

MARÍA TERESA CEBALLOS MERINO

*XMM-Newton: La esperanza europea.
Descubrir el Universo más violento*

28 DE OCTUBRE DE 2004

MARÍA TERESA CEBALLOS MERINO

INSTITUTO DE FÍSICA DE CANTABRIA (CSIC-UC). DEPARTAMENTO DE ASTROFÍSICA

LICENCIADA EN CIENCIAS FÍSICAS EN LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (1991). DOCTOR EN CIENCIAS FÍSICAS (ASTRONOMÍA) EN LA UNIV. DE CANTABRIA (1996)

CONTRATO CSIC PARA PRESTAR SERVICIOS EN EL PROYECTO «PARTICIPACIÓN EN EL XMM NEWTON SURVEY SCIENCE CENTRE» EN EL INSTITUTO DE FÍSICA DE CANTABRIA (CSIC-UC) (2004-2006). CONTRATO POSTDOCTORAL DE LA UNIV. DE CANTABRIA PARA PRESTAR SERVICIOS EN EL PROYECTO «VERIFICACIÓN, VALIDACIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE LA CADENA DE PROCESO DE DATOS DE XMM-NEWTON» EN EL INSTITUTO DE FÍSICA DE CANTABRIA (2001-2004). CONTRATO CSIC DENTRO DEL PROYECTO «PROPUESTA, PARTICIPACIÓN Y EXPLOTACIÓN CIENTÍFICA DE MISIONES ESPACIALES DE ASTRONOMÍA DE RAYOS X», EN EL INSTITUTO DE FÍSICA DE CANTABRIA, (1996-2001). PROFESOR AYUDANTE EN EL COLEGIO UNIVERSITARIO MELCHOR DE JOVELLANOS, (1998-2000). MIEMBRO DEL XMM-NEWTON SURVEY SCIENCE CENTRE. MIEMBRO DEL SCIENCE ANALYSIS SYSTEM (SAS) WORKING GROUP DE XMM-NEWTON. COORDINADOR EN ESPAÑA DEL CONTROL DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DEL OBSERVATORIO XMM-NEWTON.

ÁREAS DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE LOS CÚMULOS DE GALAXIAS EN RAYOS X Y SU INFLUENCIA EN LAS FLUCTUACIONES DEL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS. PROPIEDADES ESPECTRALES DE LOS NÚCLEOS ACTIVOS DE GALAXIAS Y ESTUDIO DE SU EMISIÓN EN RAYOS X. DISTRIBUCIÓN Y PROPIEDADES DE LAS FUENTES EXTRAGALÁCTICAS QUE DAN LUGAR AL FONDO DE RAYOS X. COLABORACIÓN EN EL PROGRAMA AXIS (XID) DE EXPLOTACIÓN DE LAS 'FUENTES DE PROPINA' OBSERVADAS CON XMM-NEWTON.

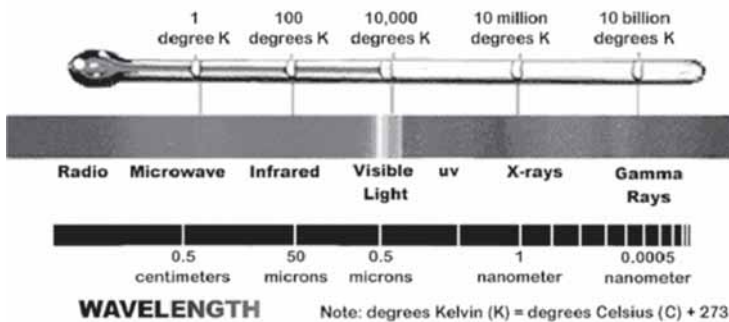
DESARROLLO DE SOFTWARE CIENTÍFICO PARA EL PROCESADO DE DATOS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO XMM-NEWTON. VERIFICACIÓN, VALIDACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO XMM-NEWTON.

PUBLICACIONES Y CONFERENCIAS: 15 ARTÍCULOS EN REVISTAS INTERNACIONALES DE ASTROFÍSICA (*MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, ASTRONOMY & ASTROPHYSICS, ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN, ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE*, ETC.). PRESENTACIONES A CONGRESOS NACIONALES E INTERNACIONALES. 1 ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN EN Prensa (EL PAÍS, 8-12-1999). «XMM: LA EXPLORACIÓN DEL UNIVERSO EN RAYOS X». CICLO DE CONFERENCIAS DE ASTRONOMÍA Y COSMOLOGÍA, VALLADOLID 2000.



Ondas de radio, microondas, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X y rayos Gamma. La radiación electromagnética presenta diversas formas dependiendo de la energía de los fotones: las ondas de radio son las menos energéticas, los fotones ópticos son los únicos que el ojo humano puede percibir y los rayos X se producen a temperaturas de millones de grados centígrados.

