

Astrofísica Espacial



J. Miguel Mas Hesse

Centro de Astrobiología (CSIC - INTA)



Universidad
Politécnica
de Cartagena

*La Astronomía y los desarrollos
tecnológicos*

6 de Septiembre de 2012

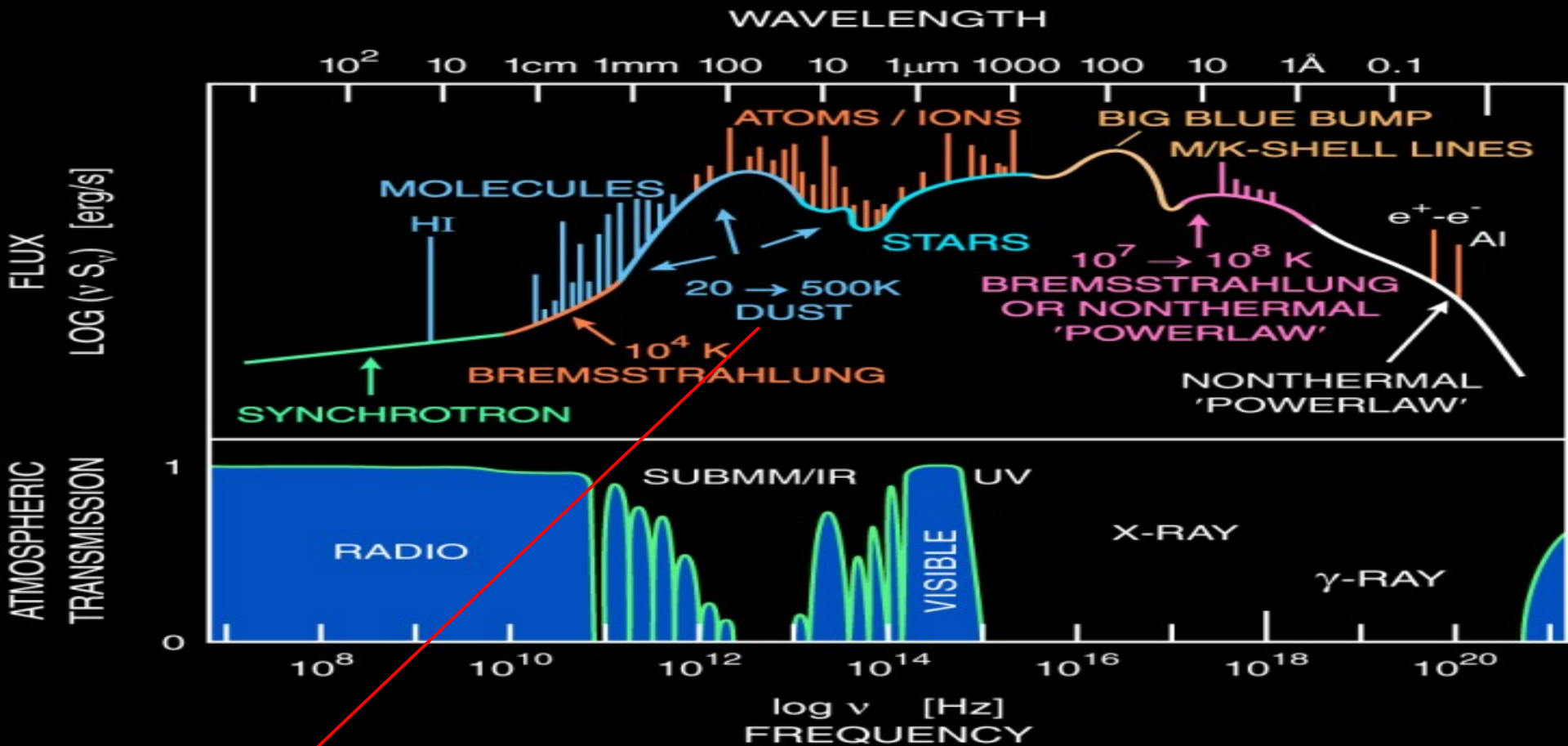


Astrofísica Espacial

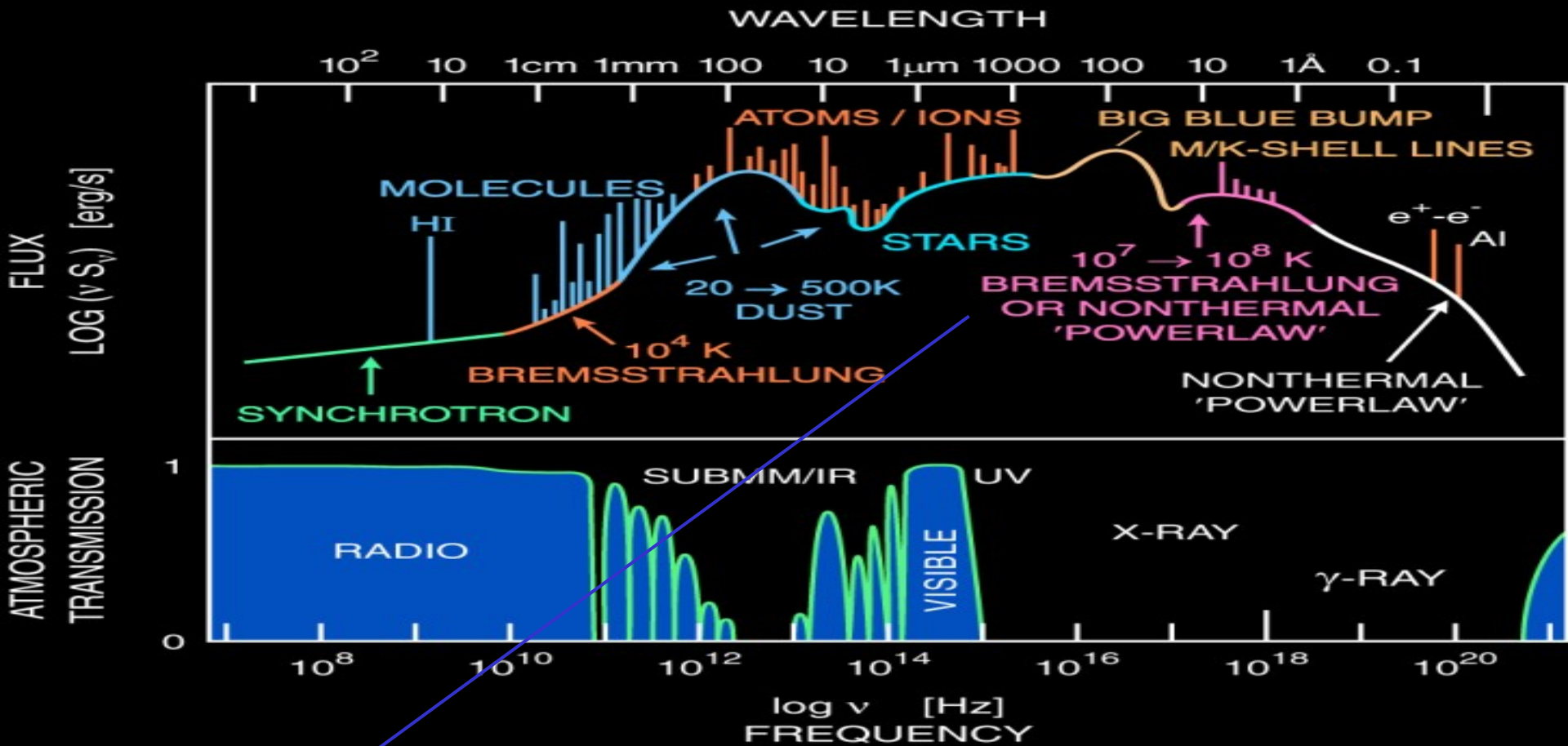
- El Universo, la atmósfera y el espectro electromagnético
- ¿Por qué tenemos que salir al Espacio?
- Historia
- Astronomía de rayos X
- Astronomía de rayos gamma
- Astronomía óptica-infrarroja

El Universo, la atmósfera y el espectro electromagnético

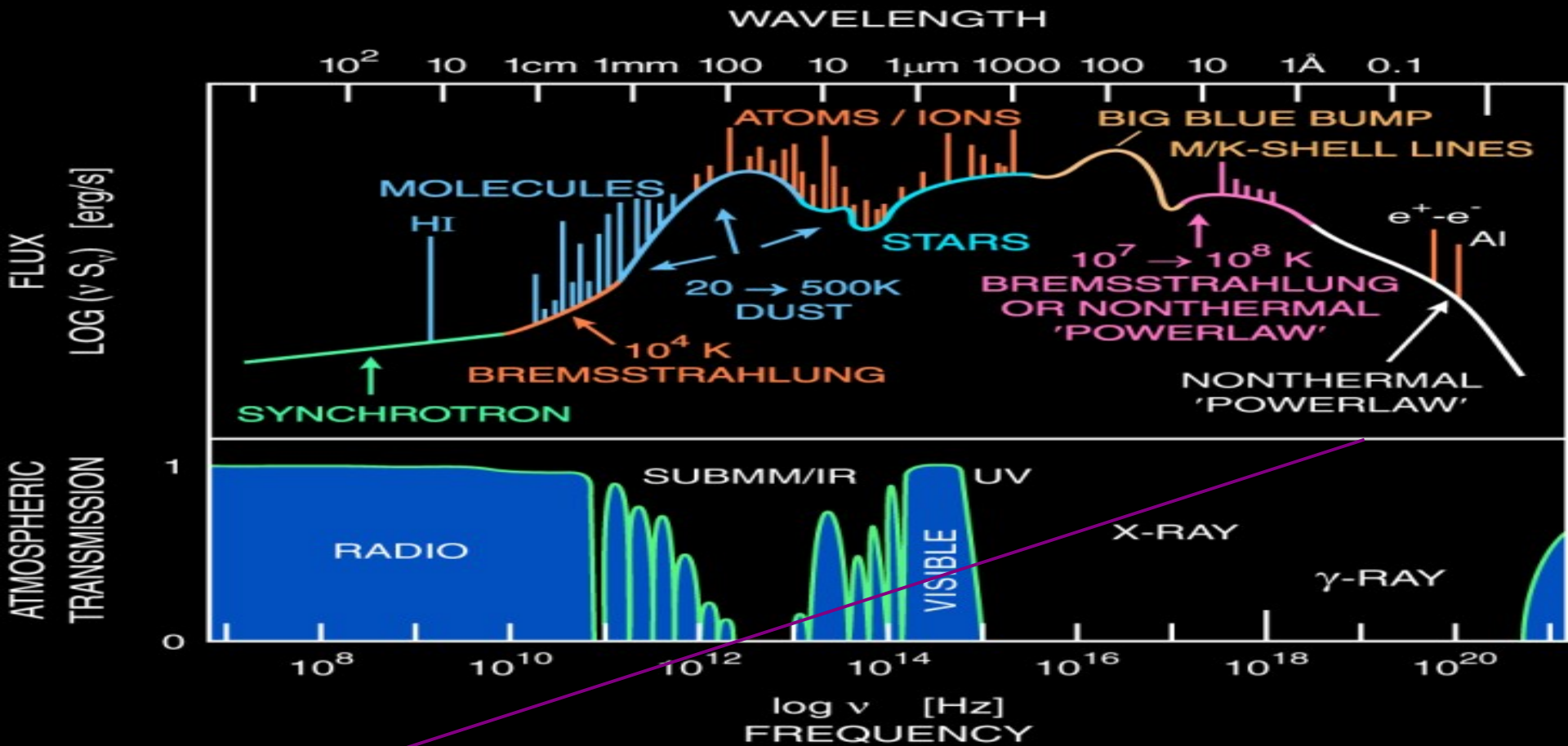
Introducción: el espectro electromagnético



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



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

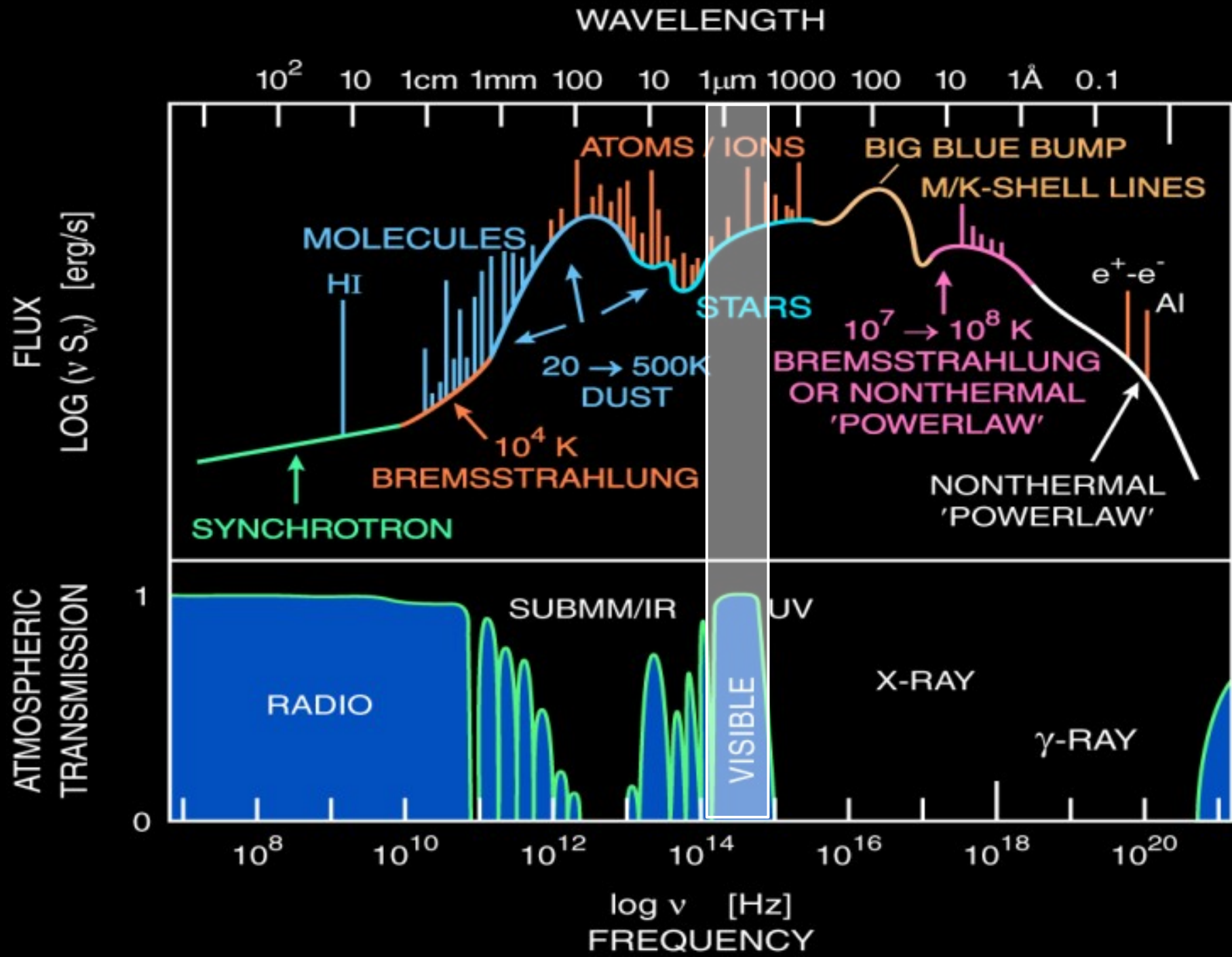


- Rayos X - γ : Universo extremo, $> 10^6$ K
gas muy caliente, objetos supercompactos, discos de acreción, transiciones nucleares, aniquilación de antimateria....

¿Por qué tenemos que salir al Espacio?

- La atmósfera de la Tierra nos protege de las radiaciones de Altas Energías (*rayos ultravioleta, X y gamma*), y filtra también buena parte de la emisión infrarroja.

Pero a su vez nos impide ver esta radiación procedente del Universo.



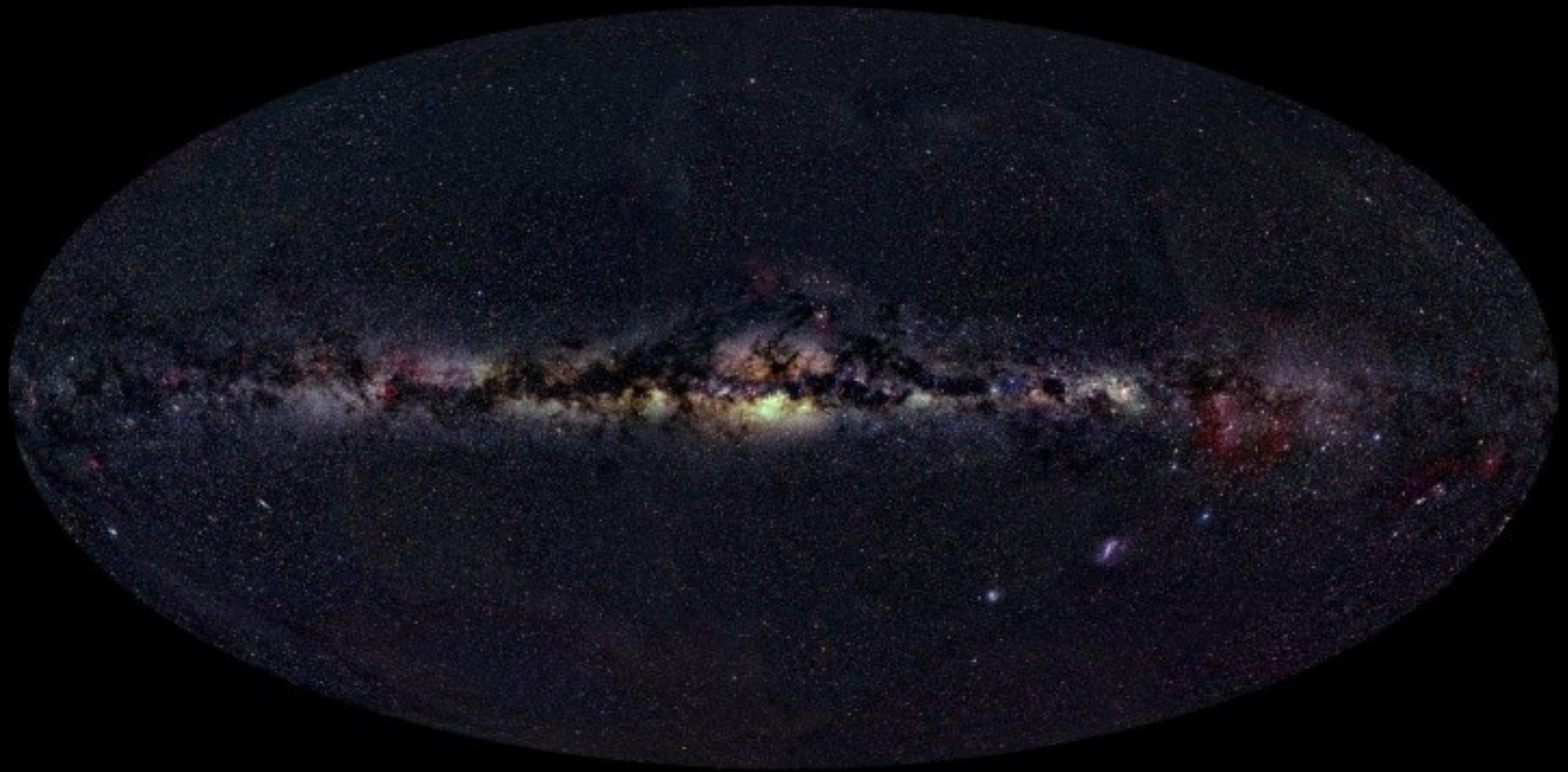
¿Por qué tenemos que salir al Espacio?

- La única forma de poder observar todo el espectro electromagnético es instalar los telescopios fuera de la atmósfera, en el Espacio.

La percepción que ha tenido la Humanidad desde que empezó a contemplar el cielo estaba basada exclusivamente en la radiación visible.

El Universo a distintas energías

Optico



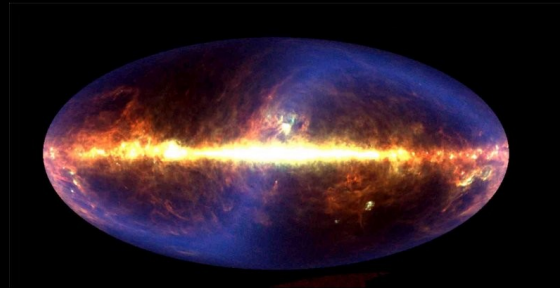
El Universo a distintas energías

Optico

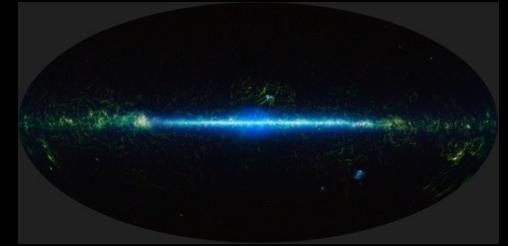


© 2000, Axel Mellinger

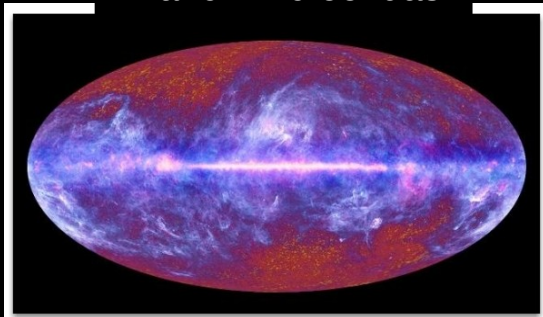
Total IR



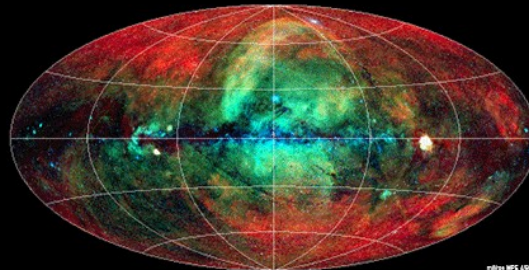
WISE IR



Planck microondas

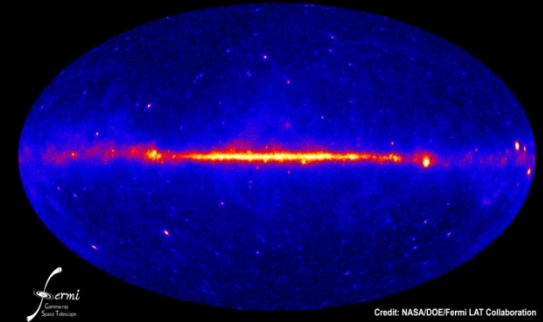


ROSAT rayos X



© 1999 MPC LLC

Fermi rayos gamma



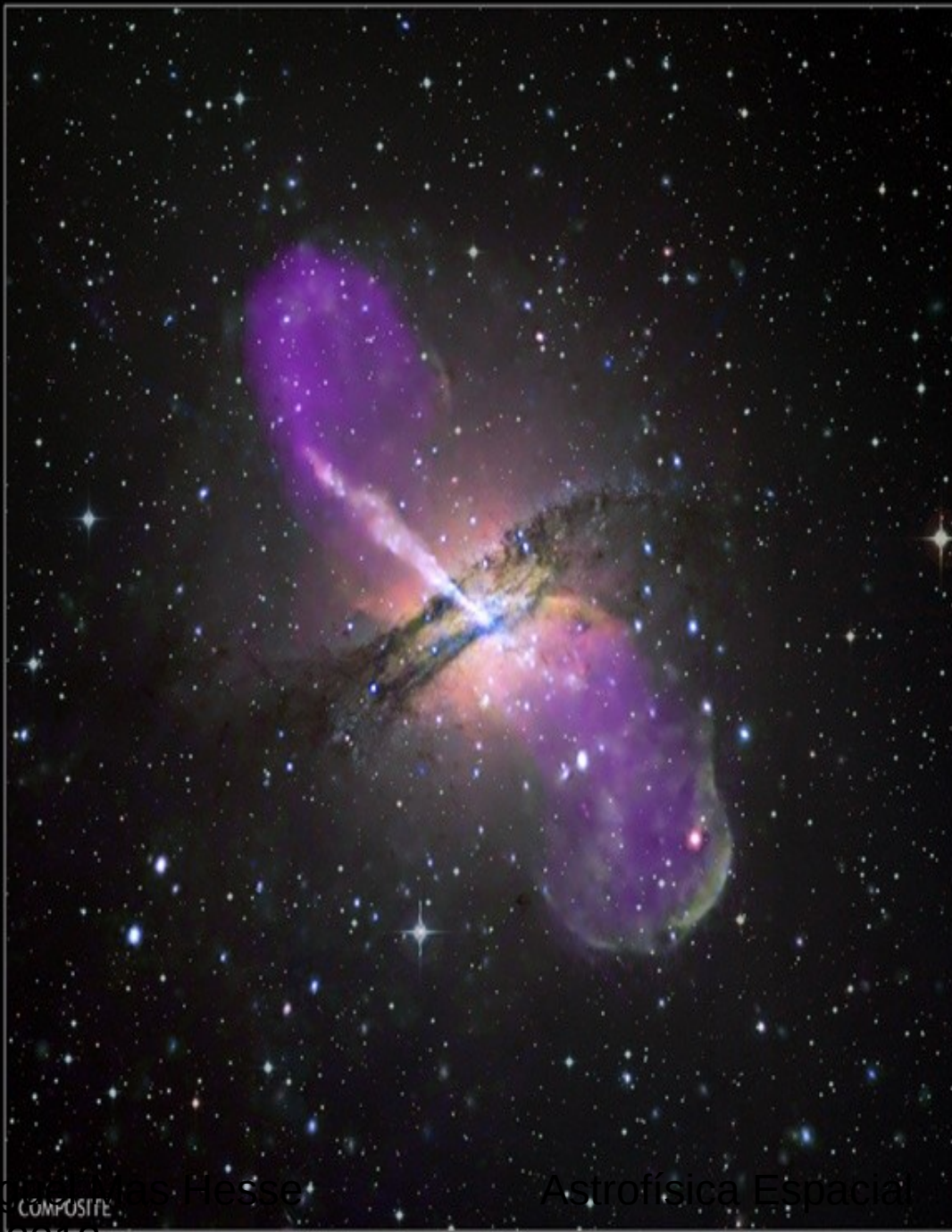
Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

¿Por qué tenemos que salir al Espacio?

