

ŰRCSILLAGÁSZAT

RÖNTGENCSILLAGÁSZAT

Összeállította: Szabados László

Szegedi Tudományegyetem
2020

A röntgentartomány

A hullámhossz helyett a foton energiával jellemzik.

lágyröntgen tartomány: $1 \text{ nm} < \lambda < 10 \text{ nm}$; $1 \text{ keV} > E > 0,1 \text{ keV}$

keményröntgen tartomány: $0,002 \text{ nm} < \lambda < 1 \text{ nm}$; $0,5 \text{ MeV} > E > 1 \text{ keV}$

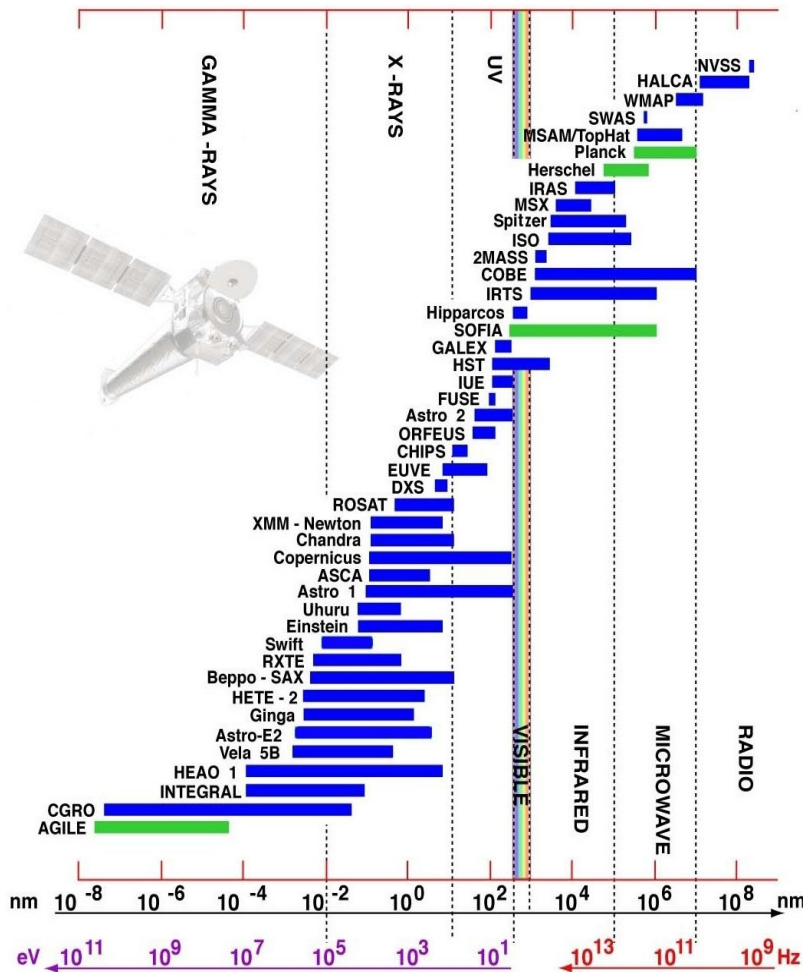
$E = 0,5 \text{ MeV}$ felett gamma sugárzás ($0,511 \text{ MeV}$ az elektron nyugalmi tömege)

Durván: $\lambda E = 1 \text{ [nm][keV]}$

A röntgensillagászat az Univerzumban zajló nagy energiájú folyamatokat vizsgálja. Az Orion látható fényben (a képen balra) és röntgenben (a képen jobbra).



A röntgensillagászat röviden



Kezdetre: 1949: V2-rakéta (a Nap koronája), majd 1962-ben Aerobee rakétával a Sco X-1 (V818 Sco) – Riccardo Giacconi és Bruno Rossi (eredetileg fizikusok).

Detektor: GM-cső, proporcionális számláló (nemesgázzal töltött kamra, a röntgenfoton elektronlavinát vált ki benne); később kódolt maszk az irányérzékenység javítására; még később mikrocsatornás lemez.

Spektrum: $\lambda > 2,5$ nm esetén diffrakciós rács; $\lambda < 2,5$ nm esetén Bragg-kristály-spektrométer: az $n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin\Theta$ összefüggést kielégítő hullámhossz reflektálódik, ahol d a kristály atomi rétegei közötti távolság, Θ a beesési szög; $d=1$ és $n=1$ esetén $\lambda/\Delta\lambda = 1000$ lehet a felbontás.

Képképzés: a lágyröntgen tartományban súroló beesésű távcsővel.

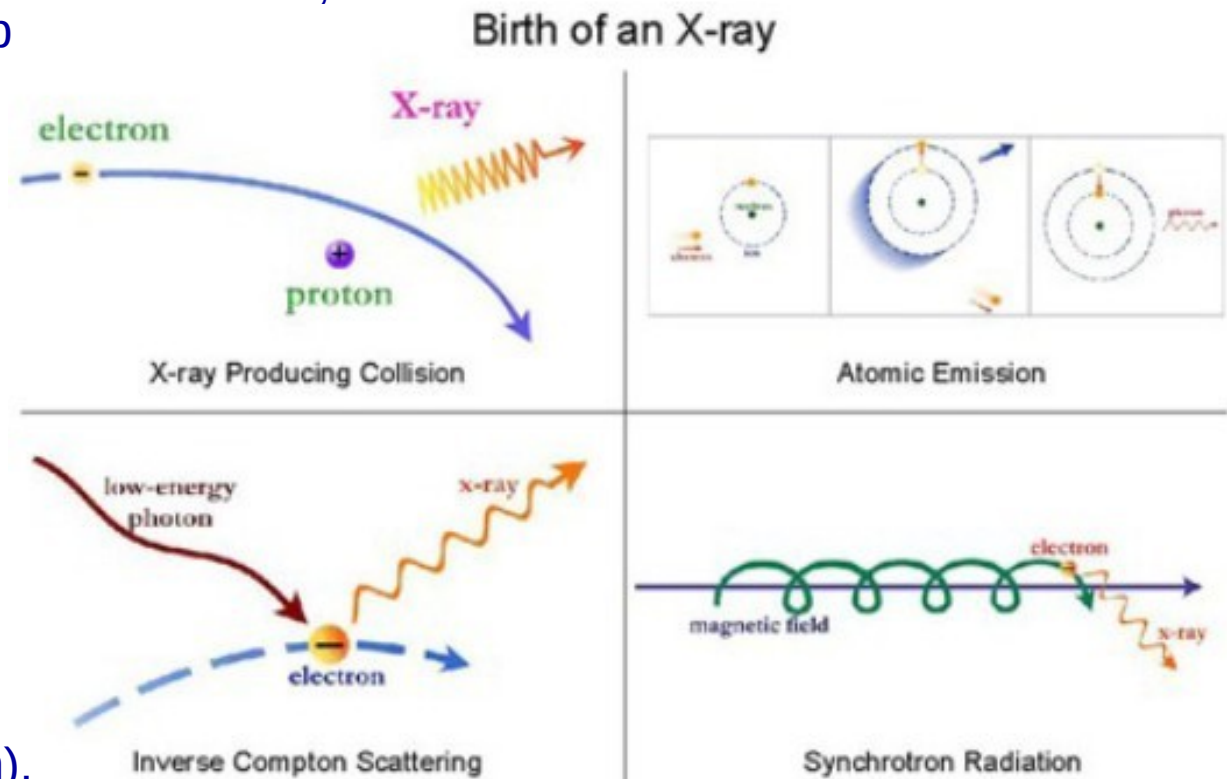
A röntgensillagászat röviden

A kozmikus röntgensugárzás létrejöttének fő mechanizmusai:

- Forró plazma hőmérsékleti sugárzása (>1 millió K);
- Nem termális:
 - szinkrotronsugárzás: gyors elektronok mágneses térben;
 - inverz Compton-szórás: kis energiájú fotonok szóródása relativisztikus elektronokon,

a foton energiát kap az elektronéból (a 2,7 K-es háttérsugárzás esetén Szunyajev–Zeldovics-effektus);

- vonalas röntgenemisszió: nehéz atomok elektronjai alacsony energiájú állapotba kerülnek (pl. SN-maradvány gazdag vonalakban).



A röntgensillagászat röviden

Type of radiation	Wavelength range	Frequency range (Hz)	Typical sources	Temperature of radiating objects	Examples of space observatories
Gamma-rays	< 0.01 nm	$> 3 \times 10^{19}$	Compacts objects (from neutron stars to black hole candidates or active galactic nuclei), galaxies, Gamma-Ray bursts.	$> 10^8$ K	INTEGRAL, Fermi (ex-GLAST)
X-rays	0.01 – 20 nm	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19}$	Stellar corona, pulsars, star formation regions, colliding galaxies, hot gas in galaxies and clusters of galaxies, supernova remnants, environment of super-massive black holes.	$10^6 - 10^8$ K	Chandra, XMM-Newton, Suzaku <i>IXO</i>
Ultraviolet	20- 400 nm	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{16}$	Very hot stars, supernova remnants, quasars.	$10^5 - 10^6$ K	IUE, FUSE, HST

A röntgensillagászat röviden

Some highlights of extra-solar X-ray astronomy

- 1895 Roentgen discovers X-rays during laboratory experiment.
- 1912 Max von Laue shows that X-rays are photons of electromagnetic radiation which have very short wavelengths.
- 1938 Theoretical prediction that the solar corona might be a source of X-rays.
- 1949 NRL group detect X-rays from the Sun with V2 rocket payload.
- 1952 Wolther proposes designs for X-ray microscopes.
- 1958 Multiple rocket launches to observe X-rays from Sun during a solar eclipse in an attempt to locate the regions of X-ray emission.
- 1962 1st extra-solar X-ray source (Sco X-1) discovered during rocket flight.
- 1963 X-rays detected from Crab Nebula.
Small grazing incidence telescope carried in a rocket payload takes X-ray images of the Sun.
- 1964 Lockheed group launch X-ray experiment on rocket with gas jet stabilisation.
- 1966 X-ray experiment on OAO-1 lost when spacecraft fails.
First extragalactic X-ray source (the galaxy M87) discovered by rocket.
- 1967 Launch of small extrasolar X-ray experiment into orbit on OSO-3.
- 1969 Pulsed X-rays discovered from Crab Nebula.
Vela 5 satellites used in long-term monitoring of the X-ray sky during a military programme to detect clandestine nuclear tests.
- 1970 SAS-1 (Uhuru) begins X-ray sky survey.
US Congress approves HEAO programme.

A röntgensillagászat röviden

Satellites with extra-solar X-ray experiments

Launch date	Launch vehicle	Orbit [†]		Inclination*	Notes
		Perigee (km)	Apogee (km)		
25 Aug 1965	Delta	—	—	—	Launch failure
8 Mar 1967	Delta	339	345	39.2	Mostly solar experiments
21 Mar 1968	A1/2	129	190	65.0	Military
19 Apr 1968	B-1	162	265	48.5	8 visible, UV and X-ray experiments
17 May 1968	Scout	205	667	97.2	European mission
26 Dec 1968	B-1	163	508	48.5	Military
23 May 1969	Titan 3C	94 052	128 529	56.4	Vela 9 } Military
23 May 1969	Titan 3C	89 999	133 011	56.2	Vela 10 } dual launch
9 Aug 1969	LTTA-Delta [‡]	324	328	33.0	180° apart
8 Apr 1970	Titan 3C	106 367	116 056	54.9	Vela 11 } Military
8 Apr 1970	Titan 3C	105 560	117 188	54.8	Vela 12 } dual launch
12 Dec 1970	Scout	324	350	3.0	180° apart
24 Jun 1971	A-2	128	160	51.7	Uhuru, Explorer 42. X-ray sky survey
29 Sep 1971	LTTA-Delta [‡]	201	355	33.1	Military
12 Mar 1972	Delta	531	539	97.5	Mostly solar experiments
21 Aug 1972	Atlas Centaur	729	739	35.0	X-ray experiment failed
28 Jul 1973	Saturn 1B	157	237	50.0	UV observatory, secondary X-ray experiment
30 Aug 1974	Scout	256	1098	98.0	S150 experiment in S-IVB rocket.
15 Oct 1974	Scout	513	557	2.9	Ist Netherlands satellite
26 Dec 1974	D-1	337	350	51.6	UK/US X-ray observatory
					Space station. X-ray experiments 'Filin' and RT-4 (0.16–0.3 keV) telescope.

