia con el tiempo

Colisiones entre estrellas

Tantos movimientos aleatorios: ¿Cuándo choca el sol con otra estrella?

- Diámetro del sol: 2.3 segundos-luz
- Distancia a la próxima estrella: 2 años-luz
- Distancia entre estrellas: 30 millones su diámetro: no chocan

Hacer estimación mejor: Considerar choque si hay efecto gravitatorio notable

→ tiempo promedio para que choquen dos estrellas en la Vía Láctea $\sim 10^{13}$ años

Edad del universo: $1.3 \cdot 10^{10}$ años, unos mil veces menos

→ Sol no ha chocado todavía



1.

Posible formación de la Vía Láctea

2.

1. De una nube esférica nacen las primeras estrellas y cúmulos estelares
2. La nube en rotación empieza a contraerse hacia el plano ecuatorial
3. Estrellas y cúmulos ya formados se quedan en el halo
4. Las nuevas generaciones de estrellas tienen una distribución más plana
5. Ahora hay un disco de la galaxias fino.

3.

4.

Parece convincente, pero.....en los años 1980 surgieron dudas, porque:

- Las estrellas con metalicidad más baja están en el bulbo, no en el halo
- No hay estrellas con metalicidad 0 (es decir, hecho de gas primordial)
-

5.

Hoy se piensa que este modelo no es correcto

Formación estelar en galaxias

Whirlpool Galaxy • M51



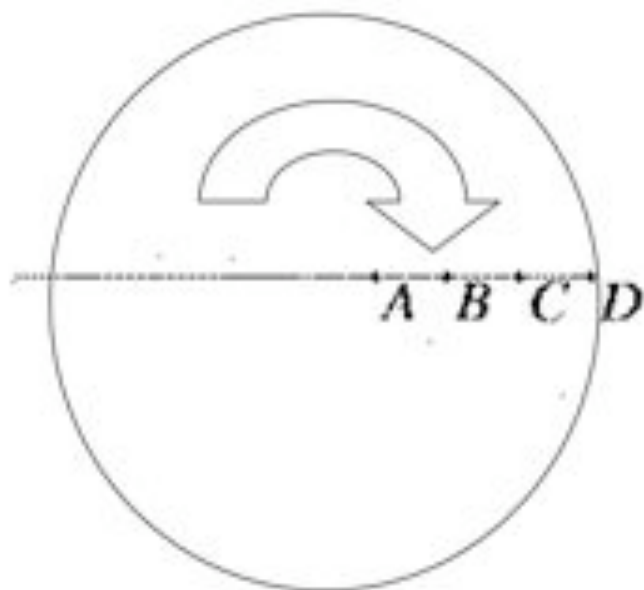
Hubble
1994

- Las estrellas se forman cuando nubes de gas colapsan, pero ¿qué provoca este colapso?
- Una causa: **Ondas espirales**
- Las ondas espirales son zonas de formación estelar activa, visible en:
 - Estrellas jóvenes
 - Gas ionizado
 - Gas molecular y polvo

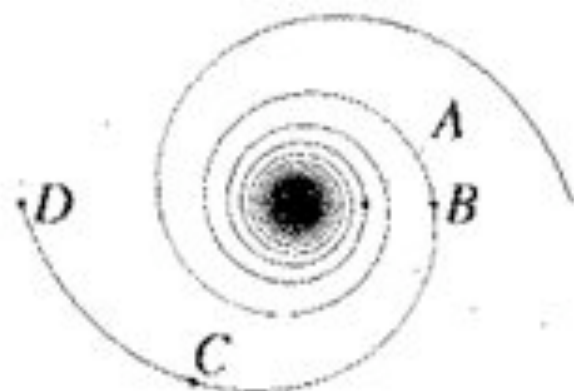
¿Qué son los brazos espirales?

- Podría ser que esta distribución se debe a la rotación diferencial?

Comienzo



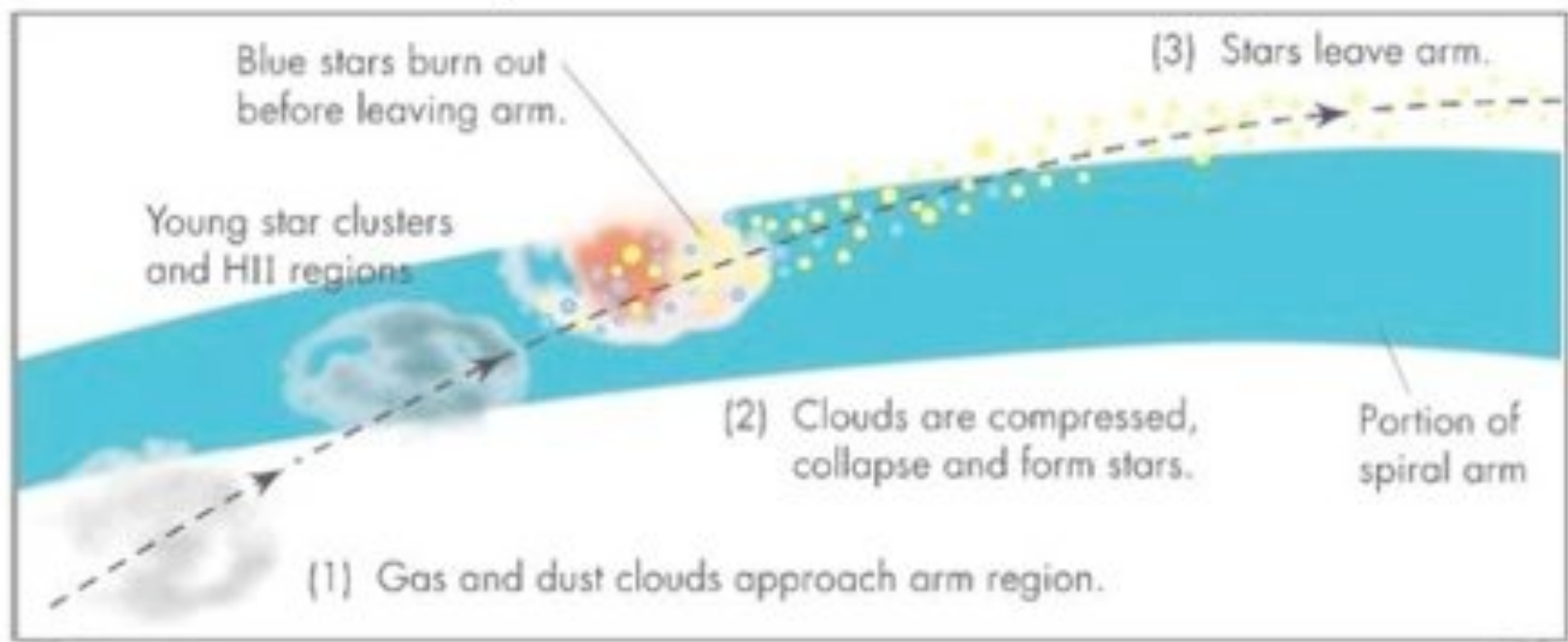
Después de varias vueltas



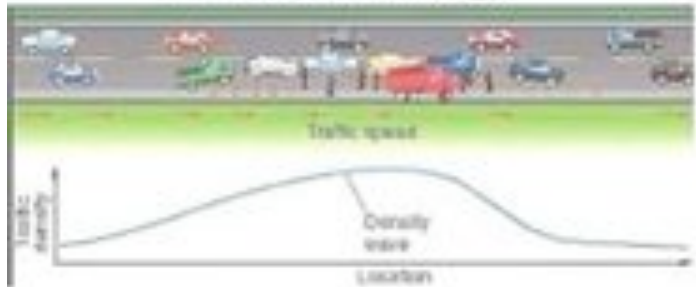
• **¡No!** Porque la rotación diferencial produciría una estructura mucho más envuelta.

• Los brazos espirales no pueden consistir del mismo material siempre

Brazos espirales son ondas de densidad



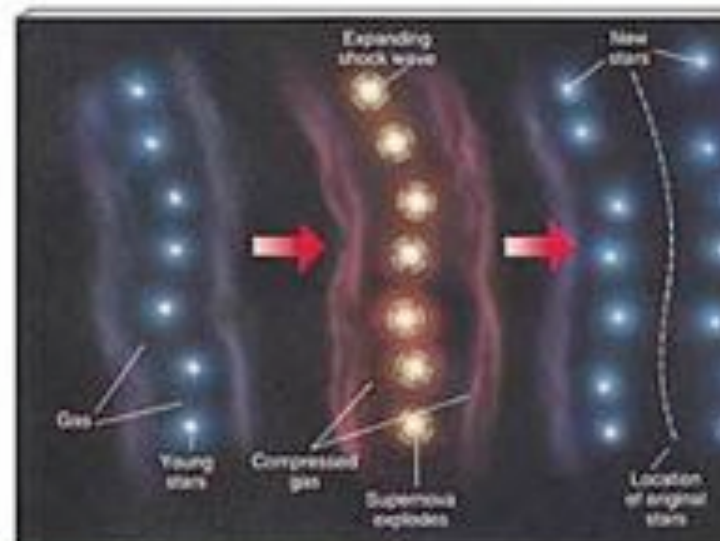
Traffic Jam Analogy



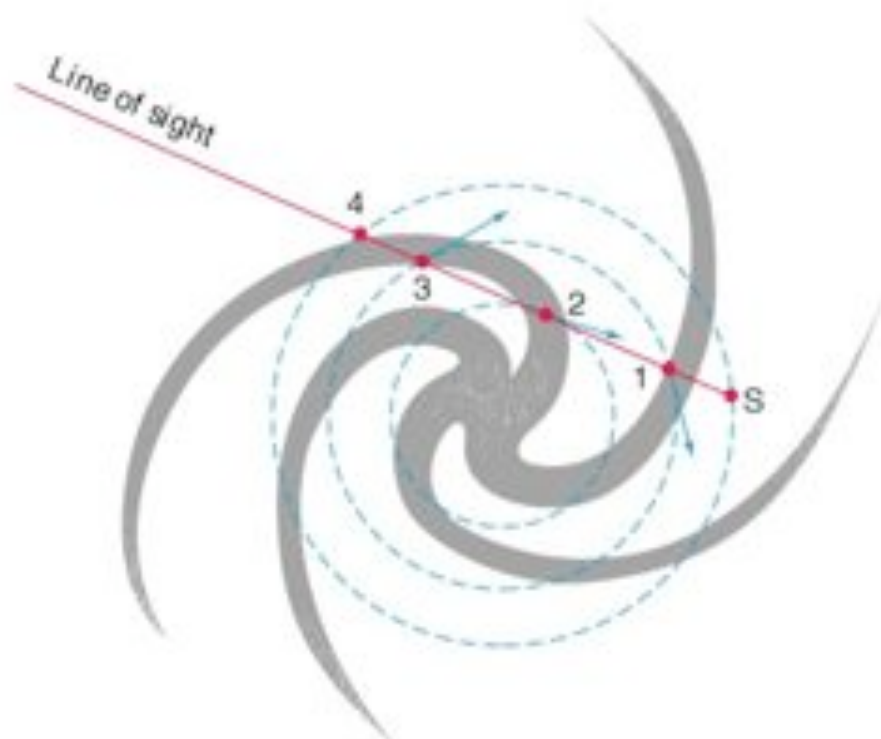
- Son zonas cambiantes de alta densidad de objetos cambiantes (como atasco de coches, ondas de sonido).
- En las zonas de densidad más alta:
 - Estrellas se quedan más tiempo
 - Gas se comprime → estrellas se forman

Ondas espirales estochásticas

- La formación estelar en una zona provoca la compresión del gas en zonas adyacentes.
- Junto con la rotación diferencial se forman brazos espirales



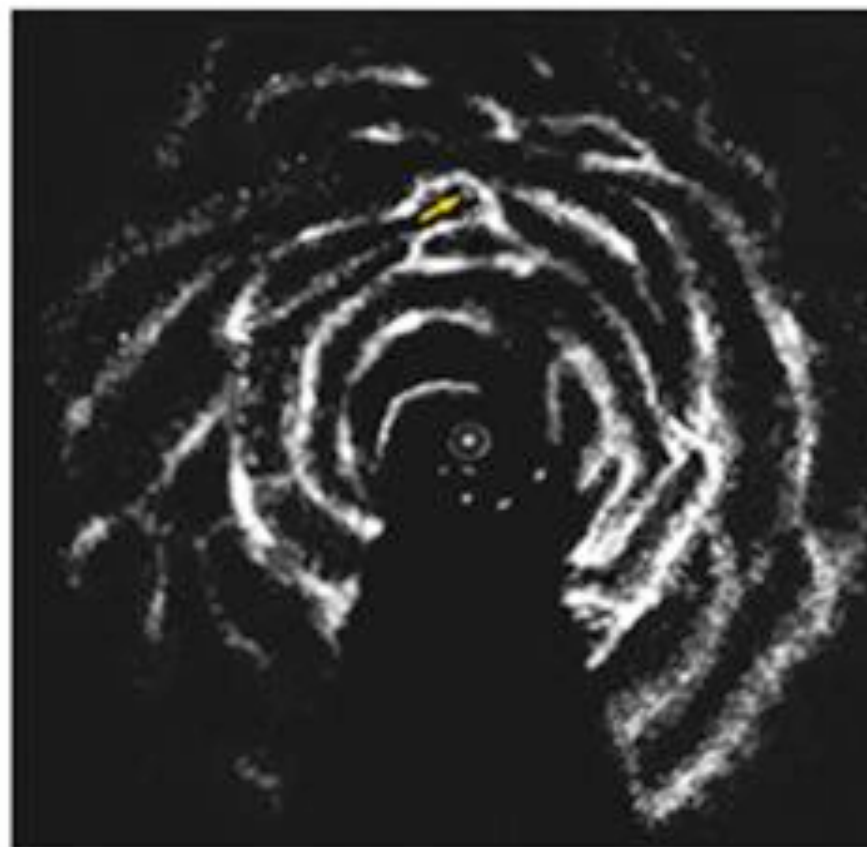
Determinar la distribución de HI en la Vía Láctea



- Observando a lo largo de la línea se detecta emisión a diferentes longitudes de onda.
- A priori no se sabe de donde viene cada parte de la emisión
- Conociendo la curva de rotación se puede asociar cada velocidad con una distancia del centro galáctico, y, sabiendo la dirección de la observación, con su posición exacta en la Vía Láctea

Distribución del gas atómico en la Vía Láctea

- Mapas de la verdadera distribución enseñan que gas no está distribuido homogéneamente pero en filamentos parecido a brazos espirales

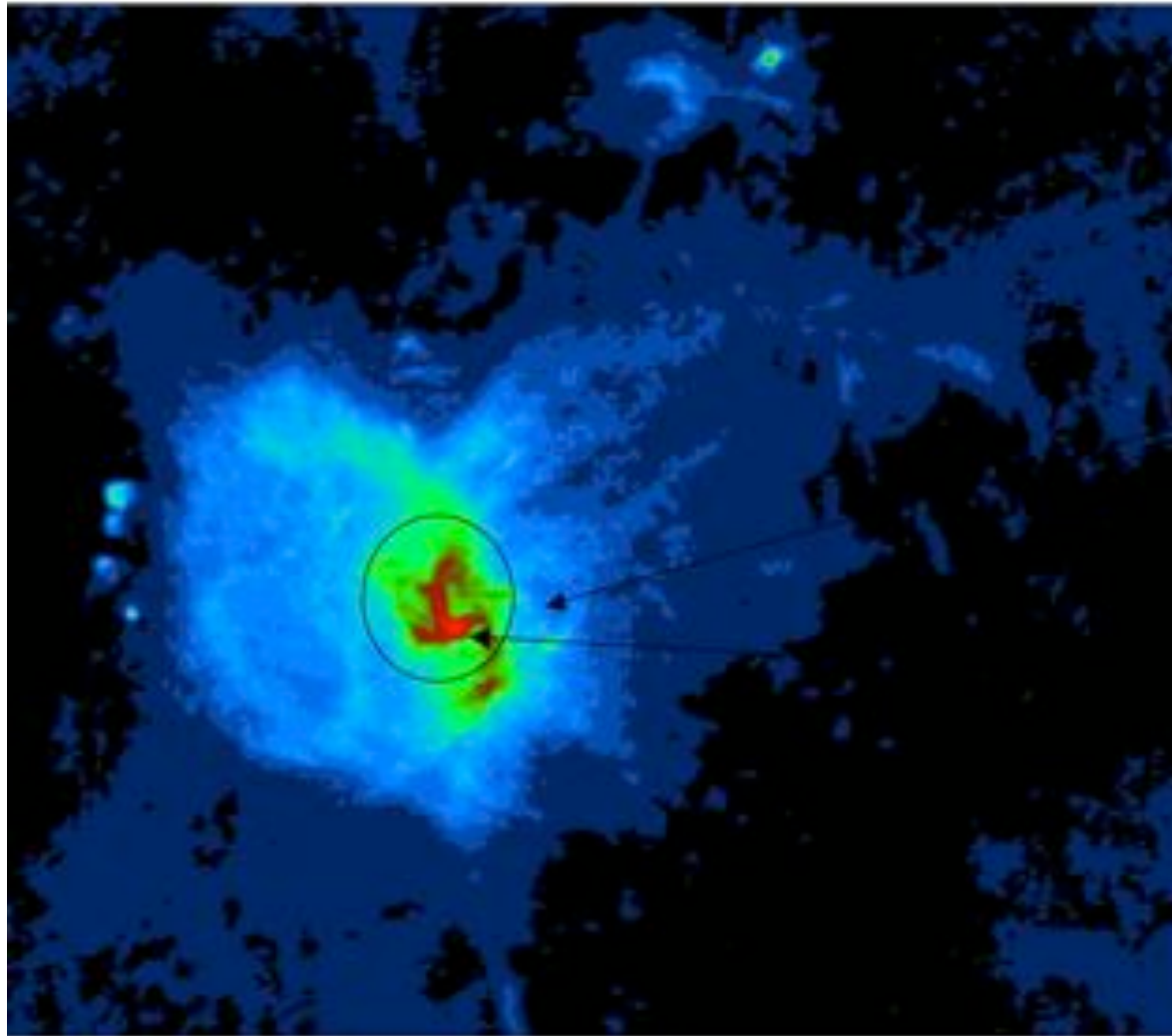


Mapa de HI de la Vía Láctea del barrido de grupo Leiden-Sydney (finalizado en 1958)

Centro galáctico: Observaciones infrarrojos necesarios para penetrar el polvo



Imagen radio del centro galáctico



Sagittarius A East:
Gas ionizado y polvo
Circulando rápidamente
alrededor del centro

Sagittarius A*:
Brillante y compacta
fuente de radio
(centro de espiral)

¿Un agujero negro?

Agujeros negros en los centros de galaxias

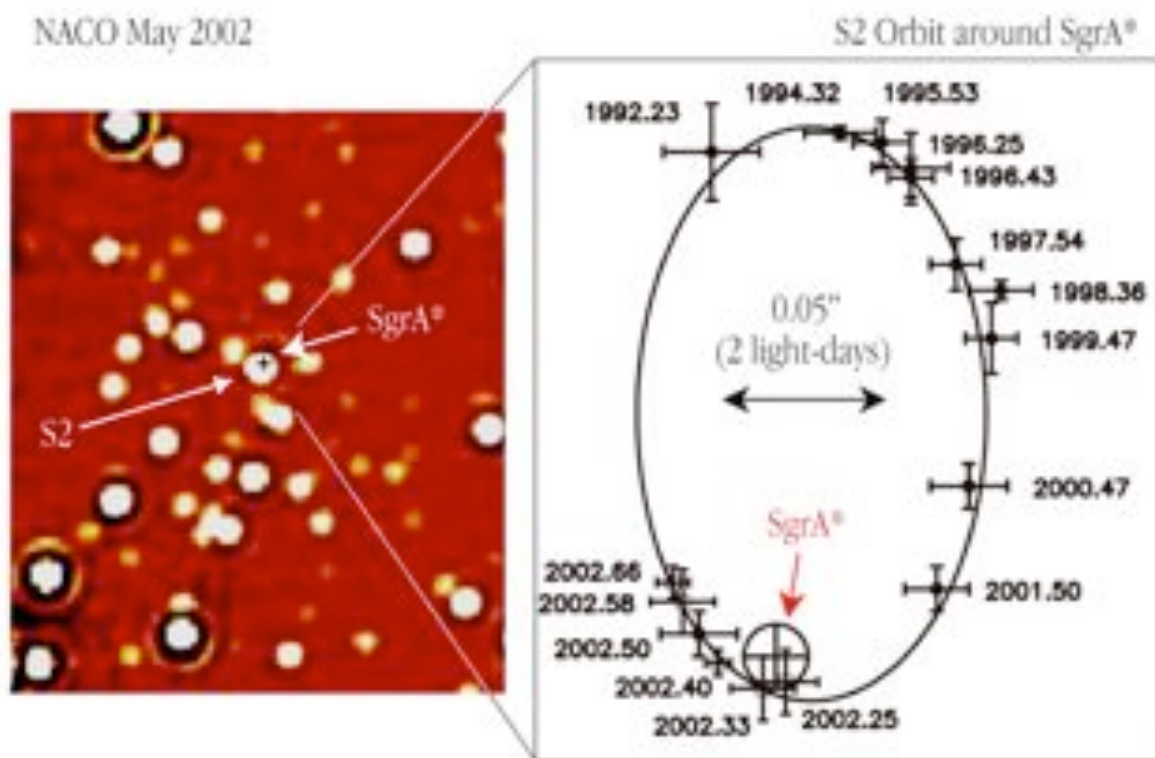
- Algunas galaxias ("Galaxias con un núcleo activo") tienen un agujero negro muy masivo en su centro que produce mucha emisión cuando materia se caye dentro.

• Se sospecha que todas las galaxias podrían tener un agujero negro, menos activo y incluso "dormido" en su centro.

Visión artística de un agujero negro con materia alrededor en forma de disco



Pesando el objeto en el centro galáctico: Observar movimientos de estrellas alrededor del centro galáctico con cameras infrarrojo cercano (posible desde ~1990)

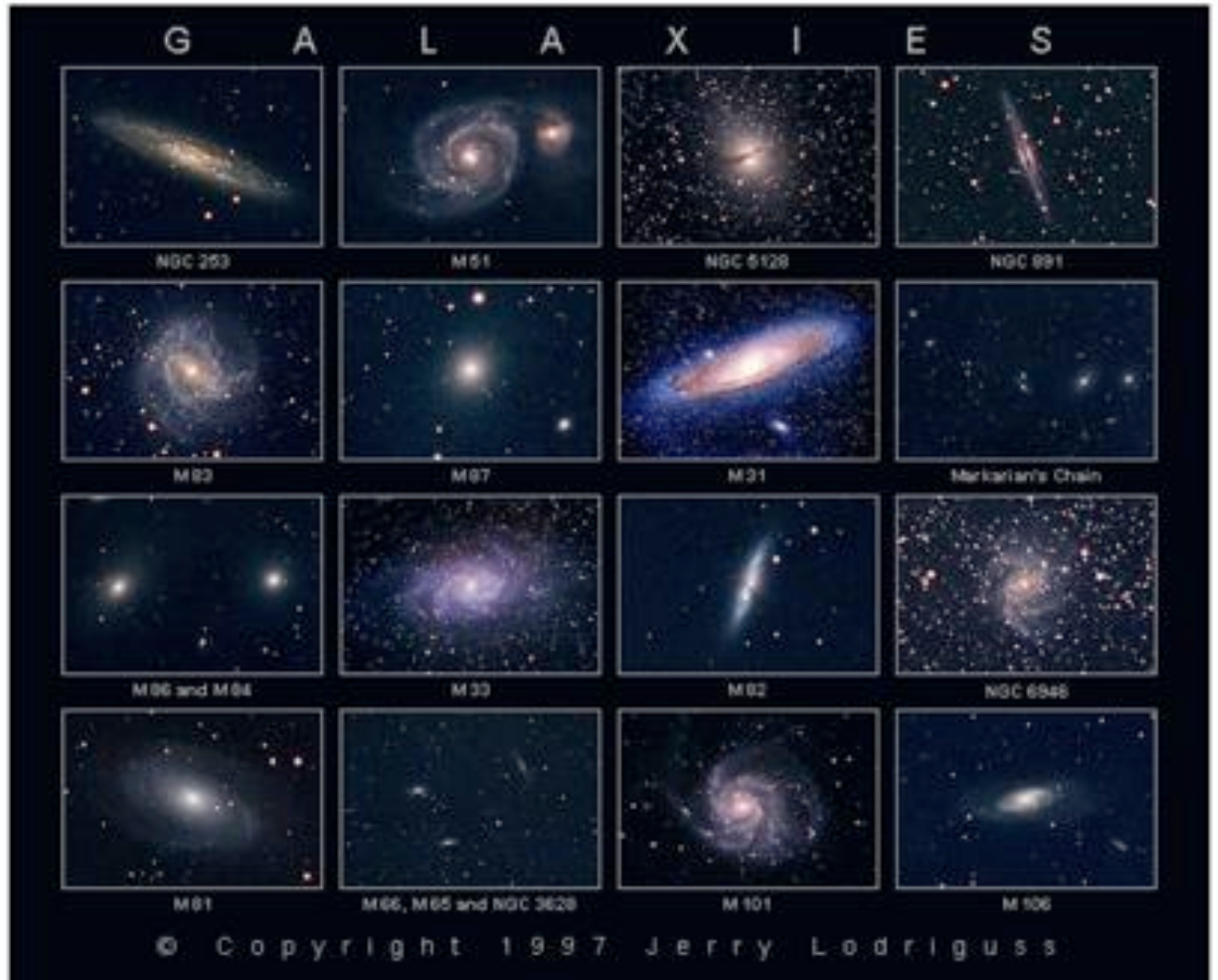


- Observaciones a lo largo de más de 10 años eran necesarios para obtener las órbitas de las estrellas.
- Interesa órbita lo más cercana posible al centro
- Masa del objeto central: 2.6 millones de M_{sol}
- Tanta masa en poco espacio tiene que ser agujero negro.

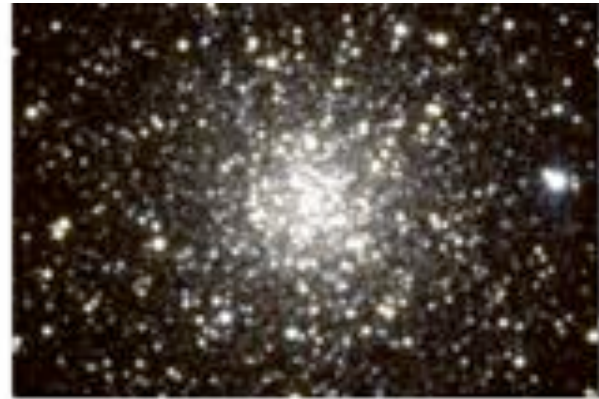
The Motion of a Star around the Central Black Hole in the Milky Way



2. Galaxias



Historia



Durante mucho tiempo se observaban "nebulosas".

Los catálogos de nebulosas contenían galaxias, nebulosas de emisión (regiones HII) y nebulosas de reflexión (nebulosas planetarias), cúmulos globulares y abiertos

- 1781: Catalogo de Charles Messier (Andromeda = M31)
- 1888: New General Catalog (Andromeda=NGC224)





Shapley

Curtis

Discusión entre Shapley y Curtis

Que son las nebulosas espirales?
Es correcta la hipótesis de Universos-Islas?

Shapley:

Pensó que el tamaño tan grande que derivó para nuestra Galaxia lo hacía improbable que las espirales eran objetos parecidos

Curtis:

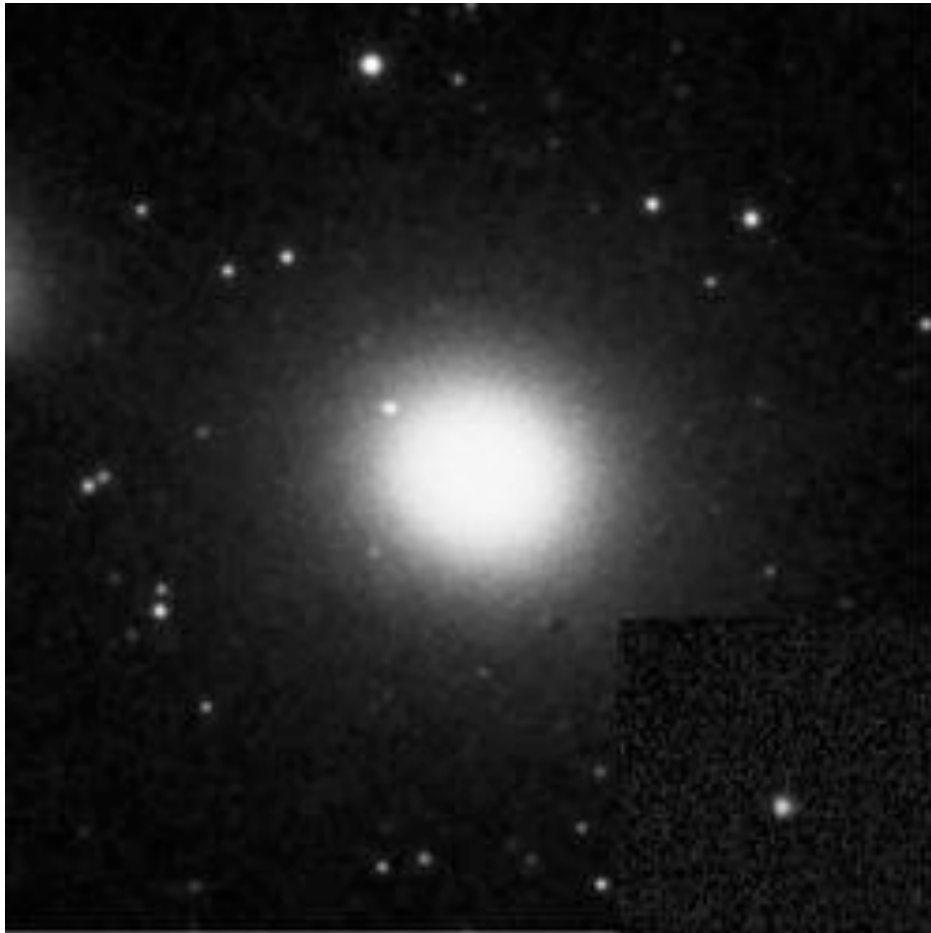
Apoyaba la teoría de Universos-Islas

- En 1920 hubo un debate entre ellos ante la Academia Nacional de Ciencia en Washington
- Hoy sabemos: Shapley no tenía razón, aunque su argumentación era razonable.....

Edwin Hubble

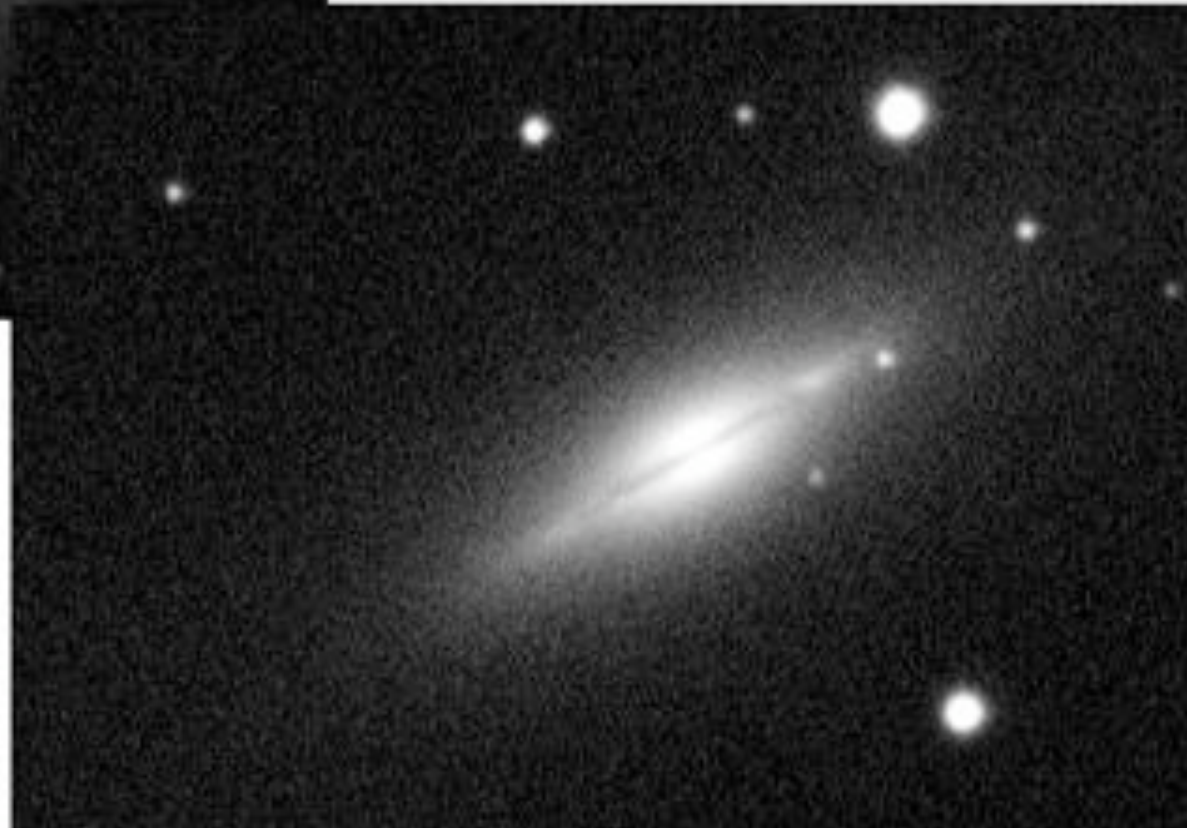


- 1923: Observó estrellas variables *Cefeides* en *Andromeda* → determinó la distancia → con esa distancias era comprobado que esta "nebulosa" era una sistema de estrellas ajena a nuestra *Ví Láctea*
- 1924: Midió las distancias a más galaxias con estrella variables *Cefeides* y determinó la ley de Hubble
- Hizo la primera clasificación de las galaxias.