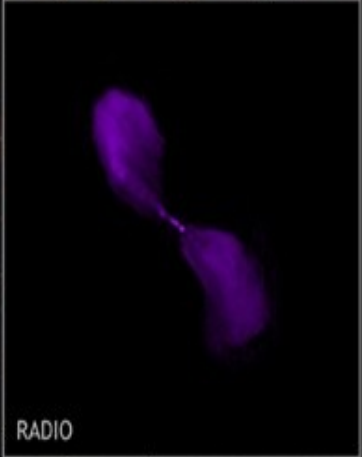
Si no salimos al espacio, tendríamos una visión sesgada del Universo que nos rodea.



Centaurus A Radio Galaxy (Detail) (VLT KUEYEN + FORS2)



X-RAY



RADIO

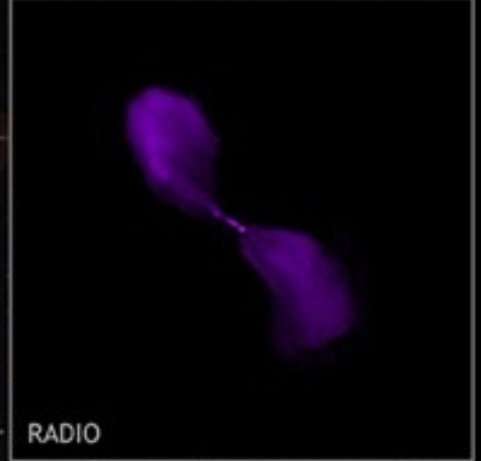
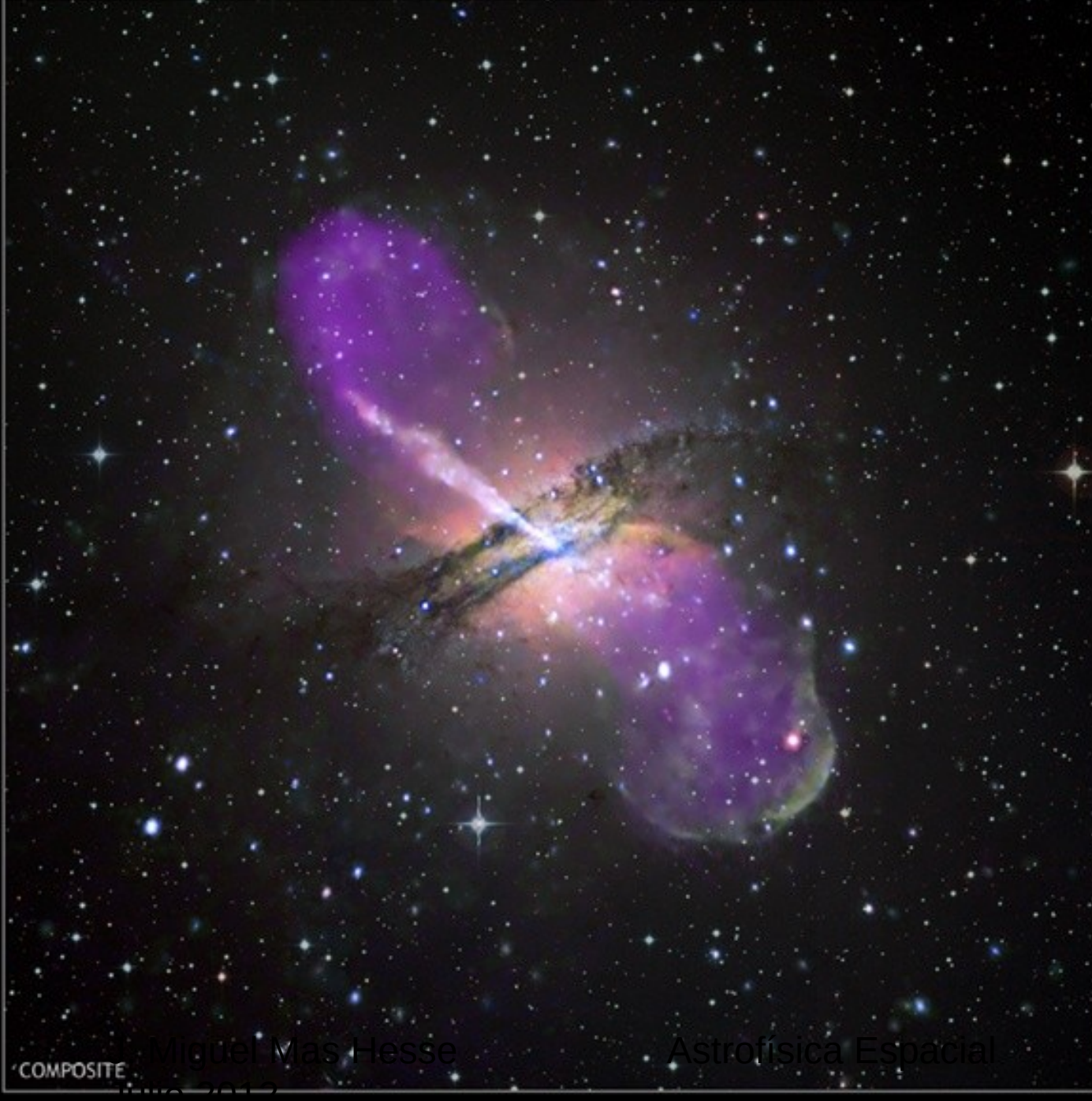


OPTICAL

COMPOSITE

Dr. Hesse

Astrofísica Espacial



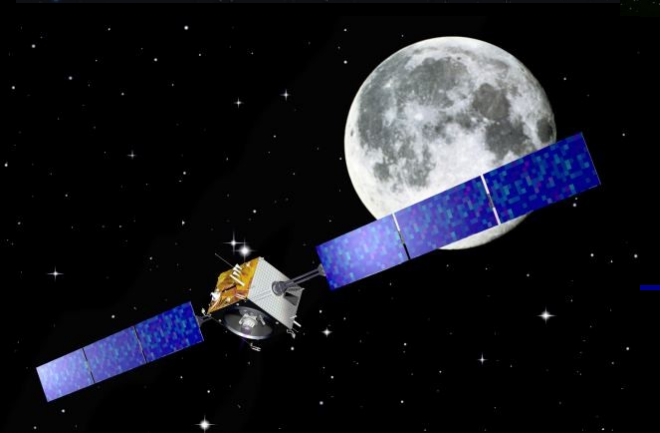
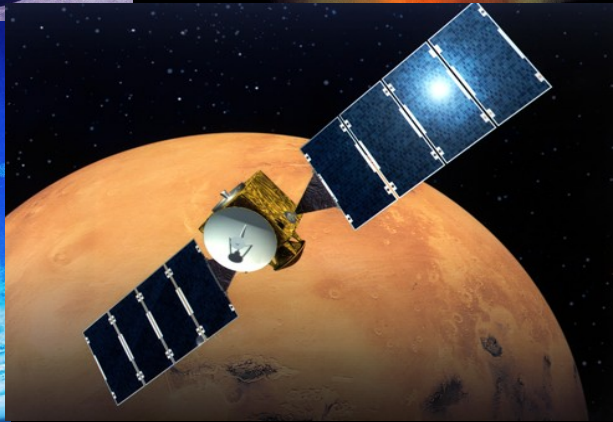
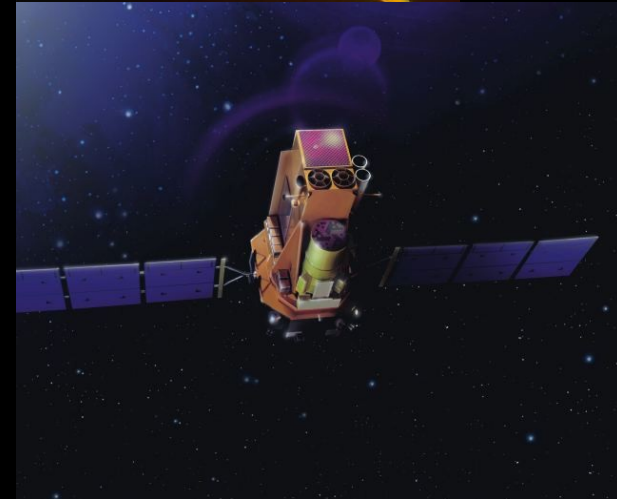
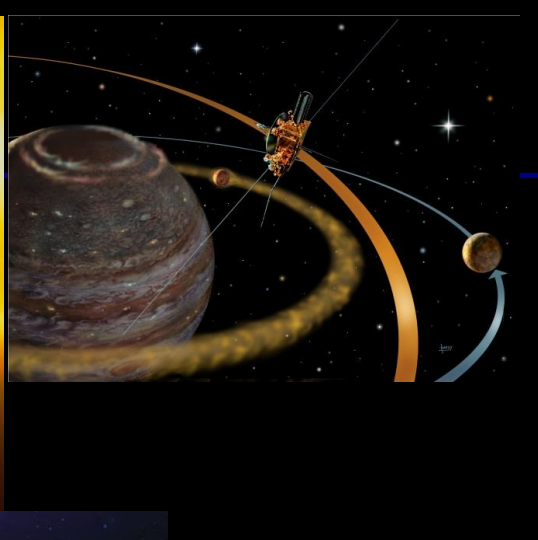
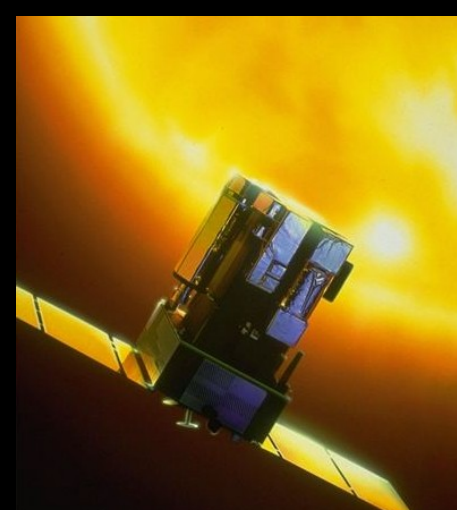
COMPOSITE

Miguel Mas Hesse

Astrofísica Espacial

OPTICAL

15



Historia

Historia

“El sueño de ayer es la
esperanza de hoy y la
realidad de mañana”

*Robert Hutchings
Goddard*

Construyó el primer cohete
de combustible líquido
16-03-1926.

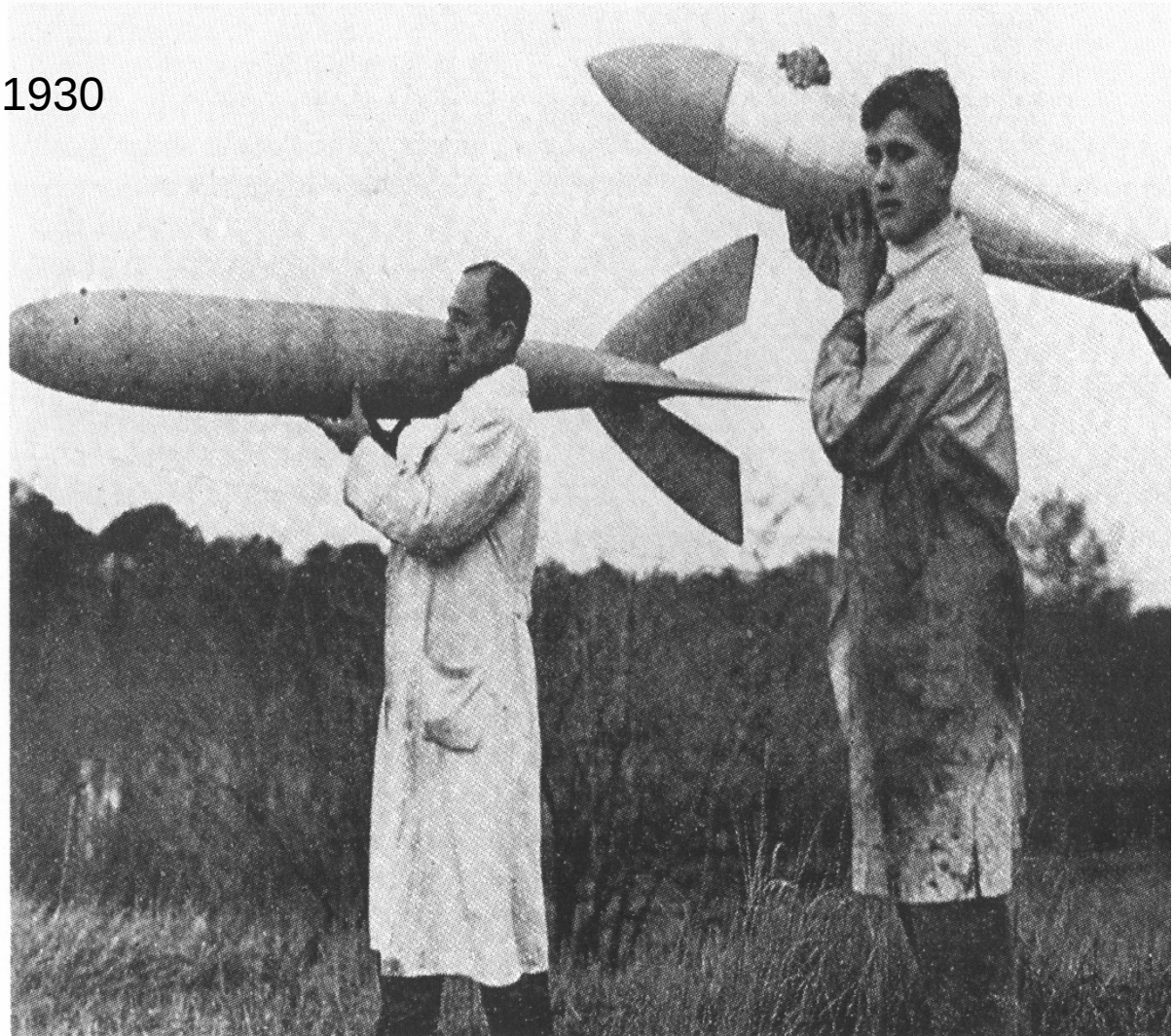


Historia

Verein für Raumschiffahrt, Von Braun, Berlin, ~1930

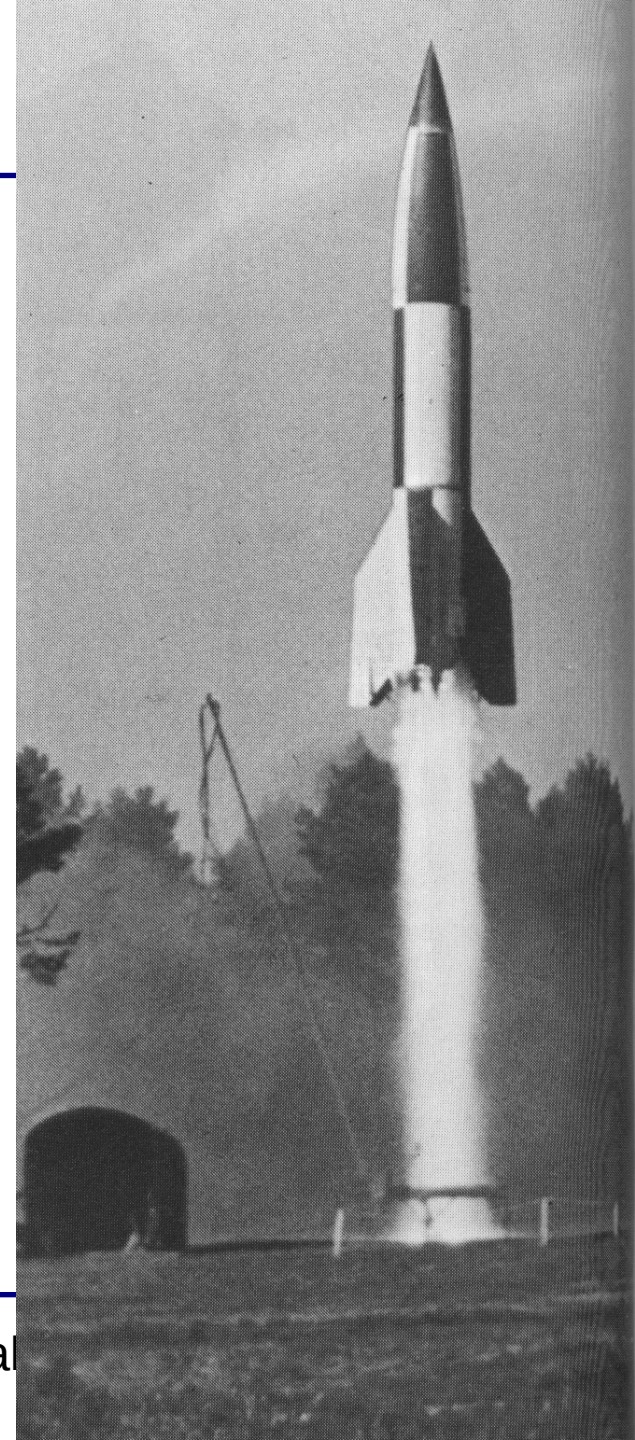
für Raumschiffahrt, reagrupa a los apasionados de los cohetes, algunos de los cuales no tardaron en adquirir una gran notoriedad. Uno de los más prestigiosos será Wernher von Braun, al que se ve aquí hacia 1932, a la edad de 19 o 20 años, en compañía de Rudolf Nebel, en el Raketenflugplatz de Berlín. Los cohetes son del modelo Repulsor carenados.

Contratado desde 1932 por el ejército de tierra alemán para dirigir los trabajos sobre cohetes militares, Von Braun estará en el origen de la casi totalidad de los grandes proyectos que aparecieron en este campo hasta 1944. Su realización más conocida sigue siendo la V2, que salió del centro de investigaciones de Peenemünde, del cual fue el director técnico; después de la II Guerra Mundial, este ingenio conducirá tanto al Oeste como al Este al desarrollo espectacular de misiles balísticos y de lanzadores espaciales. (Smithsonian Institution).



Historia

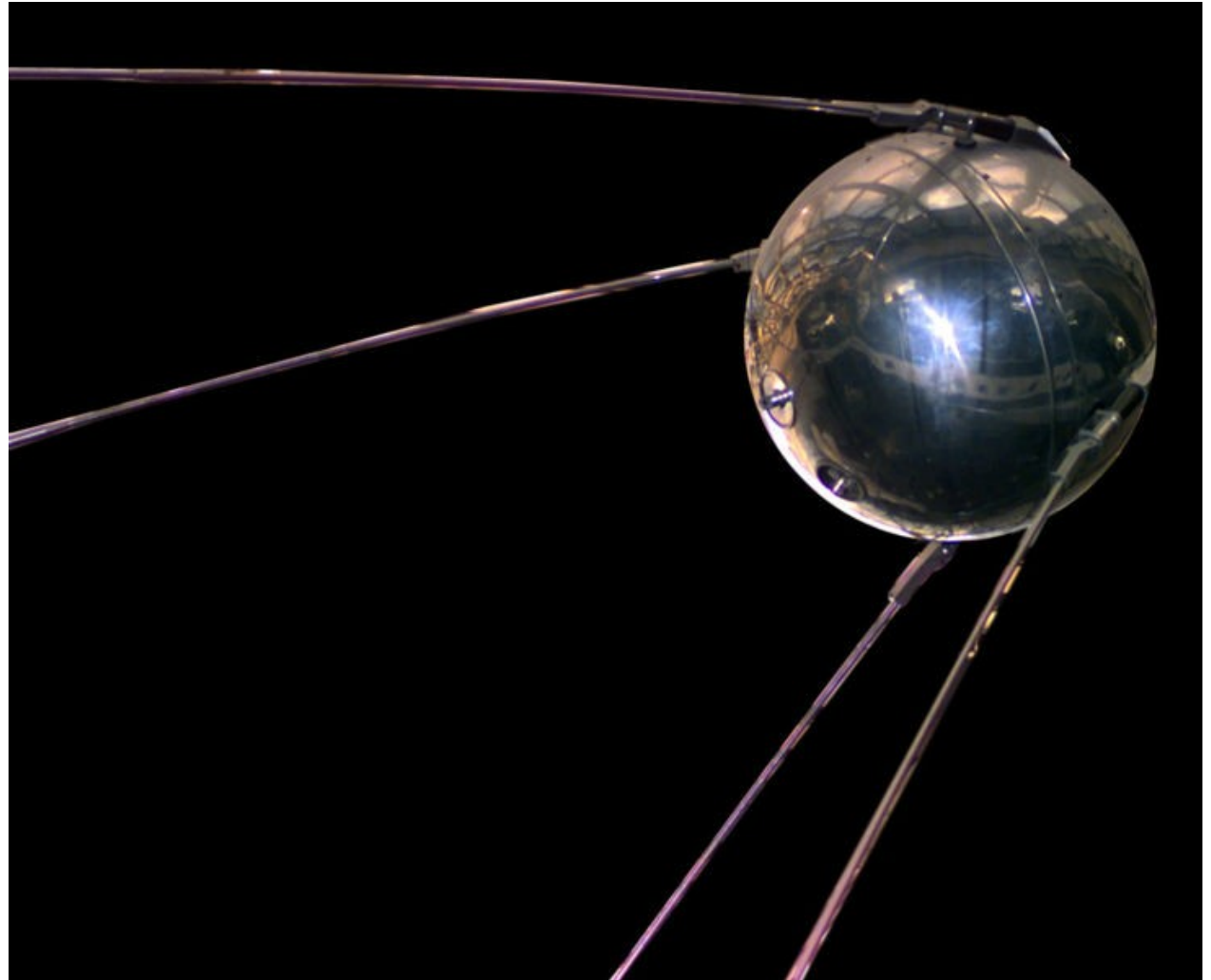
Primer prototipo exitoso del cohete A4
(octubre de 1942).