A röntgensillagászat röviden

Satellites with extra-solar X-ray experiments

Launch date	Launch vehicle	Orbit*		Inclination*	Notes
		Perigee (km)	Apogee (km)		
25 Aug 1965	Delta	—	—	—	Launch failure
8 Mar 1967	Delta	339	345	39.2	Mostly solar experiments
21 Mar 1968	A1/2	129	190	65.0	Military
19 Apr 1975	C-1	530	536	83.0	India/USSR. Failure.
7 May 1975	Scout	506	513	3.0	Explorer 53
21 Jun 1975	Delta	467	475	32.9	Mostly solar experiments
12 Aug 1977	Atlas Centaur	424	444	22.7	All sky survey
13 Nov 1978	Atlas Centaur	355	364	23.5	Einstein observatory
21 Feb 1979	Mu-3C	473	494	29.9	Japanese soft X-ray Mission (Hakucho)
2 Jun 1979	Scout	562	600	55.0	Cosmic-ray/X-ray
20 Feb 1983	Mu-3S	488	503	31.5	Tenma
26 May 1983	Delta	356	191 581	72.5	ESA observatory
17 Jun 1985	Space Shuttle (Discovery STS-51G)	356	352	28.4	Free flying experiment platform (see section 8.2)
29 Jul 1985	Space Shuttle (Challenger, STS-51F)	311	319	49.5	Spacelab-2 Coded-mask Telescope
23 Mar 1983	D1e	2000	200 000	51.5	SKR-02M experiment
5 Feb 1987	Mu-3S	510	673	31.1	Ginga
31 Mar 1987	D-1	344	363	51.6	Science module docked to Mir space station

A röntgensillagászat röviden

Tipikus kozmikus röntgenforrások:

- csillagkorona (Nap: 10^{26} – 10^{27} erg/s, gyenge forrás)
- szupernóva-maradvány
- kettőscsillag kompakt komponense (fehér törpe, neutroncsillag vagy fekete lyuk)
- aktív galaxis
- szupernagy tömegű fekete lyuk
- intergalaktikus anyag
- üstökös

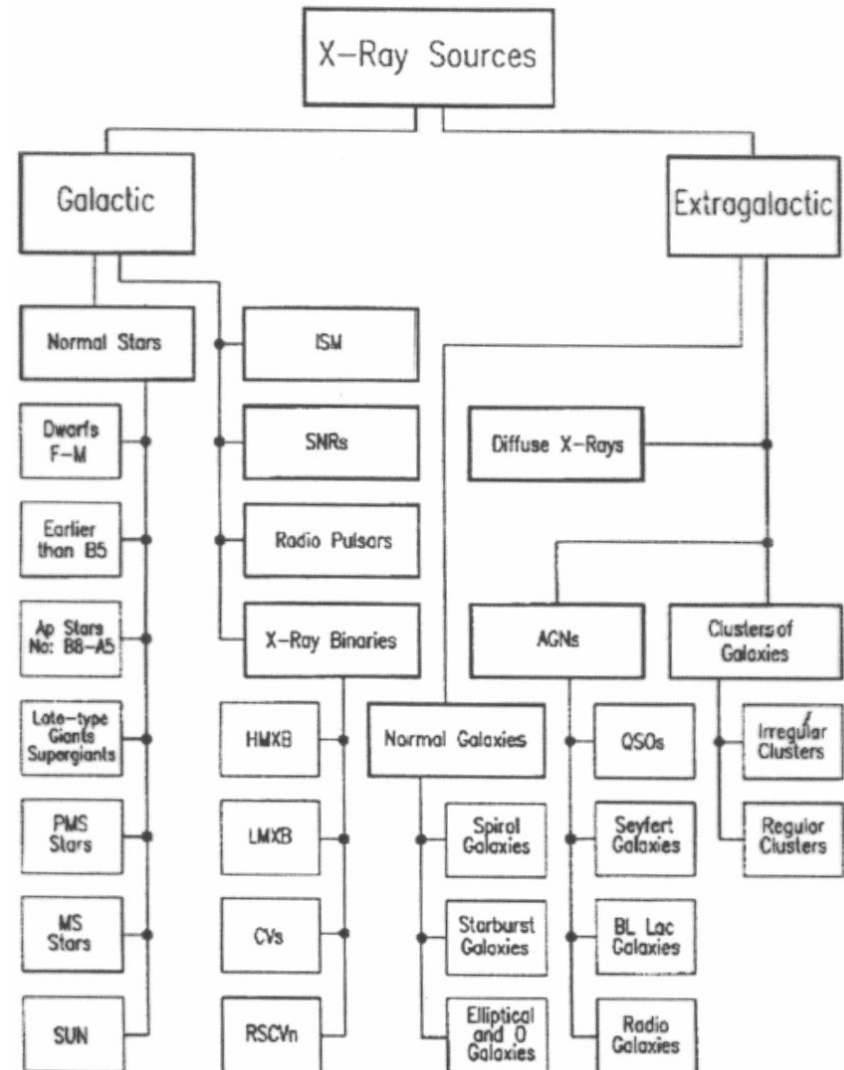


Table 1. X-ray astronomy satellites 1969–2000. Adapted from Charles and Seward (1995) updated January 2000.

Satellite	Country	Launch	Demise	Type
Vela 5 A,B	USA	May 1969	June 1979	Scanning, small scintillation counter, gamma-ray range
Uhuru	USA	December 1970	January 1975	Scanning, proportional counters
OSO-7	USA	September 1971	May 1973	Scanning, proportional counters
Copernicus	USA–UK	August 1972	February 1981	Pointed, x-ray telescope (non-imaging)
ANS	Netherlands–USA	August 1974	July 1976	Pointed proportional counters, Bragg crystal spectrometer
Ariel-V	UK	October 1974	March 1980	Scanning, rotating modulation collimators (RMCs) + proportional counters
SAS-3	USA	May 1975	April 1980	Scanning, RMC
OSO-8	USA	June 1975	October 1978	Scanning, proportional and scintillation counters, Bragg crystal, polarimeter
HEAO-1	USA	August 1977	January 1979	Scanning + short pointings, proportional and scintillation counters, RMC
Einstein	USA	November 1978	April 1981	Pointed, imaging x-ray telescope, Bragg crystal, transmission gratings
Hakucho	Japan	February 1979	April 1985	Scanning, RMCs
Tenma	Japan	February 1983	~1985	Gas scintillation proportional counter (GSPC), all-sky monitor
EXOSAT	ESA	May 1983	April 1986	Pointed, imaging x-ray telescope, large proportional counters, GSPC
Ginga	Japan–UK	February 1987	October 1991	Pointed, proportional counters
Kvant	USSR–UK–Netherlands–Germany	June 1987	–	Pointed, GSPC, coded mask, scintillation counter
Granat	USSR–Russia	December 1989	August 1999	Pointed, coded masks, all-sky monitor
ROSAT	Germany–UK–USA	June 1990	December 1998	Scanning, pointed imaging x-ray and EUV telescopes
ASCA	Japan–USA	February 1993	–	Pointed, imaging x-ray telescopes, imaging GSPC
RXTE	USA	December 1995	–	Pointed, large proportional counters, scintillation counters, all-sky monitors
BeppoSAX	Italy–Netherlands	April 1996	–	Pointed imaging x-ray telescope, coded mask, scintillation counter
Chandra	USA	June 1999	–	Pointed imaging x-ray telescope, spectrometers
XMM-Newton	ESA	December 1999	–	Pointed imaging x-ray telescope, spectrometers

Röntgen- és gammacsillagászati műszerek

űrtávcső	teljes név	intézmény, ország	időszak	észlelési tartomány	detektorok, mérések
Uhuru	Small Astronomical Satellite 1	NASA	1971 – 1973	2 – 20 keV, 0.63 – 0.063 nm	2 db proporcionális számláló
Copernicus	Orbiting Astronomical Observatory (OAO – 3)	NASA, Nagy-Britannia	1972 – 1980	0.5 – 10 keV	4 db összekapcsolt röntgendetektor, 3 db Wolter-féle teleszkóp, proporcionális számlálók
Einstein	High Energy Astrophysical Observatory (HEAO – 2)	NASA	1978 – 1981	0.2 – 4.5 keV	Képpalkotás, spektrométer, proporcionális számlálók
EXOSAT		ESA	1983 – 1986	0.04 – 2,0 keV	Képpalkotás, spektrométer, proporcionális számlálók
ROSAT	Roentgen Satellite	Németország, NASA, Nagy-Britannia	1990 – 1999	~ 1 keV	Képpalkotás, proporcionális számlálók
Ulysses		ESA, NASA	1990 –	5 – 150 keV	2 db CsI szcintillátor, 2 db szilícium érzékelő, napkutató, gammakitörések
Compton	Compton Gamma Ray Observatory (CGRO)	NASA	1991 – 2000	30 keV – 30 GeV	Képpalkotás, spektrométer, BATSE, OSSE, COMPTel, EGRET
Yohkoh		Japán, USA, Nagy-Britannia	1991 –	széles sávú röntgen és gamma	BCS: Bragg-kristály spektrométer, HXT: kemény röntgen, SXT: lágy röntgen, WBS: széles sávú röntgen és gamma, napkutató

ASCA	Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics	Japán, NASA	1993–2001	1–10 keV, széles sávú röntgen	Képkötés, spektrométer (kombinált)
SOHO	Solar and Heliospheric Observatory	NASA, ESA	1995–	EUV, röntgen	12 db műszer, koronográf spektrométer, részecske-detektor, EUV kamera, Doppler-leképező
RXTE	Rossi X-ray Timing Explorer	NASA	1996–	2–250 keV	Proporcionális számláló mátrix, nagy időfelbontás, teljes égbolt figyelés
BeppoSAX		Olaszország, Hollandia	1996–	0.1–300 keV	Képkötés, spektroszkóp, proporcionális számlálók
Chandra	Advanced X-Ray Astrophysics Facility (AXAF)	NASA	1999–	0.1–10 keV	HRC: nagyfelbontású képkötés, ACIS: CCD képkötő spektrométer, HETGS, LETGS: nagy- és kisenergiájú transzmissziós rácsos röntgenspektrométer
Newton	X-ray Multi-Mirror Mission (XMM)	ESA, Nagy-Britannia	1999–	széles sávú	RGS: reflexiós rácsos spektrográf, EPIC: képkötő kamera, OM: optikai, UV, IR monitor
HETE-2	High-Energy Transient Explorer 2	NASA	2000–	0.5–400 keV	FREGATE: nagy látómezejű gamma-spektrométer, WXM: nagy látómezejű, közepes energiájú röntgenkamera, SXC: nagy látómezejű lágy-röntgen kamera
HESSI	High Energy Solar Spectroscopic Imager	NASA	2001–	3 keV–20 MeV	képkötő kamera, gamma-spektrométer, napkutató

Újabb szondák (részben gamma-szondák röntgendetektorral): INTEGRAL (2000–), HETE-2 (2000–), Swift (2004–), Suzaku (2005–), NuSTAR (2012–), AstroSat (2015–), Hitomi (2016), Insight-HXMT (2017–). Továbbá a Napot kutató röntgenszondák.

Napkutató röntgenszondák

Yohkoh (japán, ‘napsugár’): 1991. aug. – 2001. dec. (napfogyatkozásakor megszűnt az irányzás, a szonda felpörgött), 2005. IX.: elégett a légkörben. A flerek és a napkorona vizsgálata röntgen- és gammatartományban.

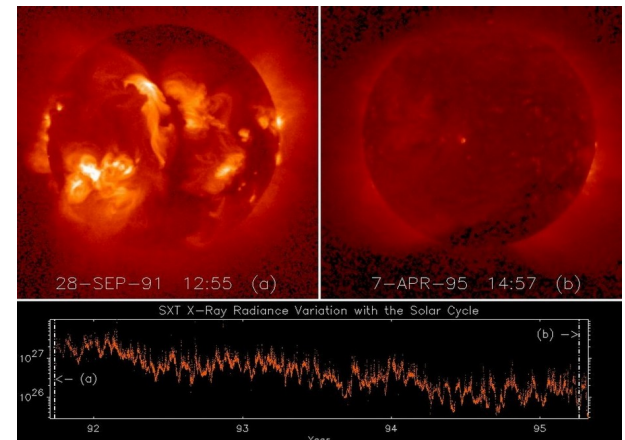
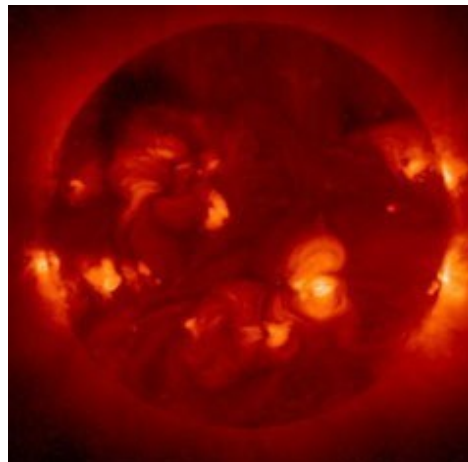
Műszerei: keményröntgen-távcső (>40 keV), lágyröntgen-távcső (2–200 millió K hőmérsékletű plazma vizsgálatára), továbbá 2 spektrométer (Fe, Ca, S vonalai, ill. flerek színeképe).

Eredmények: flerek mechanizmusa (mágneses átkötődés), mikroflerek, röntgenkilövellések.

Hinode (japán, ‘napfelkelte’, eredetileg Solar-B): 2006. szept.-től működik az optikai, EUV és röntgentartományban. SOT (Solar Optical Telescope), XRT (X-ray Telescope), EIS (Extreme-Ultraviolet Imaging Spectrometer).

RHESSI (Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager): 2002–2018.

A többi napszonda általánosabb célú (SOHO [1995–], Ulysses [1990–2009], STEREO [2006–], SDO [2010–])



Röntgenfényesség

Nincs közös fotometriai rendszer (szemben az optikai fényességméréssel)
A Rák-ködhöz hasonló színekép esetén (2–11 keV között):
1 crab = 1060 μJy
(1 Jy = 10^{-26} w/m²/Hz).
Kezdetben UFU (1 Uhuru-beütés/s):
1 UFU = 1,1 μJy
(az OSO-7 és az Ariel megint más rendszert használt)
A csillagközi elnyelésre viszont nem szokták korrigálni a fluxust (pedig nagy távolság esetén kellene).

Több röntgenszonda méréseinek szinergiája lényeges.