Clasificación:
Galaxias elípticas
y esferoidales

Tienen poco gas y ya
no forman estrellas
(así solamente tienen
estrellas viejas).



Galaxias espirales

- Tienen disco con brazo espirales.
- Contienen gas y forman activamente estrellas



Espirales barradas



Más de la mitad de las galaxi
contienen una barra



© Anglo-Australian Observatory/Royal Observatory

Galaxias irregulares

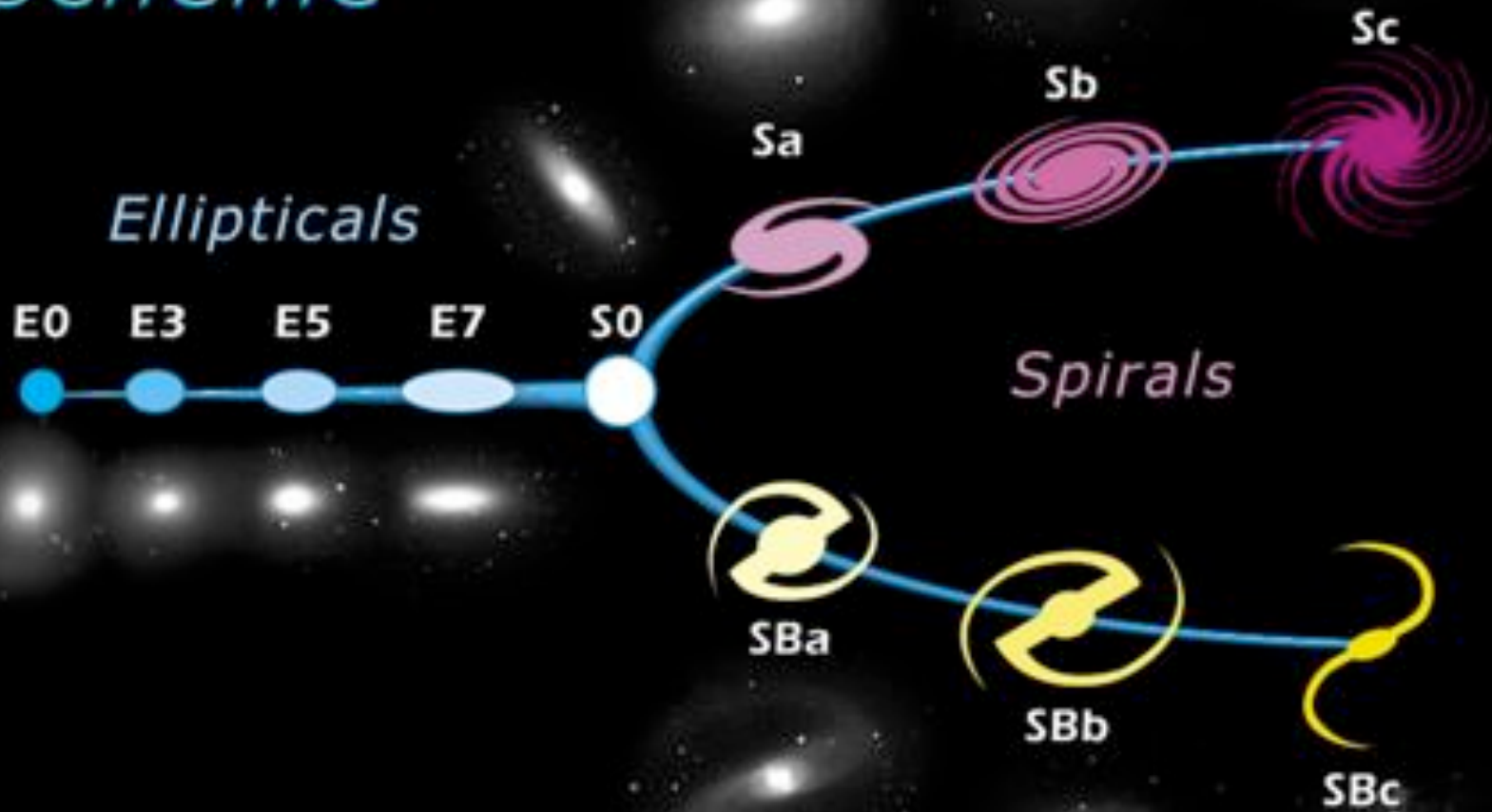
Son pequeños, normalmente clasificados como "enanas"

Copyright Anglo-Australian Observatory/Royal Observatory

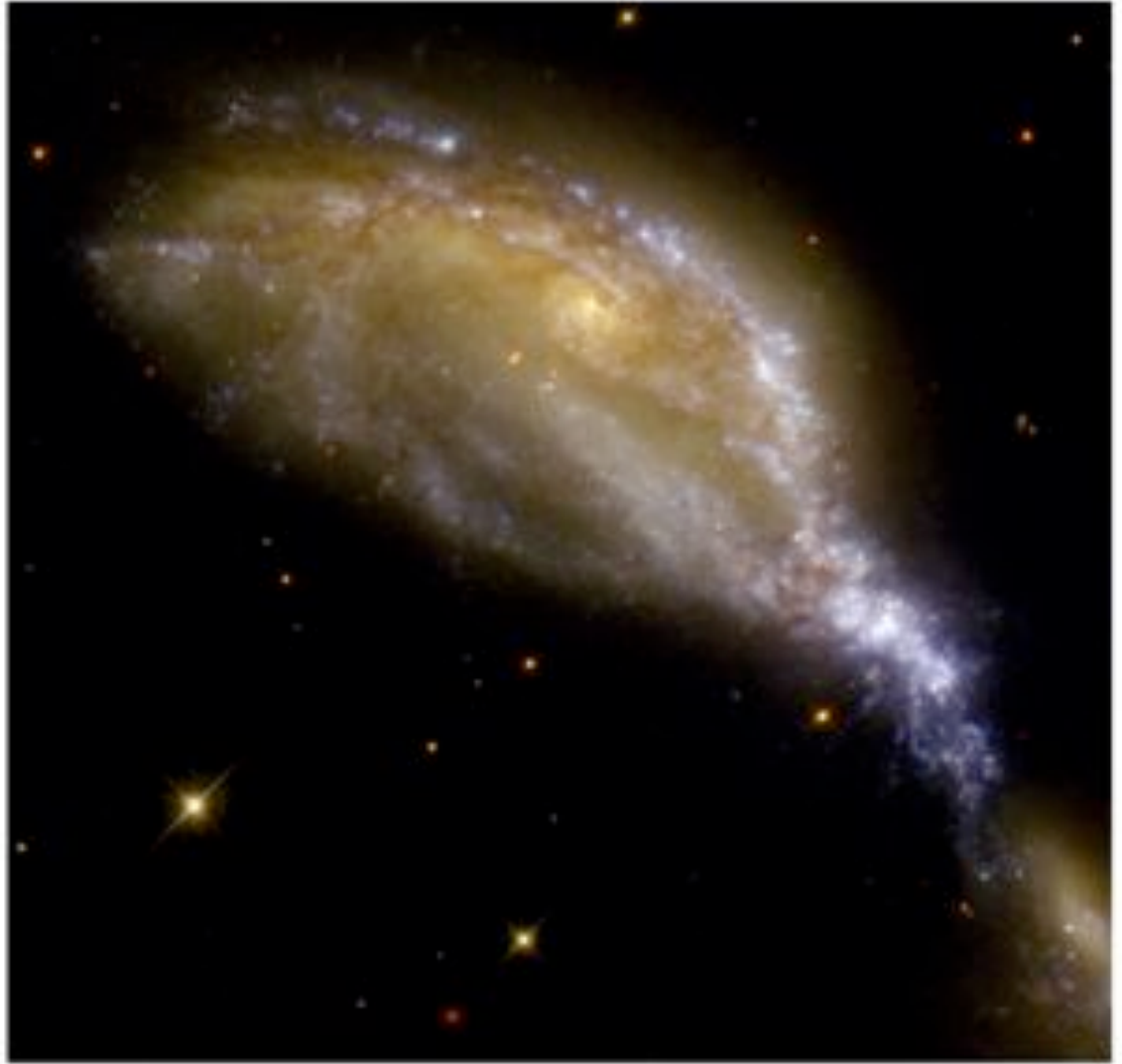
Nuestros vecinos:
Las Nubes de Magallanes



Edwin Hubble's Classification Scheme



Galaxias peculiares: Interacción



Galaxias peculiares: Brote de formación estelar



Ultraluminous Infrared Galaxy Arp 220 HST • NICMOS

PRC97-17 • ST ScI OPO • June 9, 1997

R. Thompson (University of Arizona),

N. Scoville (California Institute of Technology) and NASA

Algunas preguntas

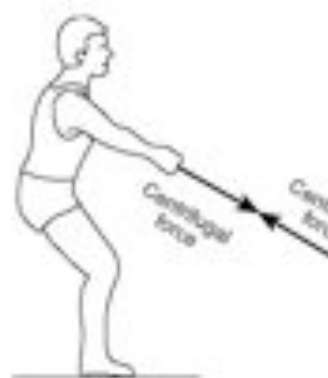
- ¿Cómo se han formado las galaxias?
- ¿Porqué existen los diferentes tipos de Hubble? ¿Son creados diferentemente?
- ¿Puede una galaxia cambiar de tipo y cómo?
- ¿Cómo eran las galaxias del universo joven? ¿Igual que las de hoy?
- ¿Qué regula la formación estelar? ¿Qué provoca los brotes de formación estelar?
- ¿Más preguntas....?

Tamaños y luminosidades de galaxias

- Las galaxias elípticas cubren un gran rango de tamaños (y luminosidades):
 - Galaxias **elípticas gigantes** pueden ser hasta 5 veces más grandes que la Vía Láctea (VL). Son las galaxias más grandes que existen.
 - Galaxias **elípticas enanas** tienen hasta el 1% del diámetro de la VL.
- Entre las galaxias espirales, la VL es relativamente grande. Las galaxias espirales más grandes pueden tener hasta 4 veces el tamaño
- Las galaxias **más luminosas** tienen hasta 1000 veces la luminosidad de VL, los menos luminosas (galaxias enanas) unos 1000 veces menos



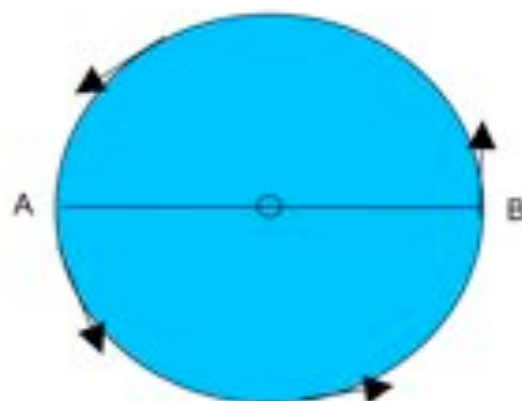
Pesando las galaxias: Curva de rotación y materia oscura



- La **velocidad de rotación de una estrella** o nube de gas a una distancia R del centro de masas de galaxia produce una **fuerza centrífuga**
- Esta debe de estar igual que la **fuerza de gravitación** ejercida por masa interior de este radio $M(<R)$.
- Conociendo $V(r)$ podemos **calcular la distribución de masa $M = M(r)$** . Esta masa se llama la **masa dinámica**.

- Necesitamos medir la velocidad de rotación en función a la distancia del centro
- Para observar la rotación es necesario que las galaxias estén de perfil (o al menos *no de cara*).

No podemos determinar la V_{rot}



Disco rotando visto desde arriba
 (ángulo de inclinación 0 deg)
 No hay componente de velocidad en la línea de visión entre galaxia y observador

Radiación corrido al azul

Radiación corrido al rojo



Disco rotando visto de perfil
 (ángulo de inclinación 90 deg)
 La velocidad de rotación tiene componentes no nulas en la línea de visión del observador.



Galaxias vista de perfil



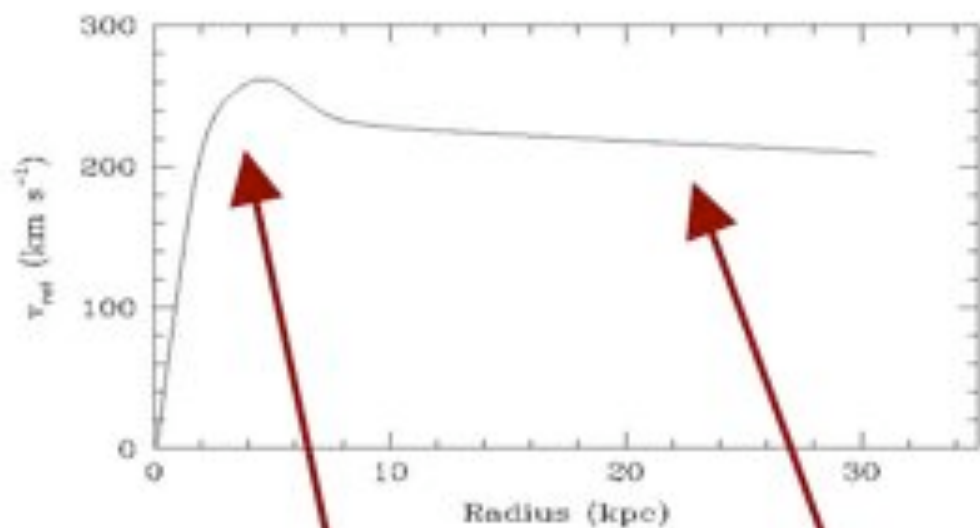
Galaxia vista de cara

Curvas de rotación se pueden observar en galaxias vistas de perfil

Importancia de HI

- Hace falta observar una línea para determinar la velocidad. Podría ser :
 - Líneas de absorción de estrellas
 - Líneas de emisión del gas
 - Línea del gas molecular o hidrógeno (línea a 21 cm)
- La emisión de hidrógeno tiene muchas ventajas:
 - HI es la componente de una galaxia con la extensión radial máxima (máxima distancia del centro) → permite estudiar zonas en las afueras de las galaxias y masa dinámica global de galaxias
 - Emisión de HI es más fácil de detectar en las zonas exteriores.
 - Desde que la sensibilidad de los detectores (final de los 1970s) es suficiente, existen muchos datos dando las curvas de rotación en galaxias

Típica curva de rotación observada

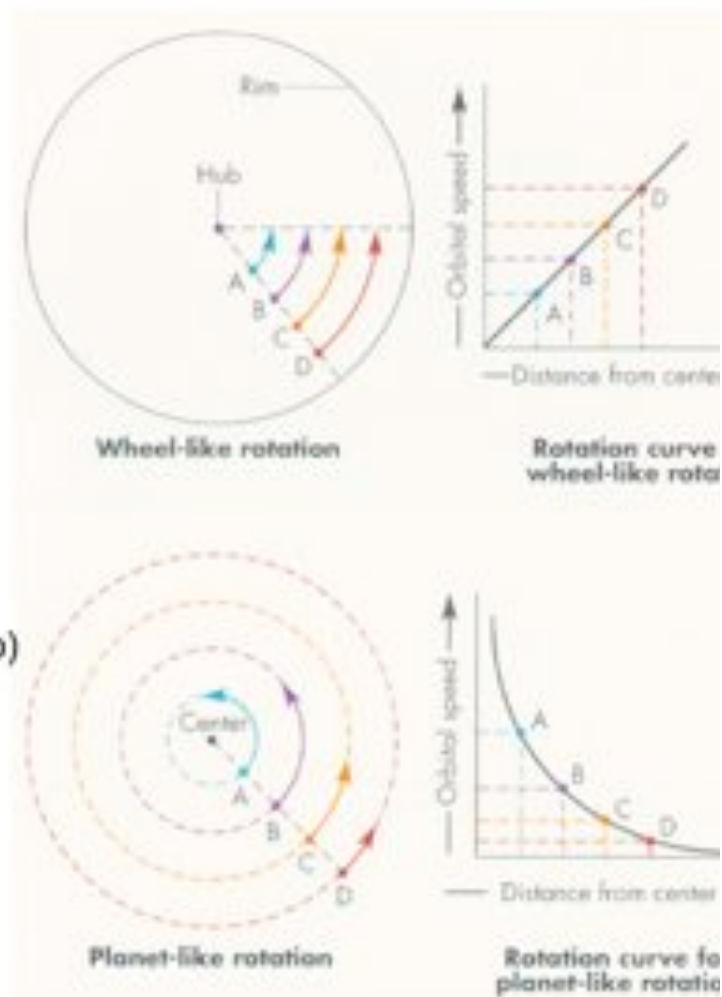


$v_{rot} \sim \text{constante}$
(velocidad angular decrece con radio)

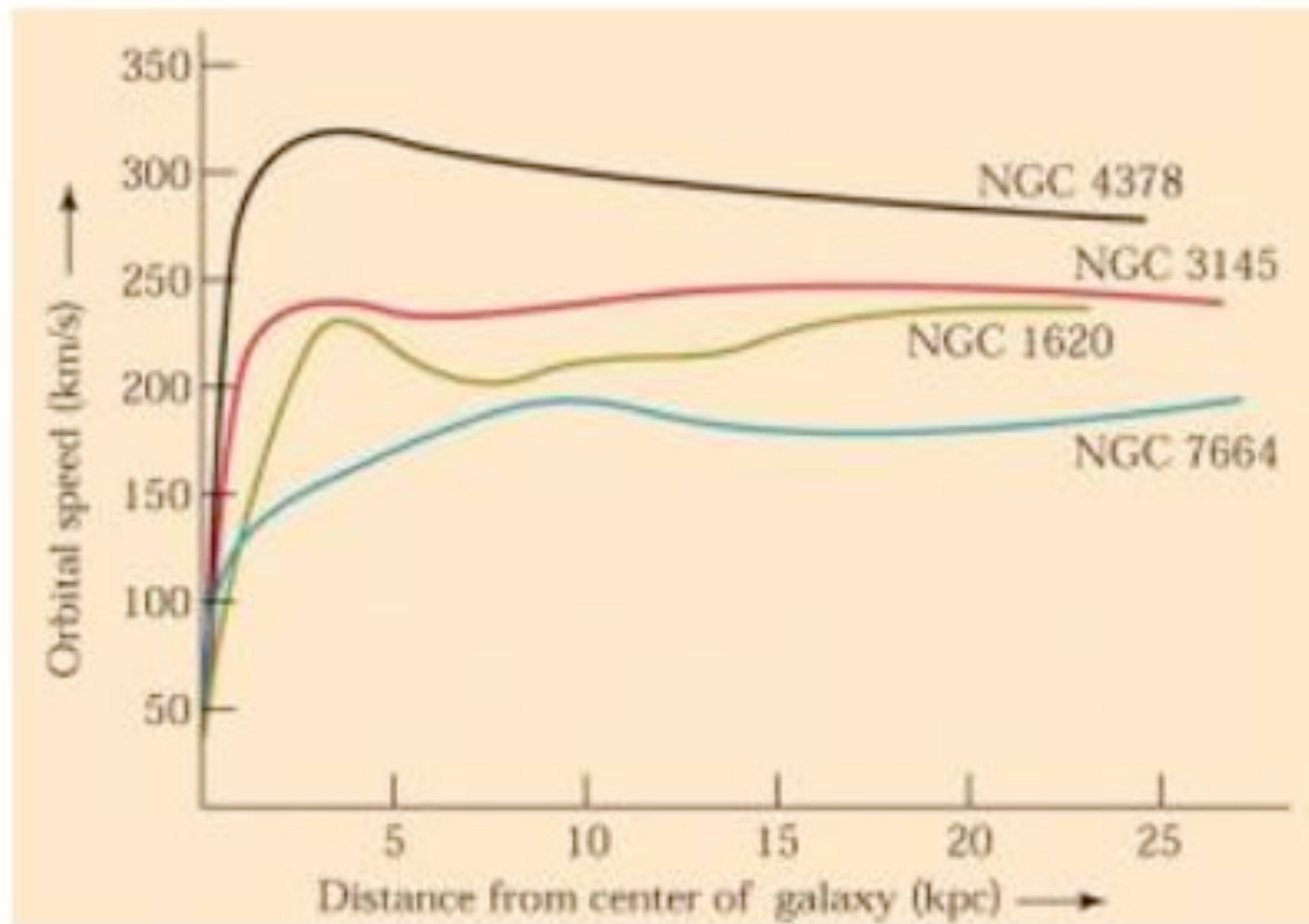
Rotación de sólido rígido

(v_{rot} proporcional a R; velocidad angular constante)

Curvas de rotación teóricas



Más ejemplos



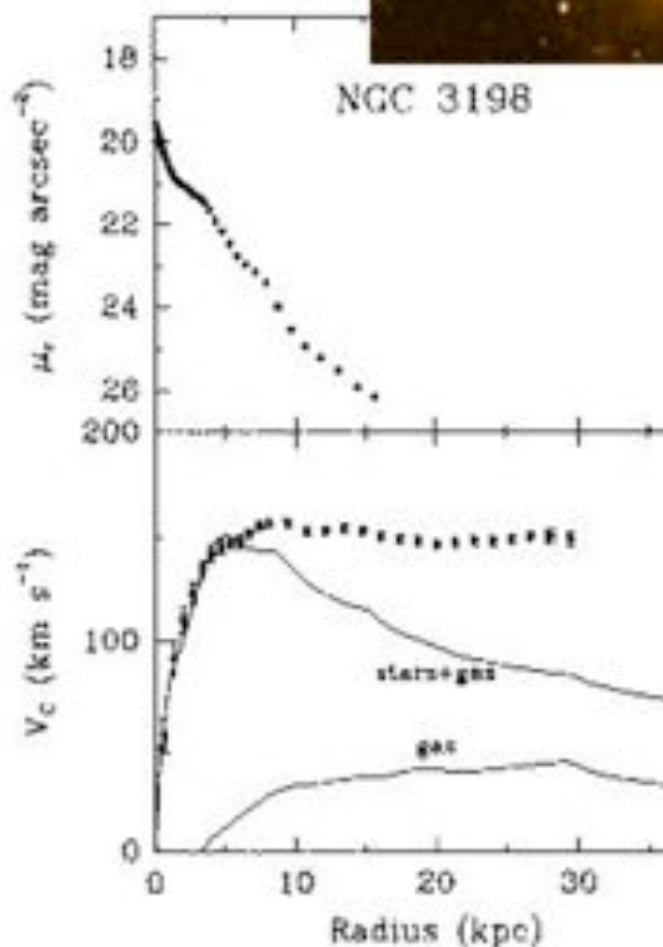
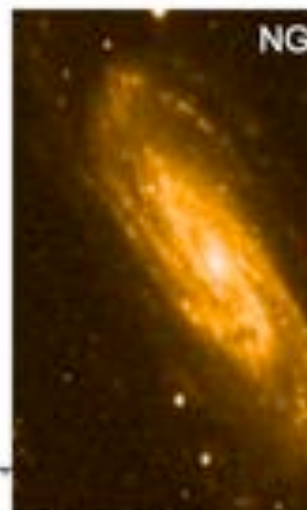
Interpretación:

Tiene que haber masa que no vemos -
masa oscura

Esta discrepancia entre masa visible y masa dinámica es un fenómeno común en galaxias espirales.

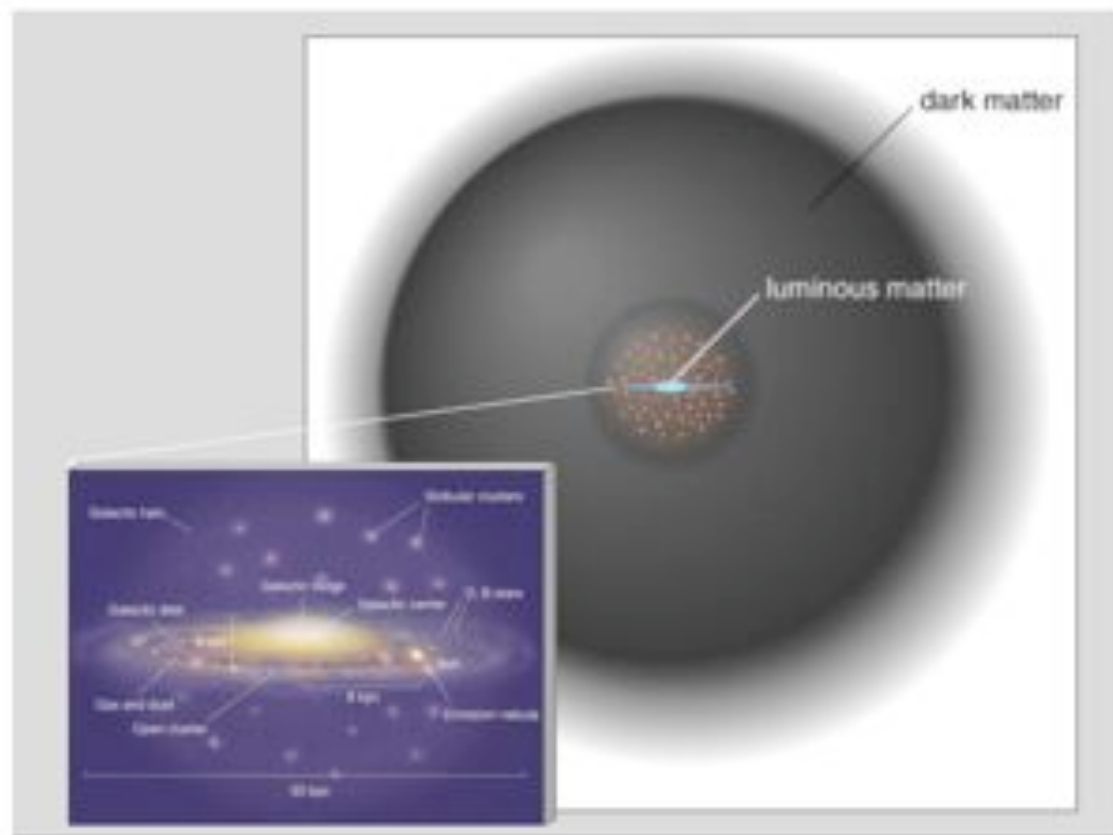
Freeman, en el 1970, fue el primero en interpretar las curvas de rotación de espirales como evidencia de la existencia de materia oscura.

Pero Zwicky, en el 1937, había ya encontrado que la materia visible en cúmulos no era suficiente para explicar movimientos de galaxias → propuso materia oscura



¿ Cuánta materia oscura hay y cómo se distribuye ?

· Se suele suponer que la materia oscura está contenida en una componente de la galaxia llamada **halo**, con simetría esférica.



· Típicamente, se necesita ~ 10 veces más materia oscura que materia luminosa para explicar las curvas de rotación

. Existen otras explicaciones alternativas a la hipótesis de materia oscura:

.**MOND (Modified Newtonian Dynamics)**: La dinámica newtoniana necesita modificación para poder aplicarla a distancias tan grandes (desarrollada en 1983, Milgrom)

.**Hipótesis magnética**: La curva de rotación se puede explicar por la acción de campos magnéticos en el disco (Nelson, 1988; Battaner et al. 1992).