Historia

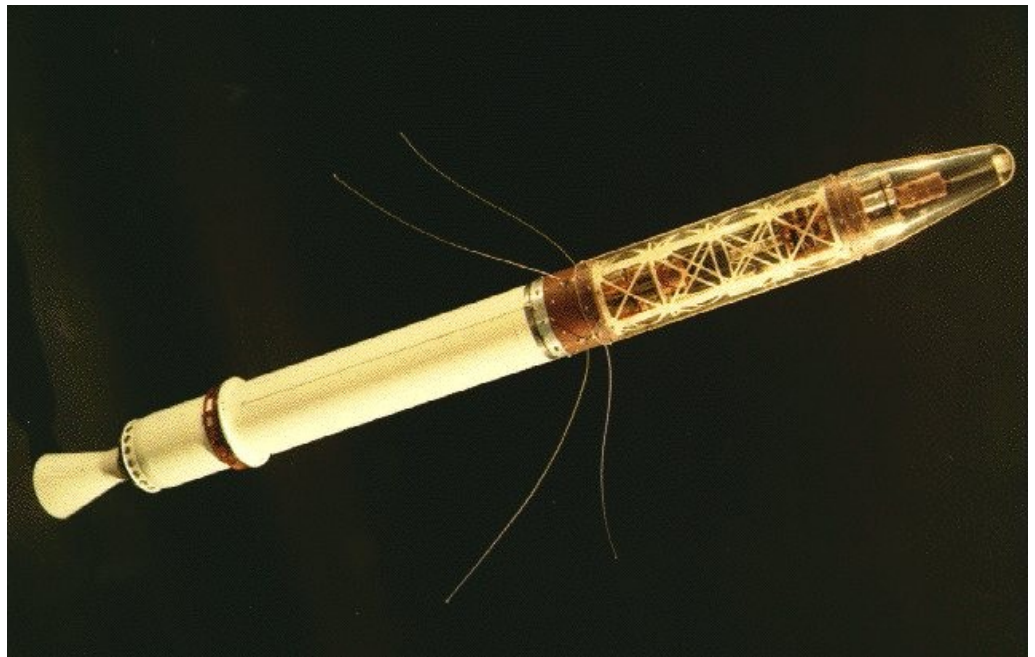
Primer satélite
artificial

Sputnik (1957)

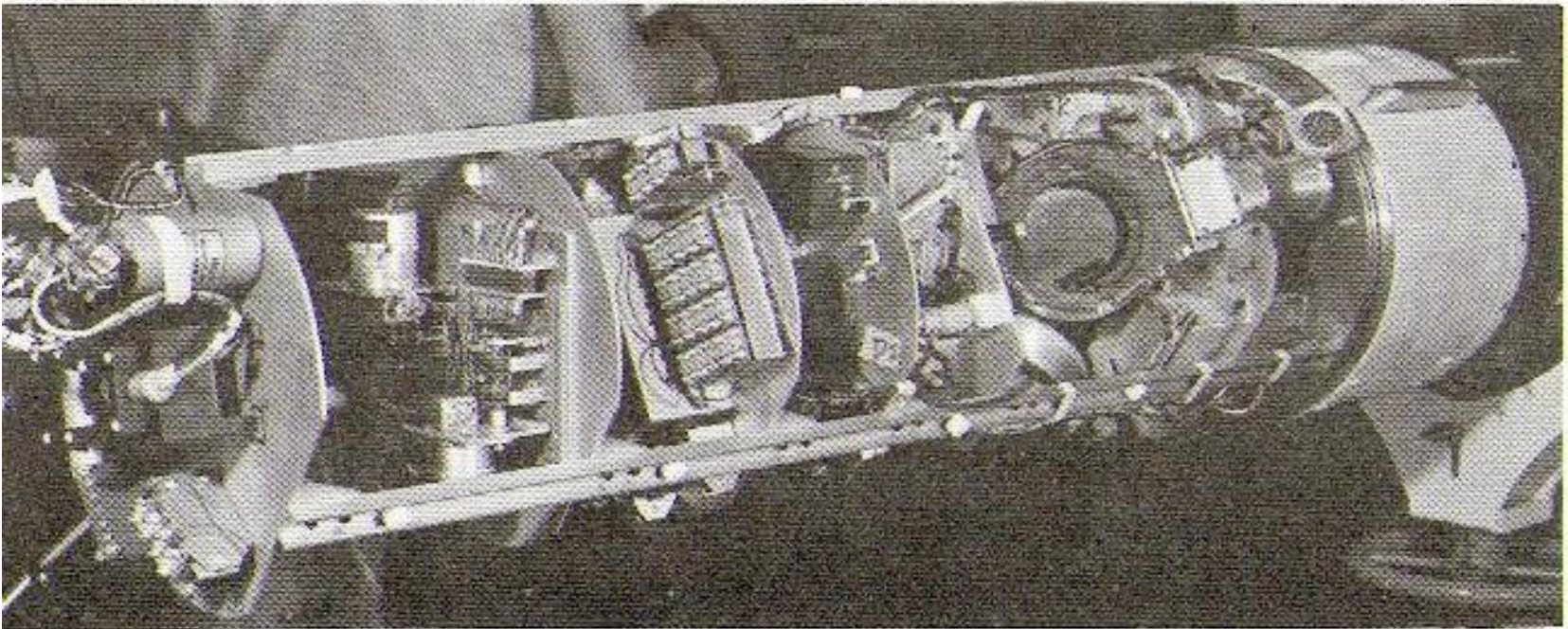


Historia

- Los primeros satélites fueron equipados con detectores astronómicos, en su mayoría de rayos X y gamma.
- El Explorer 1 (1958) descubrió los cinturones de radiación de Van Allen.

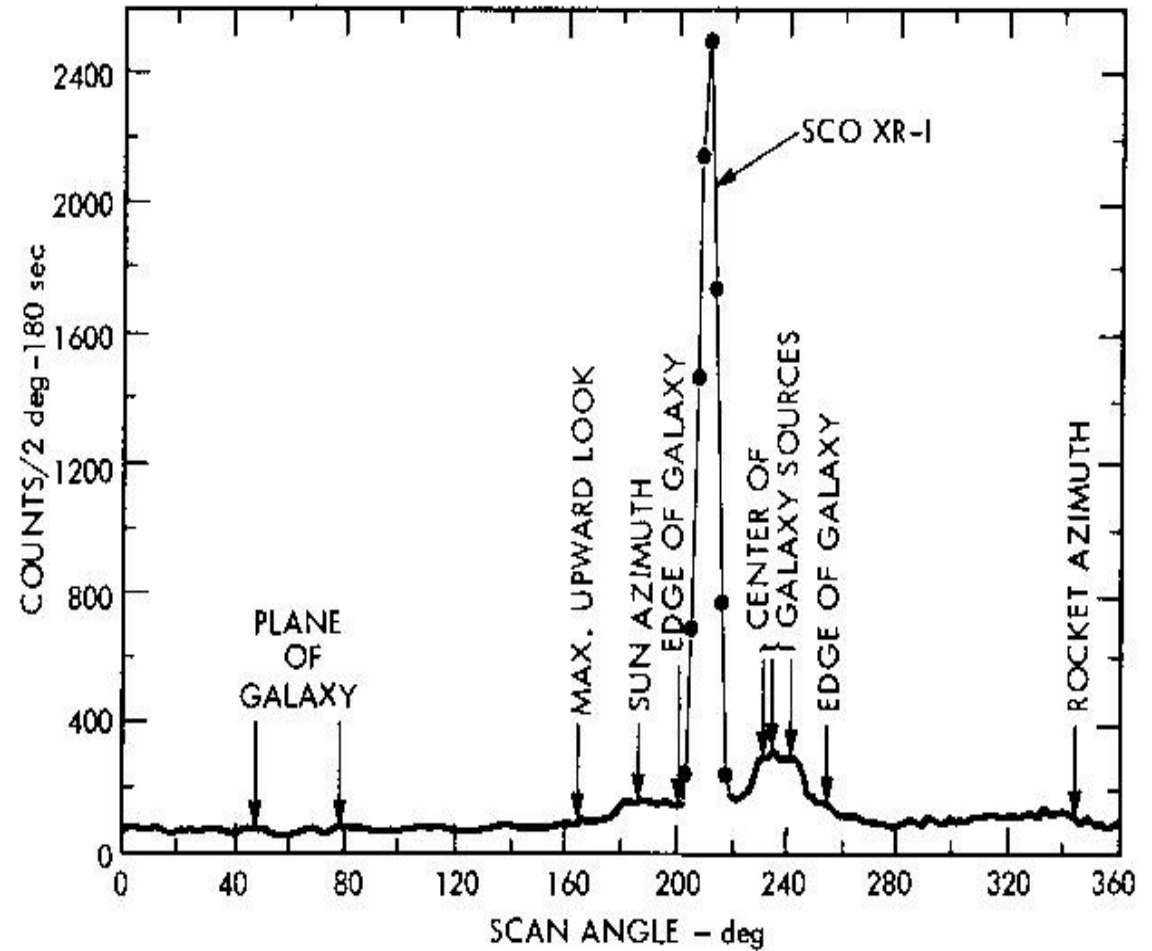
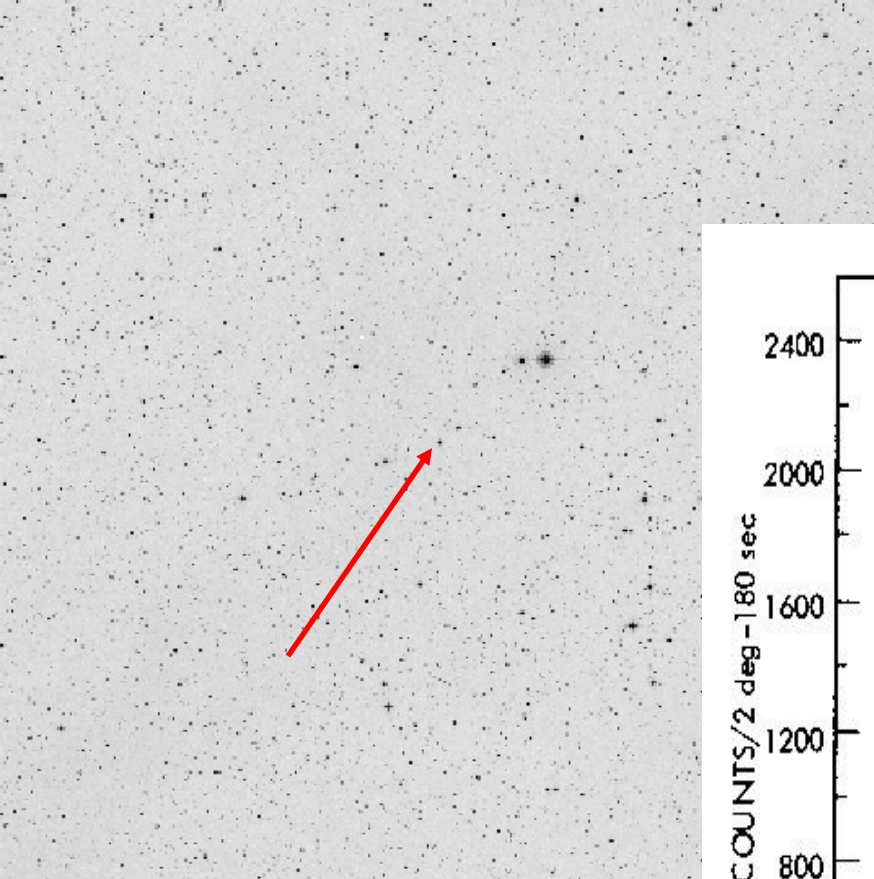


Historia



18-Junio-1962: Ricardo Giacconi y sus colaboradores lanzaron 3 detectores de rayos X en un cohete Aerobee a 80 km de altitud, con 5 minutos de observación.

Historia



Historia

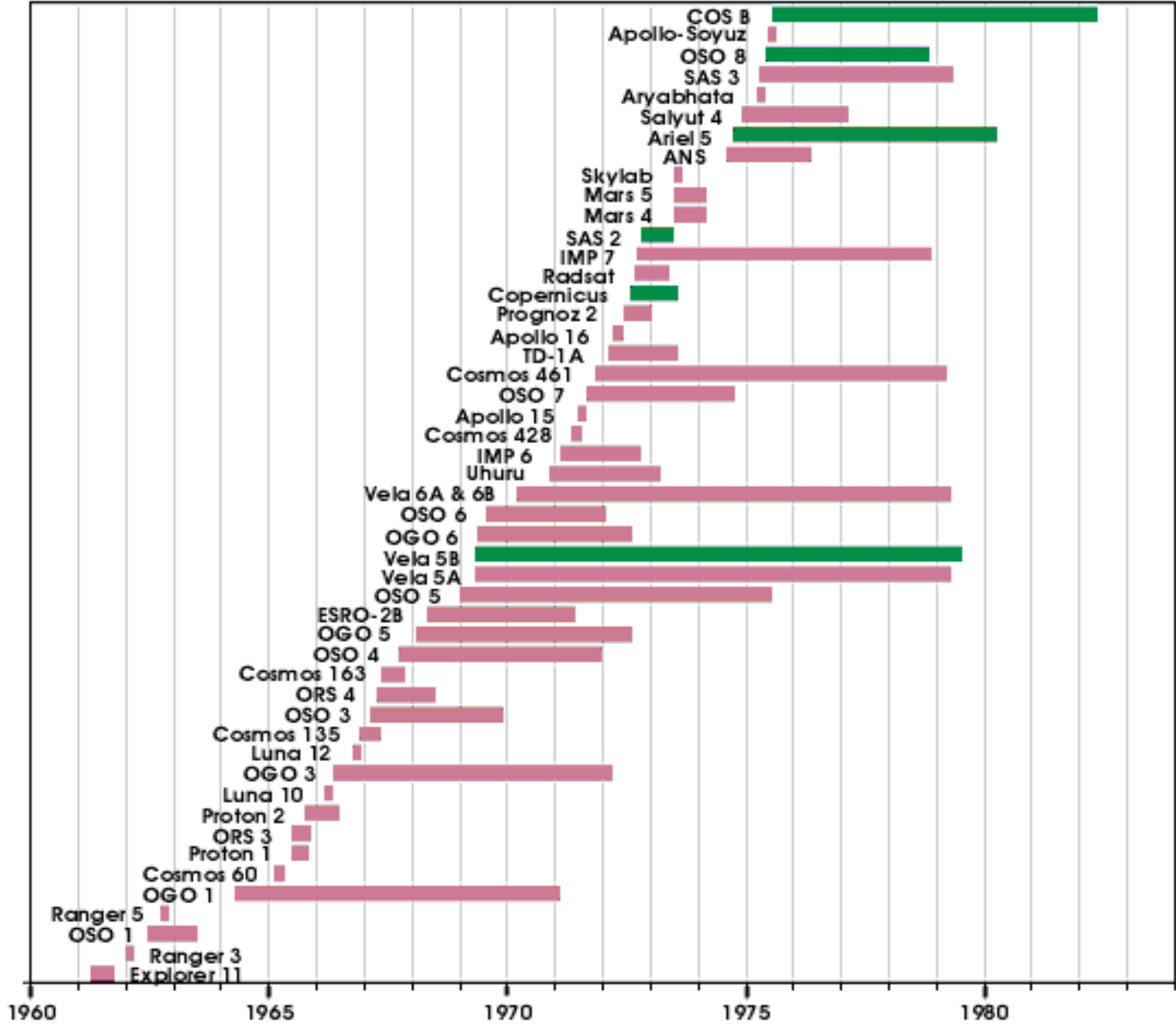
Riccardo Giacconi (Genova 1931)



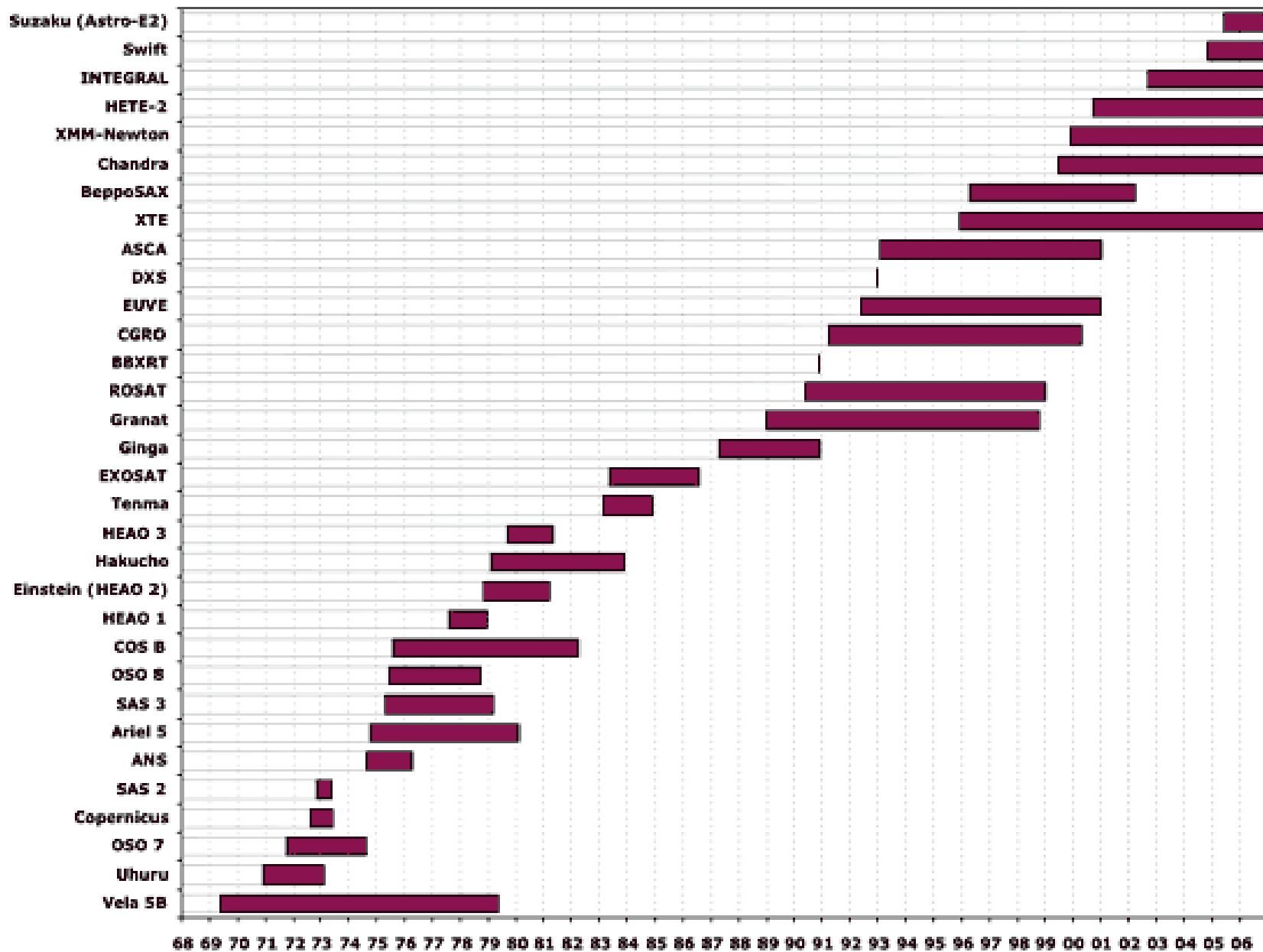
Historia

- 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, Suzaku, Fermi,....

Edad de oro de la astrofísica de altas energías



Historia



Historia

Año No. fuentes de rayos X		
1960	1 (Sol)	Desde 1948
1962	1+1 (Sco X-1)	Cohetes
1965	10	Cohetes
1970	60	Cohetes
1974	160	Uhuru
1980	680	
1984	840	HEAO A-1
1990	8,000	Einstein & EXOSAT
2000	220,000	ROSAT
2005	<1,000,000	XMM-Newton + Chandra
2010	~3,000,000	Swift + Fermi

La actualidad

Estación Espacial Internacional
Mayo 2011



Mayo 2011



Mayo 2011



Mayo 2011



Misiones del Programa Científico de la Agencia Espacial Europea (ESA)



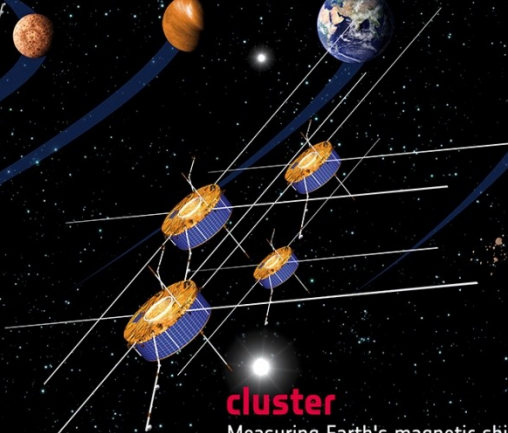
venus express
Studying Venus' atmosphere



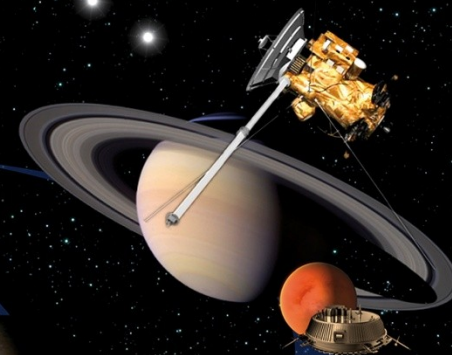
bepicolombo
Exploring Mercury



cluster
Measuring Earth's magnetic shield



cassini-huygens
Studying the Saturnian system
and landing on Titan



rosetta
Chasing a comet

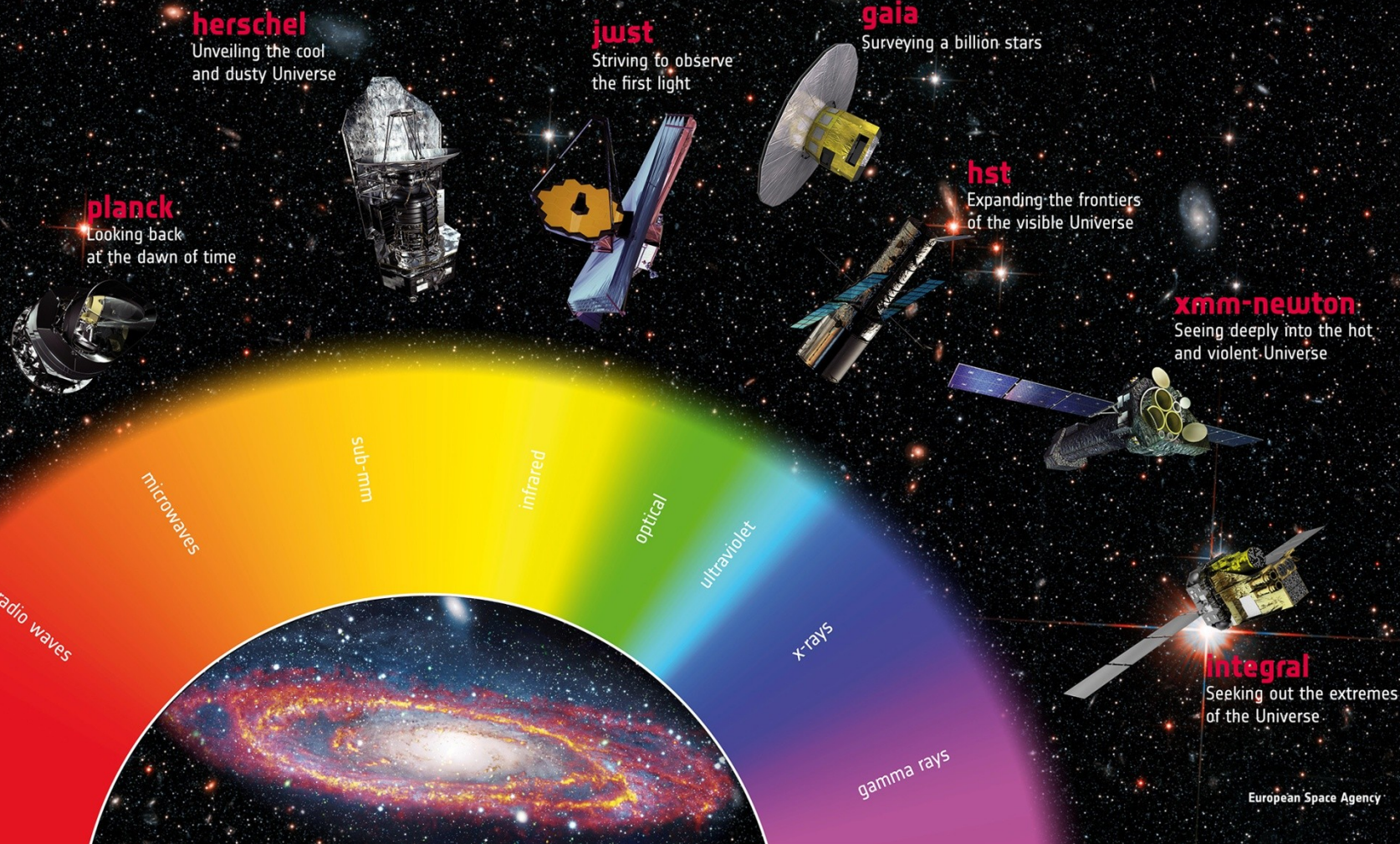


→ ESA'S FLEET IN THE SOLAR SYSTEM

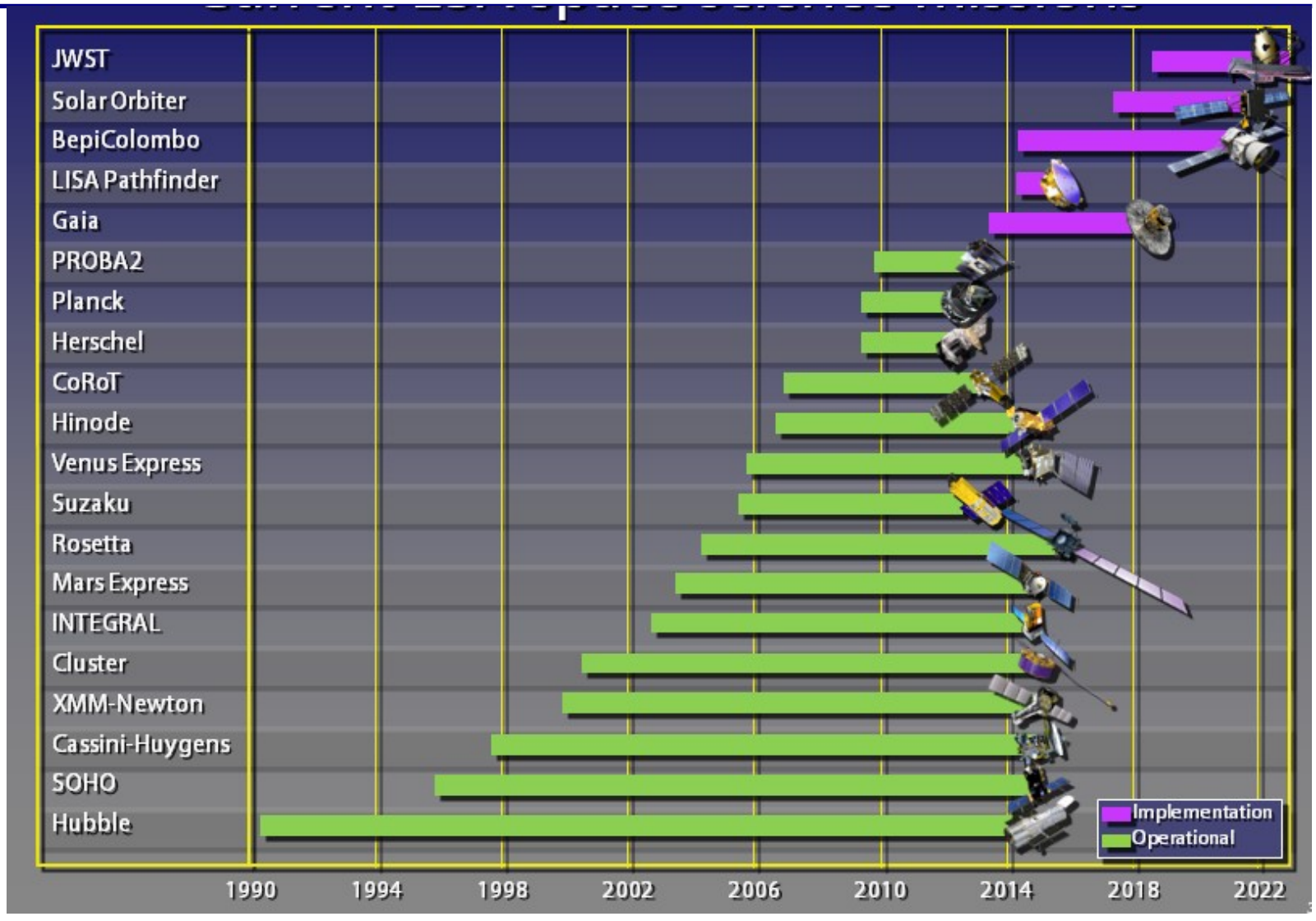
The Solar System is a natural laboratory that allows scientists to explore the nature of planets. ESA's missions to our planetary neighbours have transformed our view of the celestial neighbourhood. The planets that exist today are the result of 4.6 billion years of formation and subsequent development. Studying how they appear now allows us to unlock the mysteries of their past and to predict how they will change in the future.

