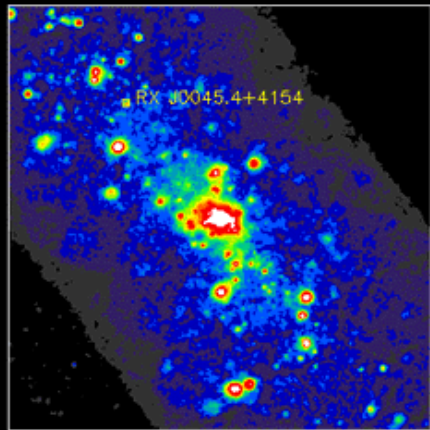


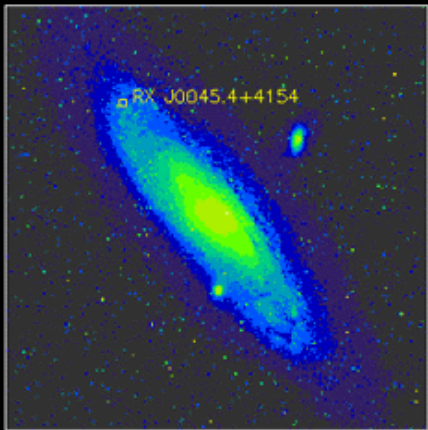


Tema 5: telescopios de altas energías

M31 ROSAT PSPC

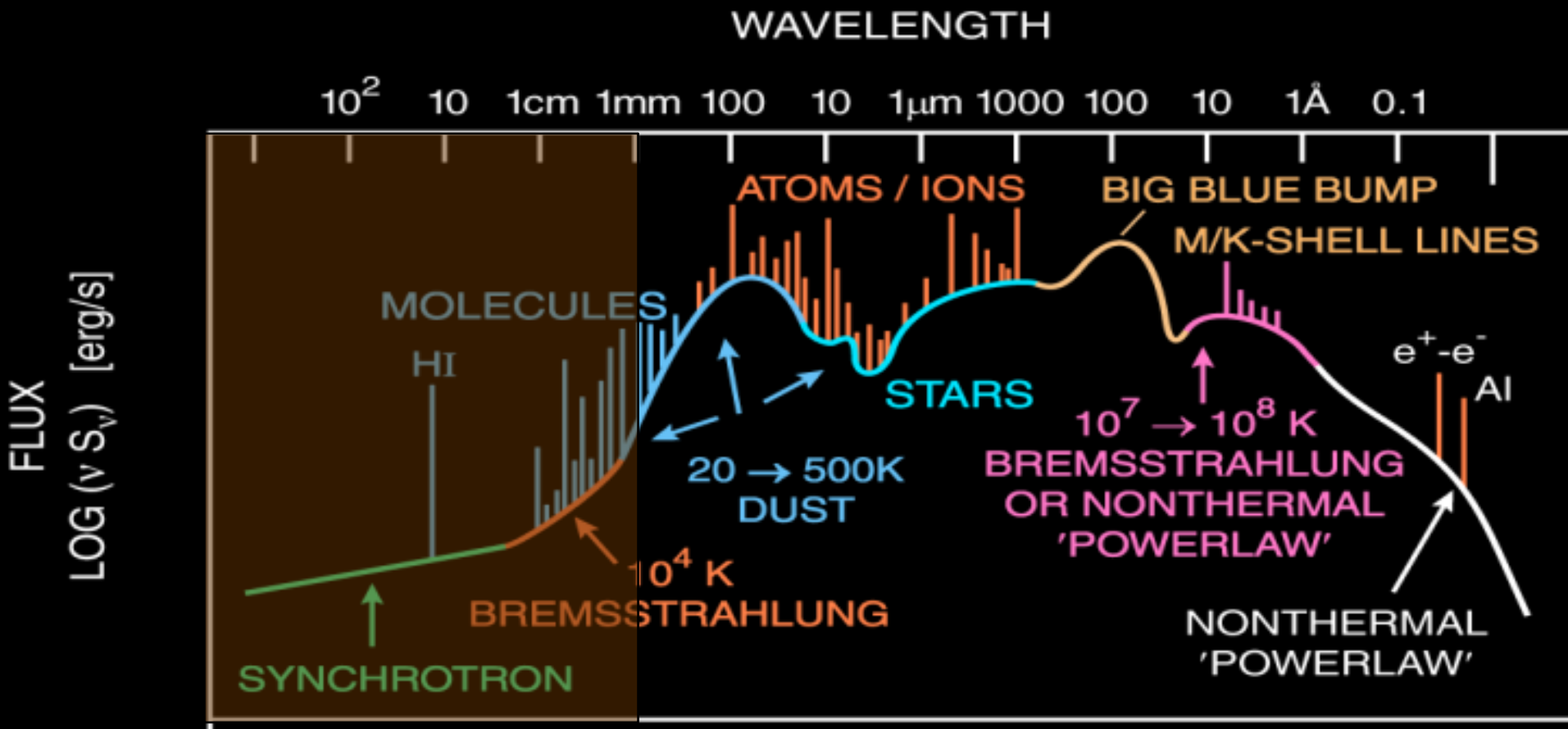


M31 Optical DSS Image





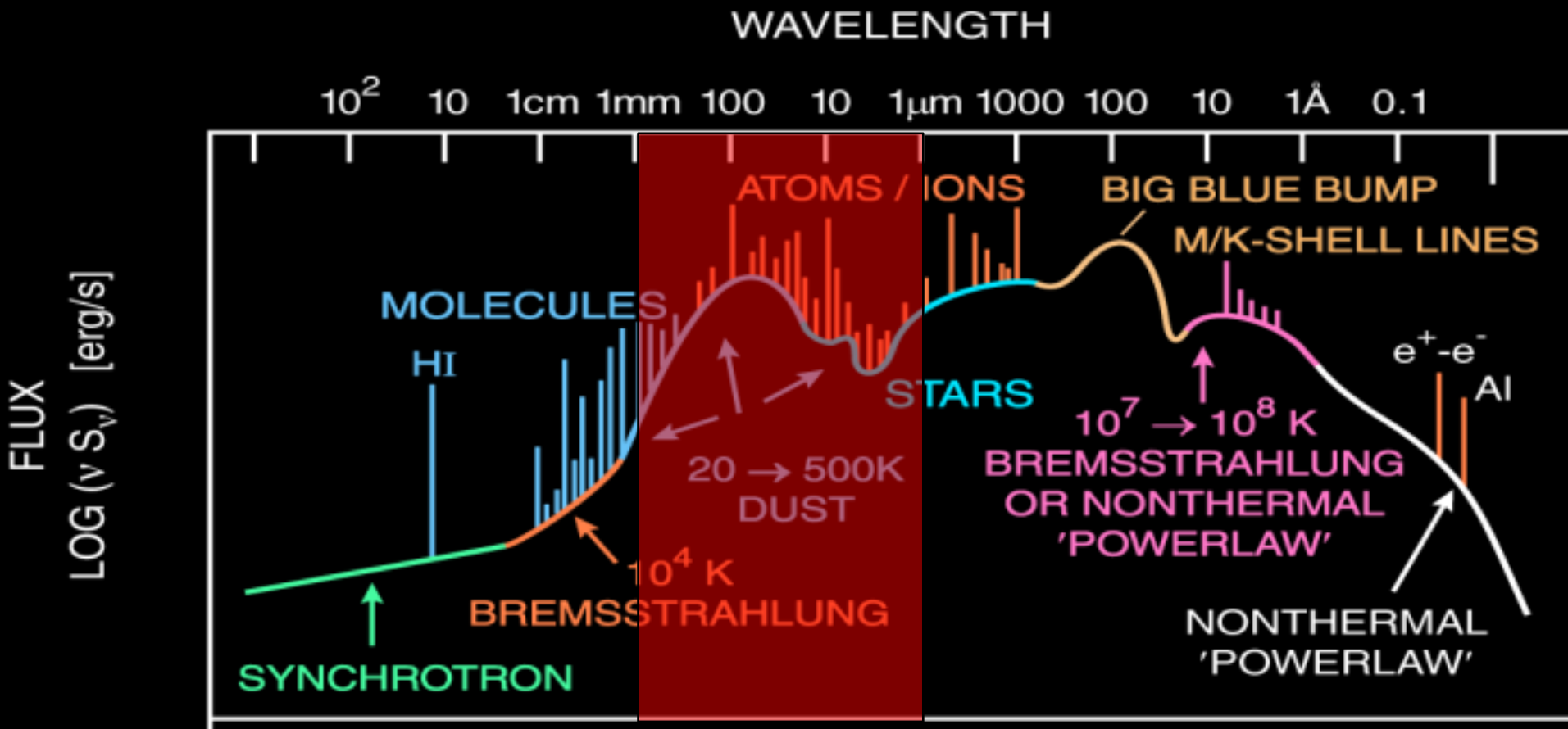
Introducción: el espectro electromagnético



Radio: Universo muy frío, <100 K;
gas, CMB,...



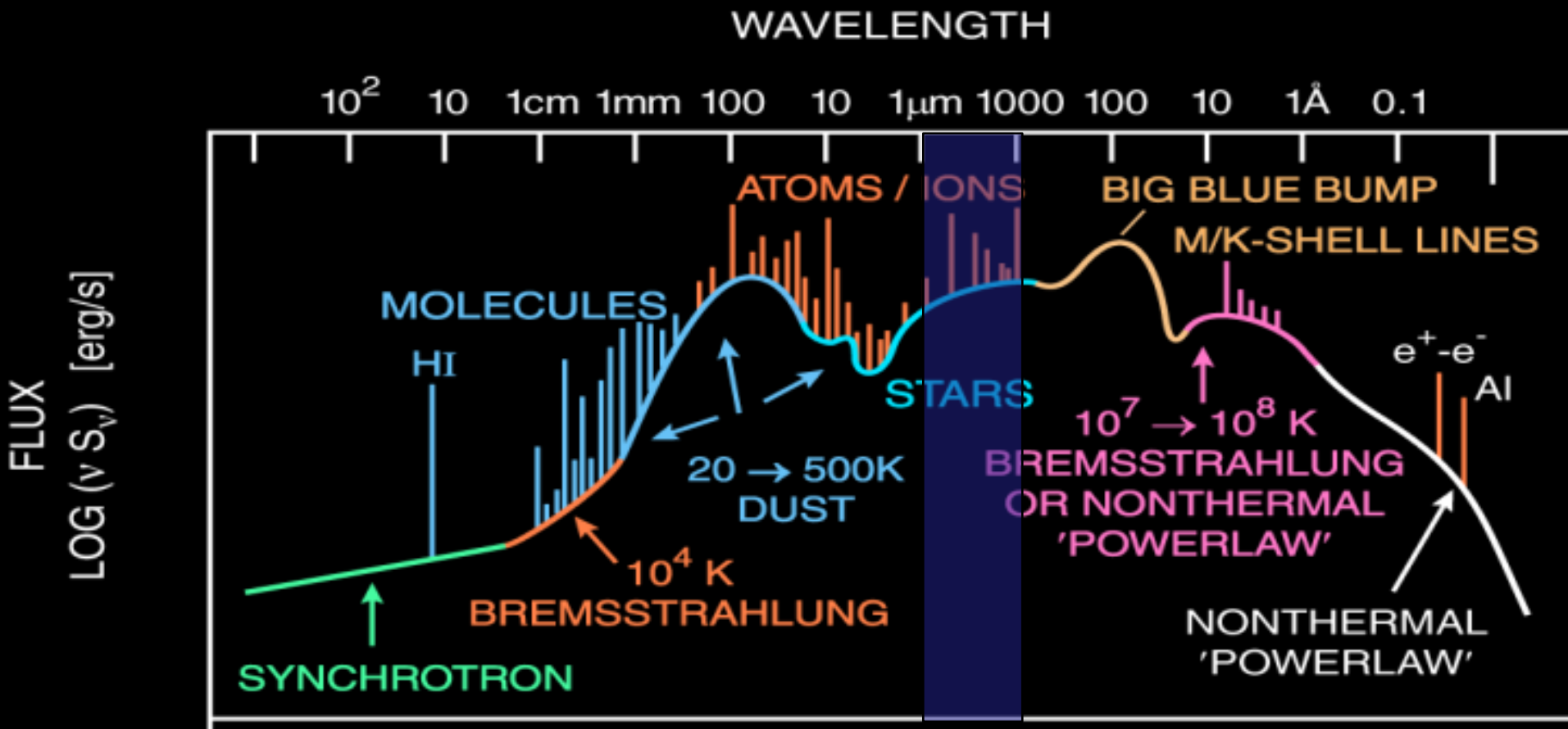
Introducción: el espectro electromagnético



Infrarrojo: Universo frío - templado, <1000 K;
polvo interestelar, protoestrellas, moléculas...



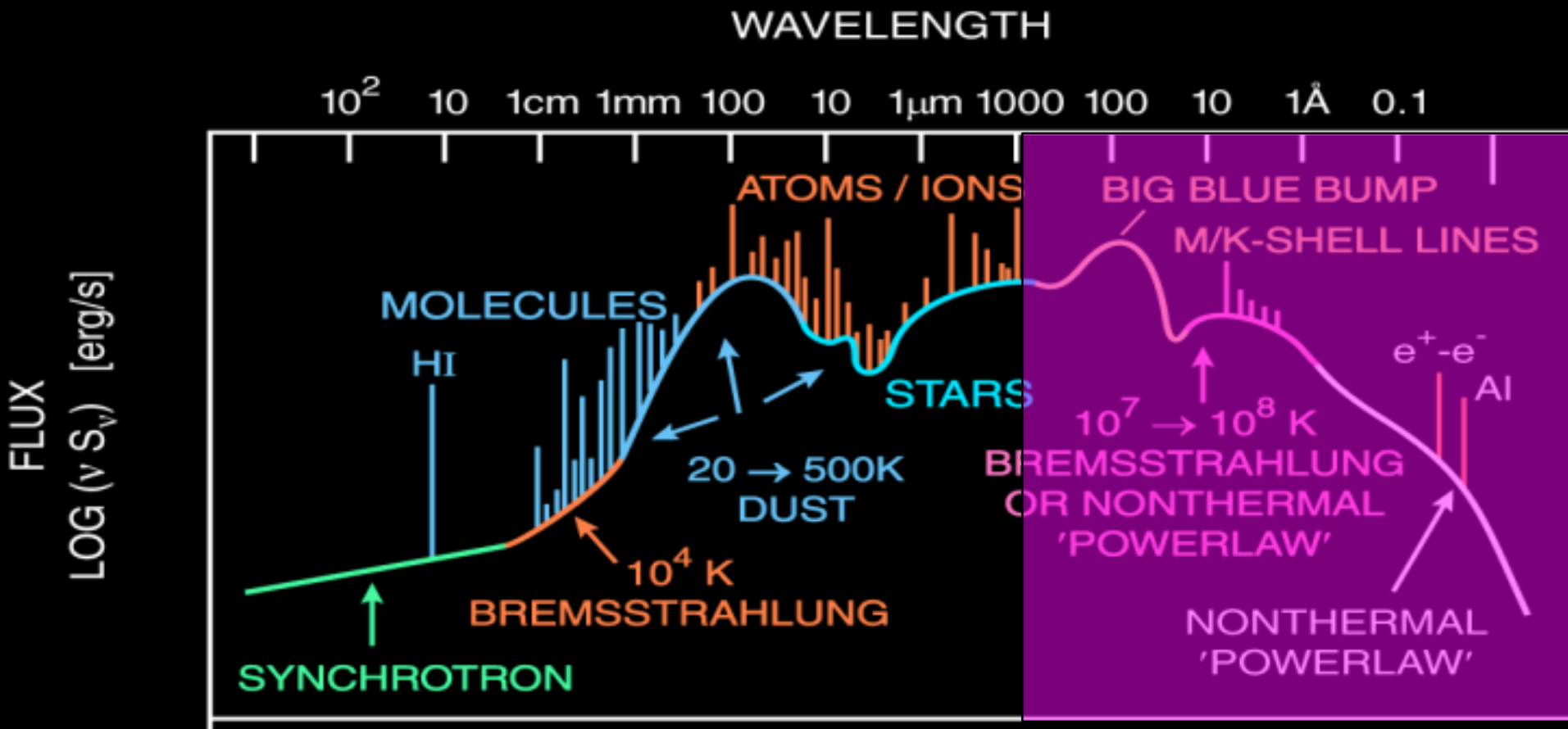
Introducción: el espectro electromagnético



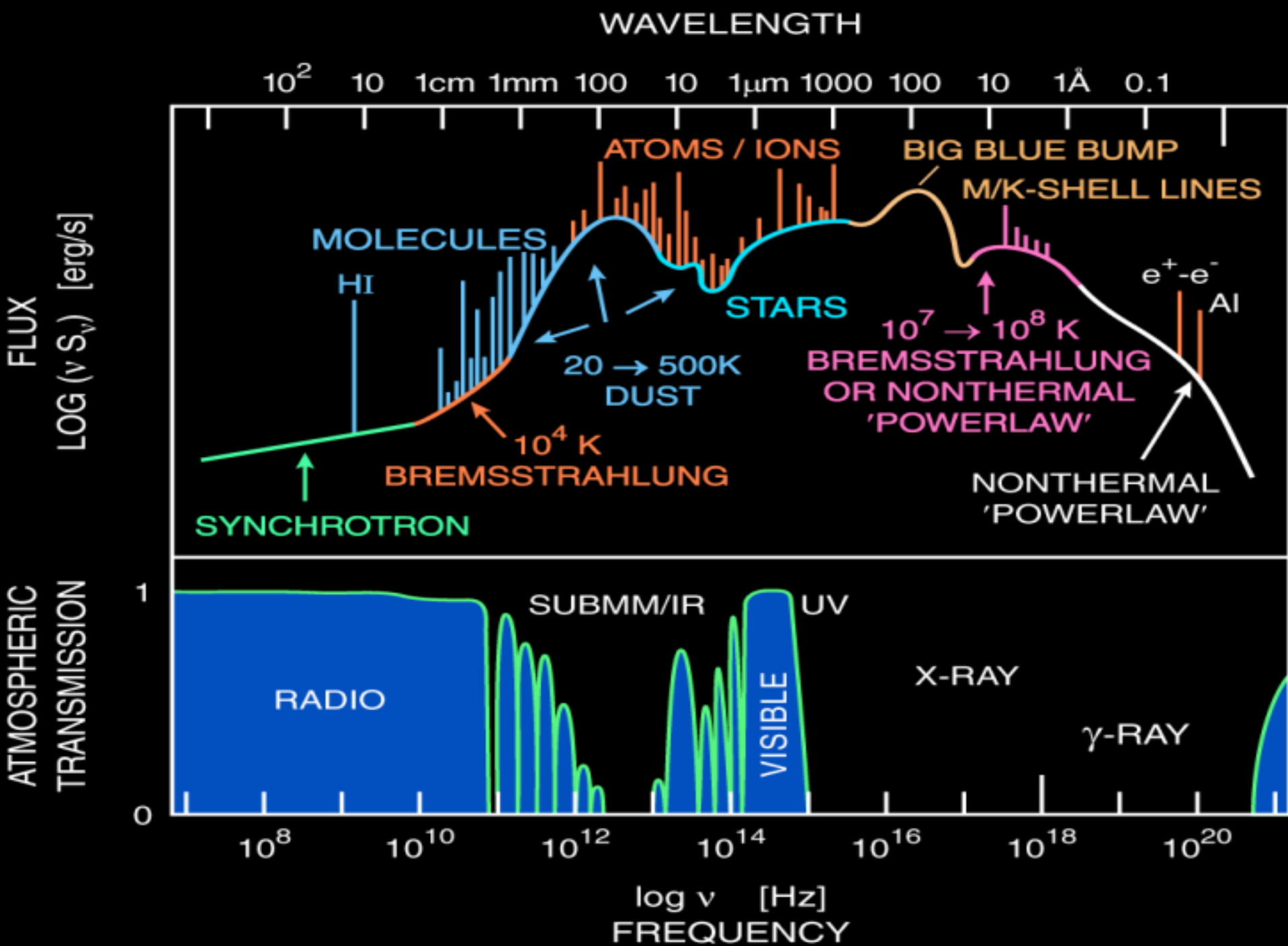
Óptico-UV: Universo caliente, 1.000 -100.000 K;
emisión estelar, transiciones atómicas,...



Introducción: el espectro electromagnético



Rayos X- γ : Universo extremo, $>10^6$ K; gas muy caliente, objetos super-compactos, discos de acreción, transiciones nucleares, aniquilación de materia-antimateria...



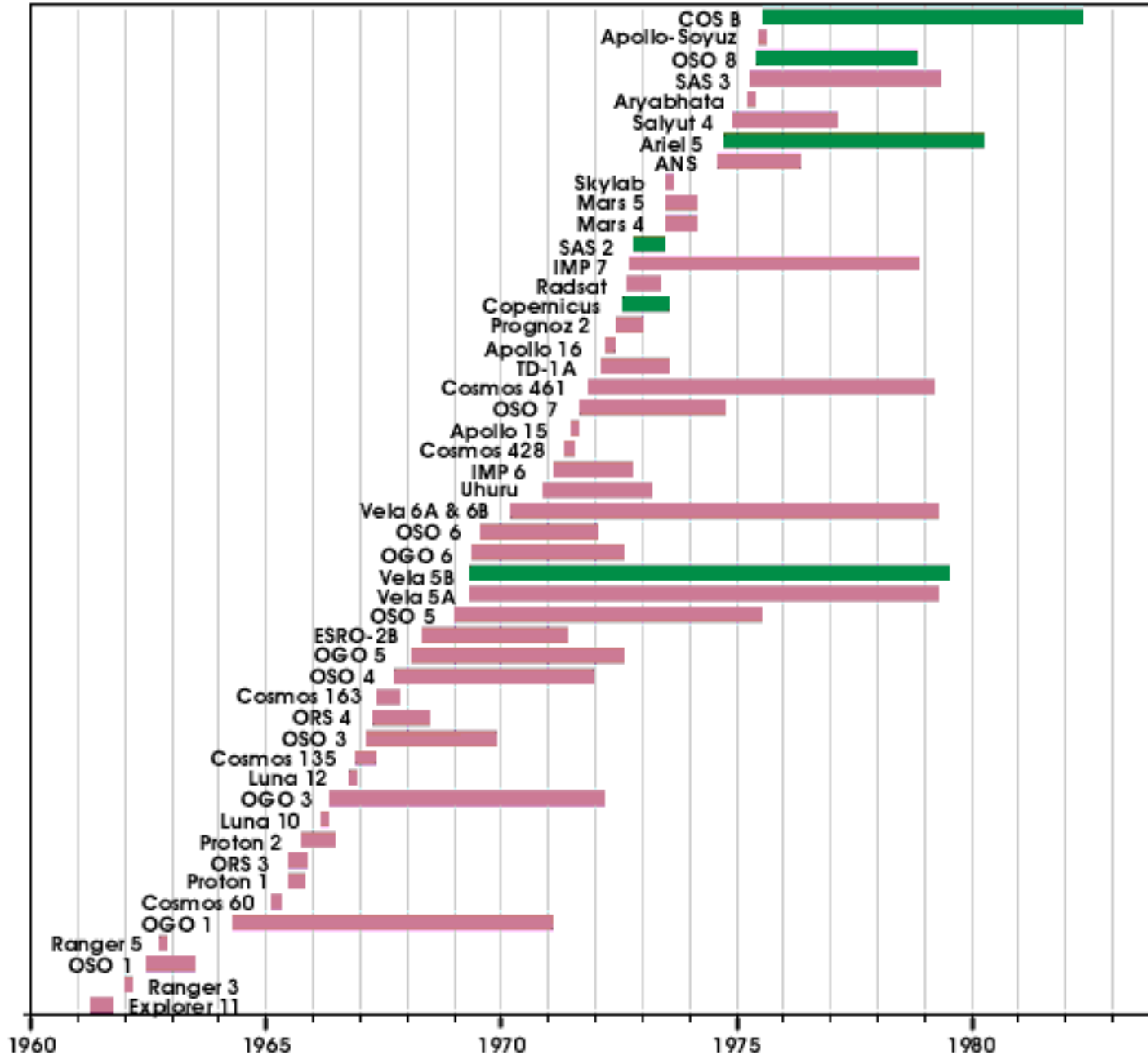


Un poco de historia

- Años 60: primeros detectores en el espacio.
- Años 70: misiones HEAO, Cos B,.... Observatorio Einstein.
- Años 80: misiones más sofisticadas, como EXOSAT.
- Años 90: auténticos observatorios orbitales, como ROSAT, CGRO, ASCA, BeppoSAX, Chandra, XMM-Newton, ...
- Siglo XXI: misiones más sofisticadas, como INTEGRAL, SWIFT, Suzako....

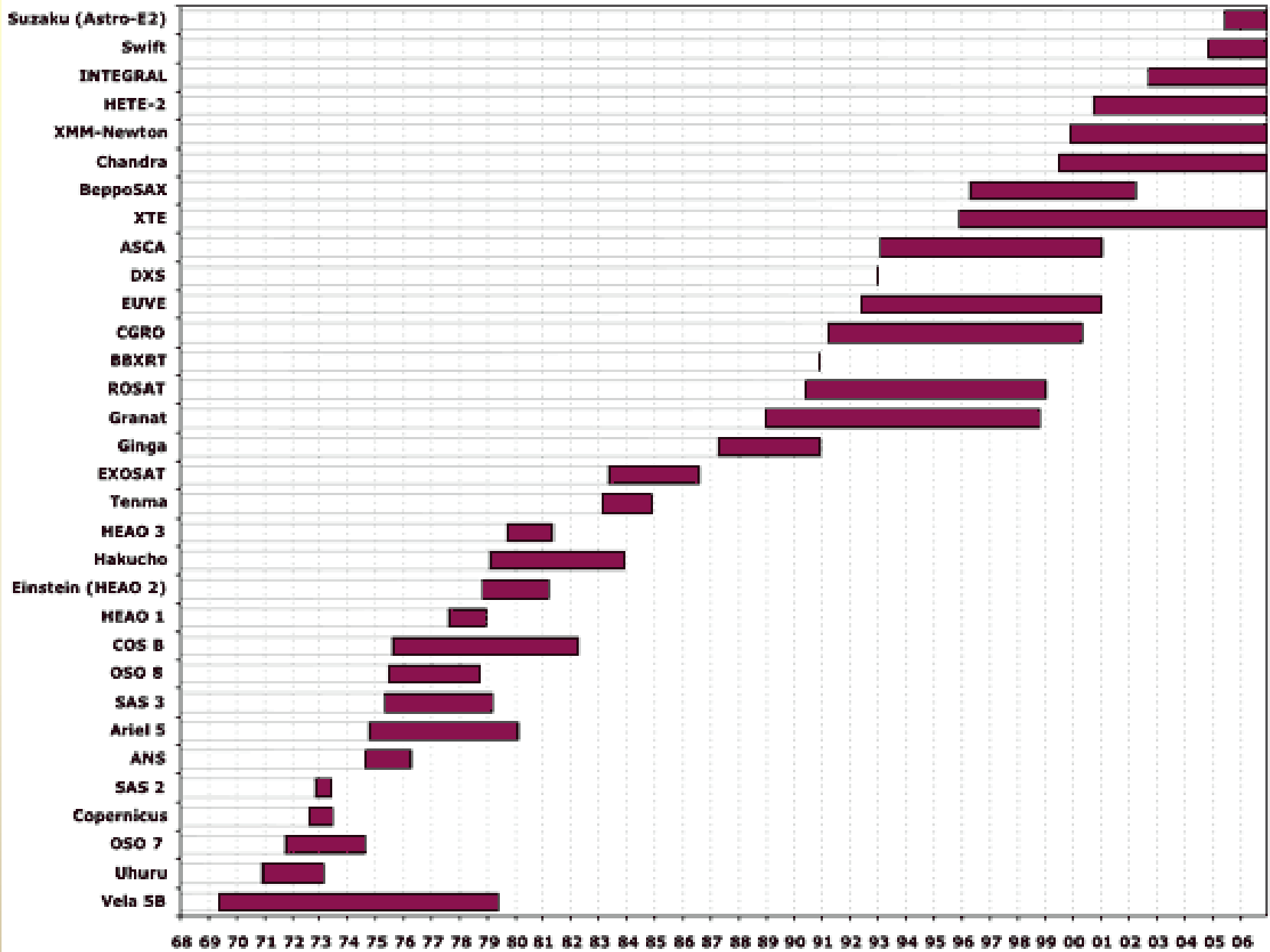


Un poco de historia (1960-1980)





Un poco de historia (1970-2010)





Un poco de historia

Año	No. Fuentes X	Basado en
1960	1 (Sol)	Desde 1948
1962	1+1 (Sco X-1)	Experimentos en cohete
1965	10	Experimentos en cohete
1970	60	Experimentos en cohete y globos
1974	160	3er Catálogo Uhuru
1980	680	Catálogo Amnuel et al. (1982)
1984	840	Catálogo HEAO A-1
1990	8,000	Catálogos de fuentes Einstein & EXOSAT
2000	220,000	Catálogos de fuentes ROSAT
2005	<1,000,000	XMM-Newton + Chandra
2010	~3,000,000	Previstos



Astronomía en el UV extremo

- EUUV (Extreme Ultraviolet) 10-100 nm (100 – 1000 Å)
 - ✓ Situado entre UV lejano y rayos X blandos.
 - ✓ Óptimo para estudiar:
 - Gas caliente 10^5 - 10^6 K
 - Características espectrales del HeI y HeII:
 - continuo de emisión
 - líneas de resonancia HeI ...504 Å, HeII ...228 Å, HeII 303.78 Å, OIII 303.62/303.80 Å
 - Características espectrales de elementos muy ionizados (FeXII...)