A diferencia de la «luz visible» que nos llega del espacio detectable desde telescopios situados en la superficie de la Tierra, los rayos X necesitan instrumentos en órbita debido a que la atmósfera los absorbe. Es éste precisamente el motivo de que la Astronomía rayos X sea una rama relativamente reciente de la Astronomía.



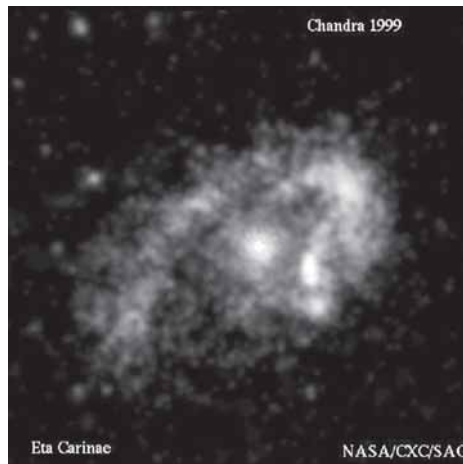
UN PASEO POR EL UNIVERSO DE ALTAS ENERGÍAS

La emisión de rayos X del Universo procede de aquellos objetos en los que se producen los fenómenos más violentos: intensos campos gravitatorios, muy altas temperaturas y fuertes campos magnéticos. Esta radiación de alta energía descubre a los astrónomos la física de los agujeros negros, de los plasmas en los cúmulos de galaxias, del gas remanente en las explosiones de supernovas, etc. Veamos a través de un viaje virtual cómo es el Universo X.

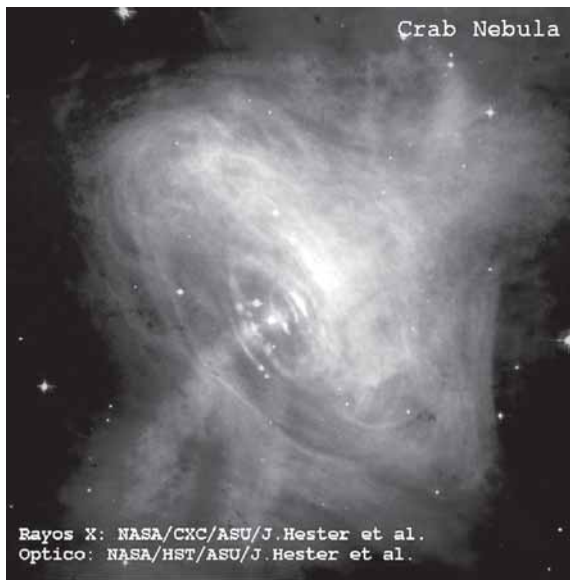
La Luna y los planetas emiten rayos X por un proceso físico denominado «fluorescencia», que se produce cuando los rayos X del Sol bombardean la superficie del planeta. Los cometas también emiten debido a su interacción con el Sol, cuando los iones procedentes del viento solar interaccionan con el gas del cometa.

La corona gaseosa de nuestra estrella más cercana, el Sol, a una temperatura de más de un millón de grados, también emite en rayos X aunque su proximidad a la Tierra hace que sea demasiado brillante para poder ser observada con los observatorios de rayos X en órbita.

Eta Carinae es la estrella más luminosa hasta ahora conocida en nuestra Galaxia. Entre 1837 y 1856 su brillo aumentó dramáticamente en lo que se conoce como la «Gran Erupción» para luego decaer y volver a brillar hacia 1940. Todavía no se ha descubierto definitivamente qué hay en el centro de la nebulosa que forma esta estrella, aunque la teoría más reciente defiende que podría haber una estrella masiva con una posible compañera. La enorme cantidad de radiación que se produce en una estrella de este tipo daría lugar a importantes inestabilidades antes de su explosión como una supernova. Las imágenes del satélite *Chandra* de la NASA proporcionan información sin precedentes acerca del anillo de material producido en alguna explosión ocurrida hace unos mil años.



Cuando una estrella masiva explota como supernova, a su alrededor podemos observar una nebulosa de material estelar, conocida como «remanente de supernova». La alta resolución de los instrumentos a bordo del satélite de rayos X de la NASA *Chandra* nos permite descubrir la estructura de los diversos materiales que componen estas nebulosas (por ejemplo en Cassiopeia A). Se cree que la brillante fuente central que se observa en estos objetos es una estrella de neutrones. En ocasiones estas estrellas de neutrones están en rotación (como es el caso de la *nebulosa del Cangrejo*) lo que los convierte en auténticos faros espaciales, los *pulsares*.