→ ESA'S FLEET ACROSS THE SPECTRUM

Thanks to cutting edge technology, astronomy is today unveiling a new universe around us. With ESA's fleet of spacecraft, science can explore the full spectrum of light, see into the hidden infrared universe, visit the untamed and violent universe, chart our galaxy and even look back at the dawn of time.



ESA



Observatorios de altas energías

Instrumentación de altas energías

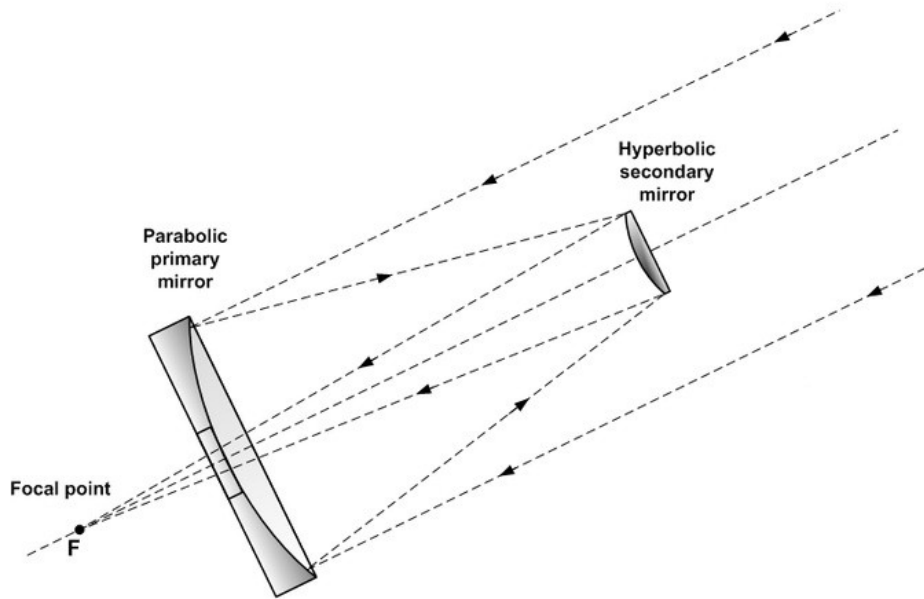
- El diseño de observatorios específicos de altas energías supone problemas tecnológicos muy serios:
 - Tienen que operar de manera automática en el espacio.
 - Los sistemas de imagen son muy peculiares.
 - Son precisos detectores especiales, que soporten bien los daños por radiación.

Telescopios de altas energías

- Problema: la radiación atraviesa sin más el material de un espejo reflector convencional.
- Soluciones:
 - Telescopios de incidencia rasante
 - Máscaras codificadas
 - Efecto Compton
 - Pares e^+/e^-
 - Lentes de Laue

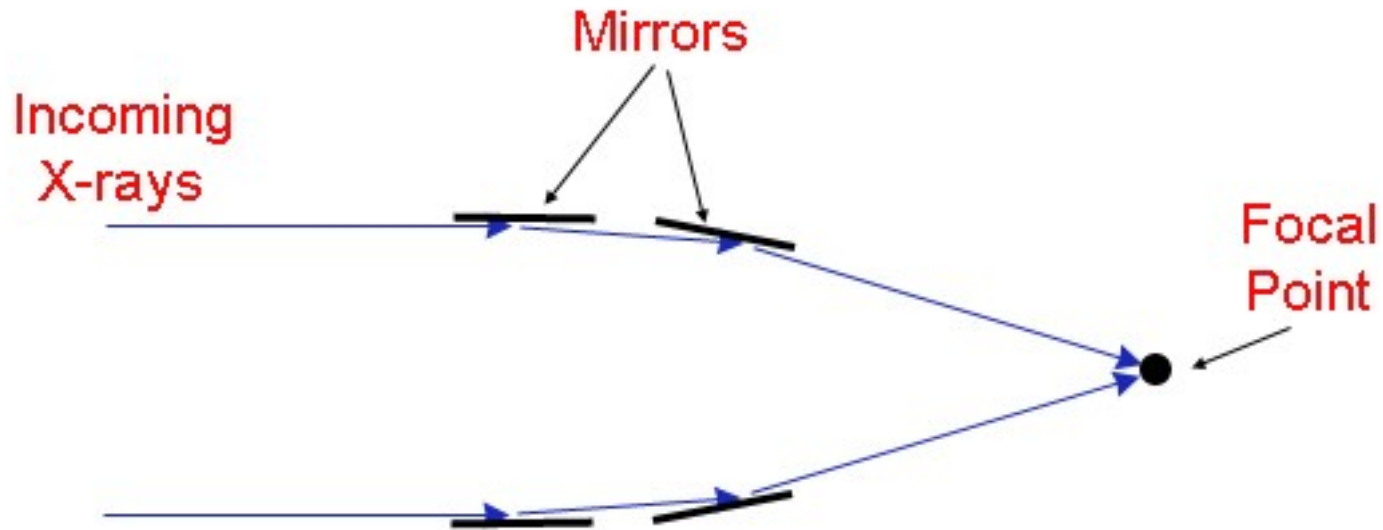
Rayos X

- En un telescopio óptico-infrarrojo, el espejo parabólico refleja la luz y forma la imagen en el foco



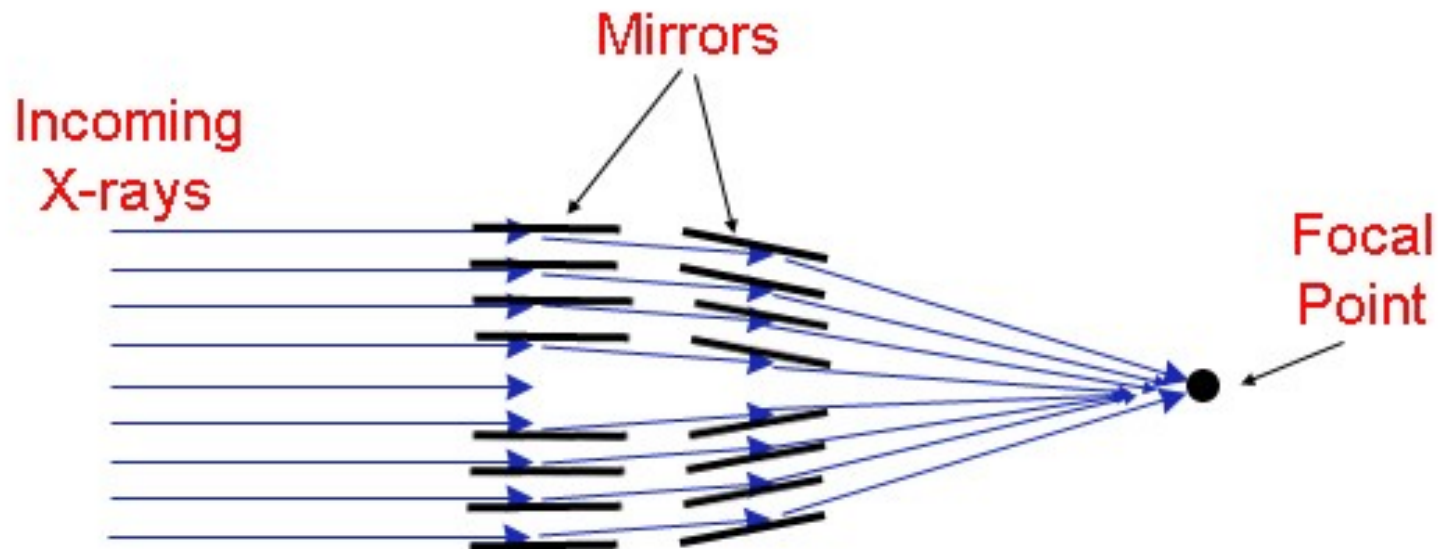
Telescopios de incidencia rasante

- Si hacemos incidir la luz casi rasante, la refracción desemboca en reflexión total, y es posible formar imágenes.



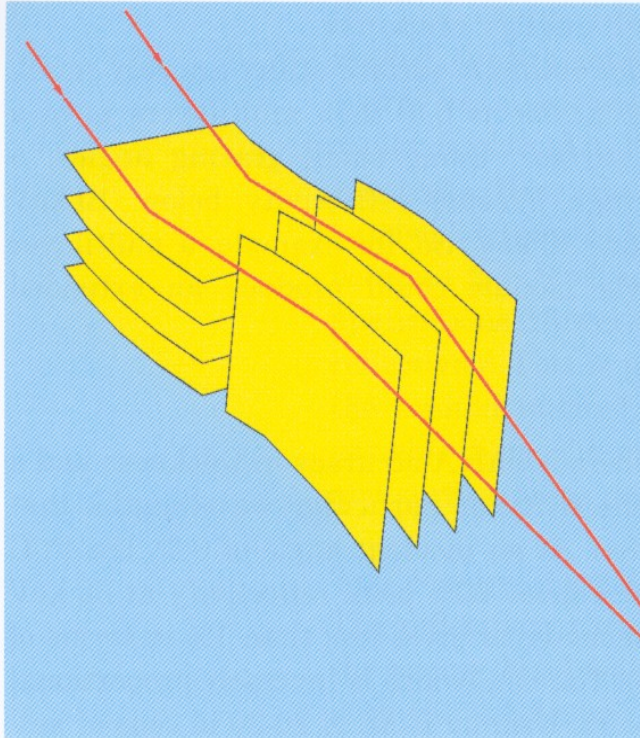
Telescopios de incidencia rasante

- Para mejorar la eficiencia se anidan varios espejos cilíndricos.

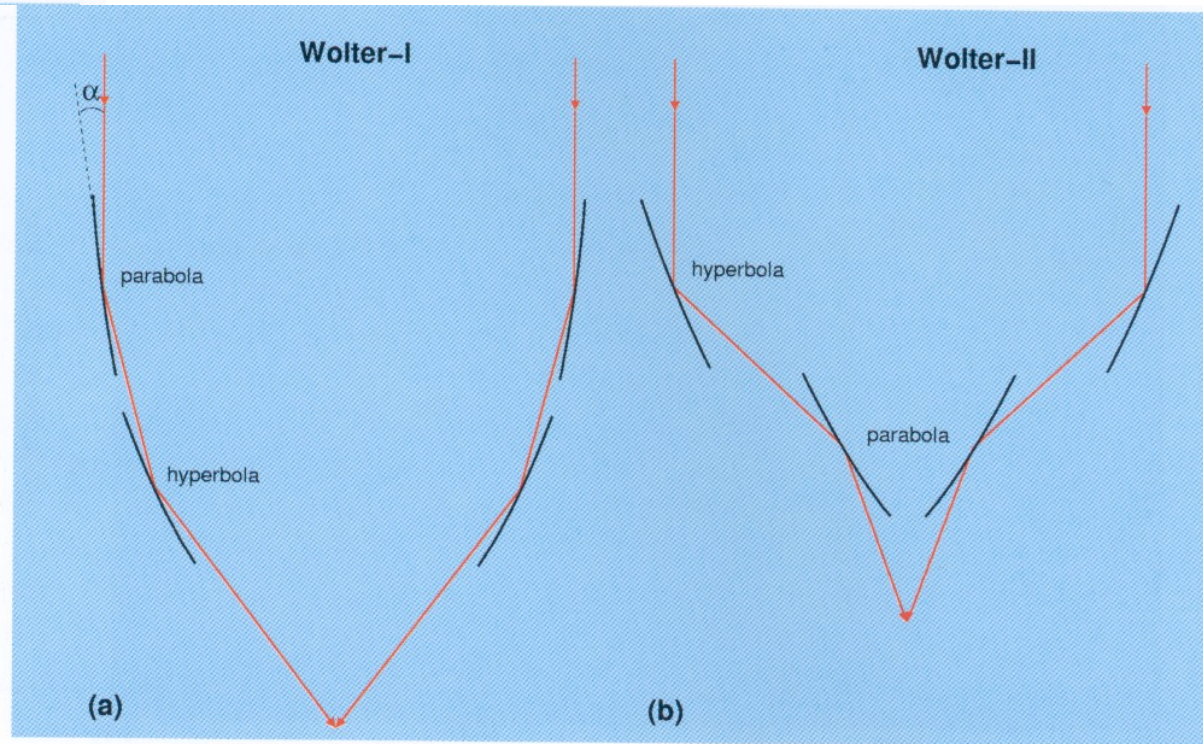


Telescopios de incidencia rasante

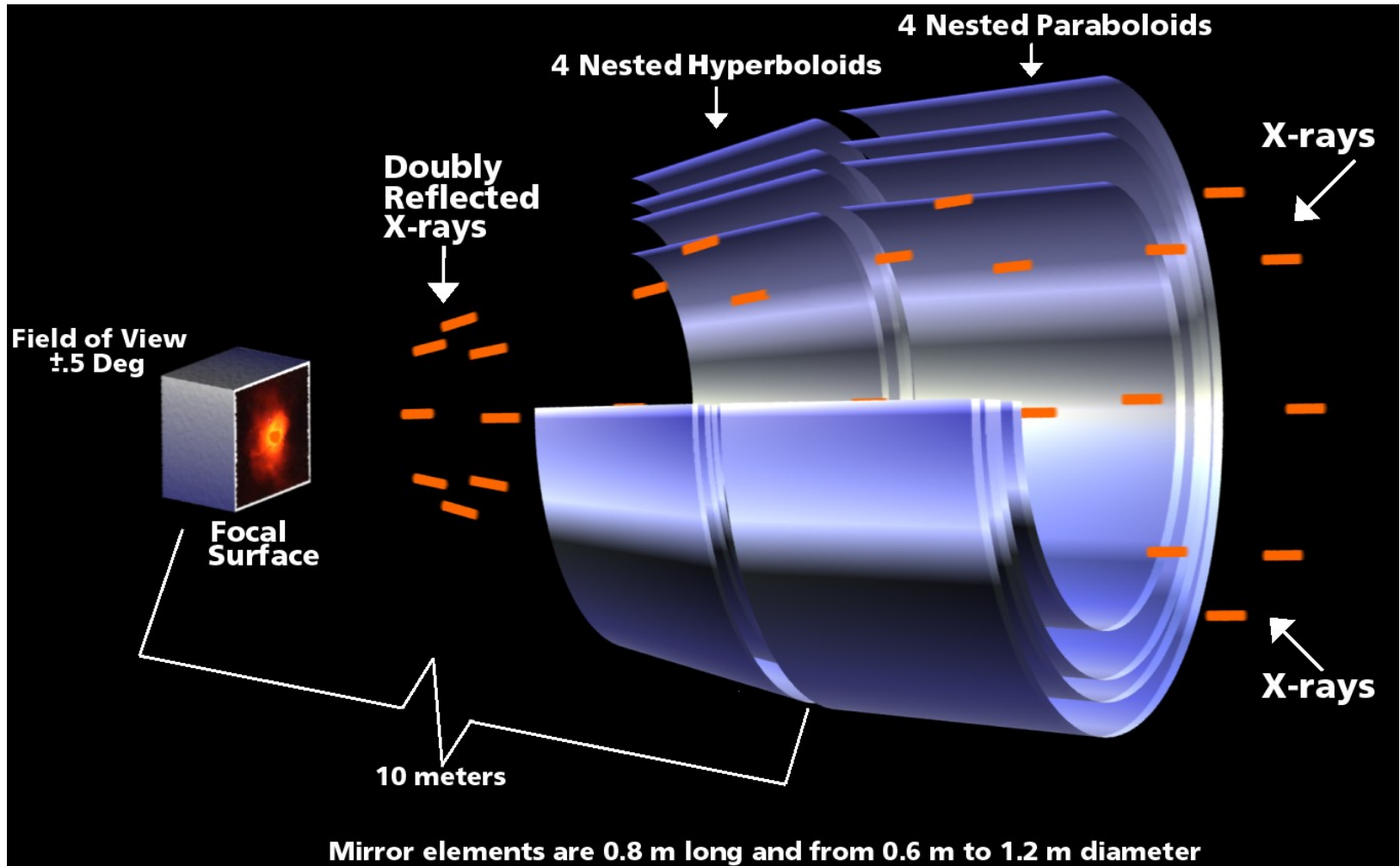
Kirkpatrick-Baez



Wolter



Telescopios de incidencia rasante



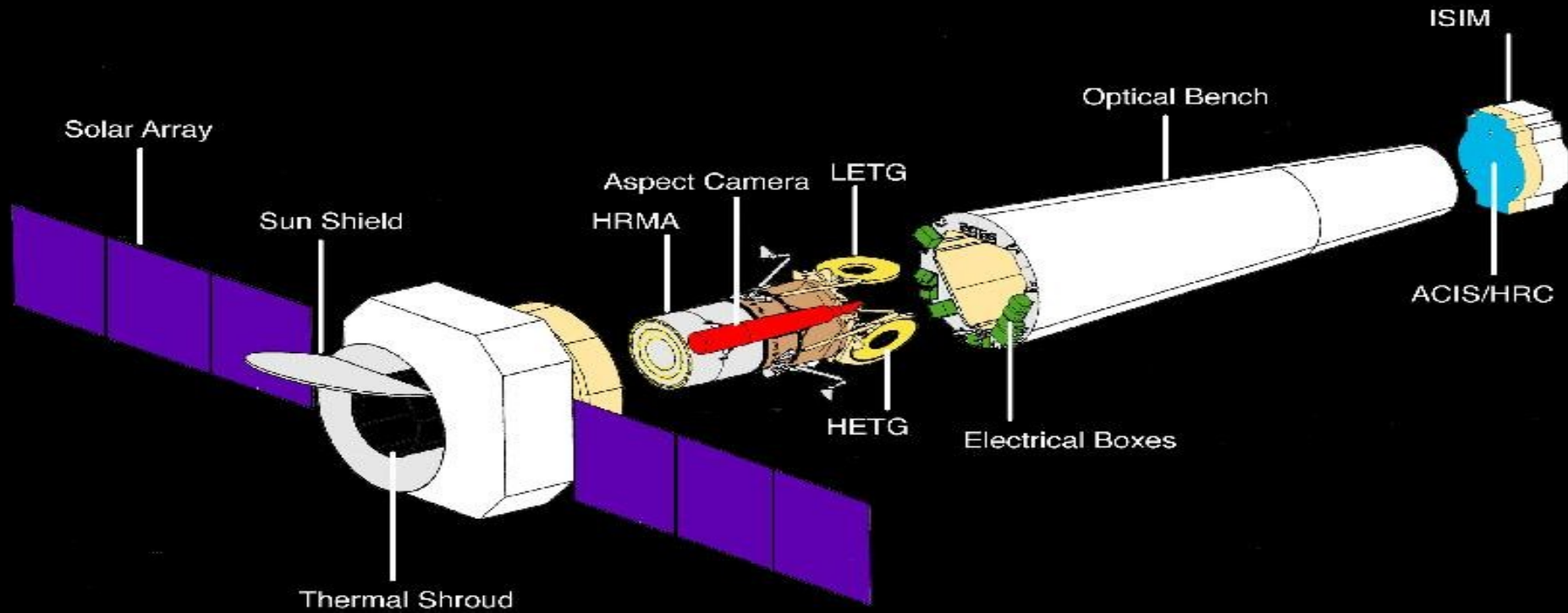
Espejos de Chandra (NASA)

Chandra

- Espejos gruesos: ~2-3cm
- 4 pares de espejos anidados
- Zerodur (cristal)
- PSF 0.5"
- Lanzado en 2009 (NASA)