Pero: La existencia de la materia oscura es también necesario en los modelos cosmológicos

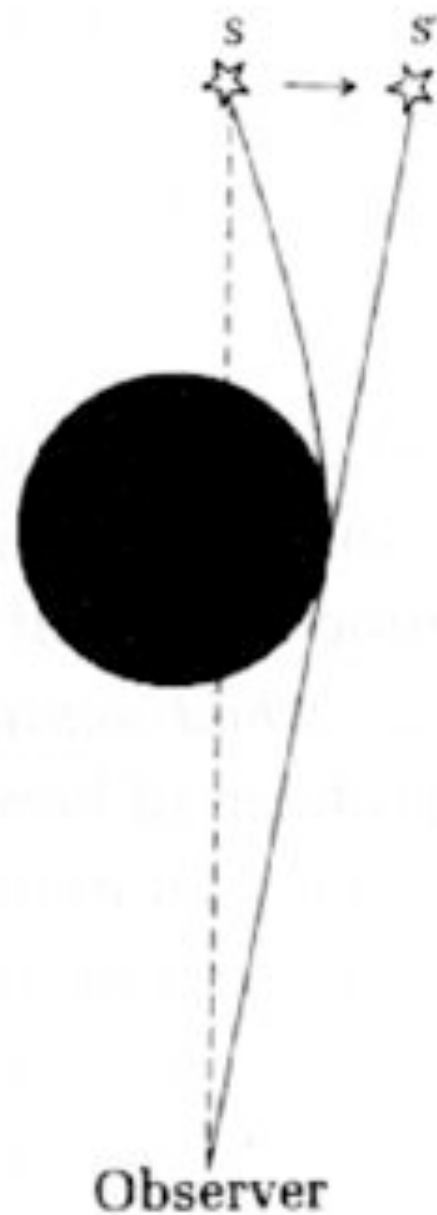
Candidatos para la materia oscura

Bariones (= materia "normal"): (por razones cosmológicas solo pueden contribuir <10% a la materia oscura):

- Agujeros negros
- Estrella neutrones aisladas
- Enanas marrones
- Grandes Jupiters
- Grandes piedras
- Gas molecular muy frío

Otros partículas elementales

- Neutrinos (tiene masa, pero ya está descartado)
- Partículas elementales desconocidos
-



Buscando la materia oscura (bariónica)

Se puede intentar buscar objetos en nuestro halo a través del efecto relativista de la deflexión de la luz por masa

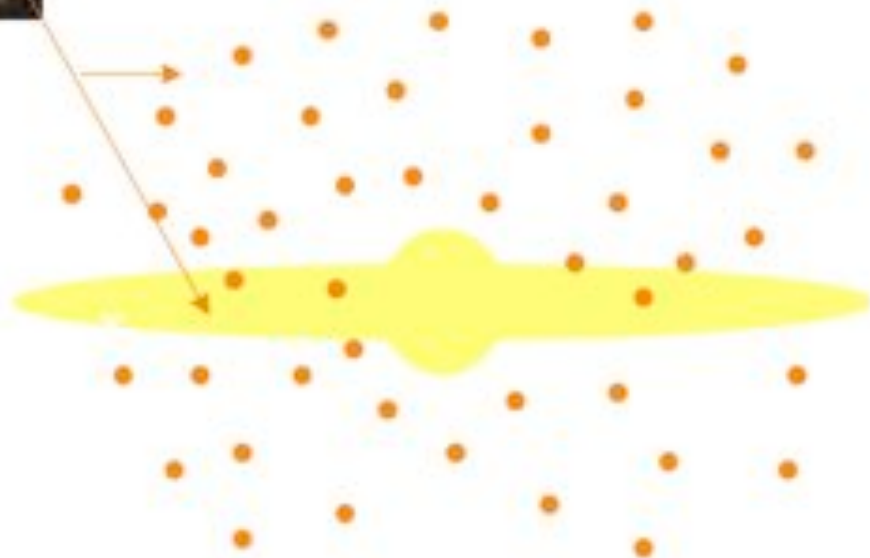
Busqueda por MACHOs (Massive Astrophysisi Compact Halo object)



- MACHOs se mueven en el halo de la Vía Láctea

- Emisión de estrella aumenta de forma característica cuando pasa cerca de MACHO

→ Se han detectado algunos eventos, pero no suficientes para explicar la cantidad de materia oscura necesario



Candidatos más prometedores

- Teorías de partículas predicen muchos posibles candidatos !
 - Tienen que ser estables
- WIMPs (Weakly Interacting Massive Particle)
 - Solo interacción débil
 - Neutrinos no funcionan, porque no tienen masa y son "calientes". Por eso no producen la correcta estructura de la distribución de galaxias gran escala.
- Más prometedores: Partículas predichos por la teoría de la supersimetría
 - Predice partículas compañeras supersimétricas con gran masa. El más prometedor: neutralino
- Se espera que se detecta una partícula candidato con el nuevo acelerador LHC en el CERN en Ginebra

Interacciones entre galaxias

Las Nubes de Magellanes grandes

UKS 17

Las Nube
Magell
Pequ

Vecinos de la Vía
Láctea





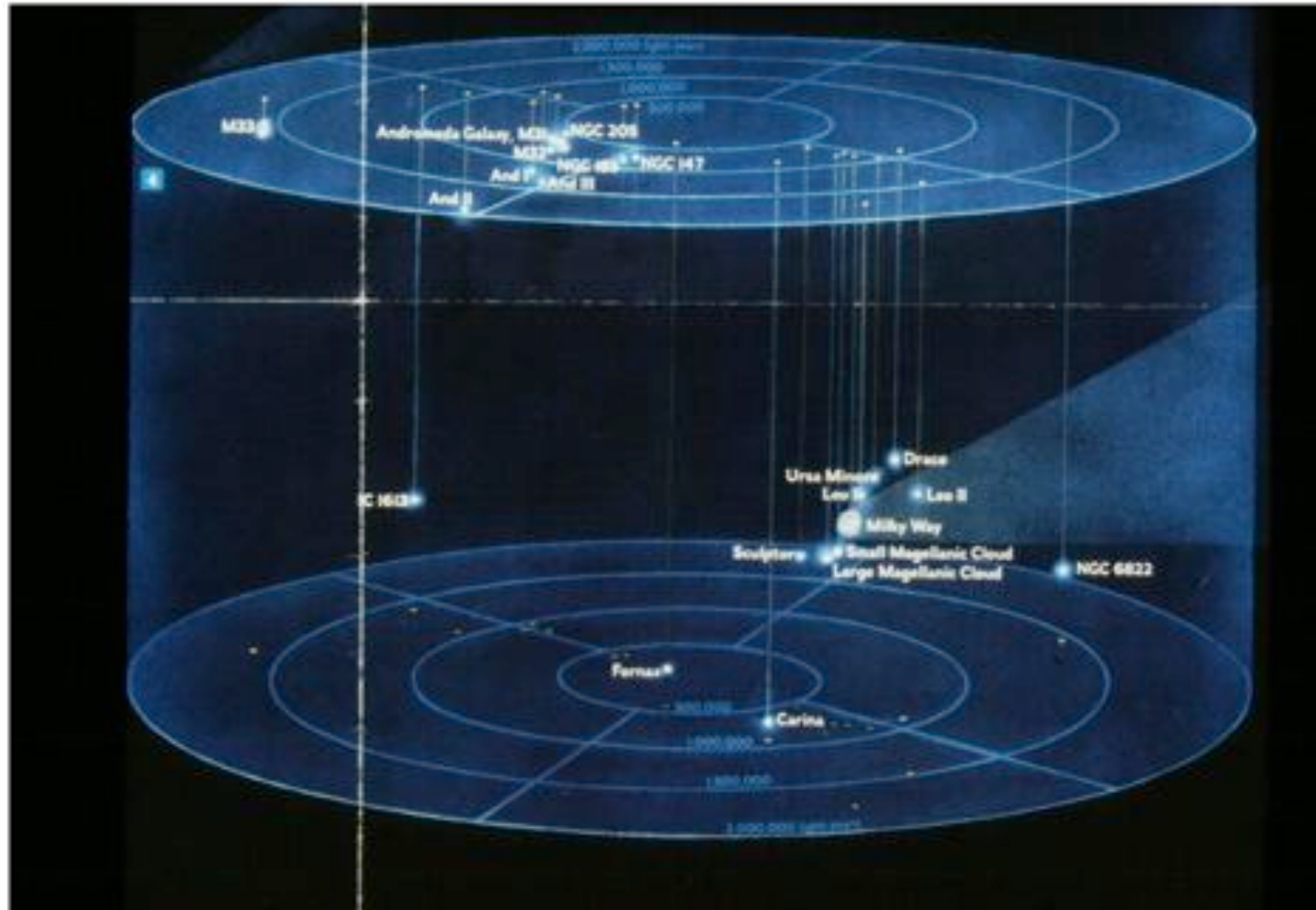
La galaxia es
Andromeda
(M31)



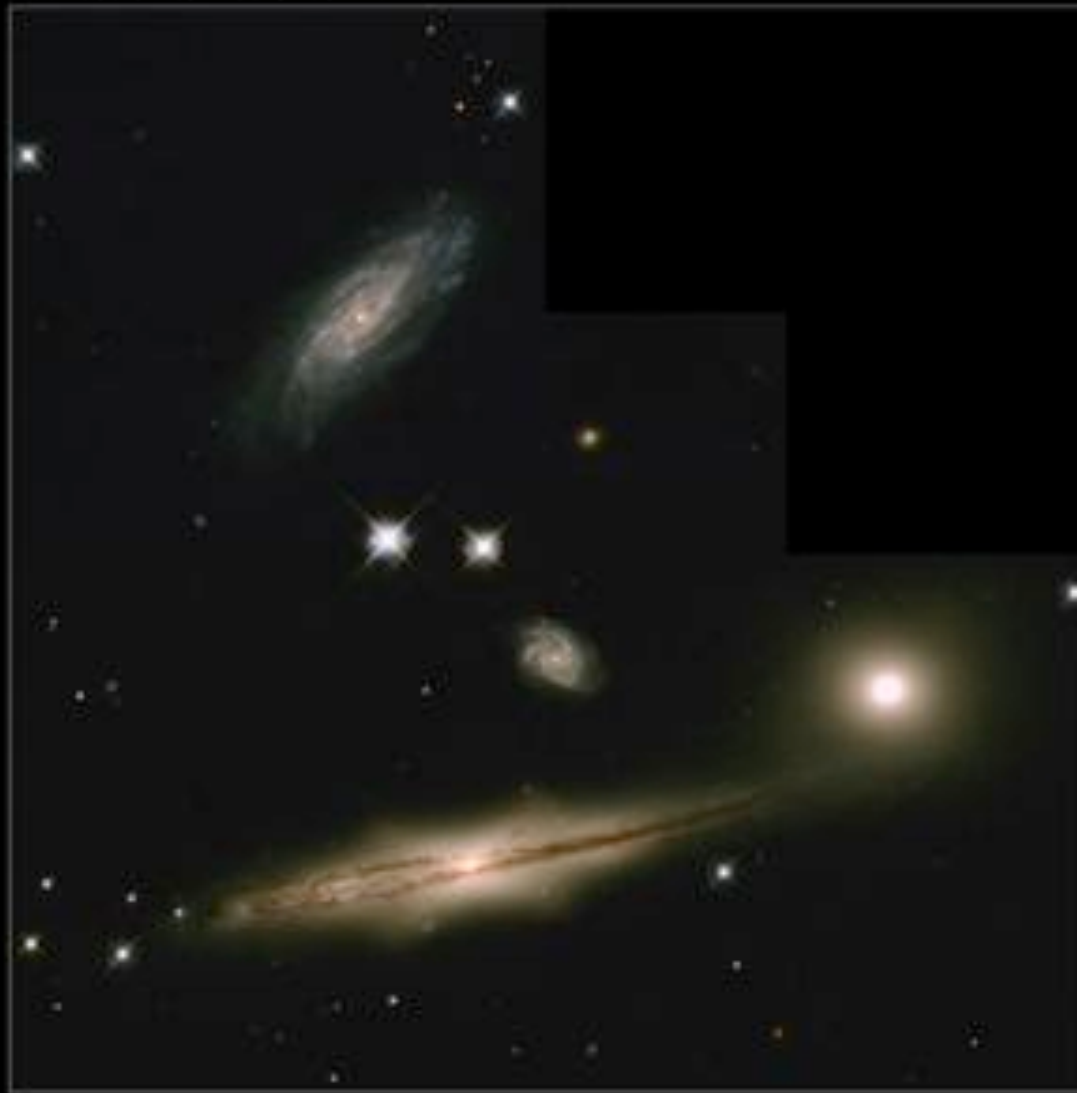
M33 (Triangulum)

M33 © IAC/RGO/Malin
Photo from Isaac Newton Telescope plates by David Malin

Entorno de la Vía Láctea: Grupo local



Hickson Compact Group 87



Hubble
Heritage

PRC99-31 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA)

Grupos de galaxi

Hasta una decena de miembros

(En la imagen se aprecian también los diferentes tamaños que pueden tener las galaxias espirales.)

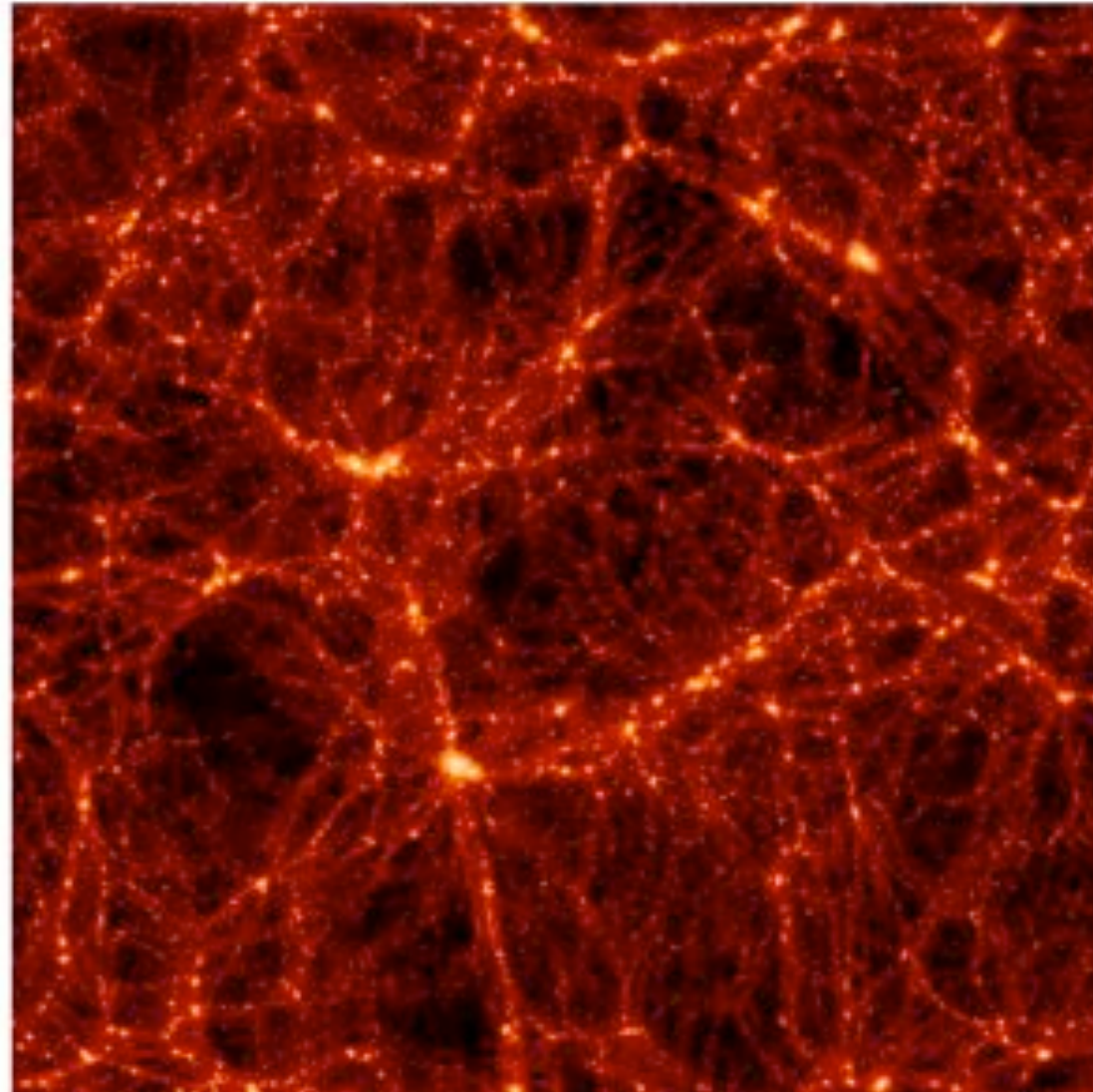
Cúmulos de galaxias



Unos cientos a miles de miembros

Cúmulo de Coma

Gran estructura en la distribución de galaxias



- Hay:
- Filamentos
 - Zonas con pocas galaxias

Imagen creado en una simulación

→ Las galaxias viven en agrupaciones

- Diámetro del sol: 2.3 segundos-luz
- Distancia a la próxima estrella: 2 años-luz

- Diámetro de la Vía Láctea: 100.000 años-luz
- Distancia a las Nubes de Magallanes: 200.000 años-luz
- Distancia a la galaxia de Andrómeda: 3 millones años-luz

Distancia entre estrellas: 30 millones su diámetro: no chocan

Distancia entre galaxias: 30 veces su diámetro: pueden chocar

Interacción menor



NGC 1531

Interacción mayor

Galaxies NGC 2207 and IC 2163



Hubble
Heritage

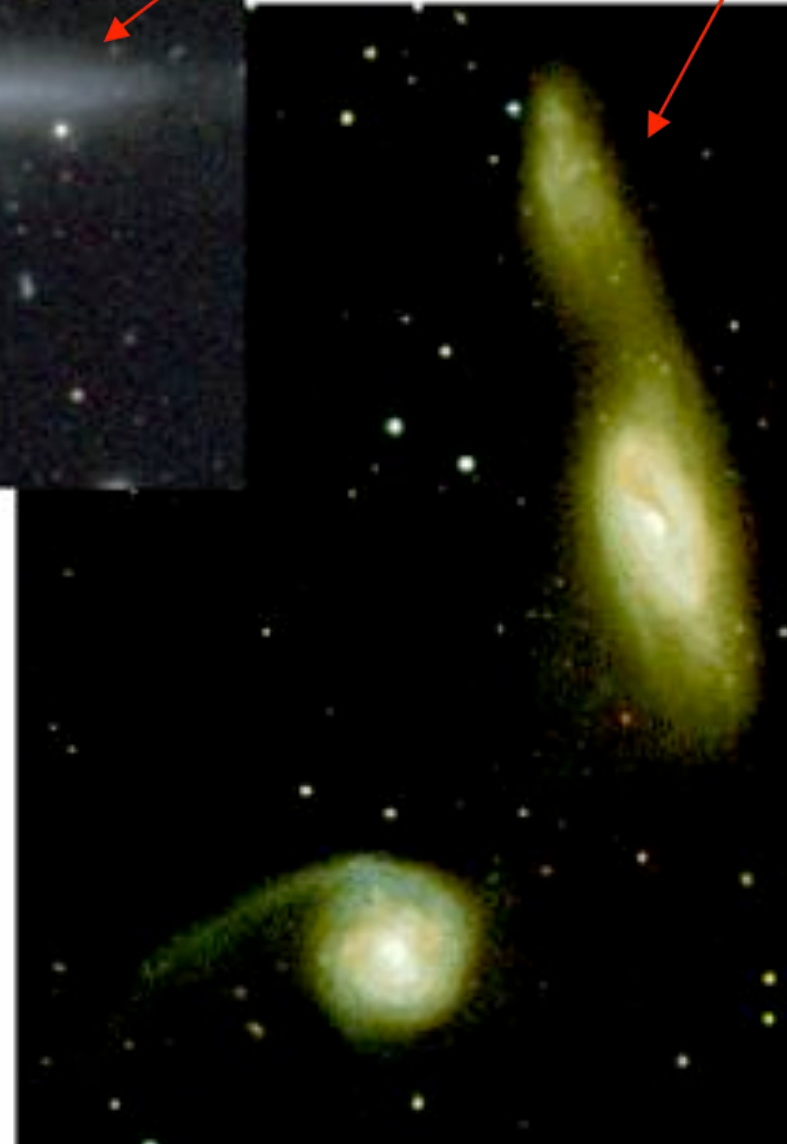


M51: Galaxia Whirlpoo



Colas y puentes de gas y
estrellas

Formación de nuevas
galaxias enanas





Colas y puentes de gas y
estrellas

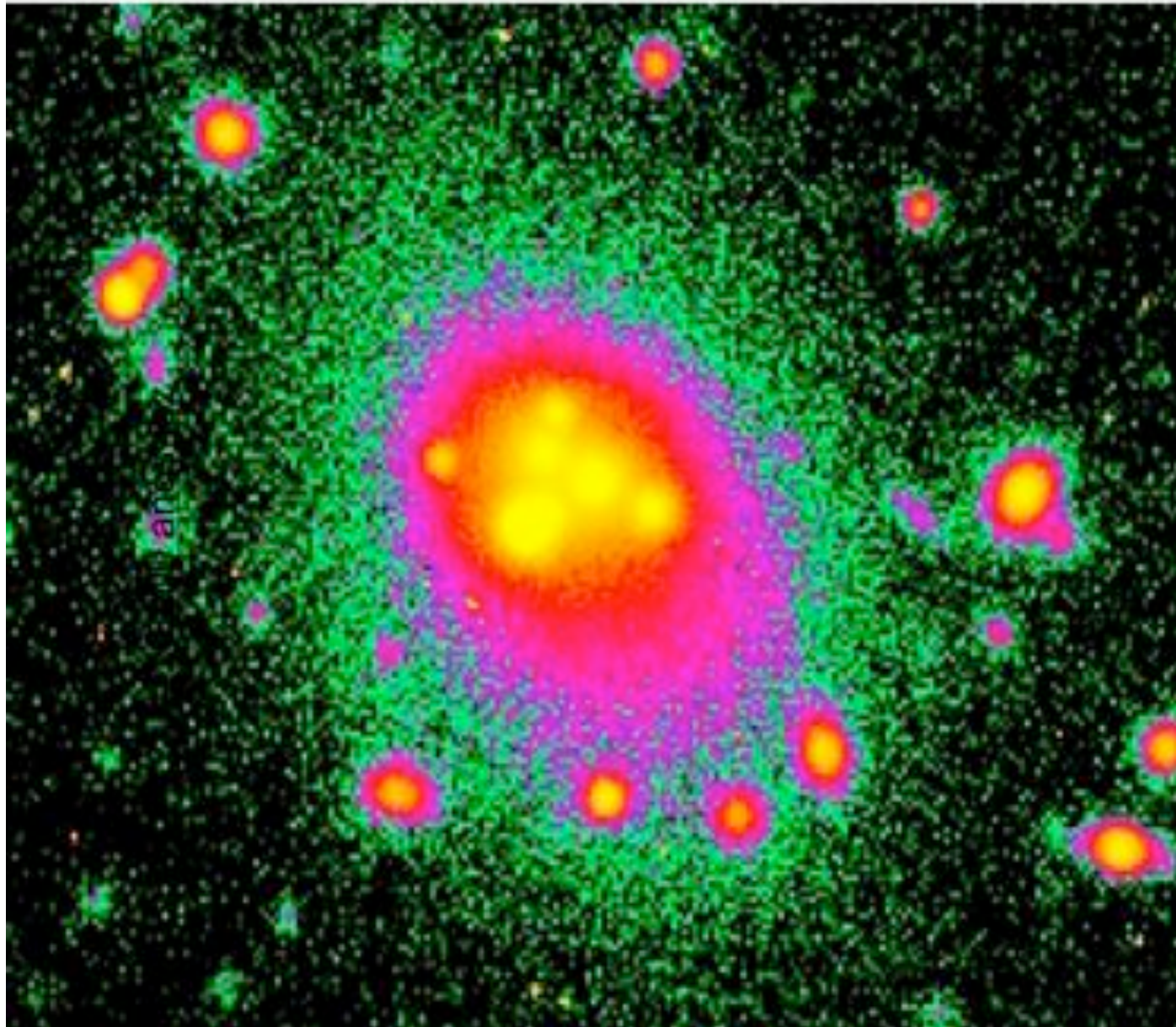
Formación de nuevas
galaxias enanas



Final de muchas colisiones: Fusión



Canibalismo en cúmulos de galaxias



Galaxia central
Abell 3827

Canibalismo en la Vía Láctea: La galaxia enana Sagittarius



- Distancia: 24 kpc
(\approx diametro de la Vía Láctea)

-Extensión en el cielo:
10 grados
(Tamaño de la luna:
medio gra

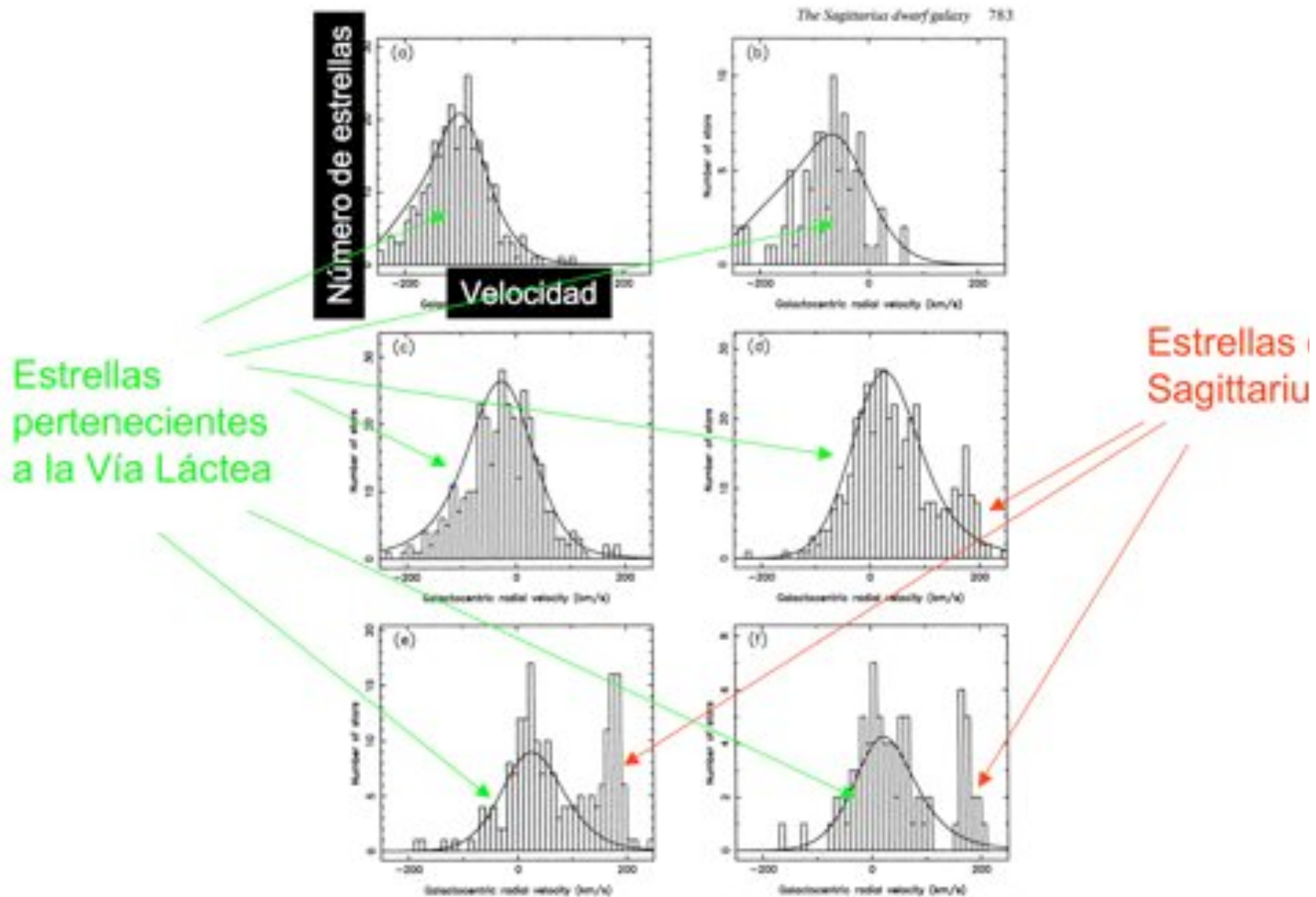
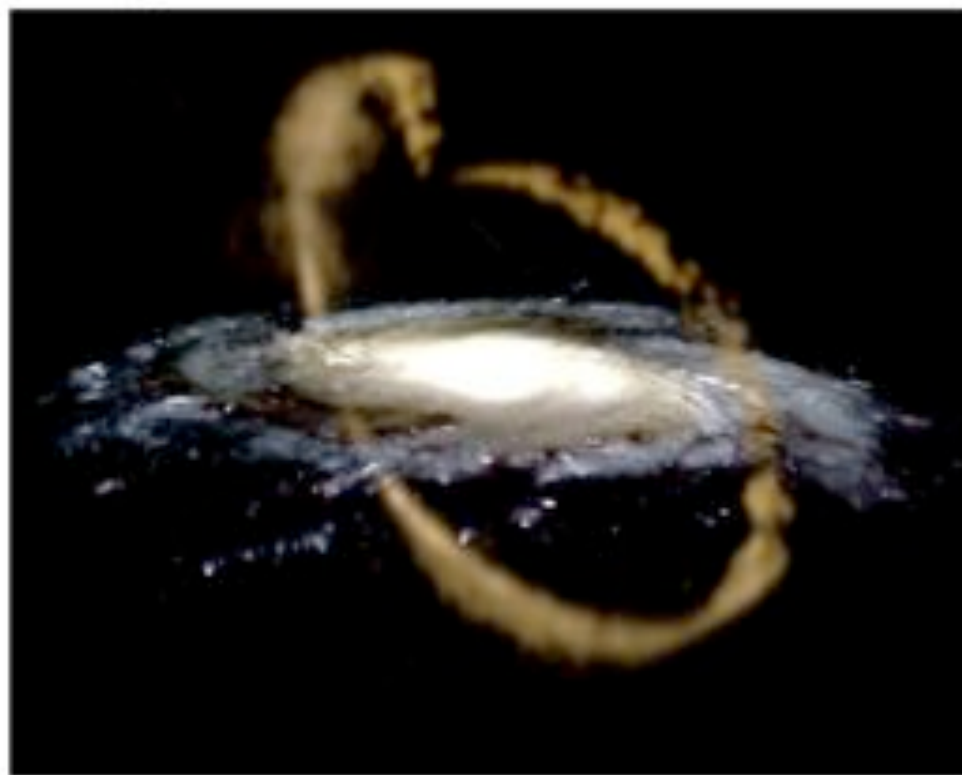


Figure 8. Comparison between the expected velocity distribution and the data. The lines of sight are (a) $l = -15^\circ$, $b = -12^\circ$, (b) $l = -15^\circ$, $b = -12^\circ$, (c) $l = -17^\circ$, $b = -12^\circ$, (d) $l = -17^\circ$, $b = -12^\circ$, (e) $l = 3^\circ$, $b = -13^\circ$ and (f) $l = 3^\circ$, $b = -20^\circ$. The unknown feature is observed in (d), (e) and (f), centred at a velocity of 112 km s^{-1} .

© 1997 RAS, MNRAS 277, 781–800

"Tidal streams"

Colas de marea de estrellas alrededor de galaxias: Testigos de canibalismo en el pasado



Dibujo de la apariencia probable de la cola creada por la galaxia Sagitarius alrededor de nuestra Galaxias



Cola de estrellas alrededor de
NGC 5907



Galaxias peculiares

Con frecuencia son
peculiaridades debido a un
interaccion

Galaxia con anillo pol
NGC 4650a



Galaxias con **brot**
extremo de
formación estelar
Observaciones en
el infrarrojo
demuestran que
tienen núcleo
dobles y triples
→ ¡Son remantes
de fusiones!

