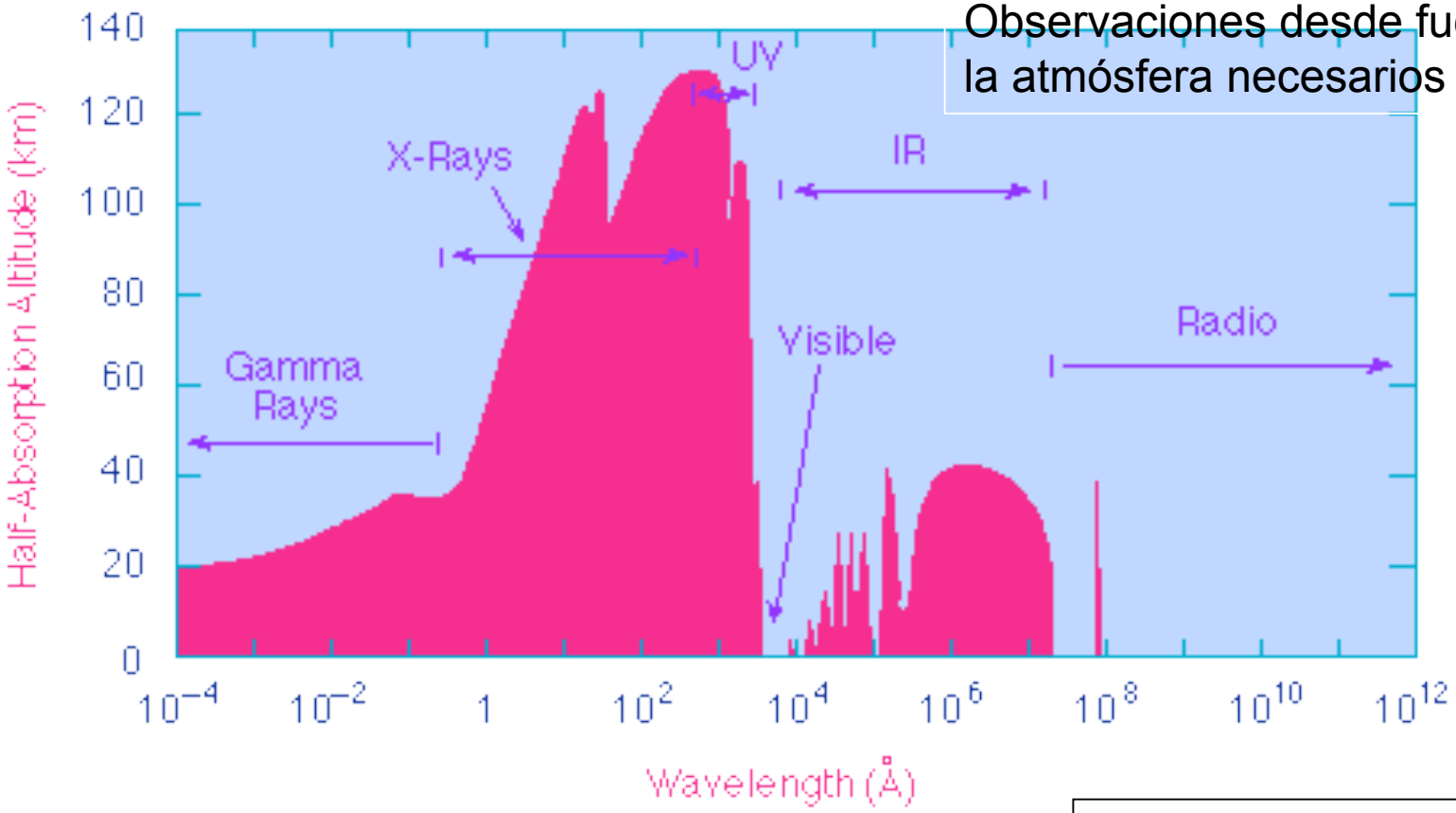
Astronomía de altas energías: rayos x, rayos gamma y rayos cósmicos