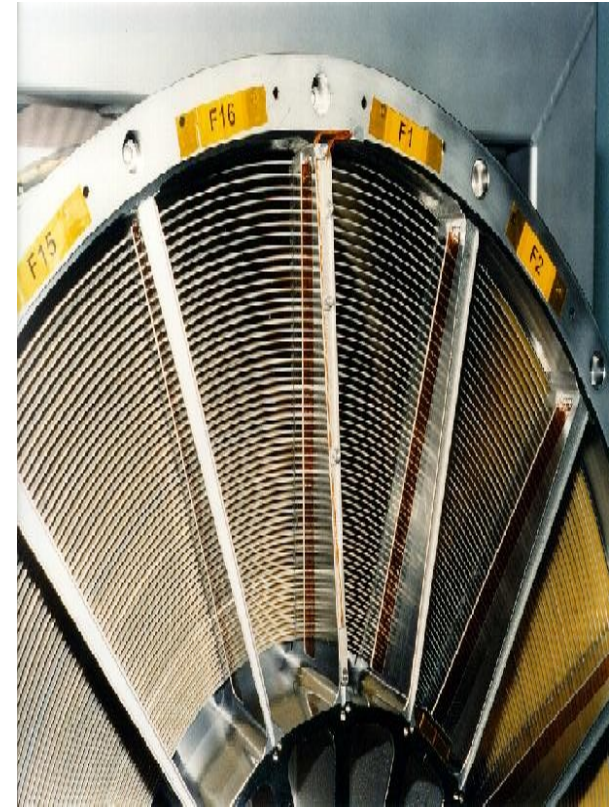
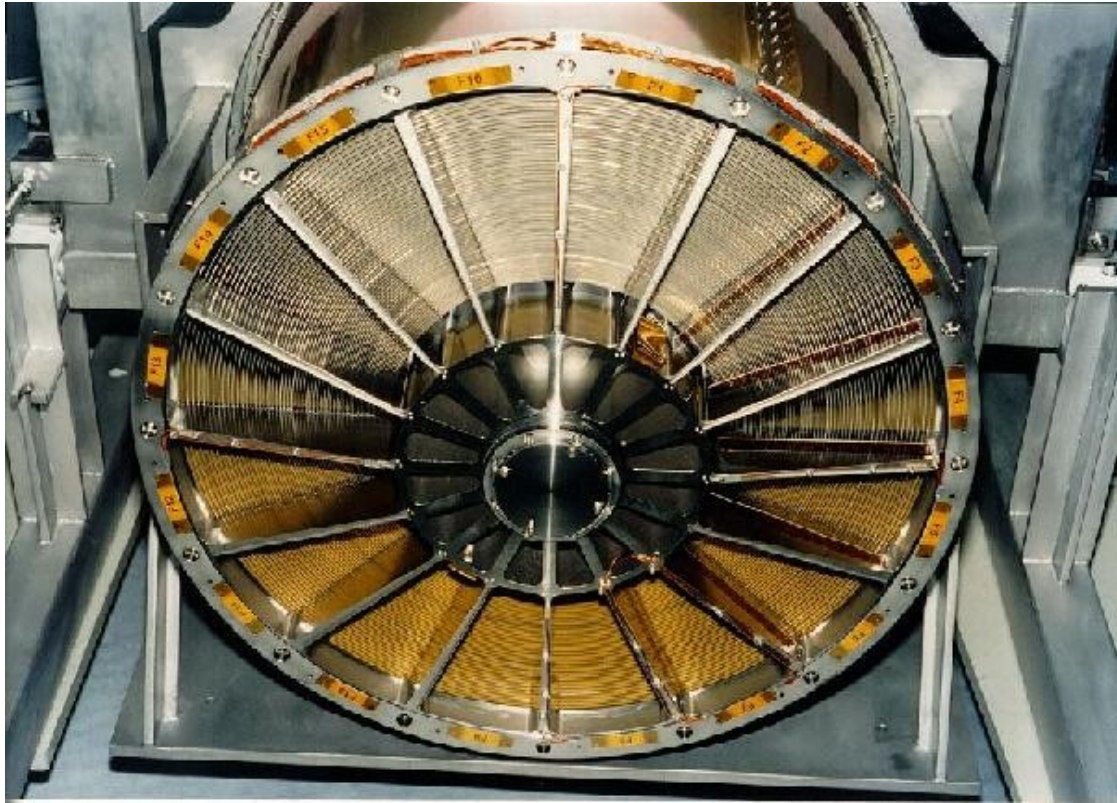


Chandra



Esquema de Chandra

XMM-Newton



- Espejos muy finos (\sim mm) de níquel y oro
- 58 pares de espejos por módulo. 3 módulos en paralelo.
- PSF \sim 12-15"

XMM-Newton

Lanzado en 2009 (ESA)



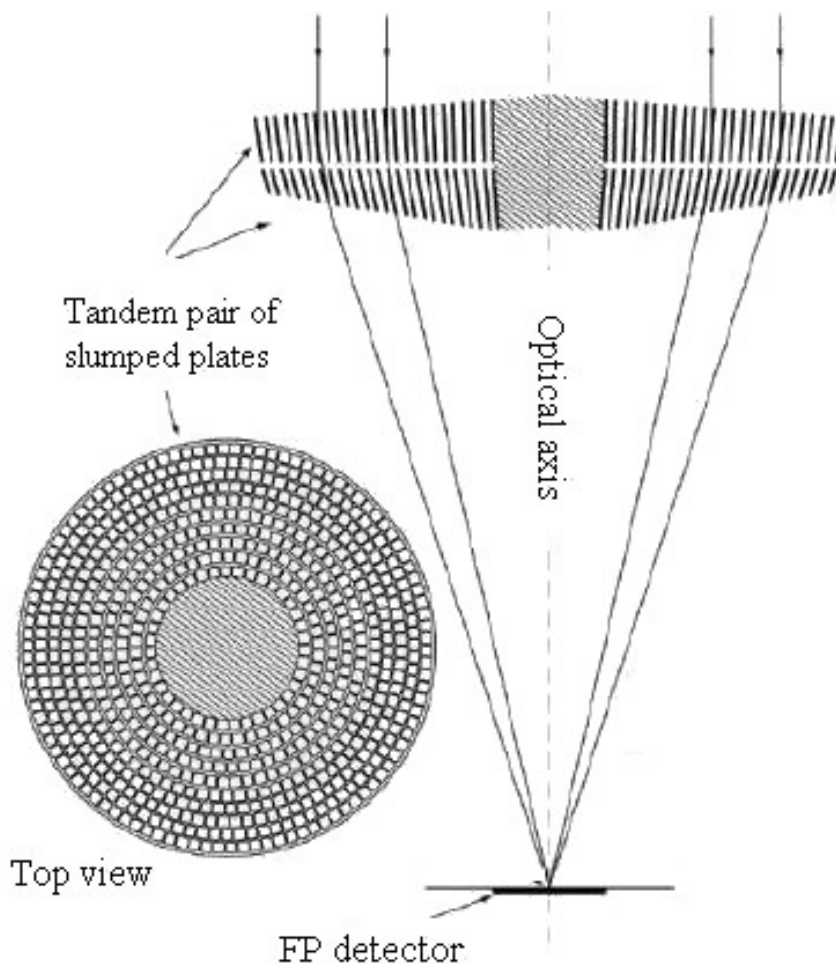
J. Miguel Mas Hesse
Julio 2012

XMM-Newton

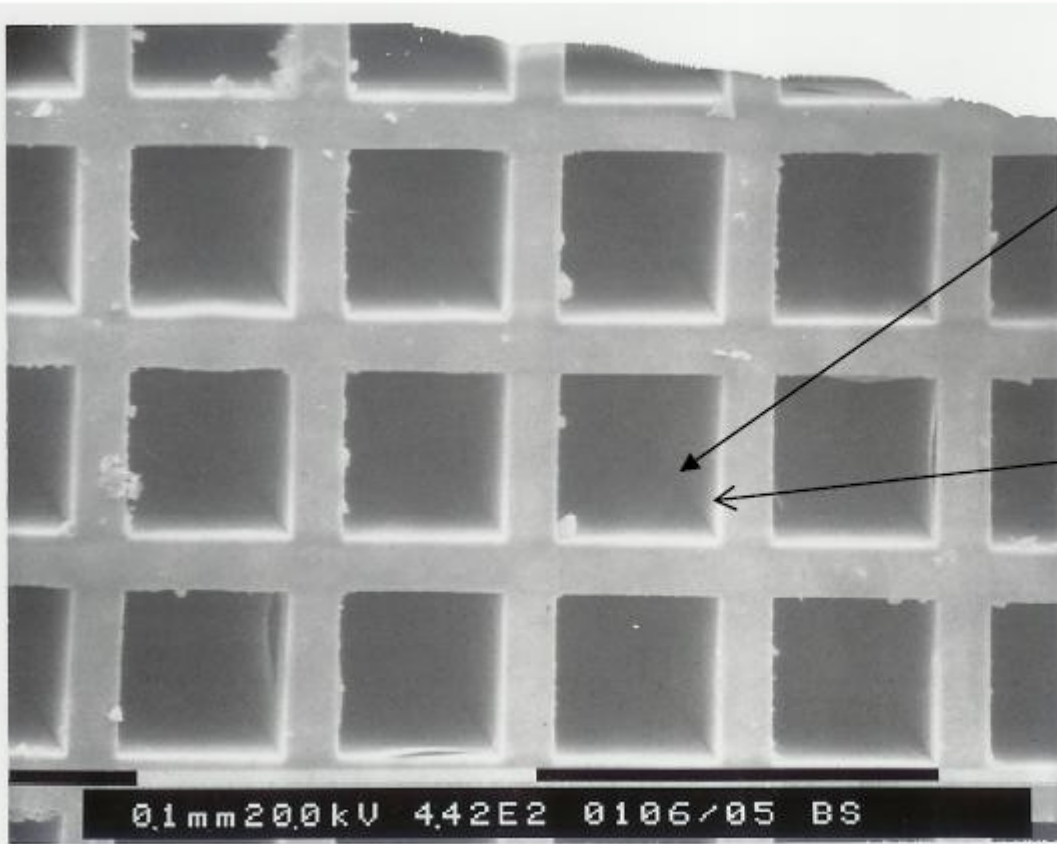


Telescopios de incidencia rasante: microporos

- Esta tecnología permite reducir la masa por un factor 10!

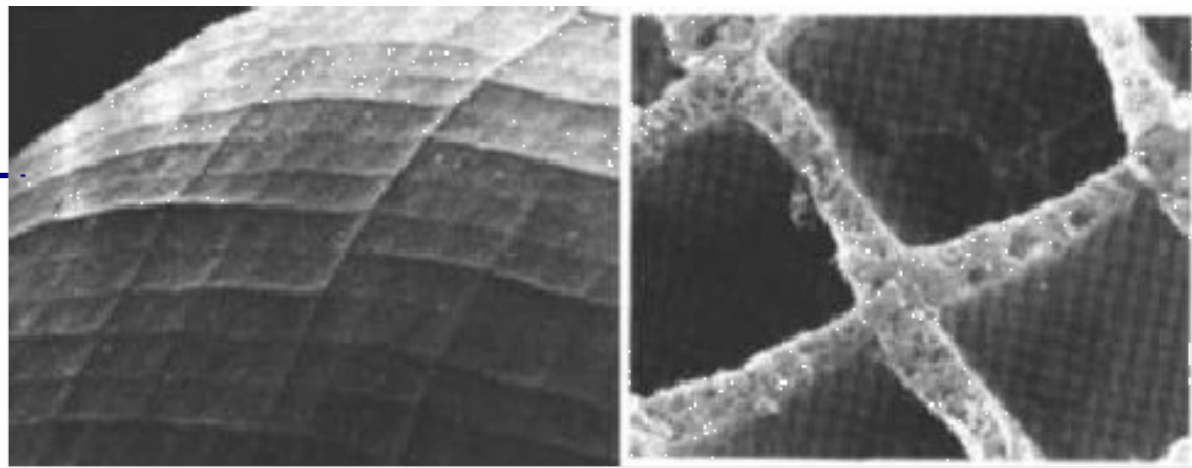


Telescopios de incidencia rasante: microporos

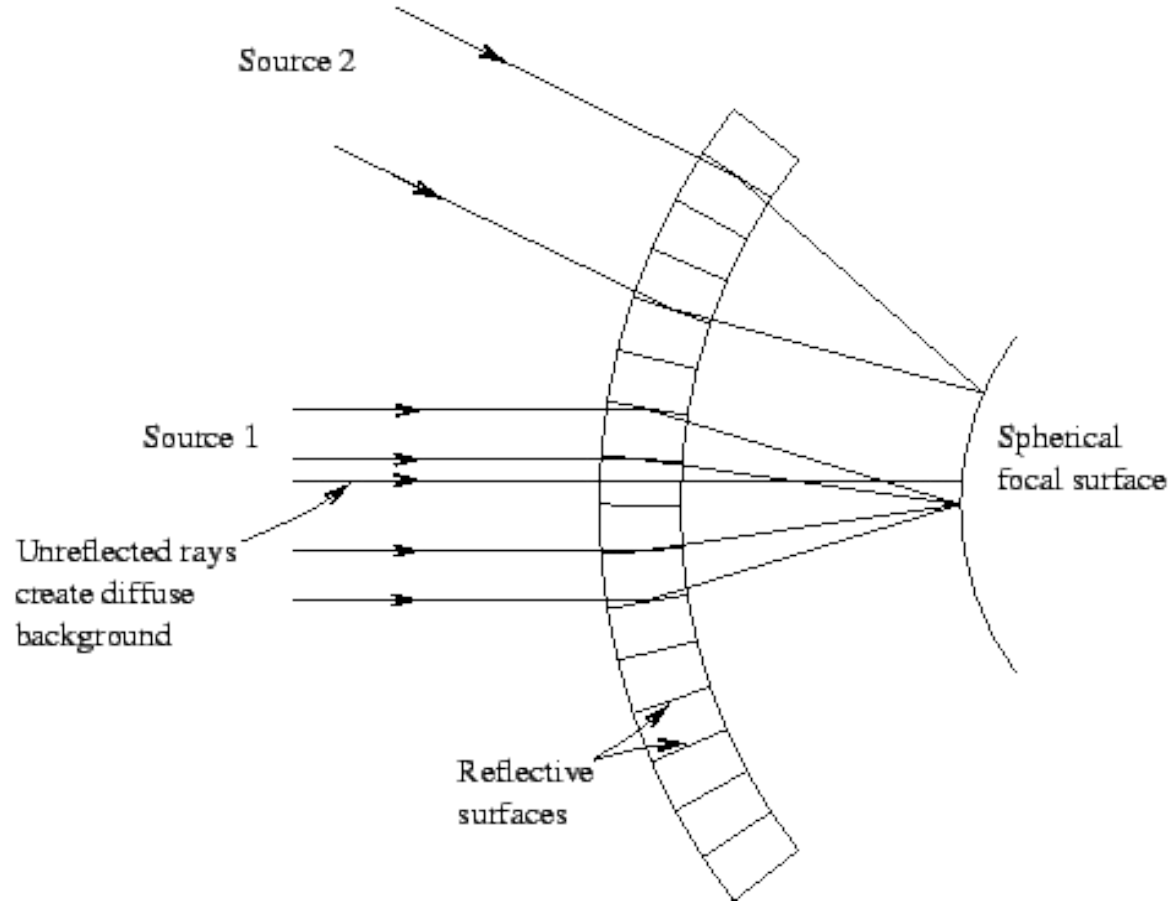


Prototipos para la misión XEUS □ IXO □ Athena.

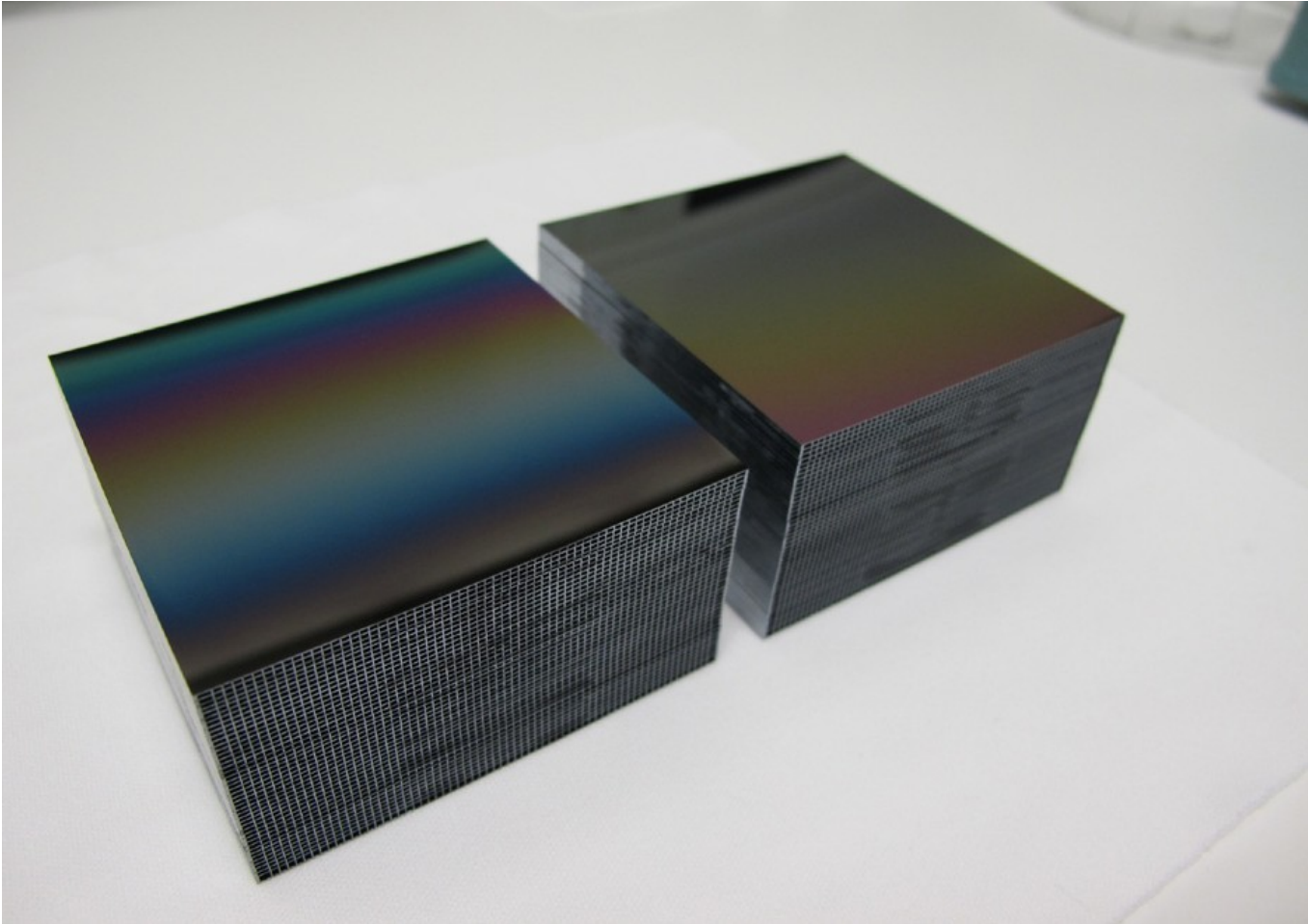
Microporos



- Geometría *Ojo de langosta*:
permite ampliar el campo observado.

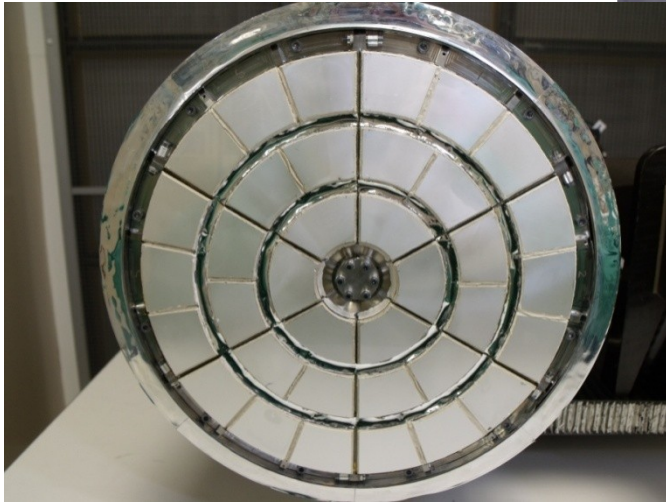


Telescopios de incidencia rasante: microporos



Prototipos para la misión Athena (45 láminas)

Telescopios de incidencia rasante: microporos

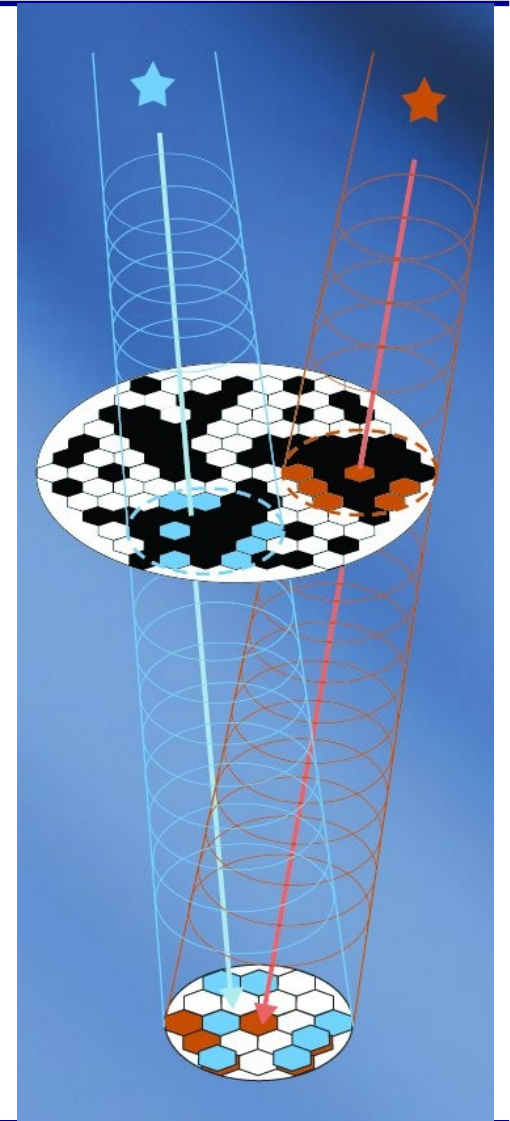


Rayos gamma

- A energías mayores, los fotones atraviesan incluso los telescopios de incidencia rasante.
- A energías intermedias (10 keV – 10 MeV) se logra realizar imágenes mediante *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.

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.
- La distribución de agujeros-zonas oscuras debe ser lo más aleatoria posible.
- Se puede alcanzar una resolución de $1'$ - $10'$.



Máscaras codificadas

INTEGRAL Science Data Centre - Windows Internet Explorer

http://www.isdc.unige.ch/integral/outreach#Masks?en

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda

Favoritos Inicio :: Estacion de esquí en... INTEGRAL Science Data ...

Science

- Publications
- Alerts & Circulars
- Source Catalogue
- Gamma-Ray Bursts
- Results on the Web
- Conferences

Data

- Science Products **NEW**
- Data Archive
- Data Analysis

Centre

- Help Desk
- TOO Notification
- Operation Planning
- Commanding
- Operation Reporting
- Radiation Monitoring

Internal

- Documents
- Meetings
- Software
- Config. Mgt.

To measure the direction of low energy gamma-rays, INTEGRAL's instruments use "coded masks". This technique consists in partially masking the opening of the telescope and measuring the shadow of this mask projected onto the detector.

Sky settings

Add a new Source

Remove this Source

99

BKG 0

Random Sources: OK

Reconstructed

Mask settings

Choose a mask

Random

Random Holes: OK

Detector

This software has been developed by Maxime Dubugon at the High-School of Burier.

The above interface allows to define

the sources in the sky; double click on the Sky image to add a source; the source strength

Inicio INTEGRAL Science D... report Bandeja de entrada pa... Microsoft PowerPoint - ... Internet 100% 15:21

Máscaras codificadas

The screenshot shows a Windows Internet Explorer browser window displaying the INTEGRAL Science Data Centre website. The address bar shows the URL: <http://www.isdc.unige.ch/integral/outreach#Masks?en>. The page content includes a navigation sidebar on the left with sections for Science, Data, Centre, and Internal. The main content area features a text introduction and a central interface with four panels: Sky settings, Reconstructed, Mask settings, and Detector. The Sky settings panel includes controls for adding/removing sources, a sun icon, and a strength slider set to 99. The Mask settings panel includes a dropdown for choosing a mask (set to Random) and a holes slider. The Reconstructed and Detector panels show grayscale images. The Windows taskbar at the bottom shows the system tray with the time 15:21 and various application icons.

To measure the direction of low energy gamma-rays, INTEGRAL's instruments use "coded masks". This technique consists in partially masking the opening of the telescope and measuring the shadow of this mask projected onto the detector.

Sky settings

Add a new Source

Remove this Source

☀ | 99

BKG | 36

Random Sources: OK

Mask settings

Choose a mask

Random

Random Holes: OK

Reconstructed

Detector

This software has been developed by Maxime Dubugon at the High-School of Burier.

The above interface allows to define

the sources in the sky; double click on the Sky image to add a source; the source strength

Máscaras codificadas

INTEGRAL Science Data Centre - Windows Internet Explorer

http://www.isdc.unige.ch/integral/outreach#Masks?en

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda x Google Buscar Acceder FireShot

Favoritos Inicio :: Estacion de esquí en... INTEGRAL Science Data ...

Science

- Publications
- Alerts & Circulars
- Source Catalogue
- Gamma-Ray Bursts
- Results on the Web
- Conferences

Data

- Science Products **NEW**
- Data Archive
- Data Analysis

Centre

- Help Desk
- TOO Notification
- Operation Planning
- Commanding
- Operation Reporting
- Radiation Monitoring

Internal

- Documents
- Meetings
- Software
- Config. Mgt.

To measure the direction of low energy gamma-rays, INTEGRAL's instruments use "coded masks". This technique consists in partially masking the opening of the telescope and measuring the shadow of this mask projected onto the detector.

Sky settings

Add a new Source

Remove this Source

99

BKG 12

Random Sources: [] OK

Mask settings

Choose a mask

Bicycle

Random Holes: [] OK

Reconstructed

Detector

This software has been developed by Maxime Dubugon at the High-School of Burier.

The above interface allows to define

the sources in the sky: double click on the Sky image to add a source, the source strength

Error en la página.