Astronomía en el UV extremo

- Extinción atmosférica
Fotoabsorción total por N_2 , O_2 y O

- Absorción del gas interestelar

$$\tau = \frac{1}{n_H \sigma}$$

Densidad H, cm^{-3}

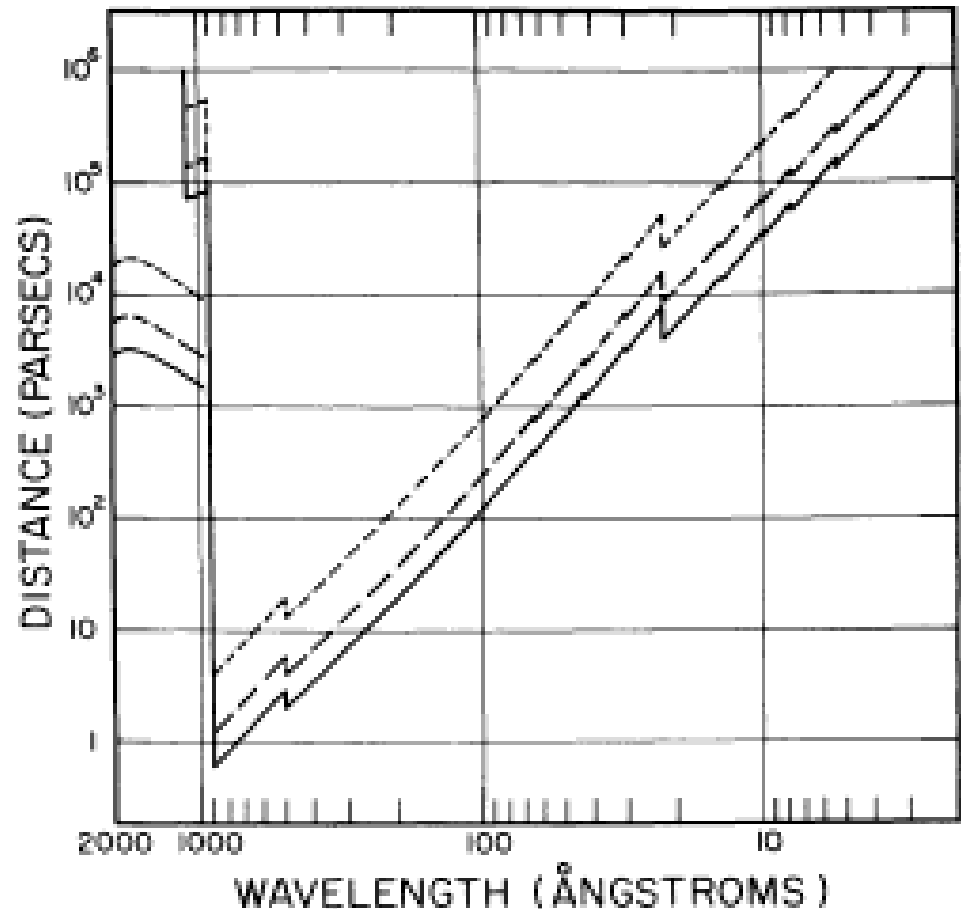
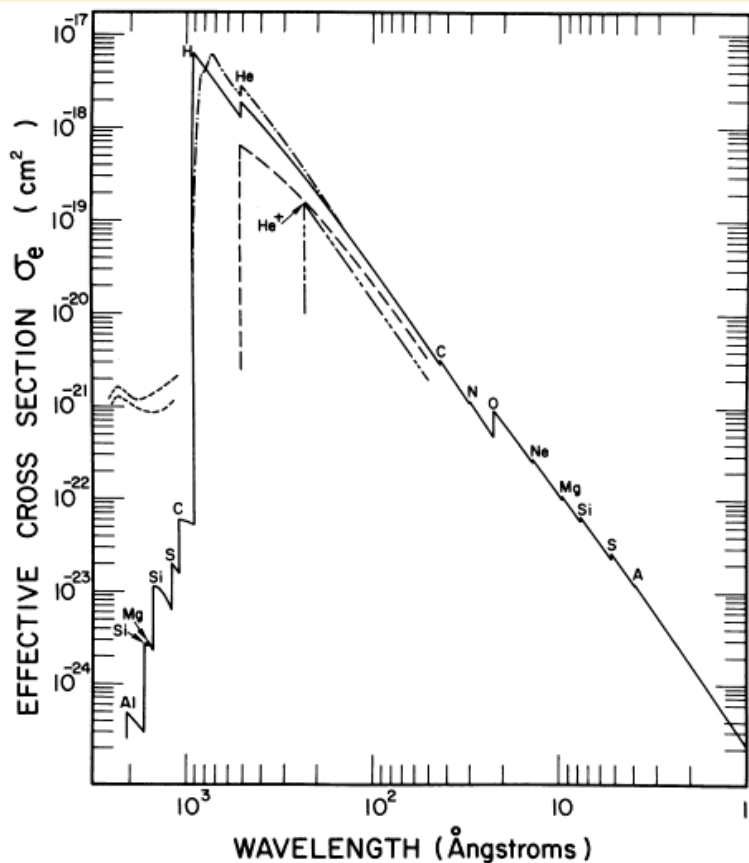
$n_H \sim 1 \text{ cm}^{-3}$

Sección eficaz del H

$\sigma \sim 10^{-18} \text{ cm}^2$

Recorrido libre medio, cm

$\tau \sim 0.4 \text{ pc}$





Astronomía en el UV extremo

Fuentes astronómicas:

- Recombinación de e^- en un plasma ópticamente delgado: ELs

Coronas activas

Vientos de estrellas masivas

Remanentes de SN

Cúmulos de galaxias

- Emisión térmica (plasma ópticamente grueso):

Cont + ELs

Enanas blancas

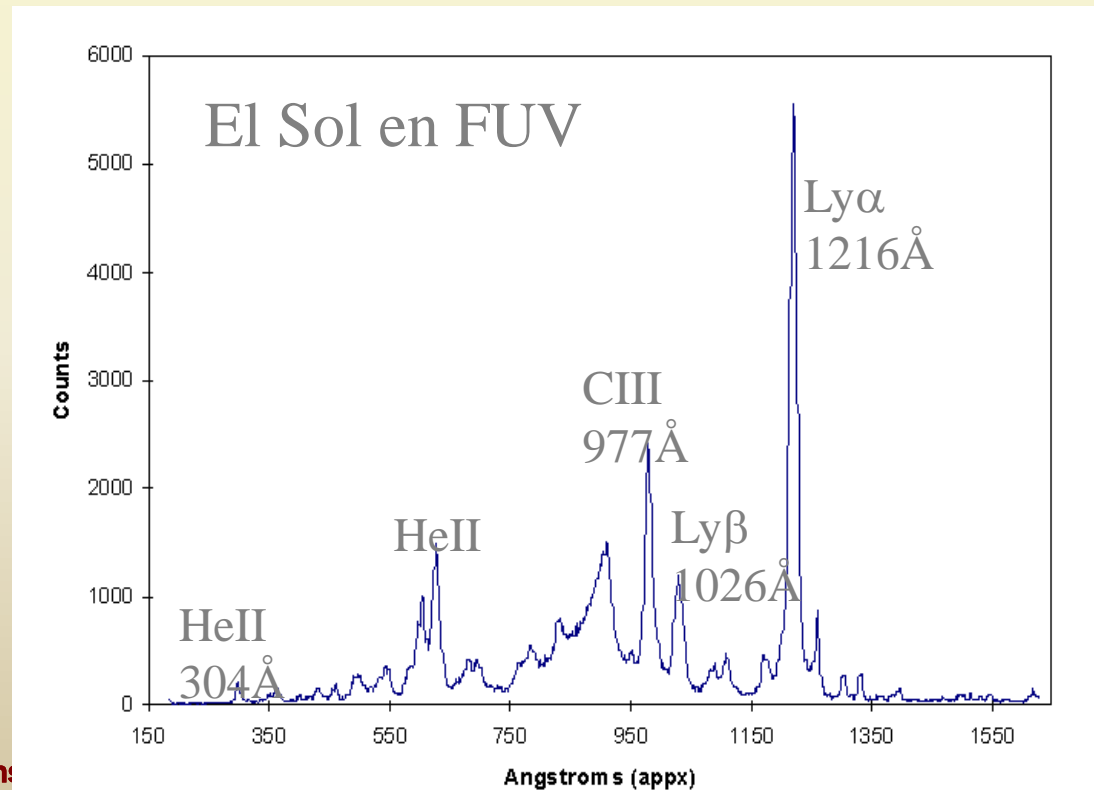
Estrellas de PNs

Estrellas de neutrones

Binarias cataclísmicas

Medio interestelar

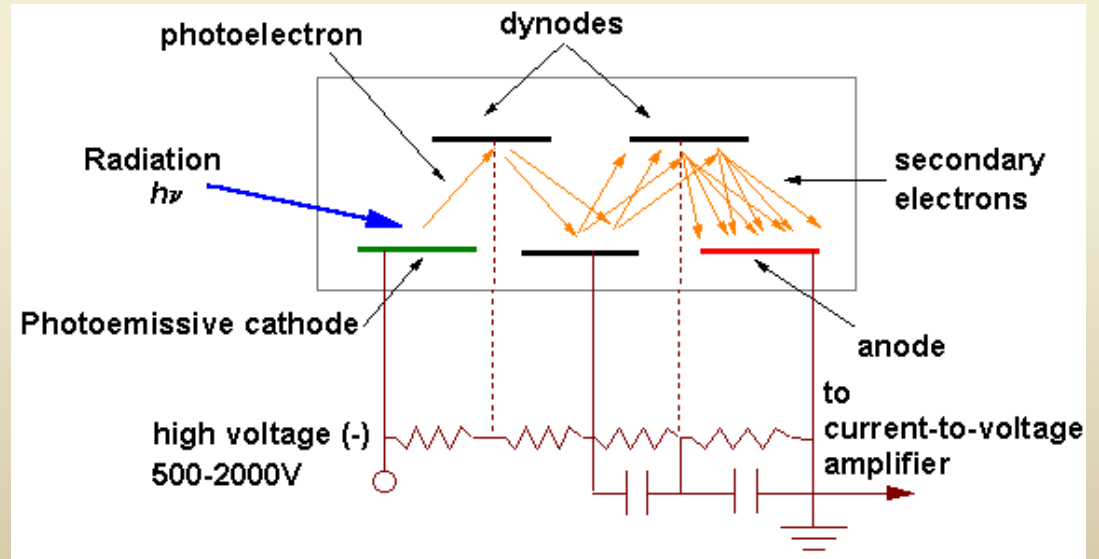
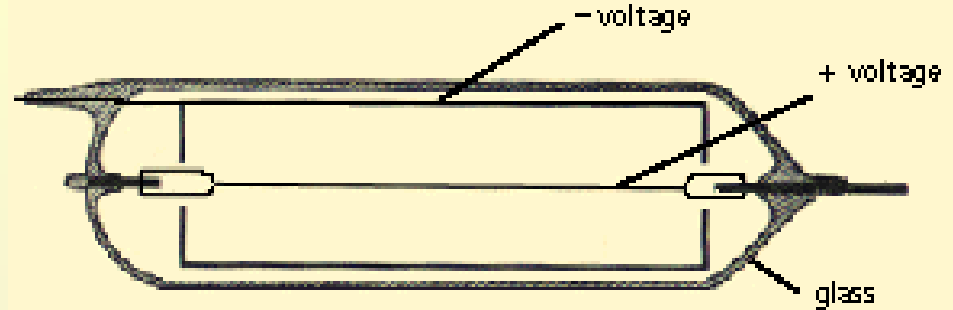
Fondo cósmico EUV





Detectores en el EUV

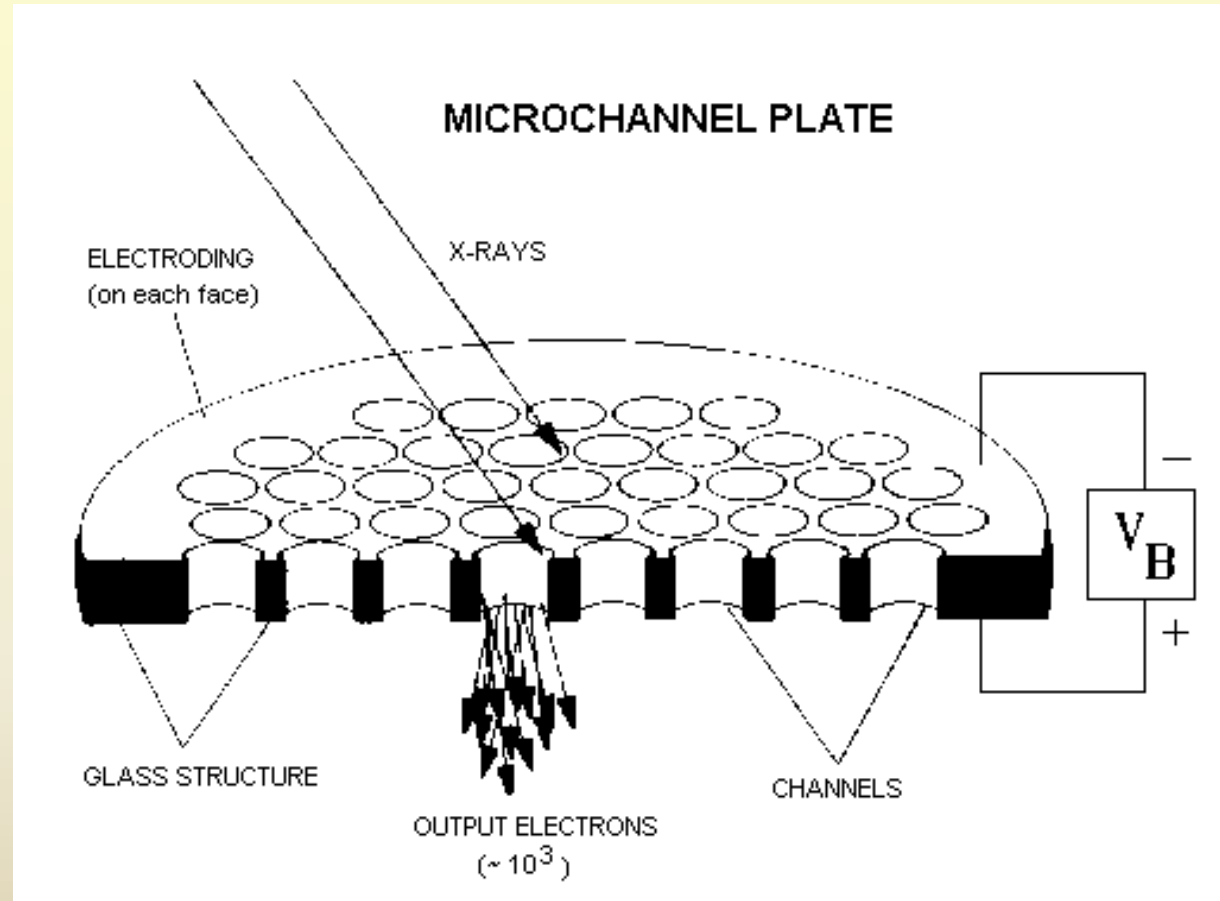
- Película fotográfica en órbita
- Contador proporcional (Geiger)
 - Tubo sellado con gas inerte
 - Cable central a alto voltaje
 - Fotón, e^- y cascada propor. E
- Fotomultiplicador
 - Tubo sellado con fotocátodo
 - Fotón, e^- y cascada





Detectores en el EUV

- Placas microcanal





Misiones en el EUV

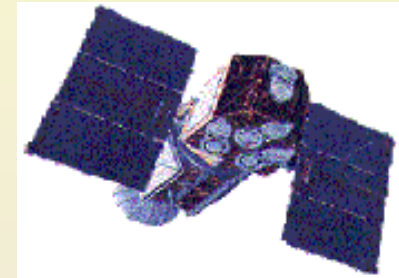
- XUVT X-ray/UV telescope. Volado en la misión Apollo-Soyuz 1975
"Colector de luz"
Espejos parabólicos concéntricos recubiertos de Oro
Fotomultiplicadores con 2.5° y 4.3° FOV
Rueda de filtros

- EUVE Satélite Extreme UV Explorer

1992- 2001, NASA

Placas microcanales

70 - 760Å, All-sky survey (801 objetos) y observaciones dedicadas



- ROSAT **R**öntgens**at**ellit, 83cm Rayos X y EUV

1990-1999, Alemania/USA/UK

Primer All-sky survey

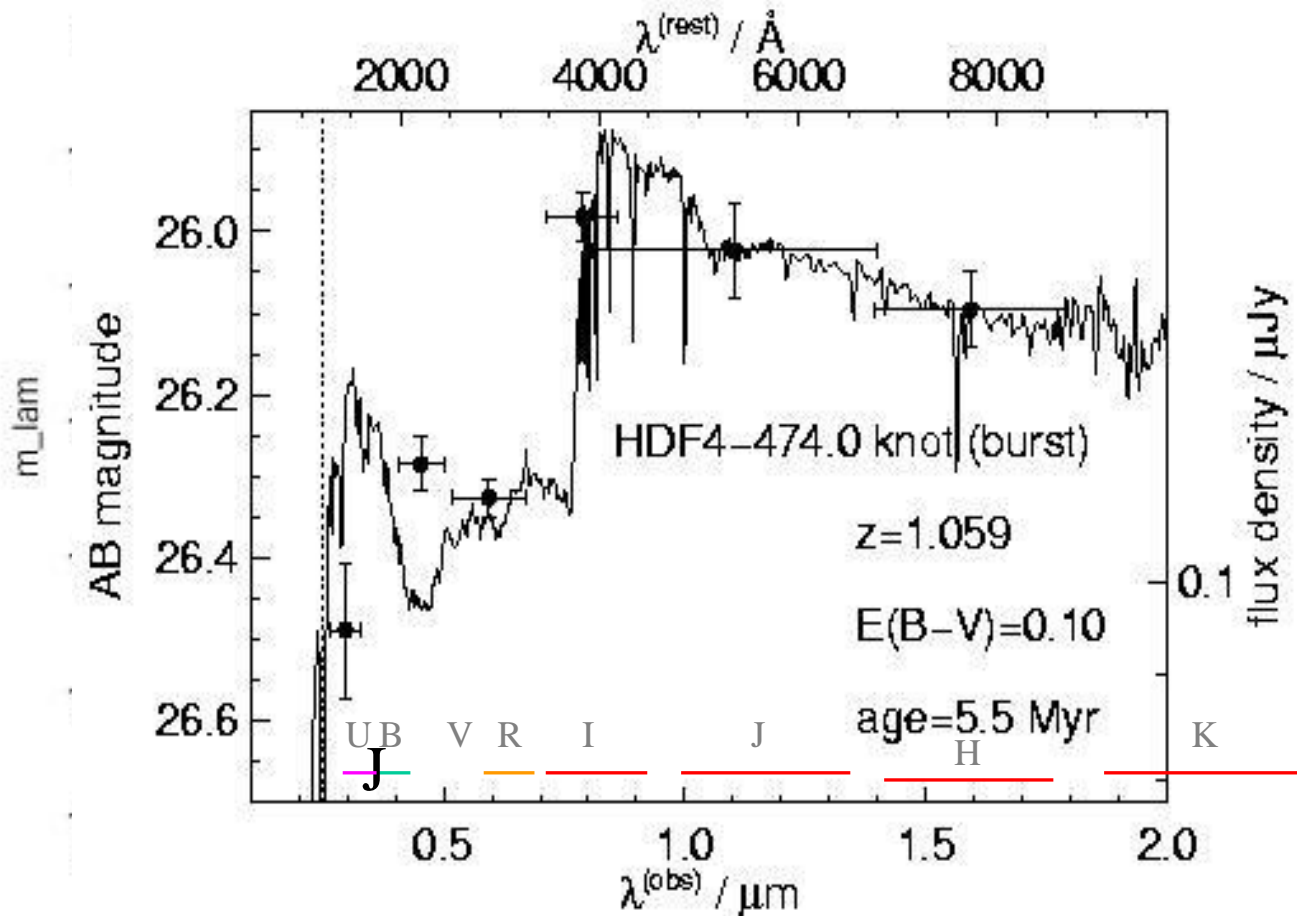




Astronomía en el NUV

$$\lambda_{\text{obs}} = \lambda_0 \times (1+z)$$

- ✓ Observaciones desde tierra en el óptico realmente muestran el UV de galaxias lejanas en el sistema de referencia en reposo:





Misiones NUV: International UV Explorer (IUE)

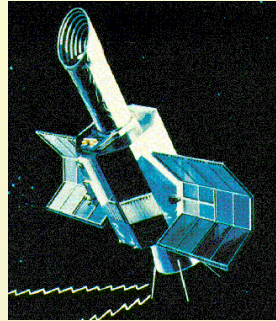
• Satélite

45cm

115–335 nm

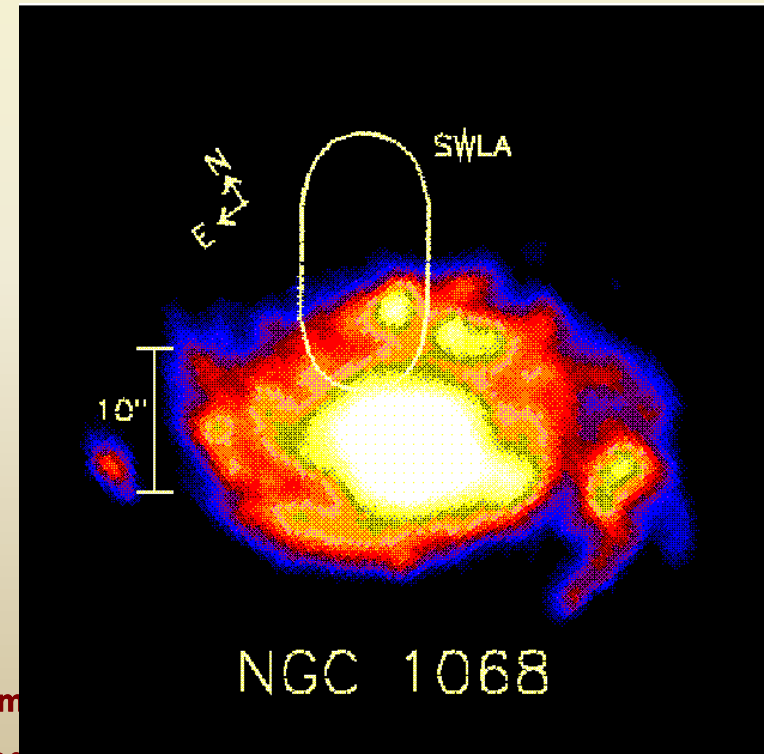
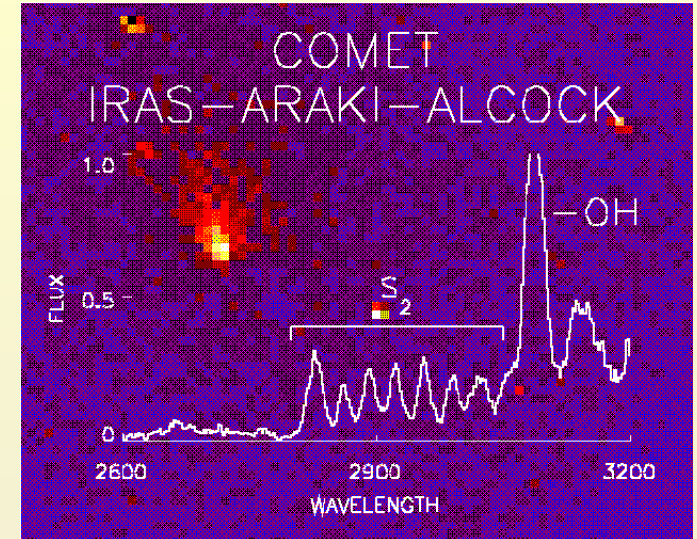
1978-1996

Espectroscopía UV



Logros científicos:

- Auroras en Júpiter
- Azufre en un cometa
- Pérdida de agua en cometas
- **B** fuertes en estrellas peculiares
- Masa de una estrella WR
- Vientos estelares en otras estrellas
- Primer progenitor de SN (1987a)
- Manchas en otras estrellas
- Anillo en torno a SN1987a
- Estrellas activas en otras galaxias
- Detección directa de halos galácticos
- Tamaños de AGNs tipo Sy
- Abundancias del IGM





Misiones NUV: GALEX

- Satélite 50cm, f/6, RC modificado

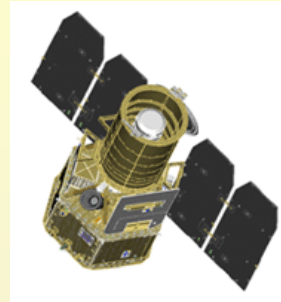
Abril 2003 - 2011?

órbita 700km, $i=29^\circ$

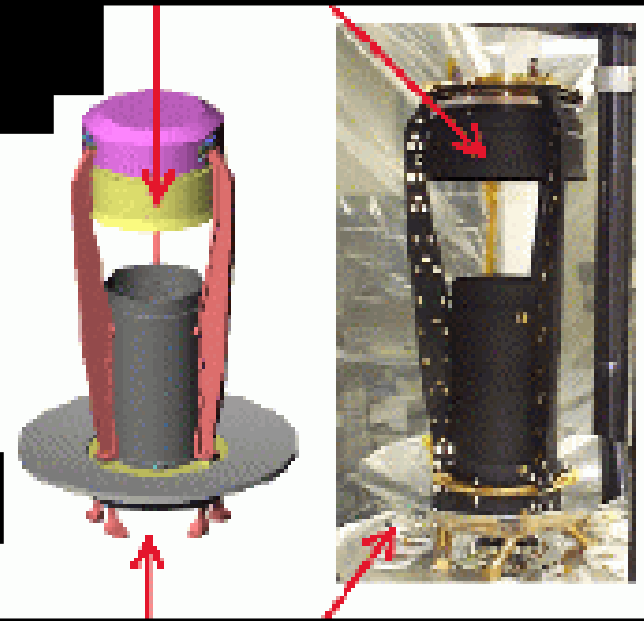
Imagen en Ultravioleta

Espectroscopía sin rendija

Campo circular de 1.2° de diámetro
FWHM (FUV=3.5"; NUV=5")



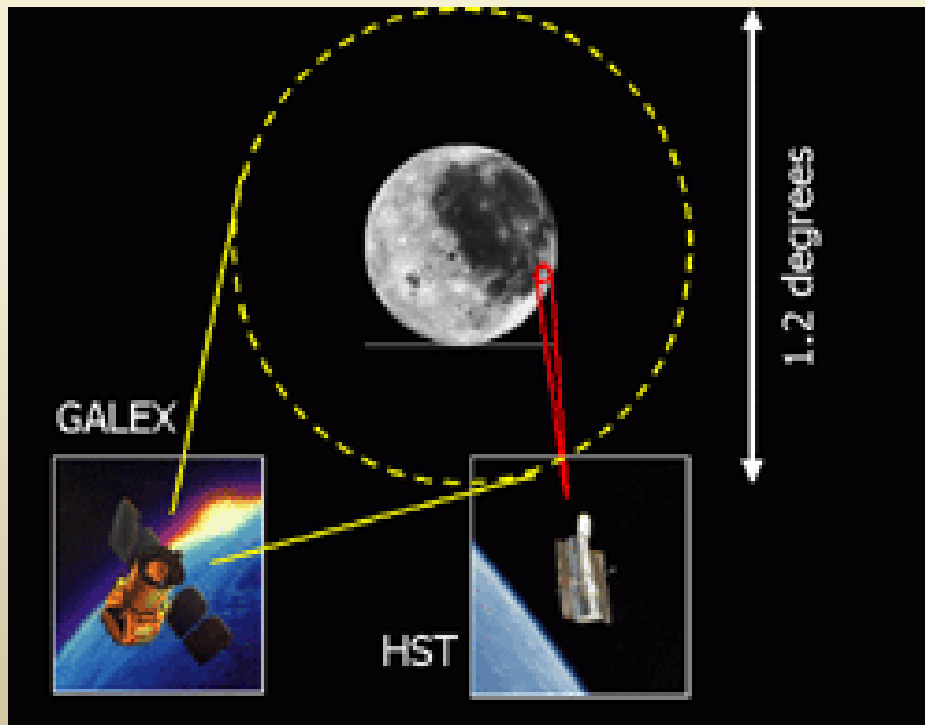
Espejo Secundario (22 cm)



Espejo Primario (50 cm)

“Galaxy evolution explorer”

Optimizado para exploraciones





Misiones NUV: GALEX

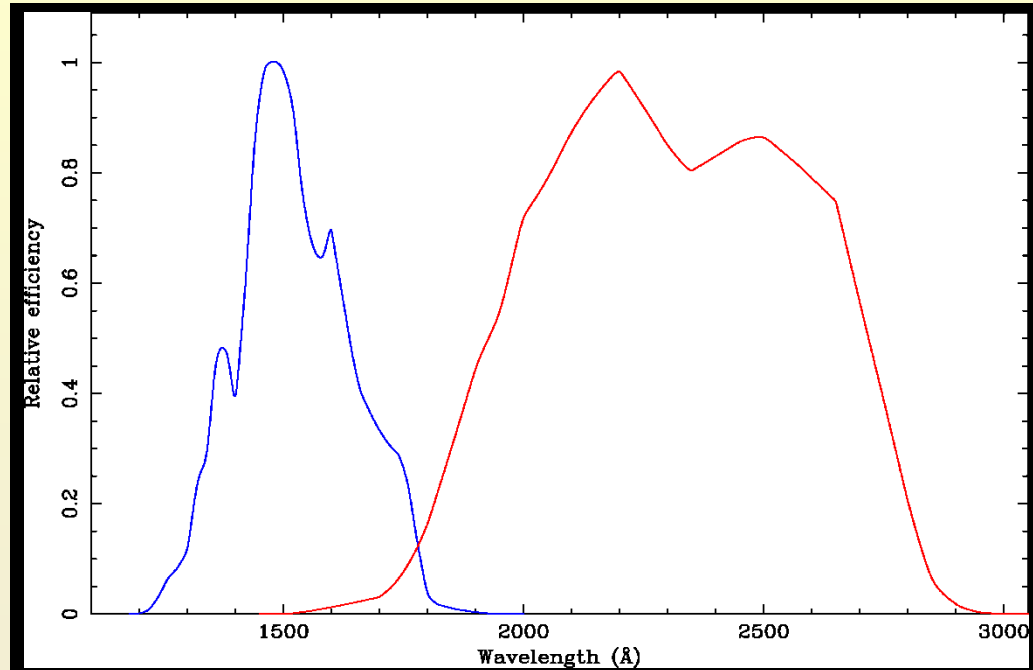
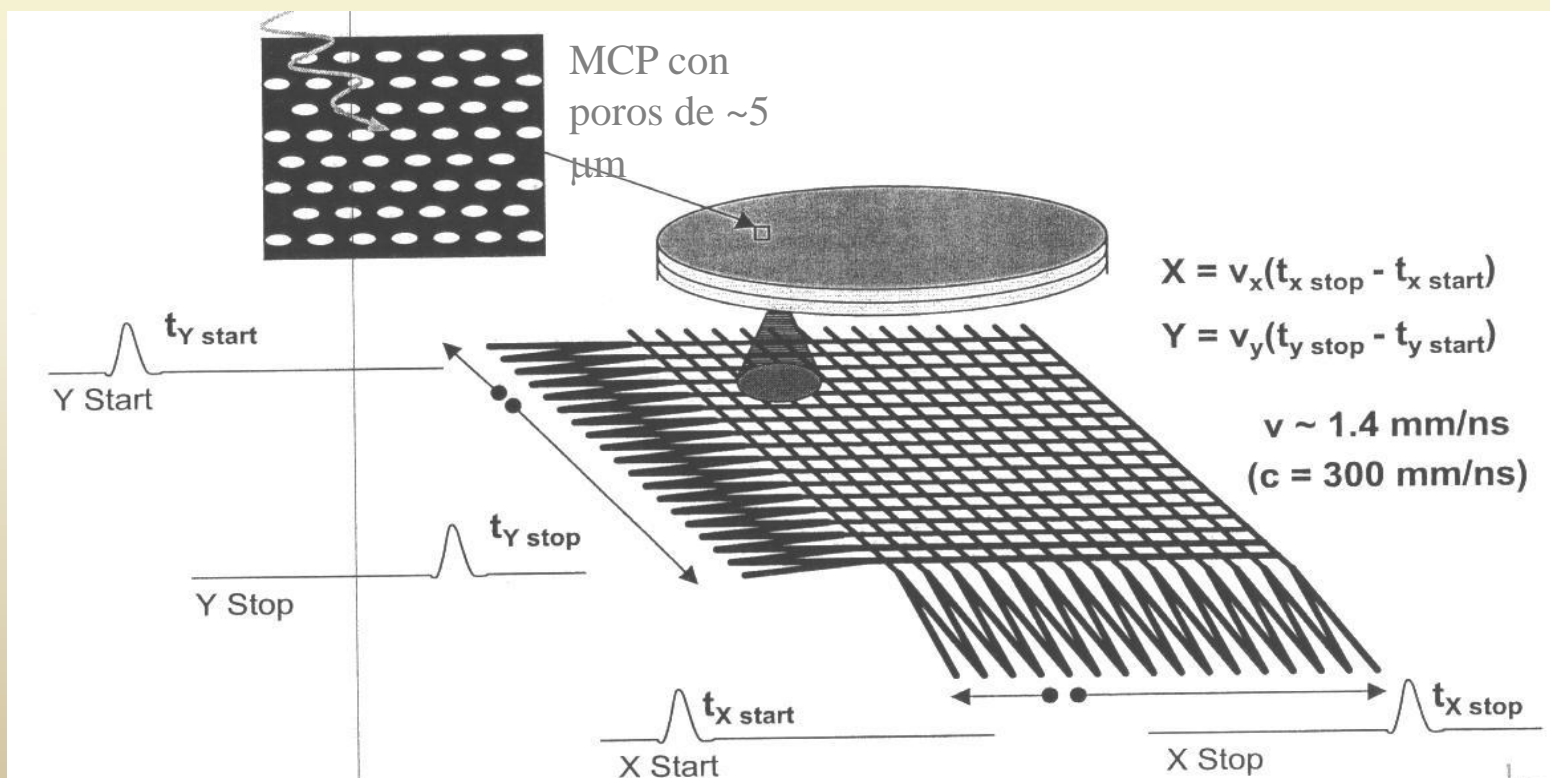
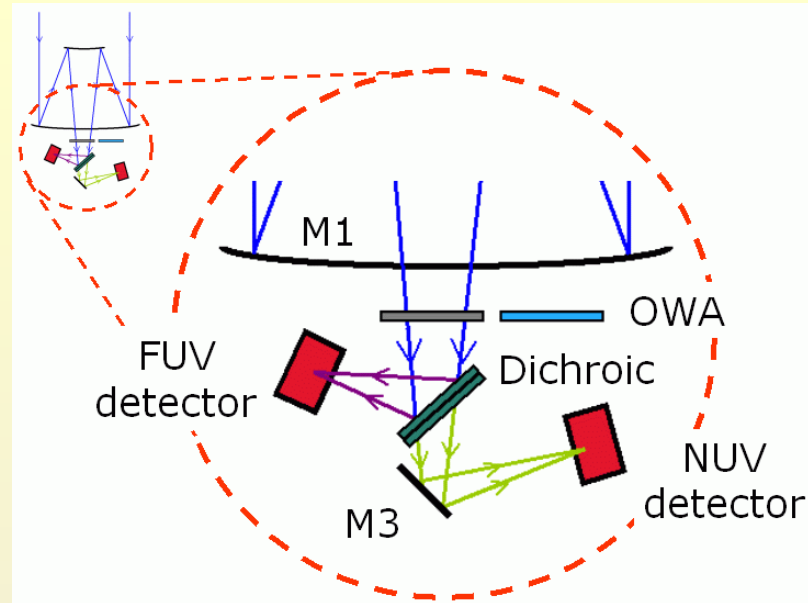
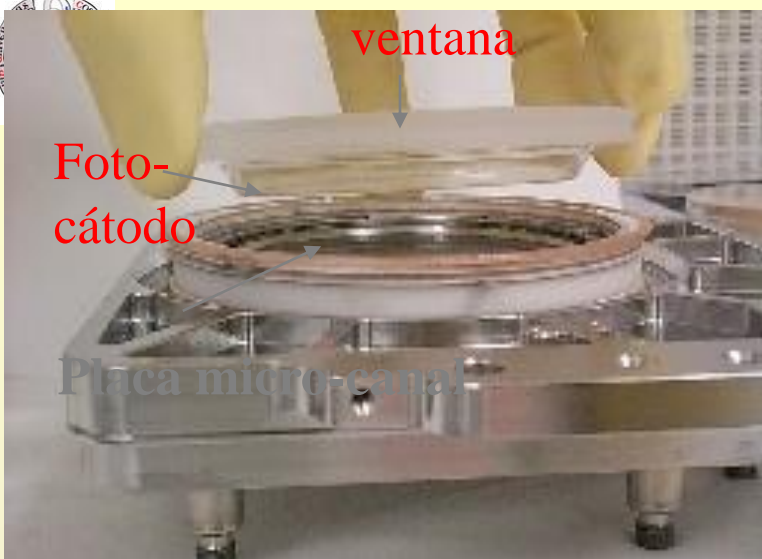