Cuando una estrella de neutrones tiene como compañera una estrella normal en una órbita cercana, se crea un sistema *binario* en el que parte del material de la estrella compañera es capturado por la estrella compacta alrededor de la cual va formando un disco en el que gira y cae («acreta») hacia el gran pozo de gravedad. Este material que va cayendo va ganando gran energía con la aceleración y emite radiación a frecuencias de rayos X.

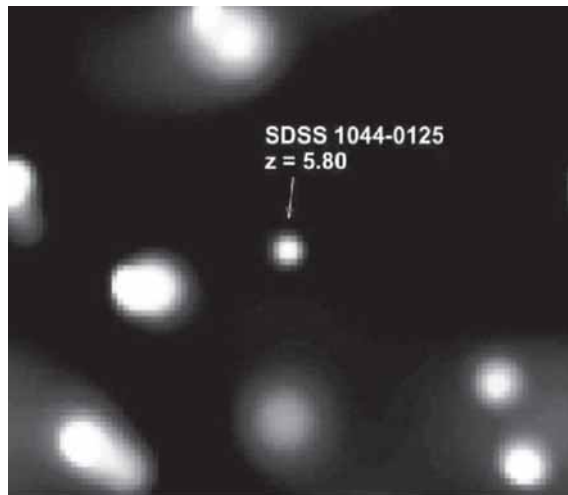
El satélite *Chandra* nos ha proporcionado también imágenes espectaculares del centro de nuestra Galaxia (la *Vía Láctea*). En ellas se pueden observar los efectos que sobre el gas próximo tiene la presencia de un agujero negro supermasivo, Sagittarius A*. De forma similar a lo que ocurre en los sistemas binarios, el gas cercano a un agujero negro es atraído por su enorme gravedad y cae hacia él girando en lo que se conoce como «disco de acreción». Allí alcanza altas temperaturas por rozamiento viscoso y emite en rayos X, lo cual nos permite «detectar» la presencia del agujero.

En el caso de Sagittarius A*, la intensidad de la emisión en rayos X, (relativamente débil) nos está indicando que este agujero negro (de masa unos 3 millones de veces la masa del Sol) es un objeto hambriento, posiblemente porque las explosiones ocurridas en el pasado en las cercanías han evaporado gran parte del gas que lo rodeaba. De este gas a millones de grados aún se observan restos en las imágenes de *Chandra*.

La gran capacidad colectora de fotones de rayos X y su enorme campo de visión del hacen satélite XMM-Newton de la Agencia Europea del Espacio (ESA) un instrumento ideal para observar objetos extragalácticos extensos como otras galaxias o los cúmulos de galaxias.

En el caso de nuestra galaxia hermana M31 en la constelación de Andrómeda, los instrumentos de XMM-Newton nos muestran la emisión en rayos X de la galaxia en toda su extensión, mientras que la mayor resolución de *Chandra* nos ha permitido conocer los detalles del núcleo donde se ha descubierto la presencia de un agujero negro.

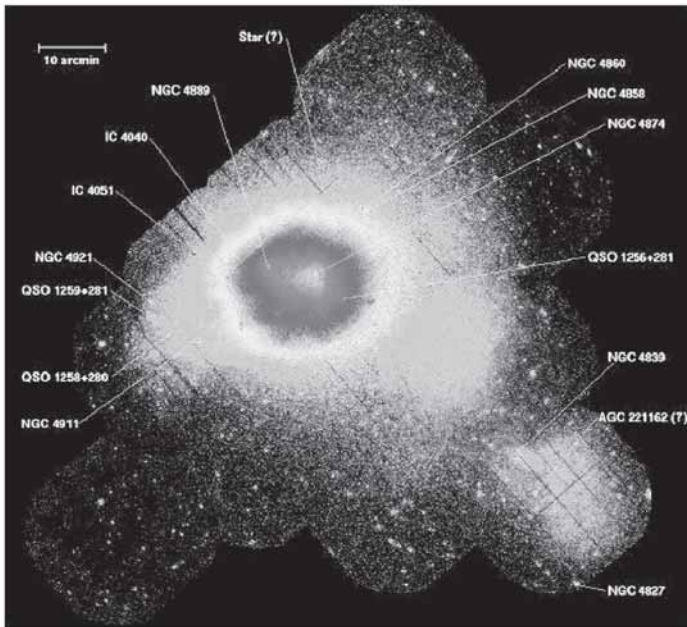
Alrededor de un 10% de las galaxias muestran un núcleo compacto y muy brillante que da lugar a gran parte de la emisión de la galaxia en todas las frecuencias; son las **galaxias activas**. Esta emisión puede llegar a ser de 1000-10000 veces la de nuestra propia galaxia, y está originada por la presencia de un agujero negro supermasivo (entre uno y mil millones de veces la masa del Sol) y del disco de acreción donde el gas se calienta a temperaturas de rayos X en su inexorable caída al agujero. En la imagen se muestra la observación realizada por el instrumento EPIC-pn del observatorio XMM-Newton del objeto más distante conocido, tan alejado que en el momento en que fue «fotografiado» el Universo solo tenía aproximadamente el 15% del tamaño que tiene ahora.