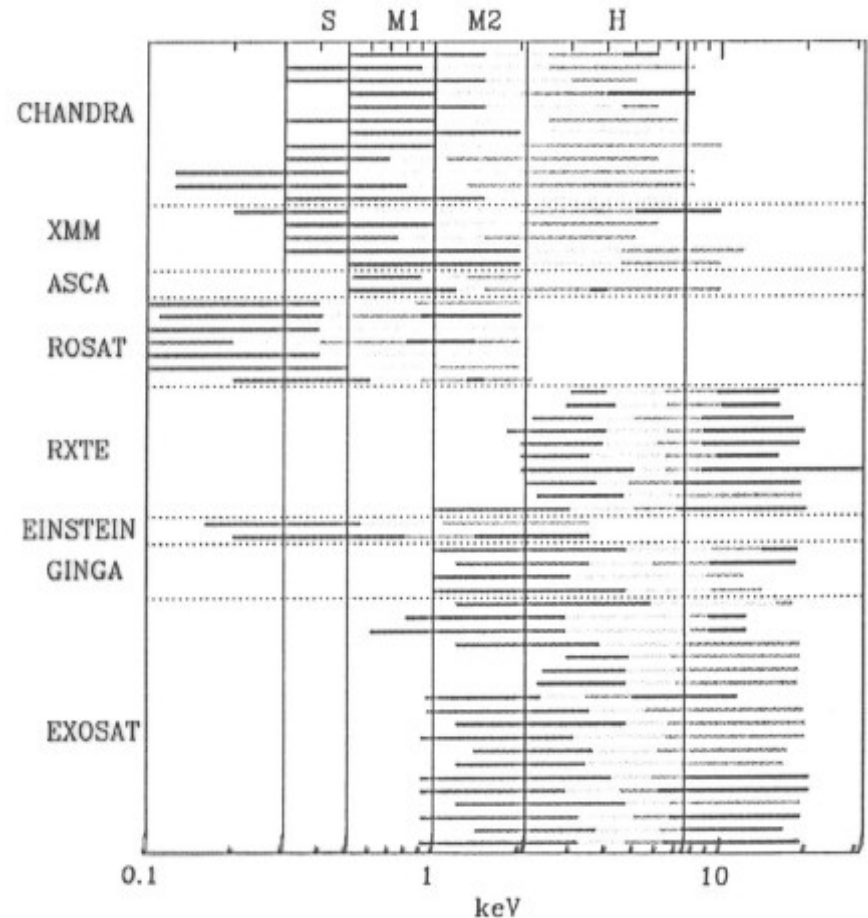
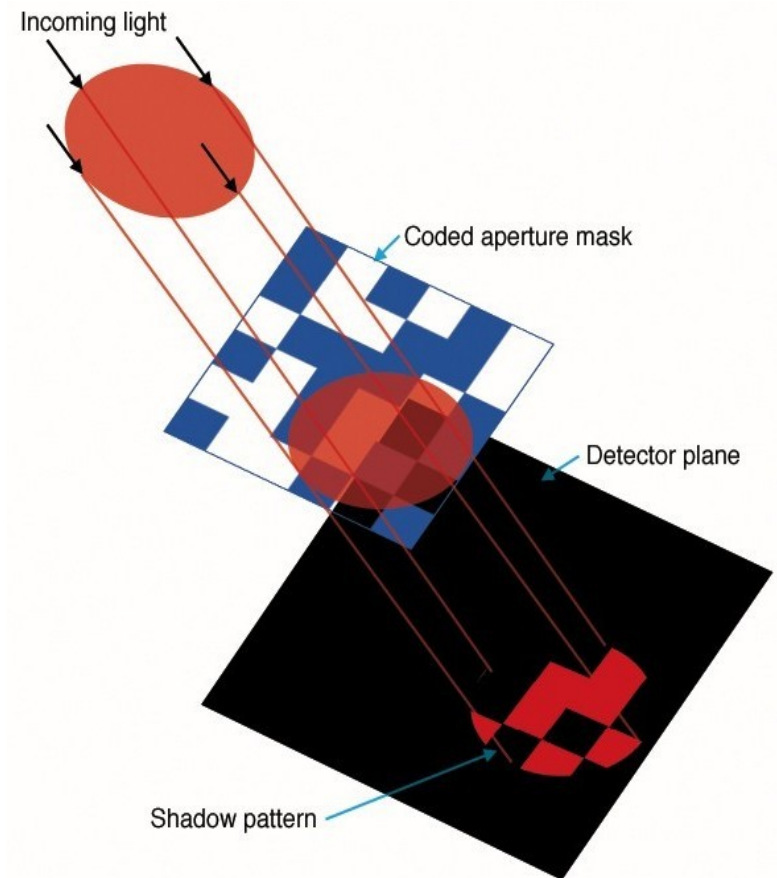


Figure 1. Energy bands used in various publications for X-ray satellites. The

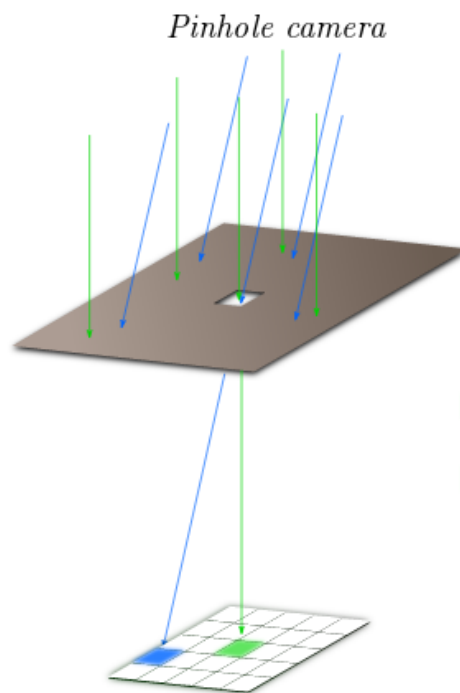
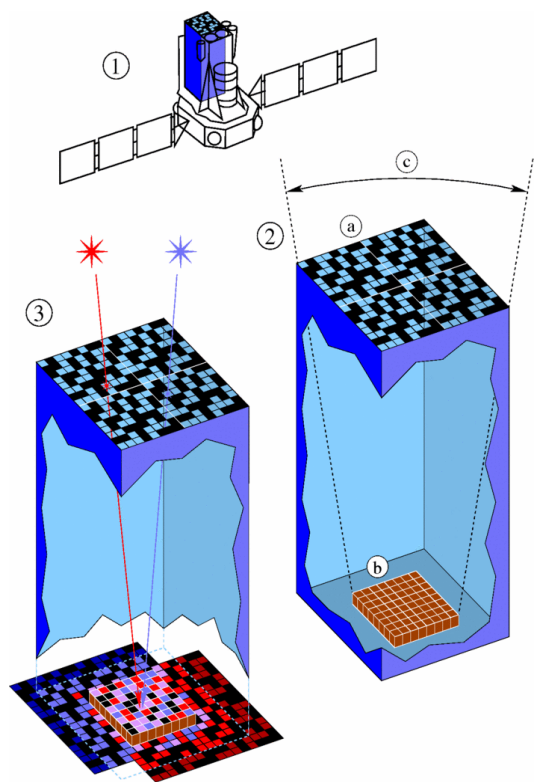
A röntgensillagászat kezdetei

1962–1969: rakéta vagy léggömb fedélzetéről. Lágy röntgenre érzékeny műszerekkel mértek, a szögfelbontás mechanikus fokozása 1 ívpercig modulációs kollimátort vagy kódolt apertúrájú maszkot használva. Irányított forgású rakétákkal (szabad pörgés helyett) szkennelés. Néhány perces mérés után a műszereket ejtőernyővel hozták vissza. Léggömbbel kb. 40 km magasságig, kb. 10 órás mérések, 0,5 MeV-ig. A rövid észlelési idő ellenére fontos felfedezések születtek, amelyek jól mutatták a röntgensillagászatban rejlő lehetőségeket.



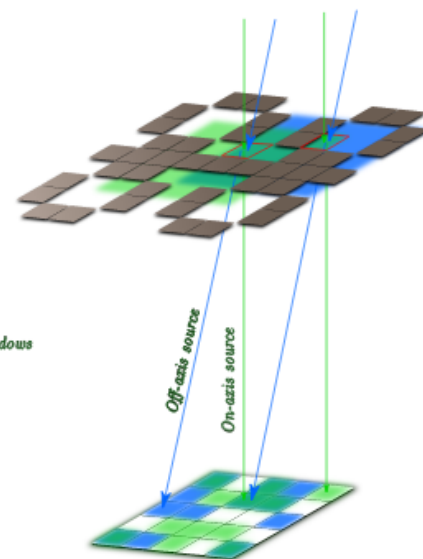
Az irányérzékenység javítása kódolt maszkokkal

A lyukkamera továbbfejlesztése. Az ötletet 1968-ban közölték. A maszk a helyérzékeny detektorsíkkal párhuzamos helyzetű. Az orvosi képalkotásban is használják.

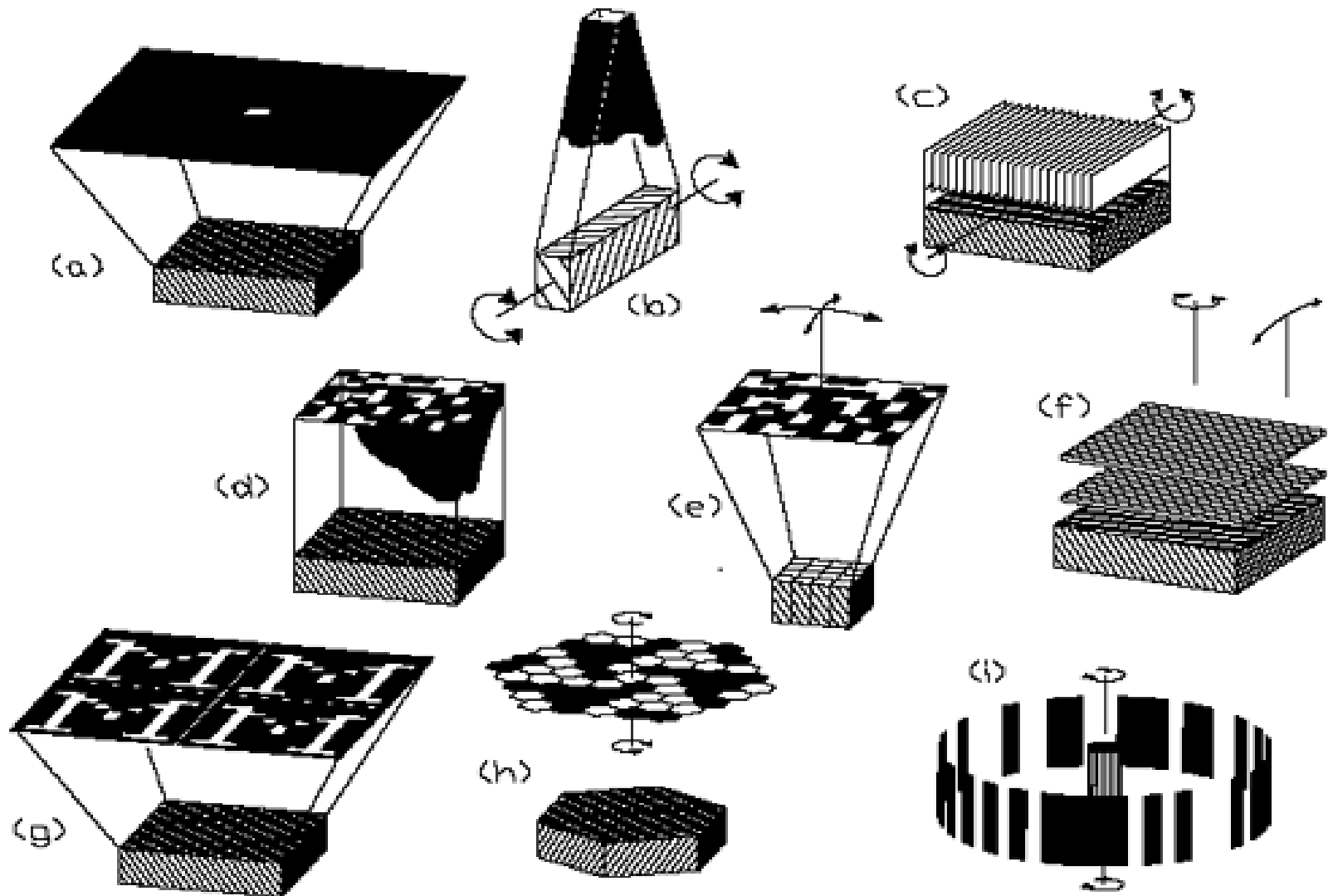


- On-axis shadow
- Off-axis shadow
- Overlap of both shadows

Coded mask system



Az irányérzékenység javítása kódolt maszkkal



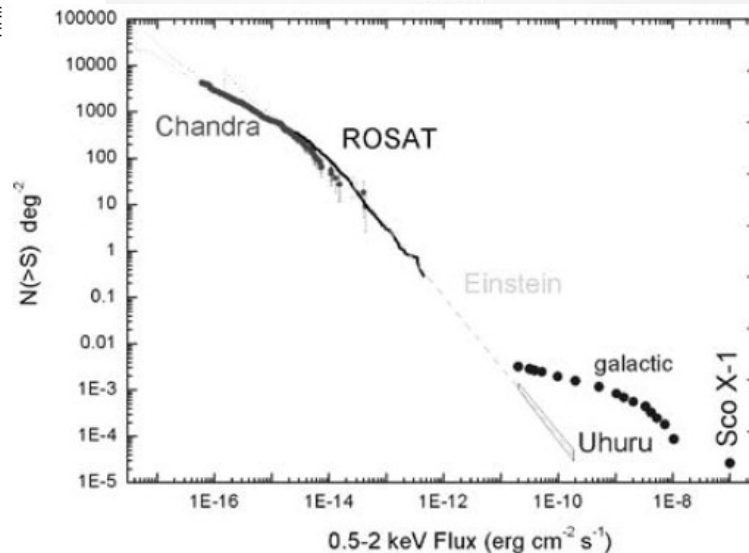
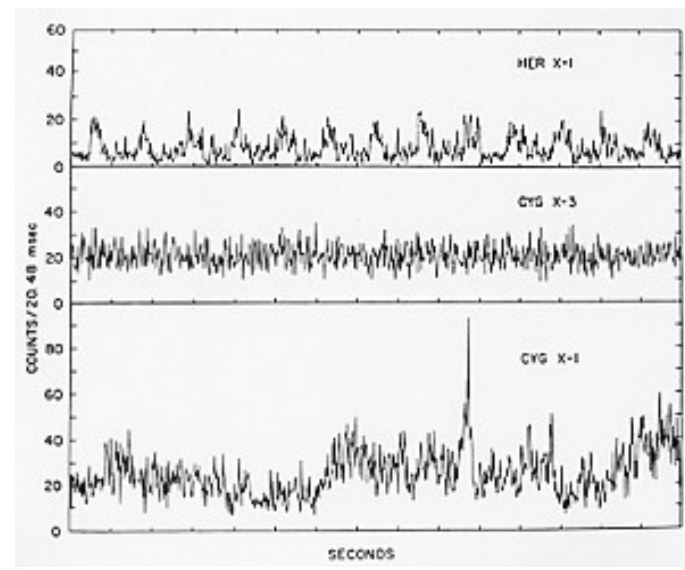
A röntgensillagászat kezdetei

Példák:

- A legerősebb röntgenforrás a Nap után a Sco X-1, optikai fényessége 13^m . Kis tömegű röntgenkettős (V818 Sco) 2300 fényévre 18,9 órás keringési periódussal. Neutroncsillag + tömegbefogási korong.
- Diffúz „háttérsugárzás” (feloldása majd a Chandrával).