Ultraluminous Infrared Galaxy Arp 220 HST • NICMOS

PRC97-17 • ST ScI OPO • June 9, 1997

R. Thompson (University of Arizona),

N. Scoville (California Institute of Technology) and NASA

Hoag's Object



Galaxia-Anillo

Hubble
Heritage

Conchas en galaxias elípticas



Arp 227

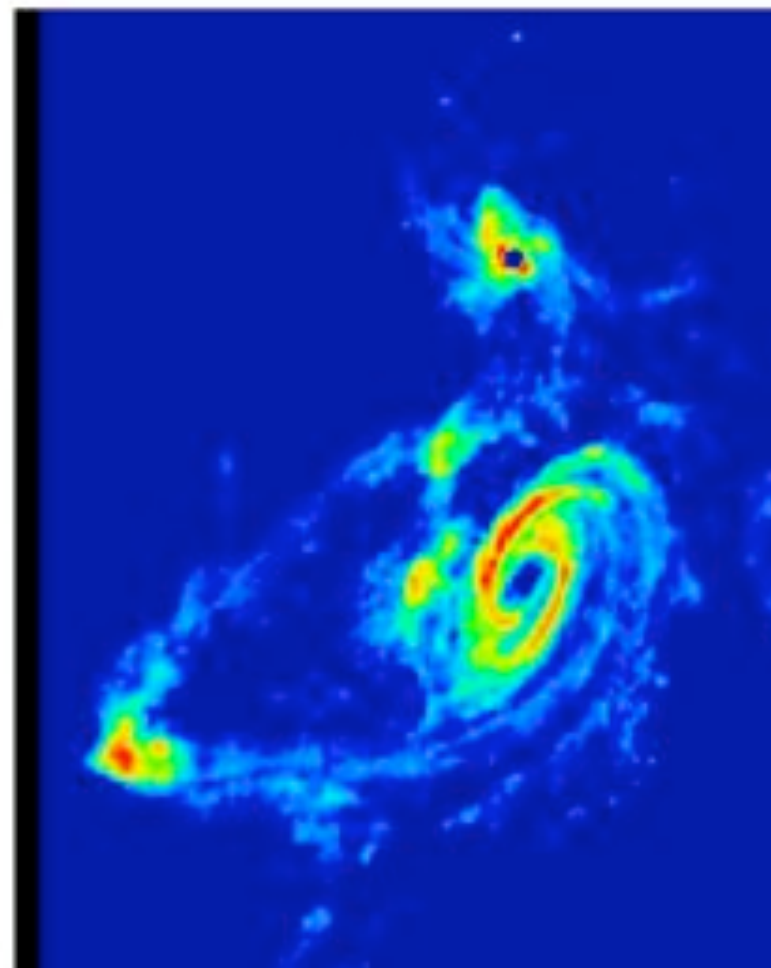
Gas atómico es sensible indicador de interacción

TIDAL INTERACTIONS IN M81 GROUP

Stellar Light Distribution

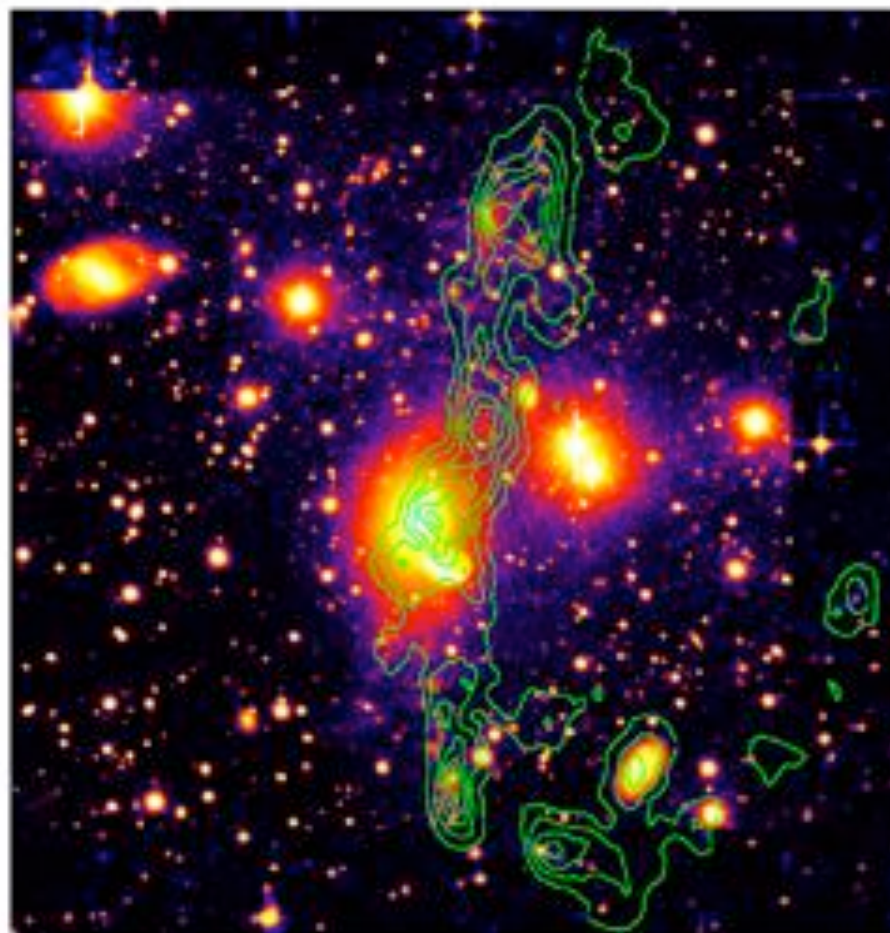


21cm HI Distribution

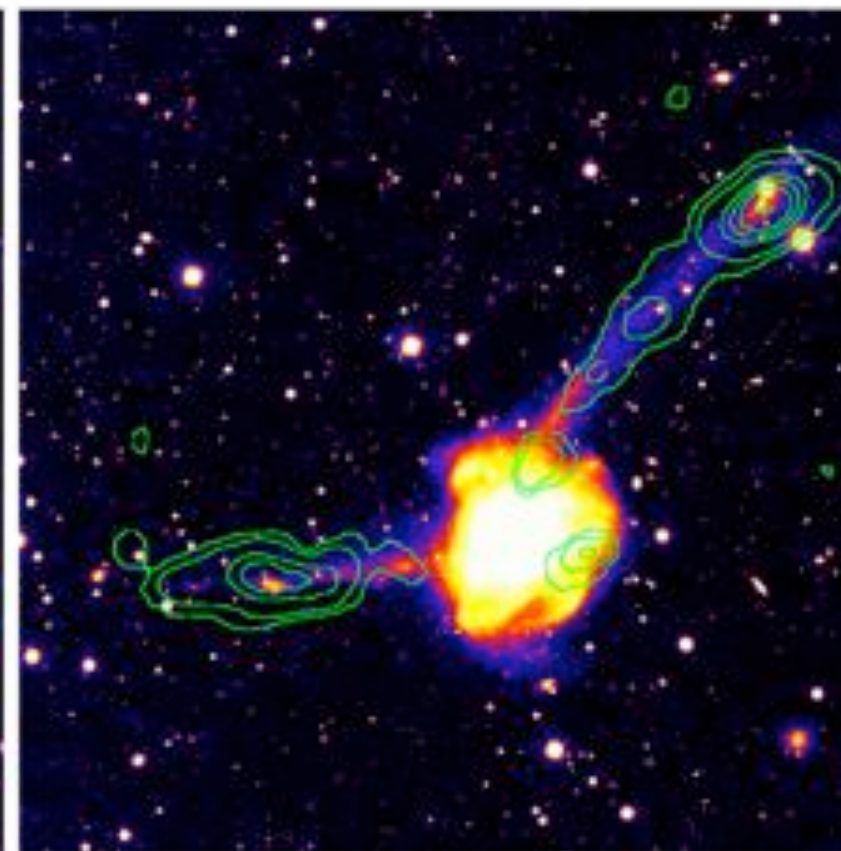


Distribución de gas en colisiones

Hidrogeno atómico: A las zonas externas



NGC 5291

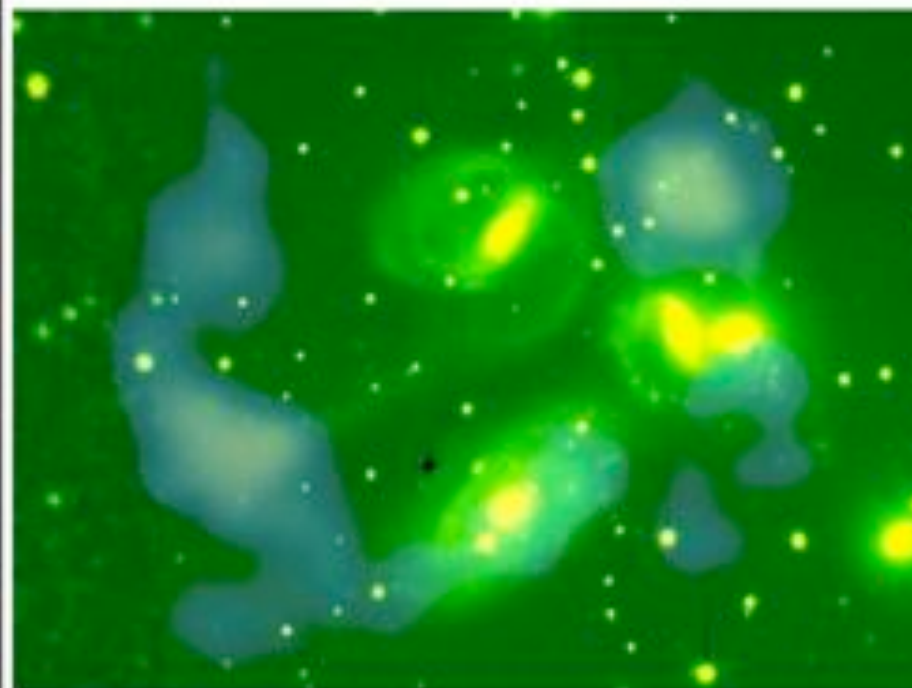


NGC 7252

Hidrogeno atómico en grupos

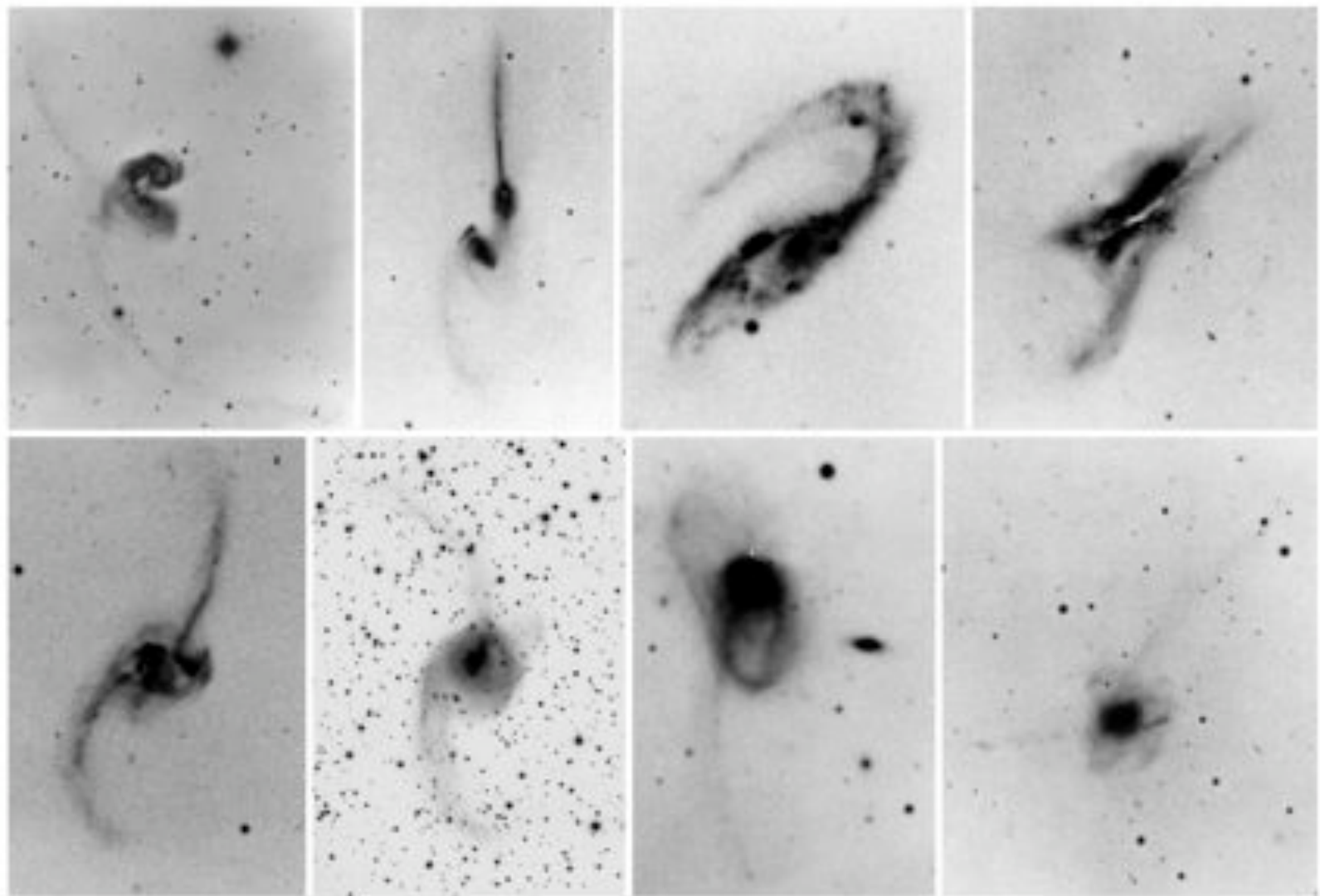


- Grupos compactos de Hickson 40 y 92
- Poco hidrogeno atómico y fuera de las galaxias



De L. Verdes-Montenegro, IAA

Comprender las interacciones: Clasificar

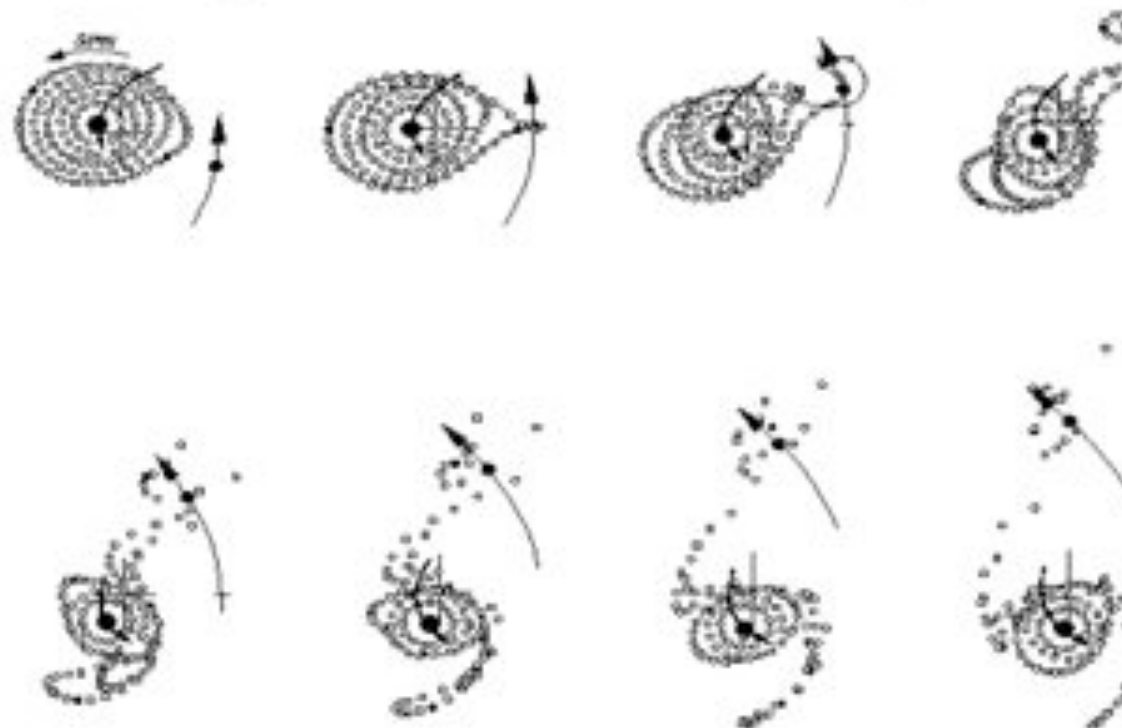


Secuencia propuesto por Toomre (1977)

Comprender las colisiones: Simulaciones numéricas

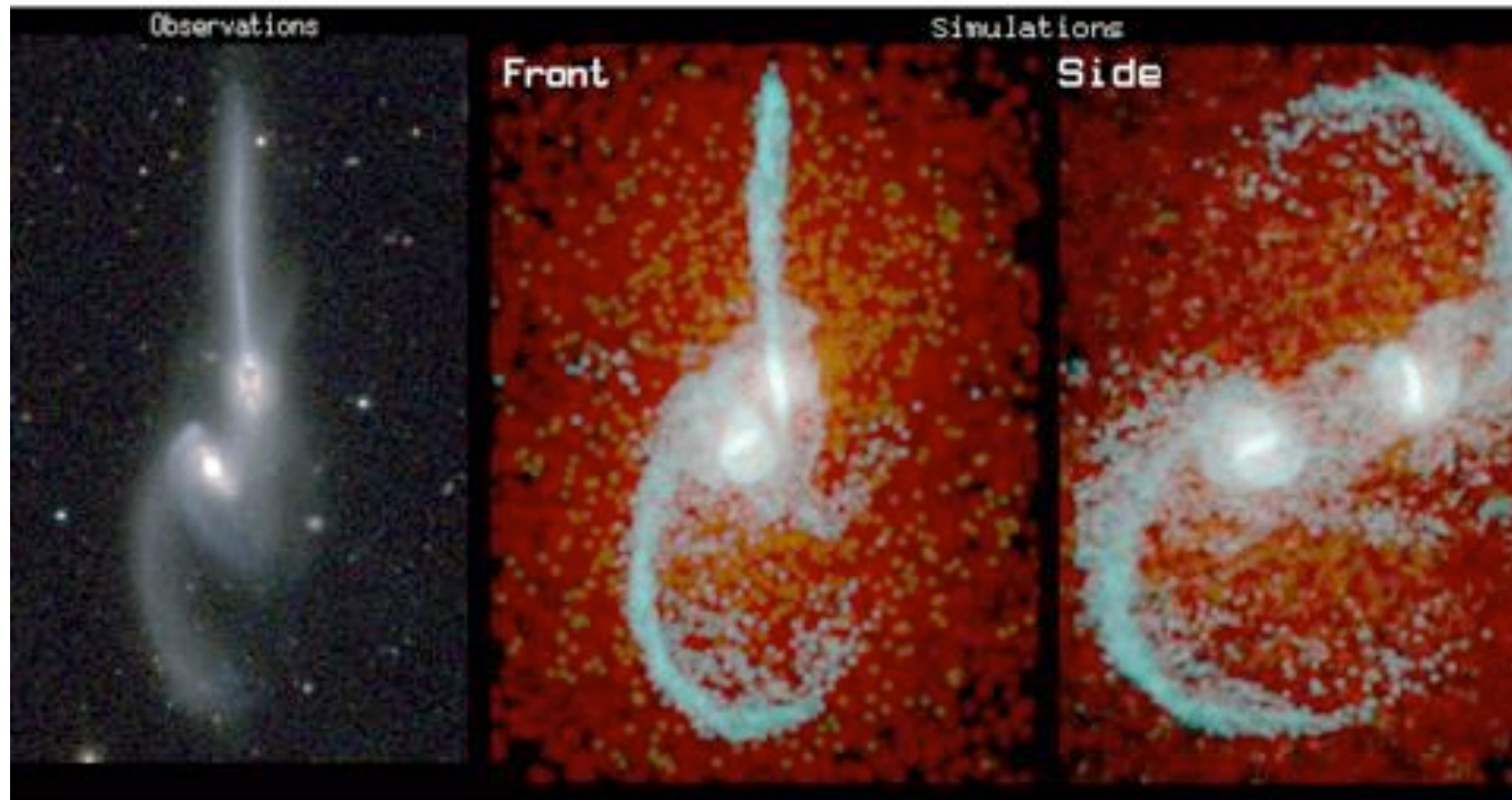
- Necesidad de ordenadores potentes
- Modelos consisten de:
 - Modelo para galaxias: estrellas, gas y materia oscura.
 - Interacción gravitatoria entre las numerosas partes
- Los modelos son complejos.....

1972: Toomre & Toomre demostraron que las colas y puentes se pueden formar solamente con gravitación



Duración de una interacción: unos 1.000 millones de años

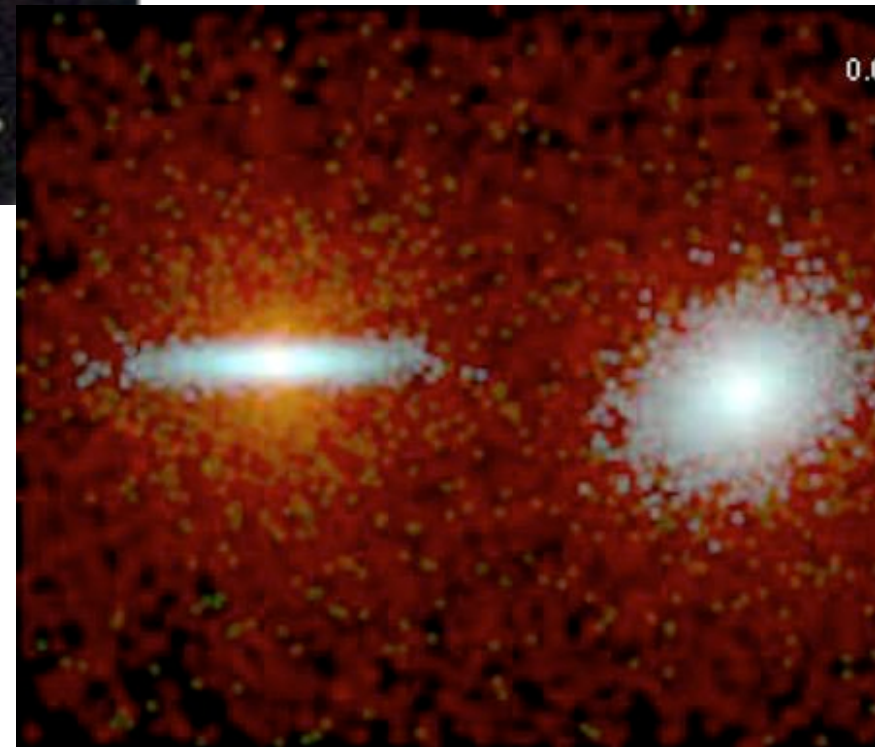
Descripción de un sistema real: NGC 4676



Descripción de un sistema real: NGC 4676



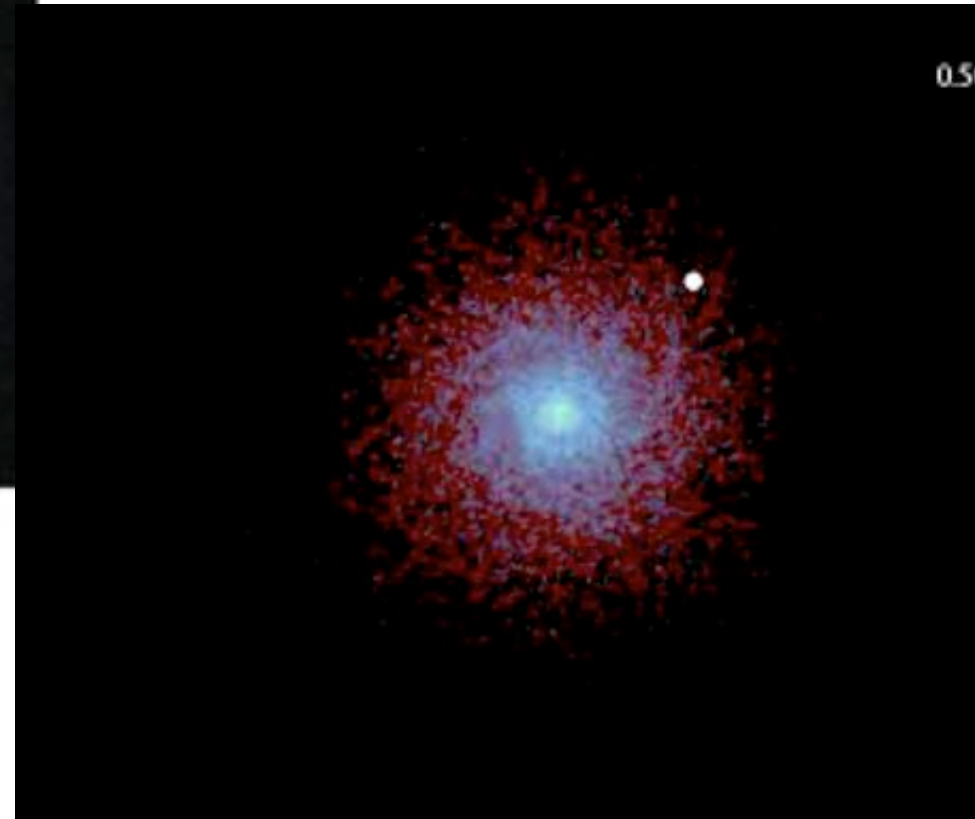
Simulaciones de J. Barnes



Producción de barras



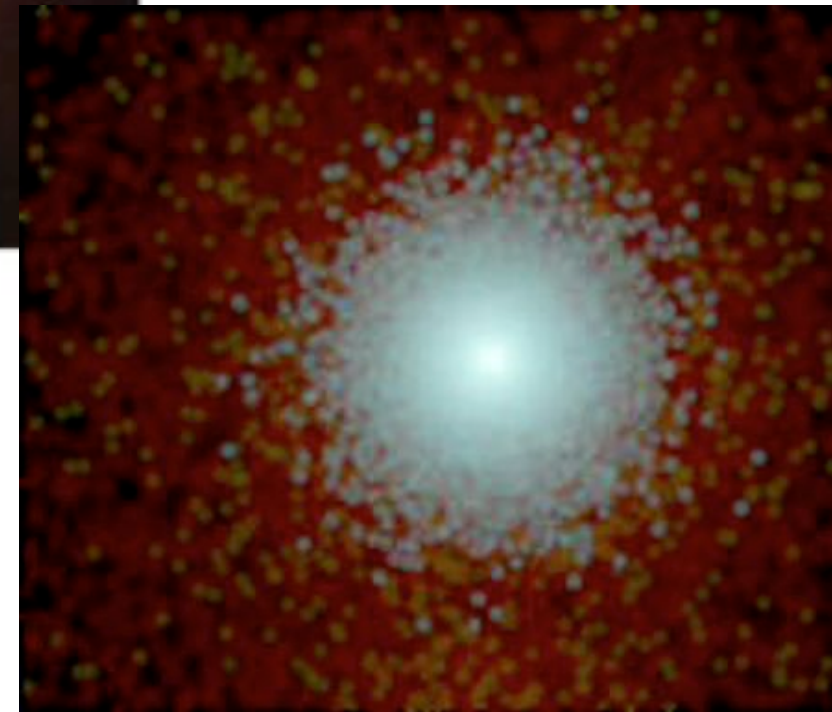
M95



Ondas espirales



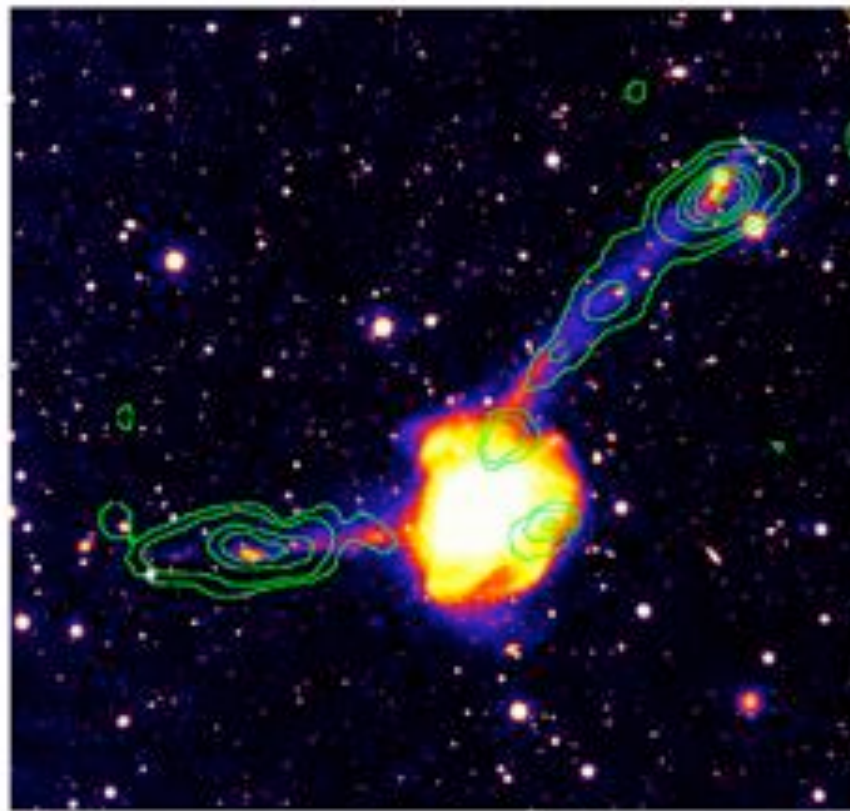
M51: Galaxia Whirlpool



Conclusiones de las simulaciones

- Se puede explicar las **colas de marea** y los **puentes de materia**
- Algunos sistemas se pueden modelar bien, otros todavía no
- Interacción puede producir **barras y ondas espirales**
- Interacciones pueden aumentar la tasa de formación estelar y provocar **brotos de formación estelar**
- En cada encuentro las galaxias pierden energía orbital y ganan energía interna → el estado final es frecuentemente la **fusión de galaxias**

¿Cuál es el origen de las galaxias elípticas?



Remanente de fusión NGC 7252 y elíptica M105: ¡ muy parecidos

Cúmulos de galaxias

- Hay una fracción más alta de galaxias elípticas en cúmulos en comparación con "el campo"
- Las galaxias tienen deficiencia en gas (en comparación con galaxias fuera de cúmulos)
- Existe gas caliente intracúmulos

Pérdida de gas por:

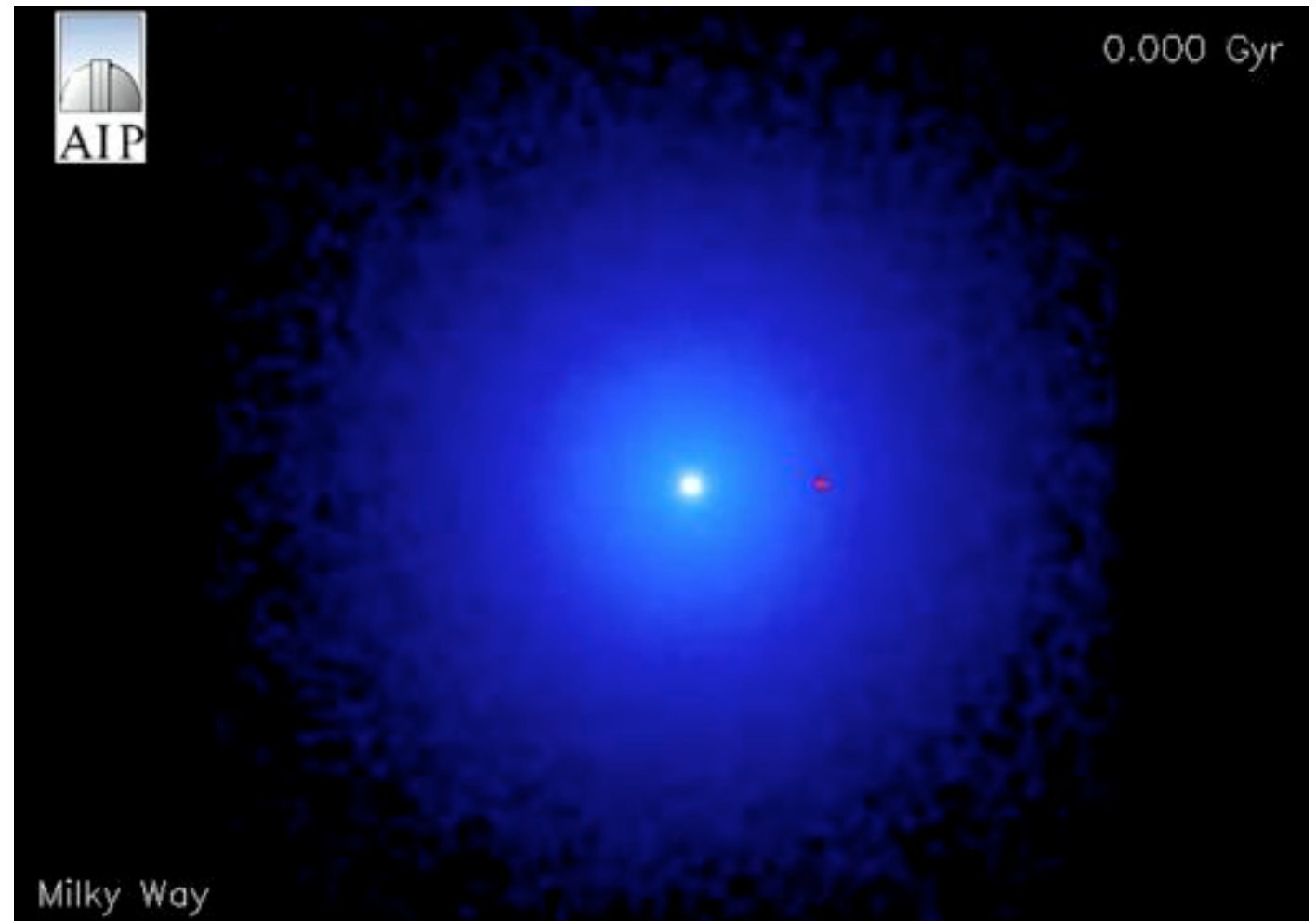
- Efecto gravitatorio del cúmulo
- Movimiento a través del gas caliente (fricción)