QSO SDSS 1044-0125

En el Universo los objetos se agrupan para formar estructuras más complejas, como es el caso de los cúmulos de galaxias. Mientras que a longitudes de onda del visible, estas estructuras se muestran como gigantescas agrupaciones de galaxias individuales, en rayos X se ven como manchas difusas brillando a extensiones del orden de varios millones años luz. La emisión de altas energías es la correspondiente a un plasma a temperaturas de 10-100 millones de grados en donde el proceso físico denominado *bremstrahlung* y la emisión de líneas (ver más adelante) son los procesos dominantes.

Las observaciones del cúmulo de *Coma* hechas por los satélites *XMM-Newton* y *Chandra* dedicando largo tiempo de exposición, han revelado muchos detalles de la parte central y descubierto muchas más fuentes de las que hasta ahora se conocían.



Coma Cluster of galaxies

Image courtesy of U. Briel, MPE Garching, Germany

European Space Agency 

Finalmente en este breve recorrido por el Universo de rayos X queda mencionar una emisión difusa, notablemente isótropa (igual en todas direcciones) y por tanto de origen cosmológico que se observa a latitudes galácticas por encima de 20° : el Fondo de Rayos X. Las observaciones con el satélite ROSAT y más recientemente con *Chandra* y *XMM-Newton* han revelado que, con los datos obtenidos hasta el momento, más del 90% de esta emisión puede ser ya atribuida a la superposición de fuentes discretas, en su mayoría núcleos galáctico activos.

PROCESOS FÍSICOS DE EMISIÓN DE RAYOS X

Cuatro son los procesos físicos principalmente involucrados en la emisión de rayos X de los objetos del Universo: sincrotrón, bremsstrahlung, scattering Compton Inverso y emisión/absorción de líneas. Veamos brevemente los ingredientes principales de cada uno de ellos.

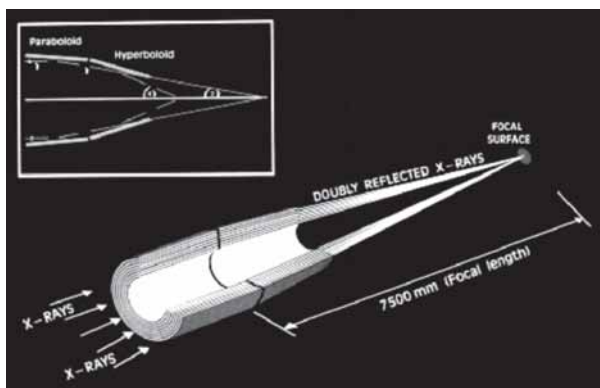
- **Sincrotrón:** se produce cuando los electrones relativistas (a velocidades próximas a la de la luz debido a las altas temperaturas) se encuentran en presencia de fuertes campos magnéticos. Los campos magnéticos inducen unas trayectorias espirales típicas de este proceso y provocan la emisión de fotones a energías de rayos X. Este fenómeno juega un papel importante en los *jets* relativistas en las galaxias activas, remanentes de supernovas, etc.
- **Bremsstrahlung:** los electrones relativistas (de carga negativa) sufren repentinos cambios en su trayectoria en presencia de iones/protones (carga positiva). Esto se traduce en emisión de alta energía como consecuencia de su pérdida de velocidad/energía. Es lo que ocurre por ejemplo en el gas de los cúmulos de galaxias.
- **Scattering Compton Inverso:** los propios fotones («partículas de luz») también pueden colisionar con los electrones presentes en el gas del objeto. Si el fotón es de baja energía, puede apropiarse de parte de la energía del electrón en la colisión y convertirse en un fotón de rayos X. Este proceso es importante en los alrededores de los agujeros negros, en el gas que cae en el disco de acreción.
- **Emisión/absorción de líneas:** cuando un fotón arranca un electrón de una órbita interna, el átomo se desestabiliza y para recuperar el estado de menor energía, uno de los electrones externos «cae» de nivel para rellenar el hueco dejado. Esto produce la emisión de la energía diferencia entre los dos niveles en forma de un fotón, en este caso de rayos X, a través de un proceso denominado *fluorescencia*. La emisión de esa energía da lugar en el espectro a lo que conocemos como una «línea de emisión», un pico pronunciado de emisión a una energía concreta y característica del elemento involucrado en el proceso. También puede ocurrir el efecto contrario: cuando un fotón (de rayos X) colisiona con un átomo, si tiene la energía exacta, puede conseguir que un electrón del átomo cambie de órbita (o sea arrancado), dando lugar a la desaparición del fotón por su absorción. Esto se refleja en el espectro como un déficit de emisión a una energía muy concreta, la energía de la «línea de absorción». La emisión/absorción de líneas es un proceso muy común por las interacciones de fotones y electrones en el propio objeto o con el medio intergaláctico que los separa del observador.