A Rák-köd azonosítása Hold-fedéssel: kiterjedt röntgenforrásként 1964-ben, a pulzár röntgenpulzusai 1969-ben.

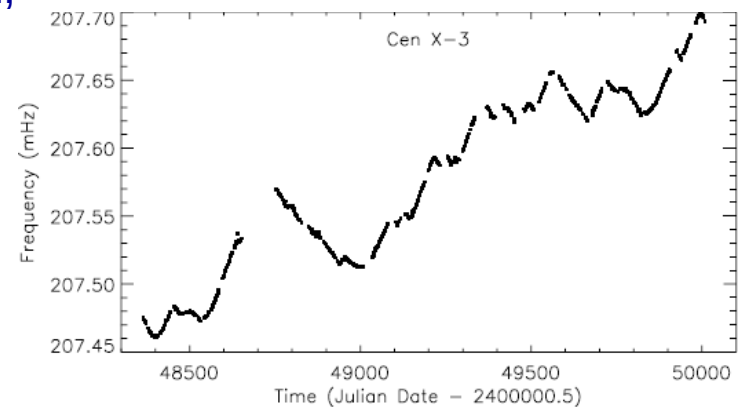
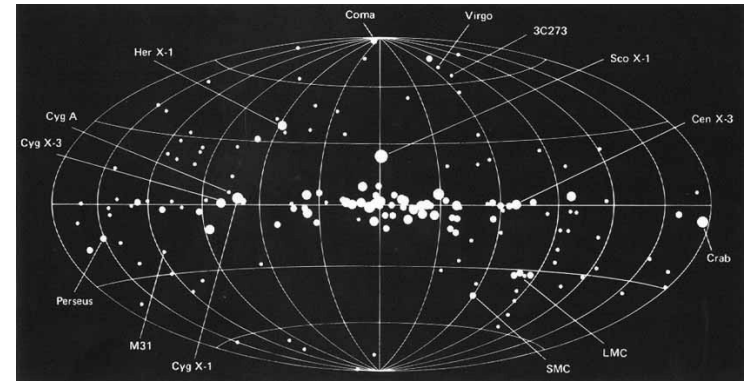
- Tranziens röntgenforrások felfedezése (Cen X-2); kitöréskor az intenzitás eléri a Sco X-1-ét.
- A Sco X-1 húszperces flerje.
- Az M87 röntgensugárzása (a Virgo-halmazban).



Kezdeti röntgenholdak

Röntgenműszerek korábbi holdakon is voltak már. Az első kifejezetten röntgenszonda az **Uhuru** (SAS-A): 1970. dec. – 1973. márc. Alacsony pályán, 12 perces tengelyforgási idővel a teljes eget mérte 0,001 crabig proporcionális számlálóval 2–20 keV között. A végső Uhuru-katalógusban 339 objektum van: főleg kettőscillagok, szupernóva-maradványok, aktív galaxisok és galaxishalmazok (**felső kép**). Közelebb vitt a források természetének megértéséhez:

- Röntgenkettősnél fedési változás (Her X-1, Cen X-3 [**alsó kép**]), ebből a méret kijön: neutroncsillag a kompakt komponens (kettősök fejlődése).
- Cyg X-1 gyors, szabálytalan változásai: fekete lyuk a kompakt komponens.
- A röntgenintenzitás változása teljesen megszokott jelenség.
- Galaxishalmazok diffúz röntgenemissziója a forró intergalaktikus gáztól ered.



Kezdeti röntgenholdak

OA0-3 (Copernicus): USA + Anglia (SERC). Az UV-kutatások (Princeton) mellett röntgenben is észlelt (London, Mullard Lab.). 1972. aug. – 1981. feb. között működött az 0,5–10 keV tartományban proporcionális számlálókkal (**felső kép**).

Főbb eredményei:

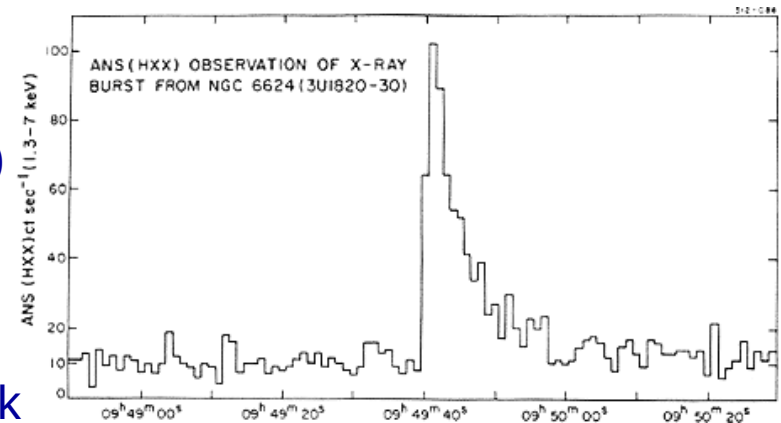
- Néhány pulzár felfedezése;
- Pulzások és röntgenkettősök hosszú idejű monitorozása;
- Gyors intenzitásváltozás a Cen A galaxisnál (4-szeres változás 2 éven belül).



További kis röntgenholdak:

ANS (1974–1976, holland): 2–40 keV, proporcionális számláló; felfedezései: röntgenkitörés gömbhalmazokban (**alsó kép**) (neutroncsillag felszínén bekövetkező magfúzió okozhatja); az UV Ceti és az YZ CMi röntgenfolyói; a Sirius és a Capella röntgenkoronája.

OSO-8 (1975–1978, NASA): vasvonalak galaxishalmazban, forró gáz jelenléte tipikus a galaxishalmazokban.

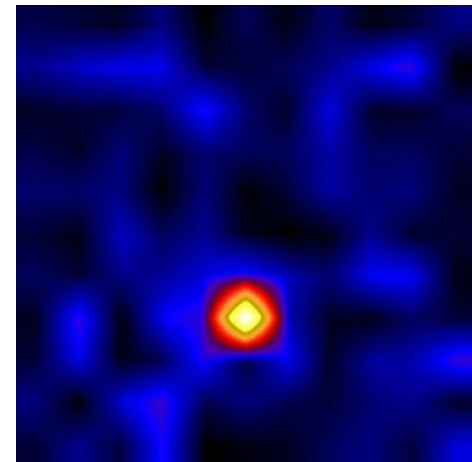
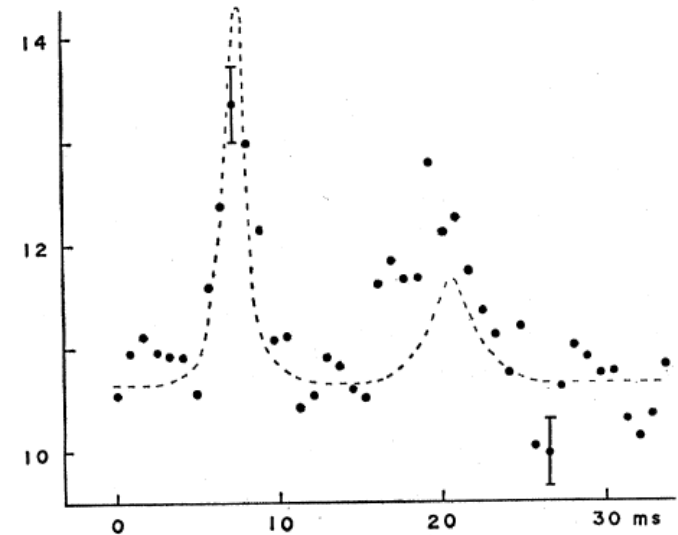


Röntgensillagászat – 1970-es évek

Közben röntgensillagászati célú további rakéták és ballonok.

Fontos eredmények:

- A Rák-köd röntgensugárzásának polarizációja szinkrotron eredetre utal (felső kép: a Rák-köd röntgenpulzusai).
- A Fátyol-köd (szupernóva-maradvány) röntgenszínképe hőmérsékleti sugárzás jellegű. 1977-ben képet is kaptak róla Wolter-távcsővel, amelyen látszik is a millió fok hőmérsékletű lökéshullám.
- Az SS Cyg röntgensugárzásának kimutatása: első ízben találtak fehér törpét röntgensugárzó kompakt kettősben.
- A Cyg X-1-nél ezred másodperces időtartamú flerek (alsó kép: későbbi ballonos felvétel).
- A Tejútrendszer centruma környékének vizsgálata röntgenhullámhosszokon (kódolt maszk a felbontás növelésére).



Újabb röntgenholdak (1970-es évek)

Ariel-V: 200 kg tömegű brit szonda, 1974. okt.

– 1980. márc. között szkennelte az eget (kép).

Detektorai: proporcionális számláló, polariméter, Bragg-kristály-spektrométer, 2–10 keV között.

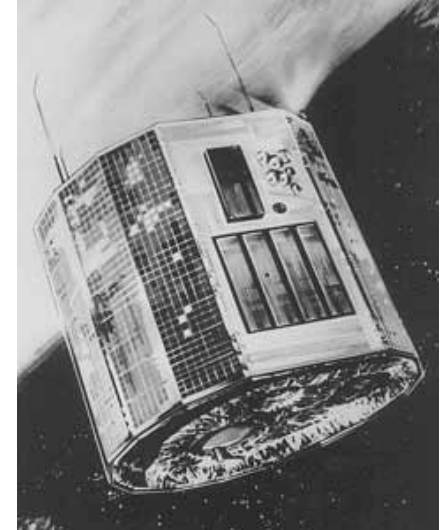
Fő eredményei:

- hosszú periódusú (perces) röntgenpulzások felfedezése;
- fényes tranziensek felfedezése (a Nova Mon 1975 kitöréskor fényesebb volt a Sco X-1-nél, fekete lyuk lehet benne);
- röntgenfénygörbék;
- a Seyfert-1 galaxisok mind röntgenforrások;
- vonalas Fe-emisszió felfedezése galaxishalmazokban (Perseus).

SAS-3: 1975. máj. – 1979. ápr. között működött, 200 kg tömegű NASA-szonda. Giroszkóppal szabályzott forgás, de meg is lehetett állítani.

Detektor: proporcionális számláló 1,5–10 keV között. Fő eredményei:

- egy tucat burster felfedezése és vizsgálata;
- az első polár felfedezése (erősen mágneses fehér törpe kettős rendszerben, AM Her a névadó);
- az SS Cyg röntgenemissziójának kimutatása.



Nagyobb röntgenholdak

A NASA HEAO (High Energy Astronomy Observatory) sorozata: 3 tonnás szondák alacsony (500 km) pályán, adattovábbítás 6400 bit/s (addig <1 kbit/s volt). 3 tengely menti stabilizálás 1 ívperc pontossággal.

HEAO–1 (1977. aug. – 1979. jan.): felmérés forgás közben;

HEAO–2 (1978. nov. – 1981. ápr.): Einstein néven ismertté vált szonda;

HEAO–3: a kozmikus sugárzás és a gammasugárzás és vizsgálatára)

HEAO–1: a Föld–Nap irány körül forgott 30 perces periódussal. Háromszor szkennelte végig a teljes eget. Négy röntgen- és gammacsillagászati műszere:

- LASS (Large Area Sky Survey): proporcionális számláló 0,25–25 keV között;
- CXE (Cosmic X-ray Experiment): 2–60 keV között jobb térbeli és spektrális felbontással;
- MC (Modulation Collimator): röntgenforrások pontos pozíciója optikai és rádióazonosításhoz;
- Keményröntgen- és lágygamma-kísérlet: 20 keV –10 MeV között.

A LASS katalógusa 842 forrást tartalmazott 0,001 crab intenzitásig.

CXE: különféle AGN-típusok röntgenluminozitásának összehasonlítása.

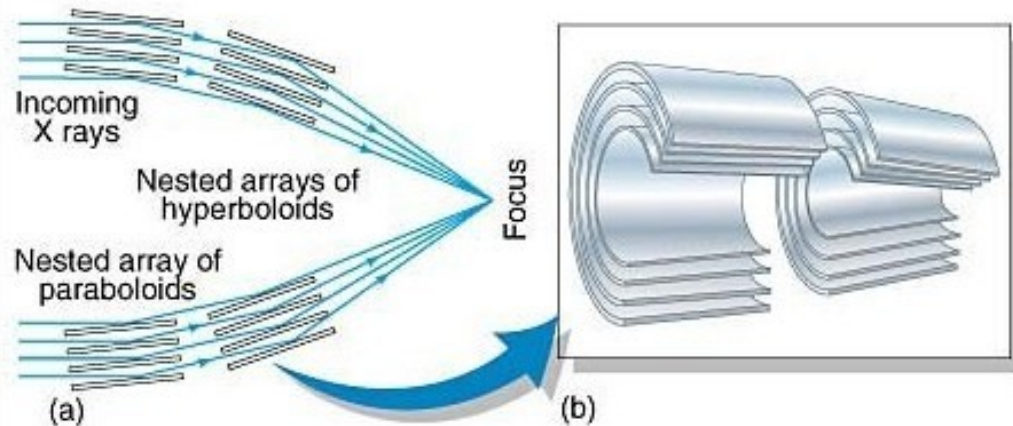
Az MC észlelései alapján több száz forrás optikai azonosítása.

Az SS Cyg és az U Gem röntgenpulzációjának és az RS CVn csillagok röntgenemissziójának (korona) felfedezése.

Nagyobb röntgenholdak, képalkotás

HEAO-2 (Einstein): hatalmas előrelépés: képalkotás röntgenben súroló beeséssel (Wolter-távcső);

Wolter-távcső: Hans Wolter 1952-ben találta fel röntgenmikroszkópiára. Giacconi javasolta alkalmazását távcsőként. A forrás jelét kis helyre koncentrálja, így csökken a háttérzaj. A HEAO-2 ezerszer érzékenyebb a HEAO-1-nél (ott proporcionális számláló volt). A leképezéssel javul a pozíciómeghatározás is. Korábban kb. 0,1 négyzetfokos hibanégyszög volt, azon belül pedig mindig akad 12^m -nál fényesebb csillag. A Chandránál a hibanégyszög csupán 10^{-7} négyzetfok.