Imagen simultánea en NUV y FUV (instrumento SODA):

Banda	rango- λ	central- λ	Zp	FWHM
FUV:	134.4-178.6 nm	152.8 nm	18.8	4.5''
NUV:	177.1-283.1 nm	227.1 nm	20.1	6.0''





Misiones NUV: GALEX

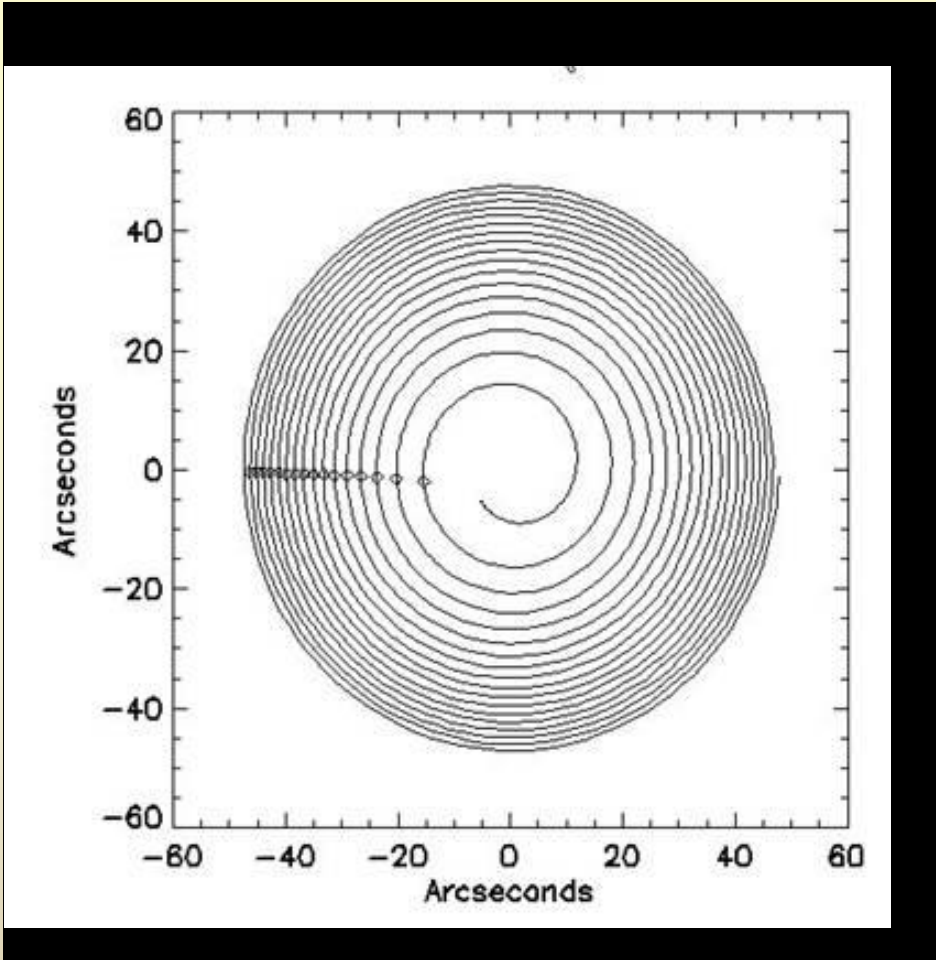
Estrategia de observación

Ventajas:

- ✓ Observación de objetos brillantes
- ✓ Reduce los efectos de “píxeles” defectuosos o calientes

Inconvenientes:

- ✓ Necesidad de reconstruir la trayectoria del satélite
- ✓ Complica la reducción de los datos

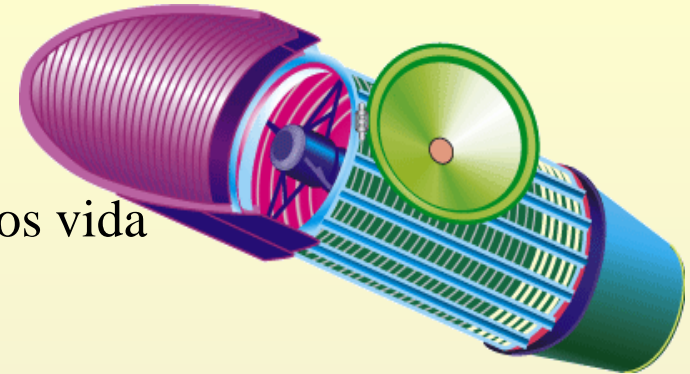




World Space Observatory (WSO-UV)

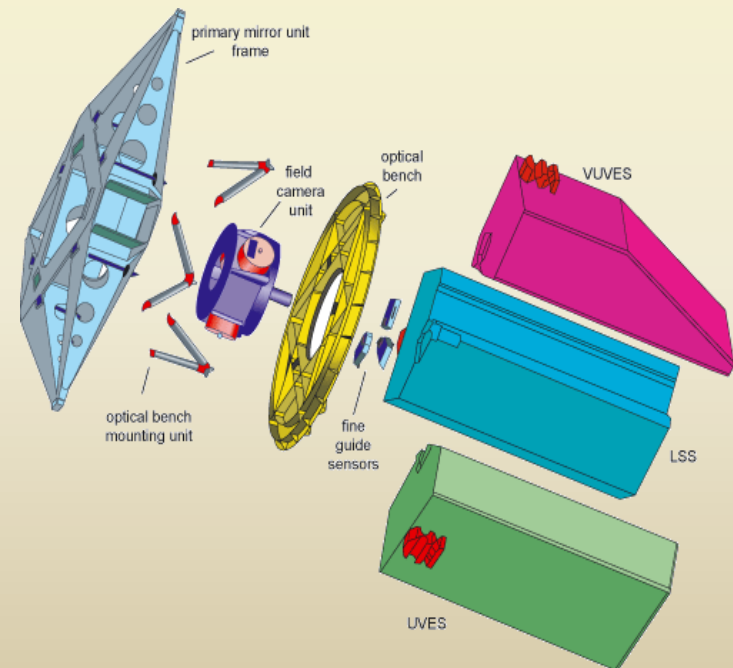
Ventajas:

- ✓ Observatorio multi-propósito. 2014?. >10 años vida
- ✓ 100 – 320 nm
- ✓ Rusia (espejo 1,7m y lanzador), Alemania (espectrómetros), España (cámaras), Ucrania



Instrumentos:

- ✓ VUVES. 100-170 nm. R=55,000
- ✓ UVES. 170-310 nm. R=50,000
- ✓ LSS. 100-310 nm. R=2,500
- ✓ Cámara ISSIS. 0."05/pixel. 3.5' FOV





Astronomía en rayos X

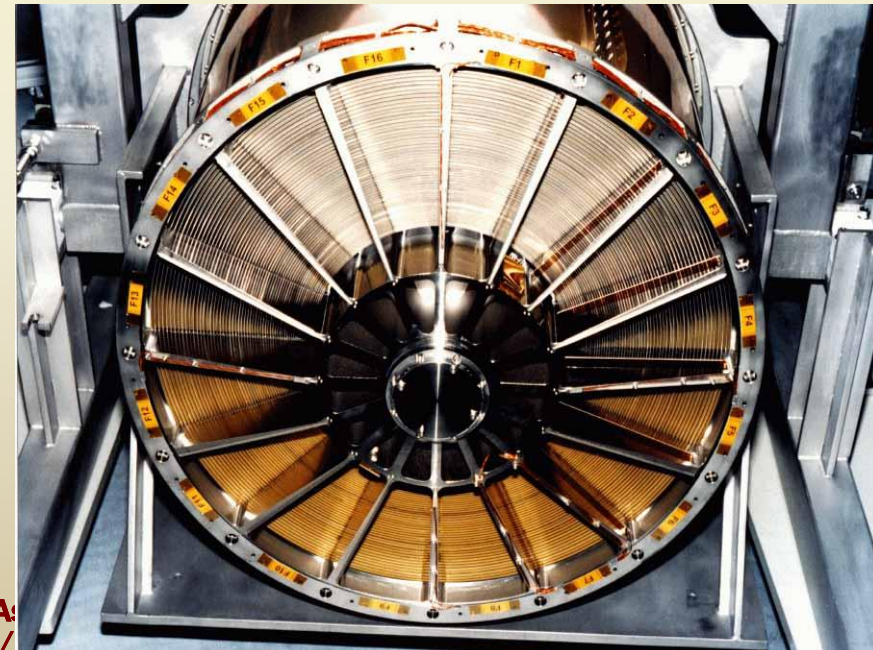
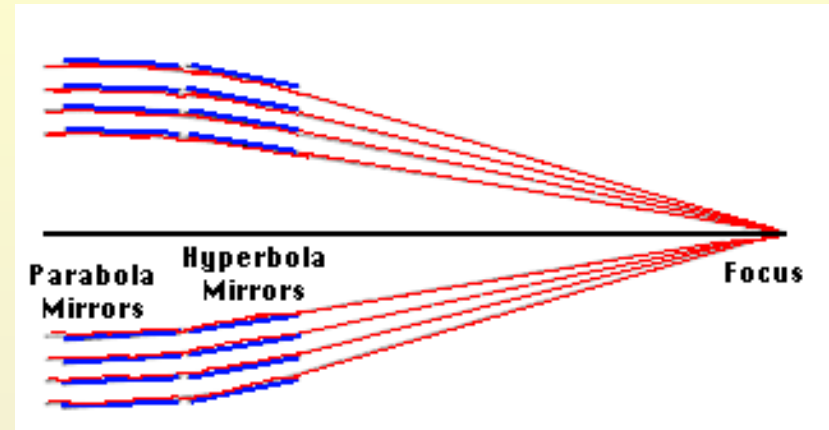
- 1-10 nm (10 - 100Å)
 - ✓ Gas caliente 10^6 - 10^8 K
 - Coronas estelares
 - Remanentes compactos
 - Cuasares y cúmulos de galaxias (CXB)
 - GRBs

 - ✓ Einstein 58cm
 - ✓ Exosat 28cm
 - ✓ ASCA 40cm
 - ✓ ROSAT 83cm
 - ✓ XMM-Newton 30cm (depende de longitud de onda)
 - ✓ Chandra 120cm



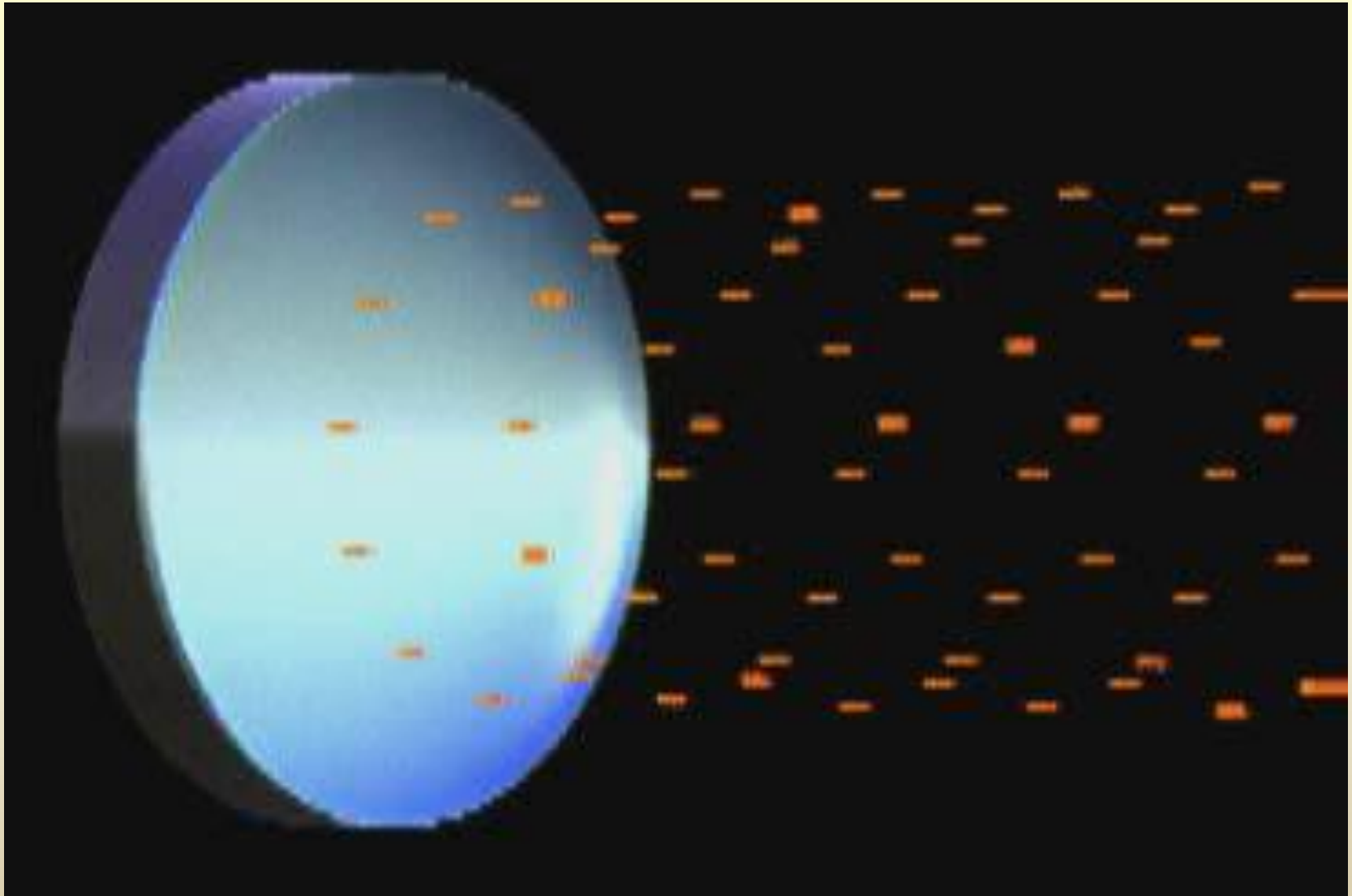
Principios de detección en rayos X

- Focalización. Los rayos X penetran los materiales!!
- Incidencia rasante.
- Configuración geométrica de Wolter:
 - Espejo de sección parabólica.
 - Prolongación de sección hiperbólica.
 - Focal grande ($\sim 7\text{m}$) para eficacia a altas energías.
- Los rayos X son desviados en incidencia rasante para focalizar en el plano focal.
- Los espejos se sitúan en capas cilíndricas. La superficie colectora final depende del número de capas.



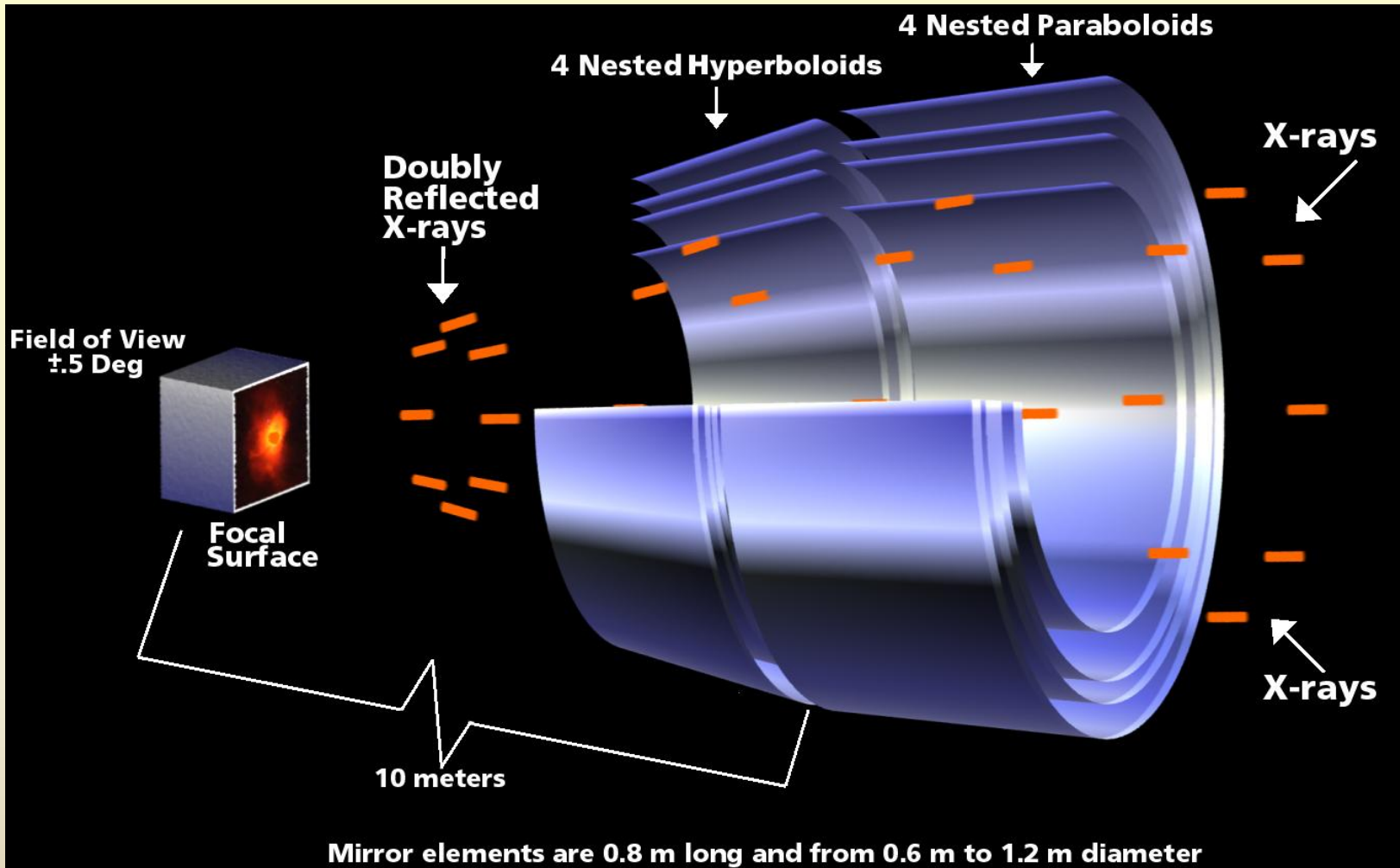


Telescopios de incidencia rasante





Telescopios de incidencia rasante



Espejos de Chandra



Telescopios de incidencia rasante



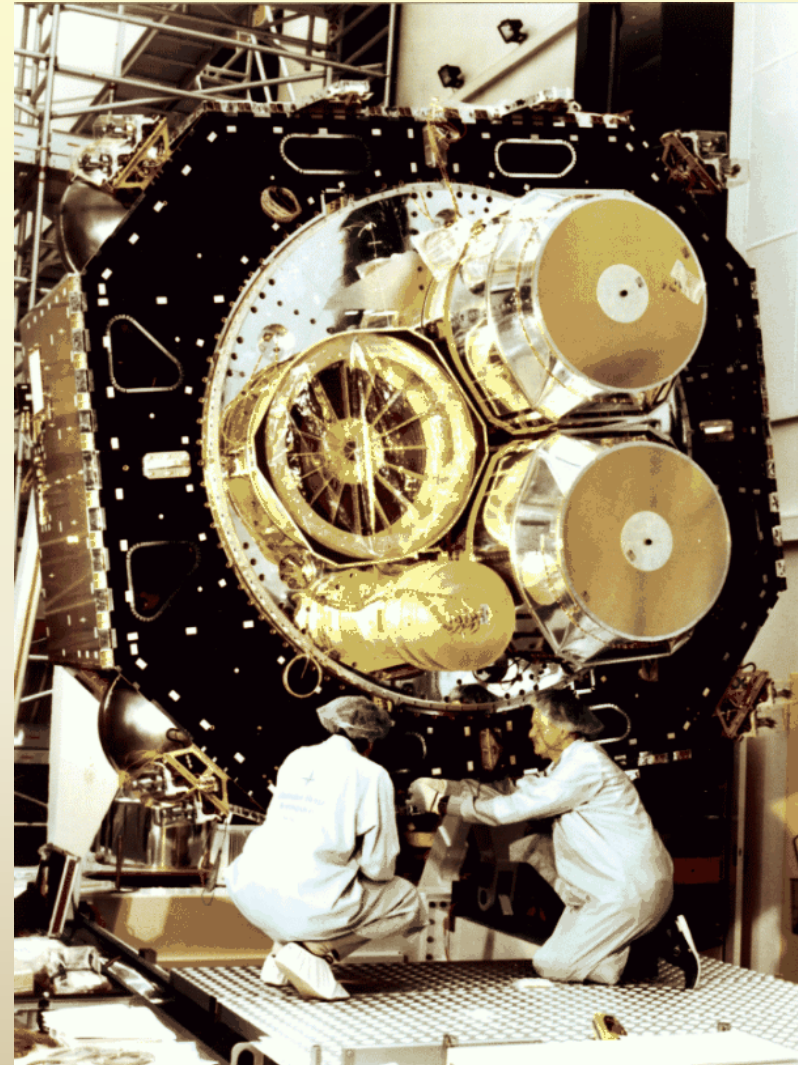
XMM-Newton mirrors during integration

Image courtesy of Doornier Satellitensysteme GmbH

European Space Agency



5^o Astron
Curso 2011/2012



XMM-Newton mirrors during integration

Image courtesy of Doornier Satellitensysteme GmbH

European Space Agency

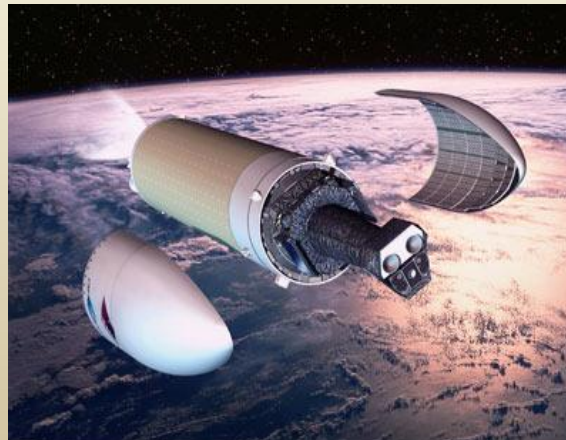




Misión XMM-Newton



- Observatorio Agencia Europea del Espacio (ESA)
- Propuesto en 1984
- Lanzado el 10/12/1999
- Órbita terrestre muy excéntrica (7000km x114,000km, $i=40^\circ$) para evitar cinturones de Van-Allen
- Período orbital de 48h
- Control desde VILSPA, datos en XMM-Newton Survey Science Centre (University of Leicester)
- 10m largo, 16m ancho, 3.8 Tm Nave similar a la de ISO e INTEGRAL
- Misión de 2 años prolongada +10 años (aprobada hasta 2012, posible 2018)

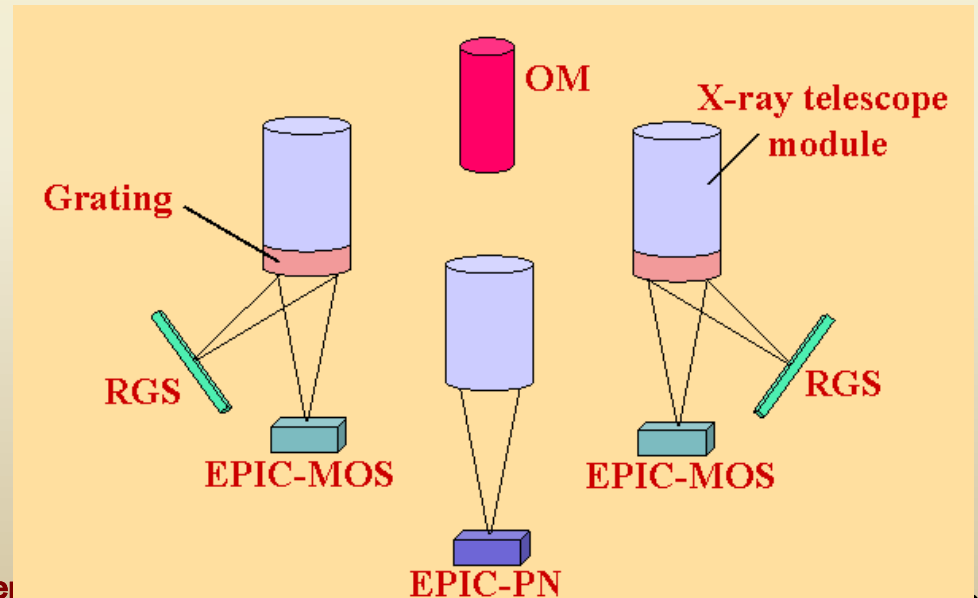
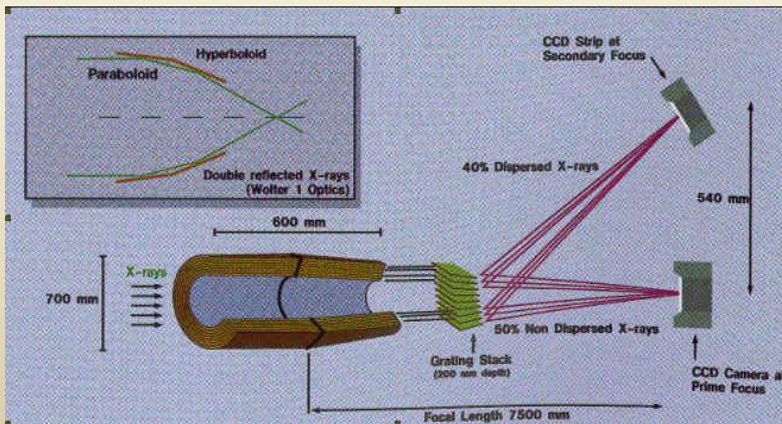




Misión XMM-Newton



- 3 telescopios en rayos X
 - ✓ 3x58 espejos concéntricos nickel recubierto de oro, incidencia rasante entre 0.5 y 1mm de separación
 - ✓ Diámetro mínimo de 30cm, máximo 70cm, longitud 60cm
 - ✓ Distancia focal 7.5m
 - ✓ Detectores CCD optimizados para rayos X y espacio (poco sensibles a CRs)
- Monitor óptico (OM) con detectores CCD



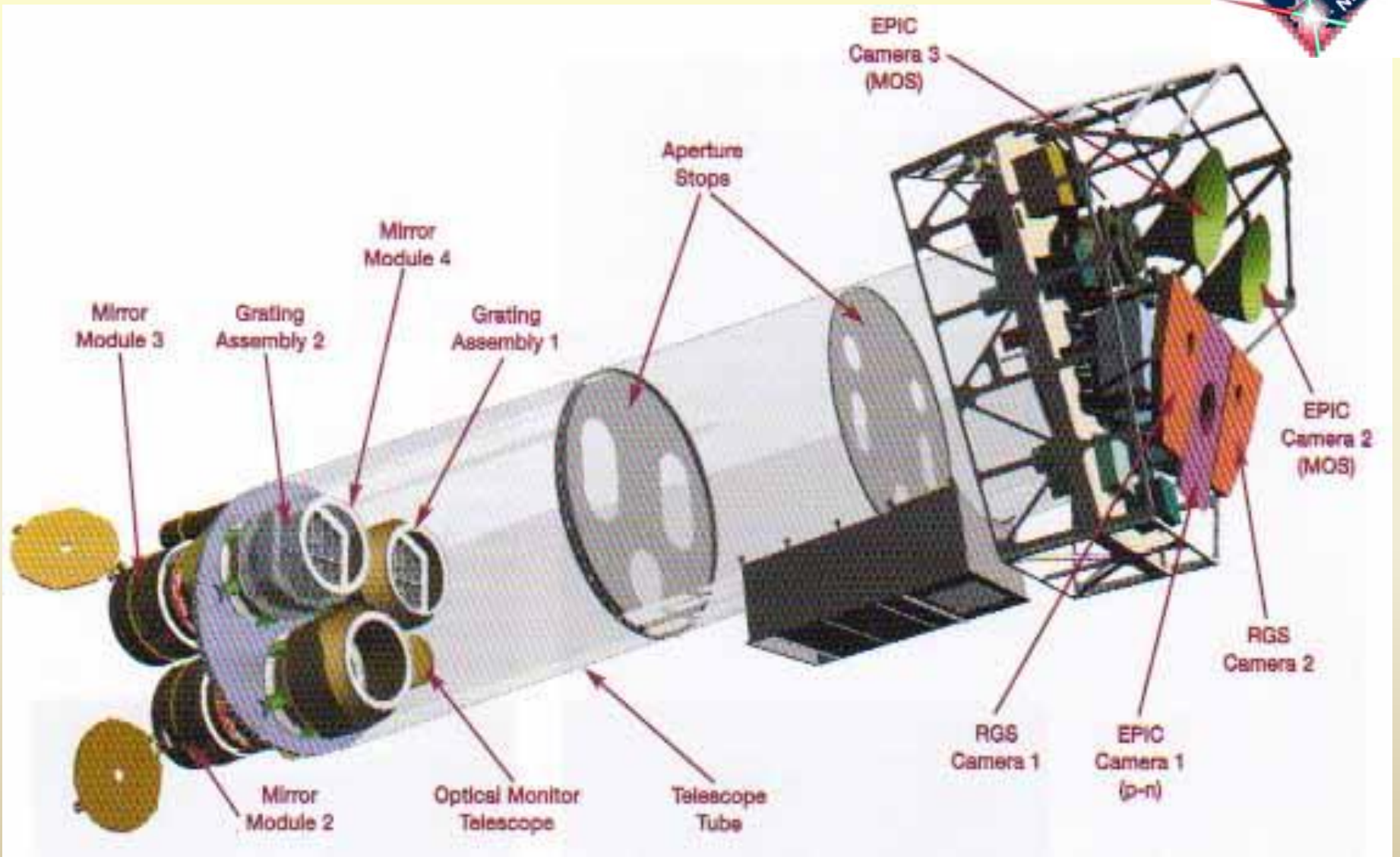
Instrumento

Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



Misión XMM-Newton





Misión XMM-Newton



- **EPIC-PN 1 (European Photon Imaging Camera)**

100% fotones del telescopio

Mosaico de 12 CCDs de 200x64

150 μ m/pixel, 4"1/pixel, 30arcmin FOV

Tecnología p-n, -90°C

0.15 – 15 keV

- **EPIC-MOS 2 & 3, cámara en rayos X**

40% fotones del telescopio

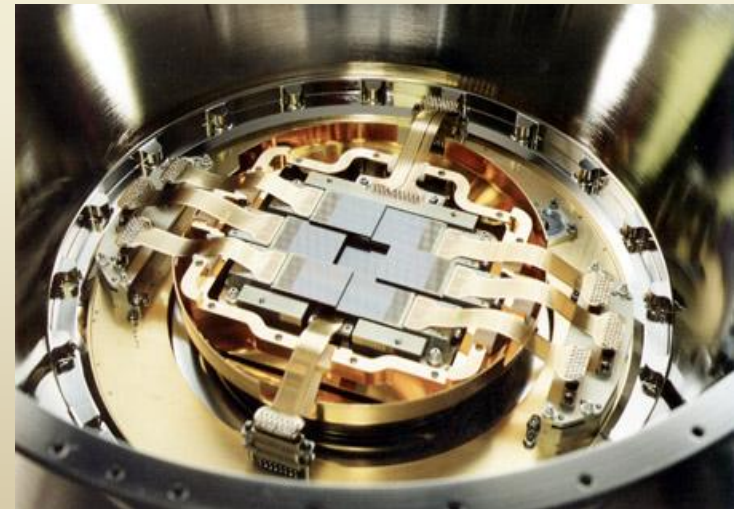
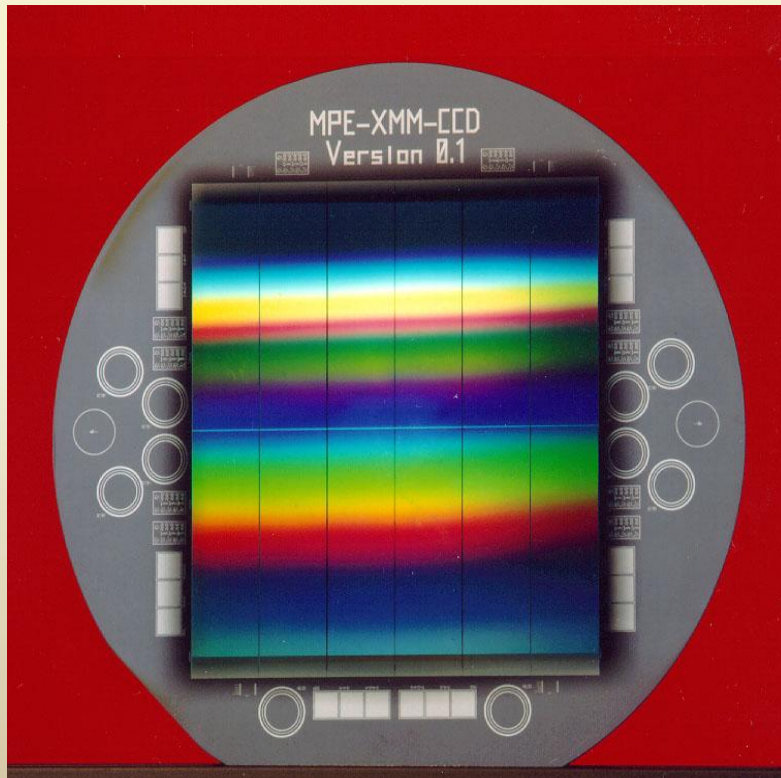
Mosaico de 7 CCDs de 600x600, -120°C