Observaciones desde fuera de la atmósfera necesarios

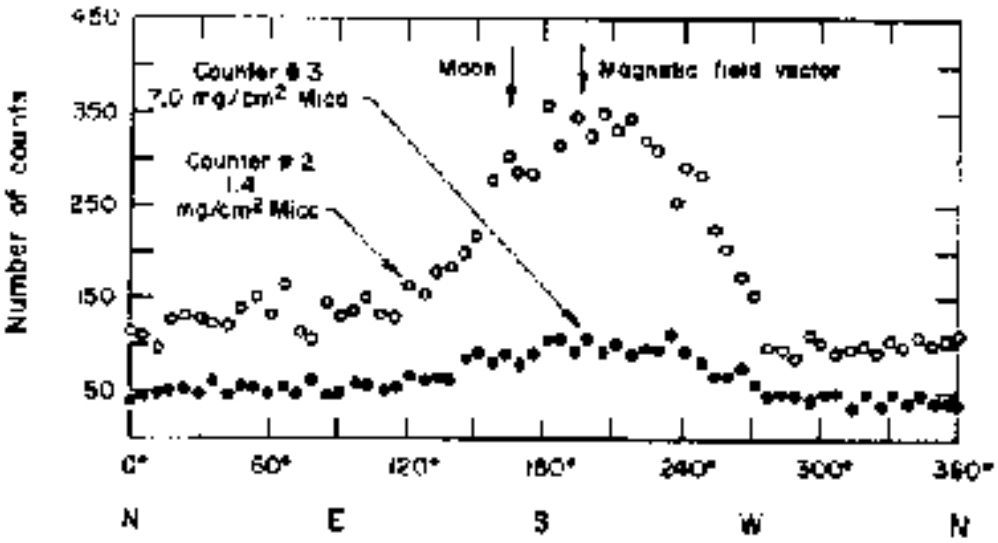


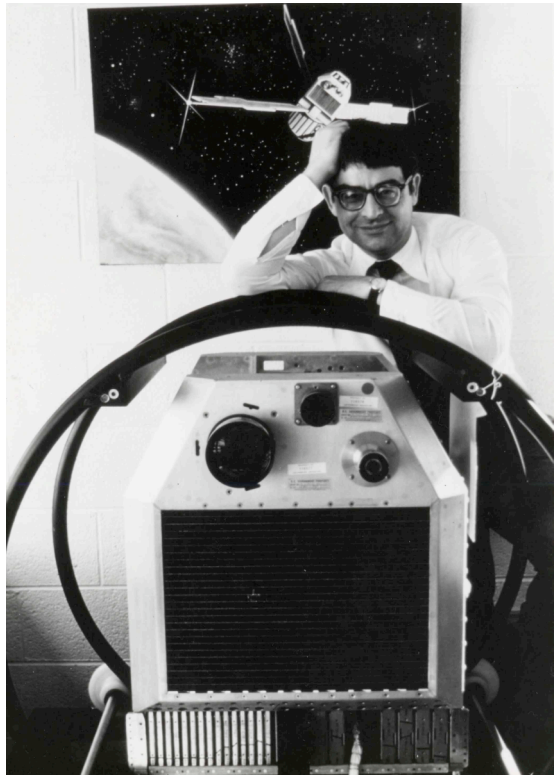
Energía para ionizar H: 13 eV
Energía para crea pareja e^-e^+: 2x511 keV

Rayos γ : $\lambda < 10^{-12}$m E > varios 100 keV
Rayos x : $10^{-12} < \lambda <$ varios 10^{-8}m E:(0.1-varios 100) keV

Historia: rayos x

- Inicio: 18 de Julio 1962:
- Descubrimiento de SCO X-1 (primera fuente de rayos x en la constellación Scorpio) con experimento de cohete elaborado por Riccardo Giacconi (premio Nobel 2002 por su trabajo en rayos x)





Riccardo Giacconi con el satélite UHURU

Detección de Sco x-1
(estrella binaria de rayos x)

Historia: rayos x

- A partir de 1962s: cohetes y satélites de observación solar (Orbiting Solar Observatory)
  - → Demostraron que hay fuentes de rayos x
  - → Descubrieron emisión de rayos x del Sol, Vía Lactéa, remanente de supernova "Nebulosa de Cangrejo", galaxia de radio M87, fuentes estelares.
- 1970: Satelite UHURU:
  - Barrido de todo el cielo: aclaraba lo que eran diferente objetos con emisión x
  - Observaba regularmente fuentes variables de rayos x
    - → estrellas binarias de rayos x contienen pulsares – o agujeros negros?
  - → Emisión de rayos x de núcleos de galaxias activas
  - → Emisión de gas caliente en cúmulos de galaxies
- 1978: Observatorio de rayos x "Einstein"
  - Primeras imágenes de alta resolución
  - Barridos profundos de algunas zonas del cielo
  - → Detección de rayos x de galaxias normales y de todos tipos de estrellas

Historia de rayos x

- 1990-1999: Rosat (Röntgen Satellite)(Alemania, UK, EEUU)
  - Barrido del cielo y observaciones dedicadas → 150000 fuentes
  - Sensibilidad 1000 veces mayor que UHURU
  - Podía hacer imágenes
- 1999: Chandra x-ray laboratory (nombre en honor de Chandrasekhar) (NASA)
  - 0.1-10 keV
  - Resolución espacial: <1"
- 1999: XMM-Newton (ESA)
  - Alta sensibilidad (> 3 veces Chandra) → bueno para espectroscopía
  - Observaciones simultaneas de rayos x y óptico
  - Resolución espacial en rayos x: 6"