Súroló beeséssel leképező távcsövek

Wolter-távcső: 2 elemből álló (konfokális és koaxiális) kúpszeletekről visszaverődés. Wolter-I: fókusz a tárgy felőli oldalon. A belépő pupilla a tükörfelület vetülete az apertúrasíkban.

A Chandra legnagyobb paraboloidjai 3,2 m² területűek, de a belépő pupillája csak 0,047 m². A gyűjtőfelület növelhető egymásba skatulyázással. Koncentrikus gyűrűkből álló apertúrák közös fókuszban képeznek le. A belső tükröknél kisebb a súroló beesési szög, ezért nagyobb a spektrális sáv szélesség (nagyobb energiát is leképez).

A Wolter-I típus hibái: az optikai tengelytől távol kóma hiba és szferikus aberráció lép fel, és a fókuszfelület görbült.

Wolter-I elrendezésű röntgéntávcsövek: Einstein, ROSAT, Chandra, XMM-Newton. Mechanikailag egyszerű és egymásba skatulyázható.

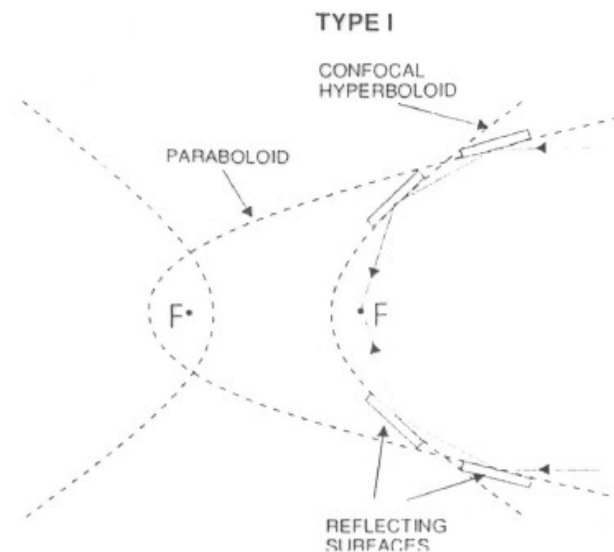
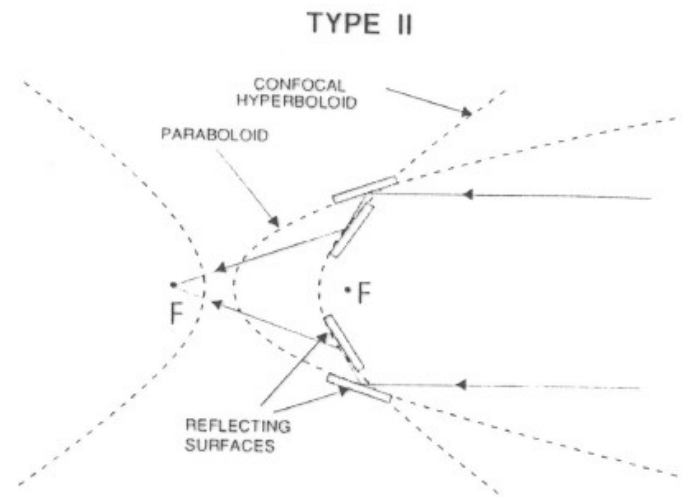


Figure 2. Schematic representation of the Wolter type I telescope.



Súroló beeséssel leképező távcsövek

Wolter–II elrendezés: képalkotás a tárgyjal átellenes oldalon. Hosszabb fókuszu, mint az azonos méretű (belépő pupillájú) és beesési szögű Wolter–I. A mezőhibák is jobban érvényesülnek. Itt nem célszerű az egymásba skatulyázás. A tükör felületét a beesési szög növelésével lehet fokozni, ami határt szab a leképezhető hullámhossznak: 10 nm-nél hosszabb EUV-re és távoli UV-re alkalmazzák.

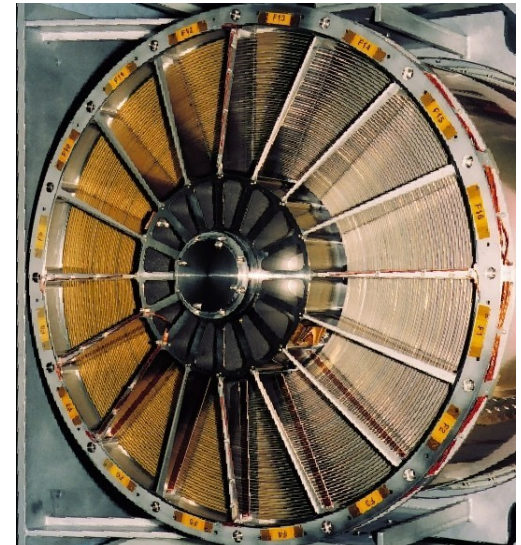
Létezik Wolter–III elrendezés is (paraboloid + ellipszoid), de csillagászati célra soha nem alkalmazták.

Probléma az optikai felület szennyeződése: elnyeli és szórja a röntgensugarakat (a súroló beesés ilyenre nagyon érzékeny). Az egymásba skatulyázás miatt a tisztítás is nehéz.

A röntgenteleszkóp tüköranyaga:

Zerodur (alacsony hőtágulási együtthatójú Schott üvegkerámia). A reflektálás javítására bevonat (irídium, arany, nikkel).

A skatulyázáshoz az egyforma tükrök másolással készülnek (közös „öntőforma”), de a felületük nem annyira tökéletes, mint az egyedileg készített tükröké. Viszont könnyebbek és olcsóbbak.



Röntgéntávcsövek, segédberendezések

A röntgensugár reflexiója egy felületről konstruktív interferenciával is elérhető: a sugárzást periodikusan változó rendszámú anyagból álló rétegekre bocsátva (Bragg-egyenlet). Tipikus rétegpárok: Ni-C, Hg-Si, Rh-Be, Rh-C, Mo-C, Pt-C (platinacsoport). A bevonat 40–500 rétegpárt kíván. A reflexió hatásfoka 10-80% a hullámhossztól és az anyagtól függően.

Ilyen elven működik az EUV és lágyröntgen tartományban észlelő TRACE napszonda, amelynek négy szegmense (más-más hullámhosszra érzékeny).

A röntgéntávcső kiegészítő berendezései:

CCD-kamera: nagy energiánál a szemből világított CCD-k energiafelbontása és kvantumhatásfoka jobb, hátulról megvilágított CCD-nél pedig kis energiánál.

A Chandránál a pixelméret: 24 μm , a szögfelbontás 0,5 ívmásodperc. A CCD-mozaik a görbült fókuszfelületnek megfelelően helyezhető el.

De most térjünk vissza a már éppen említett Einstein röntgenszondához!

HEAO-2 = Einstein

Effektív tükörfelülete 0,04 m² 0,25 keV-nál, 0,02 m² 2 keV-nál, érzékenysége 10⁻⁷ crab intenzitásig. Röntgenobszervatórium „vendégkutatókkal”.

A fókuszba négyféle műszer egyikét lehetett forgatni:

- leképező proporcionális számláló (1 ívperces szögfelbontás)
- nagy felbontású képalkotás (4 ívmásodpercig)
- szilárdtest-spektrométer
- Bragg-kristály-spektrométer ($\Delta\lambda/\lambda = 0,003$).

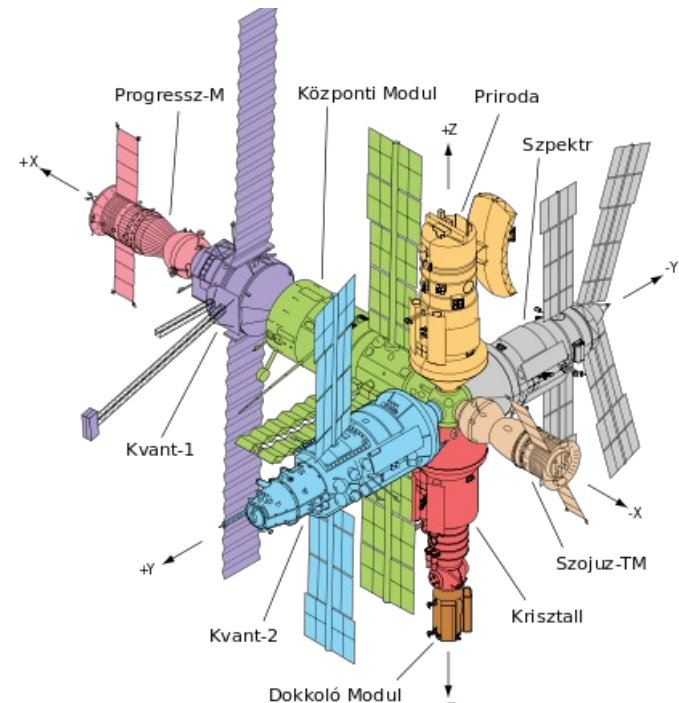
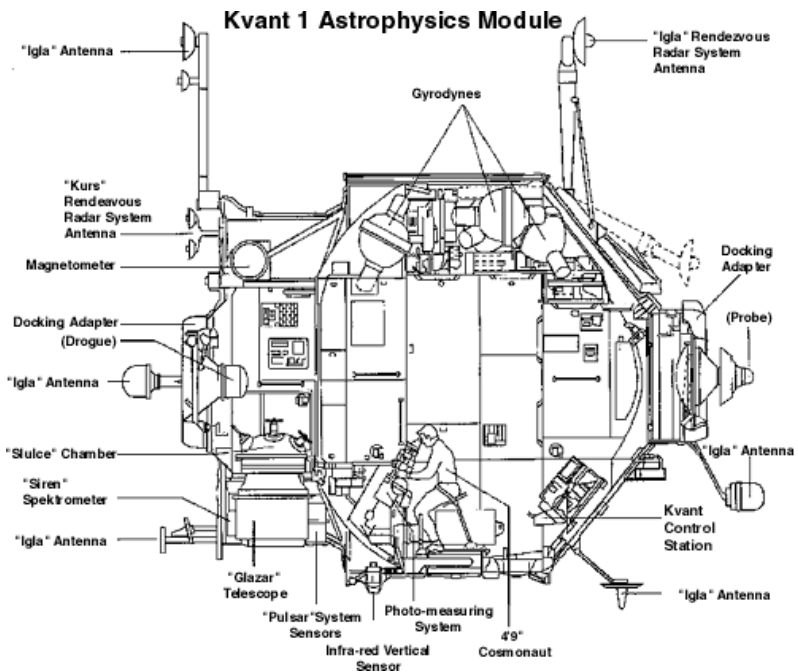
Érzékenysége miatt áttörést jelentett a röntgensillagászatban:

- a normális csillagokat körül is röntgenkorona veszi körül; a hideg csillagoknál a röntgenintenzitás a tengelyforgási sebességgel korrelál (és a felcsavarodó mágneses tér fűti a koronát);
- szupernóva-maradványok spektroszkópiája: O, Si és S nukleoszintézise; 47 SNR röntgenmorfológiája (LMC-ben is 30);
- az Andromeda-ködben is számos diszkrét röntgenforrást talált;
- a Cen A és az M87 magjából kilövellő röntgennyúlvány iránya azonos a rádiónyúlványéval;
- forró csillagközi plazma felfedezése elliptikus galaxisokban;
- az M87 körüli röntgenhaló sugárirányú hőmérsékleti eloszlása utal a hűtőáramra (cooling flow, a SN-robbanás után kikerült anyag röntgensugárzással hűl, és beesik a rendszer közepébe);
- minden kvazár röntgensugárzó, és ez okozhatja a diffúz röntgenhatteret.

Az 1980-as évek röntgenszondái

Az 1980-as években nem működött amerikai röntgensillagászati szonda (SAS-3: -1979, Einstein: -1981). (A Solar Max Mission (SMM) napkutató szonda volt.) Más felbocsátó országok viszont aktívak voltak ekkor.

Európa (ESRO, az ESA elődje): **EXOSAT** (1983. máj. – 1986. ápr.); *Japán*: **Hakucso** (1979. feb. – 1985. ápr.), **Tenma** (1983. feb. – 1985. nov.), **Ginga** (1987. feb. – 1991. nov.); *Szovjetunió*: **Kvant** (a Mir űrállomáson, **képek**), **Asztron** (főleg UV mérések); *Nagy-Britannia*: **Ariel-VI** (vagy Ariel-6); 1979. jún. – 1982. feb. Az EXOSAT kivételével mindegyik kevésbé jelentős misszió a HEAO sorozattal összehasonlítva. Az EXOSAT, a Ginga és a Kvant nemzetközi jellegű volt, vendégészlelési lehetőséggel.



EXOSAT

Az **European X-ray Observatory SATellite** 1983–1986 között működött. Pontra állítható észlelőberendezés, $0,16 \text{ m}^2$ felületű proporcionális számlálóval (az Uhurué feleekkora volt). Először lehetett tartósan észlelni egy forrást. Volt rajta leképező röntgentávcső is, de kis apertúrájú ($0,001 \text{ m}^2$). Összesen 1780 észlelés (AGN, csillagkorona, CV, WD, XRB, SNR, galaxishalmaz). Az első EUV-észlelések (10–30 nm) is ezzel születtek.

Színkép készítéséhez transzmissziós rácsot + gázcintillációs proporcionális számlálót használtak.

A folyamatos észlelés érdekében nagyon elliptikus pályán keringett (eredeti neve HELOS: Highly Eccentric Lunar Occultation Satellite). Perigeum: 350 km, apogeum: 190000 km). A háttér megnőtt ugyan (és függött a naptevékenységtől is), de 76 órán át folyamatosan lehetett egy objektumot észlelni. (LEO-pályán minden 90 percben fél óráig tartó Föld-fedés.)