TELESCOPIOS DE RAYOS X

Debido a su alta energía, los fotones de rayos X atraviesan (o son absorbidos por) la materia, a diferencia de lo que ocurre con la luz visible, que se puede reflejar en espejos/lentes y ser entonces recogida en el plano focal del instrumento de observación.

Debido a este problema los primeros instrumentos utilizados para recoger fotones de rayos X de los objetos astronómicos fueron los *colimadores*, una especie de «cajas metálicas» adyacentes, donde el campo de visión estaba limitado por las paredes metálicas que absorben la radiación fuera del eje. Esto les confiere una pobre resolución angular.

Para focalizar los rayos X y formar imágenes como las obtenidas con la luz visible es necesario que estos fotones de alta energía incidan en la superficie de los espejos (con forma paraboloide y/o hiperboloide) de forma rasante, para lo cual han de estar diseñados de forma precisa y perfectamente alineados casi paralelos a los rayos X incidentes. Además para potenciar la reflectividad sobre los fotones más energéticos se construyen los espejos metálicos con cobertura multicapa, cada una con un espesor y un índice de refracción distintos. Finalmente se anidan varios espejos en el mismo telescopio para conseguir una mayor área. La figura muestra el esquema de uno de los telescopios de *XMM-Newton*.



DETECTORES E INSTRUMENTOS

Los principales tipos de detectores utilizados en los telescopios de rayos X para obtener imágenes y espectros de los objetos astronómicos son:

- **Contador proporcional:** los rayos X fotoionizan el gas (Ar, Xe) presente en la cámara produciendo una nube de electrones, que son acelerados por los

polos positivos dando lugar a la producción de nuevos electrones secundarios. Las características del pulso de electrones dan información sobre los rayos X incidentes. Este detector fue utilizado en la cámara *PSPC* del satélite *ROSAT*.

- **Placa Microcanal:** un fotón de rayos X produce un electrón primario que al colisionar con las paredes de la fibra hace que el número de electrones producido se multiplique. Es esta cascada de electrones la que al final se detecta y la que contiene información sobre la radiación incidente. Este es el detector utilizado en el instrumento HRC del satélite *Chandra*.
- **CCDs:** están formados con la unión de dos materiales semiconductores (Silicio con impurezas para crear zonas de diferente conductividad). Los rayos X interactúan con el material y producen nubes de electrones que se recogen al borde del chip mediante la aplicación de un voltaje. La carga de la nube está relacionada con la energía de los fotones y la información acerca del tiempo de llegada se obtiene realizando lecturas regulares. Este es un dispositivo muy utilizado en la electrónica de consumo (cámaras de video, foto, etc.) y es el detector empleado en el instrumento EPIC a bordo del satélite *XMM-Newton*.
- **Microcalorímetros:** se basan en el aumento de la resistividad del material debido al aumento de la temperatura producido por la incidencia de fotones de rayos X. Es un dispositivo en desarrollo que se utilizará con seguridad en algunas misiones espaciales en un futuro cercano (ASTRO E2, XEUS, etc.)

BREVE HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA DE RAYOS X

Cuarenta años después del descubrimiento de la primera fuente de rayos X fuera del sistema solar (Sco X-1) en 1962, el Profesor Ricardo Giacconi recogía el premio Nóbel de Física 2004 como reconocimiento a una vida dedicada al avance y desarrollo de la Astronomía de Rayos X. Cuarenta años de progreso imparable, de impresionante desarrollo tecnológico para poder poner en órbita los instrumentos necesarios para detectar esta radiación. Cuarenta años en los que la astronomía de Rayos X ha proporcionado nuevas vistas (y en ocasiones ha permitido el descubrimiento) de los puntos más calientes del Universo.