Historia de rayos γ

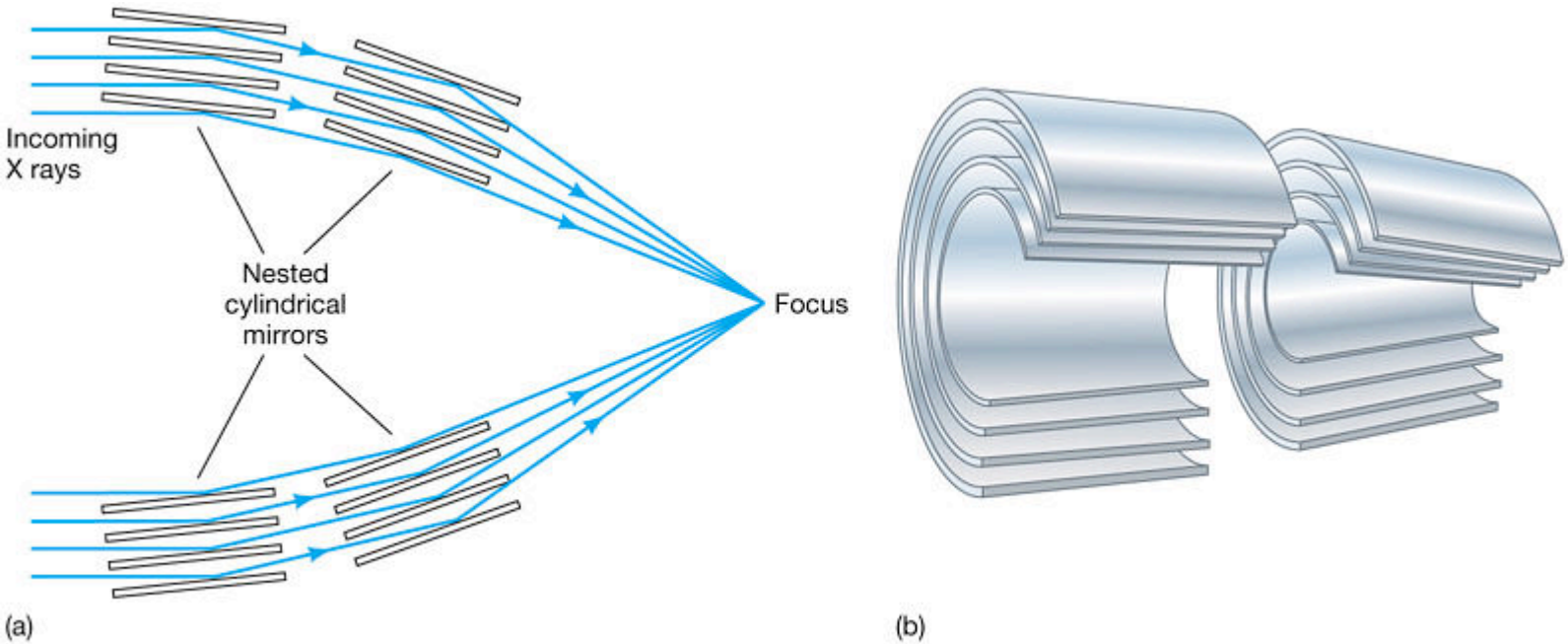
- 1967: OSO III (Orbiting Solar Observatory)
  - detectó emisión de la Vía Láctea
- 1972: SAS-2 (Small Astronomy Satellite 2):
  - Determinó la componente en rayos gama de la emisión difusa celeste
  - Relación entre emisión de rayos gama y estructura galáctica
- 1975: COS-B:
  - Mapa de la emisión de la Vía Láctea en rayos gama
  - Descubrió unos 25 fuentes de rayos gama (pulsares en remanentes de supernova de Cangrejo y Vela, y cuasar 3C 273)
- 1991 – 2000: Compton Gamma Ray Observatory (CGRO)
  - Primer gran telescopio de rayos γ
  - Estudio fenómeno de estallidos de rayos γ: tienen distribución isótropo
  - Núcleos de galaxias activos son fuentes de los rayos cósmicos más energéticos

Historia de rayos γ

- 1996: Beppo Sax (Italia, Países Bajos)
- Resolución angular de 5'
  - Mejor identificación espacial de estallidos de rayos gamma
  - Primer observación de emisión siguiente al estallido de rayos gamma ("afterglow") en rayos x
- 2002: Integral (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory) (ESA)
  - Puede hacer observaciones simultaneos de rayos γ, x y ópticos
  - Resolución espacial entre 3' y 12'

Telescopios de rayos X

- Se usan detectores parecidas a rayos γ para energías altas o telescopios parecido al óptico para energías bajas
- Pero: Reflexión solamente posible con ángulos pequeños



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Tecnología: rayos γ

- Espejo no son posible, radiación penetra material
- Se usan detectores de partículas (detectores de chispas, cameras de gas, contador de Geiger)
- Posible funcionamiento: producción de e^-e^+ y detección de estas partículas
- Generalmente baja resolución
  - Primer telescopio: unos 20 Grados,
  - Ahora: varios minutos de arco
  - Mejor resolución posible para altas energías: cuanto más alto, la dirección de e^-e^+ es parecida al del fotón γ incidente

Tecnología: rayos γ de muy alta energía

- Observable de la tierra: Cadena de partículas secundarias producidas

H.E.S.S: (High Energy Stereoscopic System)
(Hess: detectó en 1913 por primera vez rayos cósmicos)

- Detecto rayos γ de ~100 GeV
- 4 antenas de 13m diámetro
- Cada uno consiste de 380 partes
- Detectores de Cherenkov
- Situado en Namibia

Rayos Cósmicos
(partículas cargadas - e, p, nuclei - energéticas)

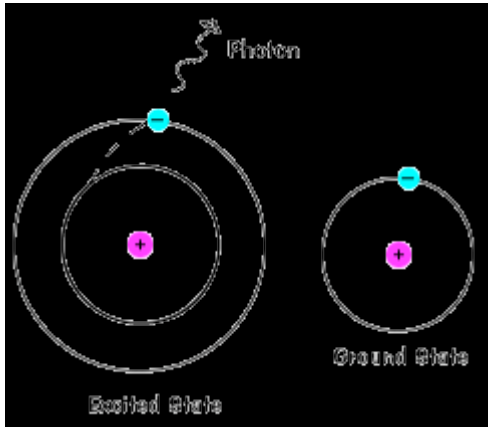
- 1913 Victor Hess descubrió que llegaban partículas energéticos a la atmósfera