→ Entorno afecta a propiedades de galaxias

→ Indicio de cambios de tipo de Hubble

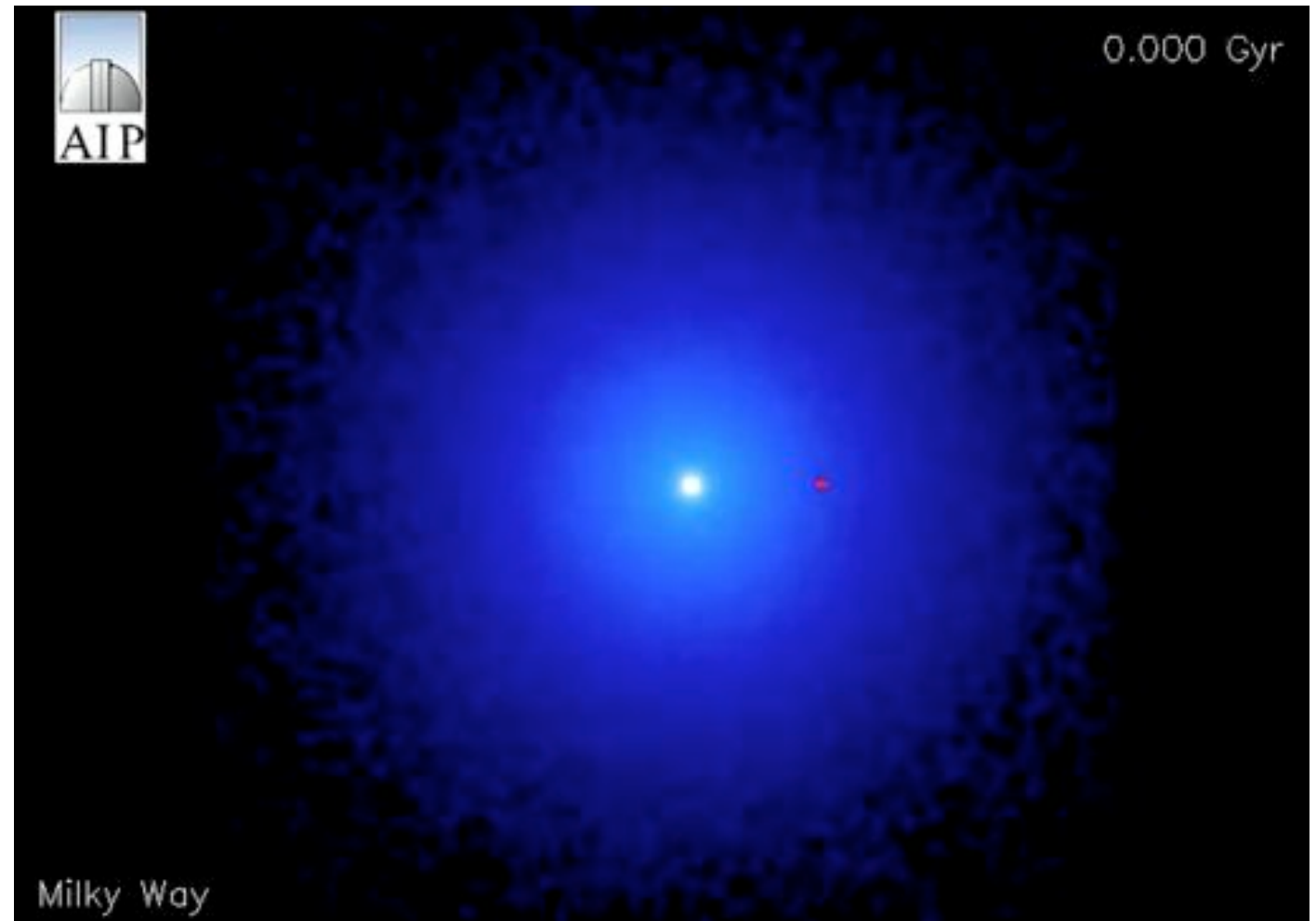


Futuro de la Vía Láctea: Colisión con la galaxia Andromeda



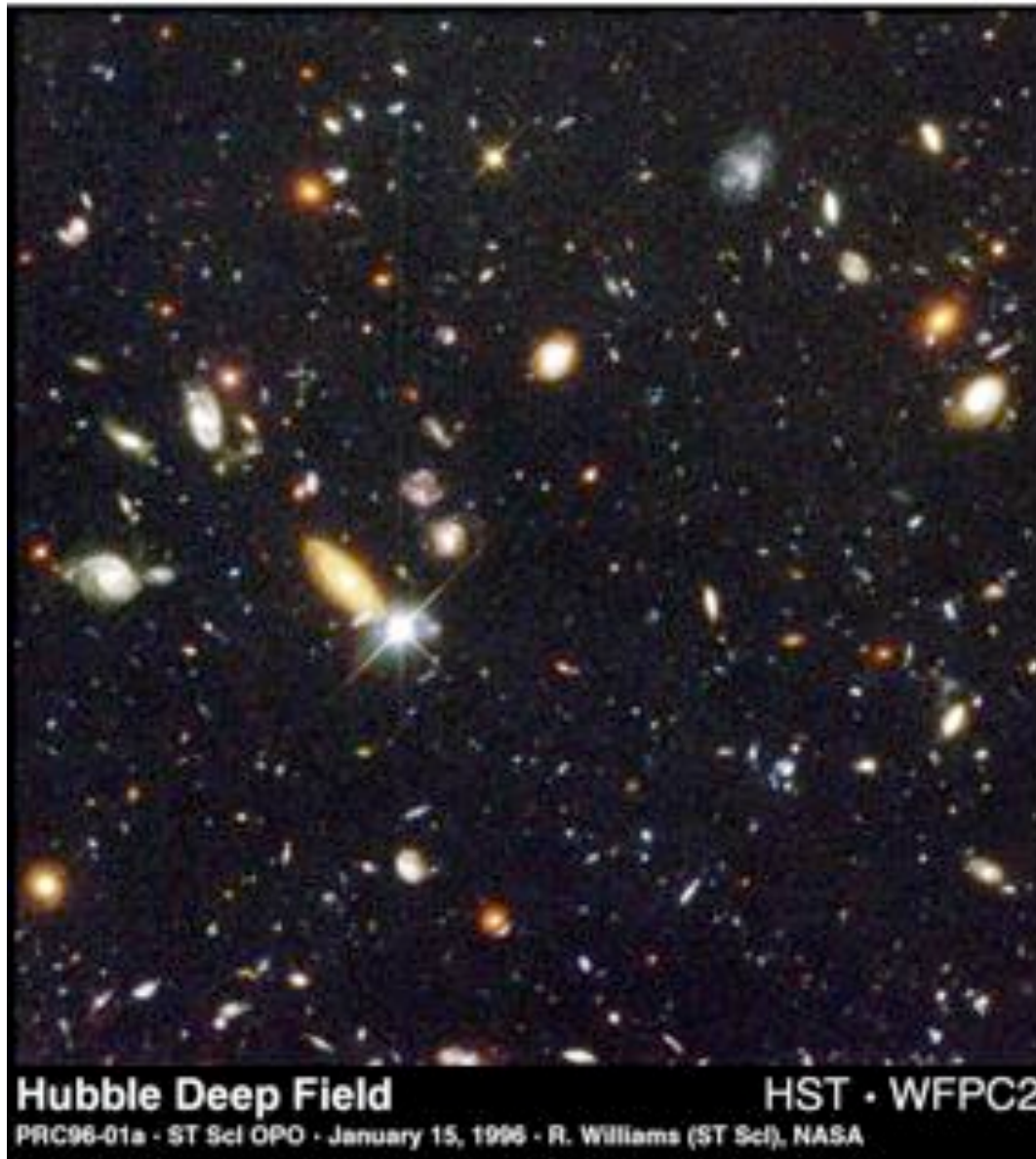
Simulación por M. Steinmet

Futuro de la Vía Láctea: Colisión con la galaxia Andromeda



Simulación por M. Steinmet

Galaxias en el pasado



Observaciones profundas del satélite Hubble:

Galaxias distantes son

- más azules
- pequeñas
- de forma más irregular que las espirales y elípticas de hoy.

- Galaxias han cambiado
- Formación estelar era más activa
- Colisiones eran importantes

Hubble Deep Field

HST · WFPC2

PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

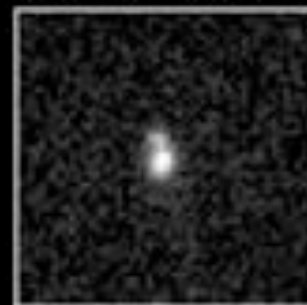
Age of the Universe

Today: 14 Billion Years

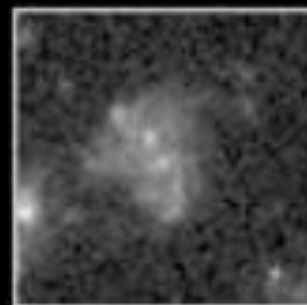
9 Billion Years

5 Billion Years

2 Billion Years



Elliptical



Spiral



Galaxies: Snapshots in Time

HST · WFPC2

Papel de las colisiones en la evolución galáctica

- Redistribuye gas: Puede parar la FE debido a falta de gas en grupos y cúmulos
- Importante provocador de FE
- Influye morfología (produce barras y ondas espirales)
- Produce galaxias enanas (importante cosmológicamente?)
- Importante a lo largo de la vida del universo

¿Cómo se han formado las galaxias?

El fondo cósmico de microondas

1964: Un grupo de astrónomos en la Universidad de Princeton construyó una antena para medir el fondo de microondas cósmico

1965: Arno Penzias y Robert Wilson de la compañía Bell Telephone Laboratories (como Jansky) buscan fuentes de interferencia (como Jansky...) en un reflector.

Eliminan todo, pero se queda un ruido....
... el fondo cósmico de microondas.

Recibieron en 1978 el premio Nobel para su descubrimiento

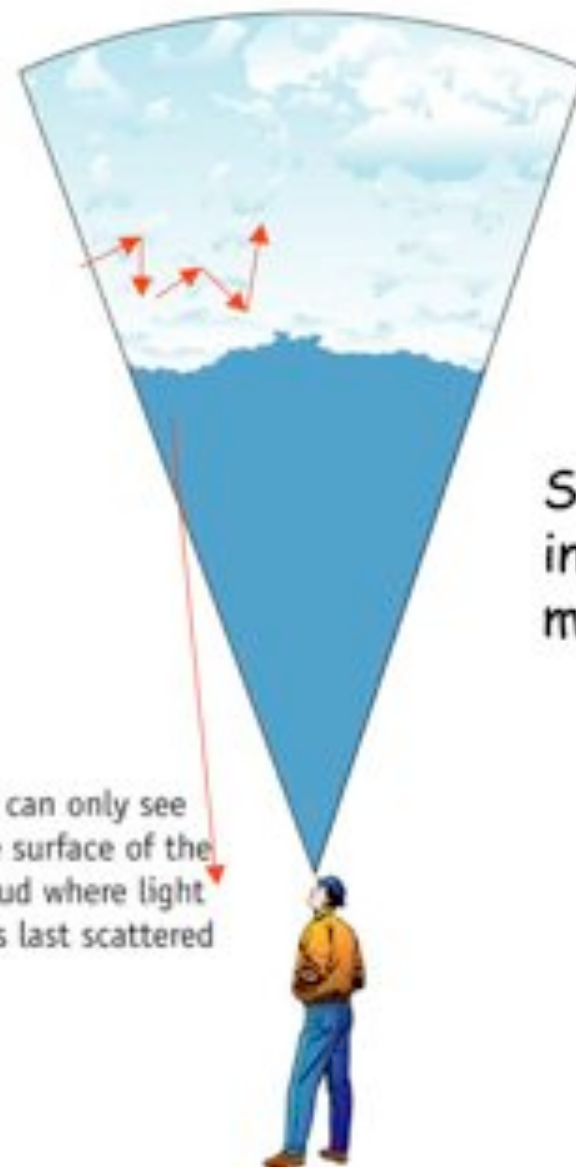
Eso fue un fuerte apoyo para la teoría del Big bang.



¿Que es la radiación de fondo?



The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatter" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.



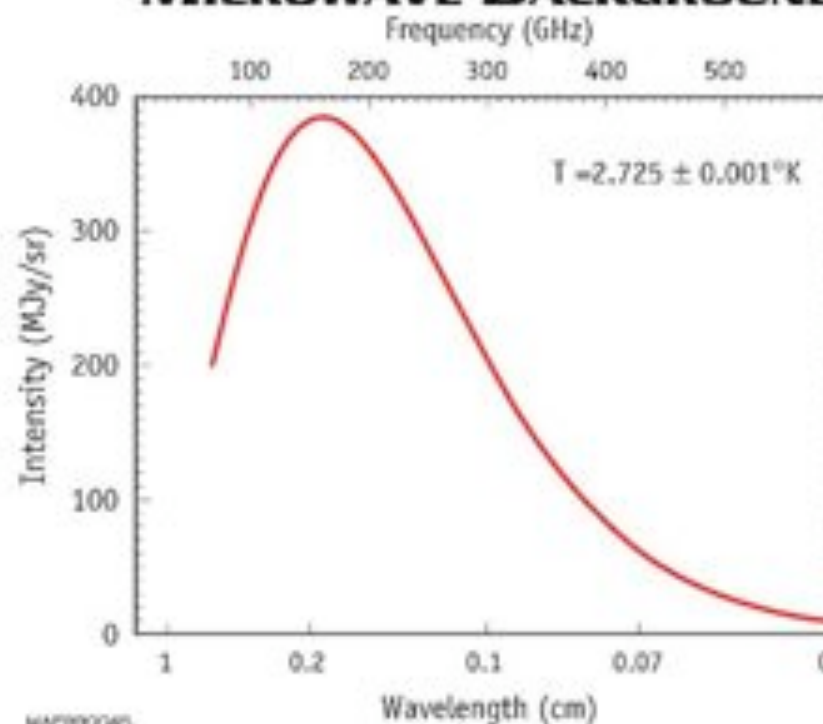
Superficie de última interacción entre materia y radiación

We can only see the surface of the cloud where light was last scattered

Radiación milimétrica del fondo

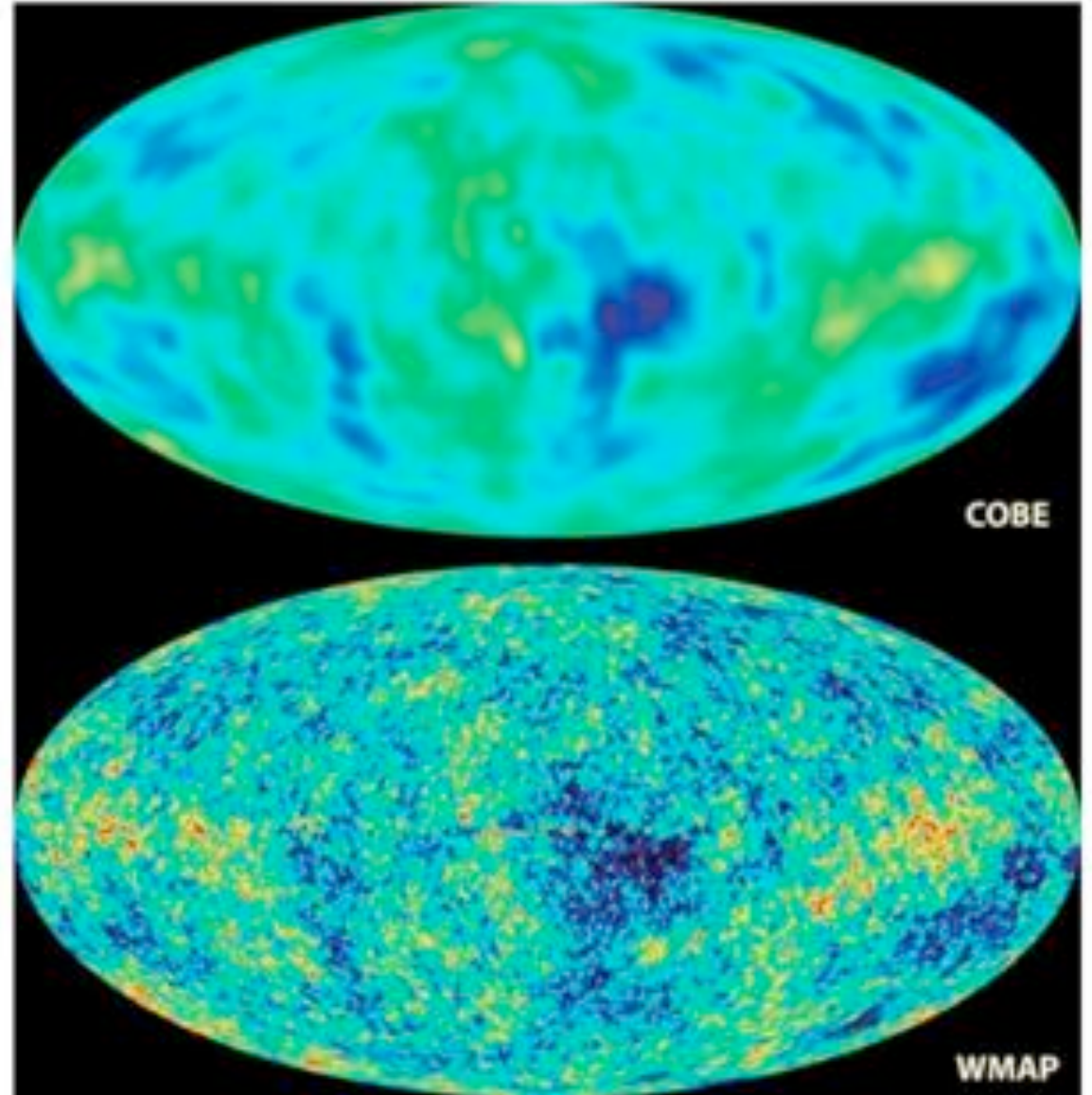
- Fotones que se liberaron en la época de recombinación
- Tenían entonces 3000K
- Han perdido su energía debido a la expansión a 2.725 K

SPECTRUM OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



Radiación de fondo visto por COBE (1992) y WMAP (2003)

- Espectro de cuerpo negro perfecta
- Temperatura 2.7 K, como esperado
- Muy homogéneo: Fluctuaciones en 1 parte en 10^5
- Próxima misión europea: Planck (lanzado 21 de Mayo 2009)



¿Cómo se han formado las galaxias?

- **Inestabilidad gravitacional:** Había zonas con una densidad ligeramente superior al promedio. Estas zonas podrían colapsar y formar las galaxias y cúmulos de galaxias como las que conocemos hoy.
- **Problema:** Fluctuaciones visible en el Fondo Cósmico de Microondas (CMB) ($1:10^5$) no son suficientes para explicar la formación de galaxias. Si las galaxias se hubieran debido de estas fluctuaciones, no estarían aún formadas.
- **Solución:** Materia oscura consistiendo de WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) no interactúa con fotones y ha podido formar irregularidades antes. En el momento de la emisión del CMB ya son superiores las fluctuaciones de la materia oscura que las de la materia bariónica.
- → Las galaxias colapsan en las zonas de sobre-densidad creadas por la materia oscura.

Varios escenarios para el colapso

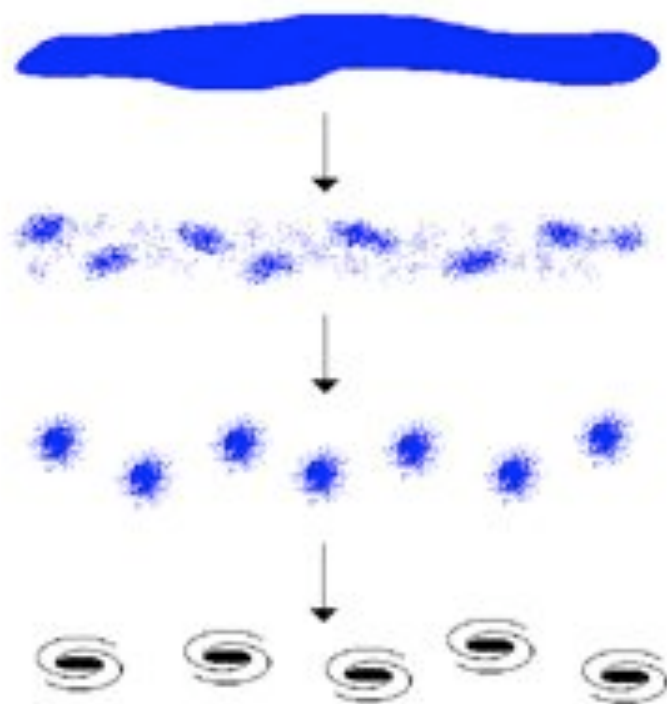
- Escenario más simple (pero poco realista):
Colapso monolítico:
- Colapso de una masa correspondiendo a la masa de una galaxia
- Masa bariónica es capaz de perder más energía mediante radiación y por eso termina en la parte central, rodeado de un "halo" de materia oscura non-bariónica
- En este escenario se entiende bien la formación de una galaxia espiral: El disco representa gas con gran ángulo de momentum que no ha podido caer al centro (como un disco de acreción)

Formación de galaxias en el modelo de materia oscura caliente

- Teoría mas aceptada hace algunos años
- Candidato para materia oscura:
Neutrino
- **Materia oscura caliente**: Partícula que se mueve casi a la velocidad de la luz
- Primero grandes estructuras, después pequeñas: "**de arriba hacia abajo**"
- Se formarían primero cúmulos, galaxias se formarían por desintegración

Top-Down Structure Formation

in a top-down scenario, large pancakes of matter form first, than f into galaxy-sized lumps

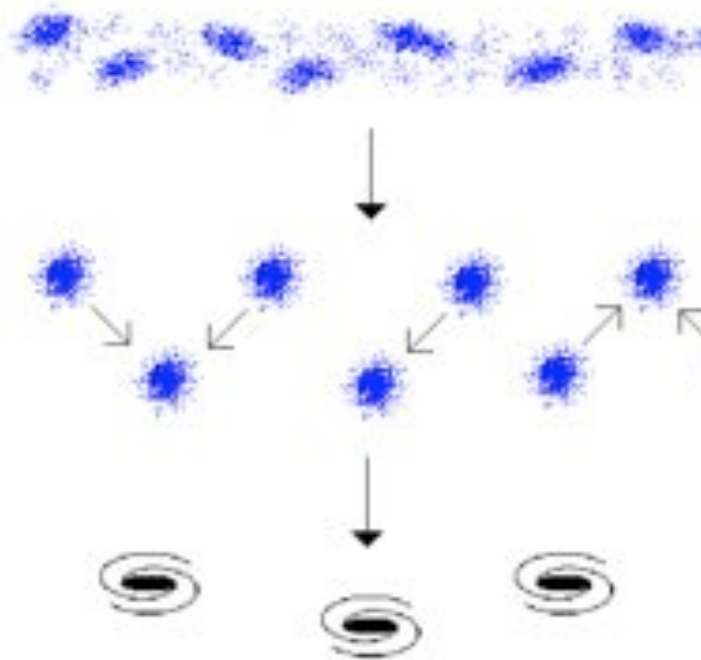


Formación de galaxias en el modelo de materia oscura frío

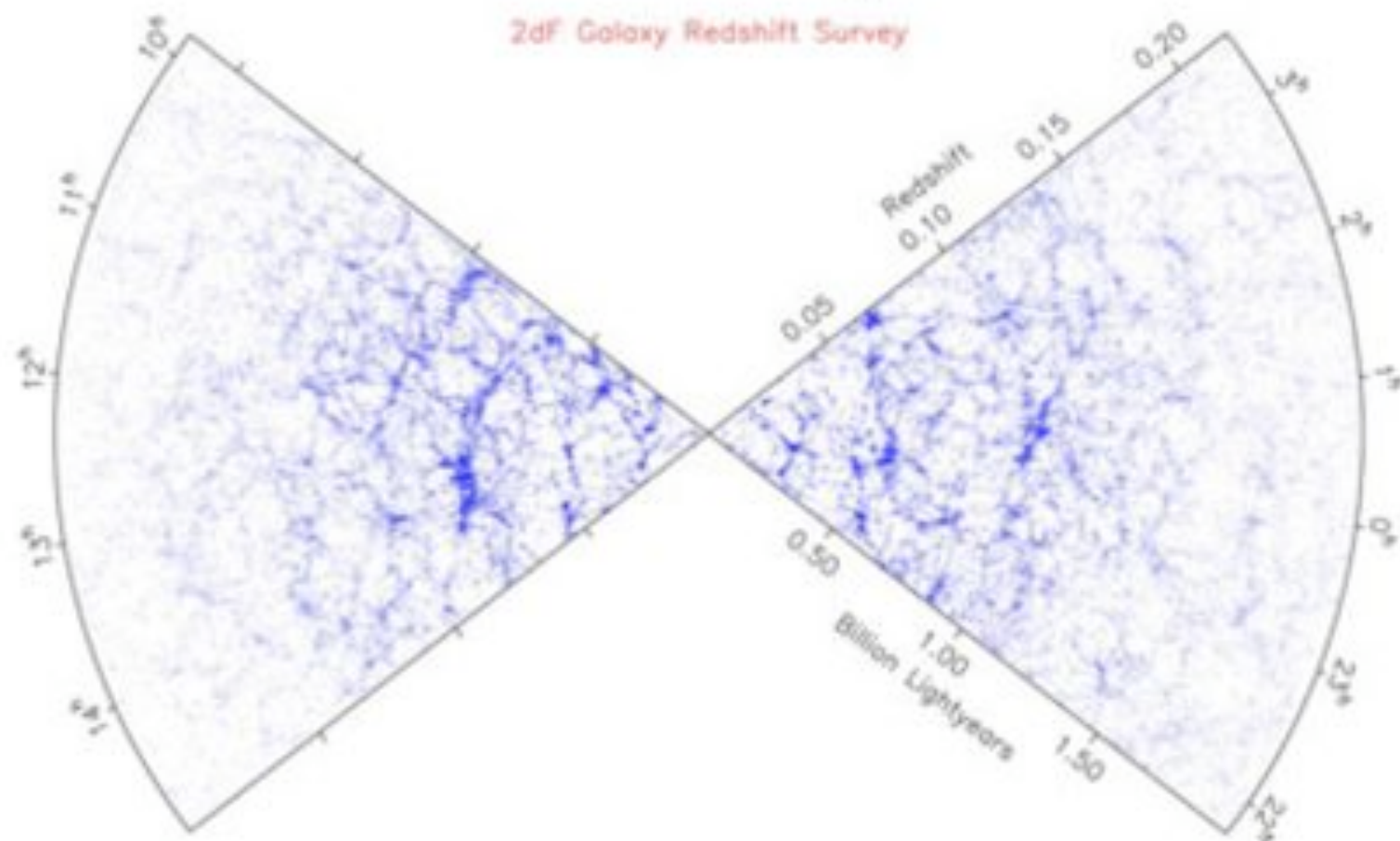
- Modelo más aceptado ahora (aunque no puede explicar todo)
- **Materia oscura frío:** Partículas con gran masa, y baja velocidad
- **Candidatos:** WIMPS (Weakly Interacting Massive Particle). Los más prometedores: Partículas predicho por la teoría de la supersimetría (predice partículas compañeras supersimétricas con gran masa), como el neutralino. El LHC en el CERN nos podrá dar una respuesta pronto...
- Primero objetos tienen masa de unos 10^6 Msol
- Objetos más grandes se forman después a través de interacciones, grandes estructura: "de abajo hacia arriba"

Bottom-Up Structure Formation

in a bottom-up scenario, small, dwarf galaxy-sized lumps first, then merger to make galaxies and clusters of galaxies

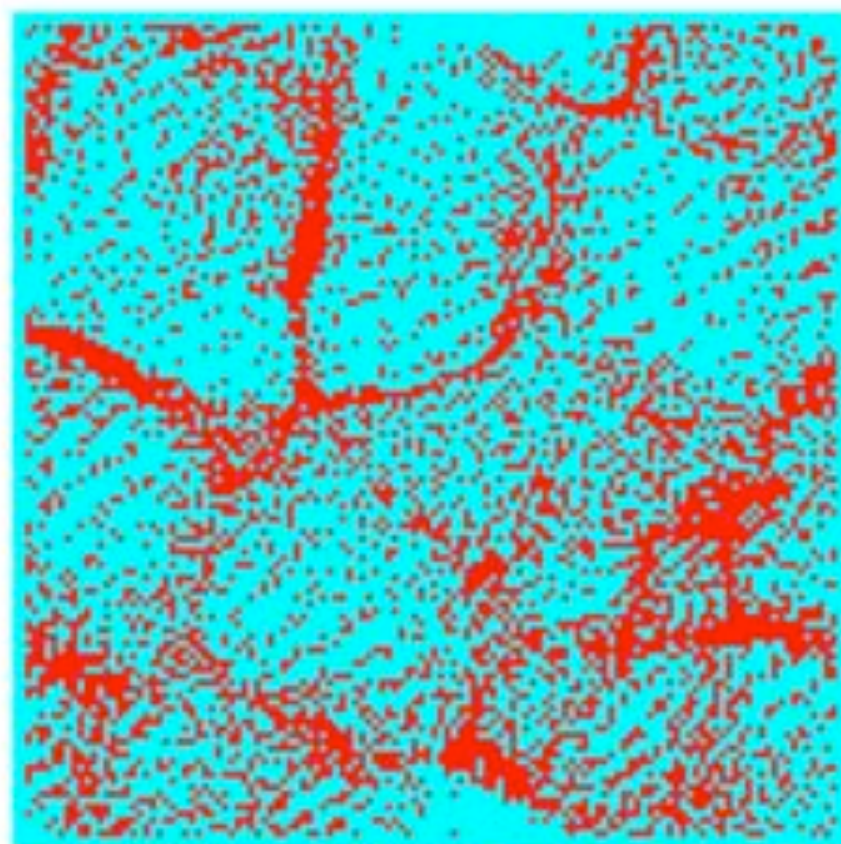


Distribución de galaxies

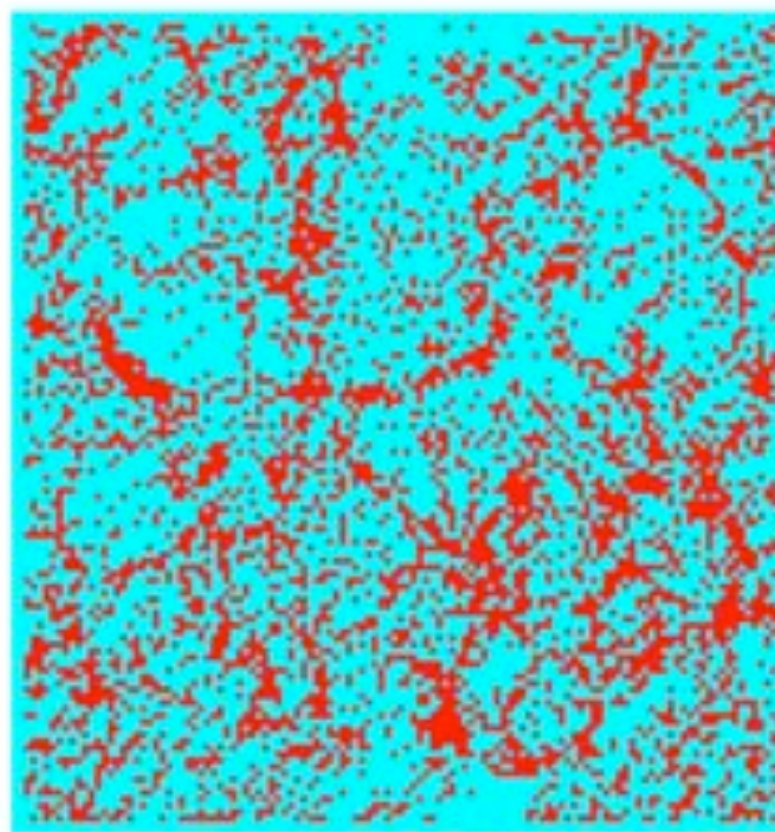


Distribución filamentaria, "walls" y "voids" (zonas vacías)

Gran estructura

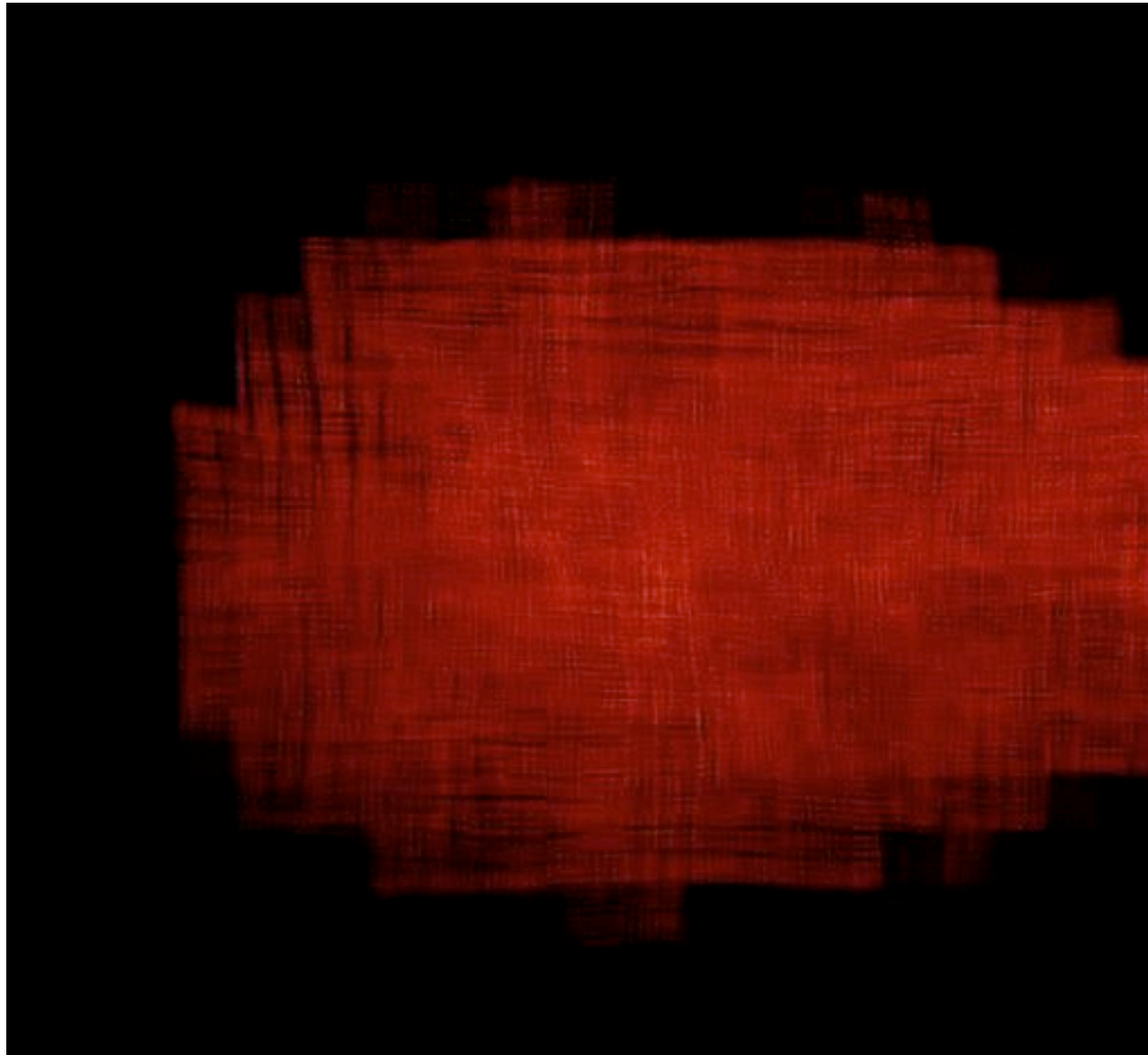


Materia oscura caliente:
Produce demasiado estructura a gran
escala en comparación con las
observaciones