Sin embargo en los comienzos hubo mucho de casual. En 1962, el equipo de Giacconi estaba buscando detectar la emisión de rayos X del Sol reflejada por la Luna y prácticamente sufrió una desilusión cuando los instrumentos a bordo del cohete Aerobee que habían lanzado detectaron una señal muy intensa en una dirección muy próxima a la posición de la Luna. A pesar del desconcierto por la imposibilidad de que tal cantidad de emisión fuese lo que buscaban, analizaron los datos durante meses en



su laboratorio de Cambridge (Massachusetts) para llegar finalmente a una conclusión: la señal era real y no procedía de la Luna. Habían detectado la primera fuente cósmica de rayos X, ¡cien millones de veces más brillante en rayos X que el Sol! Además detectaron un nivel de radiación constante en todas direcciones, el Fondo de Rayos X.

En los años siguientes, el desarrollo de los telescopios e instrumentos de detección fue vertiginoso. En los años 60 se lanzan los primeros cohetes con detectores, en la década de los 70 se ponen en órbita los colimadores y en la de los 80 se desarrollan los primeros telescopios espaciales de rayos X de baja energía (*Einstein*, ROSAT, EXOSAT). En la actualidad ya hay en órbita telescopios de alta energía (*XMM-Newton*, *Chandra*) e incluso observatorios de rayos Gamma (INTEGRAL).

LOS GRANDES OBSERVATORIOS

Desde 1999 dos grandes observatorios están en órbita recogiendo millones de datos sobre las fuentes de rayos X de nuestro Universo: el observatorio *XMM-Newton* de la ESA (gran capacidad colectora de fotones y gran campo de visión) y el *Chandra* de la NASA (alta resolución espacial y espectral).

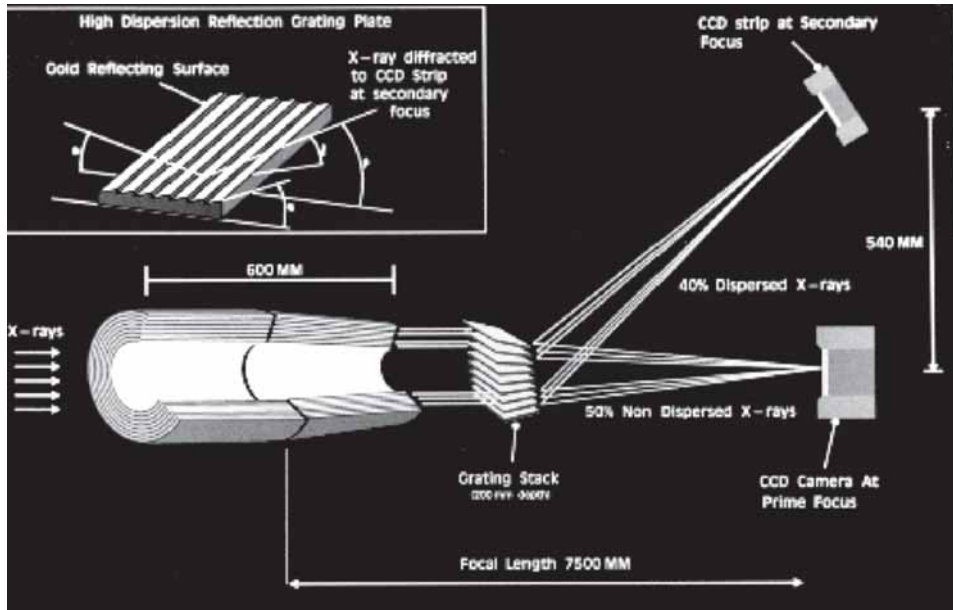
Instrumentación

El observatorio *XMM-Newton* (lanzado el 10-12-1999) es un satélite de la ESA de 4 toneladas de peso equipado con 3 telescopios iguales (tipo Wolter I) de rayos X y un telescopio de 30 cm de diámetro en el rango del óptico/UV (monitor OM). Detrás de cada uno de los telescopios de rayos X hay un detector EPIC (*European Photon Imaging Camera*), dos de tipo CCD MOS (Metal Oxide Semiconductor) y uno de tipo CCD pn. Los detectores EPIC-MOS (ver figura) comparten el haz que incide en su telescopio con el espectrógrafo de alta resolución RGS (*Reflection Grating Spectrometer*). Una rendija de difracción (similar a un prisma para la luz visible) divide el haz incidente y desvía la radiación X a diferentes posiciones del CCD de RGS dependiendo de su energía. Todos los instrumentos operan simultáneamente.

El observatorio *Chandra* de la NASA fue lanzado el 23 de Julio de 1999. Está equipado con un telescopio Wolter I, en cuyo plano focal pueden insertarse 4 detectores (uno cada vez): dos detectores CCD en la cámara ACIS (*AXAF Charged Coupled Imaging Spectrometer*) y dos detectores de tipo placa microcanal en la cámara HRC (*High Resolution Camera*). Tanto el detector ACIS-S como el HRC-S están diseñados para ser utilizados con rendijas de difracción (alta y baja energía) y obtener así espectros de alta resolución.