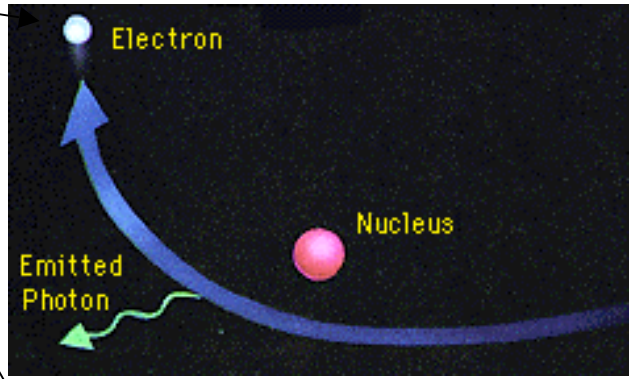
Rayos Cósmicos

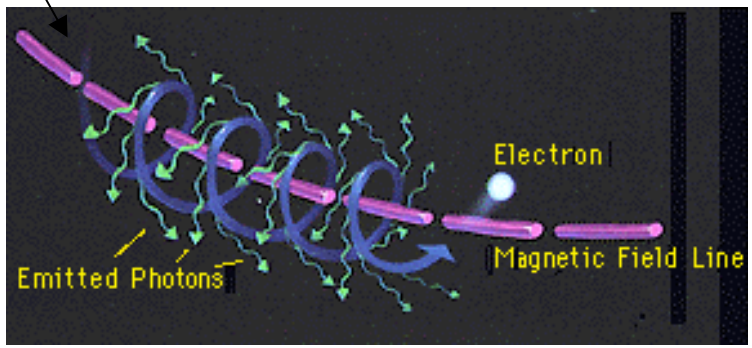
- 1930s: Walter Baade y Fritz Zwicky especulaban que podrían estar acelerado en explosiones de SN (todavía no tenían fundamentos para esta hipótesis). Hoy sabemos que es correcto
- En general, tienen que llegar a la tierra para medirlos
- Pero emisión radio y gamma nos da información a más distancia.
- Emisión radio es emisión sincrotrón de los electrones de los Rayos Cósmicos en un campo magnético
- Rayos gamma: Rayos cósmicos (p y nuclei) chocando con el gas frío del medio interestelar → rayos γ (y más partículas)

Ciencia: Procesos principales

1. Emisión de líneas atómicos
2. Emisión de electrones libres:
   - Emisión libre-libre (mismo proceso que en radio, pero má alta temperatura)
   - Emisión syncrotrón (mismo proceso que en radio, pero más alto campo magn.)
   - Efecto Compton: Scattering entre fotón de energía baja (pe. IR) y electrón energético (de rayos cósmicos) → electron pasa parte de su energía a fotón → produce fotones de rayos x y γ
3. Reacciones entre Rayos Cósmicos y medio interestelar