Inicio INTEGRAL Science D... report Bandeja de entrada pa... Microsoft PowerPoint - ... 15:22

Máscaras codificadas

INTEGRAL Science Data Centre - Windows Internet Explorer

http://www.isdc.unige.ch/integral/outreach#Masks?en

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda

Favoritos Inicio :: Estacion de esquí en... INTEGRAL Science Data ...

Science

- Publications
- Alerts & Circulars
- Source Catalogue
- Gamma-Ray Bursts
- Results on the Web
- Conferences

Data

- Science Products **NEW**
- Data Archive
- Data Analysis

Centre

- Help Desk
- TOO Notification
- Operation Planning
- Commanding
- Operation Reporting
- Radiation Monitoring

Internal

- Documents
- Meetings
- Software
- Config. Mgt.

To measure the direction of low energy gamma-rays, INTEGRAL's instruments use "coded masks". This technique consists in partially masking the opening of the telescope and measuring the shadow of this mask projected onto the detector.

Sky settings

Add a new Source

Remove this Source

99

BKG 12

Random Sources: OK

Mask settings

Choose a mask

Plane

Random Holes: OK

Reconstructed

Detector

This software has been developed by Maxime Dubugon at the High-School of Burier.

The above interface allows to define

the sources in the sky; double click on the Sky image to add a source; the source strength

Error en la página.

Inicio INTEGRAL Science D... report Bandeja de entrada pa... Microsoft PowerPoint - ... 15:22

Máscaras codificadas

INTEGRAL Science Data Centre - Windows Internet Explorer

http://www.isdc.unige.ch/integral/outreach#Masks?en

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda x Google

Favoritos Inicio :: Estacion de esquí en... INTEGRAL Science Data ...

Science

- Publications
- Alerts & Circulars
- Source Catalogue
- Gamma-Ray Bursts
- Results on the Web
- Conferences

Data

- Science Products **NEW**
- Data Archive
- Data Analysis

Centre

- Help Desk
- TOO Notification
- Operation Planning
- Commanding
- Operation Reporting
- Radiation Monitoring

Internal

- Documents
- Meetings
- Software
- Config. Mgt.

To measure the direction of low energy gamma-rays, INTEGRAL's instruments use "coded masks". This technique consists in partially masking the opening of the telescope and measuring the shadow of this mask projected onto the detector.

Sky settings

Add a new Source

Remove this Source

99

BKG 12

Random Sources: OK

Mask settings

Choose a mask

Cross 1

Random Holes: OK

Reconstructed

Detector

This software has been developed by Maxime Dubugon at the High-School of Burier.

The above interface allows to define

the sources in the sky: double click on the Sky image to add a source, the source strength

Error en la página.

Inicio INTEGRAL Science D... report Bandeja de entrada pa... Microsoft PowerPoint - ... 15:23

Máscaras codificadas

INTEGRAL Science Data Centre - Windows Internet Explorer

http://www.isdc.unige.ch/integral/outreach#Masks?en

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda

Favoritos Inicio :: Estacion de esquí en... INTEGRAL Science Data ...

Science

- Publications
- Alerts & Circulars
- Source Catalogue
- Gamma-Ray Bursts
- Results on the Web
- Conferences

Data

- Science Products **NEW**
- Data Archive
- Data Analysis

Centre

- Help Desk
- TOO Notification
- Operation Planning
- Commanding
- Operation Reporting
- Radiation Monitoring

Internal

- Documents
- Meetings
- Software
- Config. Mgt.

To measure the direction of low energy gamma-rays, INTEGRAL's instruments use "coded masks". This technique consists in partially masking the opening of the telescope and measuring the shadow of this mask projected onto the detector.

Sky settings

Add a new Source

Remove this Source

99

BKG 0

Random Sources: 4 OK

Mask settings

Choose a mask

Random

Random Holes: OK

Reconstructed

Detector

This software has been developed by Maxime Dubugon at the High-School of Burier.

The above interface allows to define

the sources in the sky: double click on the Sky image to add a source, the source strength

Error en la página.

Inicio INTEGRAL Science D... report Bandeja de entrada pa... Microsoft PowerPoint - ... Internet 100% 15:25

Máscaras codificadas

INTEGRAL Science Data Centre - Windows Internet Explorer

http://www.isdc.unige.ch/integral/outreach#Masks?en

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda

Favoritos Inicio :: Estacion de esquí en... INTEGRAL Science Data ...

Science

- Publications
- Alerts & Circulars
- Source Catalogue
- Gamma-Ray Bursts
- Results on the Web
- Conferences

Data

- Science Products **NEW**
- Data Archive
- Data Analysis

Centre

- Help Desk
- TOO Notification
- Operation Planning
- Commanding
- Operation Reporting
- Radiation Monitoring

Internal

- Documents
- Meetings
- Software
- Config. Mgt.

To measure the direction of low energy gamma-rays, INTEGRAL's instruments use "coded masks". This technique consists in partially masking the opening of the telescope and measuring the shadow of this mask projected onto the detector.

Sky settings

Add a new Source

Remove this Source

99

BKG 22

Random Sources: 4 OK

Reconstructed

Mask settings

Choose a mask

Random

Random Holes: OK

Detector

This software has been developed by Maxime Dubugon at the High-School of Burier.

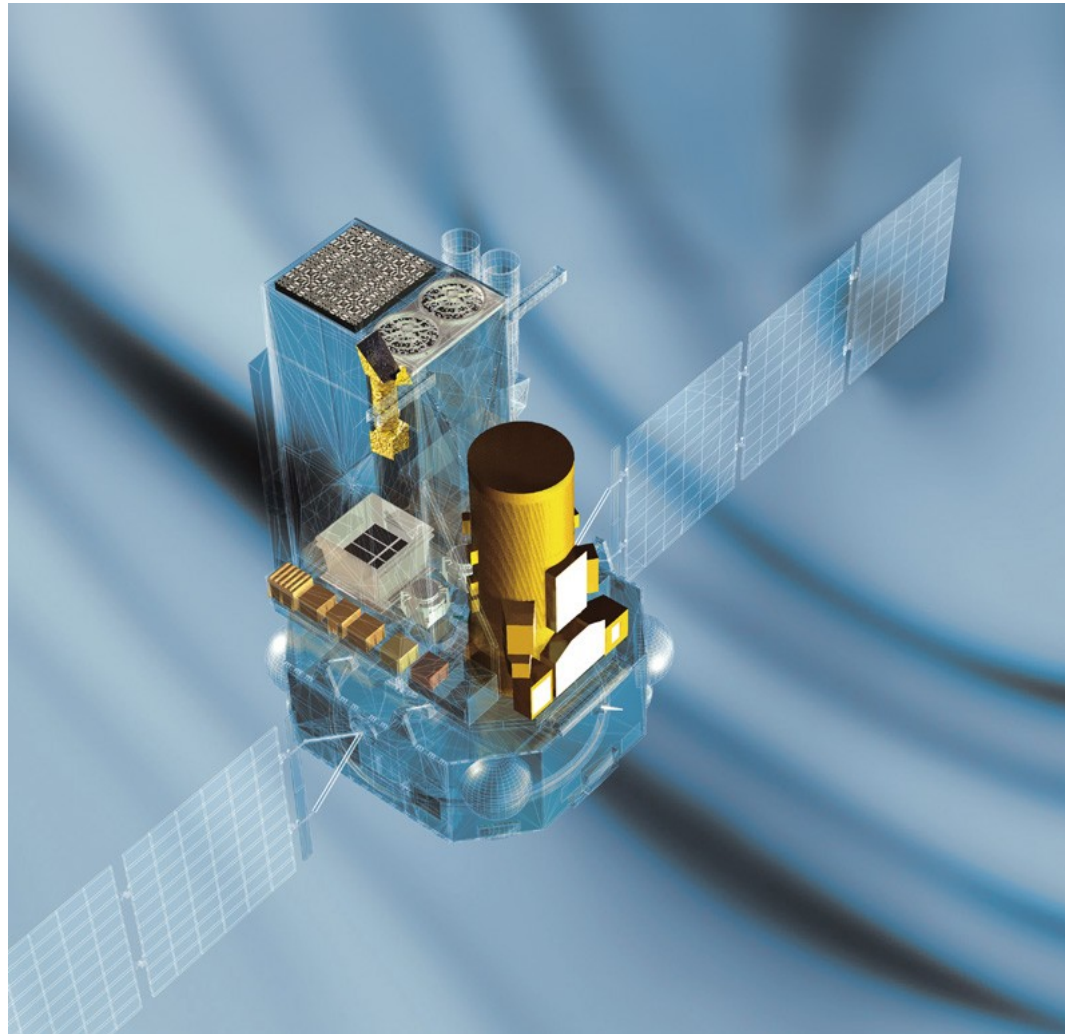
The above interface allows to define

the sources in the sky: double click on the Sky image to add a source, the source strength

Error en la página.

Inicio INTEGRAL Science D... report Bandeja de entrada pa... Microsoft PowerPoint - ... 15:26

Máscaras codificadas: INTEGRAL



Máscaras codificadas: INTEGRAL

INTEGRAL/SPI máscara codificada

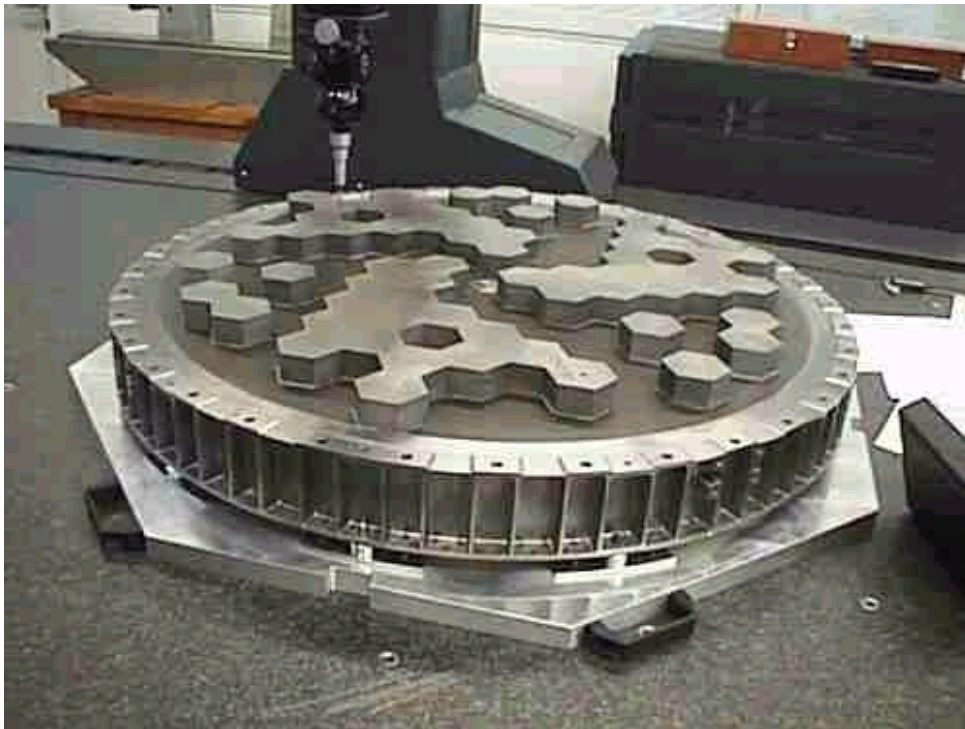
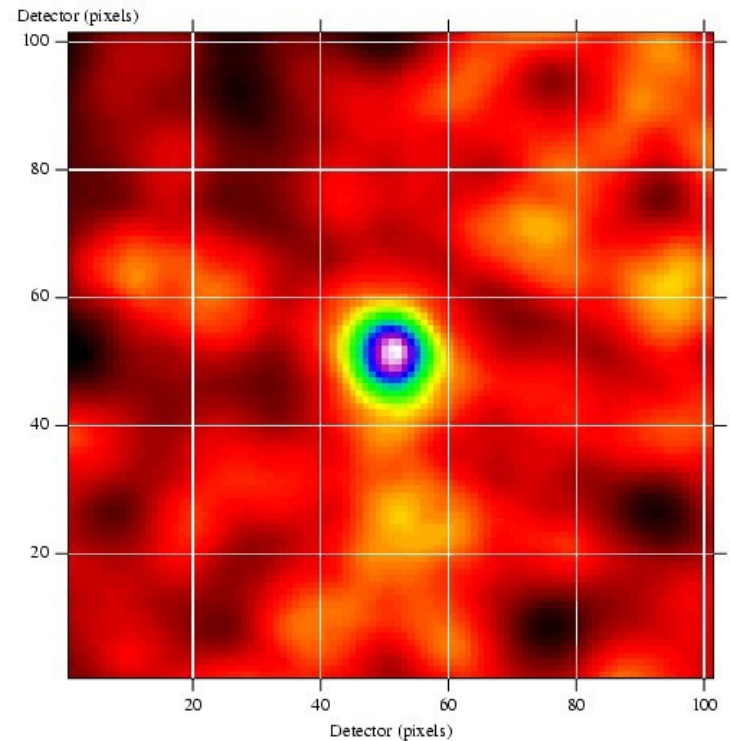


Imagen reconstruida

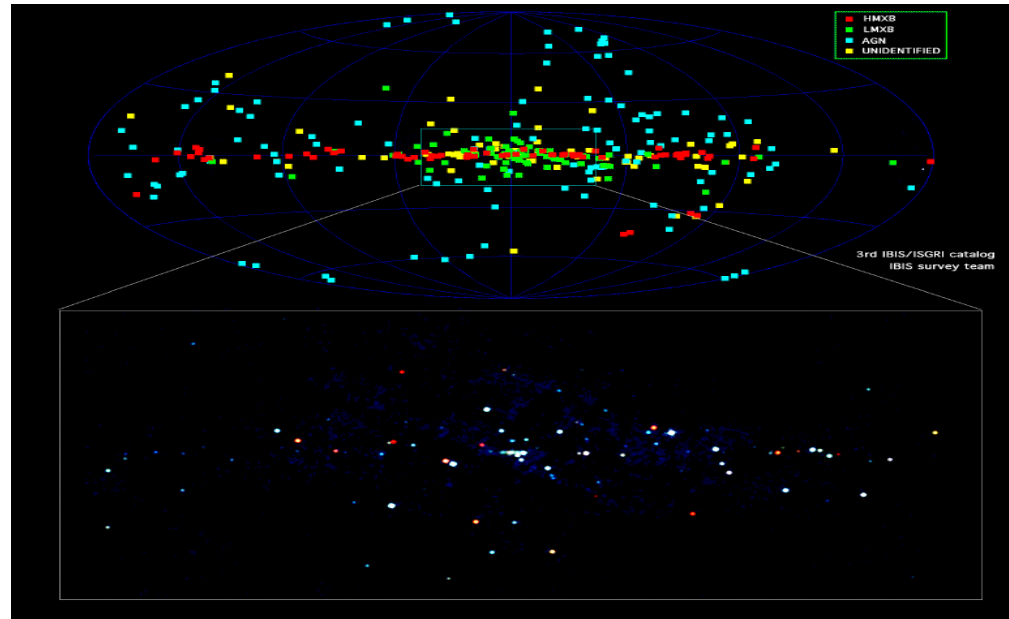


Máscaras codificadas: INTEGRAL

INTEGRAL/IBIS



Imagen reconstruida del centro galáctico



INTEGRAL



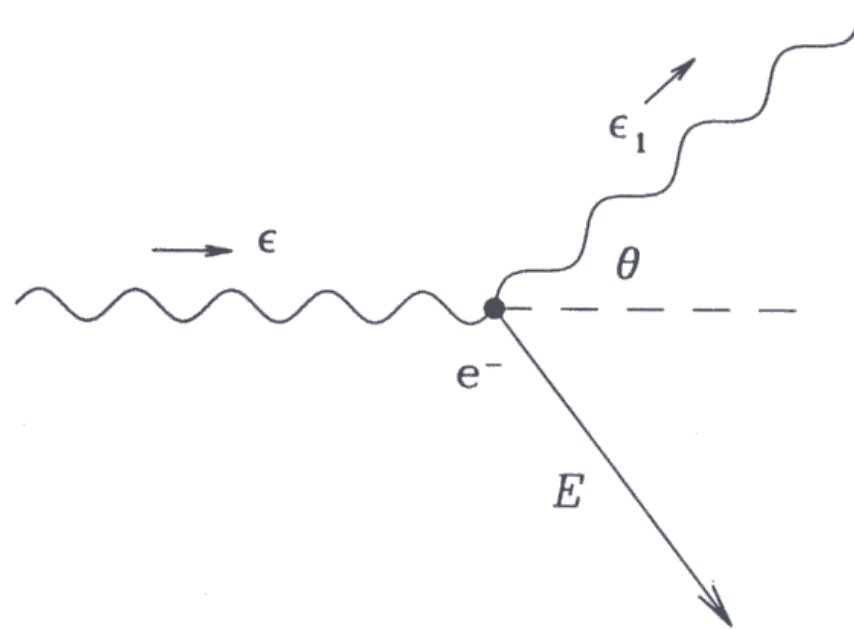


Rayos gamma

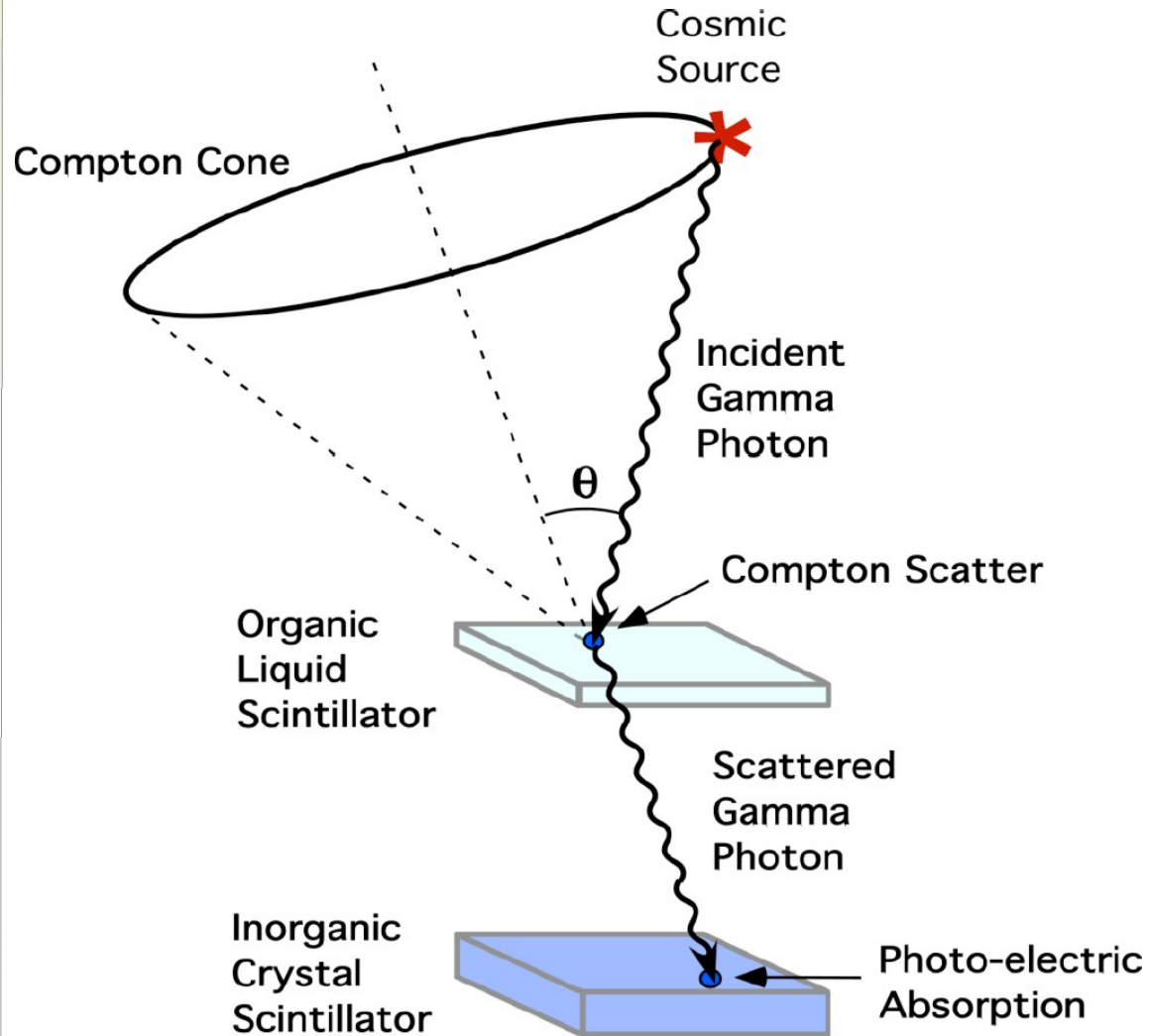
- A energías mayores a 10 MeV, los fotones atraviesan incluso las máscaras.
- A estas energías los telescopios están basados directamente en la interacción cuántica de la materia y los fotones.

Rayos gamma: efecto Compton

- Si un fotón de muy alta energía “choca” con un electrón, le cede parte de su energía y el electrón gana velocidad.

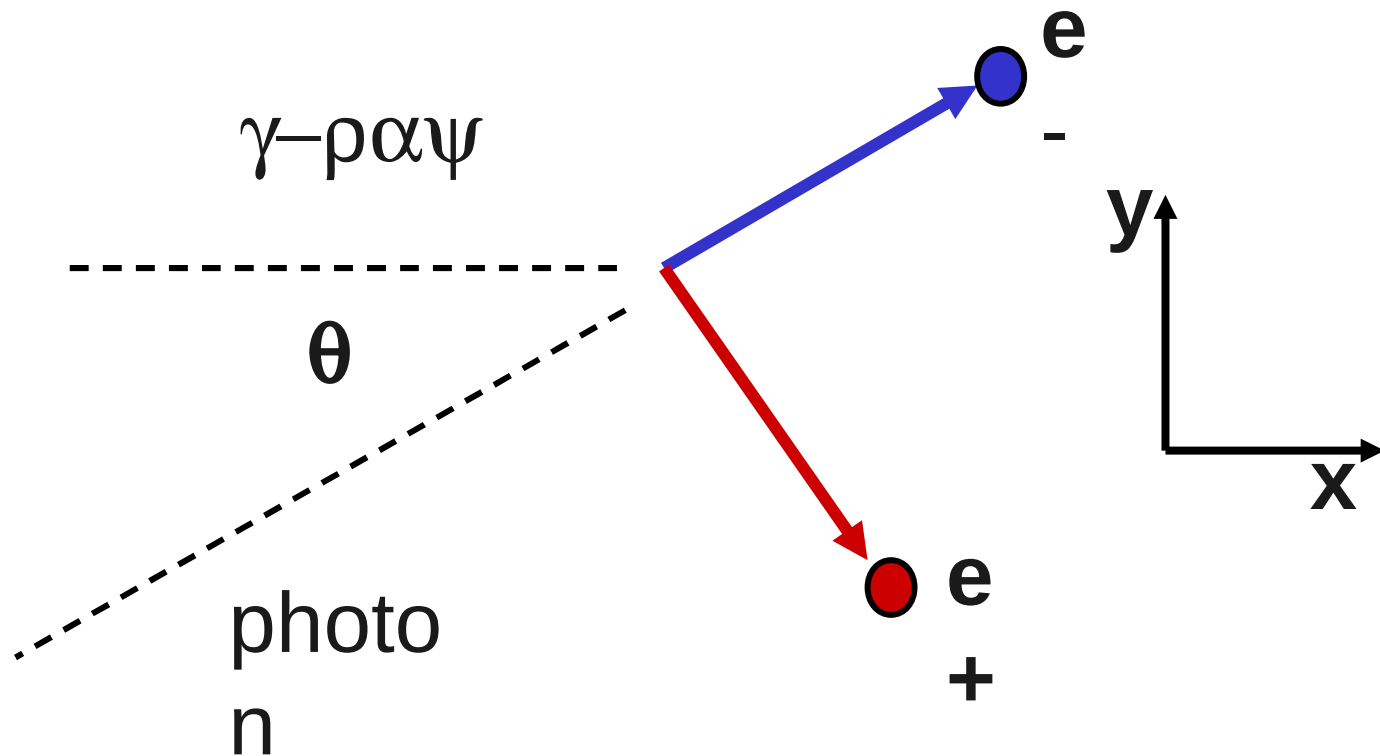


Telescopios de efecto Compton



Rayos gamma: creación pares e-e+

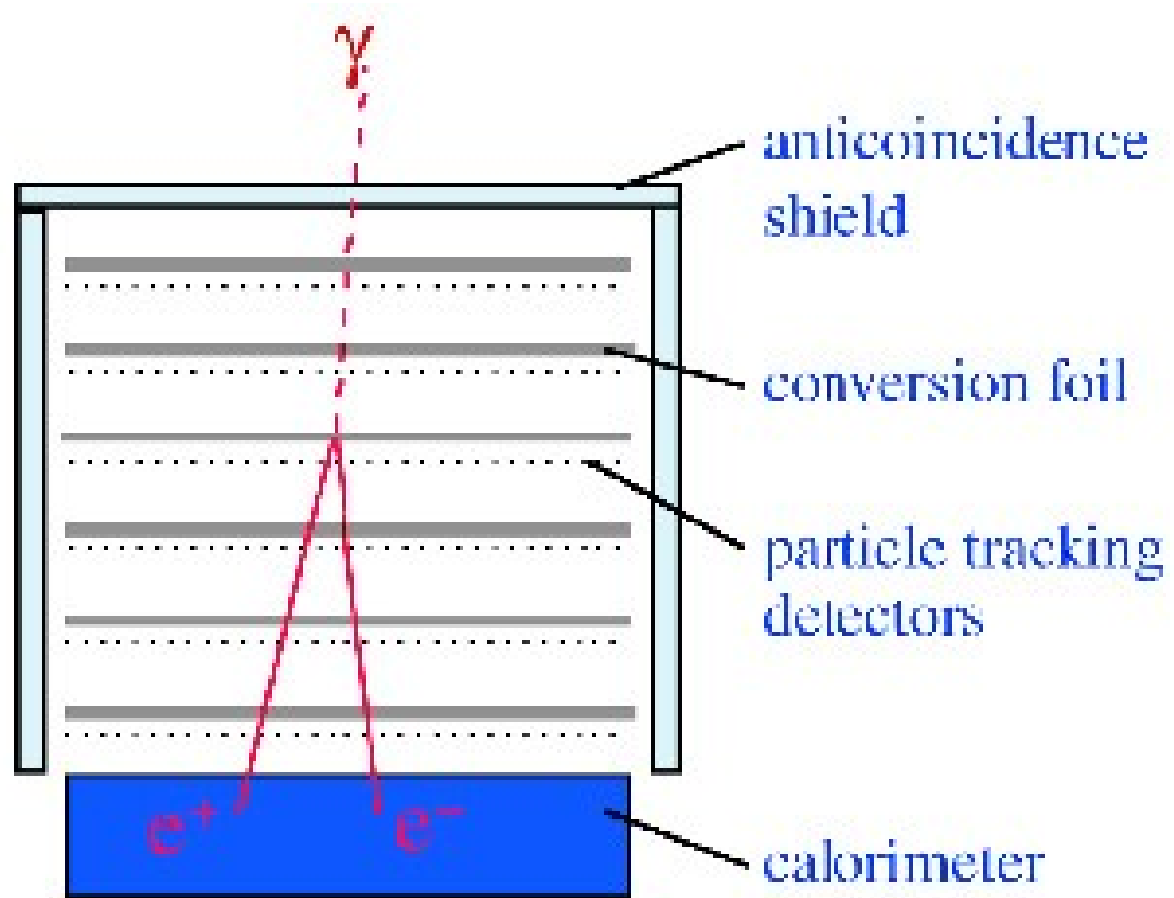
- Un fotón de muy alta energía puede interactuar con otro fotón o con un protón, y generar un par electrón/positrón.