Fontos eredményei:

- Keringési periódusok meghatározása röntgenkettősöknél.
- A kis tömegű röntgenkettősöknél felfedezett kváziperiodikus oszcilláció alapos mérése. Kb. egy tucatnyit ismertek, 5-60 Hz-es oszcilláció több százezer cikluson át.
- A Her X-1 több hónapig tartó alapállapotának felfedezése, a neutroncsillag 35 napos precessziójának kimutatása a pulzusprofilból.
- 48 Seyfert-galaxis vizsgálata $0,1\text{--}10 \text{ keV}$ között: helyes az AGN akkréciós korong modellje.
- $z > 0,1$ vöröseltolódásnál nincsenek röntgenben fényes galaxishalmazok, ez a galaxisok evolúciójának jele.

A röntgenkettősök

Röntgenben fényes kettőscsillagok: 10^{36} – 10^{38} erg/s. Az egyik komponens kompakt (neutroncsillag vagy fekete lyuk), tömegbefogás a szoros kísérről (1 naprádiusnál közelebbi közönséges csillagról). A tömeget veszítő csillag alapján 2 típus: HMXB (> 5 naptömeg), LMXB (< 5 naptömeg). Ezek a tömegátadás módja szerint is különböznek. HMXB esetében a sugárnyomás hajtja a csillagszelet, LMXB esetében a Roche-lebeny ki van töltve és túlcsondul (előfordul a kettő kombinációja is).

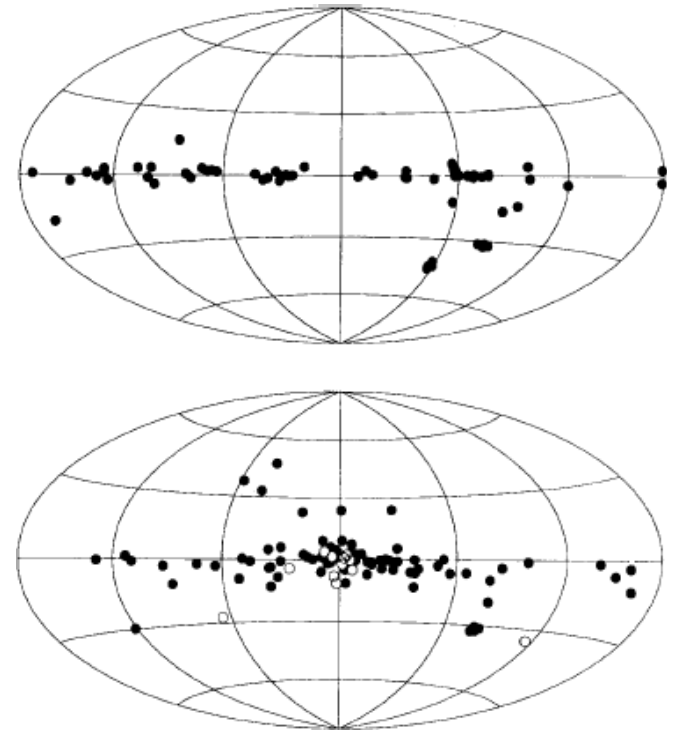
A Tejútrendszerben kb. 200 ismert, a fősík mentén nagy tömegű, a dudorban kis tömegű (képek), egy tucatnyinál valamivel több röntgenkettős ismert gömbhalmazokban.

A velük rokon **katakлизмikus csillagok** (fehér törpe a kompakt csillag) sokkal gyakoribbak.

A röntgenpulzust a kompakt csillag erős mágneses tere okozza.

Gyengébb mágneses mezőnél esetenként röntgenkitörés lehet.

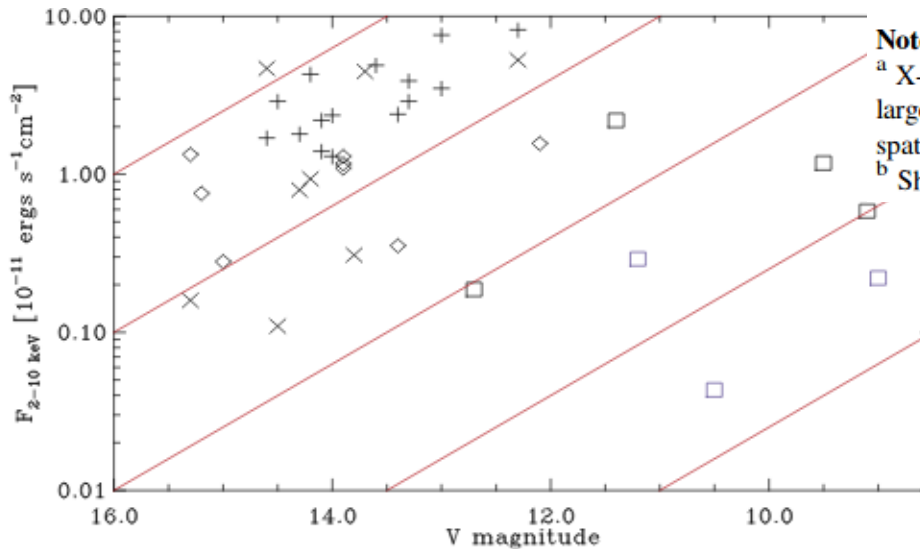
A csillagfejlődés fontos tesztobjektumai.



A röntgenkettősök

Typical X-Ray Characteristics of CVs and Symbiotic Stars

Energy Source	Energy Range	Size ^a	Time Scale ^b	Luminosity (erg s ⁻¹)	Temperature (keV)
Accretion	Hard	WD	Short	10 ²⁹ –10 ³³	5–50 keV
	Soft	WD	Short	10 ³¹ –10 ³⁴	20–50 eV
Nuclear Burning	Hard	Large	Days	10 ³³ –10 ³⁵	1–30 keV
	Soft	WD	Short	10 ³⁵ –10 ³⁸	30–80 eV
Colliding Winds	Medium	Binary	Days?	10 ³² ?	1 keV



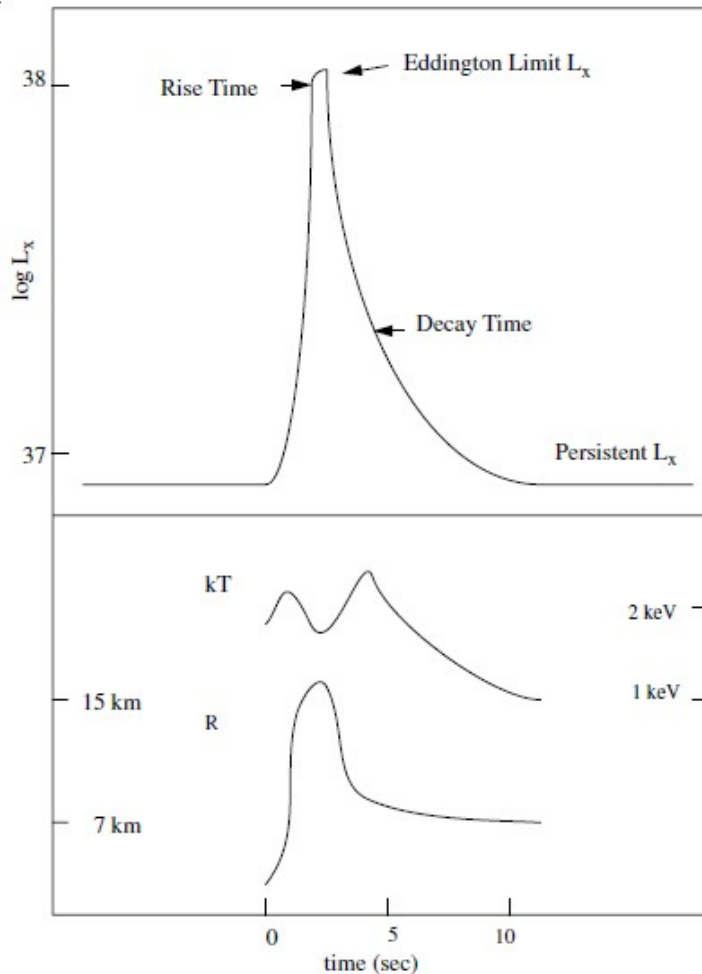
Notes.

^a X-ray emission region size, compared to the white dwarf, the binary, or larger. Only the hard X-rays from novae (under “nuclear burning”) can be spatially resolved using the current and near-future technology.

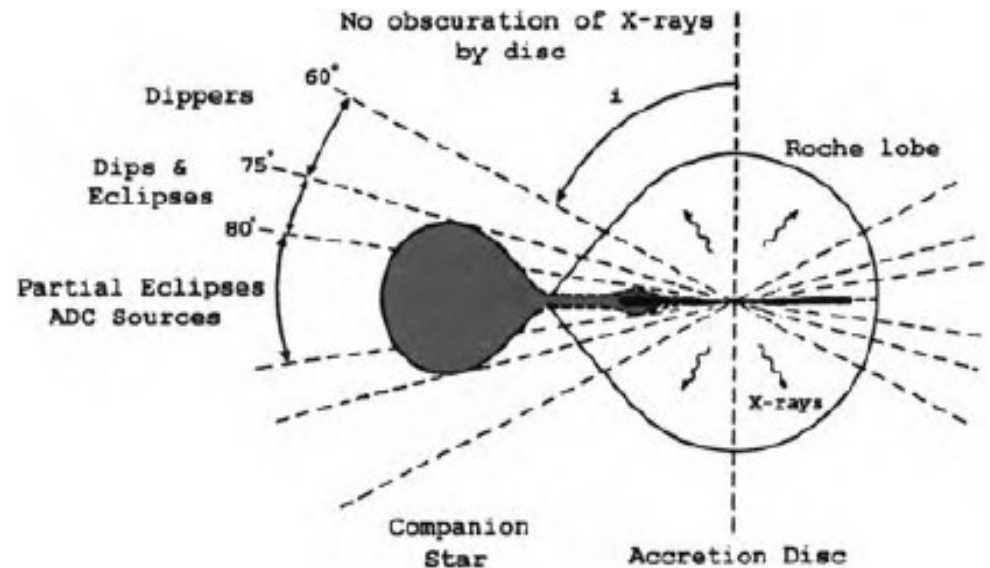
^b Shortest variability timescale, which can be as short as < 10 s.

Figure 3. Selected CVs of various subtypes in the F_X/F_{opt} plane. Pluses are IPs, crosses are polars, diamonds are dwarf novae in quiescence, and open squares are non-magnetic nova-like systems (black) and dwarf novae in outburst (blue). The diagonal red lines are for equal F_X/F_{opt} ratios, separated by factors of 10.

Röntgenkitörések



XRB (X-ray burster): tízszeresére növekvő röntgenluminozitás 1-10 s alatt, legfeljebb néhány percig tart.
A Roche-térfogatukat kitöltő kettőscsillagok (öregék, már nem pulzárok). A korongból a neutroncsillagra hulló anyag magfúziót indít be.



Nagy tömegű röntgenkettősök

A röntgenpulzárak az elsőként felfedezett röntgenforrások között voltak (Uhuru): Cen X-3: 4,8 s, Her X-1: 1,2 s. A pulzáció modulációja és a fedés azonnal utalt a kettősségre. Meghatározhatók a pályaelemek és a tömegek sőt a donor mérete is.

Akkréciós korong van a kompakt csillag körül még homogén csillagszél esetén is. A behullást a mágneses tér szabályozza. Impulzusnyomaték kerül a pulzárra. A forgás gyorsulása a röntgenluminozitással (vagyis az akkréció ütemével) arányos. Néha lassulás is észlelhető (oka nem világos, talán a csillagszél inhomogenitása).

Az erős (kb. 10^{12} gauss) mágneses térre utalnak a ciklotronvonalak. Forró folt van a neutroncsillagra zuhanás helyén. Vagy maga a folt röntgensugárzó, vagy felette néhány száz méterrel a lökeshullám. Az akkréciós oszlopban behulló anyag energiaszintjeit kvantálja az erős mágneses tér.

Be-csillagoknál fellépő tranziensek.

A gyors rotáció miatt egyenlítői gyűrű jön létre a Be-csillag körül. Erről kerül át az anyag a neutroncsillagra. A keringési periódus hosszú (néhány hét vagy hónap).

Excentrikus pálya esetén tranziens röntgenkifényesedés (kitörés) is észlelhető: periasztronnál a neutroncsillag kölcsönhat a Be-gyűrűvel.

Nagy tömegű röntgenkettősök

Table 1. Orbital parameters and masses for eclipsing HMXBs.

Source	Pulse period (s)	Orbital period (d)	$f(M)$ (M_{\odot})	e	i	M_{ns} (M_{\odot})	M_{sec} (M_{\odot})
SMC X-1	0.72	3.89	10.85	<0.00004	65	1.1	18
Her X-1	1.24	1.70	0.85	<0.0001	> 79	1.5	2.3
Cen X-3	4.82	2.09	15.34	<0.0016	70	1.21	20.5
LMC X-4	13.5	1.41	9.86	0.006	65	1.5	15.8
Vela X-1	283	8.96	19.74	0.09	>74	1.9	23.5
4U1538-52	530	3.73	11.8	<0.06	68	1.1	16.4

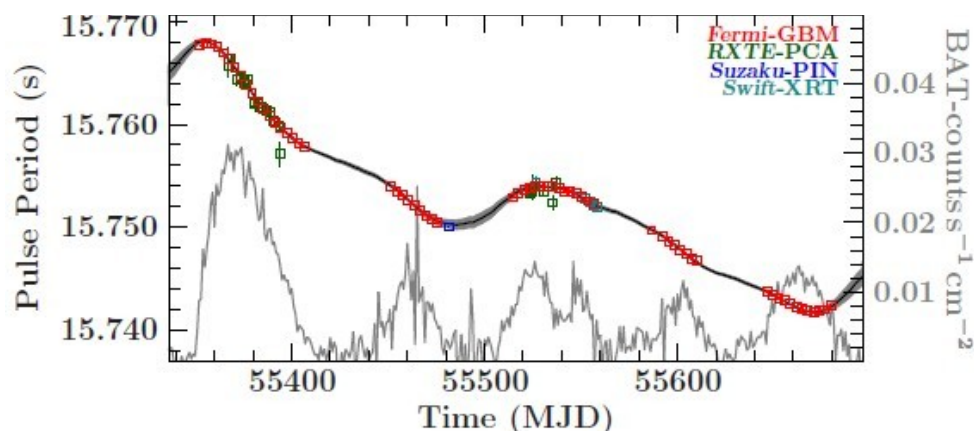


Figure 3 Pulse period history of XTE J1946+274, showing significant spin-up and variation as function of orbital phase. The gray line shows the *Swift*/BAT monitoring lightcurve and

Nagy tömegű röntgenkettősök

Table 3. Properties of LMXBs.