Materia oscura fría:
Mejor de acuerdo con observacion

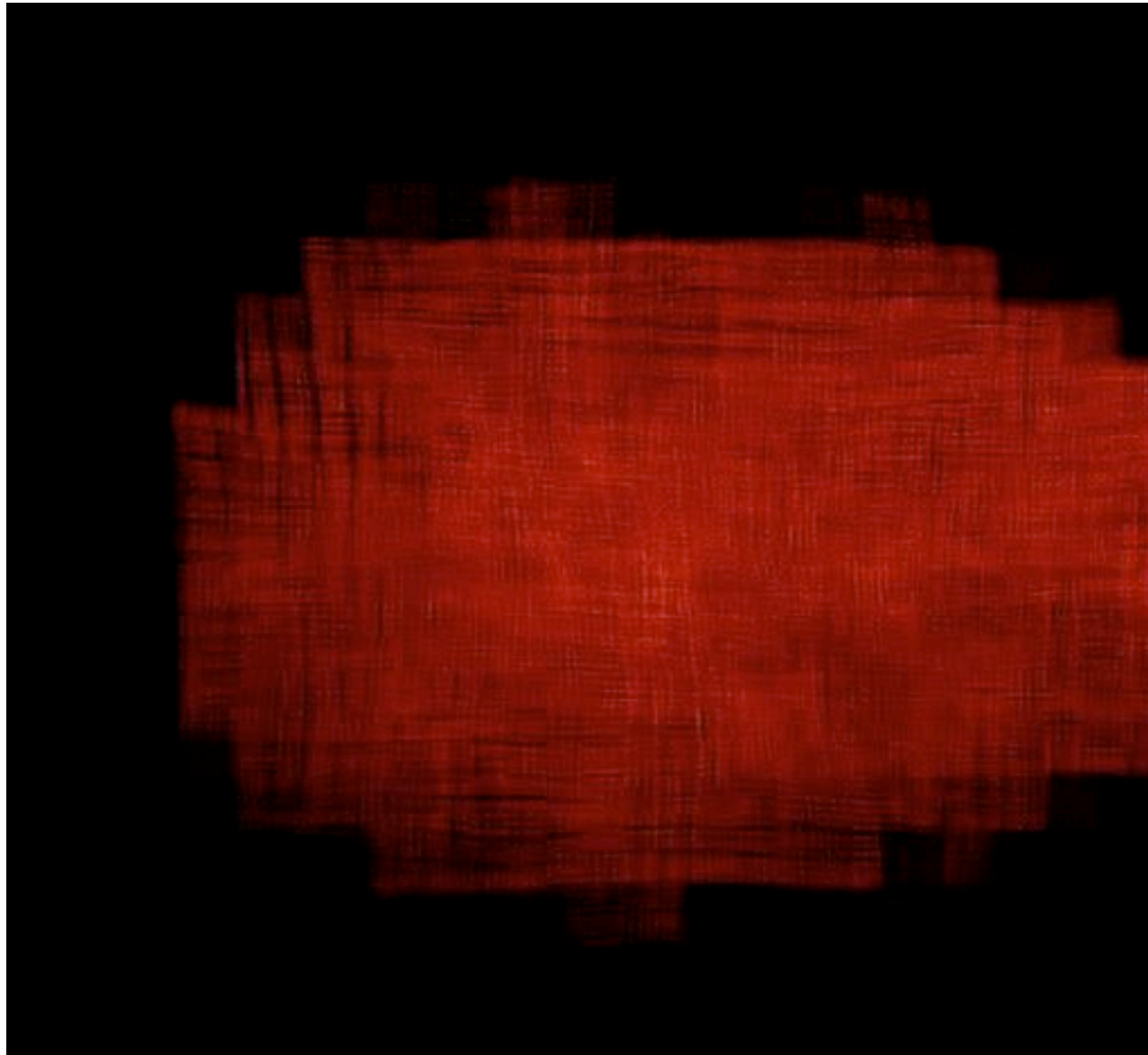
Modelos cosmológico de materia oscura fría



- Estructuras pequeñas se forman primero
- Estructuras grandes se forman de las pequeñas a través de fusiones

Simulaciones de M. Steinmetz

Modelos cosmológico de materia oscura fría



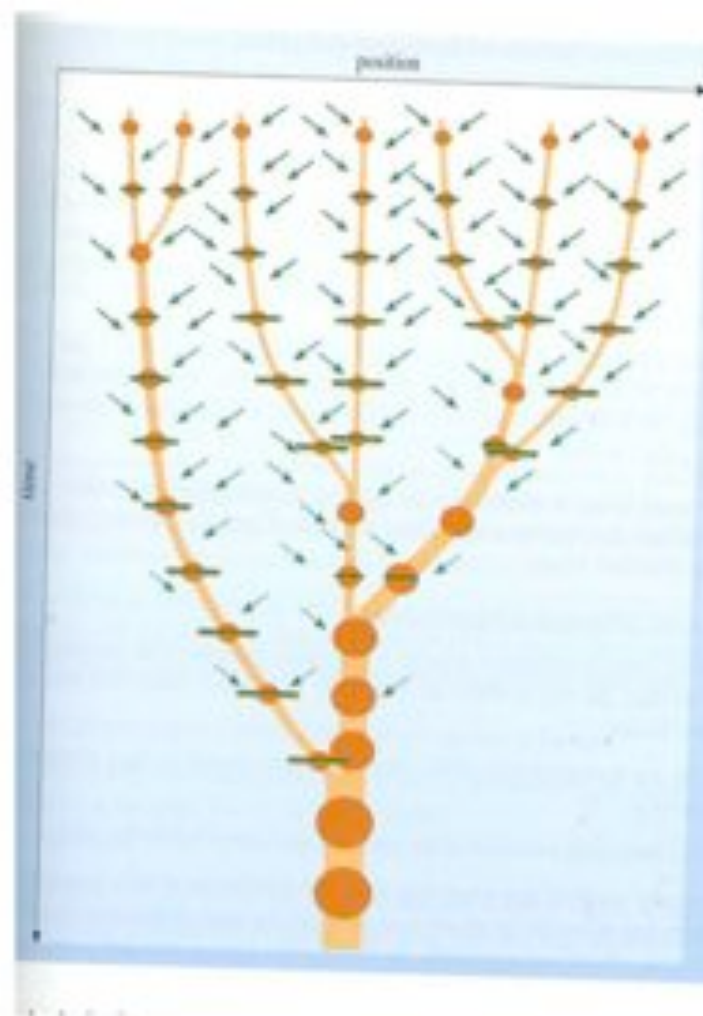
- Estructuras pequeñas se forman primero
- Estructuras grandes se forman de las pequeñas a través de fusiones

Simulaciones de M. Steinmetz

¿Cómo se pueden explicar los diferentes tipos de Hubble en el modelo de CDM?

No lo explica bien, pero se puede **destacar algunas propiedades:**

- El resultado de una fusión de galaxias es una **galaxia elíptica**
- ¿Pero como se forman **galaxias espirales?**
- Una posibilidad (no aceptada generalmente todavía) es que el disco se va formando después de una fusión poco a poco debido al "infall" de gas intergaláctico
- Ventaja de este escenario: Explica porque bulbos de galaxias son tan parecidos a galaxias elípticas.



Algunas preguntas: ¿Respuestas?

- ¿Cómo se forman las galaxias?
- ¿Porqué existen los diferentes tipos de Hubble? ¿Son creados diferentemente?
- ¿Puede una galaxia cambiar de tipo y cómo?
- ¿Cómo eran las galaxias del universo joven? ¿Igual que las de hoy?
- ¿Qué regula la formación estelar? ¿Qué provoca los brotes de formación estelar?

Algunas preguntas y algunas respuestas

- **¿Cómo se forman las galaxias?**
 - Debido a un colapso gravitacional siguiendo las acumulaciones de la materia oscura
 - Luego interacciones entre galaxias formaron cada vez objetos más grandes
- **¿Porqué existen los diferentes tipos de Hubble? ¿Son creados diferentemente?**
 - Algunos no (algunas elípticas), ¿algunos sí? ¿otras elípticas?
 - Interacciones juegan un papel importante, ¿pero cómo exactamente?
- **¿Puede una galaxia cambiar de tipo y cómo?**
 - Si: algunos elípticos son el resultado de la fusión de galaxias
 - ¿Otras formas? Cuál es el resultado de seguidos interacciones menores?

Algunas preguntas y algunas respuestas

- **¿Cómo eran las galaxias del universo joven? ¿Igual que las de hoy?**
 - No, más irregulares, tasa de FE más alto
 - ¿Como eran al formarse?
 - ¿Cual ha sido la historia de la FE y porqué?
- **¿Qué provoca y regula la formación estelar?**
 - Interacciones
 - Brazos espirales
 - Casualidad (p.e. perturbaciones pequeñas)?
 - Otros?

3. Galaxias con núcleo activo

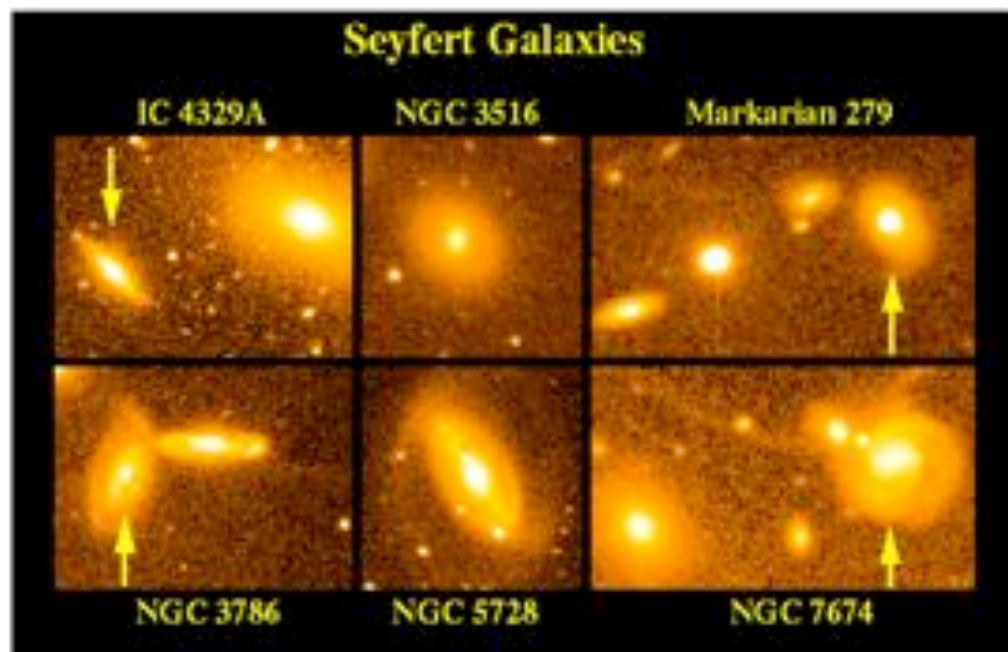
Primeras observaciones en visible

- 1909: Líneas de emisión peculiares en NGC 1068 (*E.A. Fath, Ph.D.*)
- 1943: Carl Seyfert inicia un estudio sistemático de galaxias con núcleos de apariencia estelar

Anchura líneas \rightarrow Efecto Doppler $\rightarrow v \sim 8500$ km/s !!!!

Había líneas anchas y estrechas

Pero estos trabajo no estimularon el estudio de los AGNs.



Observaciones en radio

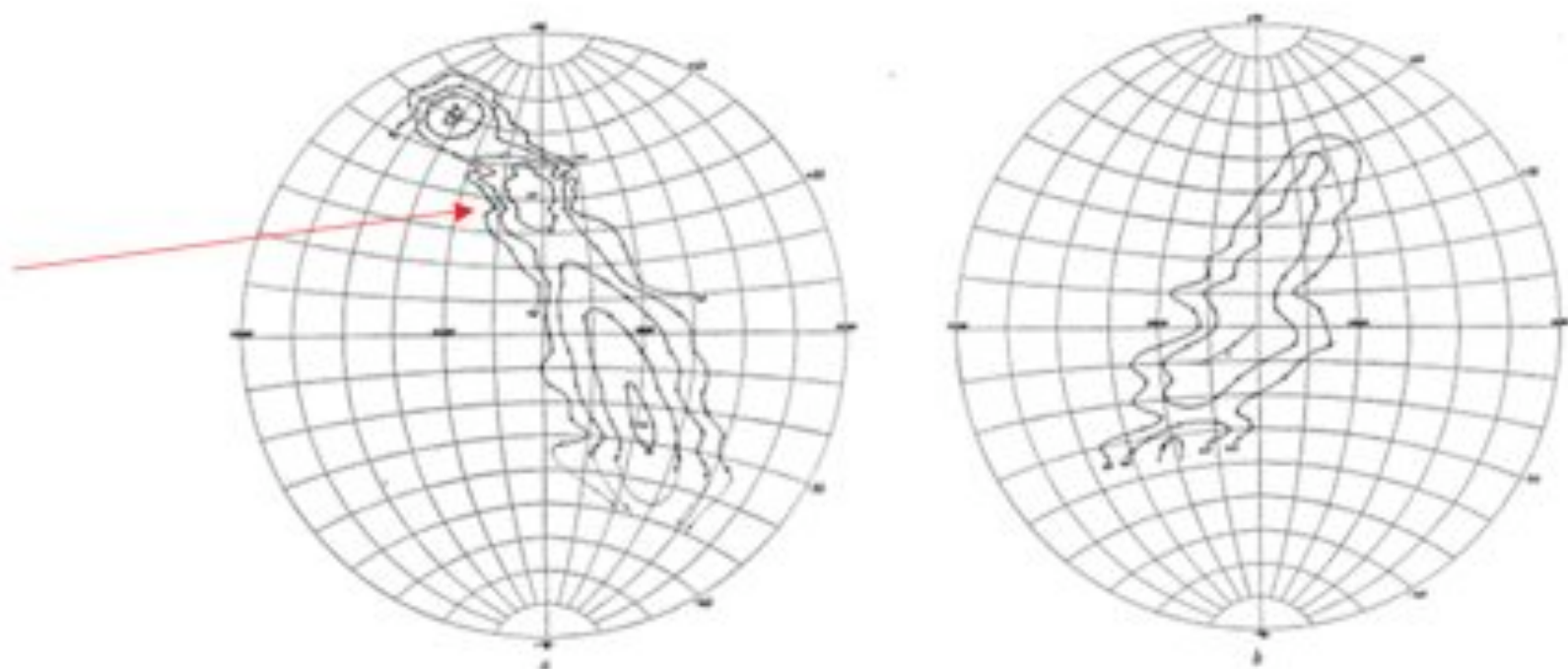


FIG. 4.—Constant intensity lines in terms of 10^{-26} watt/sq. cm./cic. deg./M.C. band

Grote Reber 1944, ApJ 100, p.279: mapa del cielo realizado a $\lambda = 1.87$ m.

La intensidad indica la cantidad de materia entre nosotros y el borde de la Vía Láctea.

1940: En el primer mapa de radio continuo del cielo, Grote Reber encuentra una fuente puntual: Cygnus A

"Radioestrellas" ←

Ojo: Es sólo el nombre se daba hoy sabemos que no son estrellas

En los 1940: Observación de las primeras fuentes luminosas en radio. Eran (para la mala resolución angular) aparentemente puntuales → ¿estrellas raras?

1951: Precisa posición de Cygnus A medido por Graham Smith

1954: Baade y Minkowski identifican ópticamente

- Cygnus A → fuente extragaláctica
- Cas A → Remanente de Supernova

En los 1960: detección de muchas fuentes luminosas en radio, asociadas con galaxias débiles.

1965: Minkowski encuentra la contrapartida óptica de 3C295: galaxia perteneciente a un cúmulo a $z=0.46$ (record de la época!) → Dado su gran distancia, el objeto tenía que ser muy luminoso

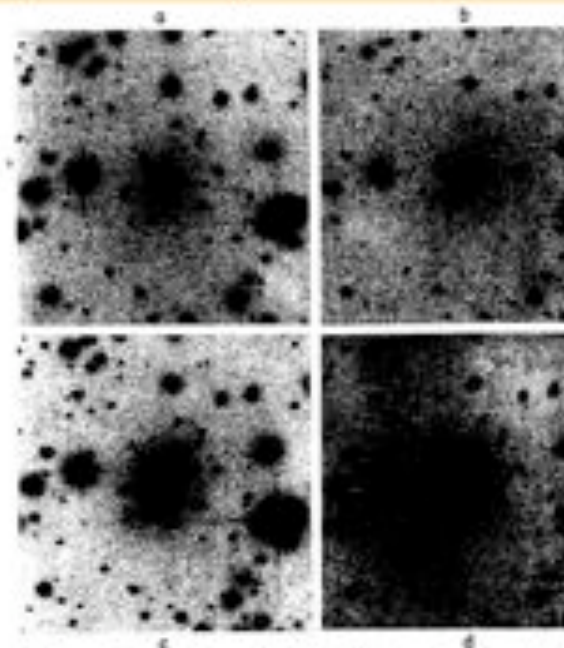


Figura tomada del artículo original de Baade y Minkowski de 1954 en la que identifican Cyg A con una galaxia.

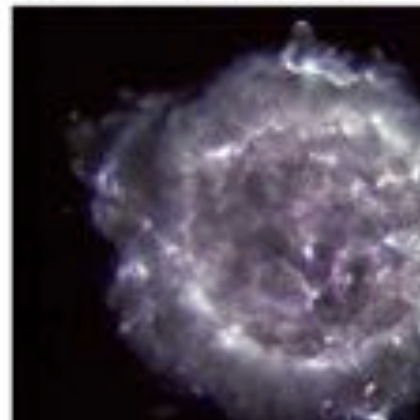


Imagen VLA de Cas A, a 6cm

Descubrimiento de los cuásares

•1963: M. Schmidt identificó 3C273 con una aparente estrella, pero con líneas anchas de emisión → no era una estrella normal

Encontró 4 líneas correspondientes a la serie de Balmer: $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ y $H\epsilon$, y $MgII$, pero con $z=0.16$

El valor de z fue confirmado por $H\alpha$ en infrarrojo.

•Una identificación similar de líneas daba $z=0.37$ para 3C48.

→ Quasi-stellar object ó QSO ó cuásar

1965: A. Sandage descubre cuásares no asociados con fuentes radio

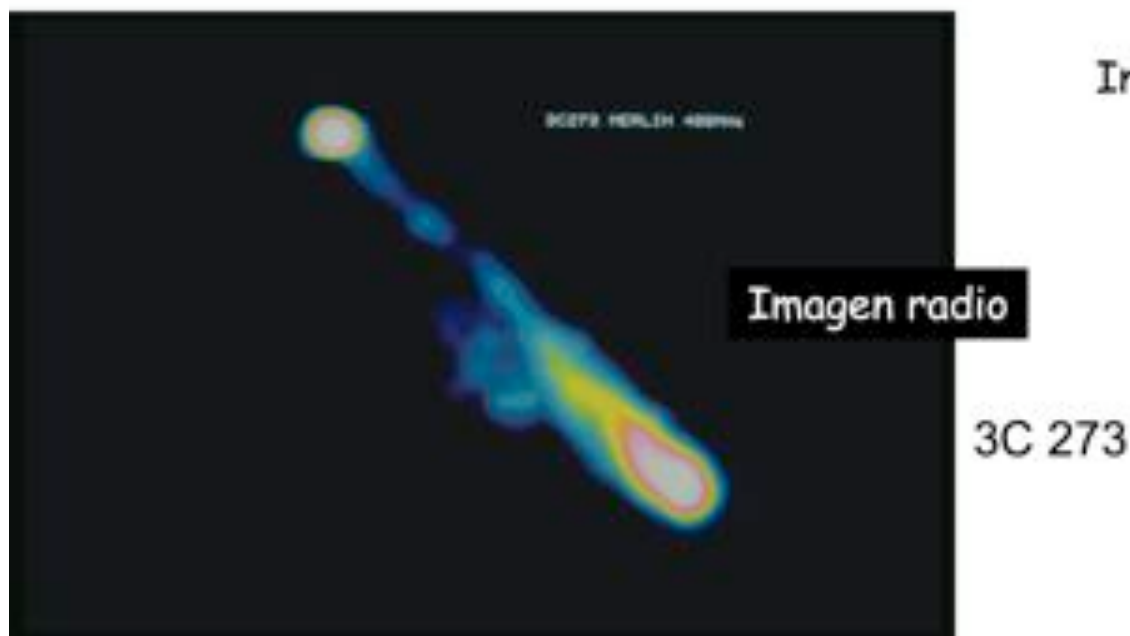
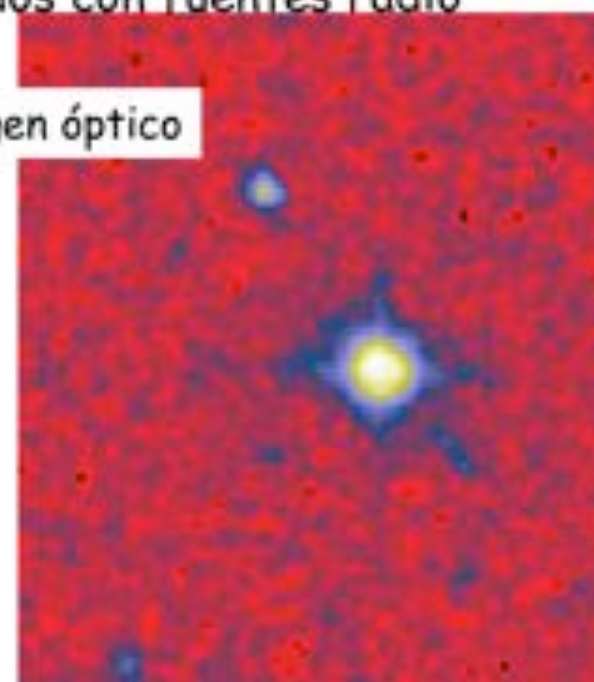


Imagen óptico



Algunas propiedades de las "galaxias activas"

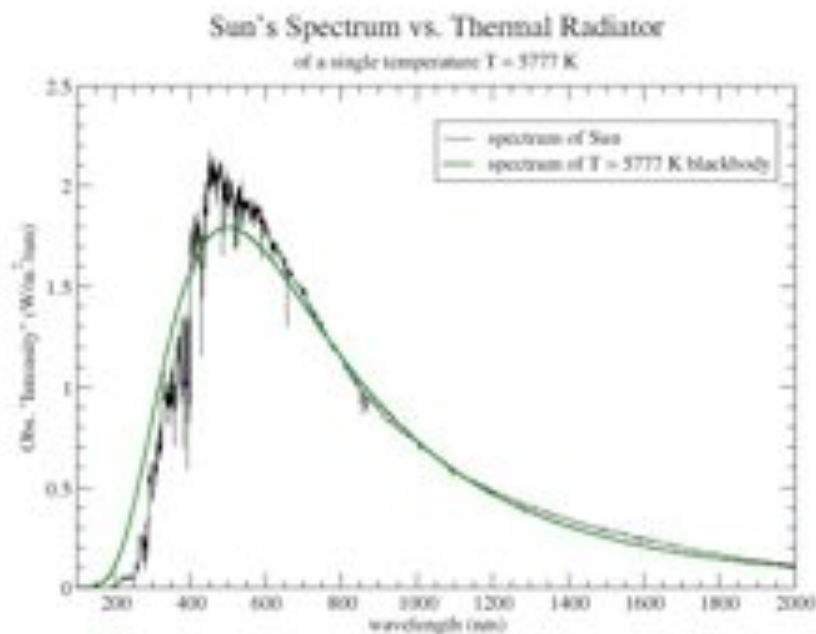
Todos los objetos (galaxias Seyferts, cuasares, y también radiogalaxias, si se puede detectar emisión en otras longitudes de onda) tienen en común

Líneas en espectro:

- Alto corrimiento a rojo → (normalmente) gran distancia:
 - Cuasares son los **objetos más lejanos en el universo**
 - Su emisión corresponde a energías enormes, hasta 10 - 1000 veces una galaxia como la nuestra
- Anchura de las líneas anchas o muy ancha en comparación con galaxias normales

Emisión continuo:

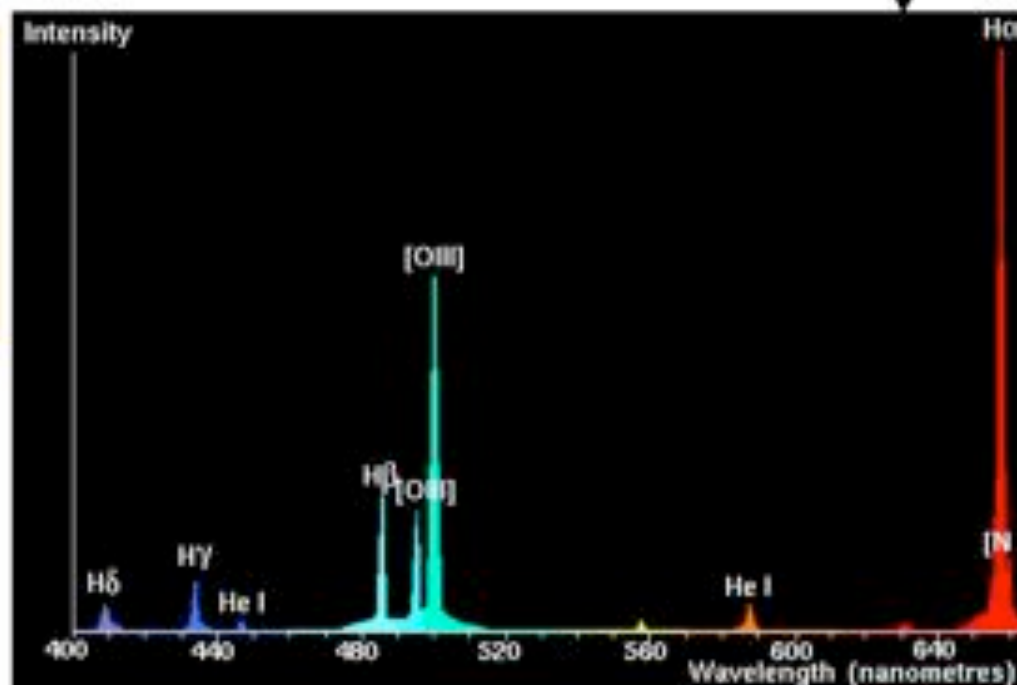
- Mucha emisión en el IR, UV y rayos X (exceso en estas longitudes de onda con respecto a galaxias normales)
- Variabilidad de la emisión
- Hay algunos con emisión fuerte en radio



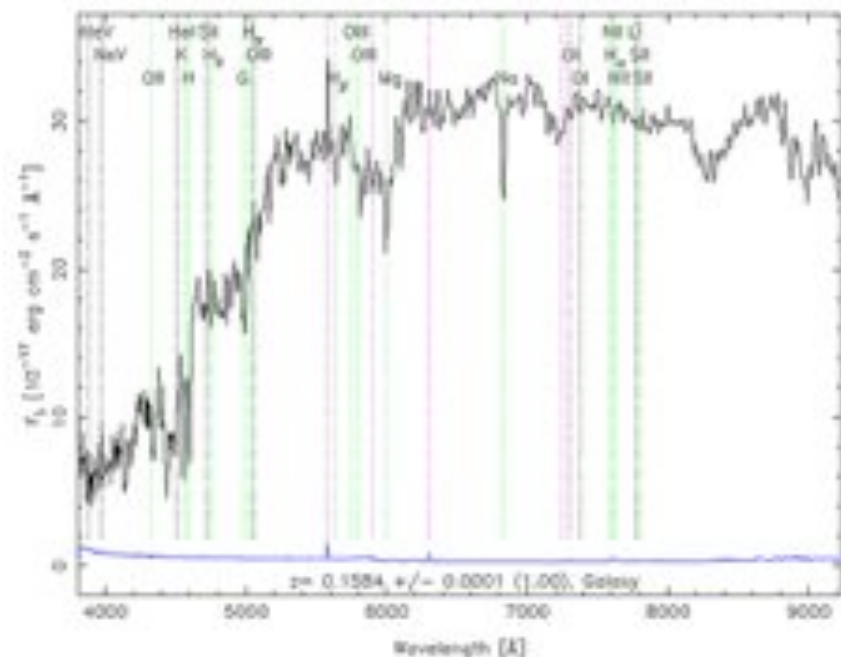
¿Qué podemos aprender de los espectros?

Espectro de una región de gas ionizado:
Líneas de emisión estrechos

Espectro del Sol: Emisión continua y líneas de absorción (porque la atmósfera del Sol es más fría que la superficie)



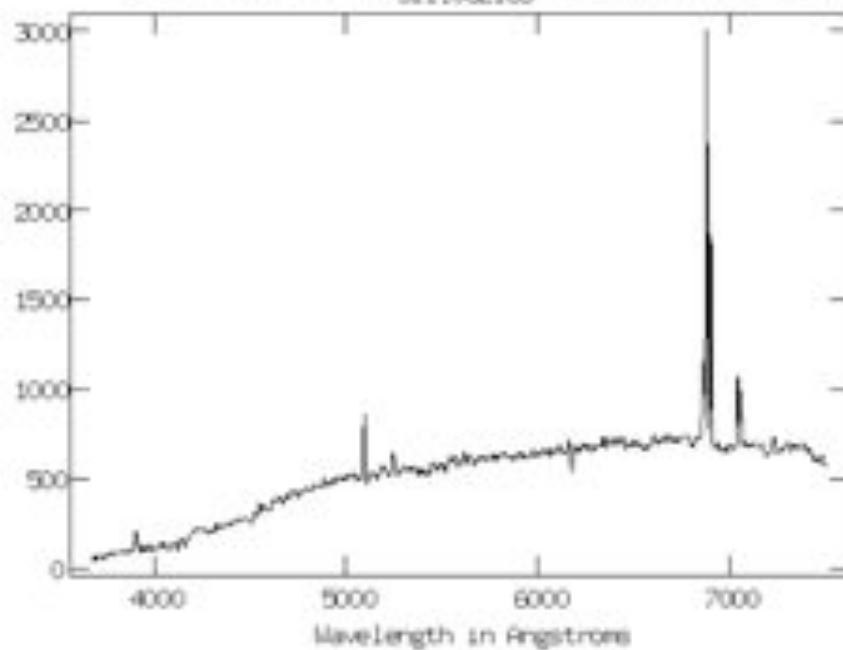
RA=186.18278, DEC=-0.34564, MJD=52000, Filter= 286, Fiber= 37

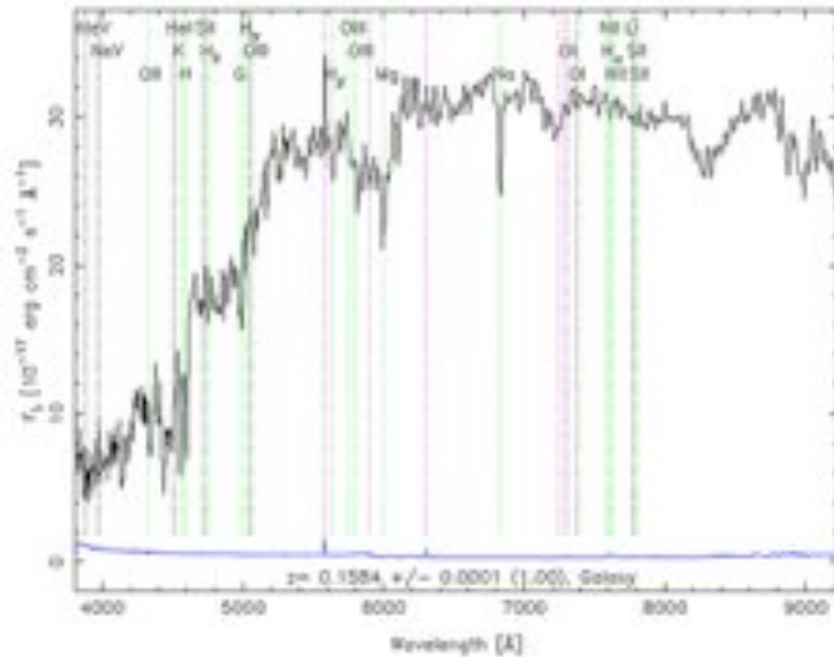


Dos espectros de galaxias

¿Cómo se diferencian los dos espectros?
¿Cómo se pueden interpretar?