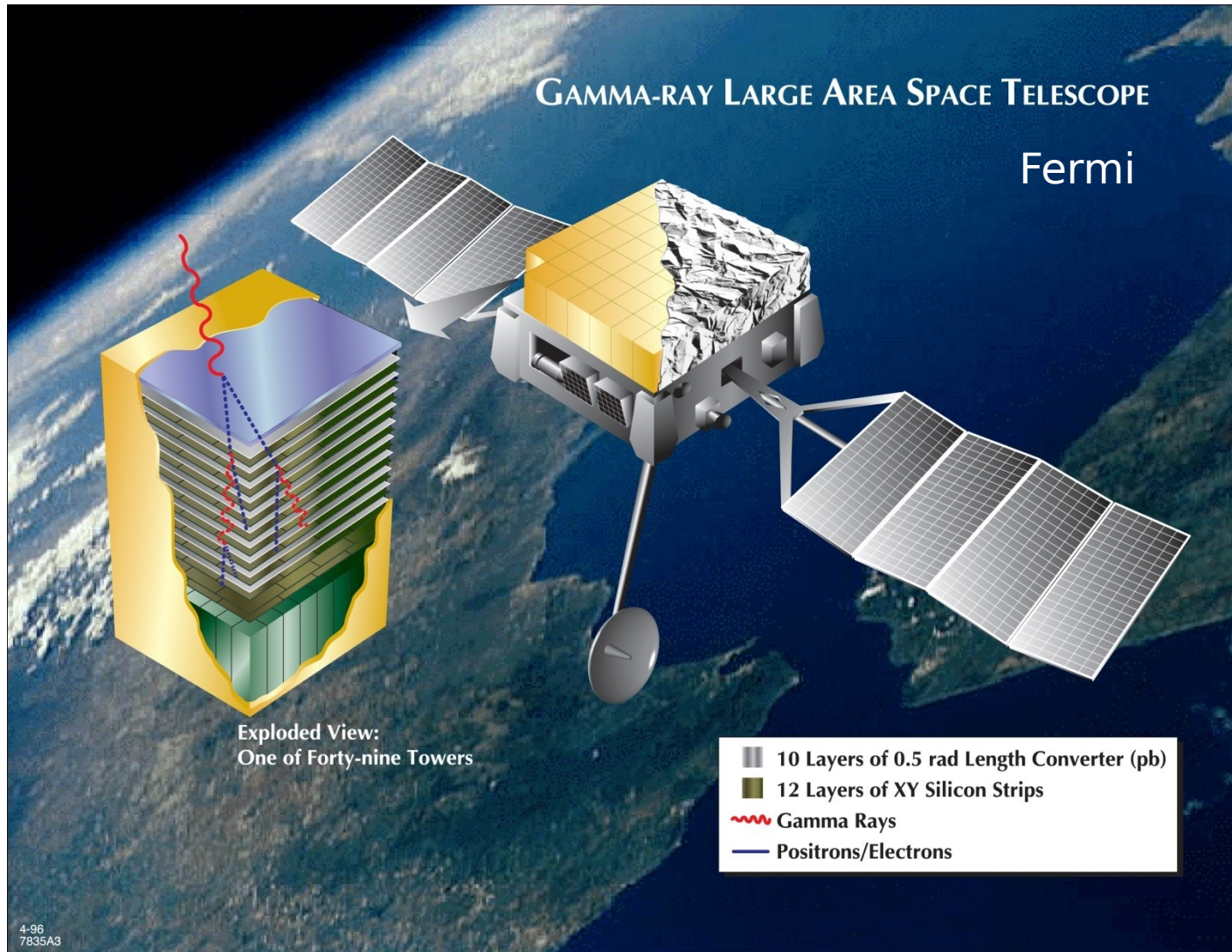
Telescopios e-e+

- El fotón gamma produce un par e-e+, cuya traza se sigue hasta ser absorbidos en el calorímetro.

- Se reconstruye la dirección incidente y la energía del fotón.



Telescopios e-e+



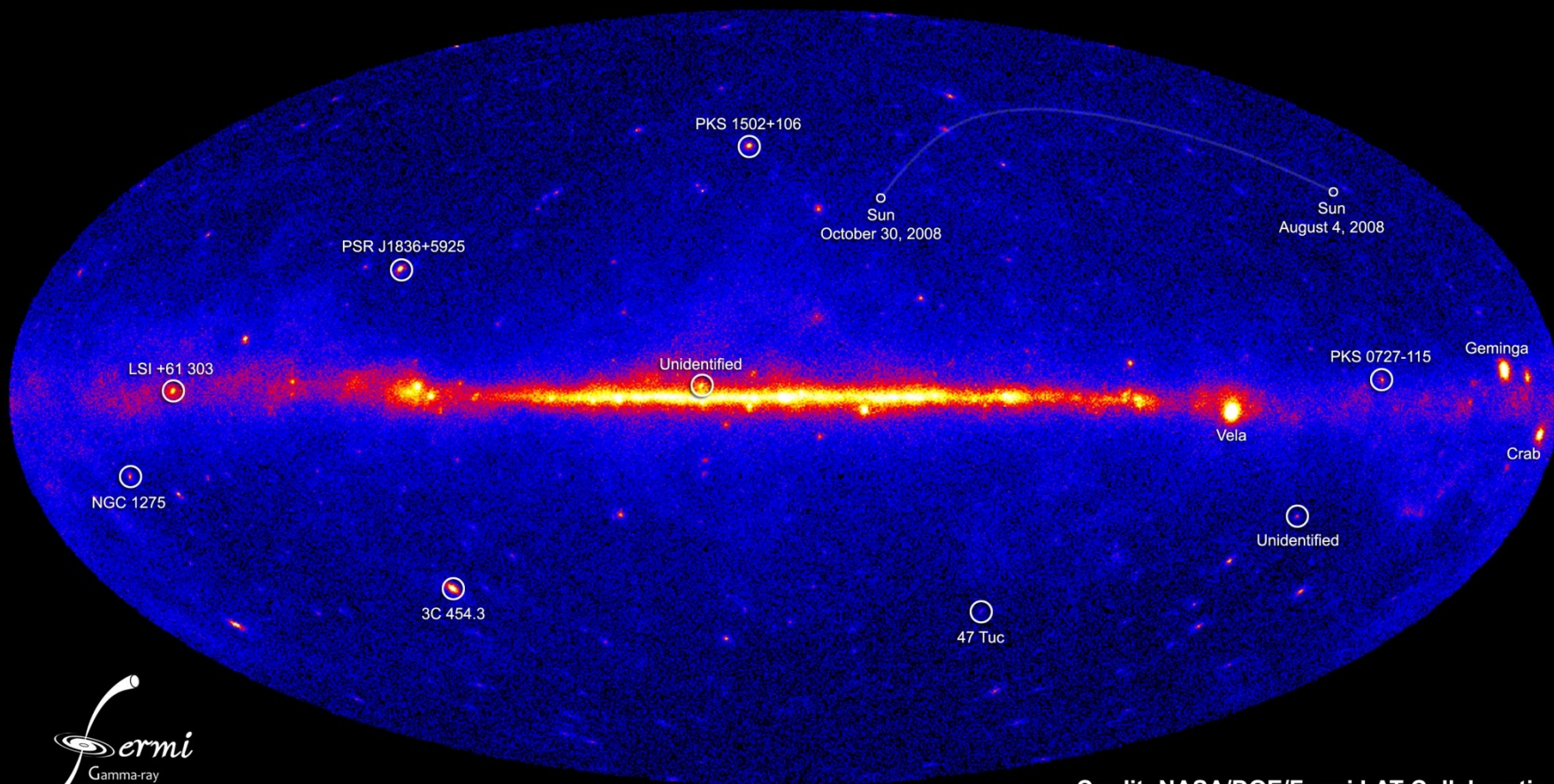
Fermi

11 de junio de 2008

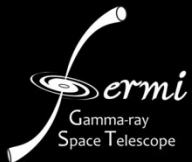


Fermi

NASA's Fermi telescope reveals best-ever view of the gamma-ray sky

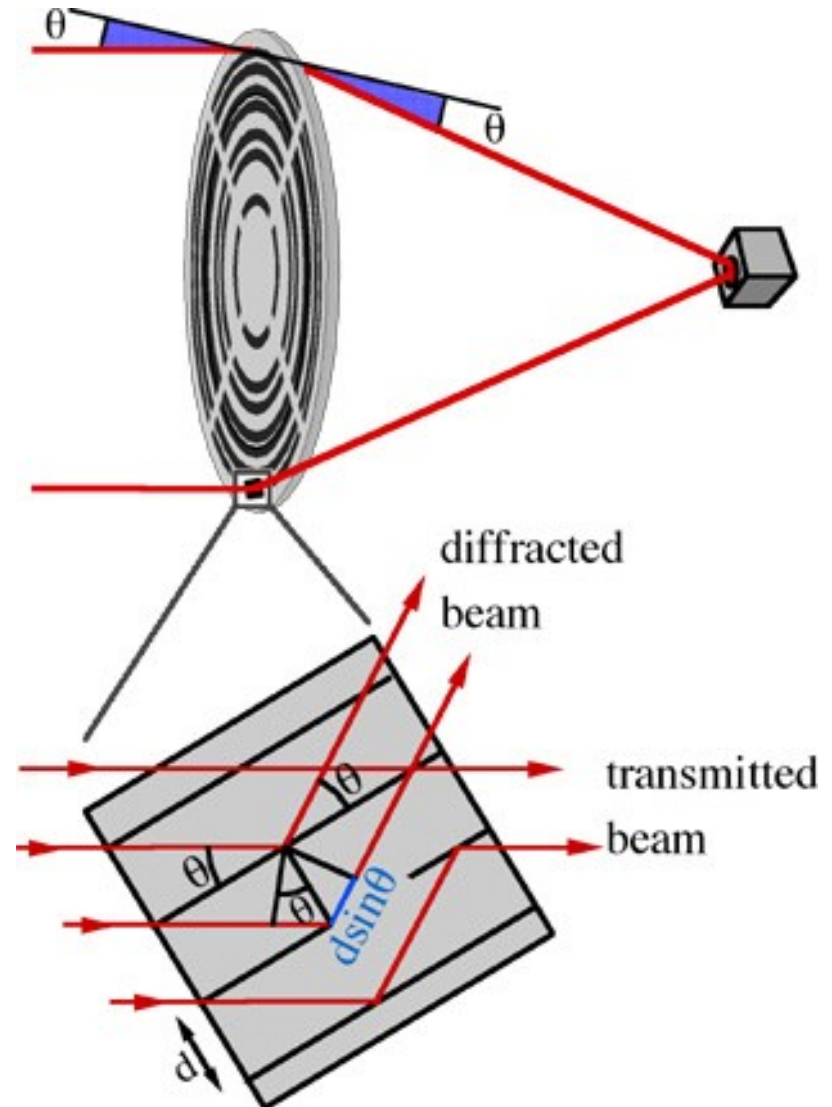


Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

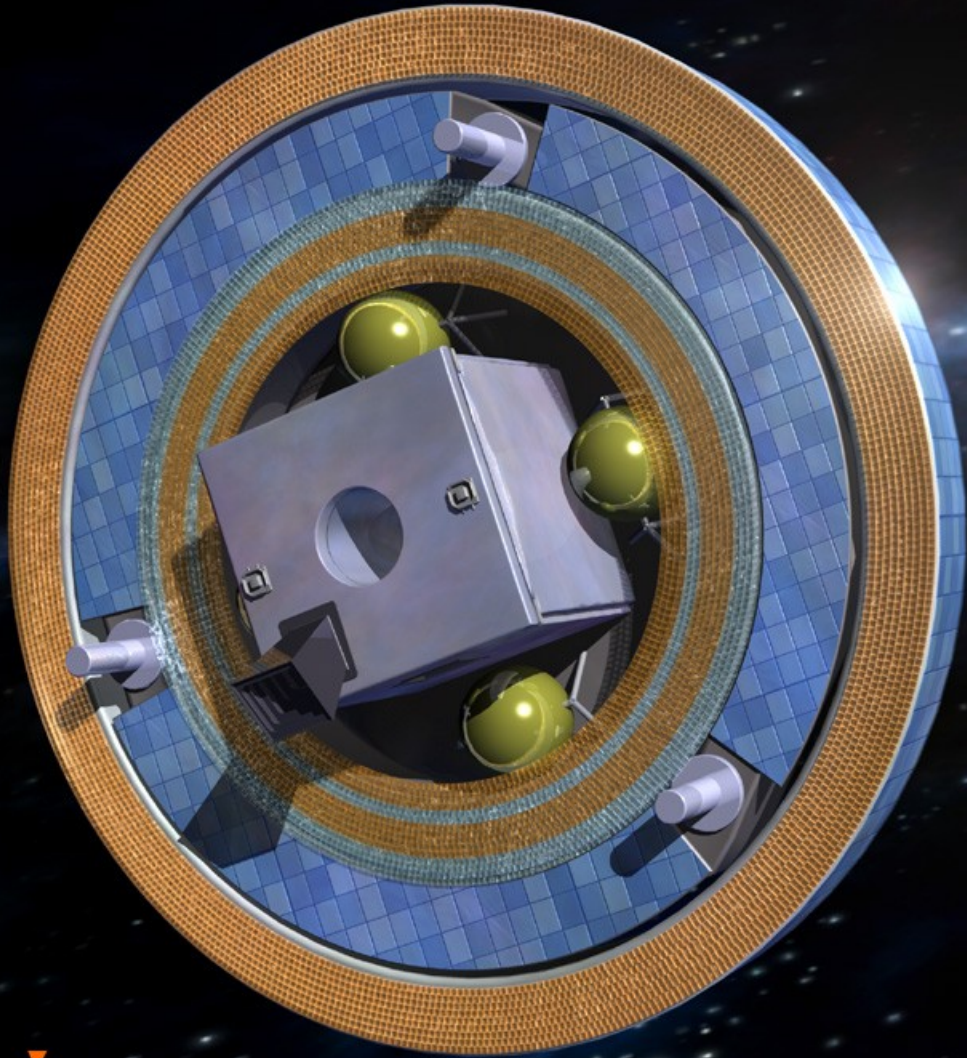


Lentes de Laue

- 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 la longitud de onda: sólo se pueden diseñar para unas líneas de emisión específicas.



MAX



ALCATEL

SPACE

David Biau 2004

Julio 2012

Detectores de altas energías

Detectores

- à 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

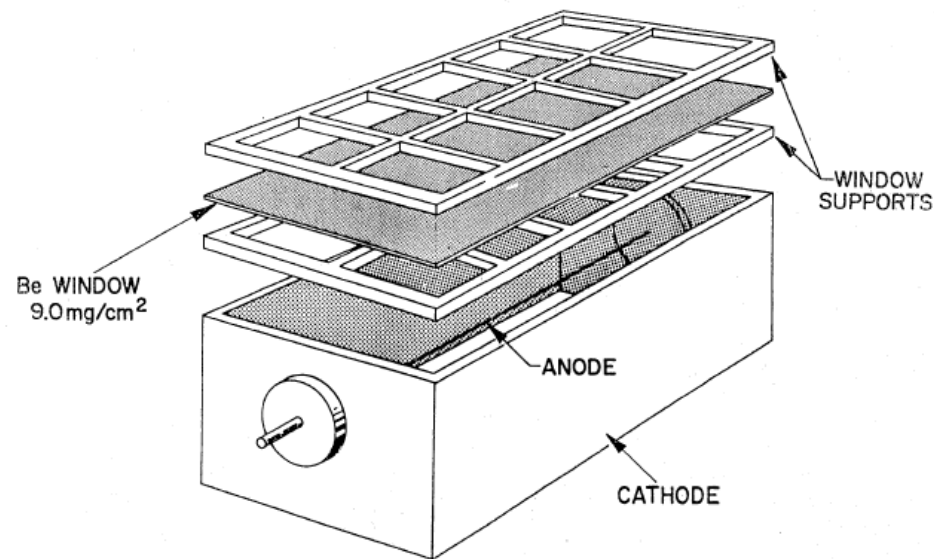
De esta manera se obtienen imágenes, espectros (de resolución baja) y curvas de luz.

Detectores

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

Cámaras de descarga

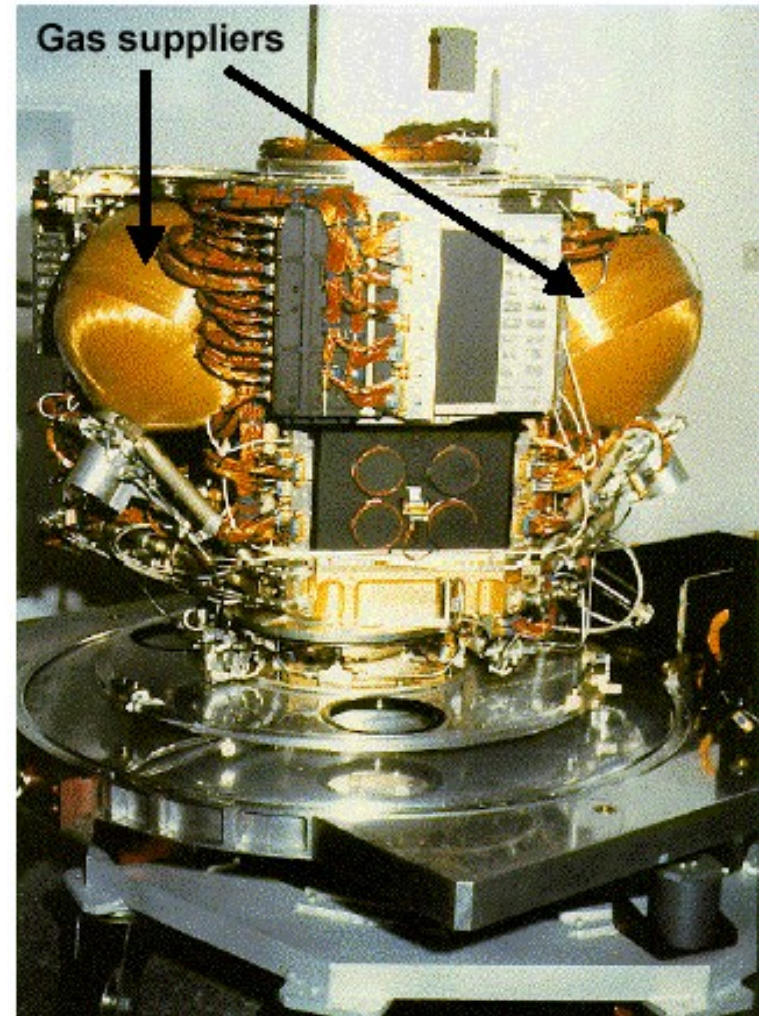
- Son los detectores más sencillos y robustos.
- Constan de una caja hermética con una ventana de Berilio, rellenas de gas a presión.
- Cuando penetra un fotón de rayos X produce una descarga en el gas, que es recogida por una red de hilos sometidos a una elevada diferencia de potencial.



Cámara de descarga: PSPC en *ROSAT*

~ μm thin plastic entrance window

- coated with Al to keep optical light out
- supported with thin wires

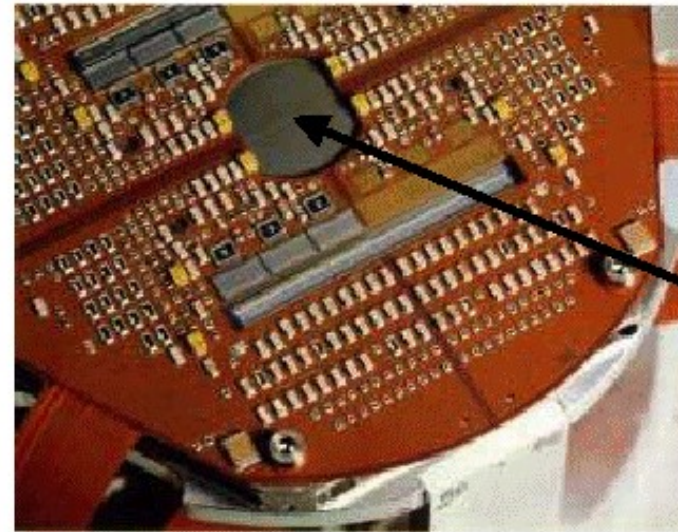
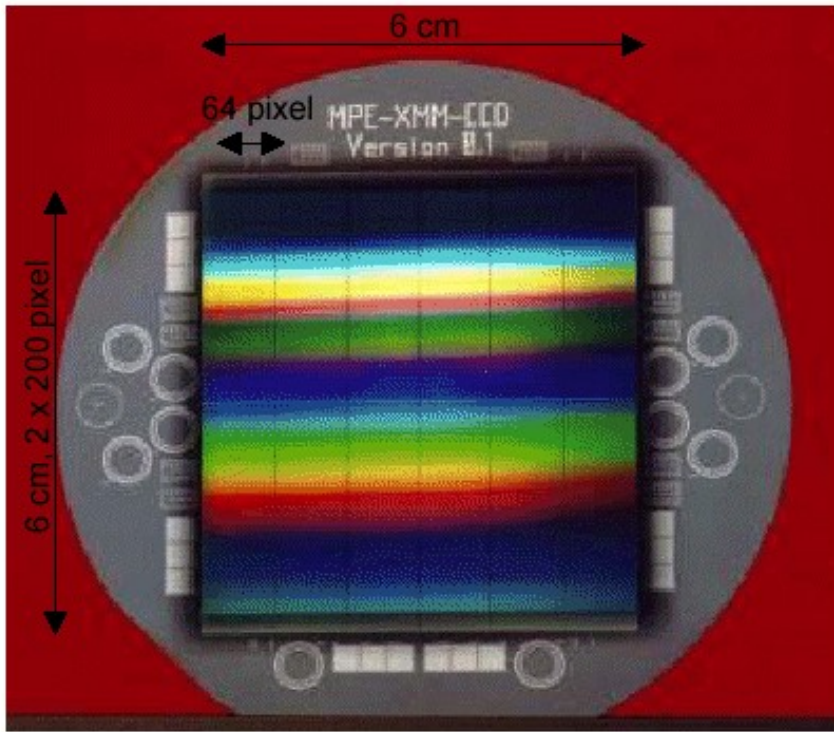


Detectores CCD

- Similares a los que se usan en el óptico, pero optimizados para detectar rayos X.
- Como el flujo es muy bajo, detectan los fotones de rayos X *uno a uno*.