Source	Orbital period (h)	X-ray type	V	M_V	Notes
X1820-303	0.19	Burster	>19		globular cluster (NGC 6624), degenerate companion
4U 1850-087	0.34	Burster	21	5.6	globular cluster (NGC 6712), degenerate companion
X1626-673	0.7	Burster, pulsar	18.5		7.7s pulsar, degenerate companion
X1832-330	0.73	Burster	19.4		globular cluster (NGC 6652), degenerate companion
X1916-053	0.83	Burster, dipper	21	5.3	x-ray and optical periods different, degenerate companion
J1808.4-3658	2.0	Burster, pulsar, transient	16.5-20		millisecond (2.5 ms) pulsar, $\sim 0.1 M_\odot$ companion
X1323-619	2.9	Burster, dipper			
X1636-536	3.8	Burster	17	1.3	
X0748-676	3.8	Burster, dipper, transient	17	1.4	no decline
X1254-690	3.9	Burster, dipper	19		
X1728-169	4.2		17		
X1755-338	4.4	Dipper	19		
X1735-444	4.6	Burster	17.5	2.2	
X2129+470	5.2	ADC	16.5		now 'off'; triple?
X1822-371	5.6	ADC	15.5		
X1658-298	7.2	Burster, dipper	18.3		
A1742-289	8.4	Burster, transient			eclipsing
X1957+115	9.3		18.7		
X2127+119	17.1	Burster, ADC	15.5	1.0	eclipsing, globular cluster (M15)
Aql X-1	19	Burster, transient	21.6	2.9	frequent outbursts, kHz QPO
Sco X-1	19.2	Prototype LMXB	12-14	0.0	Z source
X1624-490	21	Dipper			
2S0921-630	216	ADC	15.3		
Cyg X-2	235	Burster	14.7	-2.0	
J1744-28	283	Burster, pulsar, transient			

Table 2. Be x-ray binary parameters.

Source	Spectral type	V	Spin period (s)	Orbital period (d)	e	$L_X(\text{peak})$ (erg s $^{-1}$)
A0538-66	B2IIIe	15	0.069	16.65	~ 0.7	10^{39}
4U0115+63	OBe	15.5	3.6	24.3	0.34	8×10^{36}
V0332+53	Be	15.3	4.4	34.25	0.31	10^{38}
A0535+26	O9.7IIIe	9	104	111	~ 0.3	2×10^{37}
GX304-1	B2Ve	14	272	133	?	3×10^{36}
4U1154-61	B1Vpe	9	292	188	?	10^{36}
X Per	O9.5ep	6	835	~ 580	?	10^{34}

Kis tömegű röntgenkettősök

A Sco X-1, a Naprendszeren kívül felfedezett legelső röntgenforrás is LMXB. 1967-ben azonosították egy 13 magnitúdós kék csillaggal, de a kettősségét csak az 1970-es évek közepén sikerült megállapítani.

Az optikai luminozitás a röntgensugárzó akkréciós korongtól ered. A tömegátadás (közvetlenül a korongra) a Roche-lebeny túlcsondulása miatt lép fel. A korong vastag, ezért a kompakt objektum sose látszik ki.

Gömbhalmazokban is előfordulnak, nagyobb arányban, mint a galaktikus mezőben. A HST-vel kiderült (nagyon zsúfolt területet vizsgálva), hogy némelyik ultrakompakt, 1 óránál rövidebb keringési periódussal. Az NGC 6624-ben az X1820-303 keringési periódusa csupán 11 perc! A nagy térbeli csillagsűrűség hatására jöhetett létre ott ilyen sok LMXB.

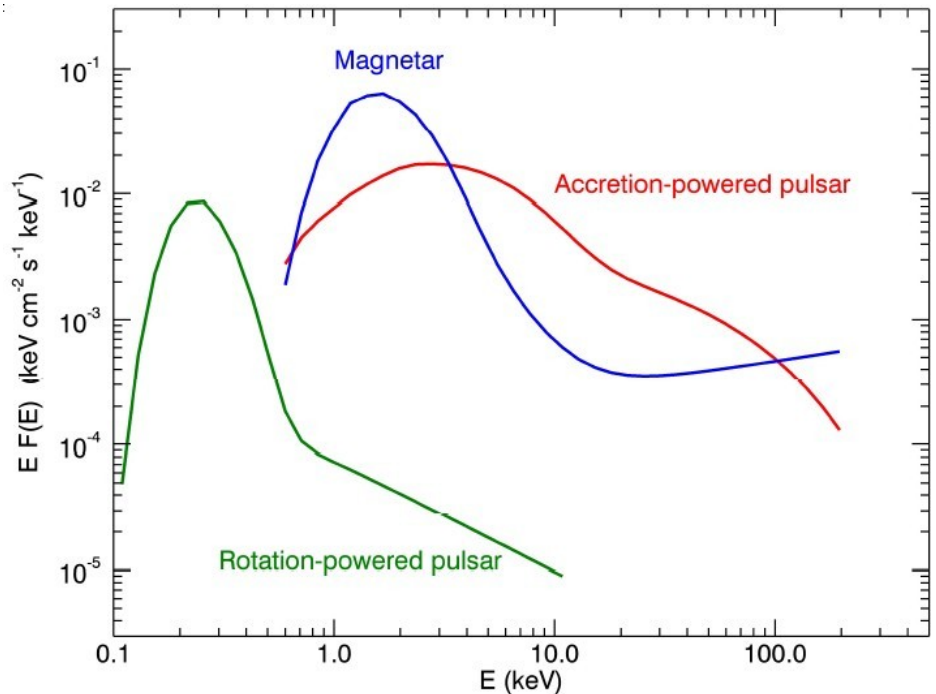
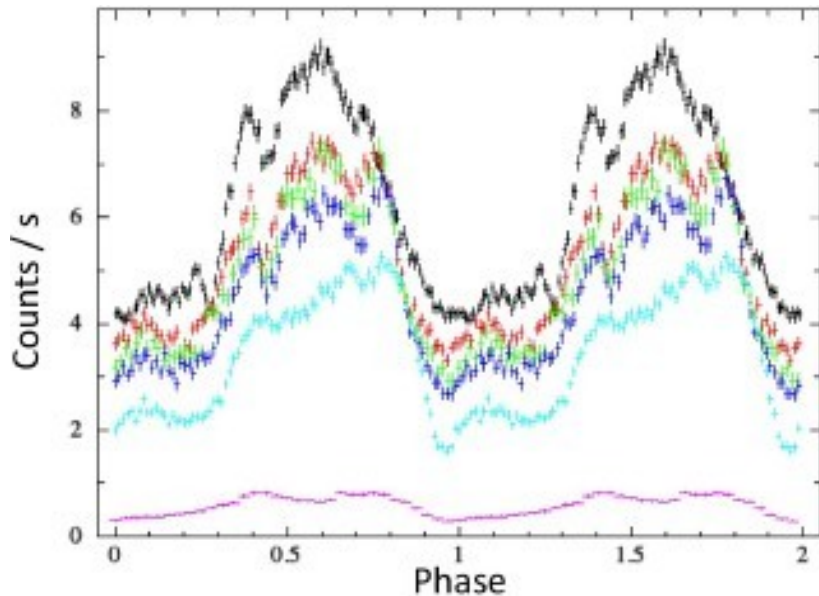
Röntgenszünetelők (dippers).

Bizonyos keringési fázisnál kihagy a röntgensugárzás. A tömegbehullási pontnál az akkréciós korong kiterjedése nagy a korong síkjára merőlegesen. A „vertikális” struktúra ciklusról ciklusra változik. Az inklinációtól függően lehet teljes fedés is az optikai sávban, de olyankor is megmarad a fedésen kívüli röntgenluminozitás néhány százaléka. A cirkumsztelláris anyagról szórt röntgenfény (röntgenkorona), akkrécióskorong-korona.

A röntgenszünet és a korongkorona az akkréciós korong azimutális szerkezetére utal.

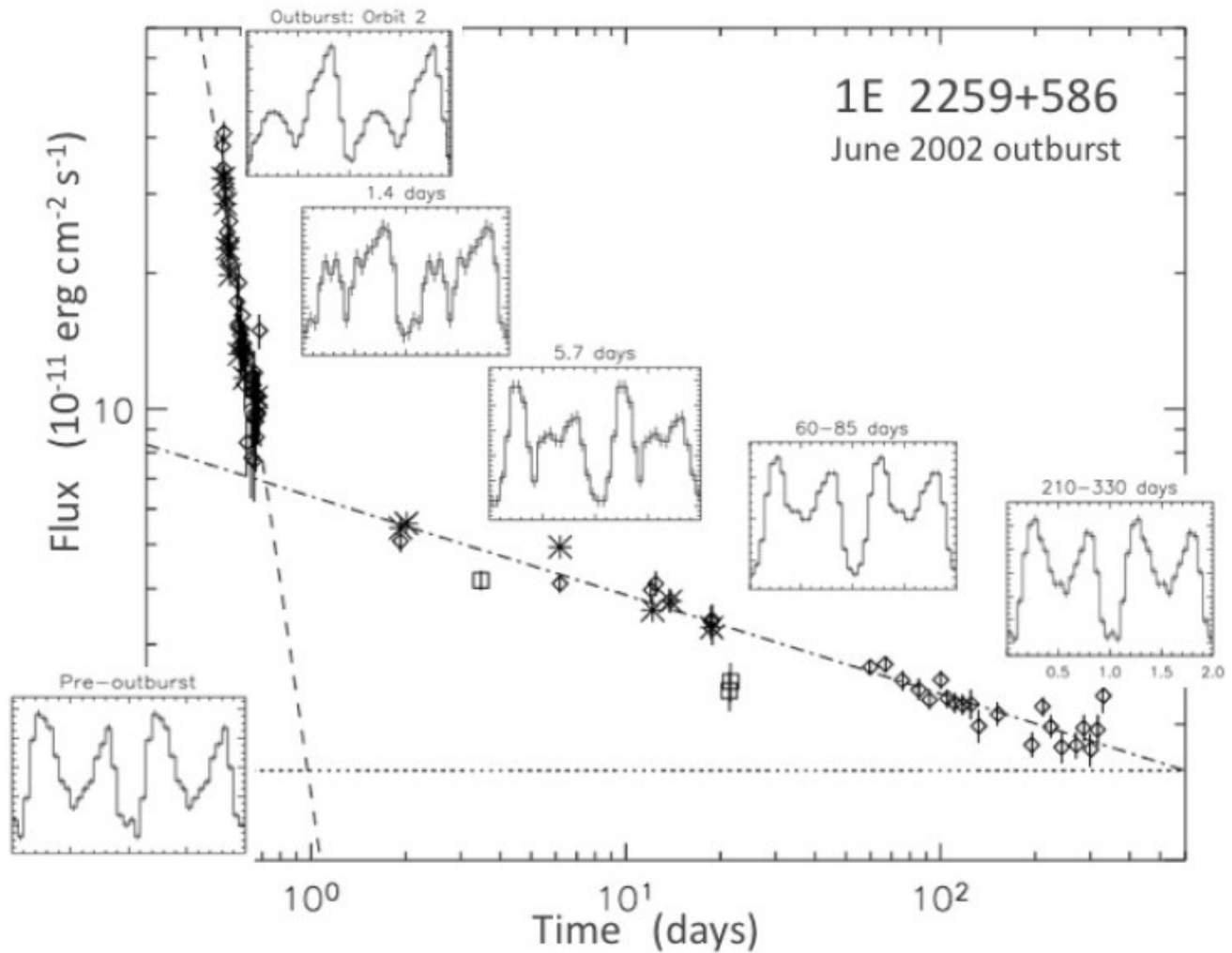
Magnetárok

Erős mágneses mezejű neutroncsillagok erősen változó röntgensugárzással, néha optikai és rádiópulzusokkal. (balra lent: a pulzus „fénygörbéje”) Forgási periódusuk (2–12 s) és annak növekedése (10^{-13} – 10^{-10} s/s) alapján a külső mágneses tér 10^9 – 10^{11} T lehet. Belül még erősebb, és nem is dipól jellegű a mágneses mező. Jobbra lent a különféle típusú neutroncsillagok spektrálisenergia-eloszlása látható.



Magnetárok

A pulzusprofil változása kitörés idején



Japán röntgenszondák

Az 1980-as években Japánnak állandóan működött röntgenszondája (1-2 évet kivéve), lehetővé téve a folyamatos vizsgálatot. Egyre nagyobb holdakat készítettek (96 kg → 420 kg). A fedélzeten tárolt adatokat Japán fölé érve továbbították a Földre. A Tenma és a Ginga szondán gammakitörés-érzékelő is volt.

Hakucso (1979–1985, 'hattyú'): forgó hold proporcionális számlálókkal és modulációs kollimátorokkal. A forgástengely mentén 6 és 18 fok átmérőjű mezőket vizsgált, különösen burstereket és a Tejútrendszer centruma környéki mezőket. Több LMXB kváziperiodikus oszcillációját fedezte fel (az EXOSAT csak 1 esetet észlelt).

Tenma (1983–1985, 'szörny, démon'): szintén forgott, de irányzott észlelést is végzett. Viszonylag nagy (0,06 m²) proporcionális számlálóval észlelt. Jó felbontású színeképeket készített 1–60 keV között. Tranziens források keresésére nagy látószögű monitor is volt rajta. A vas vonalának emisszióját mérte különféle típusú forrásokra. Először talált ilyen vonalat LMXB-kre. Először lehetett megkülönböztetni a „hideg” és a „forró” vasra jellemző vonalakat. A hideg (6,4 keV) vonal oka: röntgensugárzás éri a hideg anyagot; a forró (6,6-6,7 keV) vonalat a forró plazma okozza. Az LMXB-k színeképe két komponensre választható: a tömegbefogási korongból és a neutroncsillagból származóra.