→ se ve el medio interestelar energético y caliente

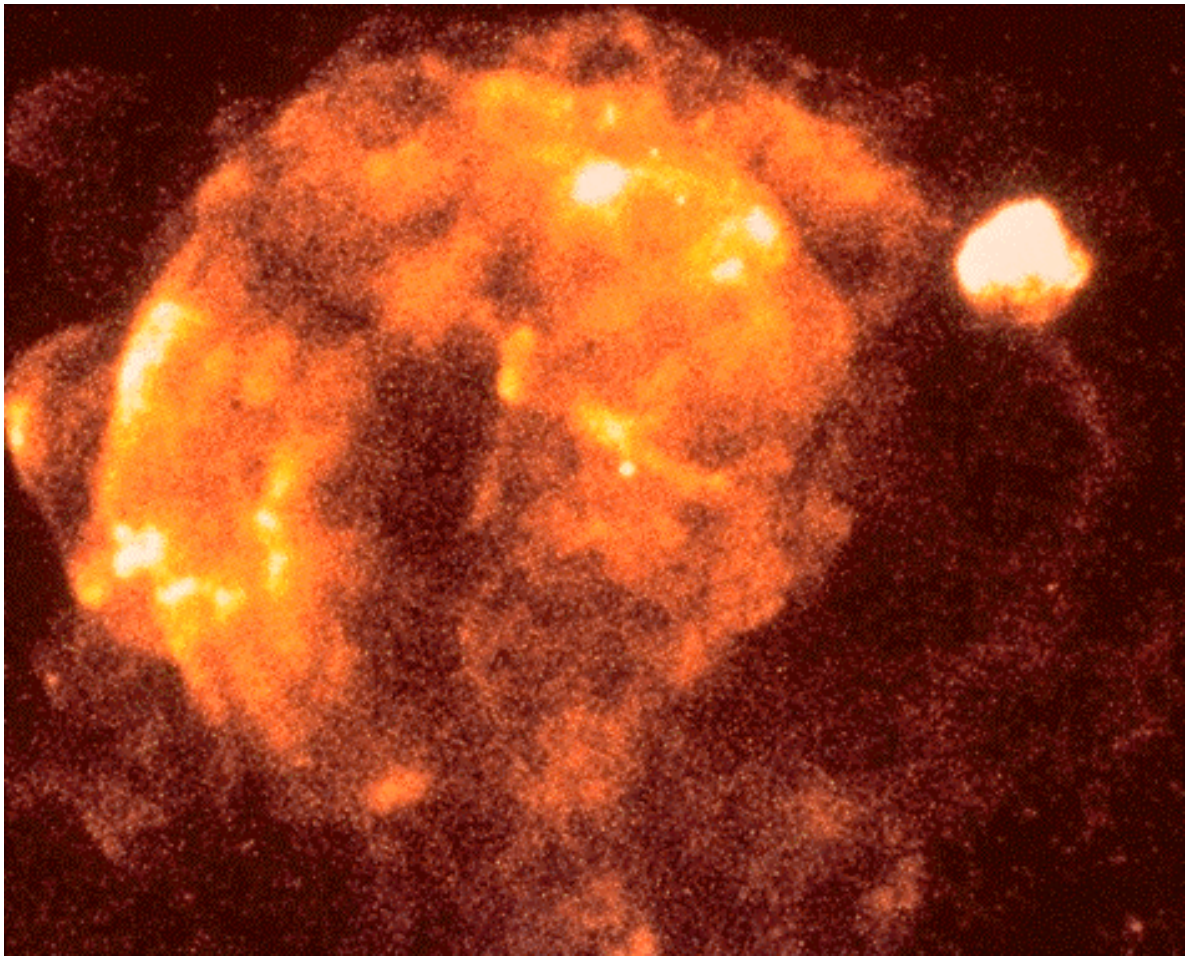
Ciencia: Objetos

Se ven procesos energéticos → universo caliente

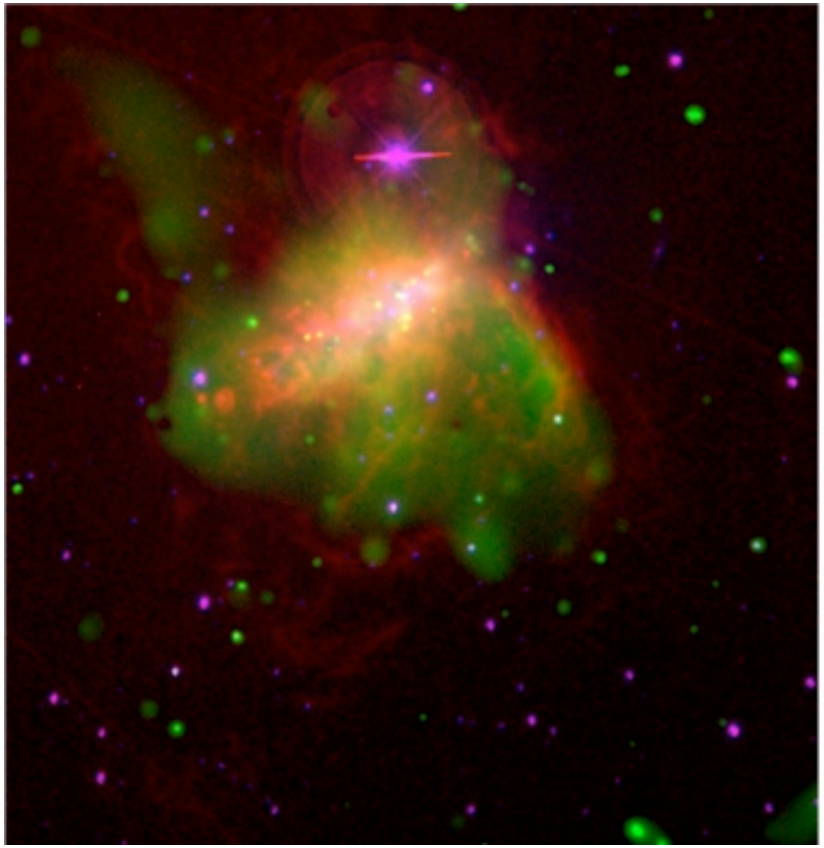
1. Gas caliente (milliones de grados)→ emisión free-free
   - Medio interestelar
   - Estrellas con corona caliente
   - Remanentes de Supernova
2. Discos de acreción
   - Procesos de acreción en agujeros negros
   - Estrellas binarios de rayos x
3. Rayos cósmicos
4. Estallidos de rayos gamma ("gamma ray burst")