40 μ m/pixel, 1"1/pixel

Tecnología MOS (Metal-Oxide-Semiconductor)

Exptime \sim 40 ks

$\sim 10^{-15}$ erg cm⁻² s⁻¹ (0.1-10 keV)





Misión XMM-Newton



- **RGS 1 & 2, espectrómetro en rayos X**

40% fotones del telescopio van a una rejilla de 202 líneas

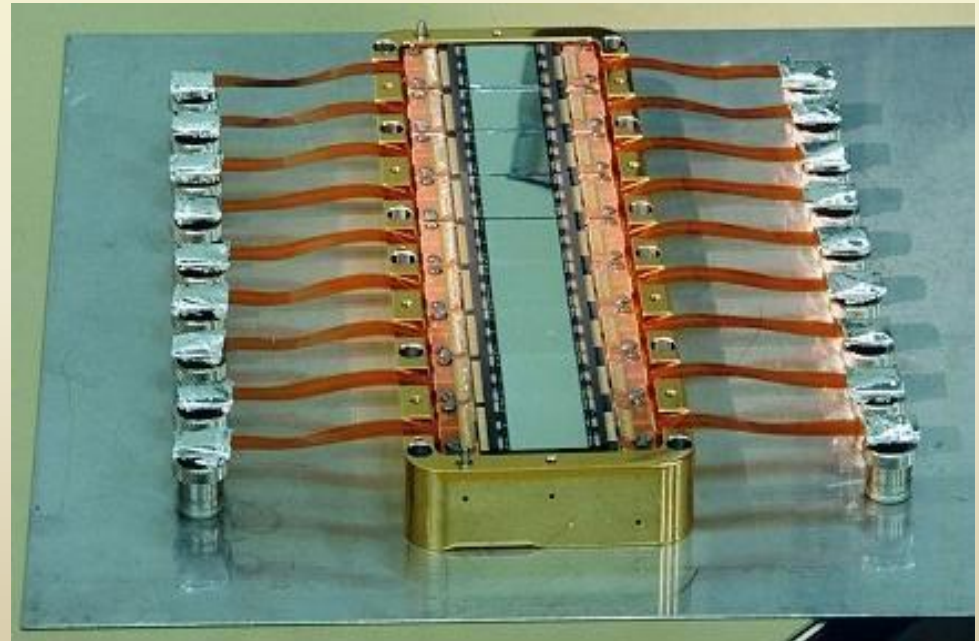
Mosaico de 9 CCDs de 1024x384, -110°C

27 μ m/pixel, 1"1/pixel, 5arcmin FOV

Banda de energía entre 0.35 a 2.5 keV (de 5 a 38Å)

R=290 para 10Å, R=520 para 20Å, R=800 para 35Å

Mejor resolución espectral que Chandra





Misión XMM-Newton



- **OMC, monitor óptico**

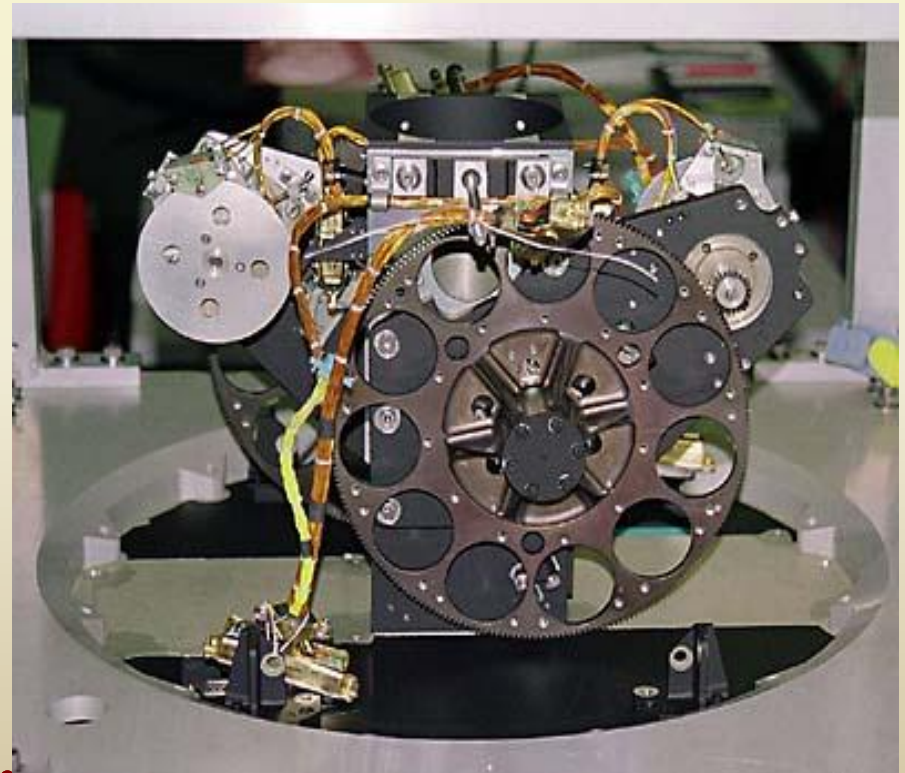
30cm f/12.7 Ritchey-Chretien

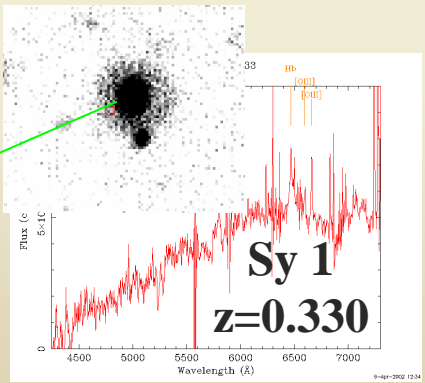
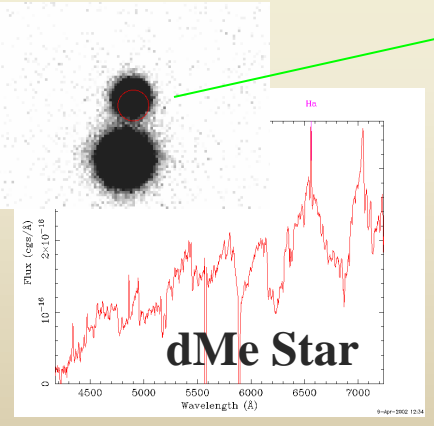
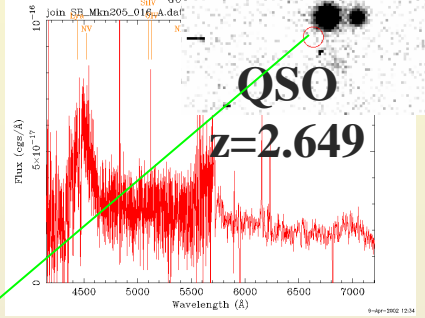
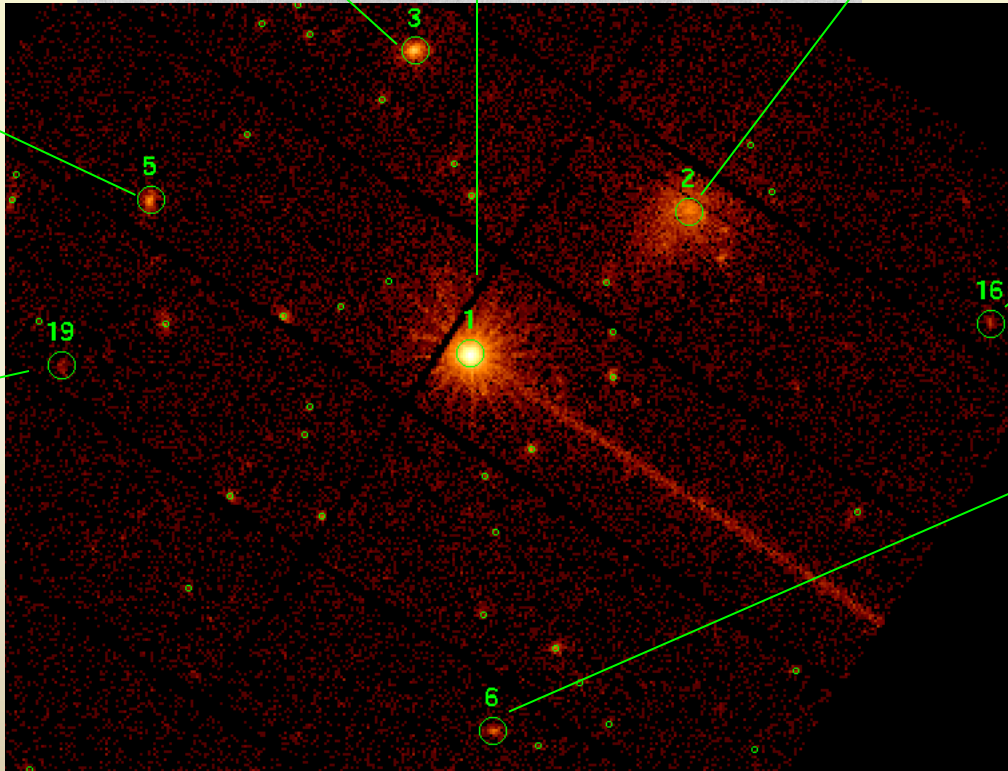
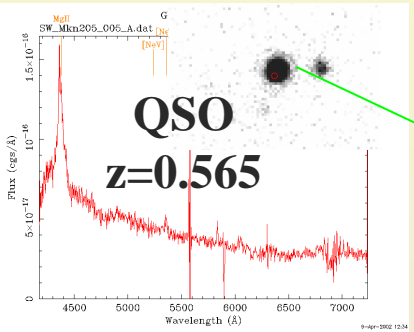
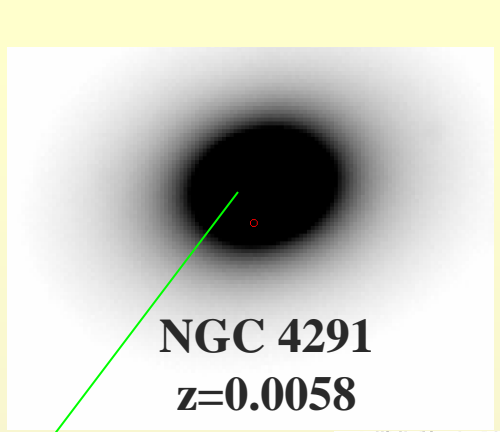
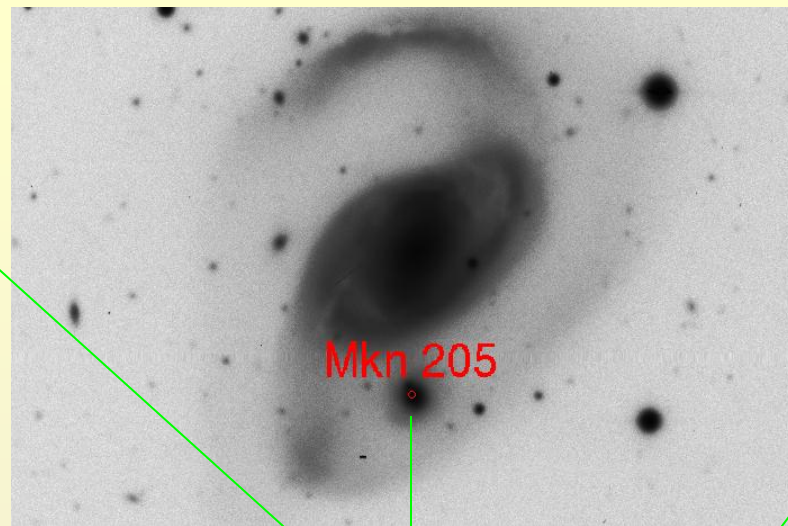
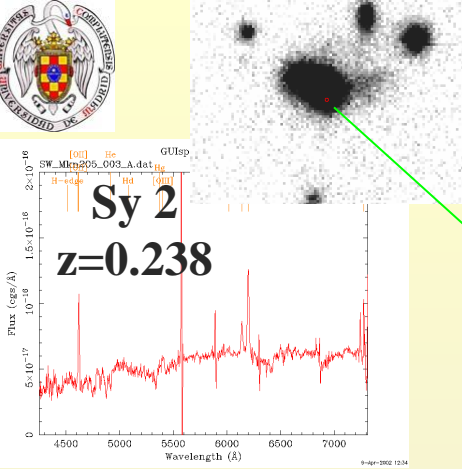
Placa microcanal+CCD

B=20.7 en 1000s

17x17arcmin FOV

1700Å a 6500Å





http://xmm.esa.int/external/xmm_science/gallery/public/level3.php?id=18

AXIS (Barcons, Carrera et al. 2002)



Misión Chandra

- Chandra 120cm

2002, NASA

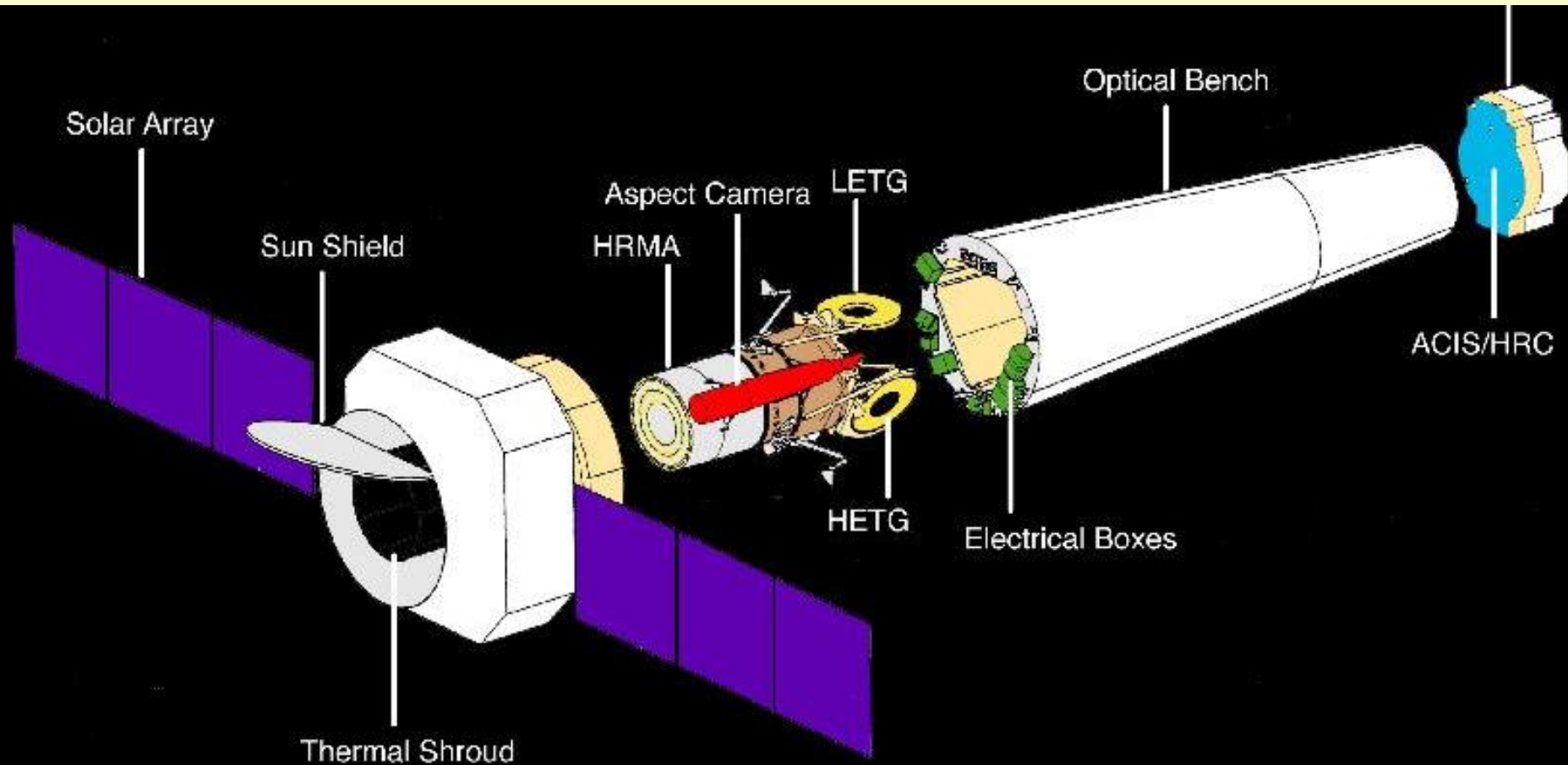
Mejor resolución espacial (3" FWHM),
peor resolución espectral

Chandra DF (CDFS, CDFN)





Misión Chandra



Esquema de Chandra



Misión Chandra



Información Cronológica

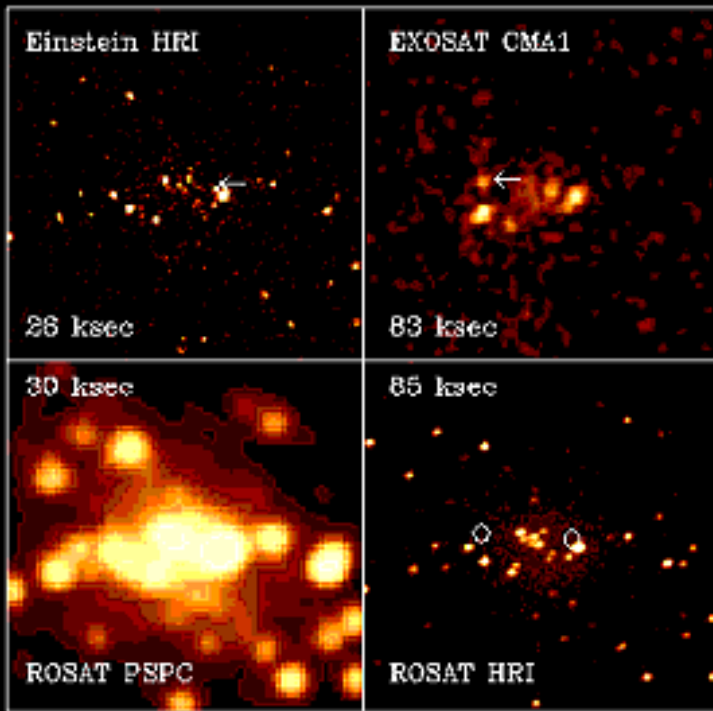
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

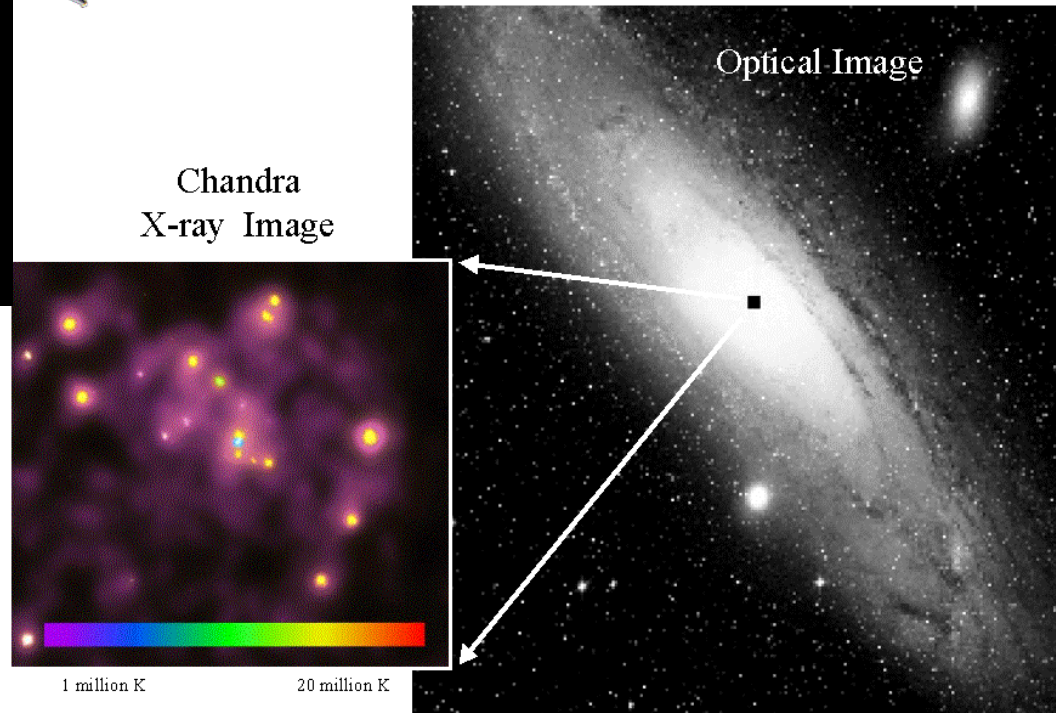


Misión Chandra

The central region of M31
1979-1996



M31: The Andromeda Galaxy





Misión Chandra

- ULXs

Fuentes ultra-luminosas

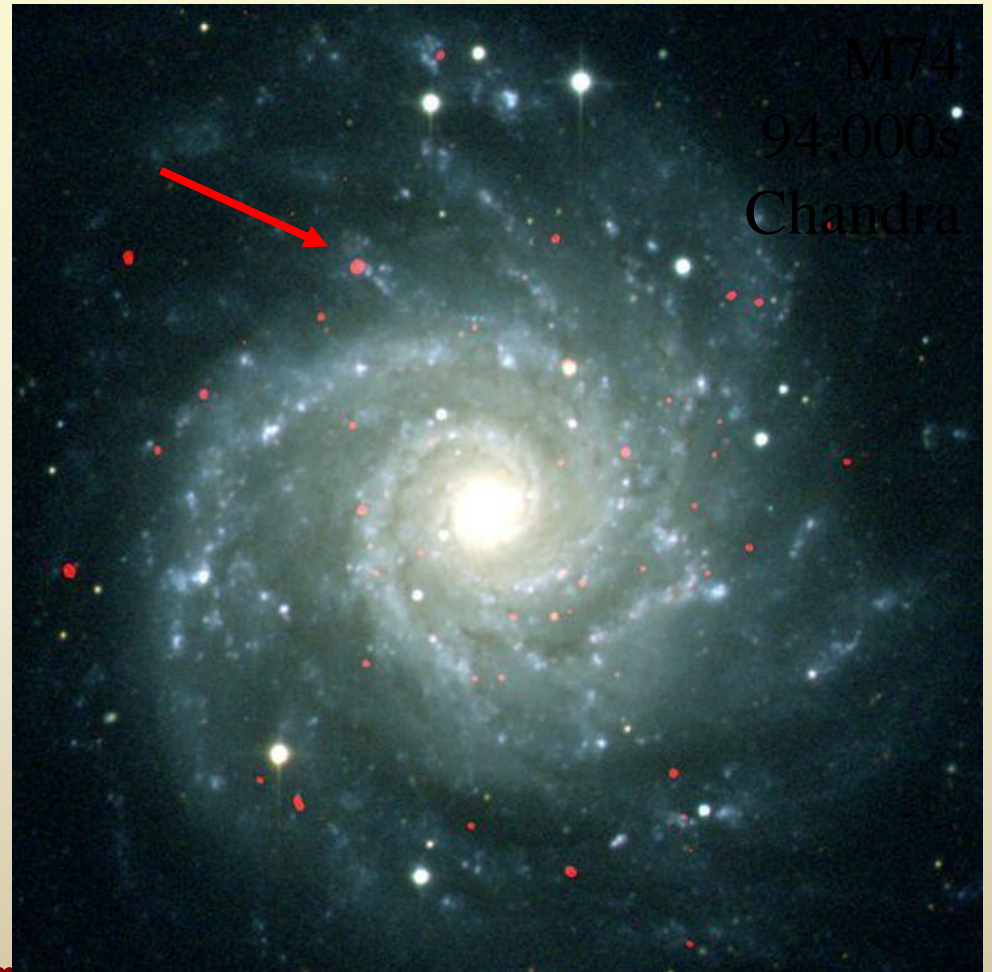
Variabilidad de horas

10-1000x estrellas binarias X

BHs intermedios, masas $\sim 10^4 M_{\odot}$

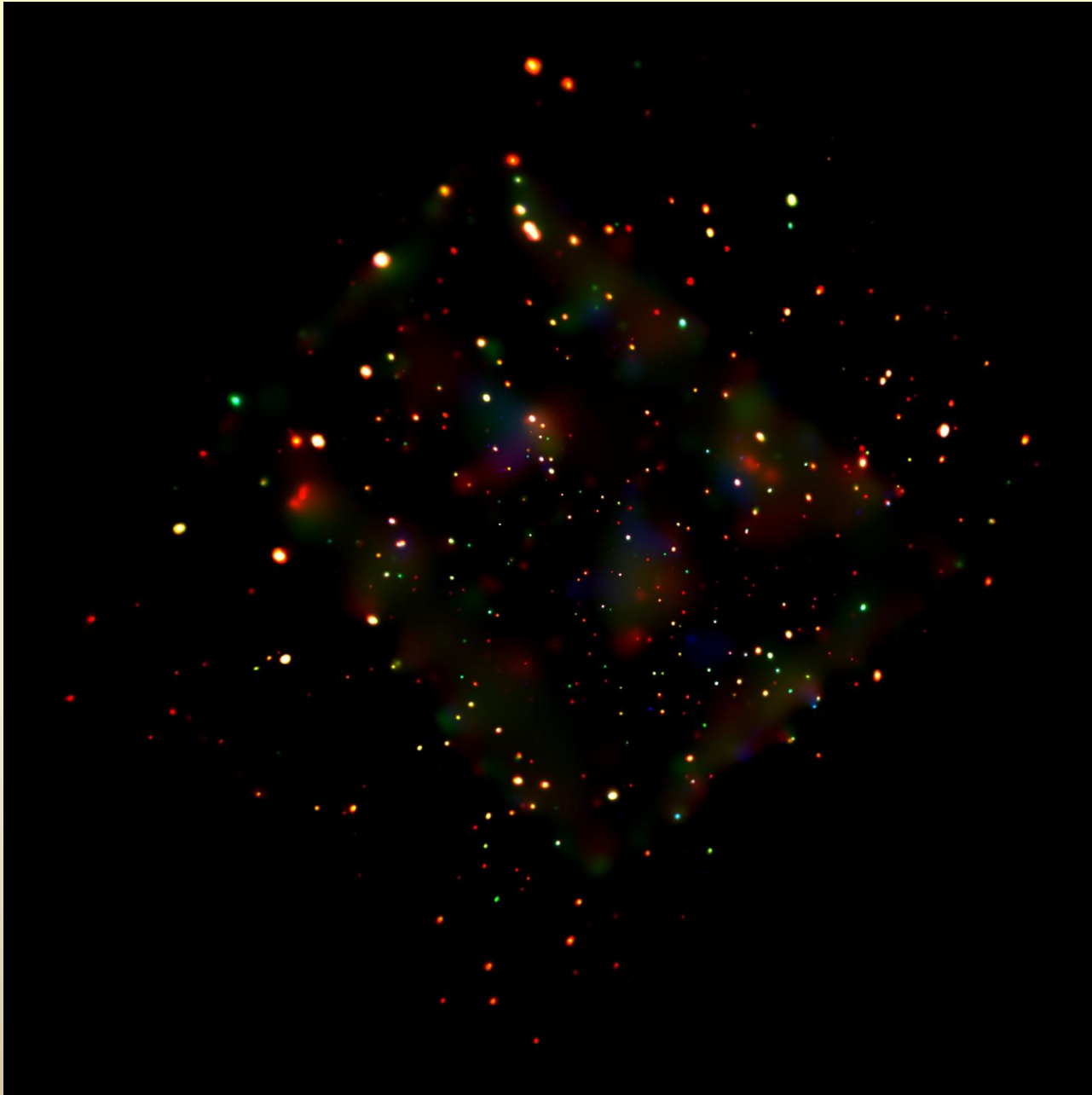
Núcleos de galaxias canibalizadas??

Fusión de BHs estelares??