Detectores CCD: EPIC PN en XMM

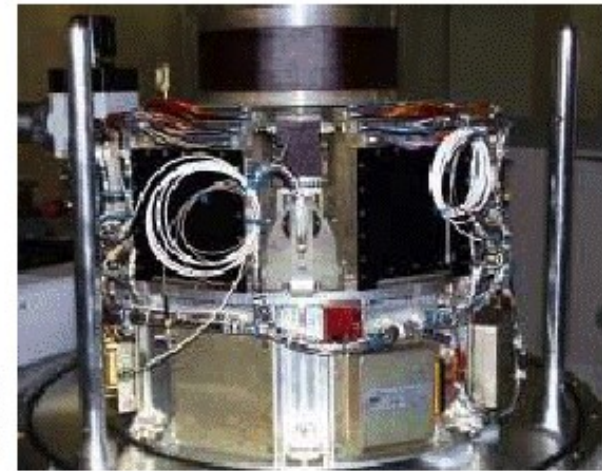
- European Photon Imaging Camera (EPIC)
- array of 12 back-illum. CCDs (0.1 – 15.0 keV)
- $E/\Delta E = 20 - 50$
- field of view: 27.5 arcmin diameter
- pixel size: $150 \times 150 \mu\text{m}^2$ (4 arcsec)²



Electronic board with 64 amplifiers

Front side

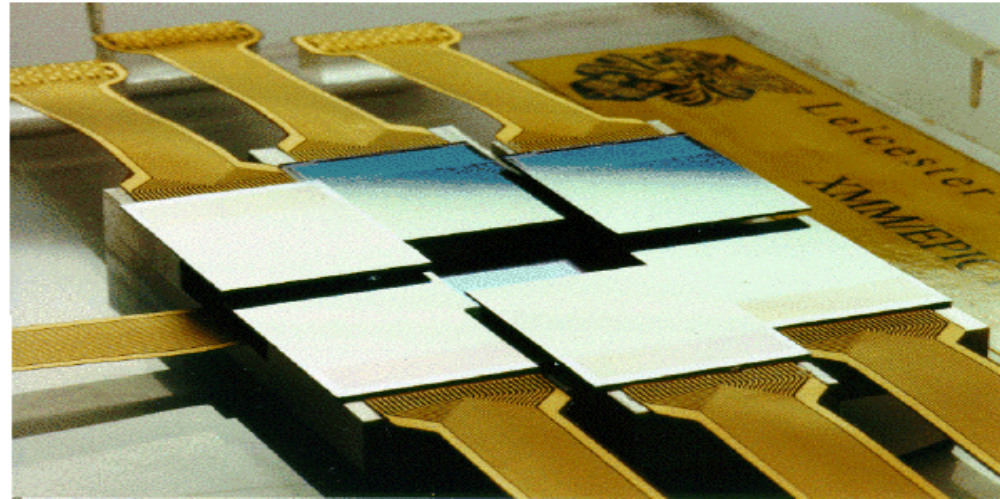
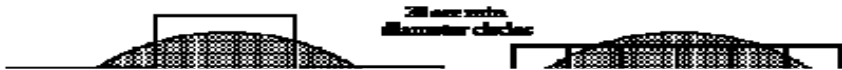
Cooling device
($T \sim -80$ to -90 K)



Detectores CCD: EPIC MOS en XMM

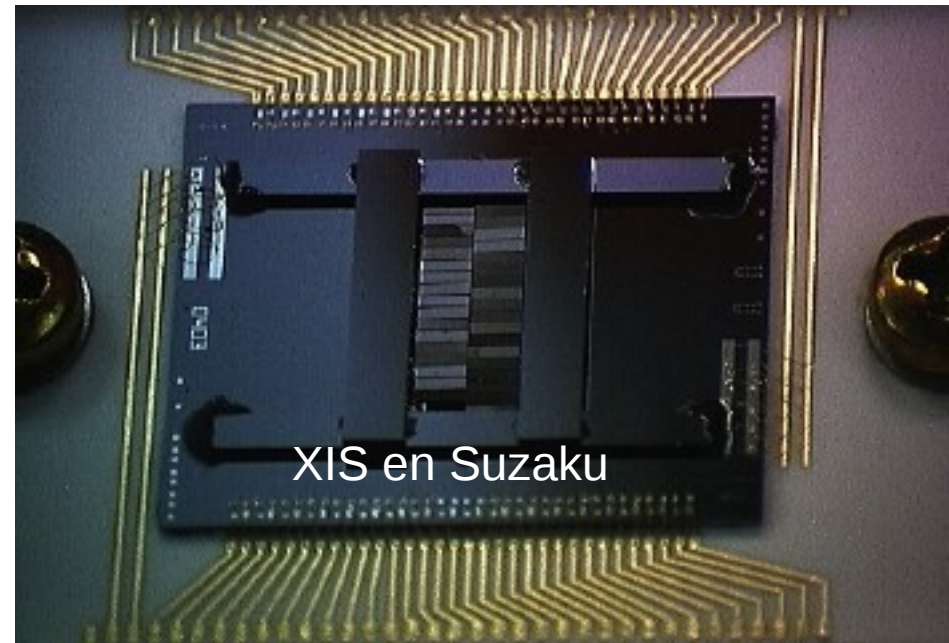
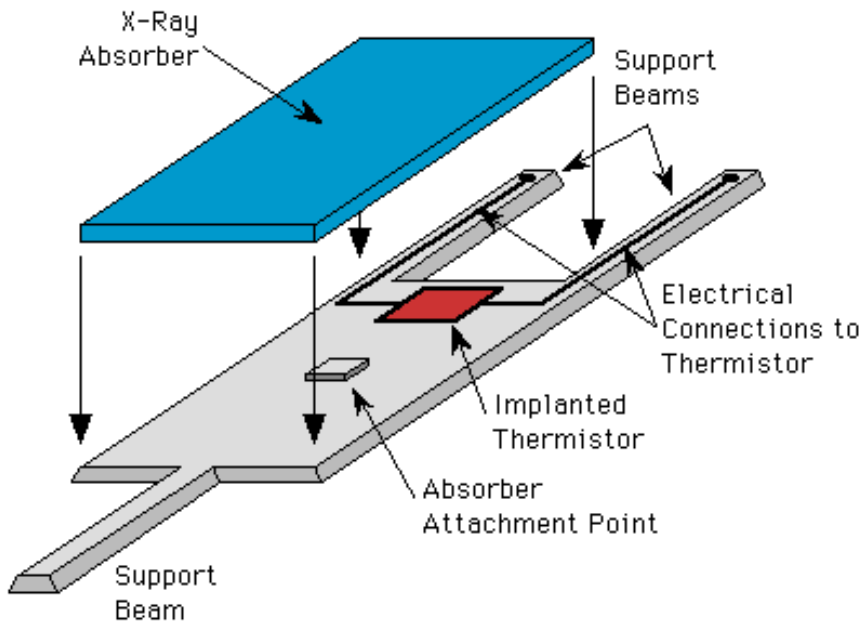
- European Photon Imaging Camera (EPIC), made of Metal-Oxide-Silicon
- 2 x Array of 7 CCDs (0.1 – 10.0 keV)
- each CCD consists of 600 x 600 pixels
- $E/\Delta E = 20 - 50$
- pixel size: $40 \times 40 \mu\text{m}^2$ (1.1 arcsec)²
- field of view: 30 arcmin diameter

Comparison of focal plane organization of EPIC MOS and pn cameras

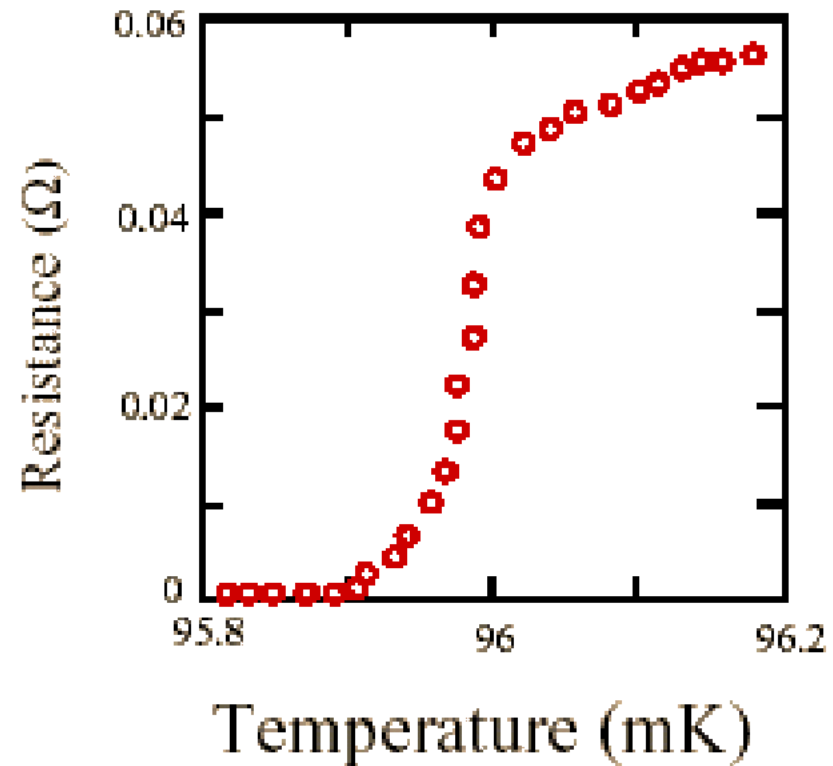
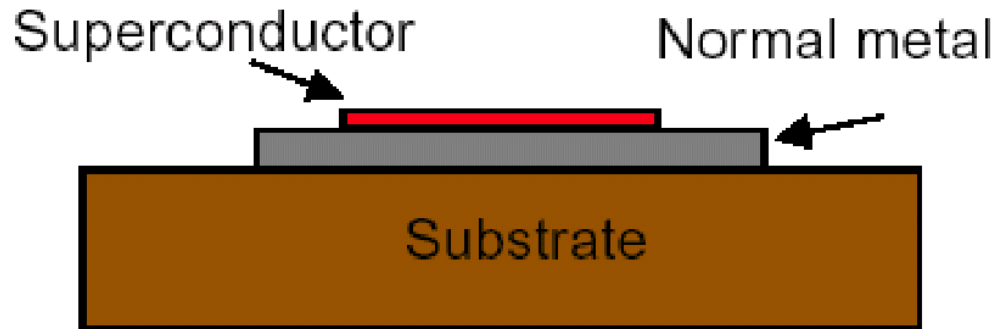


Calorímetros

- Son los detectores con mayor resolución en energía.
- Detectan el incremento de temperatura al absorber cada fotón individual, por un aumento de resistividad.



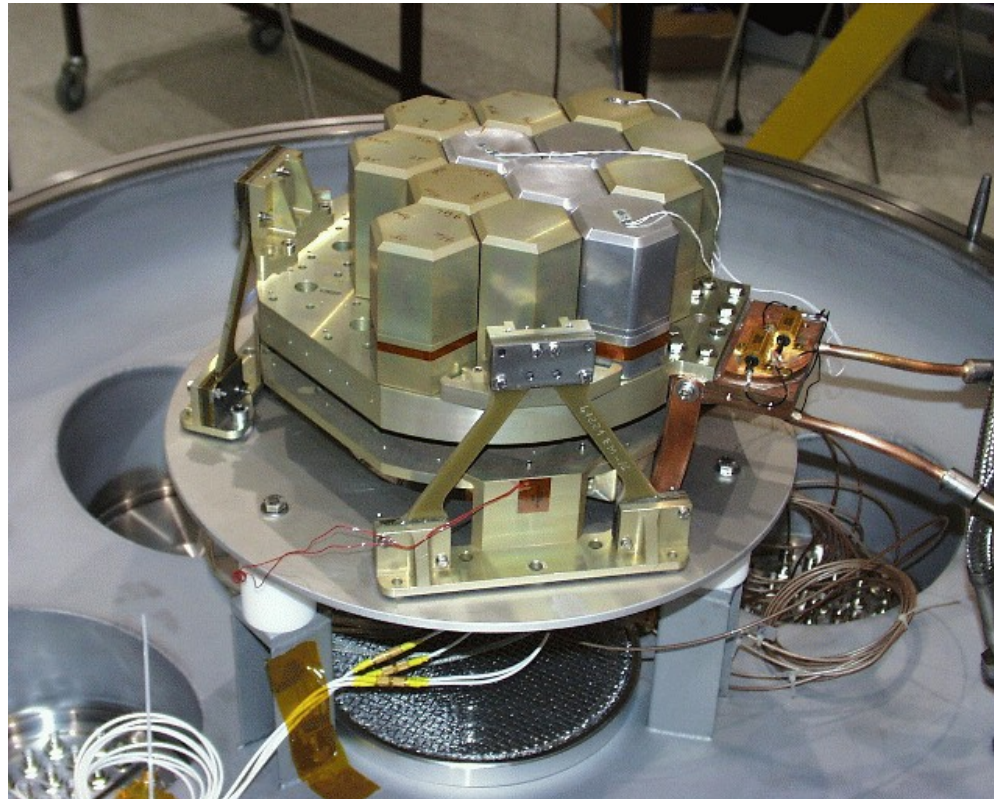
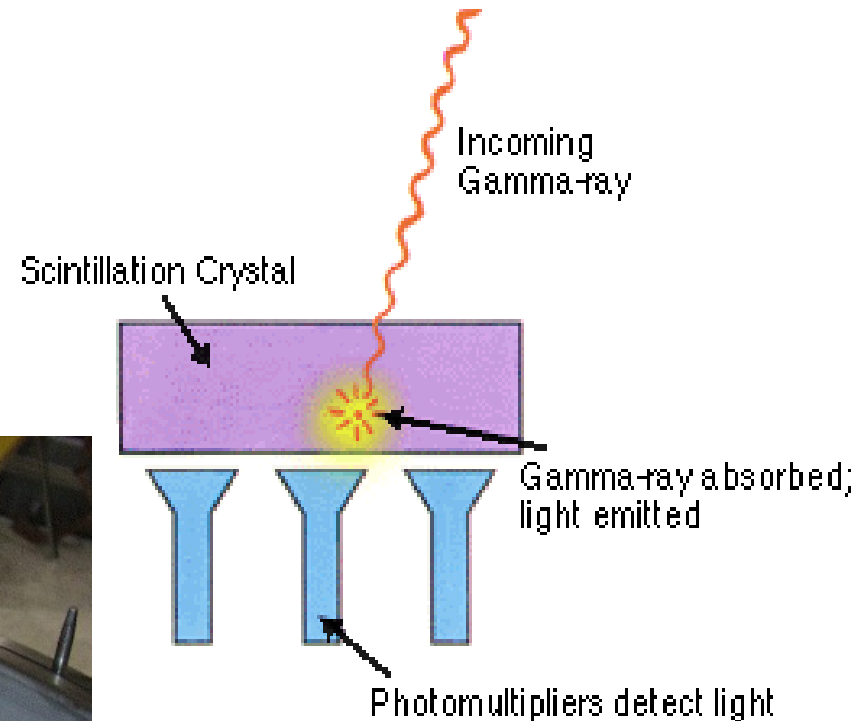
Transition Edge Sensors (TES)



- Un sustrato superconductor es operado cerca de su T_{crit} .
- Un fotón de rayos X calienta el dispositivo, y provoca un aumento brusco de resistividad.
- Se operan a temperaturas muy bajas ($T \sim 300$ mK).

Rayos gamma: cristales de centelleo

- El fotón de rayos gamma es absorbido por el material, que emite un destello de fotones ópticos que son detectados por un fotomultiplicador.



Detectores de Germanio de SPI en INTEGRAL

Telescopios ópticos - infrarrojos

Hubble Space Telescope

- Lanzado el 24 de abril de 1990, a bordo de la lanzadera Discovery.
- Ventajas
 - Calidad de imagen (fuera de la atmósfera)
 - Reparable en órbita





S125E011822



S125E009199



S125E007223

El HST, listo para trabajar de nuevo.



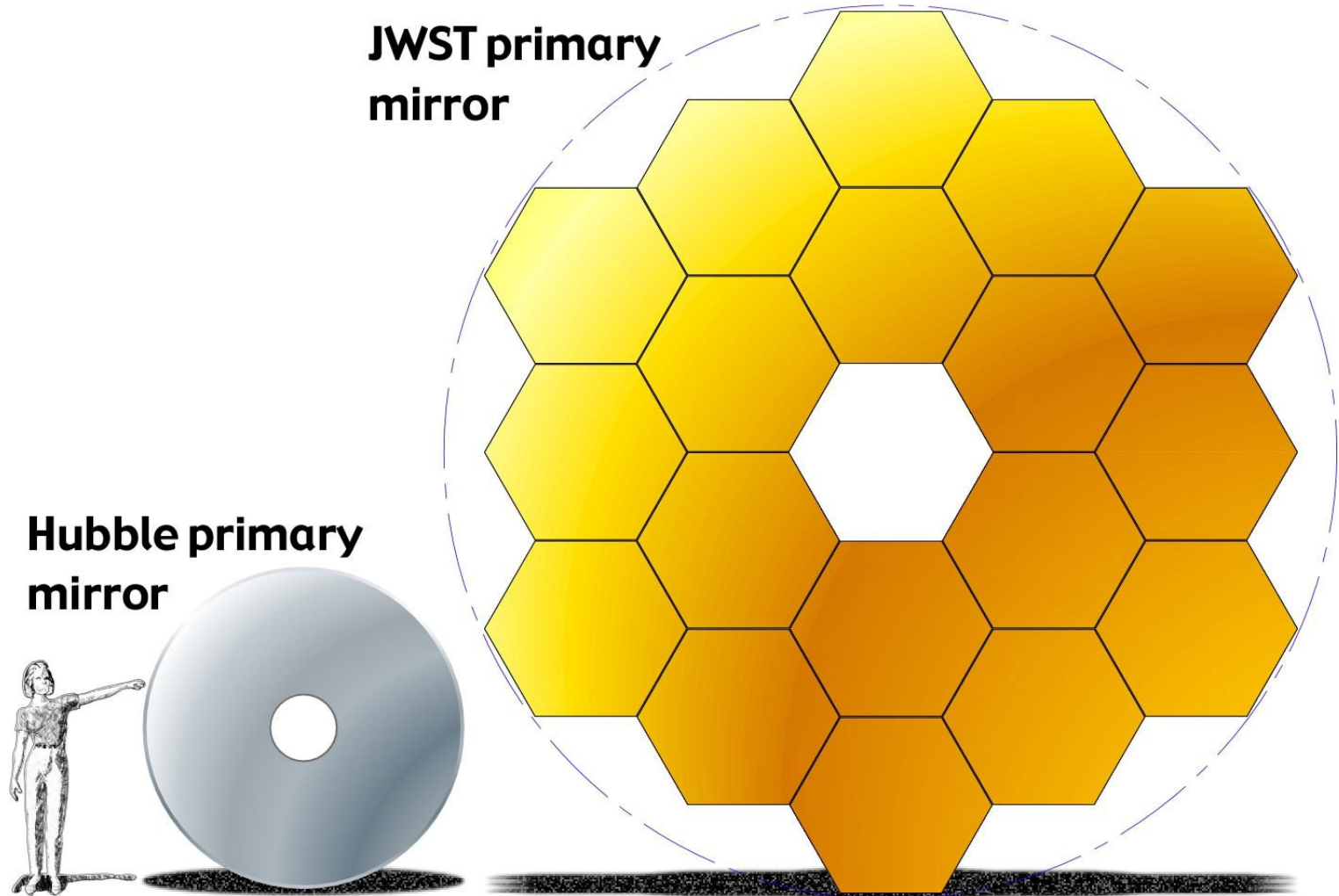
S125E011782

James Webb Space Telescope

James Webb Space Telescope

- Será el sustituto del HST.
- Con un telescopio de 6.5 m de diámetro, será el telescopio más grande jamás enviado al espacio.
- Su desarrollo supone inmensos problemas técnicos.
- Se lanzará en 2018.
- No es reparable en órbita.....

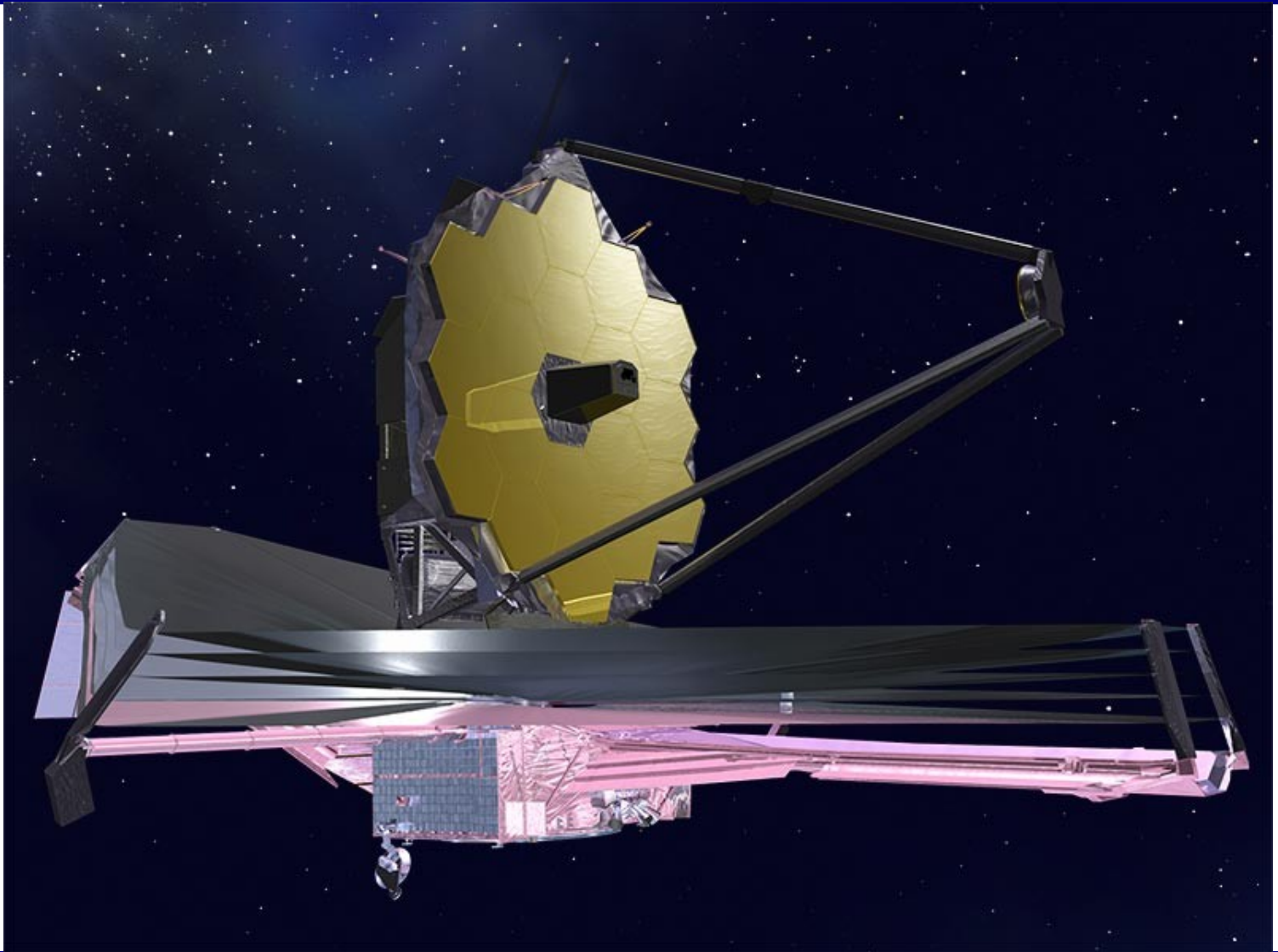
JWST



JWST



JWST



Los límites del Universo observable

Hubble Probes the Early Universe