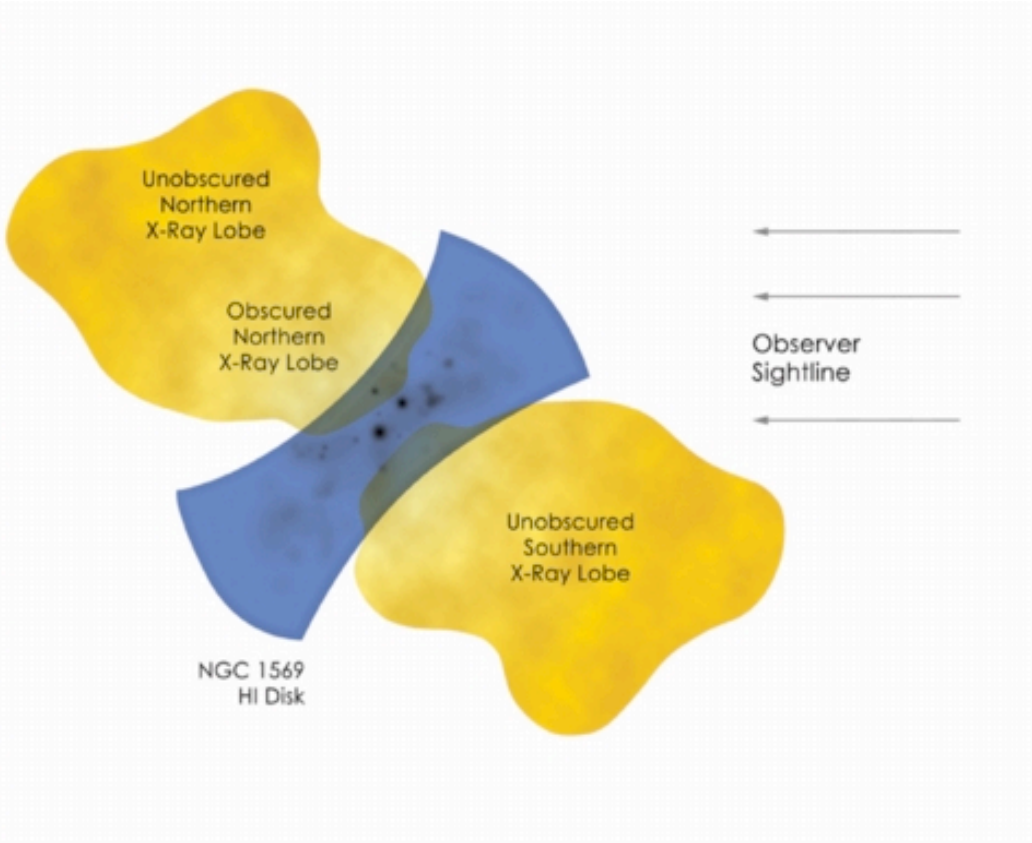
Fuentes puntuales

Gas caliente en remanentes de SN



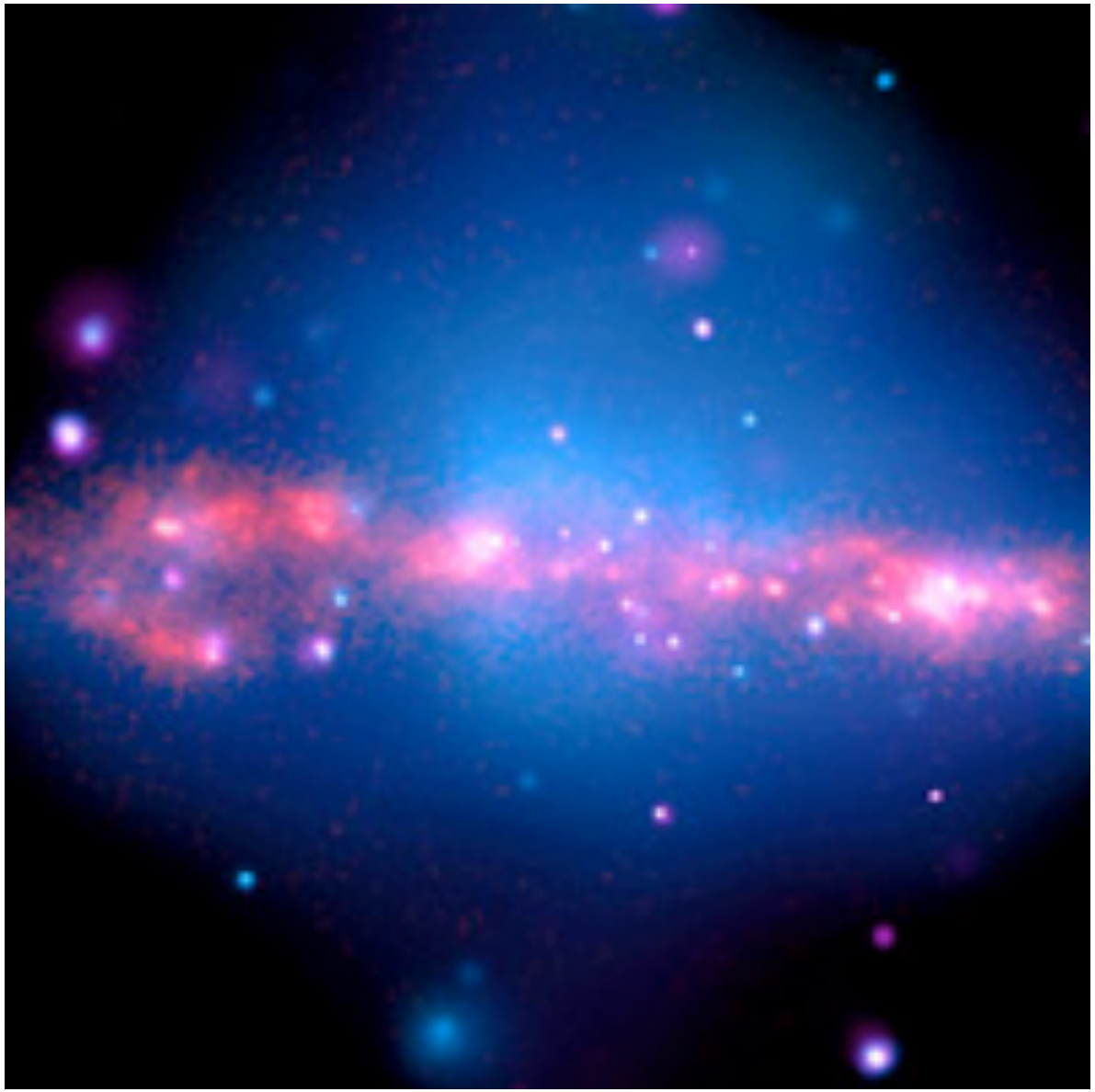
Remanente de
SN Vela





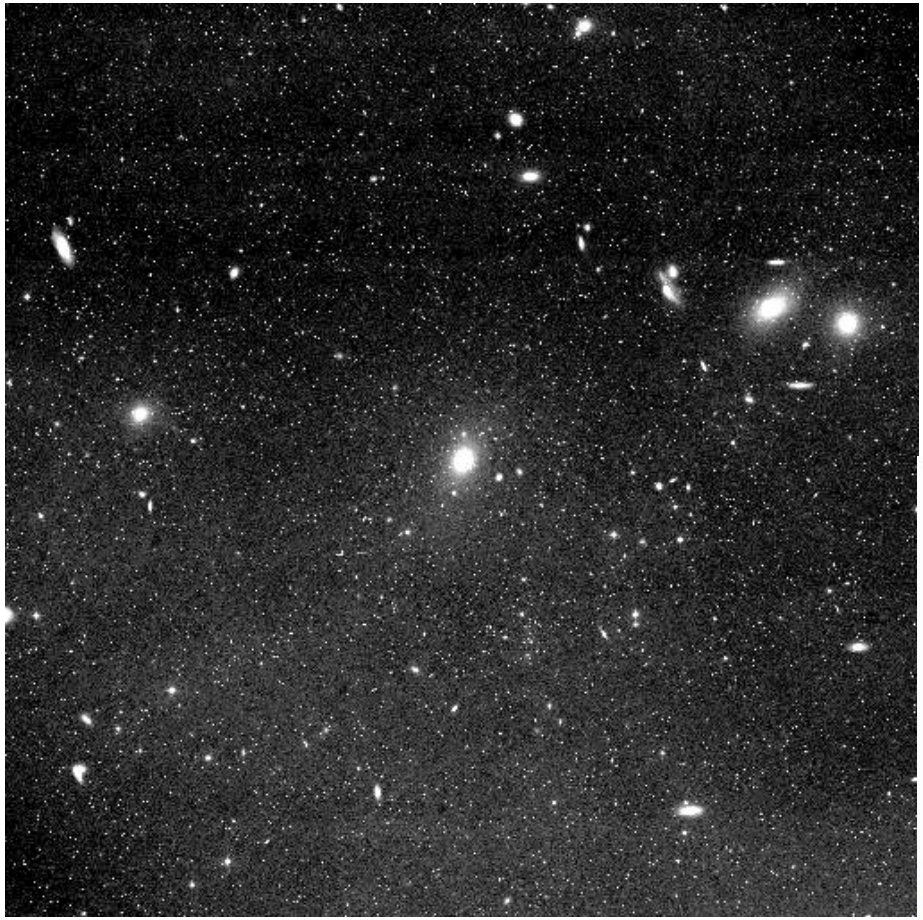
- Escape de gas caliente en galaxia enana NGC 1569 con brote de formación estelar
- Se ve emisión free-free de gas caliente
- Se detecta oxigeno en el gas caliente