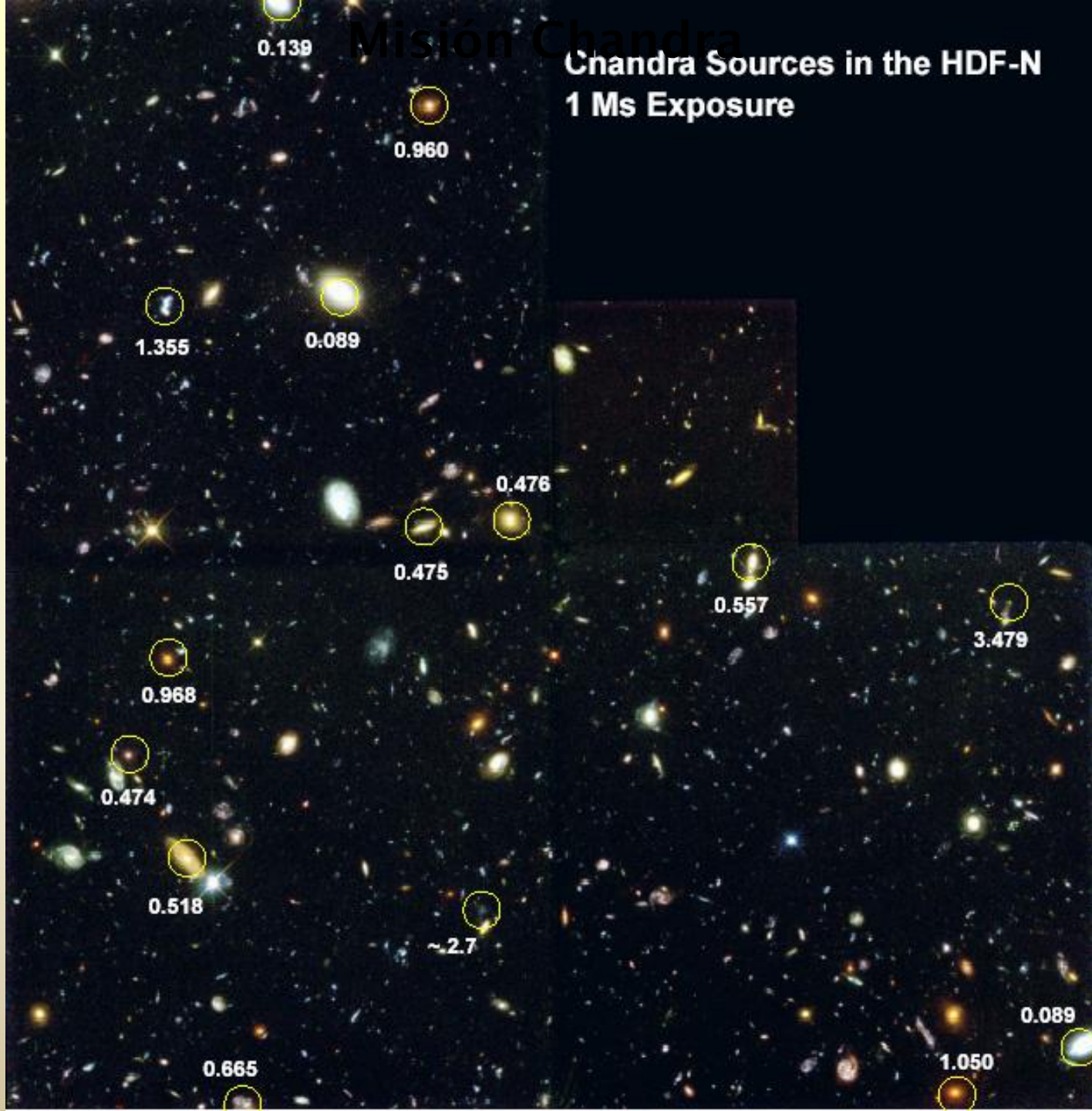
Misión Chandra





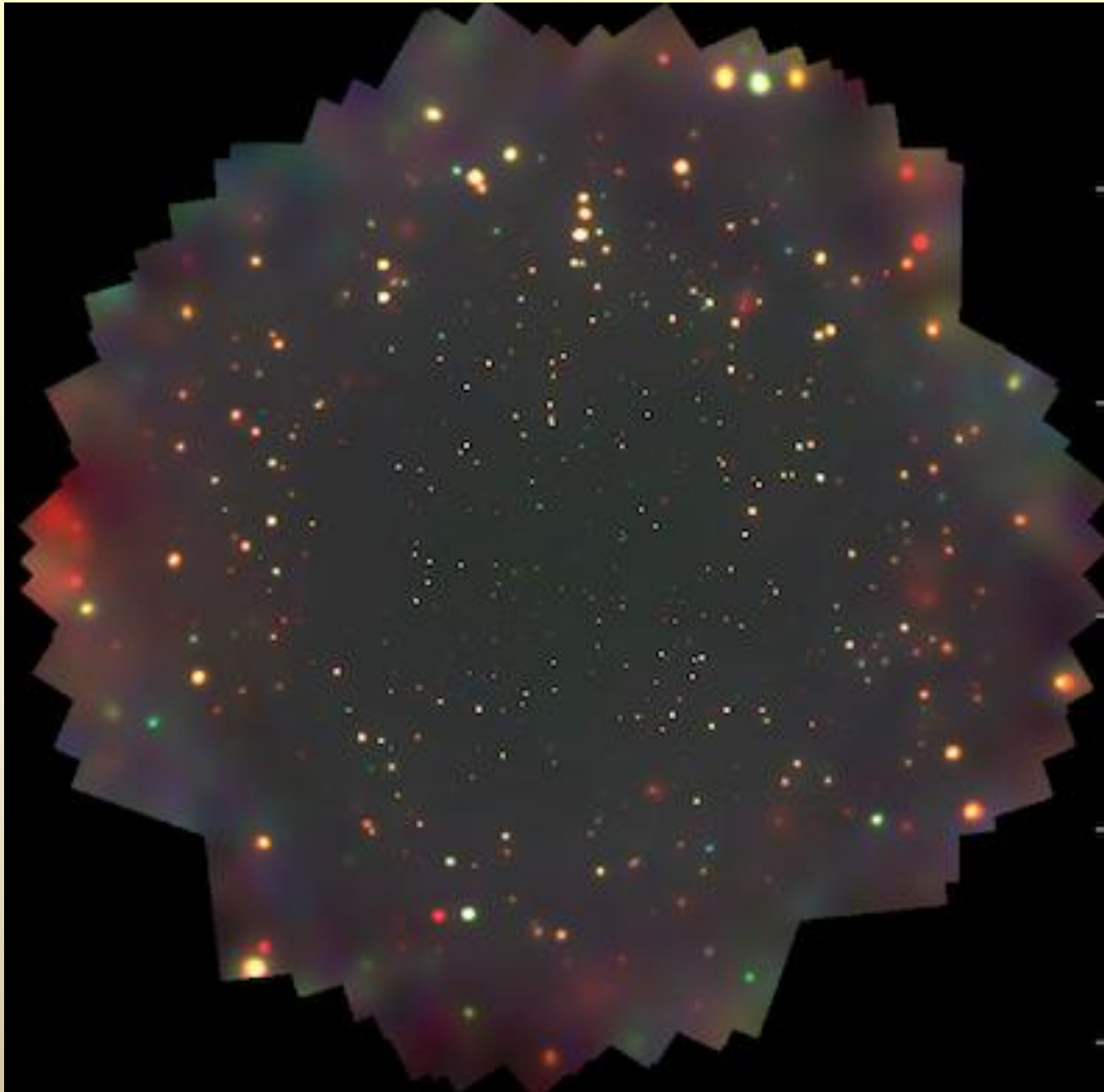
Misión Chandra

Chandra Sources in the HDF-N 1 Ms Exposure





Misión Chandra



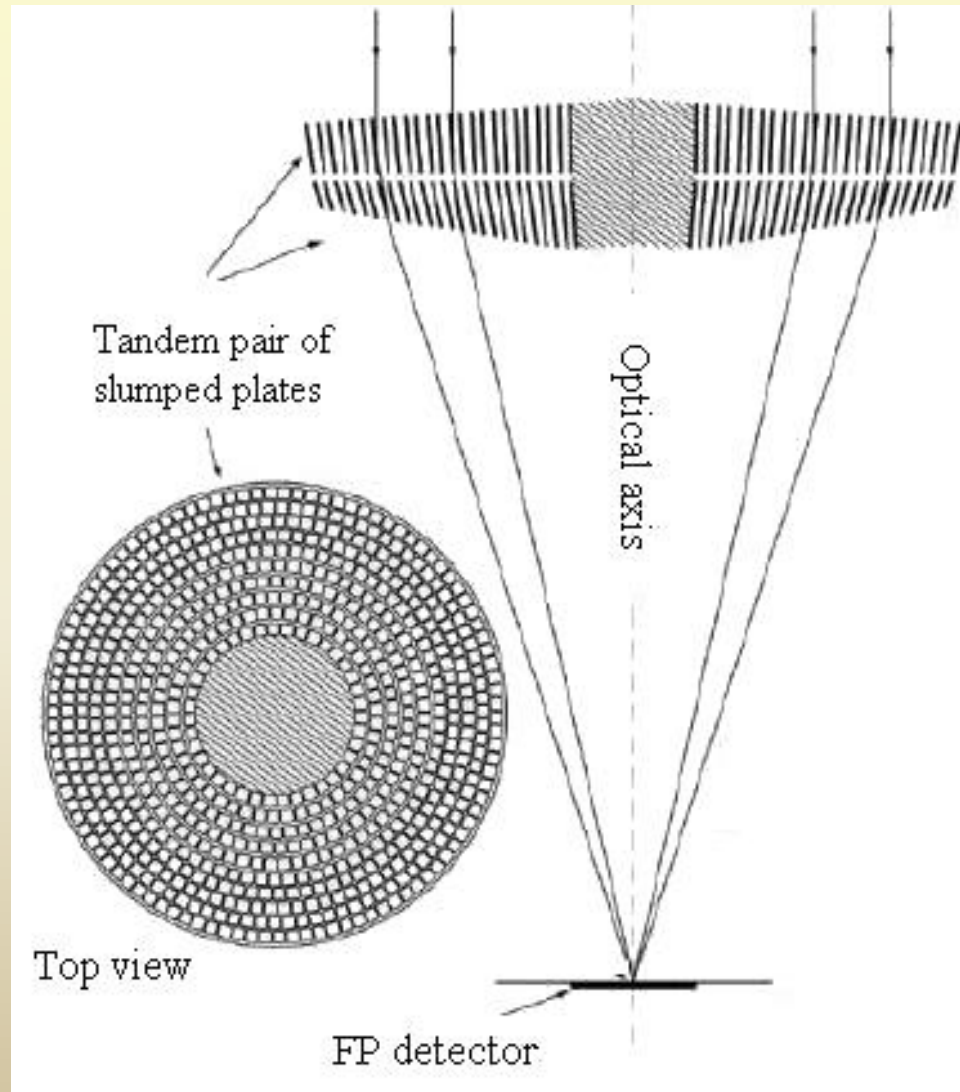
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, F. O. Pérez-González)



Telescopios incidencia rasante: microporos

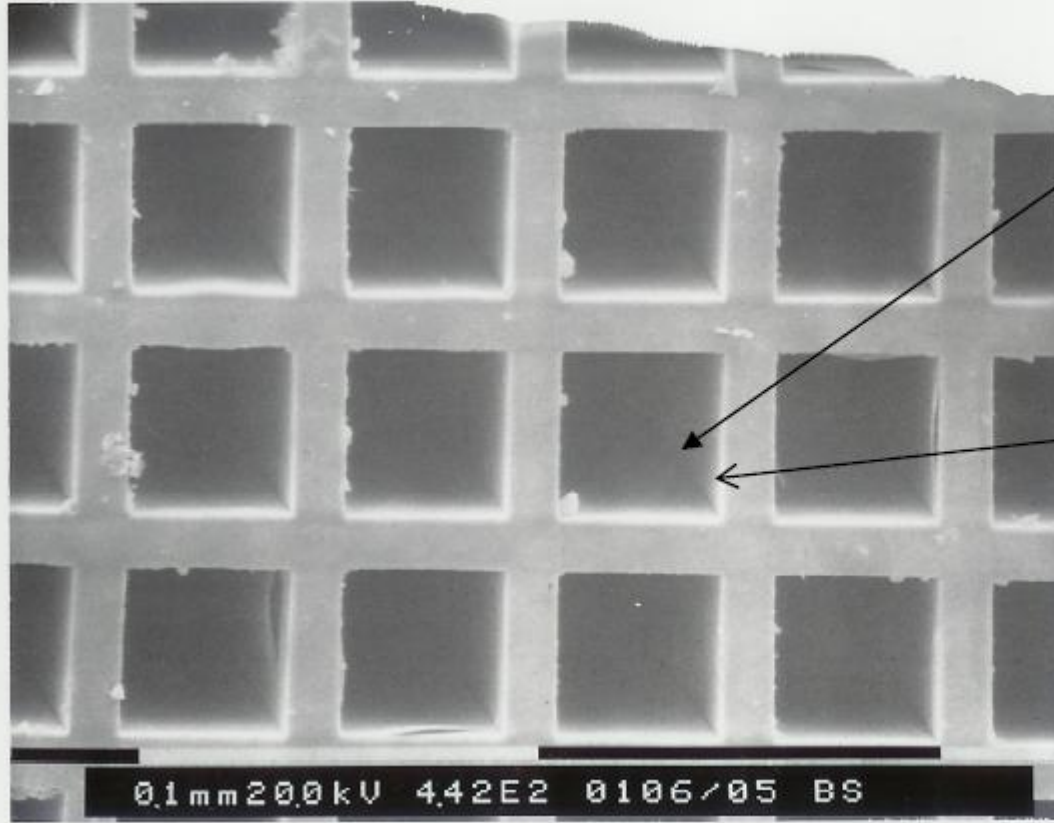
Esta tecnología permite reducir la masa por un factor 10x

<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=38300&fbodylongid=1848>

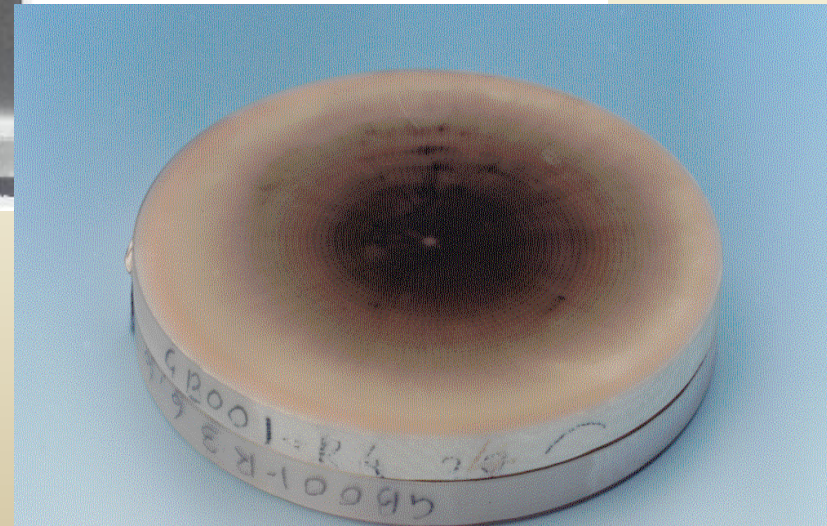




Telescopios incidencia rasante: microporos



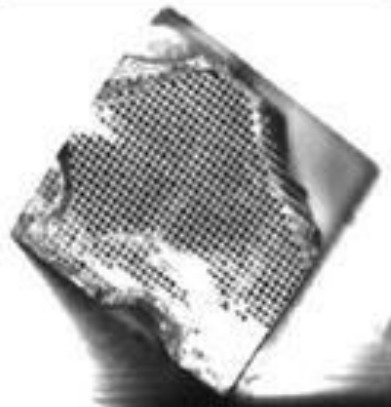
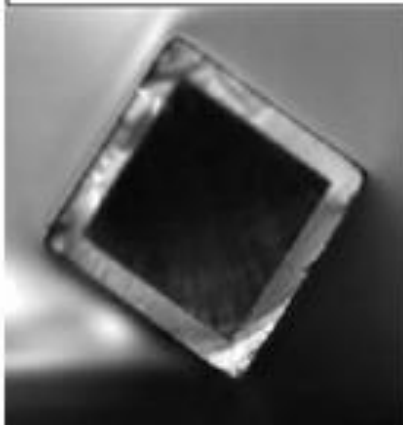
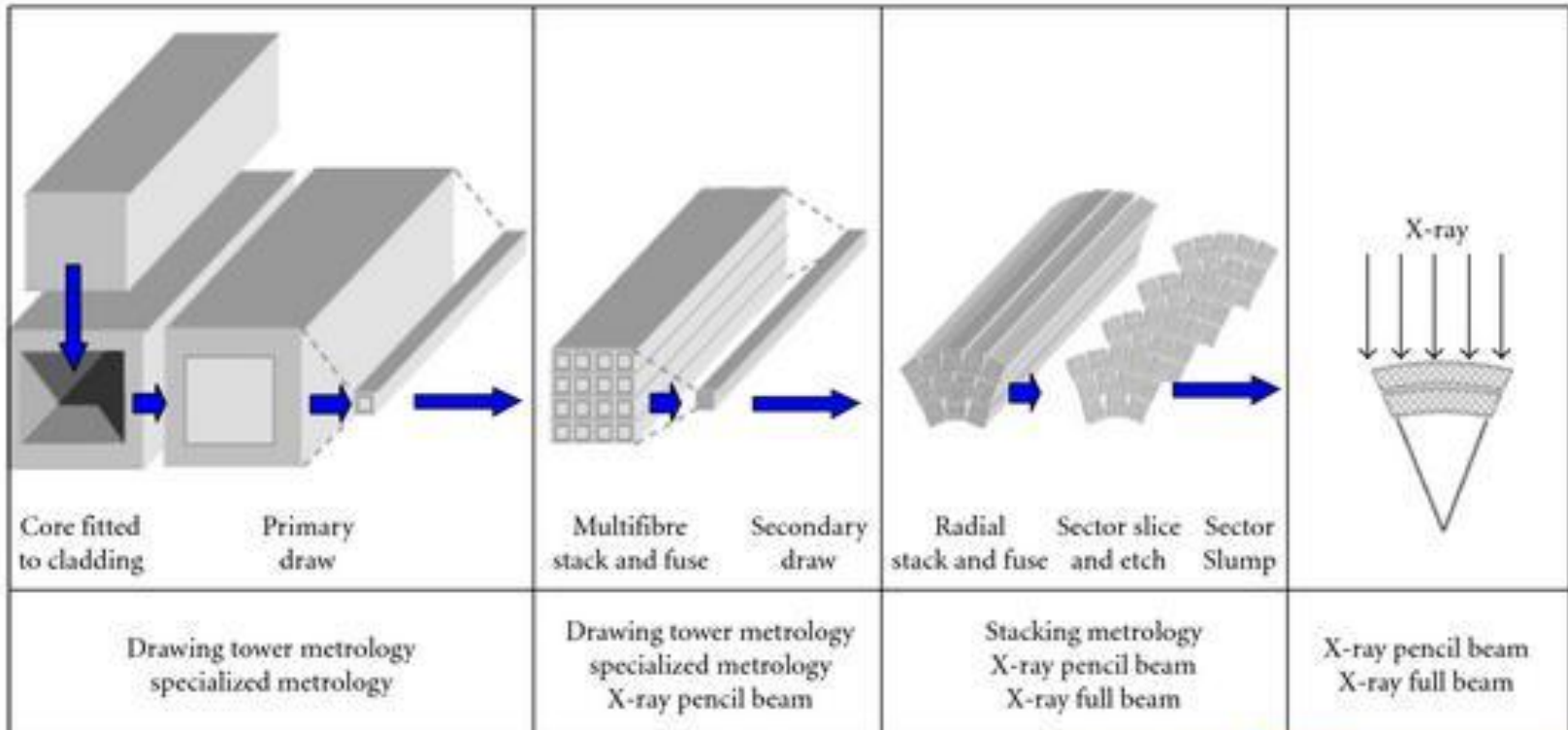
Prototipos para la misión XEUS.





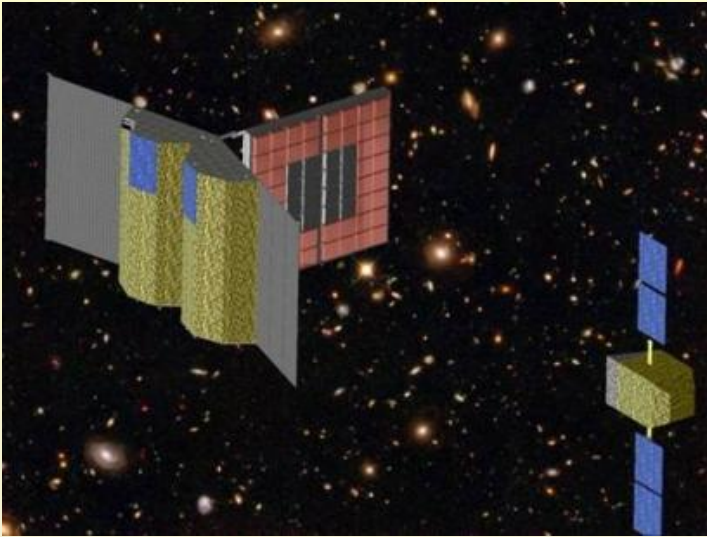
Telescopios incidencia rasante: microporos

<http://www.hindawi.com/journals/xroi/2010/295095/fig17/>

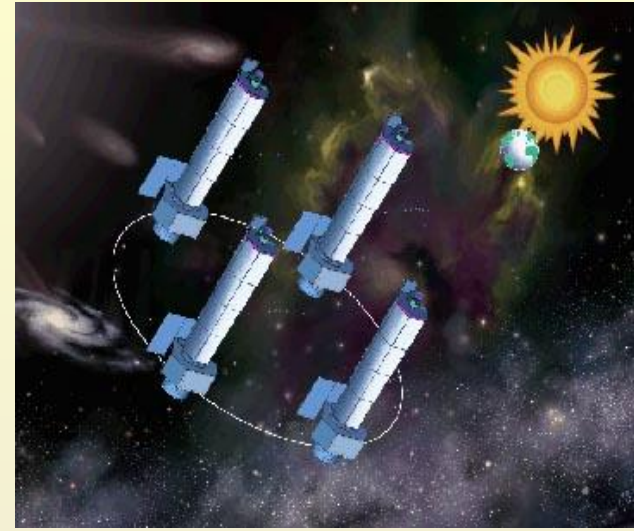




Telescopios incidencia rasante: microporos

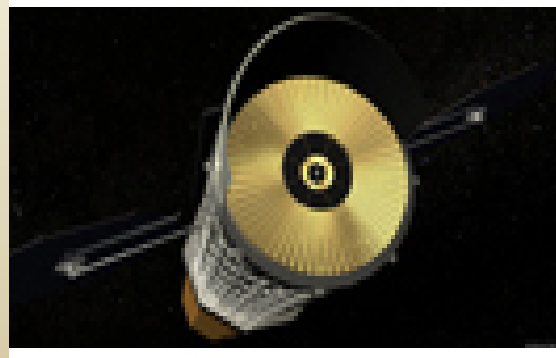


Concepto misión XEUS (2020?)



Concepto Constellation-X

Mayo 2008 → (ESA + NASA + JAXA) = IXO (now cancelled -?-)

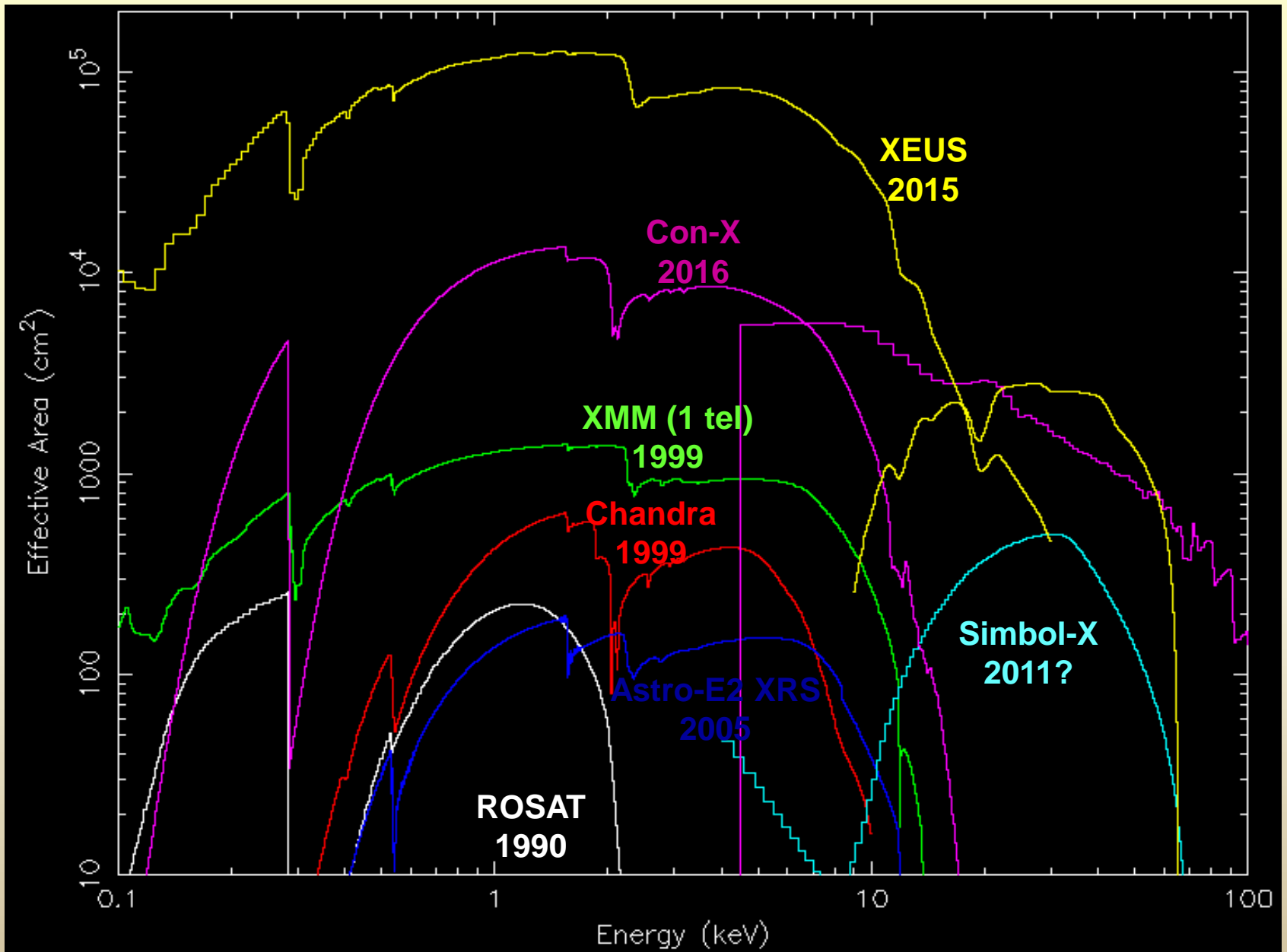


Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



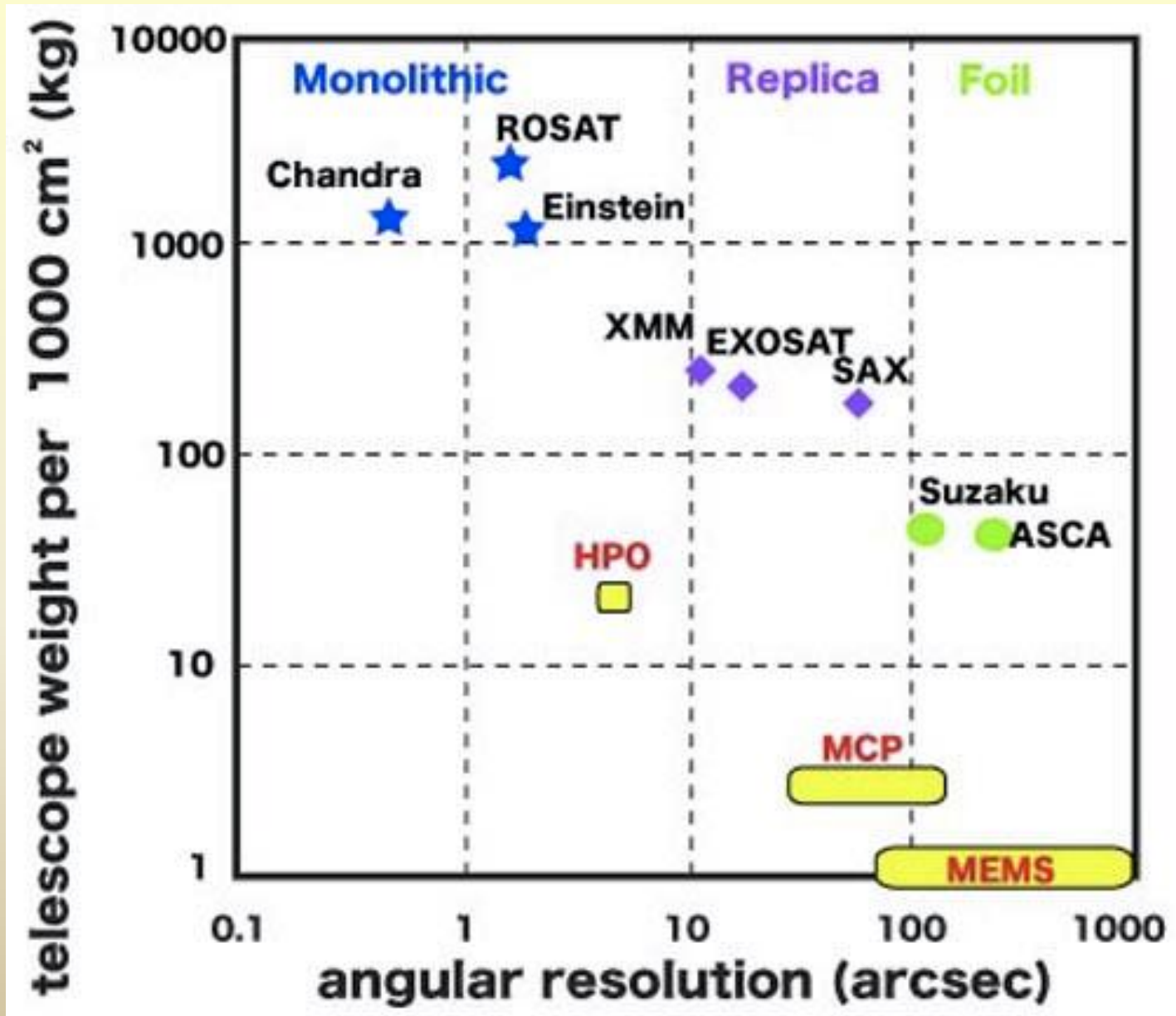
Telescopios de incidencia rasante: comparación





Telescopios de incidencia rasante: comparación

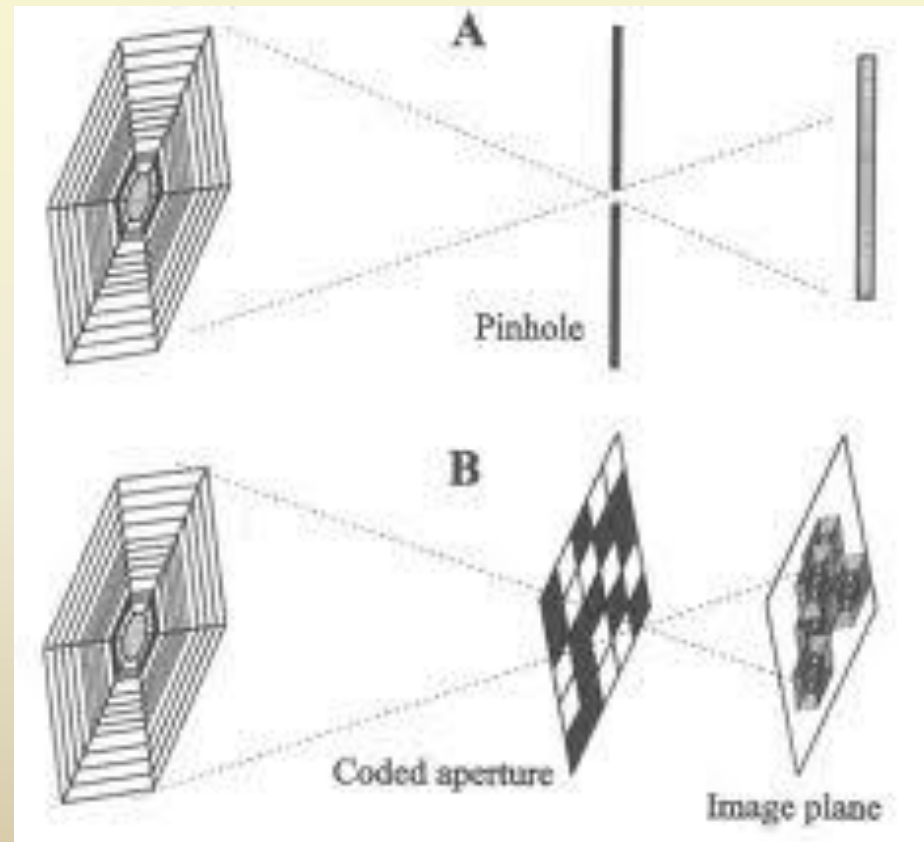
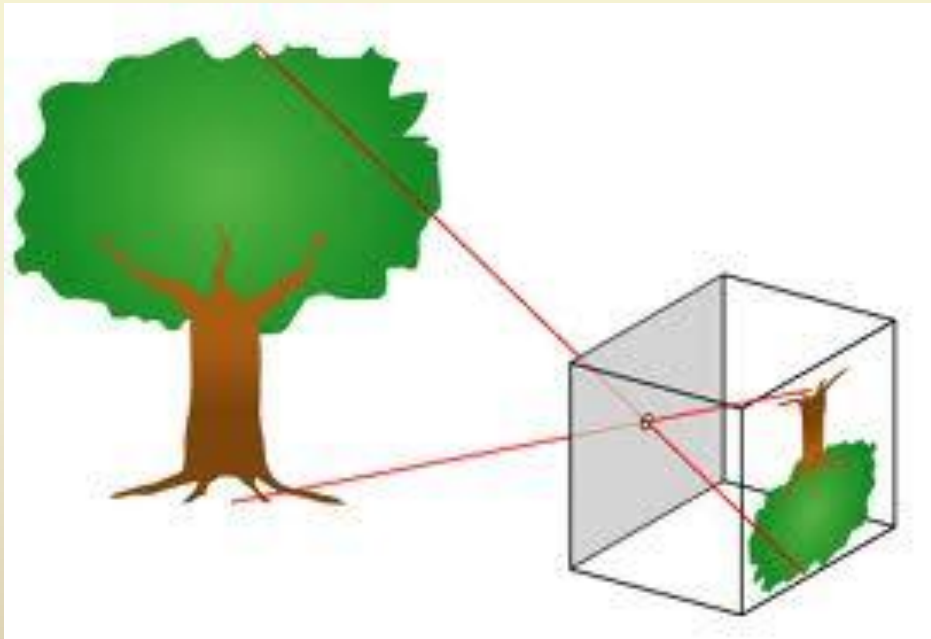
<http://spie.org/x8595.xml?ArticleID=x8595>





Máscaras codificadas

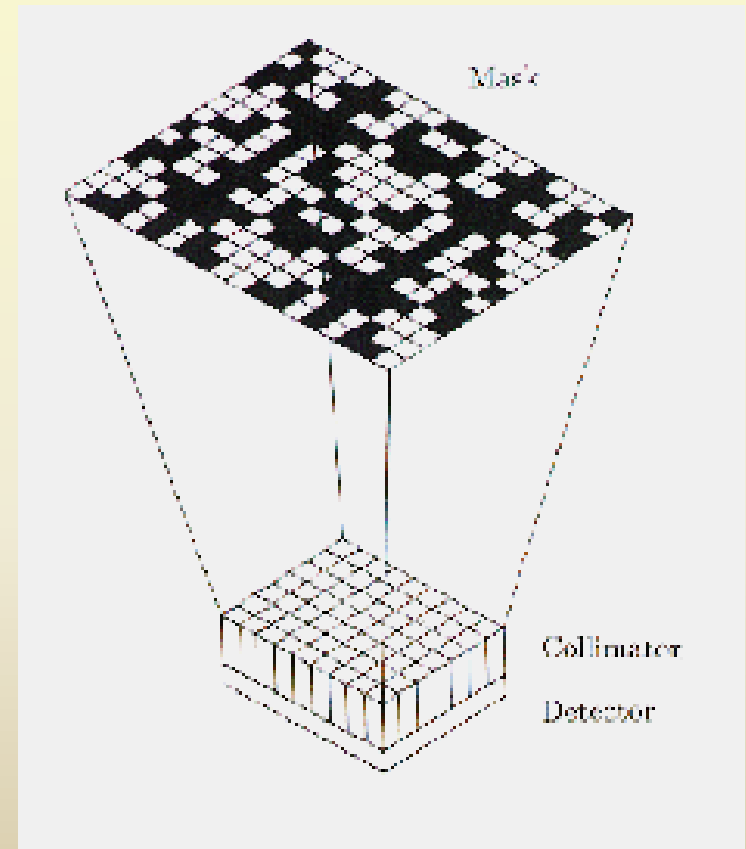
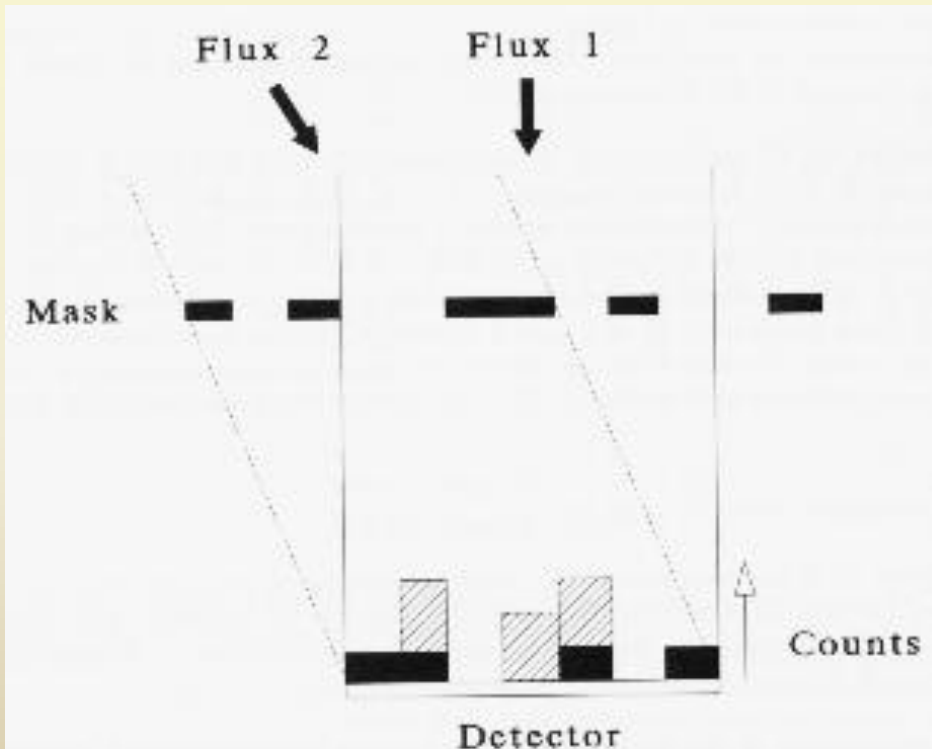
- Están basadas en el principio de la cámara oscura con un pequeño agujero, si bien se aumenta al máximo el área abierta para maximizar el área colectora.
- Precisas para energías > 10 keV.