Chandra y *XMM-Newton* constituyen una nueva generación de observatorios de rayos X con prestaciones muy superiores a sus predecesores y, lo que es también muy importante, tienen características complementarias. La alta resolución espacial de los instrumentos de *Chandra* se ve complementada con la mayor sensibilidad de *XMM-Newton* a la emisión extensa, su alta resolución temporal y la posibilidad de obtener simultáneamente espectros de alta resolución e imagen más espectro de resolución intermedia, además de observaciones ópticas.

España como miembro de la ESA participa en el observatorio *XMM-Newton* tanto en la fase de diseño/fabricación de componentes como en la fase de aprovechamiento científico y desarrollo de operaciones. El Centro de Operaciones Científicas (*Science Operations Centre - SOC*) tiene su sede en la estación de seguimiento (ESAC) de Villafranca del Castillo (Madrid) y el Instituto de Física de Cantabria (CSIC-UC) participa como miembro del Consorcio *Survey Science Centre (SSC)* en el desarrollo de tareas informáticas para el análisis de los datos, en el control de calidad de los



productos de las observaciones y en el programa de identificación de fuentes «extra» que aparecen en cada observación del satélite.

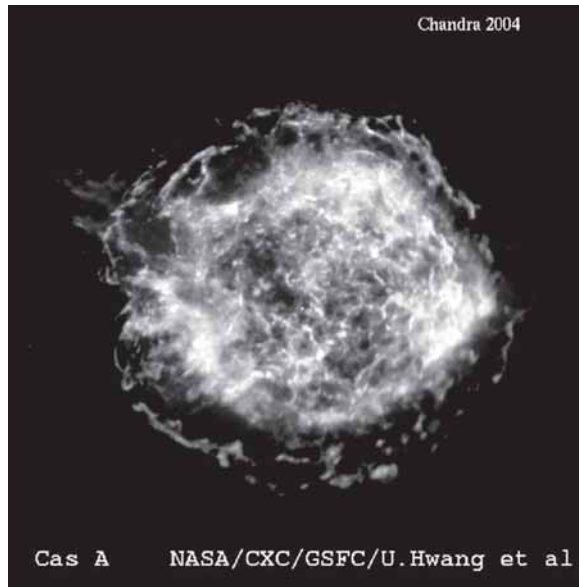
Dado que es un observatorio, el *XMM-Newton* (y similarmente el *Chandra*) funciona de forma análoga a los observatorios terrestres en cuanto a participación de la comunidad científica. Cada cierto tiempo, el SOC presenta una «llamada para propuestas» donde la comunidad científica internacional presenta solicitudes de tiempo de observación, que son evaluadas y priorizadas por un amplio comité evaluador externo. Aquellas propuestas seleccionadas son programadas y observadas por los instrumentos solicitados. Una vez obtenidos los datos, el SOC los envía a un miembro del consorcio SSC en la Universidad de Leicester (UK) donde se realiza el procesado en cadena (estándar). Una vez obtenidos los «productos» científicos (imágenes, espectros, curvas de luz), los datos son enviados al IFCA en Santander (y a otros institutos de apoyo) donde pasan el control de calidad. Una vez supervisados son devueltos a Leicester y de allí al SOC, quien de nuevo los distribuye al investigador solicitante que los tendrá en propiedad exclusiva durante un año. A la vez, los datos son incorporados al archivo general y, una vez concluido el plazo de un año, son hechos públicos y accesibles a toda la comunidad científica.

ALGUNOS GRANDES ÉXITOS DE *CHANDRA* Y *XMM-NEWTON*

Durante los casi cinco años que estos dos observatorios llevan en órbita, han proporcionado resultados espectaculares y contribuido enormemente al descubrimiento de los mecanismos físicos que hay detrás de muchas fuentes de rayos X. Estos son algunos de ellos:

Chandra

Una observación de un millón de segundos del remanente de supernova *Cassiopeia A* con una imagen detallada de la composición de la nebulosa.



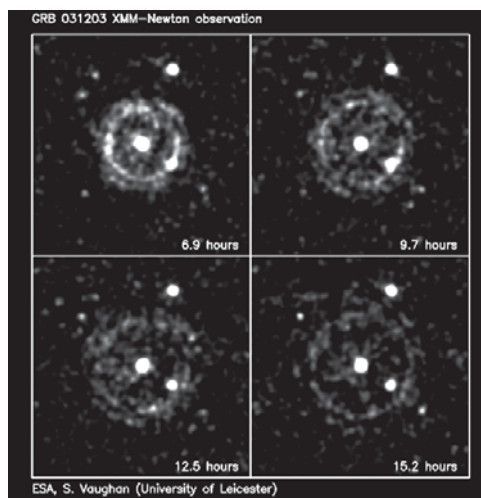
- la espectacular imagen panorámica del gas caliente y de las binarias de acreción en el plano de la Vía Láctea.
- detección de ondas de sonido en el cúmulo de *Perseus* alrededor del agujero negro supermasivo central.