→ Enriquecimiento del medio intergaláctico en metales

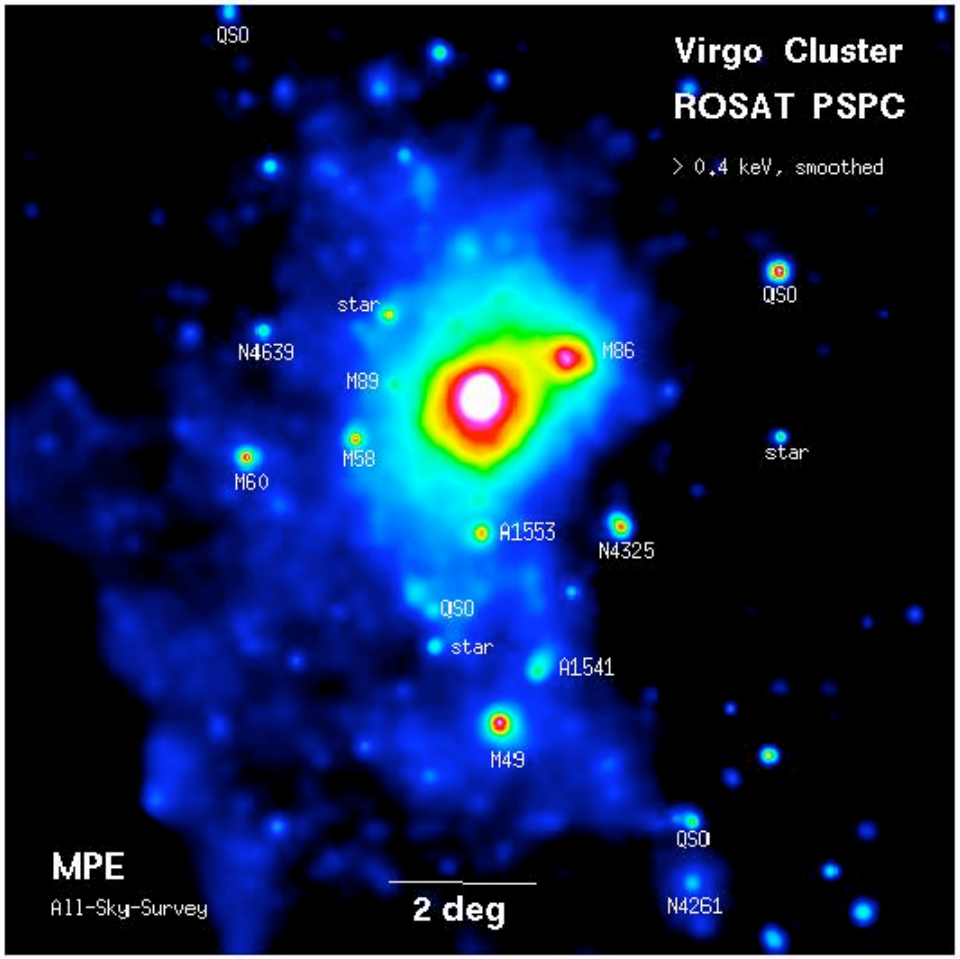


Halo de emisión de rayos x alrededor de NGC 4631 (galaxia similar a Vía Láctea)

→ Gas caliente se escapa de los discos



Cúmulo de Virgo en visible y en rayos X



- Se detecta gas caliente en cúmulos
- Permita derivar parámetros cosmológicos (p.e. fracción de materia oscura)

Estrella binaria con objeto compactos

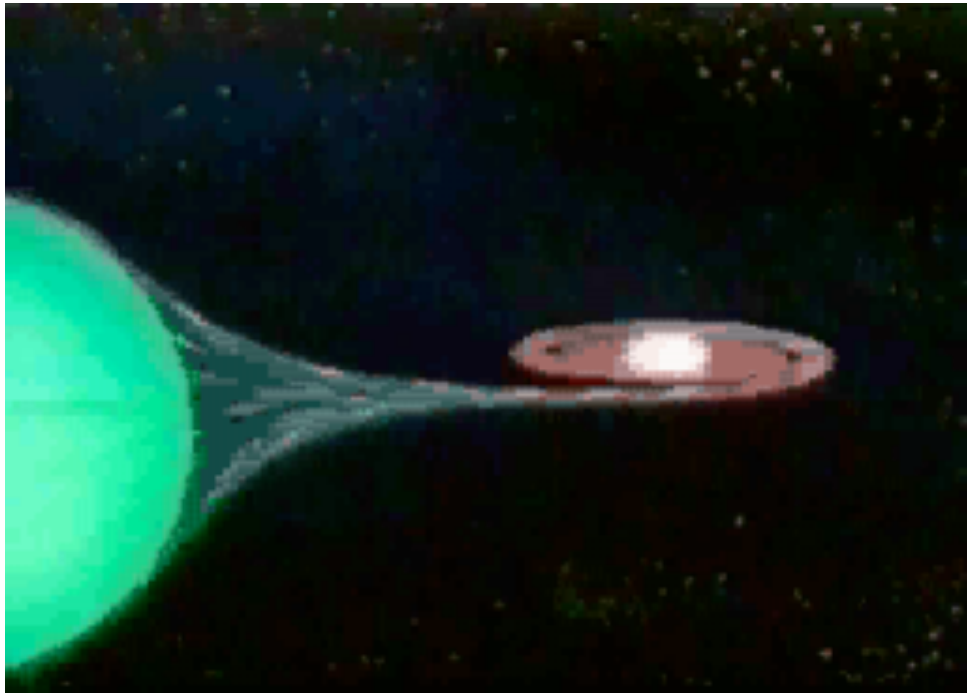
Dos efectos:

1. Eclipses periódicos (según el ángulo de visión) → variación periódica en el brillo
2. En fases tardías de la evolución de la estrella se pasa materia al compañero compacto debido a (i) la expansión de estrella o (ii) debido a un viento estelar

Estrellas binarias de rayos x:

Compañera es estrella de neutronos no visible en el óptico

- A veces es un radio pulsar
- Emisión de rayos x: gas caliente cayendo del disco de acreción a la estrella de neutrones
- Existen también "x-ray bursts": Reacción termonuclear desencadenada (como en las novas)



Estallidos de rayos γ (gamma-ray burst, GRB)

- Descubierto 1969 por casualidad en los datos del el satélite VELA, designado a supervisar el paro de pruebas núcleares
- Eventos son:
  - Aprox. 1 al día (en todo el universo)
  - Cortos (pico dura solo unos segundos)
  - Intenso: durante su máximo, fuentes son las más brillantes del cielo
  - Emisión se concentra sobre todo en rayos γ
- Objetos galácticos o extragálactico?
  - Problema: Baja resolución de observatorios gamma → no es posible hacer espectroscopía óptica debido a falta de posición precisa
- CGRO: demostró que distribución es homogéneo en el cielo
- Fuentes podrían ser:
  - Extragalácticos: entonces MUY energéticos
  - Galácticos: No asociado con el disco, sino, p.e. con cúmulos globulares

- Con Beppo-Sax (en 1997) se conseguió la primera imagen del "afterglow" – emisión después del estallido – en rayos x
- Con misiones subsecuentes fue posible determinar posición mejor
  - Observaciones en otros rangos (radio, visible, IR) son posibles
  - Observaciones de "afterglow" en más longitudes de ondas
  - Determinación de distancias con observaciones espectrales

→ Son objetos extragalácticos, algunos muy lejos

→ Son objectos muy luminosos

Hoy: Existen redes de vigilancia para avisar si hay un GRB y observarlo de inmediato

¿Qué son? Hay dos tipos:

Colapso de una estrella muy masiva

Fusión entre dos estrellas de neutrones o estrella neutron/agujero negro