Máscaras codificadas

- Están basadas en el principio de la cámara oscura con un pequeño agujero, si bien se aumenta al máximo el área abierta para maximizar el área colectora.
- Precisas para energías > 10 keV.



http://astrophysics.gsfc.nasa.gov/cai/coded_intr.html

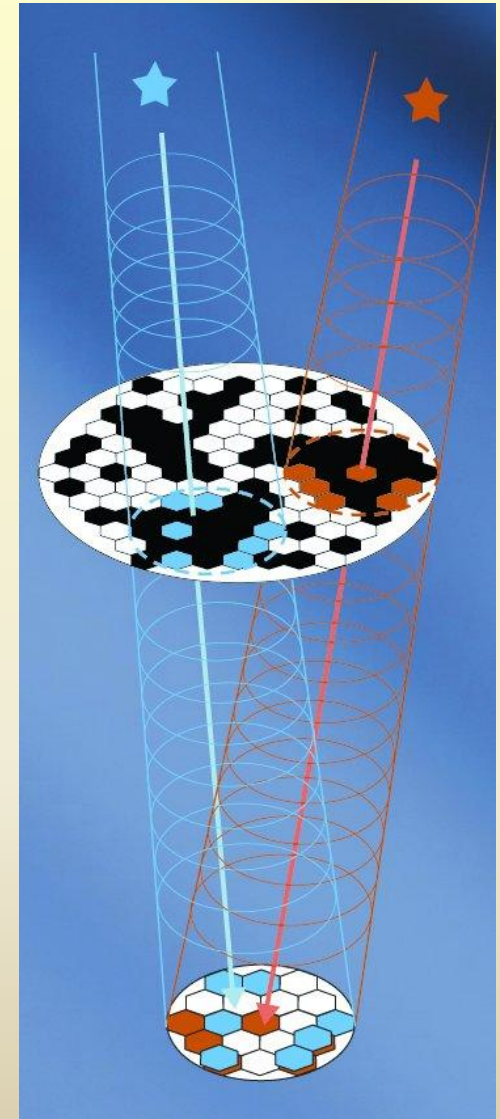
Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



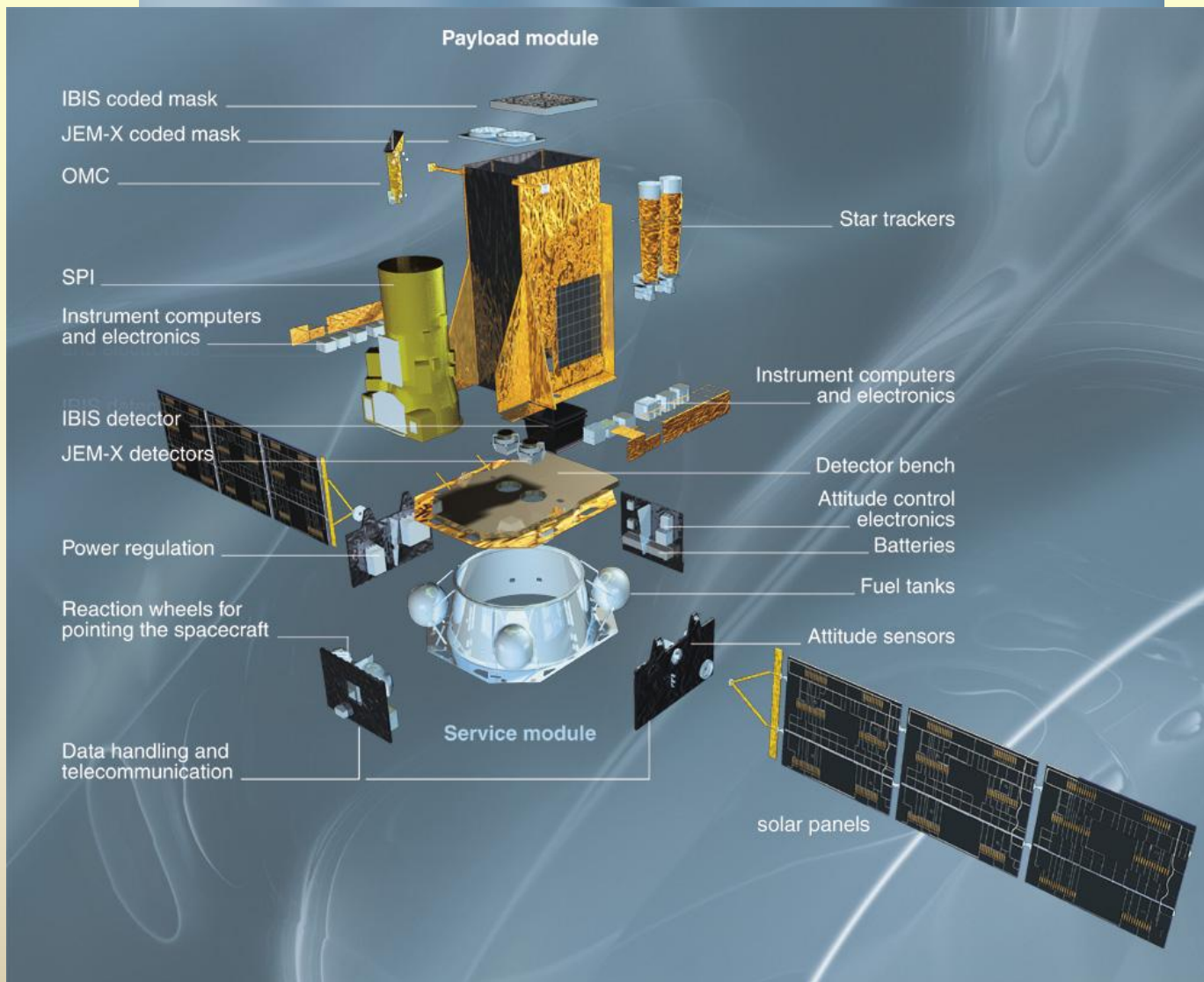
Máscaras codificadas

- Una fuente puntual produce un patrón de sombras conocido sobre el detector, en función de su ángulo de incidencia.
- Conociendo el patrón característico de la máscara, es posible reconstruir la posición de las fuentes a partir del diagrama de sombras total.
- Se puede alcanzar una resolución de $1'$ - $10'$.



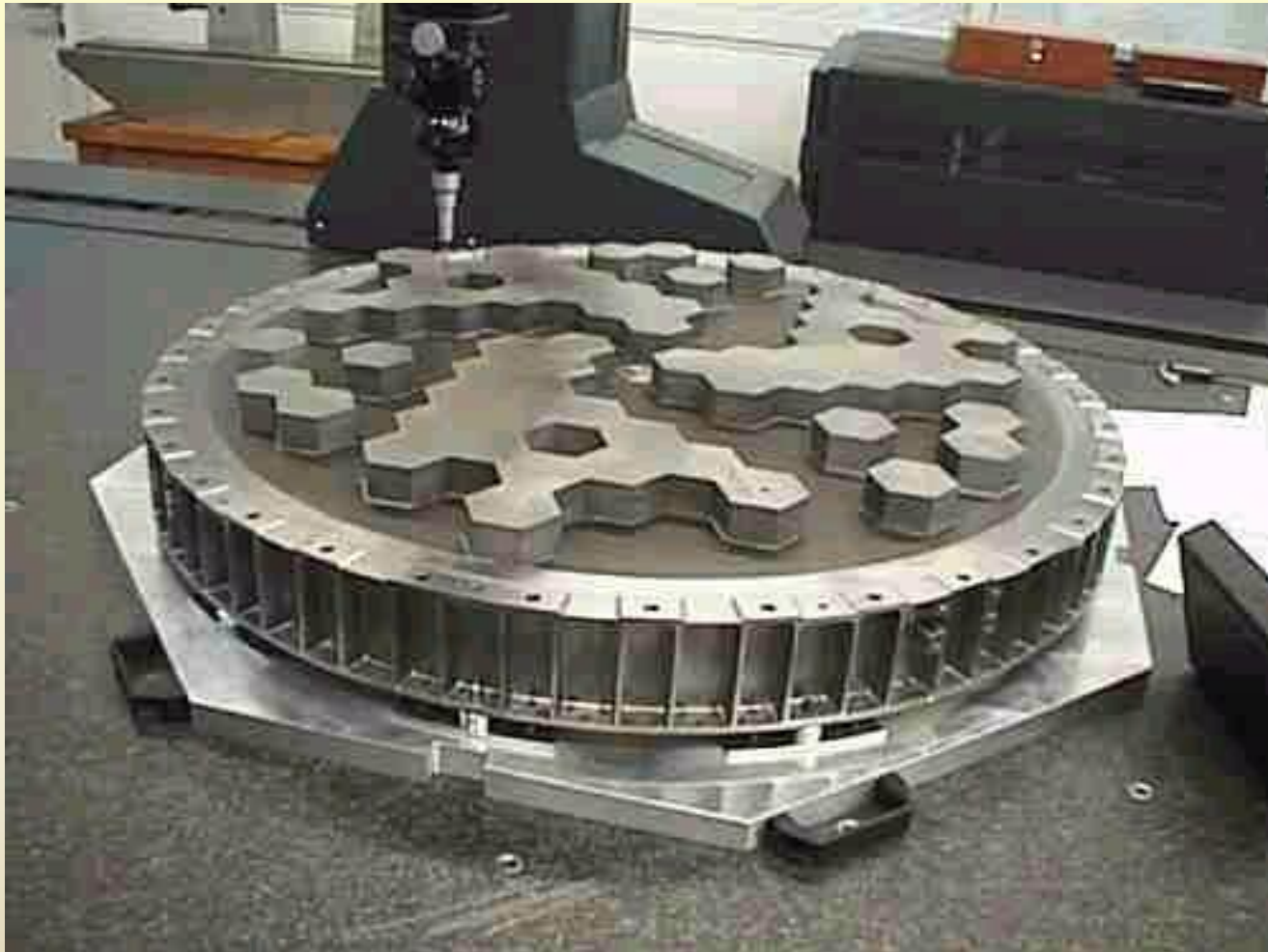


Máscaras codificadas: INTEGRAL





Máscaras codificadas: INTEGRAL



INTEGRAL: Máscara del espectrómetro SPI



Máscaras codificadas: INTEGRAL

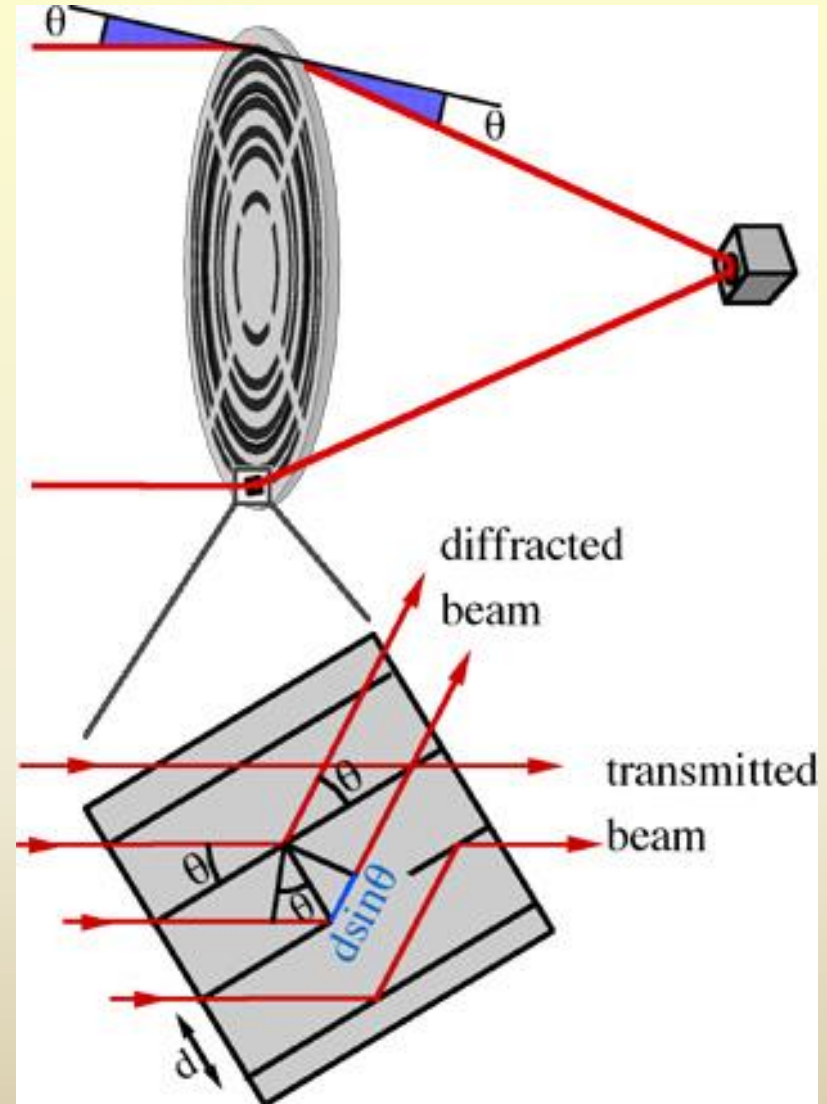


INTEGRAL: Máscara de la cámara de imagen IBIS



Lentes de Laue

- Están basadas en la difracción de Laue al atravesar un cristal con unas condiciones muy específicas.
- Ofrecen una gran área efectiva, al actuar como una lente colectora.
- La difracción depende de la longitud de onda: sólo se pueden diseñar para unas líneas de emisión específicas.

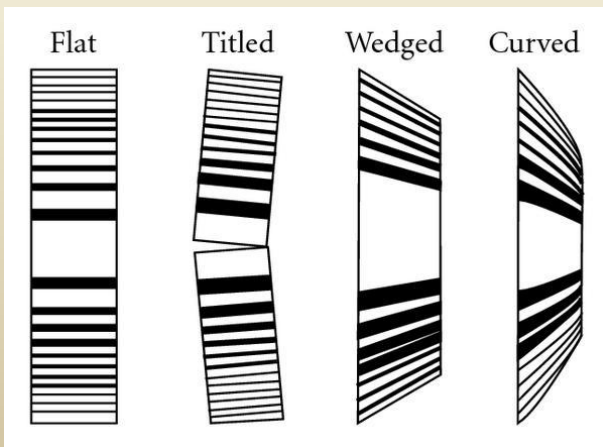
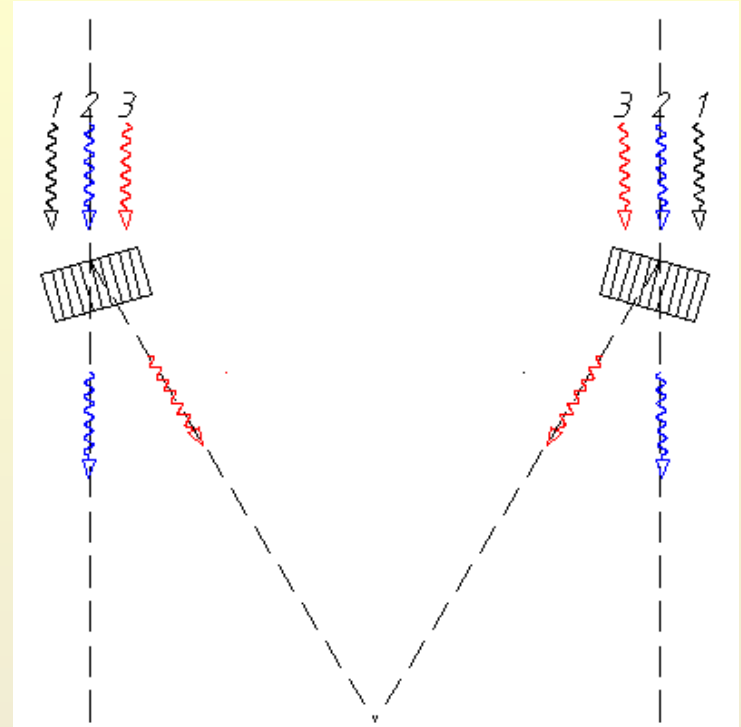




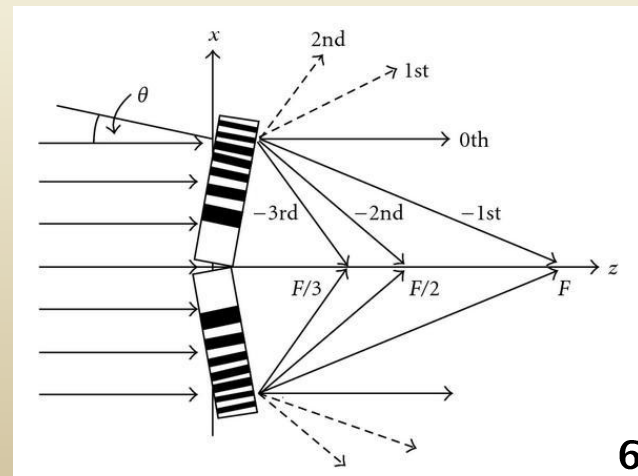
Lentes de Laue

<http://www.fe.infn.it/astro/en/glossary/laue lens.html>

Construyendo una lente de un cristal cuya estructura periódica tiene una escala comparable a la longitud de onda de los rayos-X que se quieren detectar se consigue. Estas lentes desvían los rayos un ángulo que depende de la longitud de onda y del tamaño de la red cristalina.

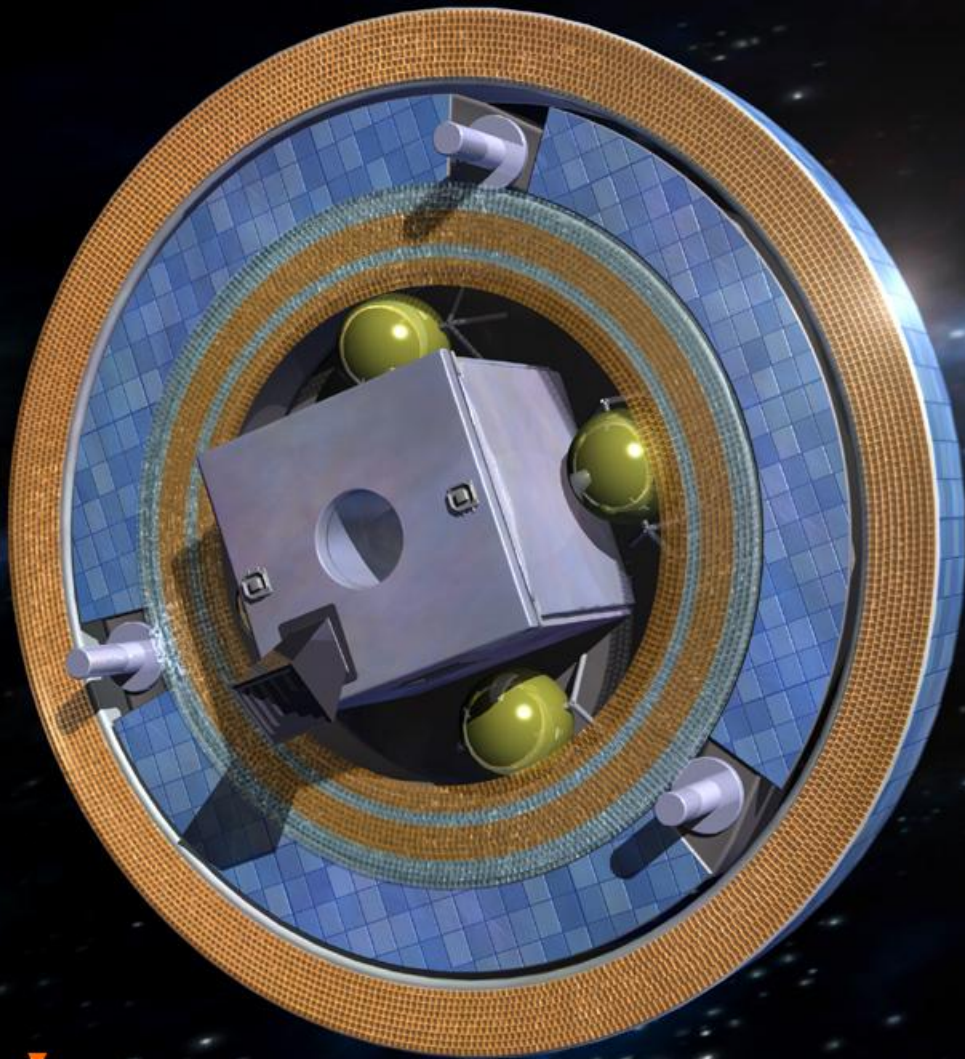


<http://www.hindawi.com/journals/xroi/2010/401854/>



Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



ALCATEL
SPACE
David Biau 2004



Detectores

- 0.1 – 10 keV: CCDs específicos para rayos X.
- > 10 keV: cámaras de gas o matrices bidimensionales de semiconductores (CdZ, CdZTe, CsI, Ge,.....)
- Calorímetros (Suzaku)
- > 1 MeV: detectores de efecto Compton...

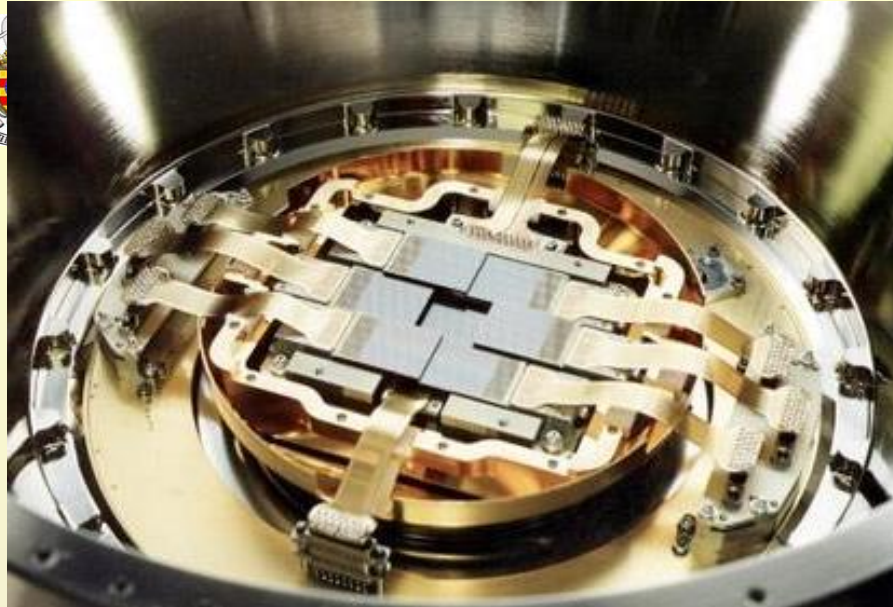


Detectores

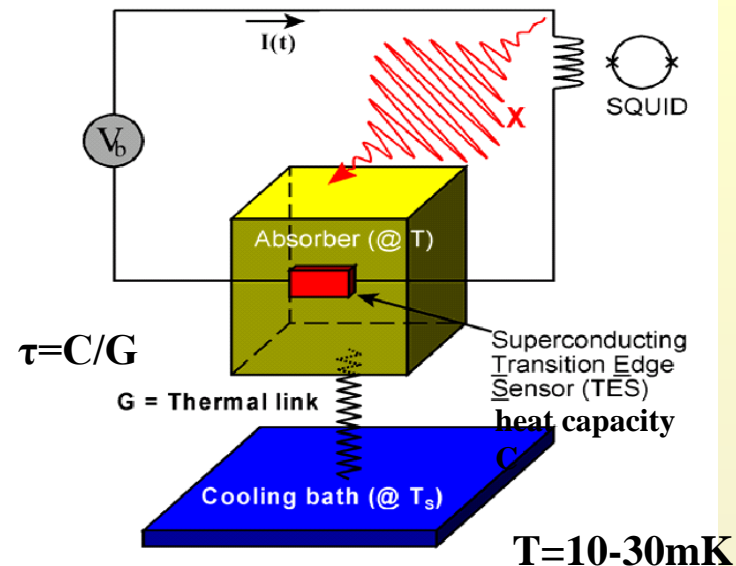
→ Una característica fundamental de los detectores de altas energías es que proporcionan simultáneamente para cada fotón incidente:

- Posición en el detector
- Energía
- Tiempo de llegada

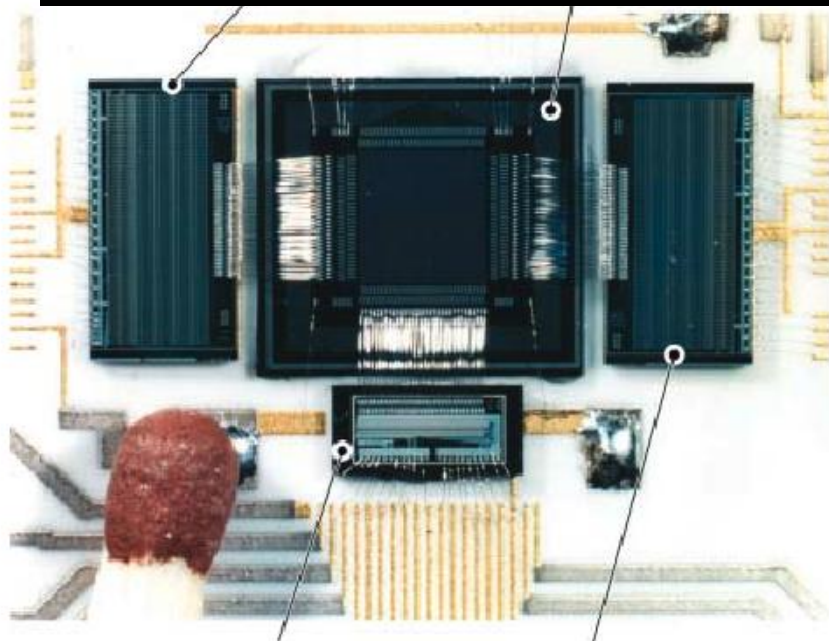
De esta manera se obtienen imágenes, espectros (de resolución baja) y curvas de luz.



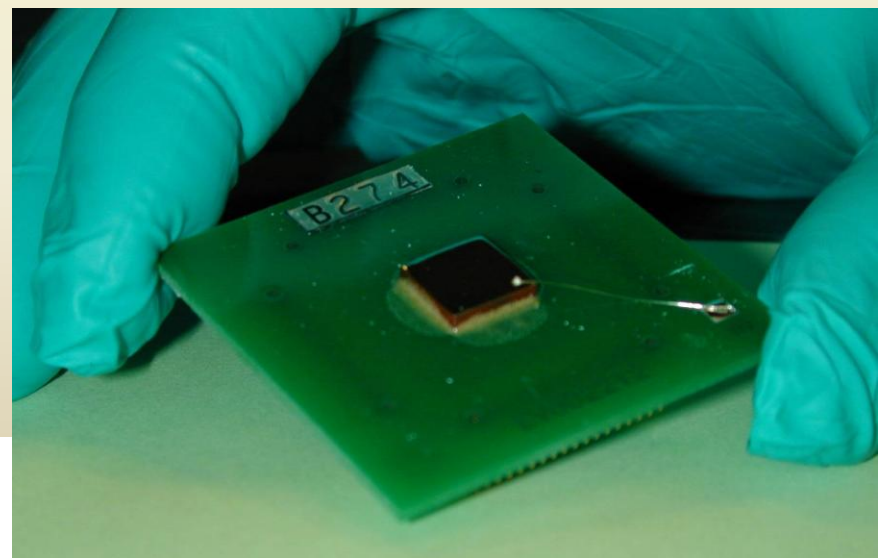
X-ray CCDs



TES-Calorimeters



DEPFET Active Pixel Array

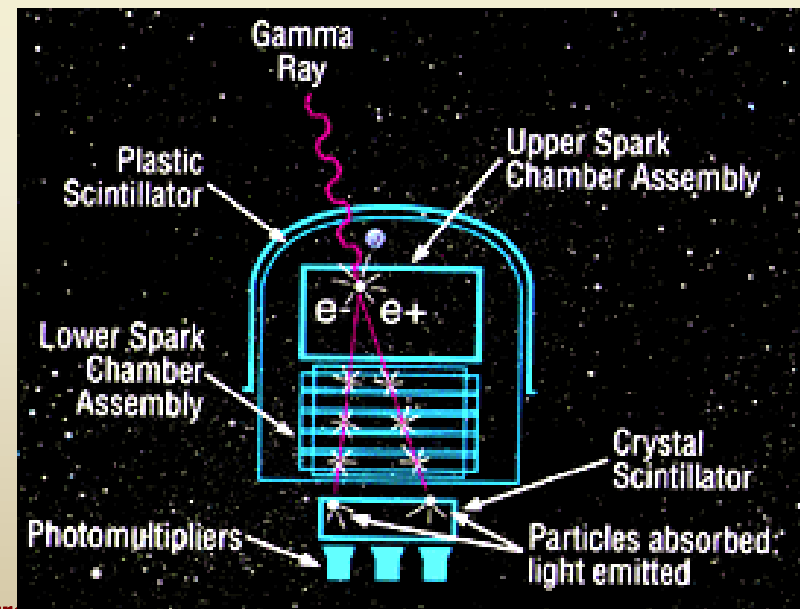
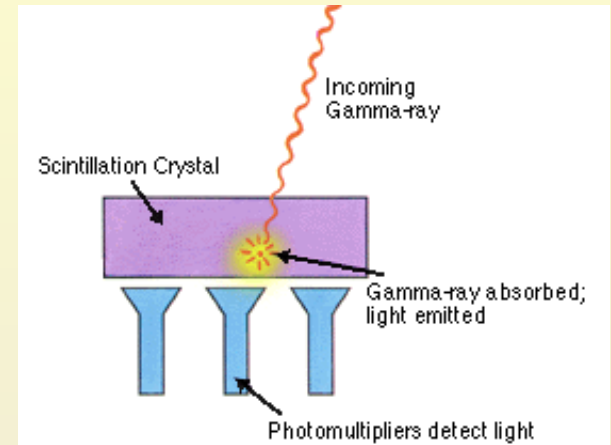


High Energy detectors (CdZ)



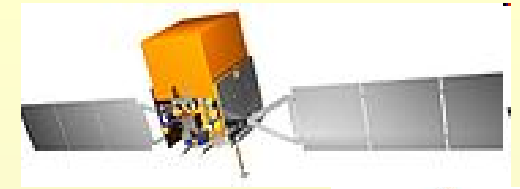
Astronomía de rayos Gamma

- 1912, Globo radiación penetrante fuera de la atmósfera
- 1932, Globo, Millikan RCs a diferentes alturas
- 1957, cohete, cinturones de Van Allen
- 1959, satélites en órbita
- 1977, Voyager 1 y 2
- 1975-1982 COS-B
 - RG ultraenergéticos
- 1991- 2000 Compton GRO
 - GRBs
 - Remanentes de SN
 - Halo MW en gamma
- 2002, **INTEGRAL** (ESA, Rusia, USA)
 - 2 años, 15 KeV - 10 MeV
 - Espectrómetro de Ge
 - Cámara con array de CdTe
 - 9x9 deg FOV, resolución 12 arcmin
 - Monitores X y óptico