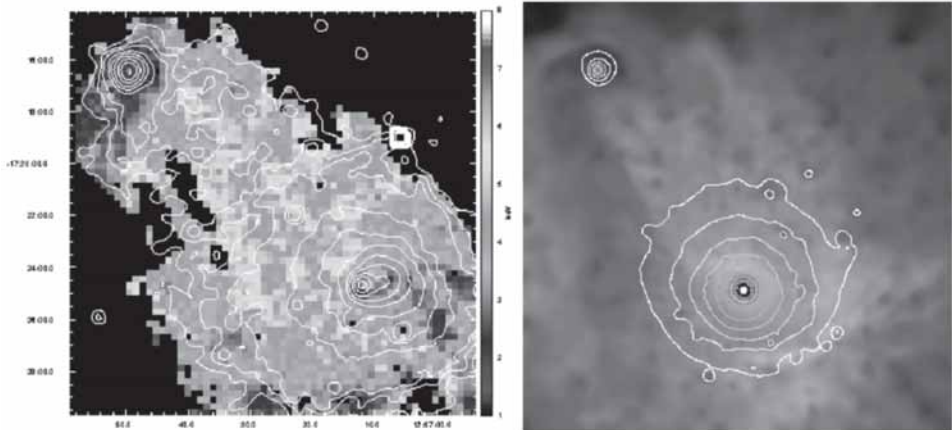
- imágenes de colisiones galácticas cercanas.
- la observación por primera vez de dos agujeros negros supermasivos en la misma galaxia, etc.

XMM-Newton:

- el mayor catálogo de fuentes puntuales (más de 33000) observadas con CCD en rayos X (con más de un 80% de nuevas fuentes).
- descubrimiento de un sistema binario a partir del estudio del agujero negro en NGC 55.
- imagen del halo en expansión alrededor del punto de formación de una explosión de rayos gamma (GRB 031203).



- imágenes combinadas en óptico y rayos X gracias al monitor OM.
- observación de la posible conexión entre las explosiones gamma y las supernovas.
- imagen del proceso de canibalismo de un cúmulo hacia una galaxia.



A Giant Stripping Process in the Galaxy Cluster A1644

Image courtesy of T. Reiprich (University of Virginia & Bonn University)

European Space Agency 

- la colisión de dos cúmulos de galaxias, etc.

El primer telescopio capaz de hacer imágenes en rayos X fue construido en 1963 por Giacconi y su equipo con aproximadamente el mismo diámetro y longitud que el telescopio óptico que Galileo usó en 1610, y sólo era capaz de hacer burdas imágenes de las manchas calientes de la atmósfera del Sol. En 360 años los telescopios ópticos han mejorado su sensibilidad cien millones de veces desde el telescopio Galileo hasta el telescopio *HUBBLE*. El mismo factor aproximadamente se ha conseguido en los telescopios de rayos X (desde Giacconi hasta *Chandra* y *XMM-Newton*) ¡pero tan solo en 36 años! («The Chandra Chronicles», by WTK, <http://chandra.harvard.edu>). Y el desarrollo continúa para las misiones futuras. Soplan buenos vientos para la astronomía de rayos X.

REFERENCIAS

Imágenes y documentación obtenidos de

<http://chandra.harvard.edu/>

http://xmm.vilspa.esa.es/external/xmm_science/gallery/public/index.php

http://xmm.vilspa.esa.es/external/xmm_user_support/documentation/uhb/index.html

BARCONS X., NEGUERUELA I., 2003. «Highlights from XMM-Newton», boletín de la SEA (<http://sea.am.ub.es>).

CHARLES P.A. & SEWARD F.D. «Exploring the X-Ray Universe», Cambridge University Press, 1995, ISBN 0-521-43712-1.

COMBES F. «Galaxies and Cosmology», Springer Verlag 2002, ISBN 3-540-41927-6.

COWIE L.L. et al. 2002, ApJ, 566, L5.

FABBIANO G. 1996. In Proc. «Roentgenstrahlung from the Universe», eds. Zimmermann H.U., Trümper J, Yorke H.

MORETTI, A. et al. 2003. ApJ, 588, 696.

MULCHAEY J.S. et al. 2003. ApJS, 145, 39.

WATSON M., ..., CEBALLOS M.T., ... et al. 2003. AN, 324, 89