IRAF rvsao.ensao 2.0b mir@ena Tue 16:16:29 06-May-97
311.062165



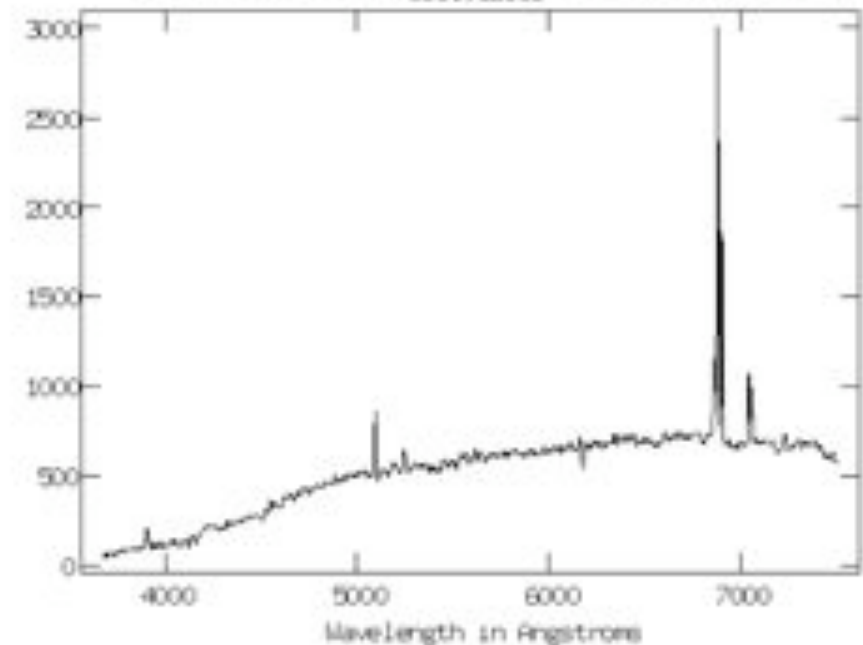


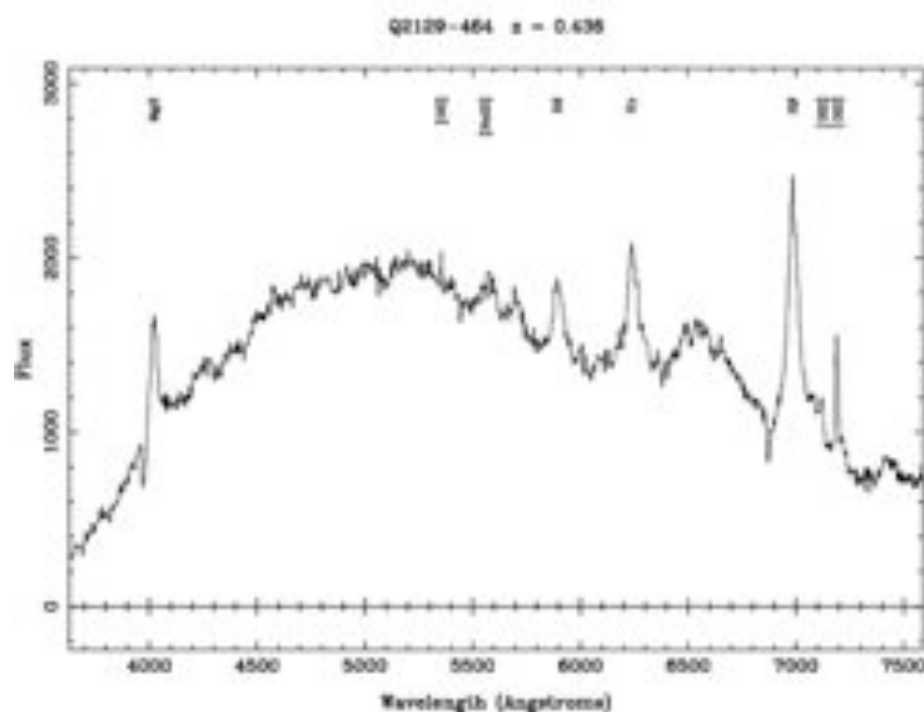
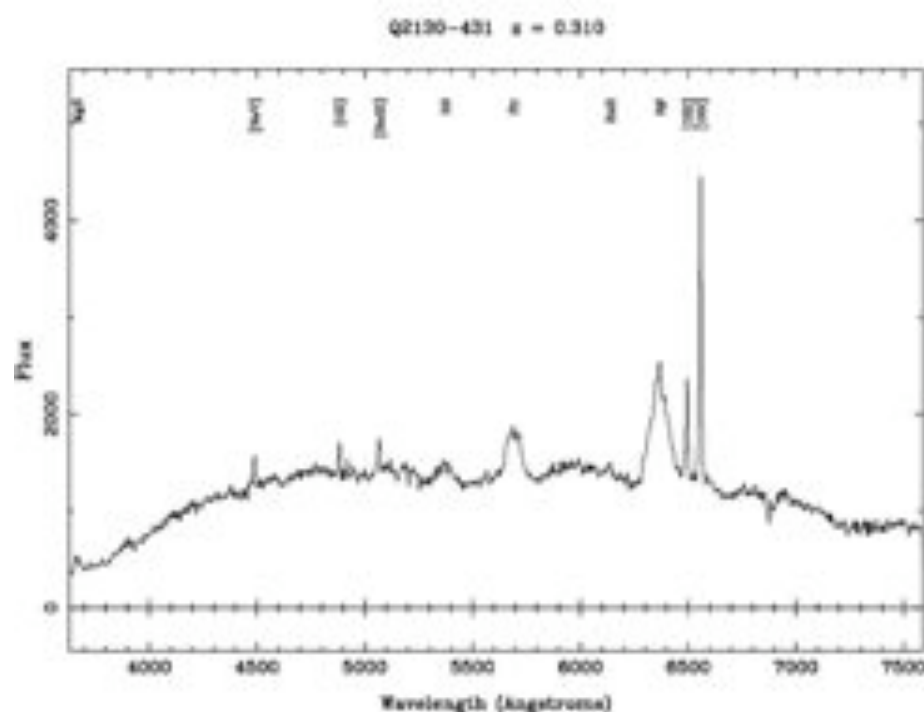
- Un espectro tiene más líneas de absorción (\rightarrow estrellas) y el otro más líneas de emisión (\rightarrow gas caliente)
- Gas caliente está alrededor de estrellas masivas, recientemente formados \rightarrow indicación de mucha formación estelar reciente \rightarrow galaxias con brote de formación estelar

Dos espectros de galaxias

¿Cómo se diferencian los dos espectros?
¿Cómo se pueden interpretar?

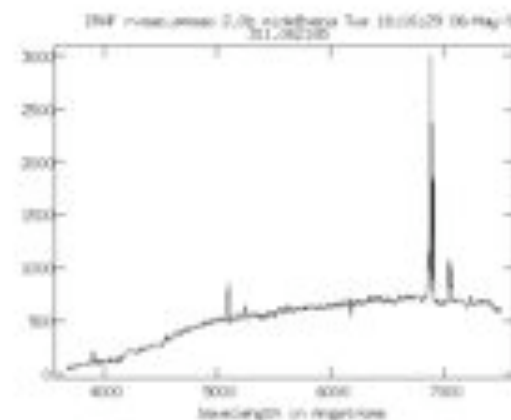
IRAF rvsaio.ensao 2.0b mir@ens Tue 16:16:29 06-May-97
311.062165





Espectro de una galaxia activa → líneas muy anchas

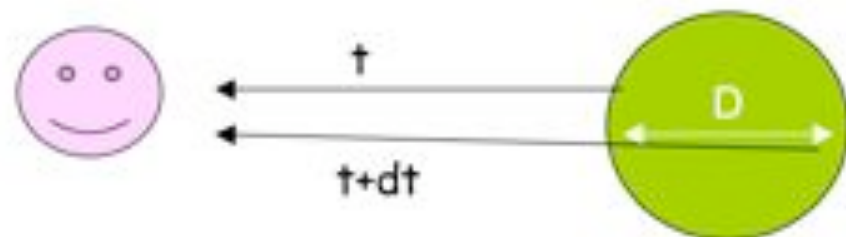
- Anchamiento debido al efecto Doppler → alta velocidad del gas (varios 1000 km/s) → alta temperatura
- Se distinguen dos tipos de líneas:
 - *Líneas anchas
 - *Líneas estrechas (que son más estrechas que las otras, pero todavía más anchas que en galaxias con solamente formación estelar)



Para comparar: galaxia con formación estelar

Variabilidad de la emisión

- Variabilidad de su emisión en corto tiempo (días o menos) → Fuente de la emisión tiene que ser muy compacto (días-luz; la Vía Láctea: diámetro 80 000 años-luz → 30 million veces más)



$$dt = D/c$$

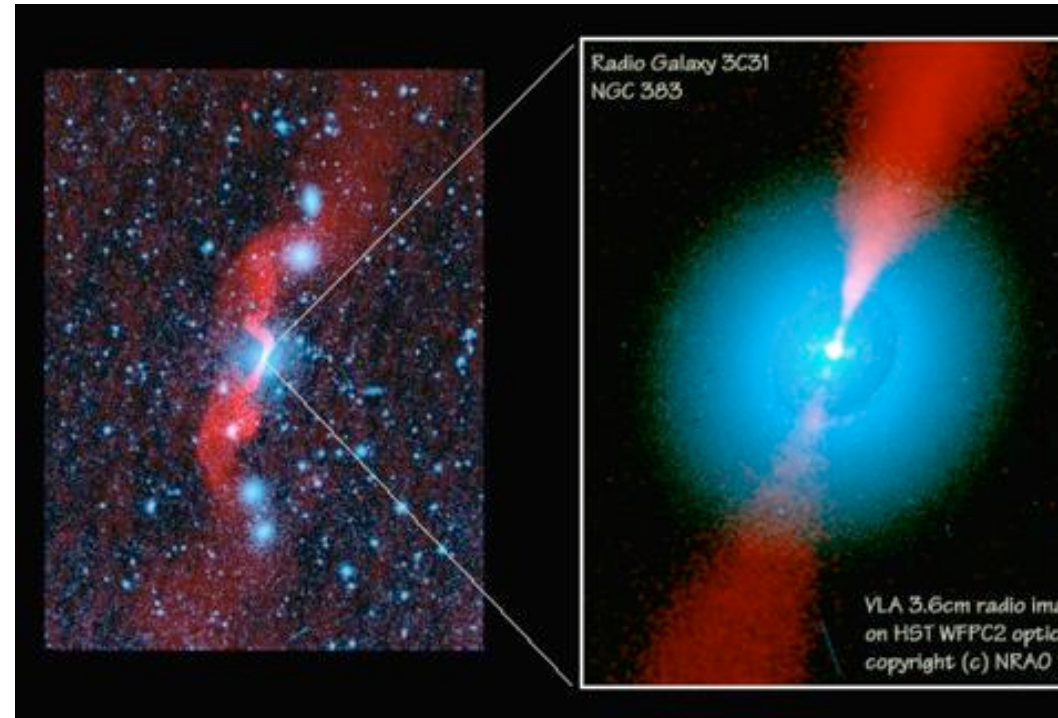
Duración del brote de emisión que vemos es por lo menos dt

→ Luminosidad ~ 1000 veces luminosidad de la Vía Láctea en un tamaño mucho más pequeños que la distancia entre las estrellas en la vecindad del sol

¿Qué es una radiogalaxia?

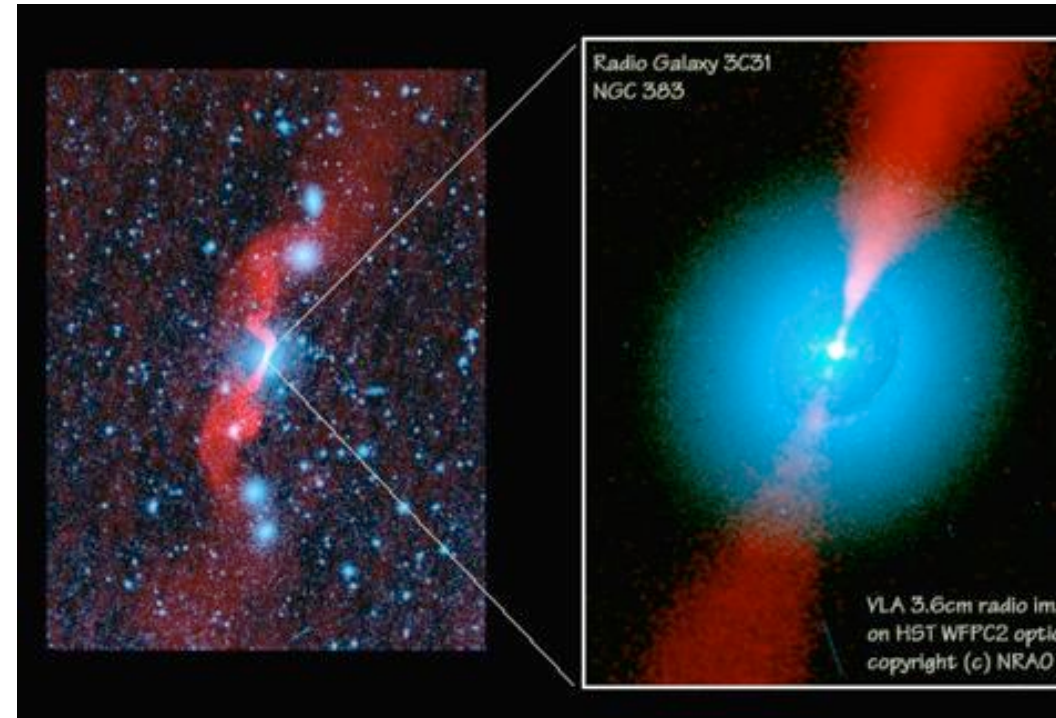
¿Qué es una radiogalaxia?

- Mientras que la emisión óptica está normalmente restringida a la región poblada de estrellas, en radio se observan regiones de dimensiones mucho mayores en este tipo de galaxias.



¿Qué es una radiogalaxia?

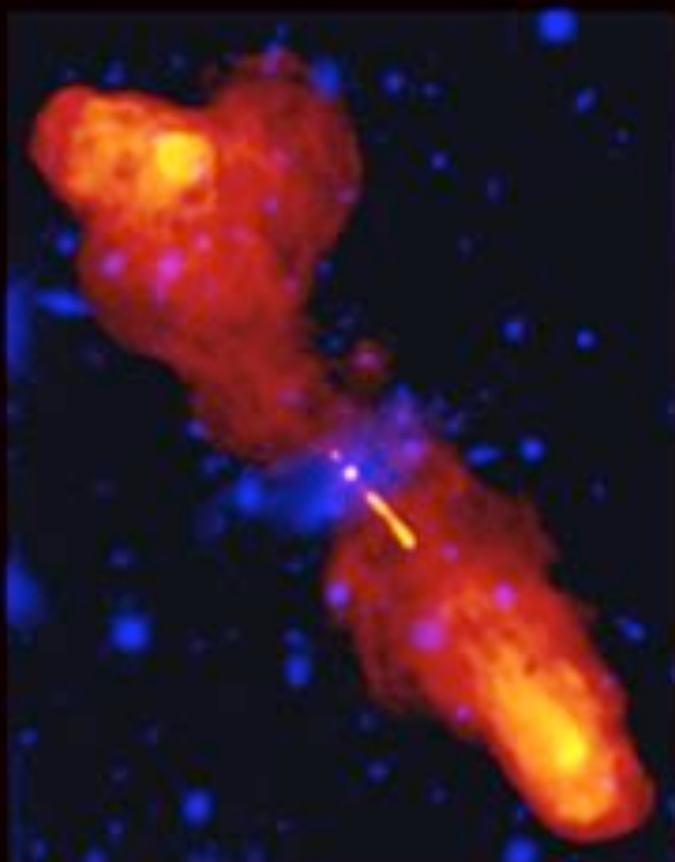
- Mientras que la emisión óptica está normalmente restringida a la región poblada de estrellas, en radio se observan regiones de dimensiones mucho mayores en este tipo de galaxias.



M87, contrapartida óptica de Virgo A (radiogalaxia)

- La contrapartida óptica de las radiogalaxias son galaxias elípticas, aunque no todas las galaxias elípticas son radiogalaxias.

Radio Galaxy 3C219
Radio/optical Superposition



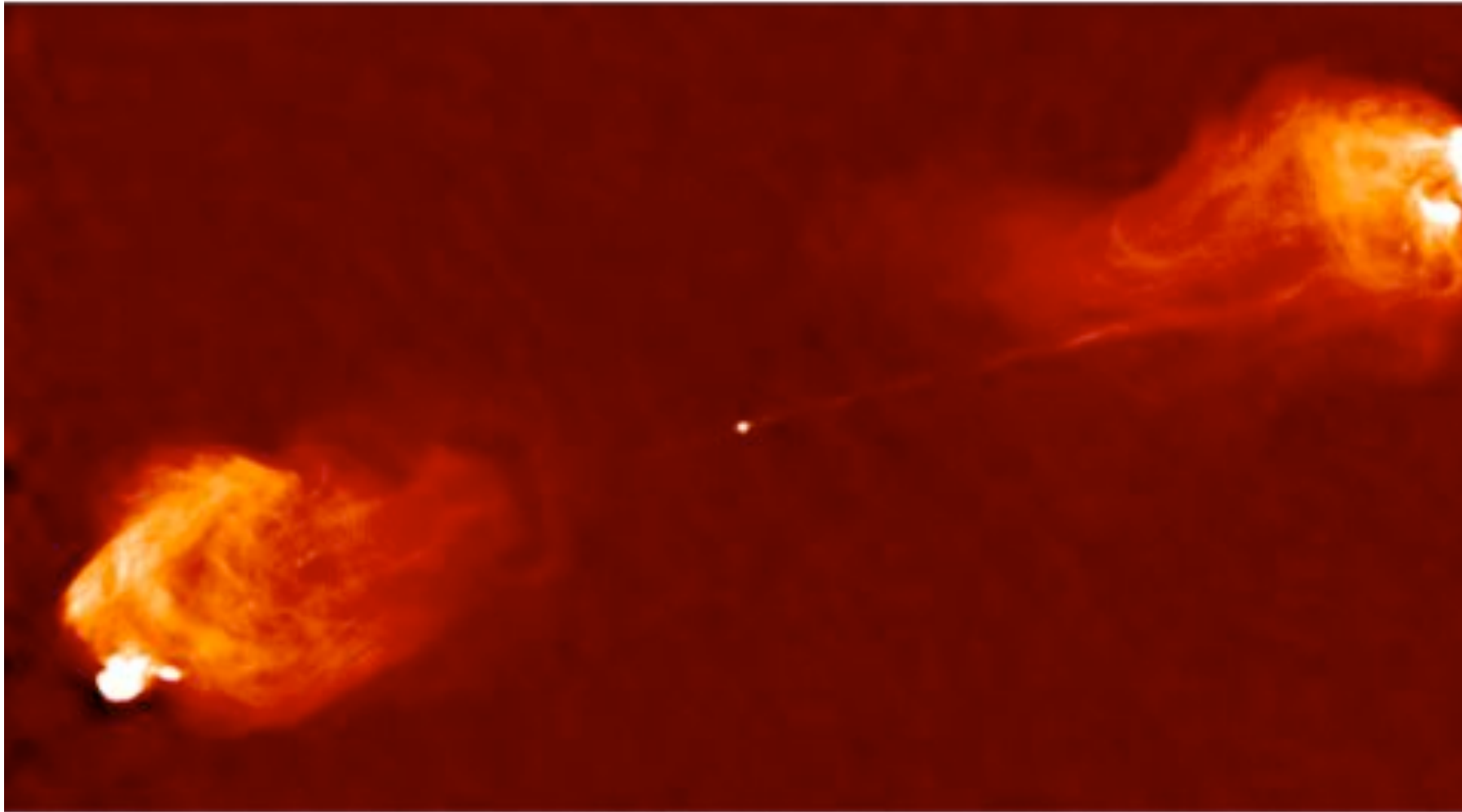
Copyright (c) NRAO/AUI 1999



Radio Galaxy 3C296
Radio/optical superposition

Copyright (c) NRAO/AUI 1999

¿De qué consiste una radiogalaxia?

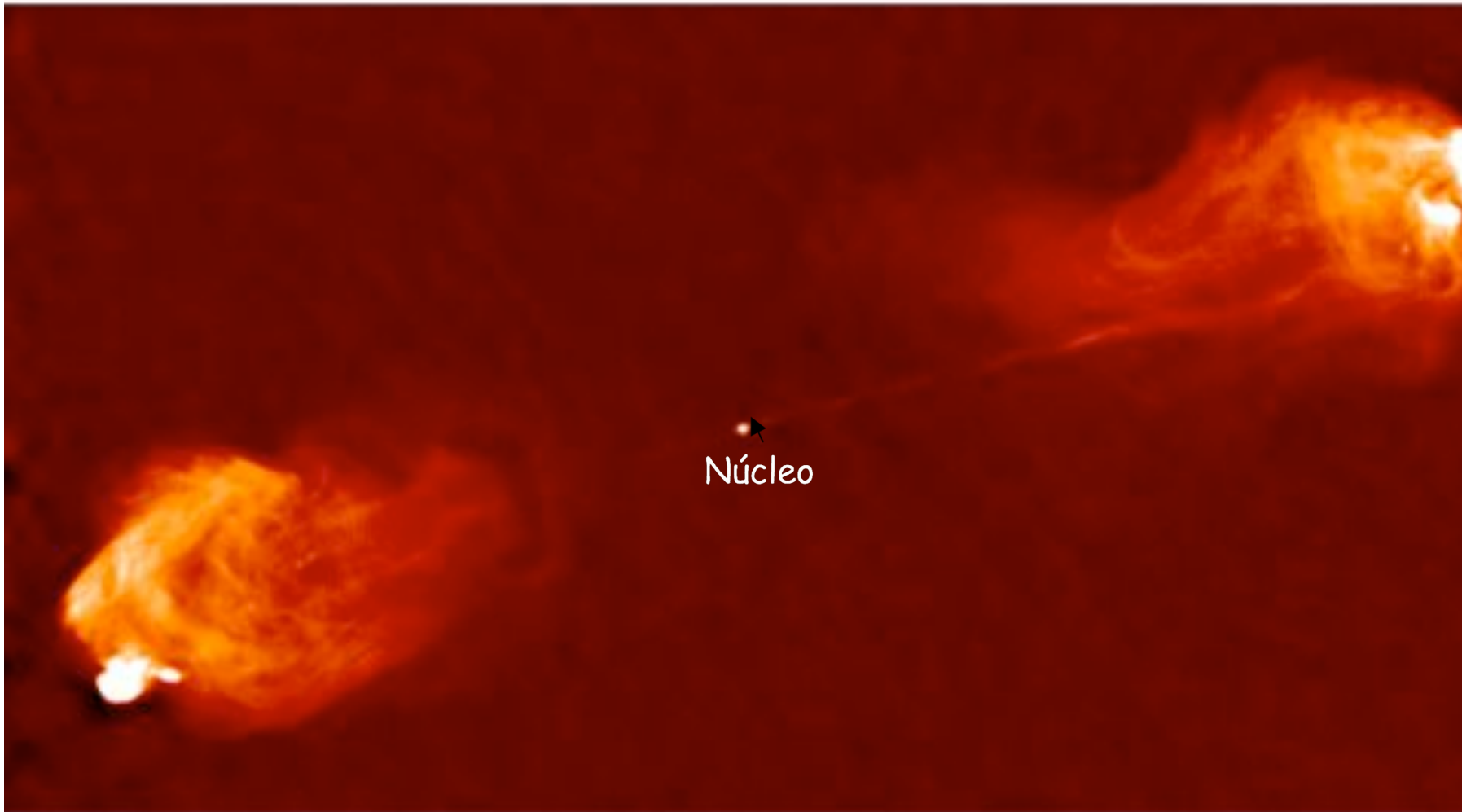


Cygnus A: $z=0.0565$, o 700 millones de años luz.

Espectro con líneas estrechas

Tamaño en radio 140 kpc

¿De qué consiste una radiogalaxia?

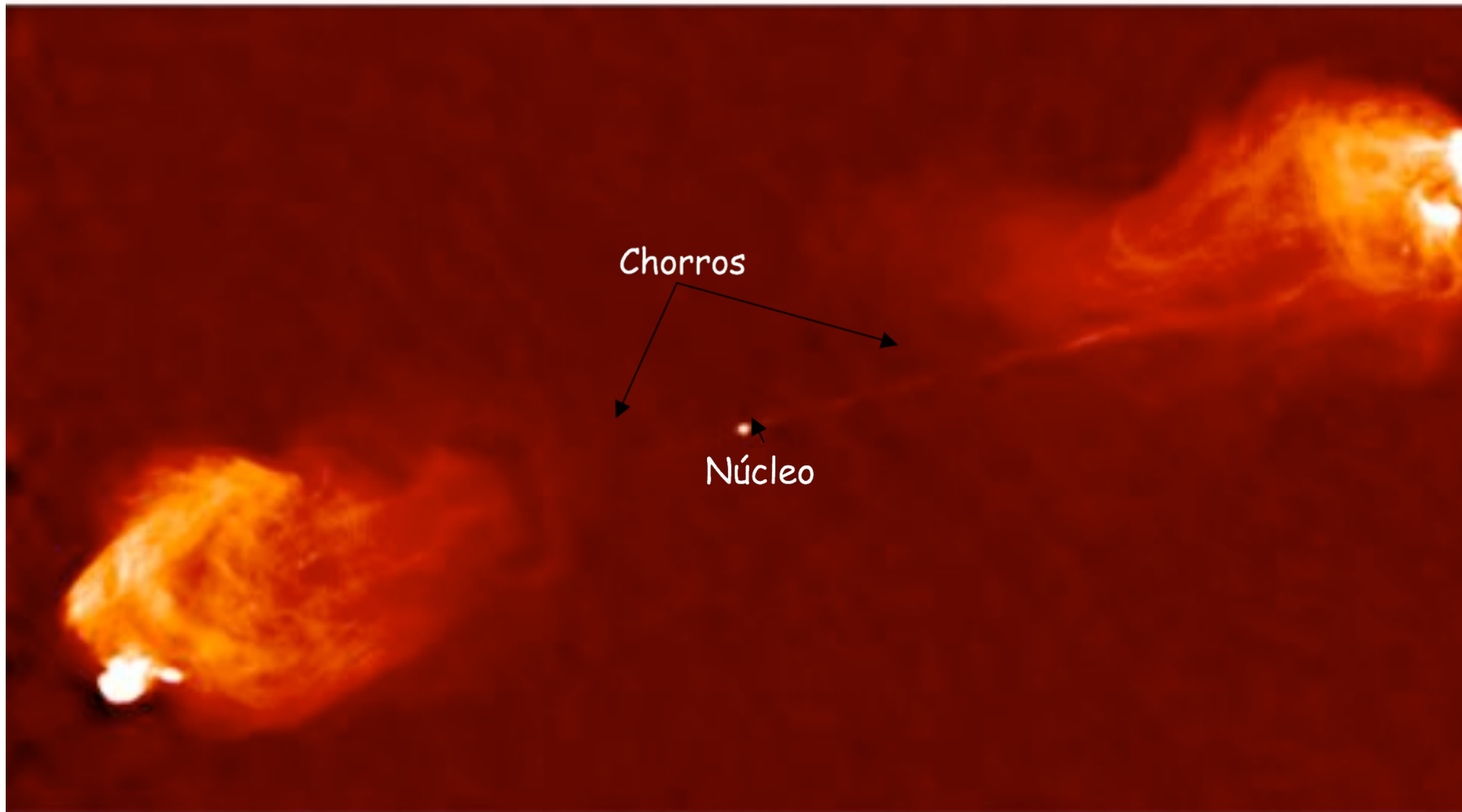


Cygnus A: $z=0.0565$, o 700 millones de años luz.

Espectro con líneas estrechas

Tamaño en radio 140 kpc

¿De qué consiste una radiogalaxia?

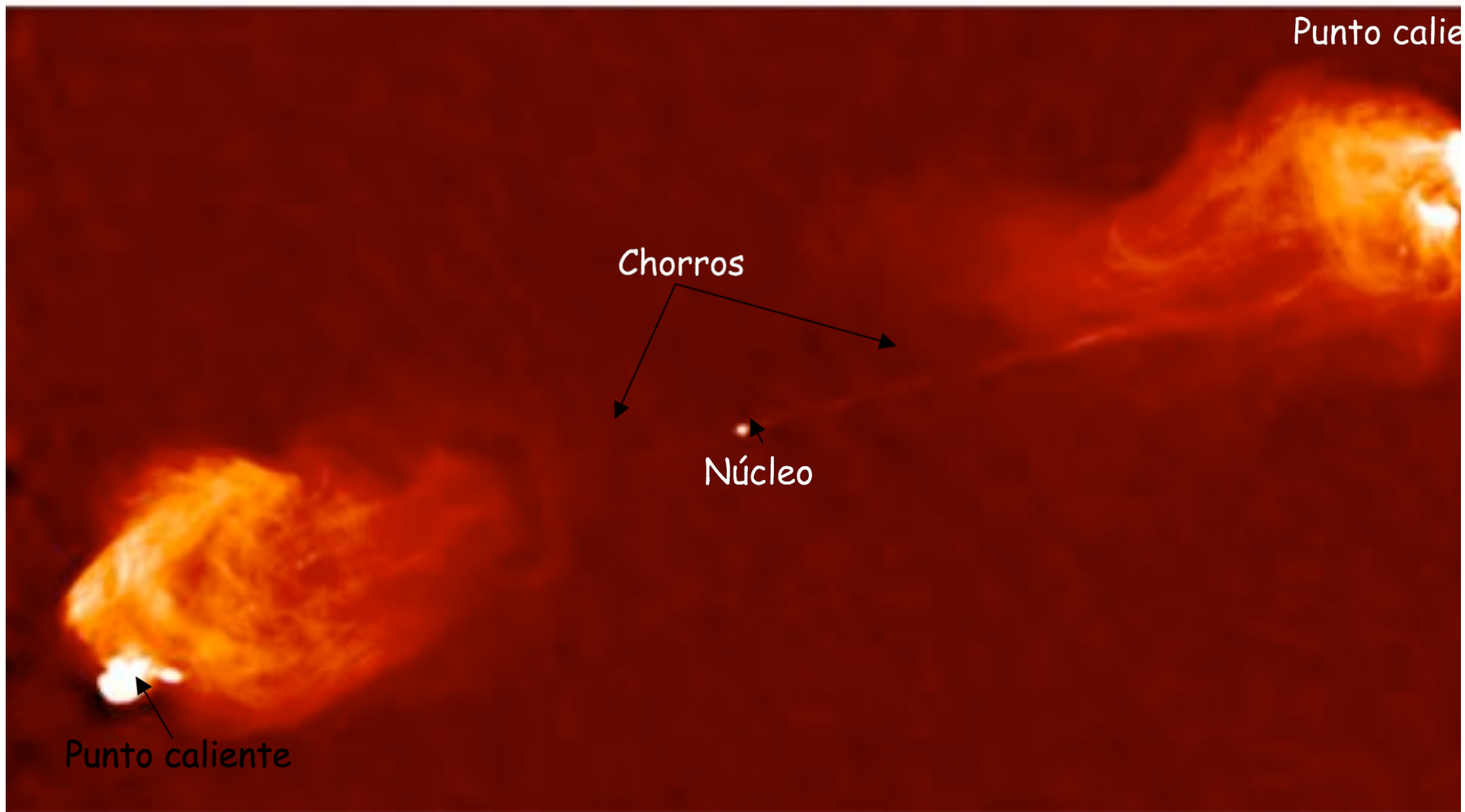


Cygnus A: $z=0.0565$, o 700 millones de años luz.

Espectro con líneas estrechas

Tamaño en radio 140 kpc

¿De qué consiste una radiogalaxia?