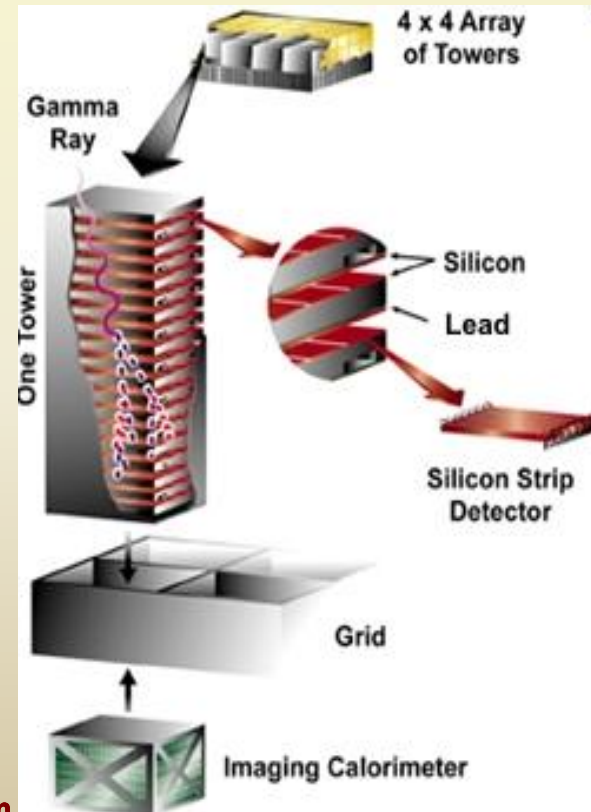
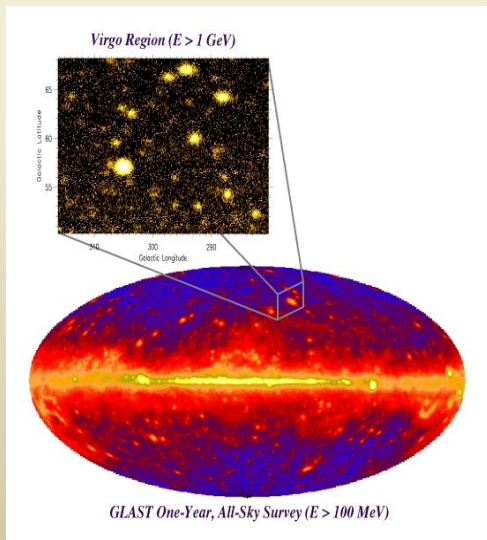




Astronomía de rayos γ



- 11/06/2008, **Fermi** Gamma-ray Space Telescope (USA+países europeos)
- Anteriormente conocido como GLAST
 - LAT Large Area Telescope, 30 MeV - 300 GeV, $\frac{1}{4}$ cielo FOV
 - GBM GR Burst Monitor, 150keV - 30MeV
- All-sky survey
- modo patrulla de todo el cielo
- 5 años, extensible a 10
- Detectó el primer púlsar observado solo en rayos gamma



LAT

Instrumentación

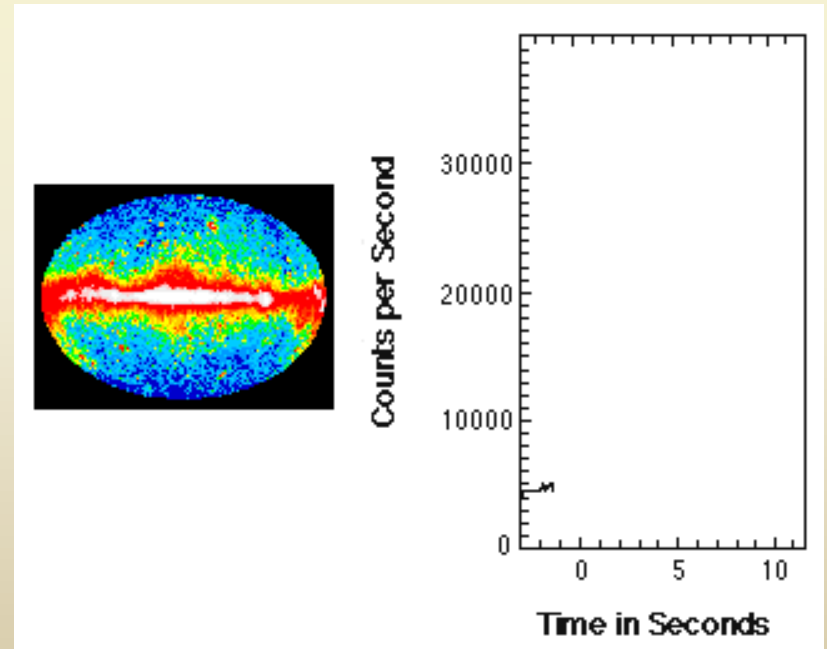
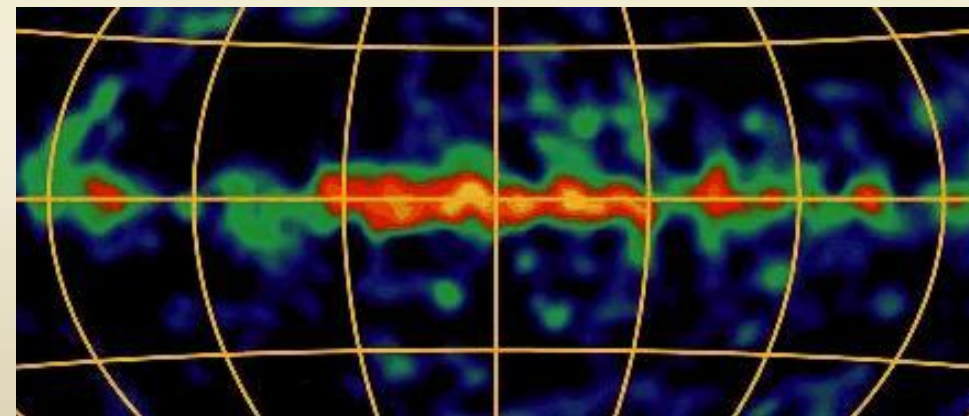
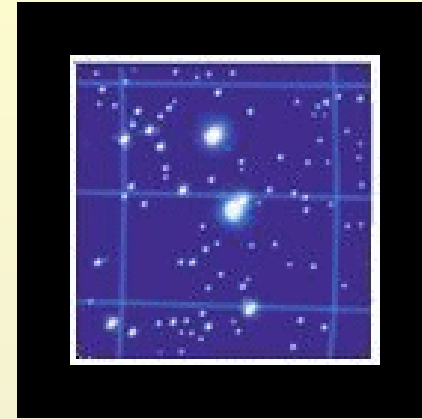
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



Astronomía de rayos γ

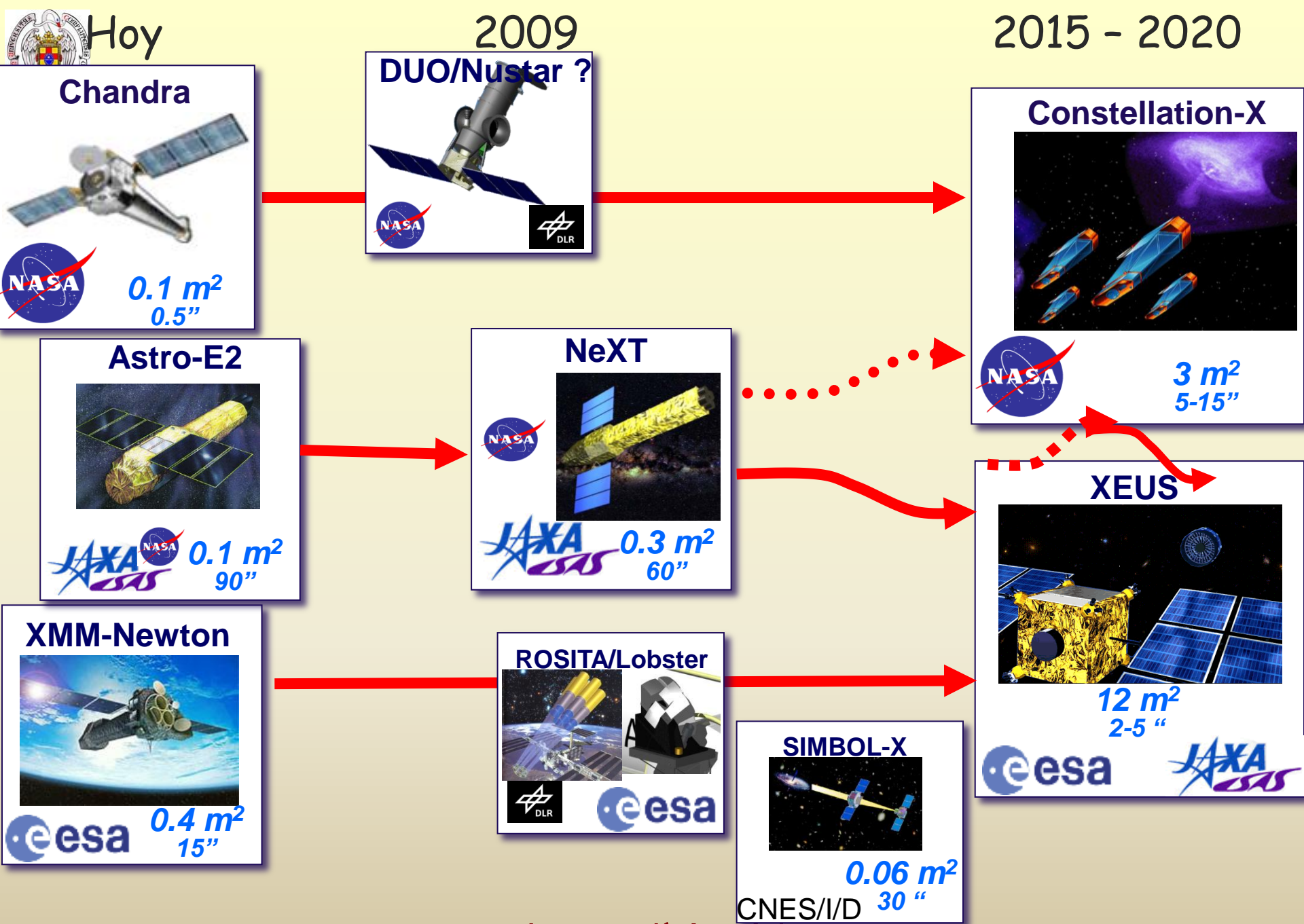
- Objetos compactos
- AGN, Seyfert, cuasares
- SN, novas
- Centro galáctico
- Gamma Ray Bursts





Misiones futuras de altas energías

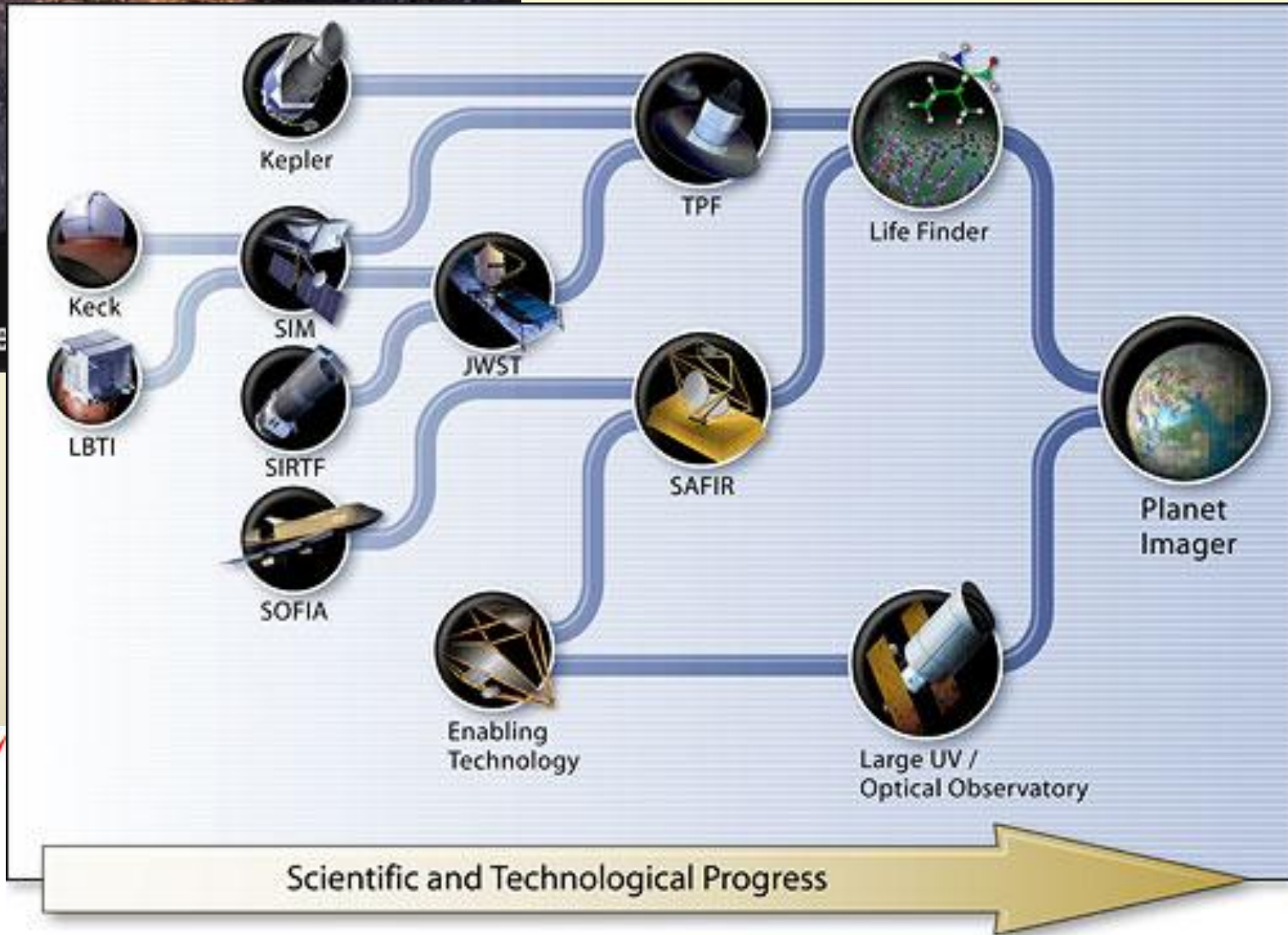
- Tanto NASA, como ESA como otras agencias espaciales tienen planes ambiciosos para poner en órbita observatorios de altas energías muy sofisticados en los próximos 15 años.
- Por desgracia, la situación financiera puede hacer que varias de estas misiones no lleguen a lanzarse nunca.....



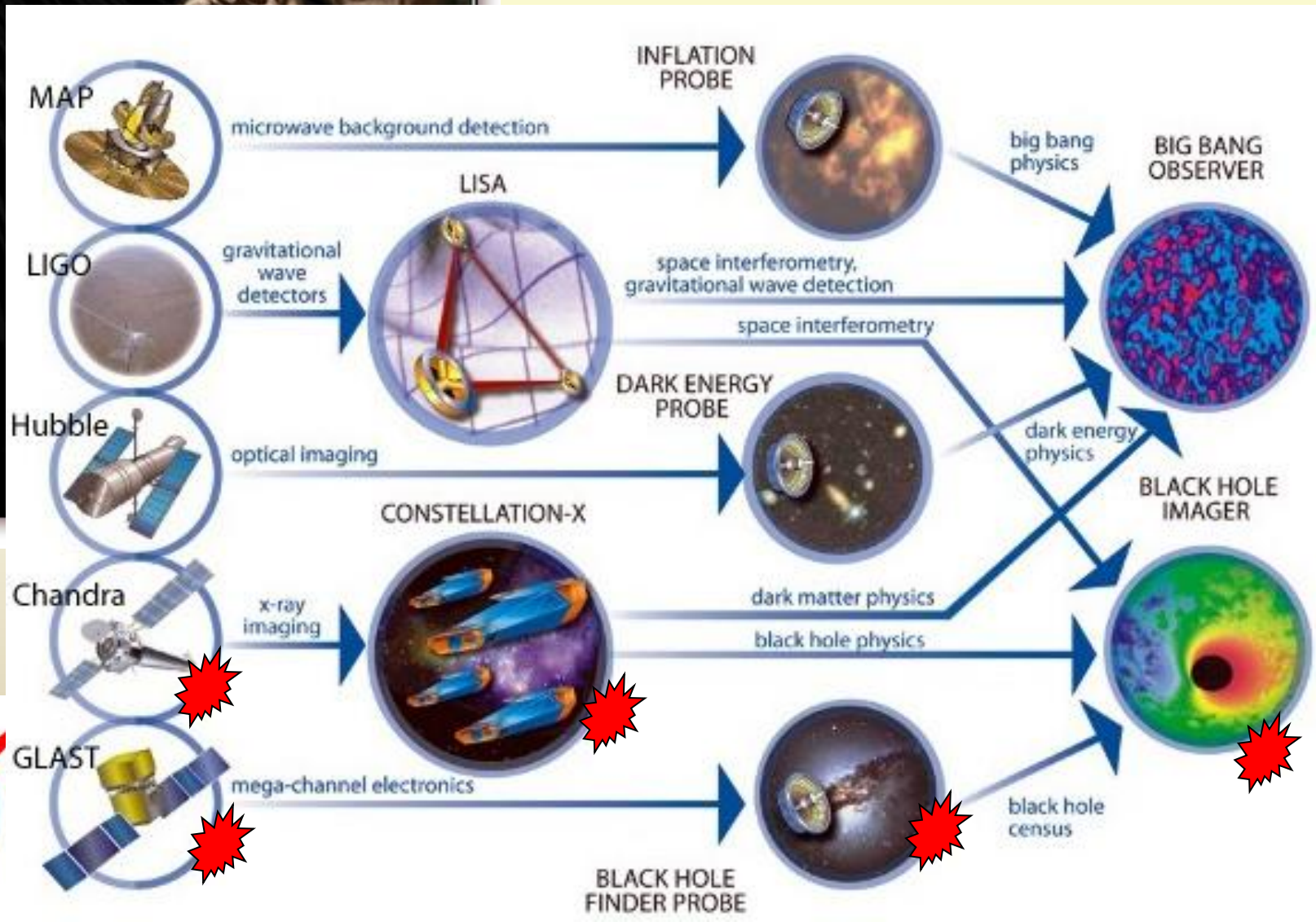
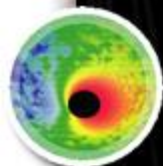
Where did we come from?

Origins Program

Are we alone?



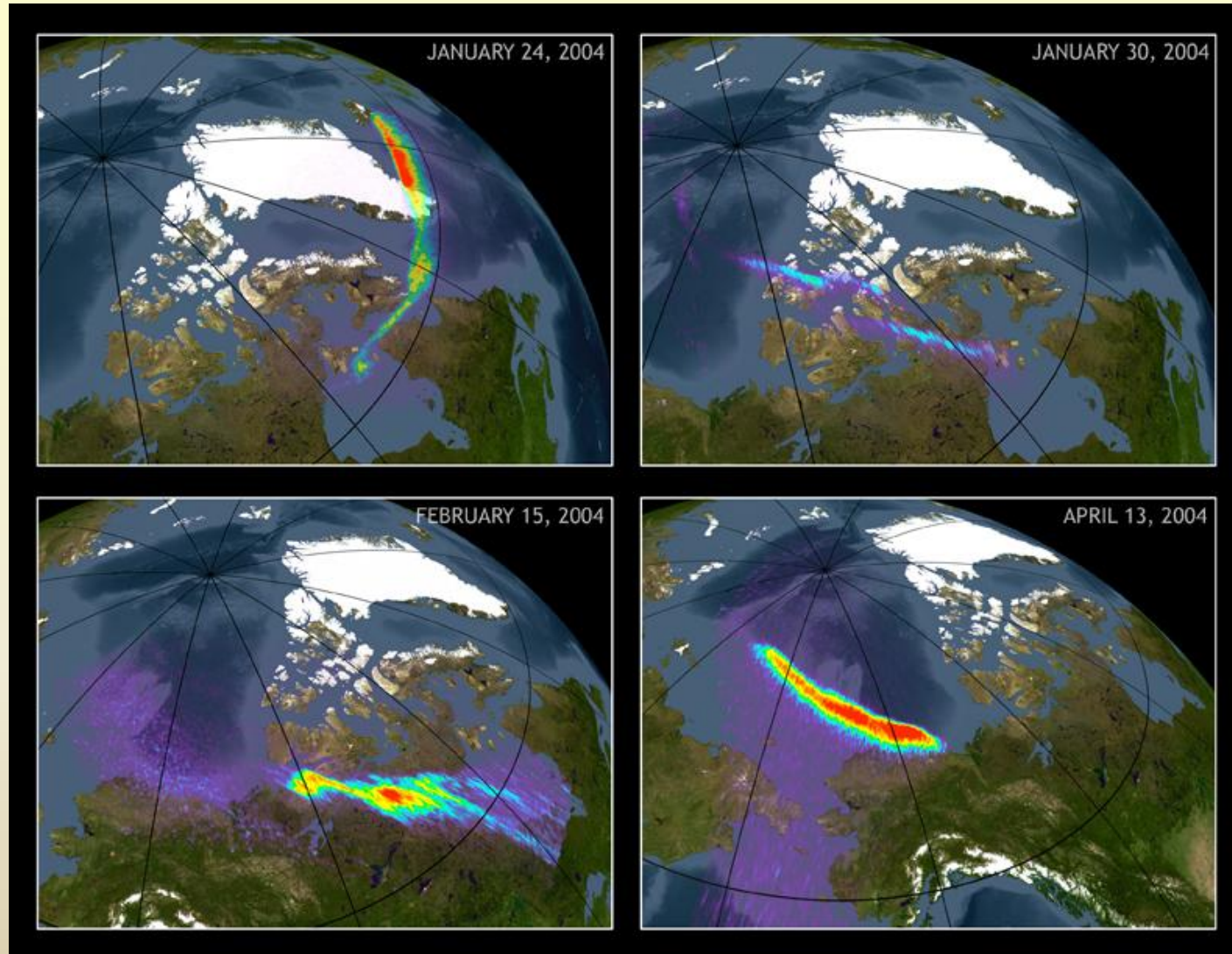
Beyond Einstein Program





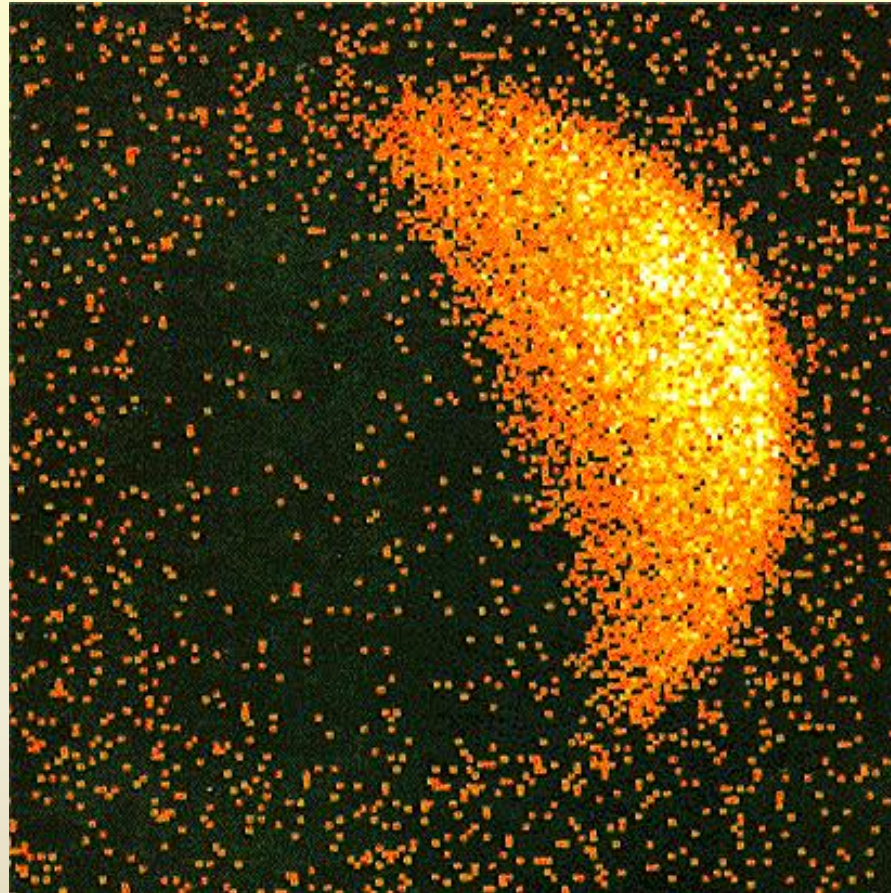
El Universo de Altas Energías: la Tierra

Auroras boreales vistas por Chandra





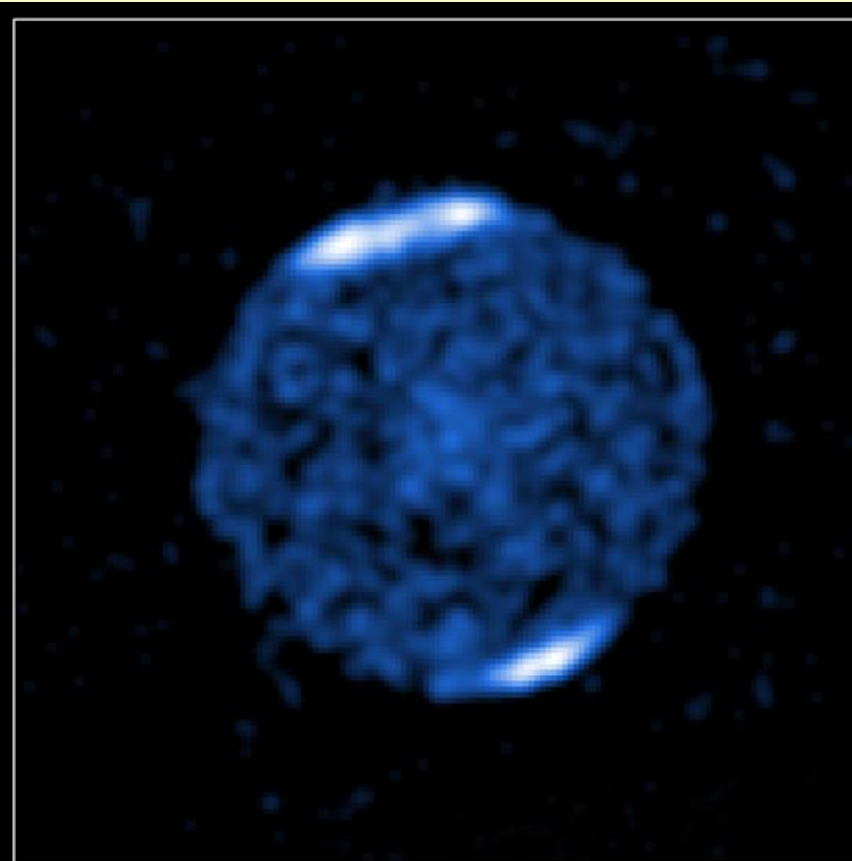
El Universo de Altas Energías: la Luna



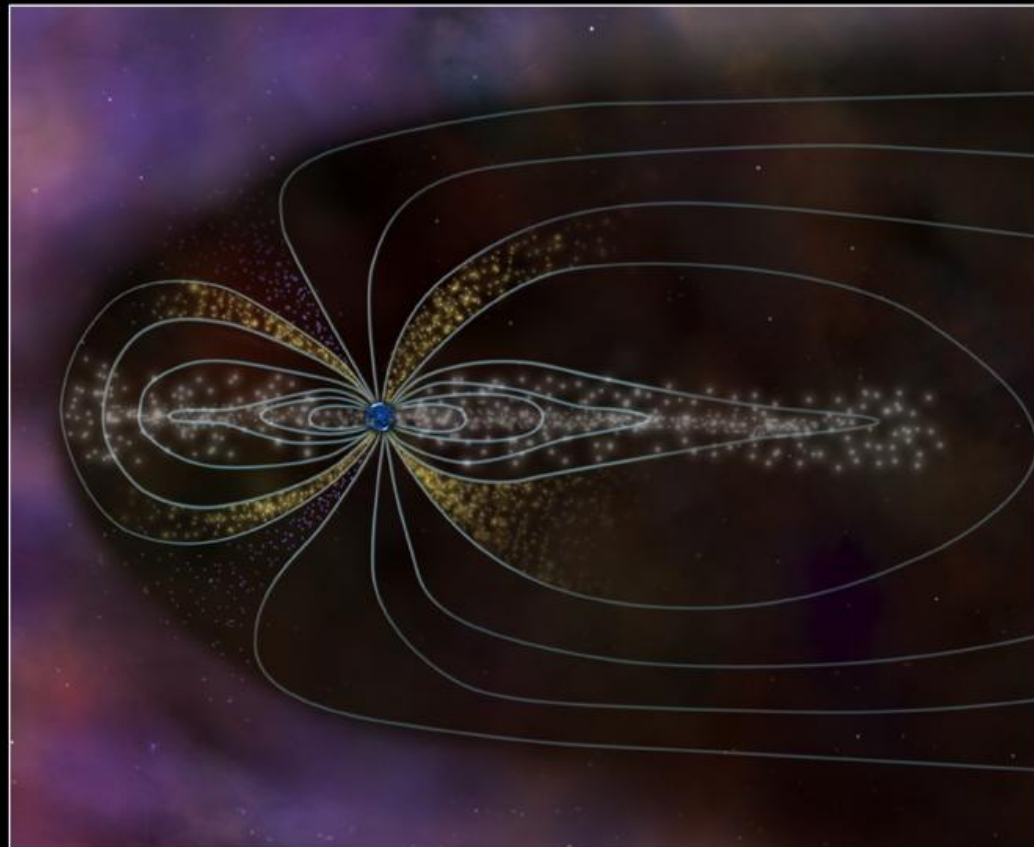
La Luna vista por ROSAT



El Universo de Altas Energías: Júpiter



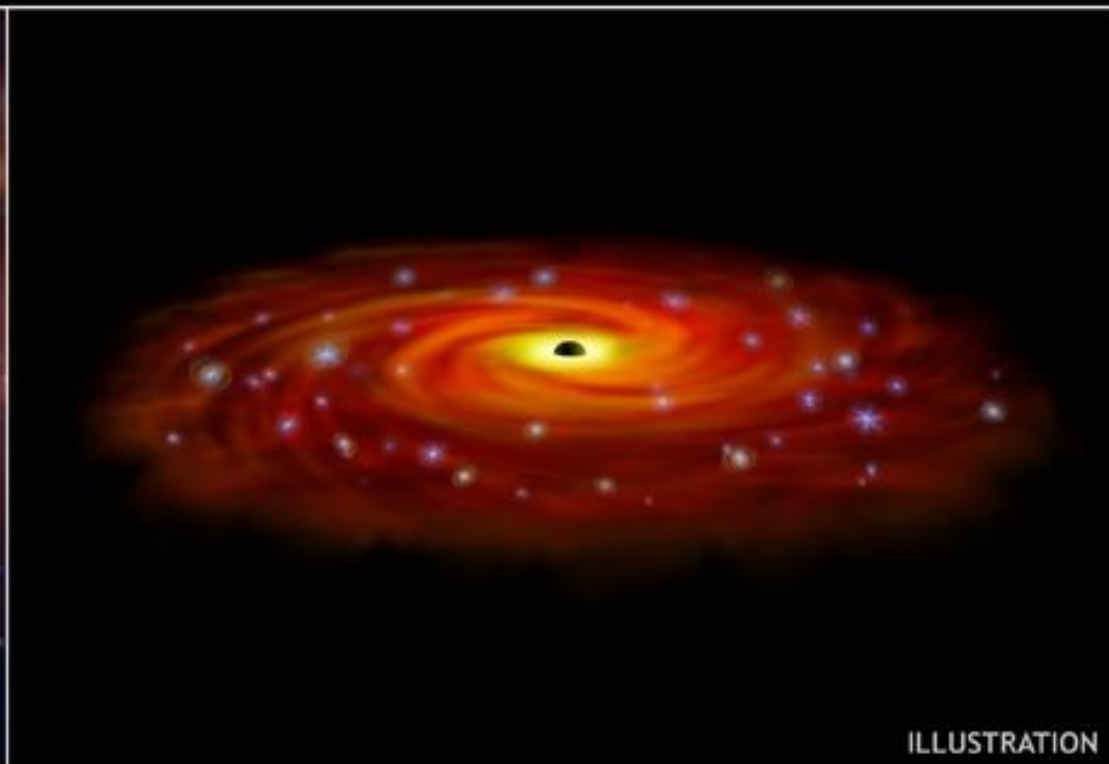
CHANDRA X-RAY OF JUPITER



ILLUSTRATION



El Universo de Altas Energías: Sgr A*

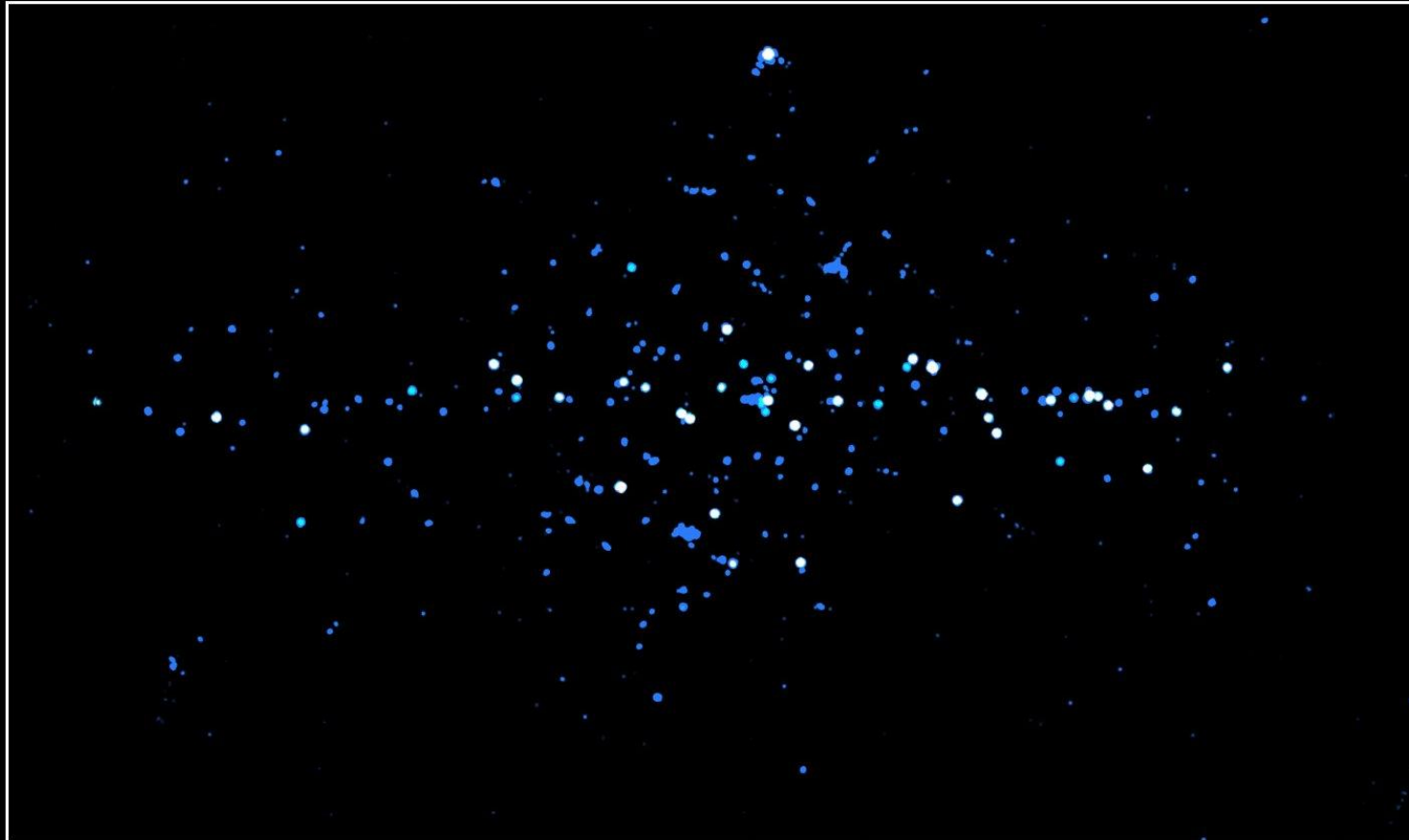


El centro de nuestra Galaxia visto por Chandra



El Universo de Altas Energías: el Centro Galáctico

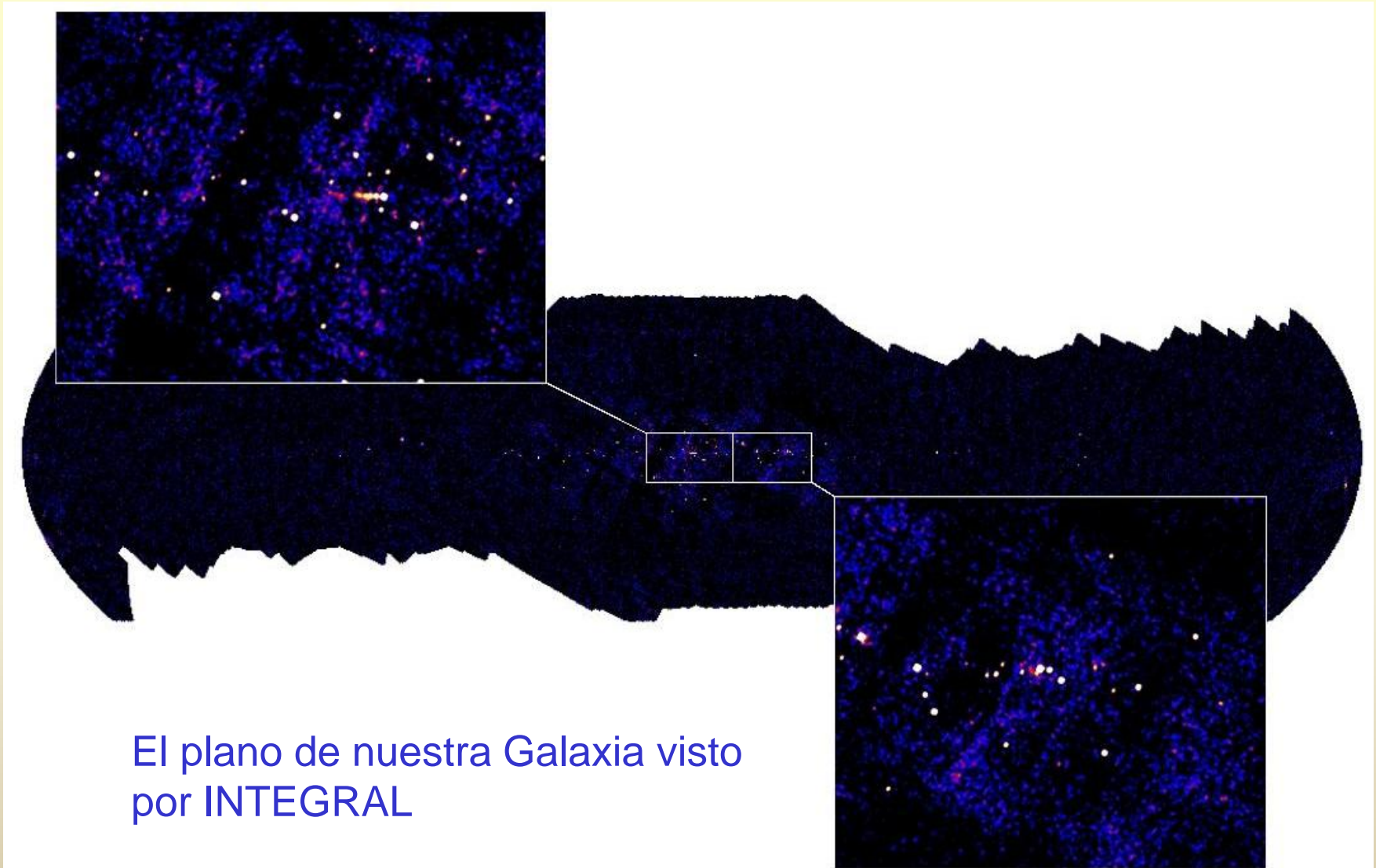
INTEGRAL



El centro de nuestra Galaxia visto por INTEGRAL



El Universo de Altas Energías: el Plano Galáctico

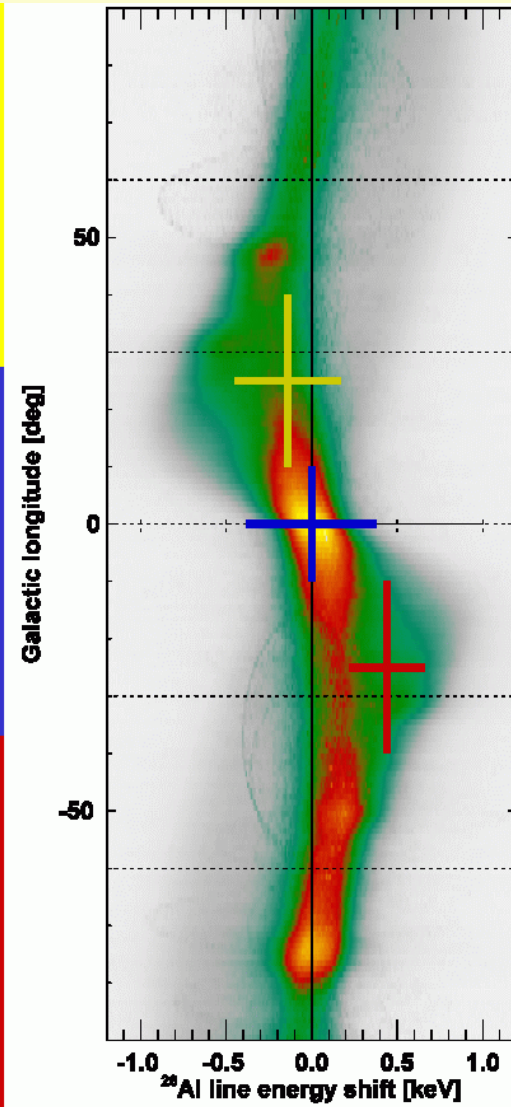
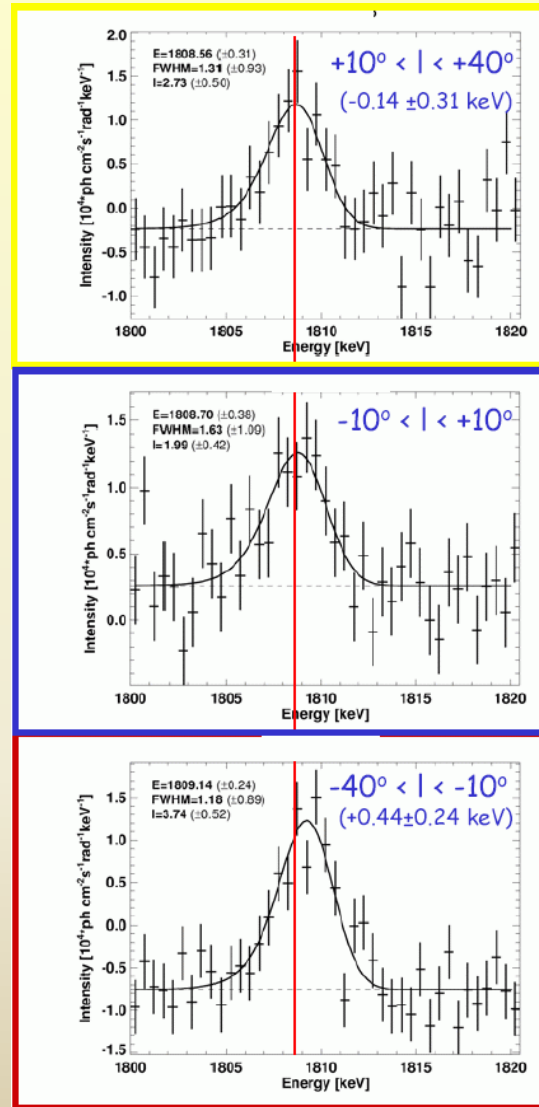


El plano de nuestra Galaxia visto por INTEGRAL



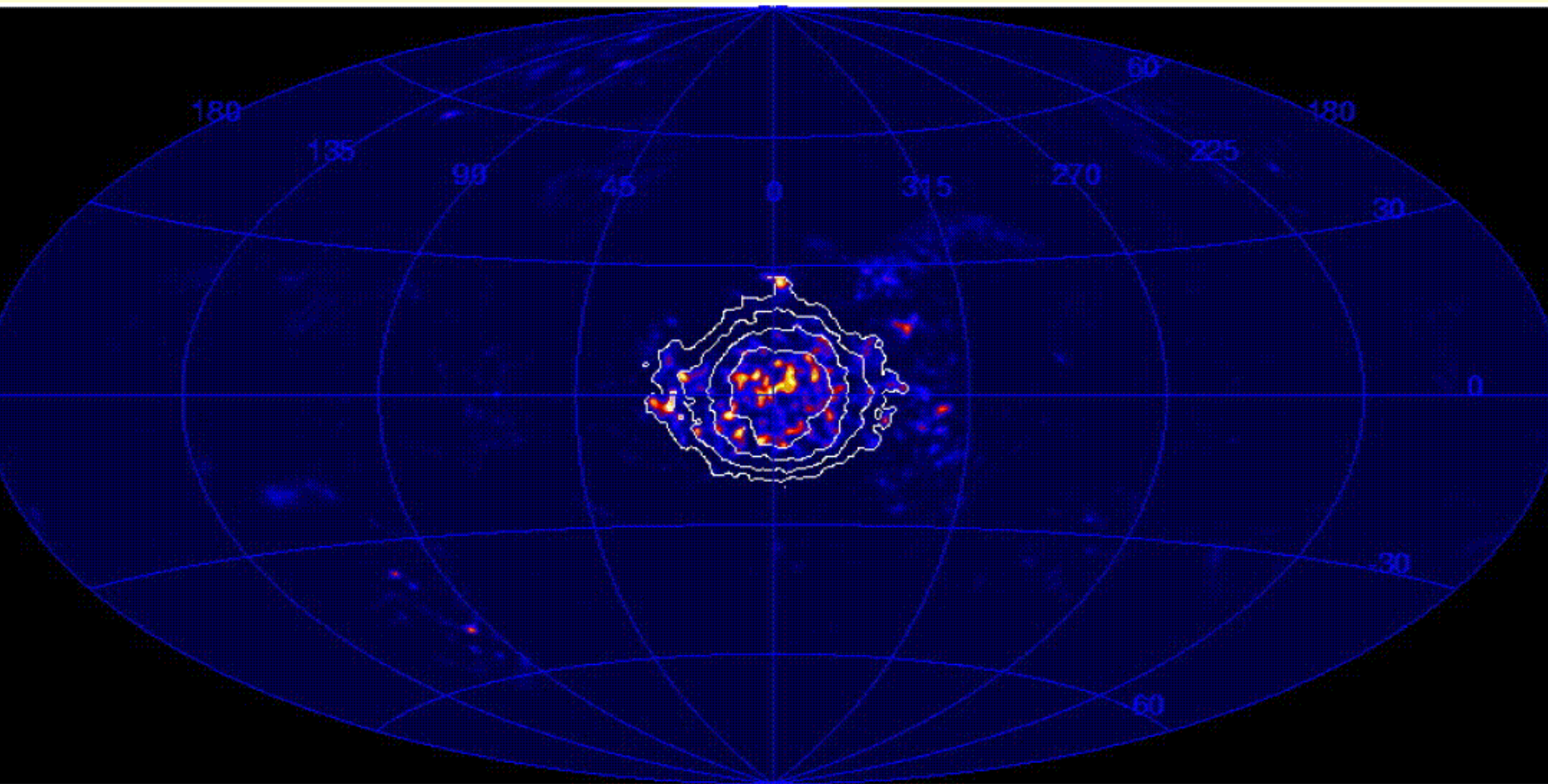
Universo de Altas Energías: elementos radiactivos

Curva de rotación de la Galaxia
medida a partir de la emisión a
1,809 MeV (INTEGRAL)





Universo de Altas Energías: la antimateria

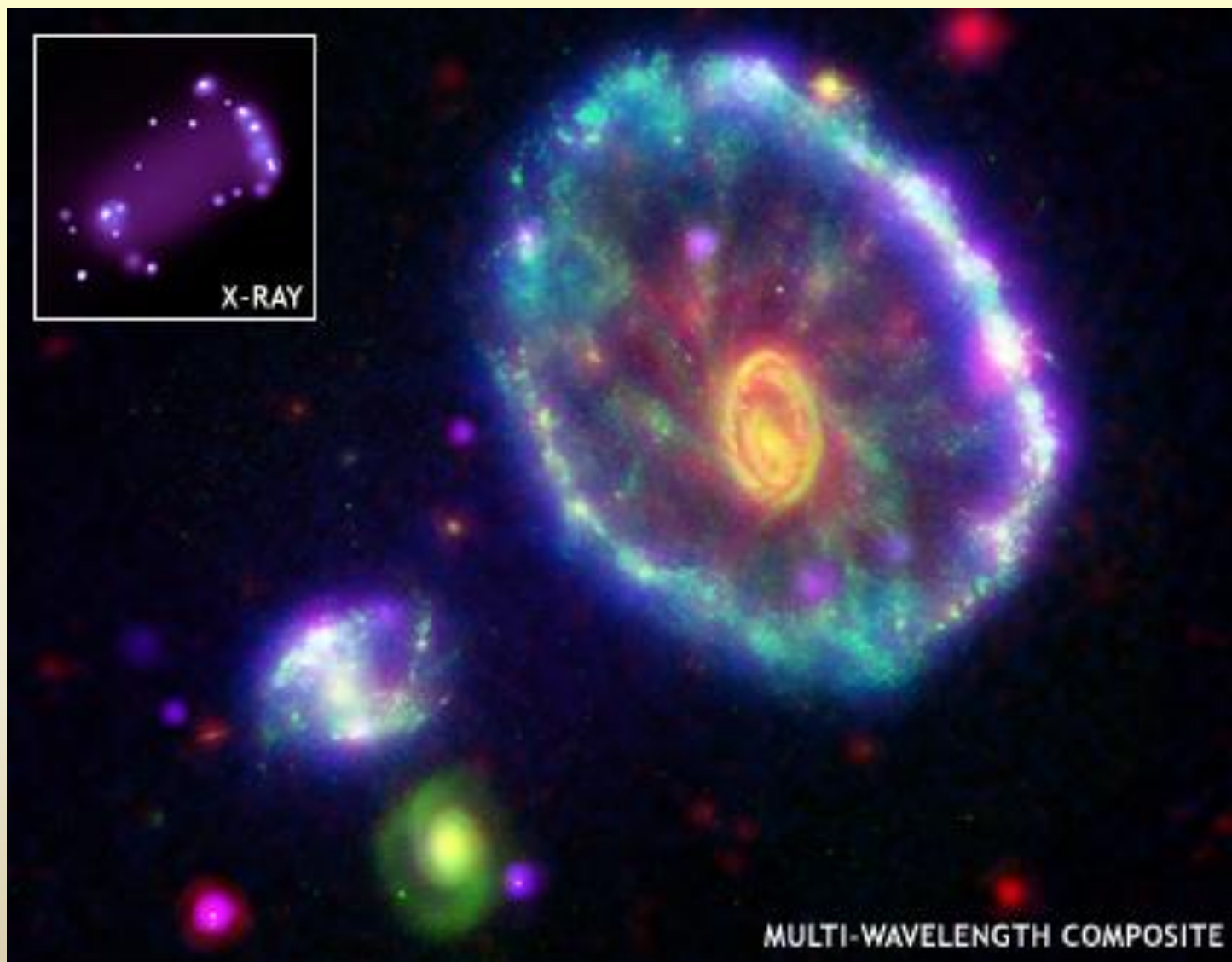


Emisión a 511 keV producida por la aniquilación de e^- y e^+ en la región del Centro Galáctico (INTEGRAL)



El Universo de Altas Energías: formación estelar

Regiones de formación estelar en otras galaxias





El Universo de Altas Energías: vientos galácticos

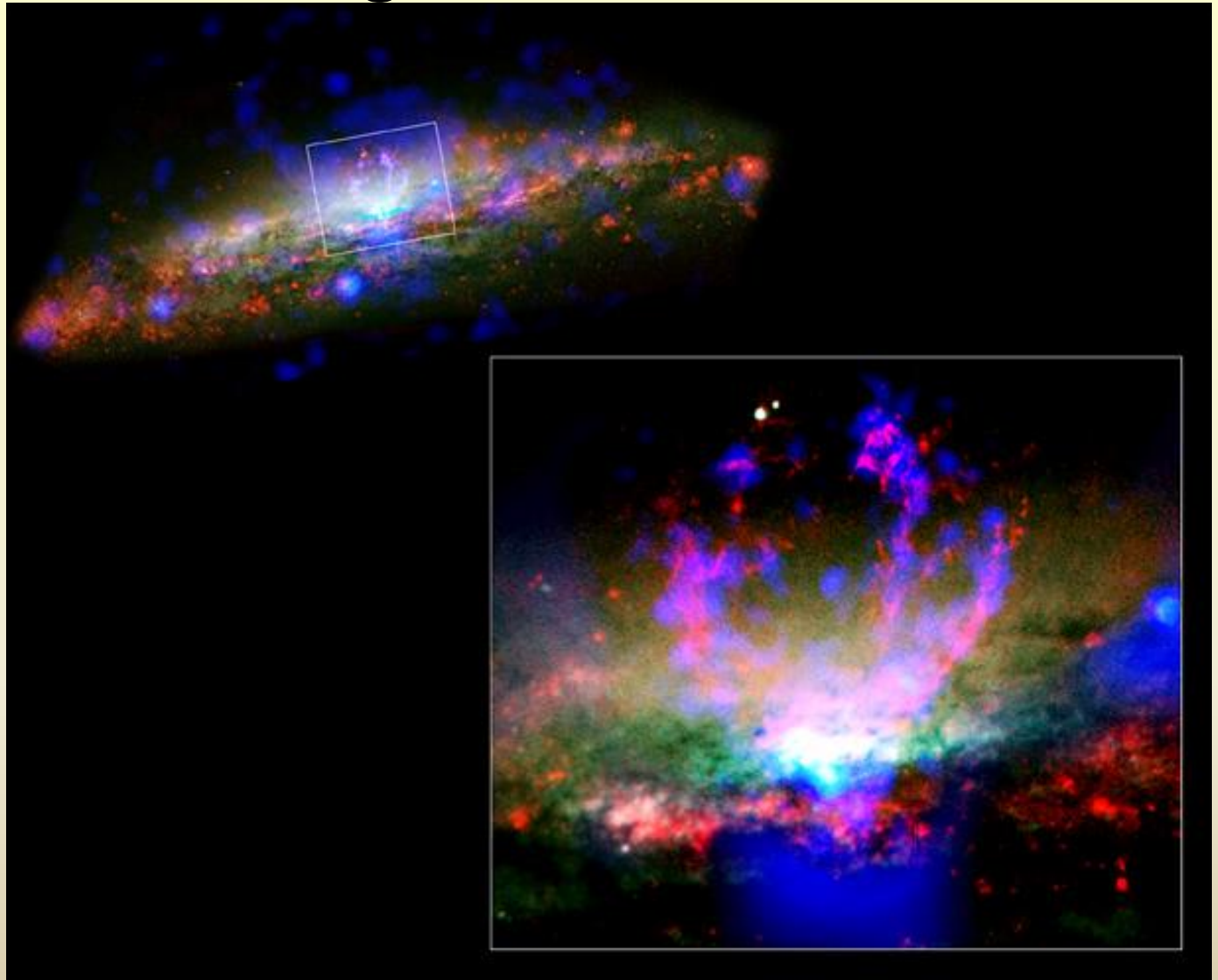
Chorros de gas
en M82.
 $T \sim 10^6$ K (azul)





El Universo de Altas Energías: vientos galácticos

NGC 3079





El Universo de Altas Energías: cúmulos de galaxias

Buller cluster

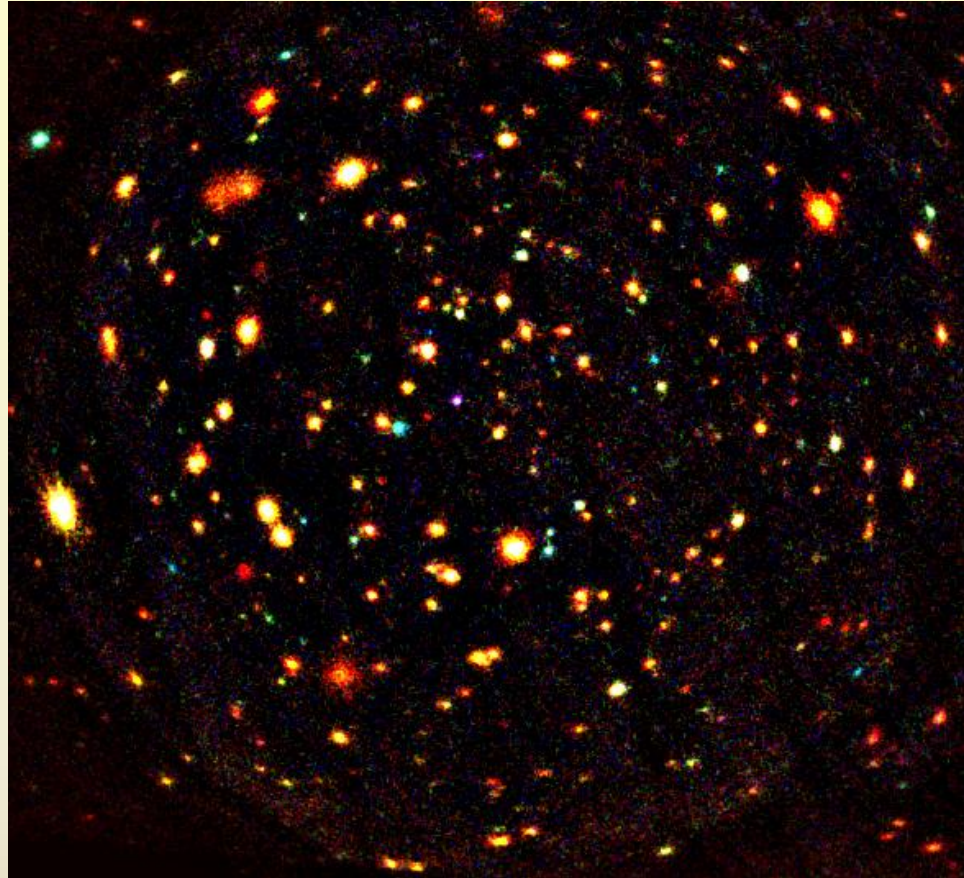




El Universo de Altas Energías: mirando al pasado



Hubble ACS Ultradeep Field



XMM-Newton 1 Msec Field



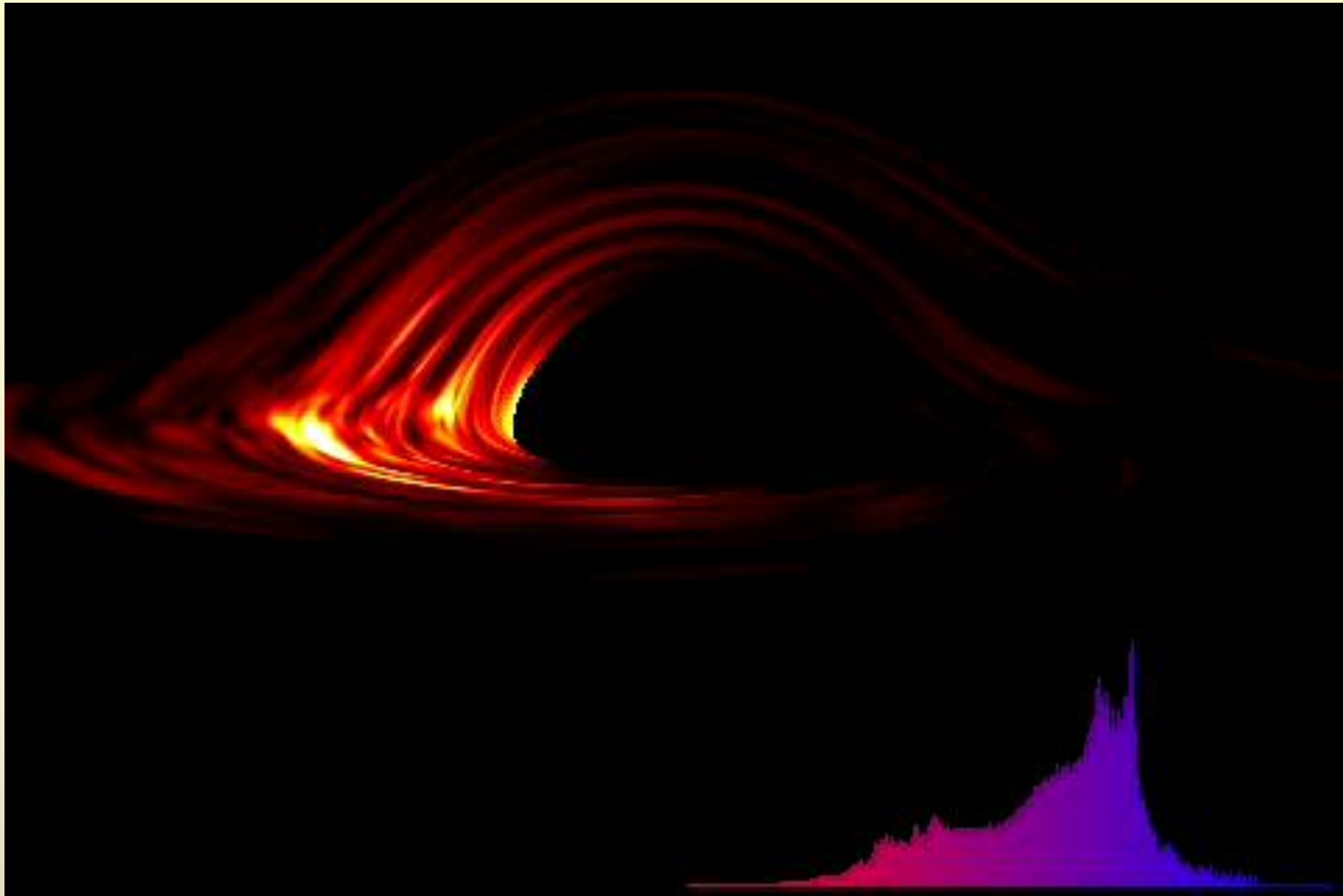
El Universo de Altas Energías: efectos relativistas

- Las observaciones en rayos X han permitido identificar la distorsión relativista de algunas líneas de emisión producidas en material próximo al agujero negro de algunas galaxias activas.





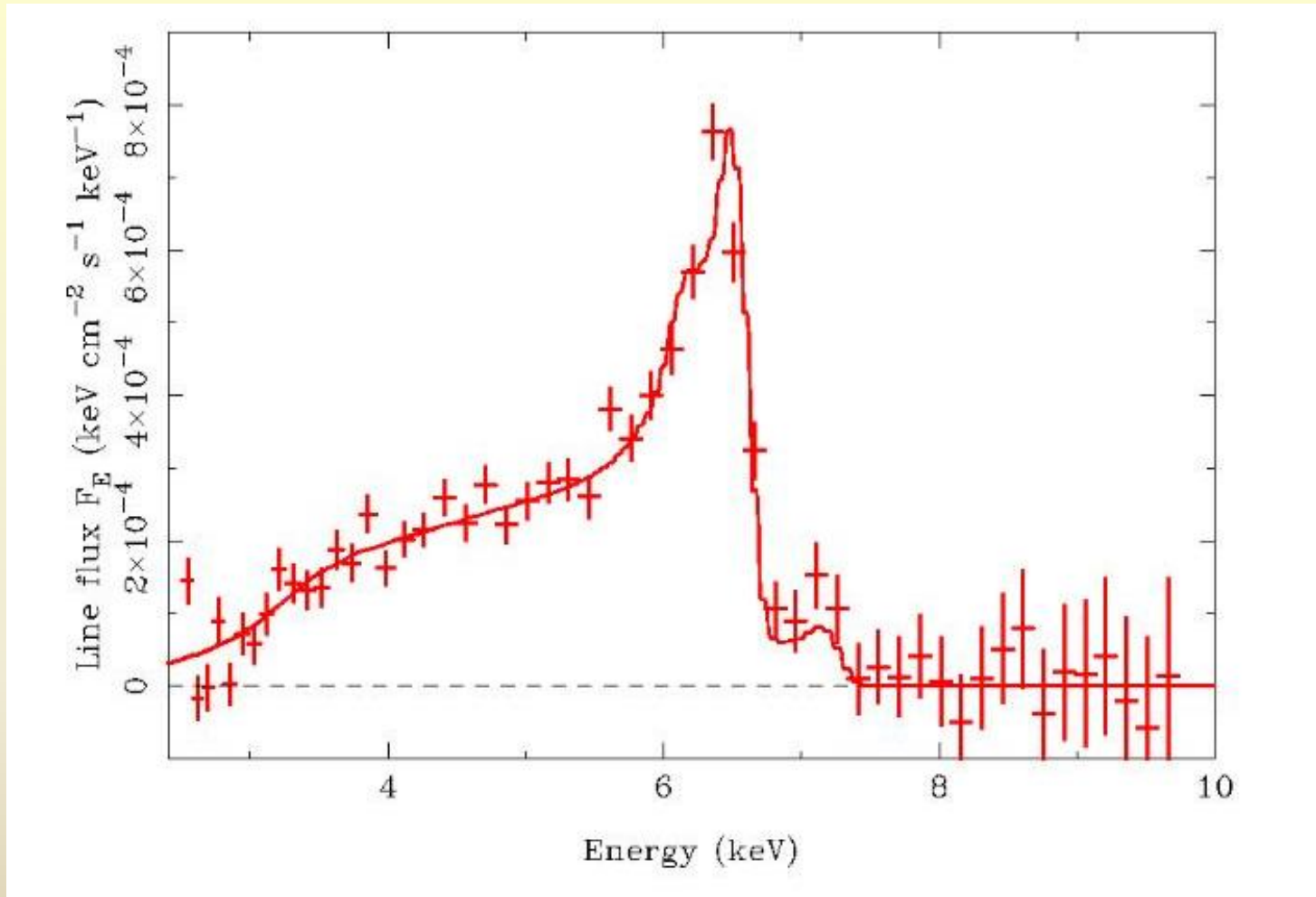
El Universo de Altas Energías: efectos relativistas



Simulación de un disco de acrecimiento visto casi de canto ($i=80^\circ$)



El Universo de Altas Energías: efectos relativistas



Seyfert 1 MCG 6-30-15 (XMM)



Resumen de contenidos

- **¿Qué se estudia en el UV, rayos-X, rayos- γ ?**
- **Diferencias entre telescopios ópticos y de altas energías: espejos, detectores, microporos, máscaras codificadas, lentes de Laue,...**
- **Principales telescopios en altas energías: IUE, GALEX, XMM-Newton, Chandra,...**