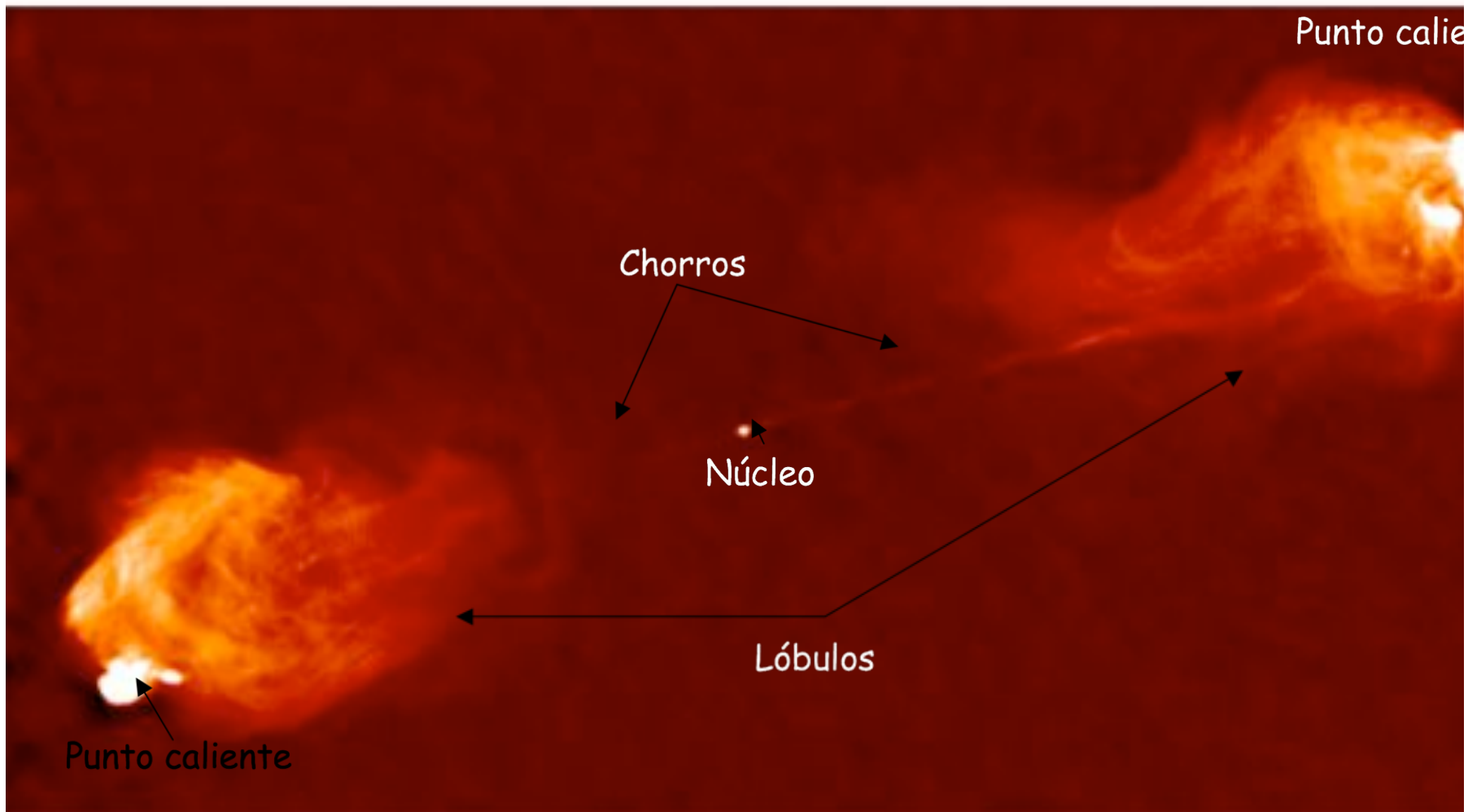


Cygnus A: $z=0.0565$, o 700 millones de años luz.

Espectro con líneas estrechas

Tamaño en radio 140 kpc

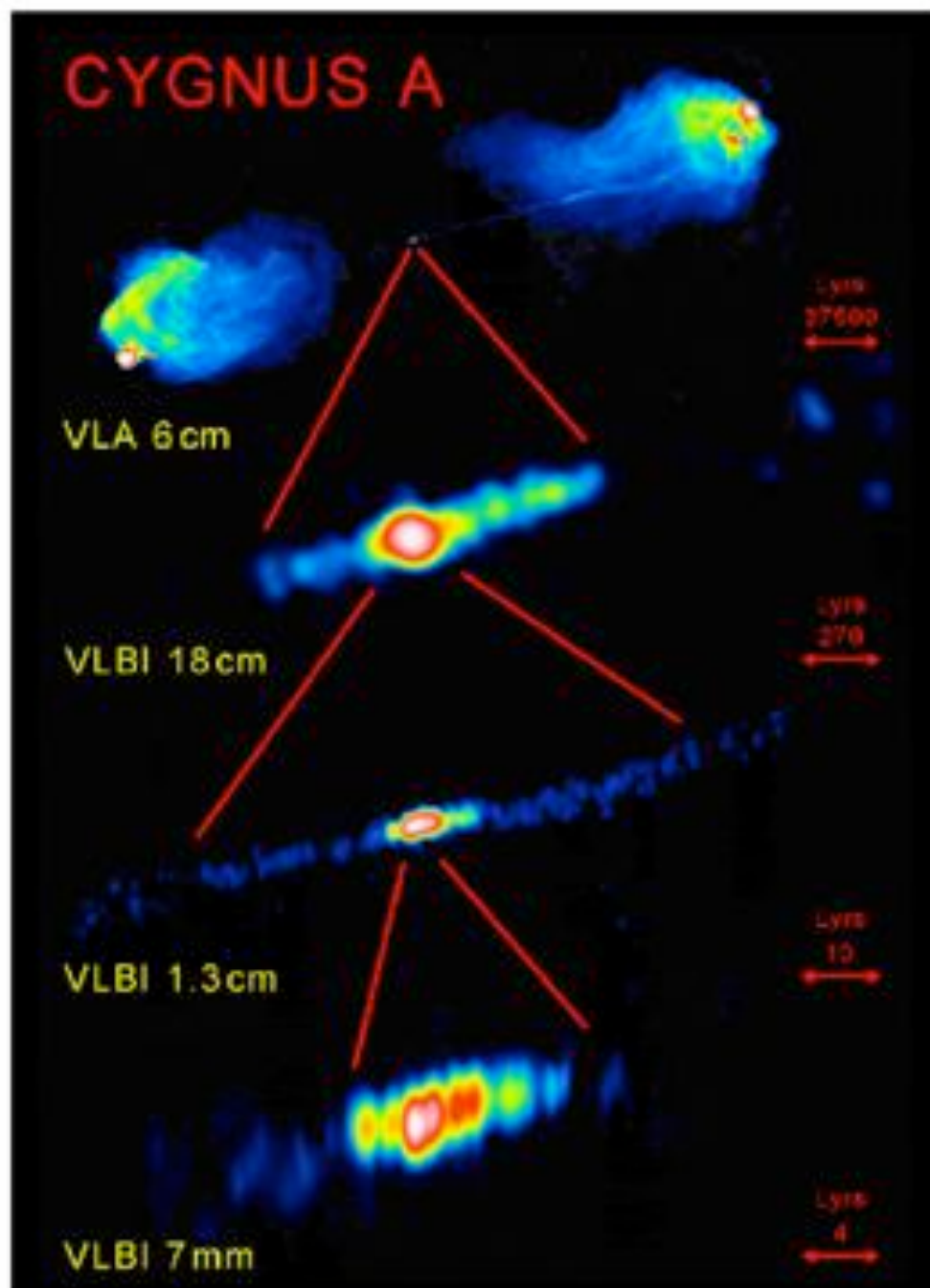
¿De qué consiste una radiogalaxia?



Cygnus A: $z=0.0565$, o 700 millones de años luz.

Espectro con líneas estrechas

Tamaño en radio 140 kpc



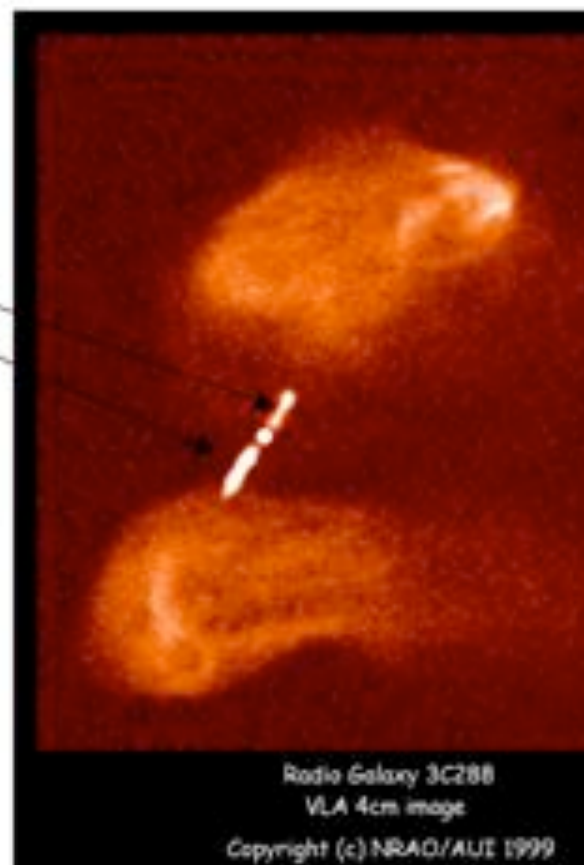
Observaciones con VLBI para observar detalles del núcleo

Componentes de radiogalaxias: Chorros

Los chorros están formados por campos magnéticos y por partículas (fundamentalmente electrones) que viajan a velocidades próximas a la de la luz. La combinación de partículas relativistas y campos magnéticos en los chorros produce un tipo particular de radiación electromagnética: la **radiación sincrotrón**.

- Emisión colimada
- Muy intensa
- Polarizada
- Espectro continuo

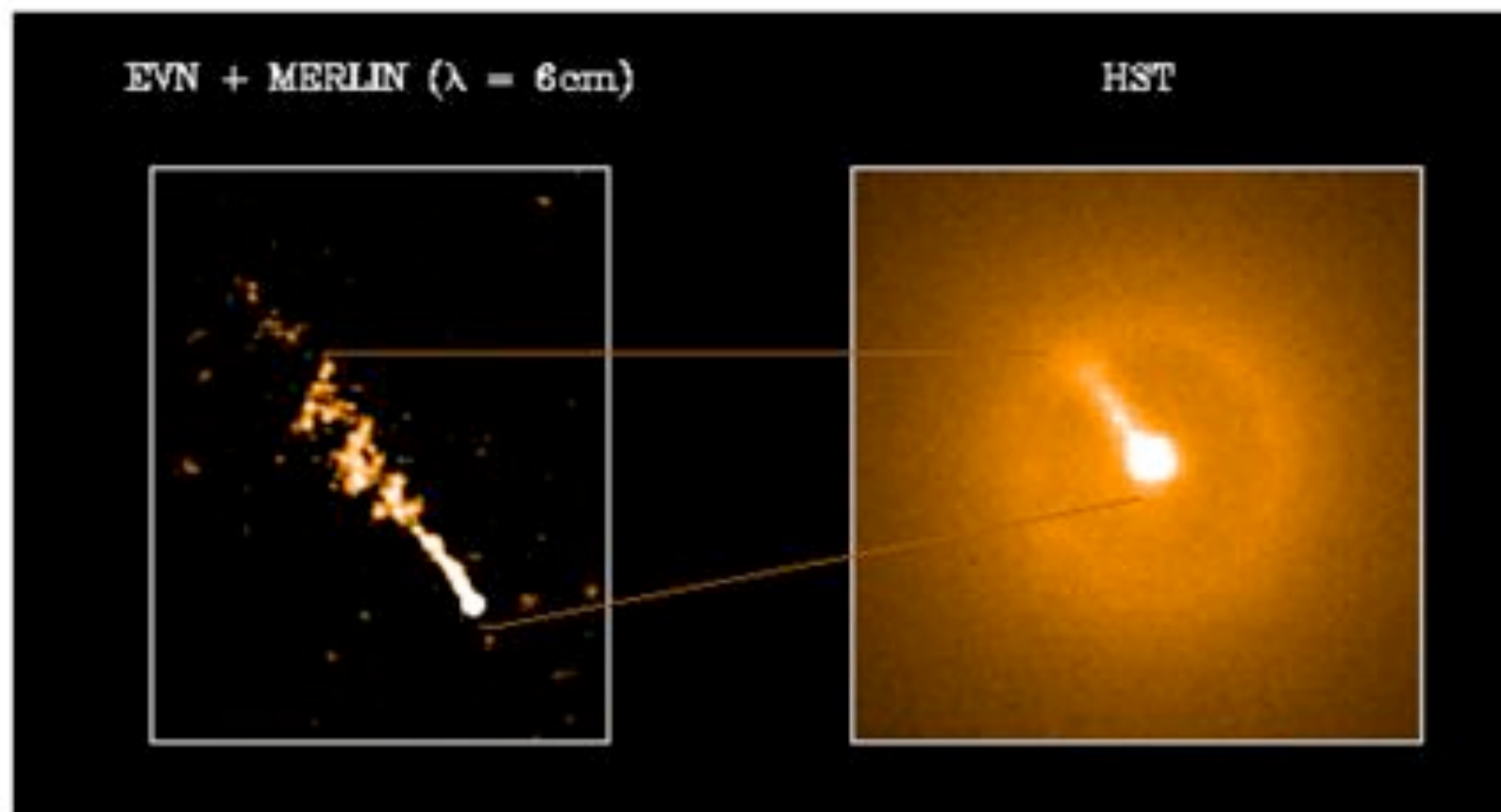
Transportan el material del núcleo a los lóbulos



Radio Galaxy 3C288
VLA 4cm image
Copyright (c) NRAO/AUI 1999

Chorros relativistas

La radiación sincrotrón en astrofísica no es algo exclusivo de las ondas de radio. Se observan chorros extragalácticos con emisión sincrotrón óptica y en rayos X.

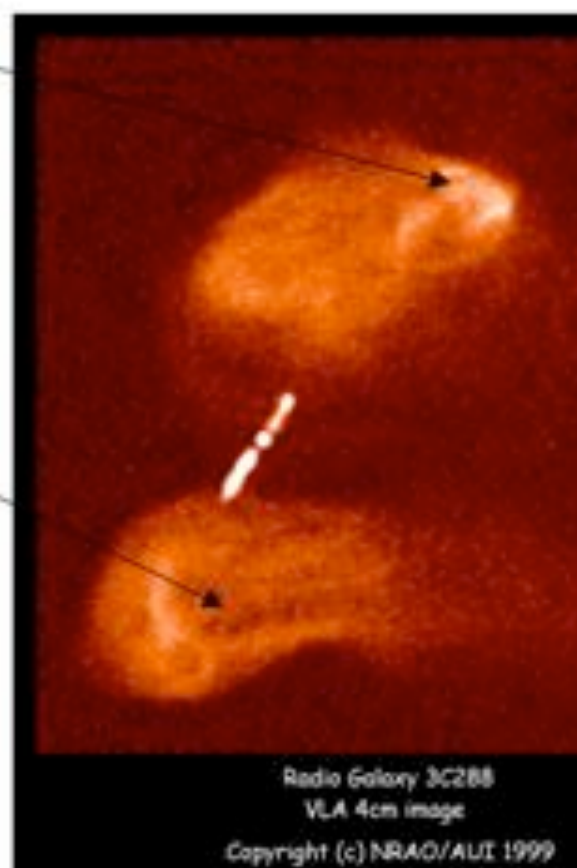


Lóbulos y puntos calientes

Cuando el material de los chorros choca contra el medio interestelar alrededor, se producen choques, que acelerarán partículas (electrones y protones):

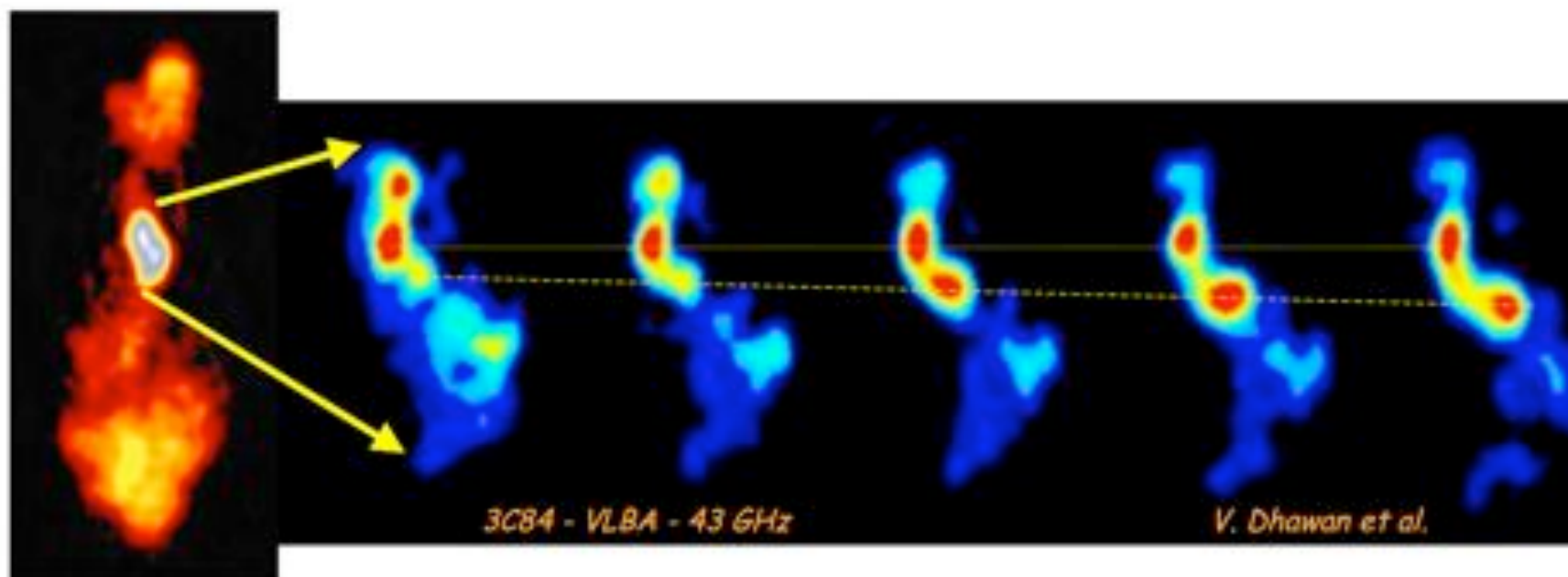
Puntos calientes

Desde aquí, partículas van perdiendo energía y se difunden produciendo los **lóbulos**



Chorros relativistas

Uno de los fenómenos más espectaculares observados en los chorros extragalácticos, y que ratifica el carácter relativista de los mismos es el movimiento superlumínico: componentes que viajan a lo largo del chorro con **velocidades aparentes superiores a la de la luz**.



La fuente de energía

Modelos propuestos:

- Reacción en cadena de supernovas *(Burbidge 1961)*
- Cúmulos estelares muy densos *(Spitzer & Saslaw, 1966)*
- Accumulación de púlsares *(Arons, Kulsrud & Ostriker, 1975)*
- Formación estelar violenta *(Terlevich & Melnick, 1985)*
- Estrellas supermasivas *(Hoyle & Fowler, 1963)*
 - $10^8 M_{\odot}$
 - Campo magnético toroidal
 - Disco de gas
 - Necesidad de concentraciones de masa hasta límites relativistas
- Acrecimiento hacia un agujero negro supermasivo *(Salpeter 1964; Zeldovich 1964)*
 - ~5% masa cayente → energía
 - Pero esta idea no recibió mucha atención...

Hoy: Modelo estandar: Agujero negro

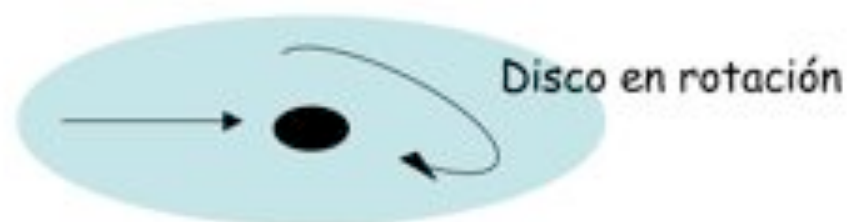
Importante argumento para cambiar de idea: Descubrimiento de los pulsares en 1967
→ Estrellas colapsadas existen!!

Energía liberado en agujero negro

- Masa cayéndose en agujero negro puede liberar hasta 42% de la energía correspondiente a su masa
- (para comparar: nucleosíntesis: solo 0.07%)

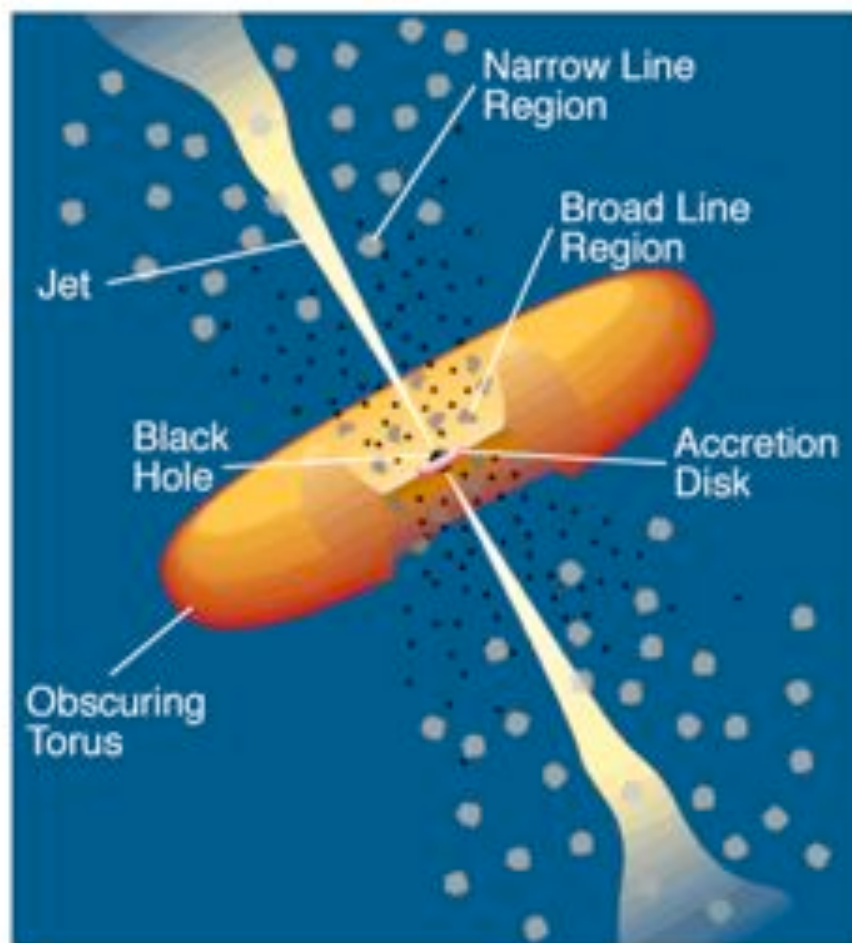
Proceso:

- Momentum angular \rightarrow caída directa imposible
- Sólo caída paralela a la rotación es posible sin impedimento \rightarrow Se forma disco de acrecimiento
- Materia se mueve hacia dentro perdiendo momentum angular y energía vía viscosidad



Materia se mueve hacia dentro

Modelo estándar

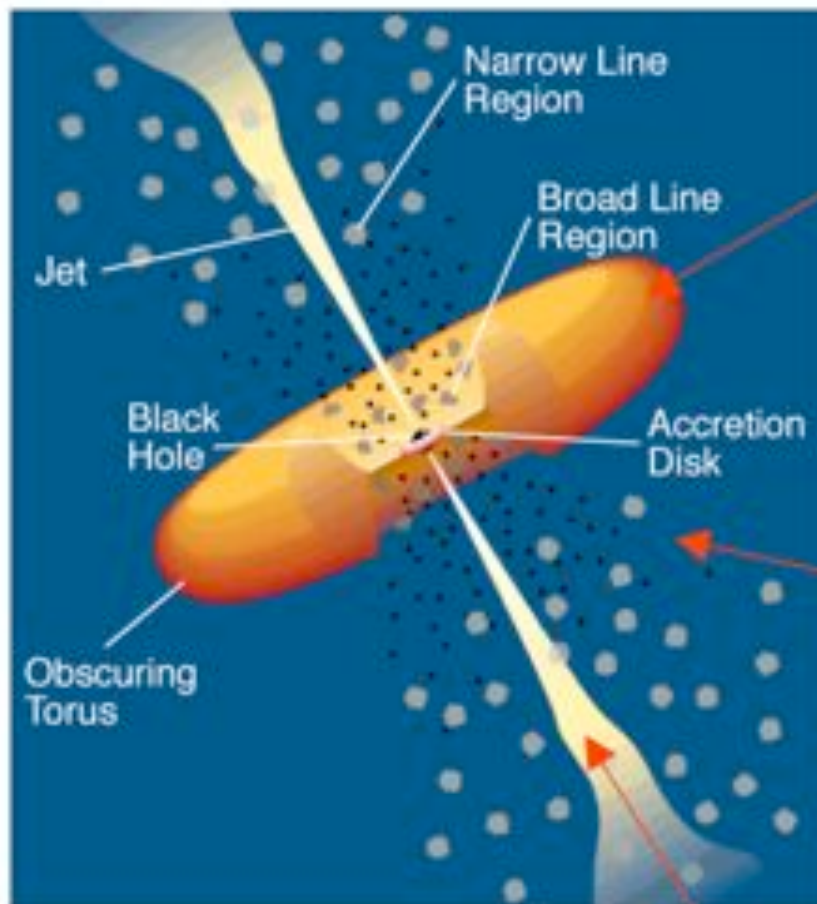


Agujero negro	0.2 a.u.
Disco de acrecimiento	10 - 200 a.l.
Región líneas anchas	0.02 - 0.2 a.l.
Radio interior del toroide	0.1 a.l.
Región líneas estrechas	1 - 100 a.l.
Chorros	0.1 a.l. - 1 A

La orientación del eje principal del AGN con respecto al observador es un aspecto clave de este modelo.

Modelo unificado

Algunos núcleos activos tienen emisión radio, otros no.



No vemos líneas anchas (gran rango de movimientos)

Vemos líneas anchas y estrechas

Vemos líneas anchas y estrechas, Domina el núcleo y chorro

Esquemas de unificación

Vemos objetos nucleares:

- Cuásar
- Radiocuásar

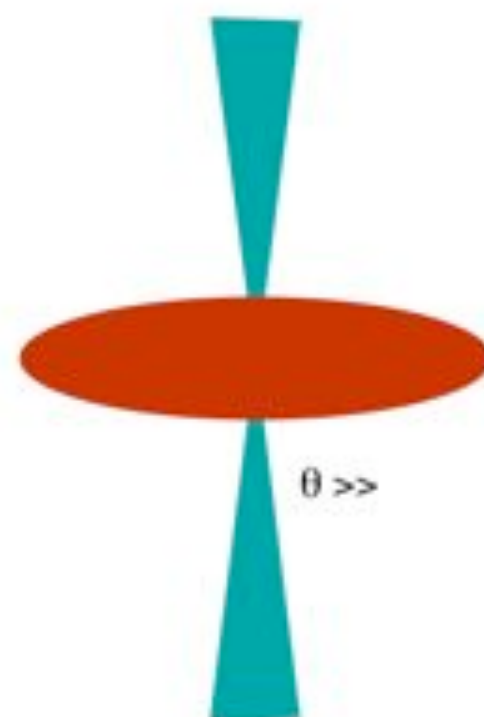
y
Seyfert 2



- Espectro de líneas anchas
- Emisión dominado por el núcleo
- Emisión sincrotrón reforzada del chorro hacia el observador
- Chorros unidireccionales
- Variabilidad

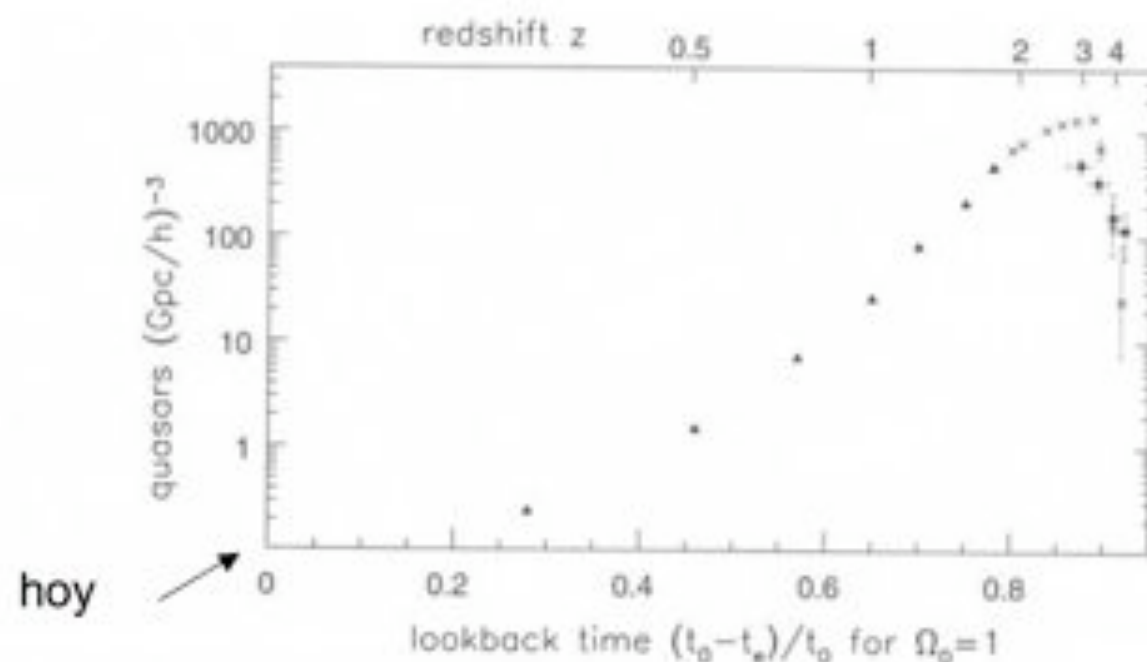
Vemos radiogalaxias con chorros

y
Seyfert 1



- Ausencia de líneas anchas
- Emisión sincrotrón más débil
- Chorros simétricos
- Variabilidad débil

Abundancia de cuasares en el pasado \rightarrow mucho más abundantes que hoy



Hoy:
 ≈ 1 cuasar en
 1Gpc^3
(donde hay
unos 10^6
galaxias
similares a la
Vía Láctea)

Figure 8.13 Comoving density of bright quasars: the number in a region that will expand to a cube of side h^{-1} Gpc at the present day, assuming $\Omega_0 = 1$ and $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. Different symbols show results from three surveys, of objects with slightly different characteristics; vertical and horizontal bars represent estimated errors – P. Hewitt.

¿Adonde han ido todos los cuasares?

- Quizás muchas galaxias han tenido una fase de AGN, posiblemente causado por la tasa más alta de interacciones a alto z .
- Después el AGN se ha "apagado".
- Si eso es correcto deberíamos de ver un agujero negro supermasivo en muchas galaxias.
- Hay indicios que eso es correcto en algunas galaxias

¿Porqué se ha apagado el AGN?

- No puede ser por falta de combustible global ya que necesita muy poco
- Pero no es fácil para la materia de caerse al agujero negro, porque necesita perder momentum angular. Eso solo es posible en el disco de acreción, directamente rodeando el AGN.
- Posiblemente el AGN ha "limpiado" su cercanía, y ya no hay material que se puede caer dentro
- Pero: el AGN se puede "despertar", por ejemplo debido a una fusión de galaxias: Un ejemplo puede ser Centaurus A

Resumen de galaxias con núcleo activo (AGN)

- Propiedades destacadas:
 - Altas luminosidades desde una zona pequeña
 - Líneas de emisión anchas
 - Variabilidad temporal
 - Algunos tienen emisión fuerte en radio con chorros (entonces se llaman radiogalaxias)
- Hay un modelo unificado que puede explicar:
 - Qué tipo de líneas vemos (líneas más estrechas o más anchas)
 - Si predomina la emisión del núcleo o no
- Lo que no sabemos todavía completamente:
 - ¿Por qué algunos AGN tienen emisión en radio importante y otros no?
 - ¿Qué determina si un AGN es potente o débil?
 - ¿Qué provoca la actividad nuclear en una galaxia?
 - ¿Por qué hay tantas diferencias en la forma y el tamaño de los chorros en radio?