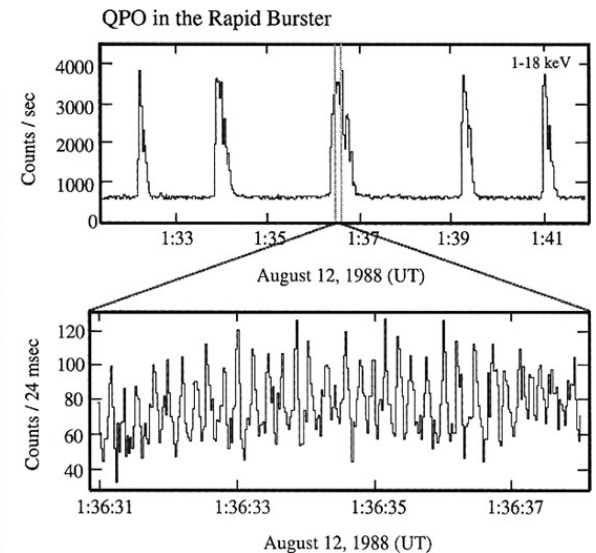
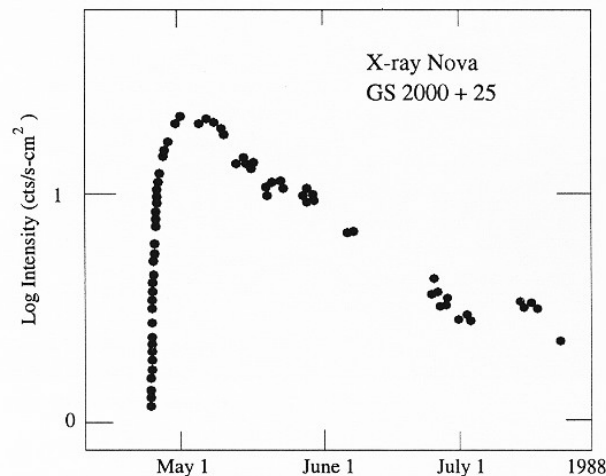
Japán röntgenszondák

Ginga (=galaxis) (1987–1991): 3 tengely mentén stabilizált szonda volt, igen nagy (0,40 m², angol gyártmányú) proporcionális számlálóval, emiatt érzékenyebb a korábbiaknál. Nagy látómezejű monitor és amerikai gammakitörés-detektor is volt rajta.

Főbb eredményei:

- Az SN1987A detektálása röntgenben 1987 júliusában;
- Rengeteg halvány és 2 fényes tranziens forrás felfedezése;
- Seyfert-galaxisok röntgenszínképének felvétele;
- A Virgo-halmaz forró plazmája 5°-nál nagyobb átmérőjű területről sugároz;
- Fe-emisszió felfedezése kvazároknál;
- A 3C279 kvazár hirtelen luminozitásnövekedése nyalábolásra utal (a nyaláb látóirányba kerülve sugároz).

A japán röntgenprogram folytatódott.



Szovjet röntgencsillagászat

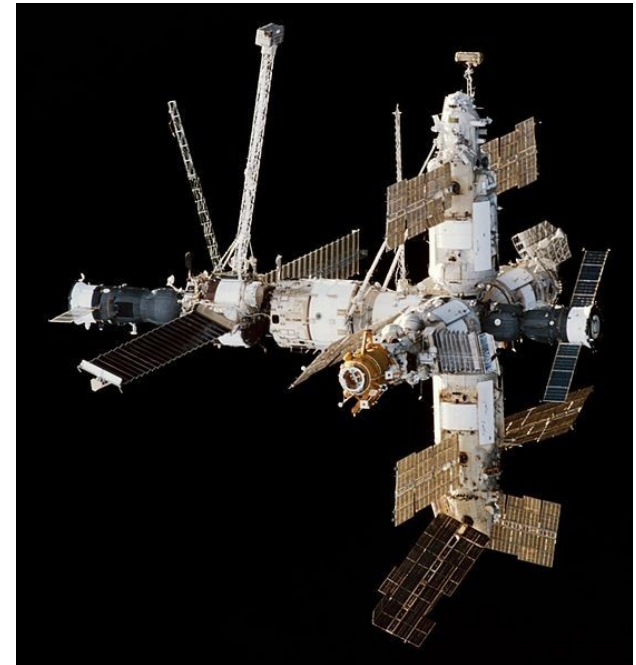
A **Venyera-11- –14** Vénusz-szondákon az 1970-es évektől voltak röntgenben érzékeny detektorok. Ezekkel a fő eredmény, hogy a gammakitöréseket hosszan tartó röntgenemisszió követi, azaz a gammakitörések helyét érdemes röntgentartományban is észlelni.

Asztron: indítás: 1983. márc. 23.; röntgen- és UV-szonda, 2000 és 200000 km közötti magasságú pályán, 4 napos keringési idővel. 1989-ig működött. Röntgendetektora 2–25 keV között érzékeny proporcionális számláló.

A Mir űrállomáson levő **Kvant** modulon (1987-től működött) voltak röntgen-detektorok európai együttműködésben (D, N, UK, ESA).

Kódolt maszkkal röntgen- és gammamérések is. Rövid ideig tartó észleléseket végeztek, mert más tudományos programok is voltak a Kvant műszereivel.

Észlelték az SN1987A röntgensugárzását (a Ginga is), és detektálták a Her X-1 pulzár felpörgését 1987–1988-ban.

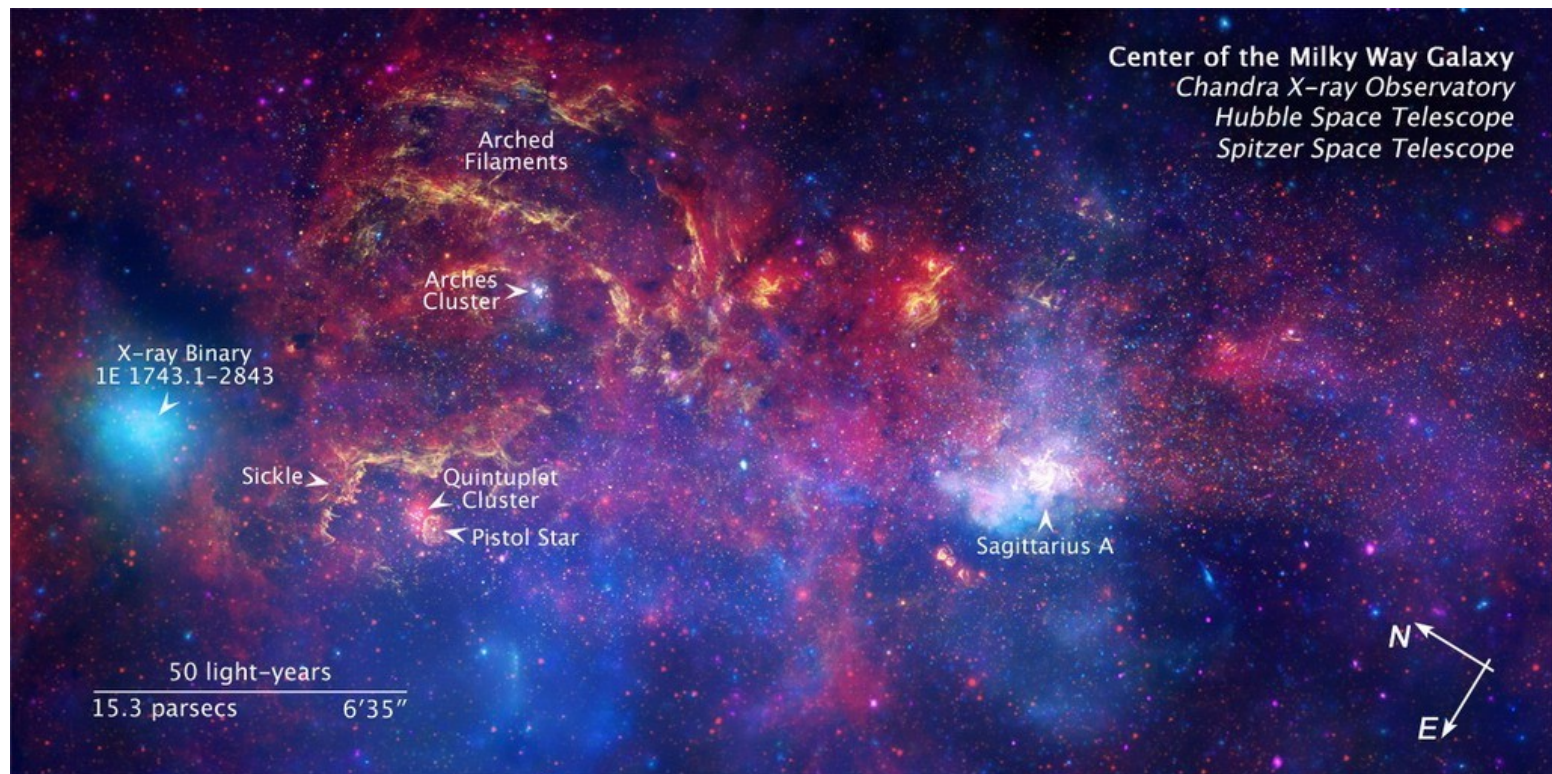


Szovjet röntgencsillagászat

Az első kifejezetten röntgenszondájuk a franciákkal közös **Granat** (1989–1998): erősen elliptikus pályán keringett a folyamatos észlelés érdekében, 7 röntgen- és gammadetektor volt rajta.

Különösen a Tejútrendszer centrumát észlelte, részletes röntgentérképet készített róla. Napos-hónapos időskálájú változásokat detektált.

Azóta sokkal részletesebb kutatásokat végeztek az izgalmas vidékről.



ROSAT

Újabb áttörés a röntgensillagászatban: **ROSAT = Röntgensatellit** (D, UK, USA): 1990. jún.–1999. febr. (2011-ben visszazuhant a Földre.)

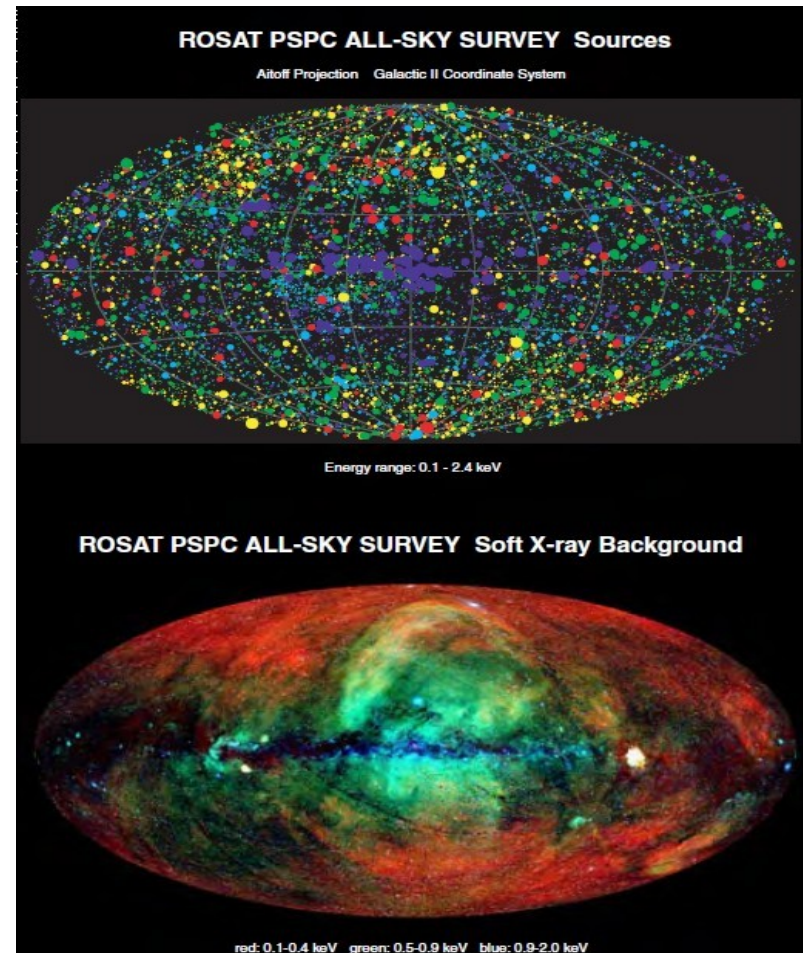
Indítás: Cape Canaveralról Delta rakétával.

- Röntgentávcső: 4 Wolter–I egymásba skatulyázva, 0,11 m² apertúra, kb. 4'' felbontás, a fókuszsíkban pozícióérzékeny proporcionális számlálóval és az Einstein nagy felbontású képalkotójának mása (USA), de érzékenyebb fotokatóddal (Csi).

- EUV-távcső (WFC, angol gyártmány).

Először fél évig teljes égfelmérést végeztek EUV-ben és lágyröntgenben: 600 EUV-forrás + 150000 röntgenforrás, amelyek fele aktív galaxismag.

Újabb katalógusa a 2RXS.

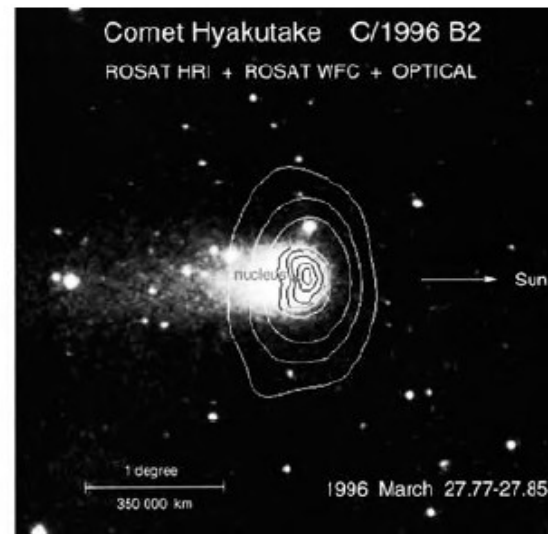
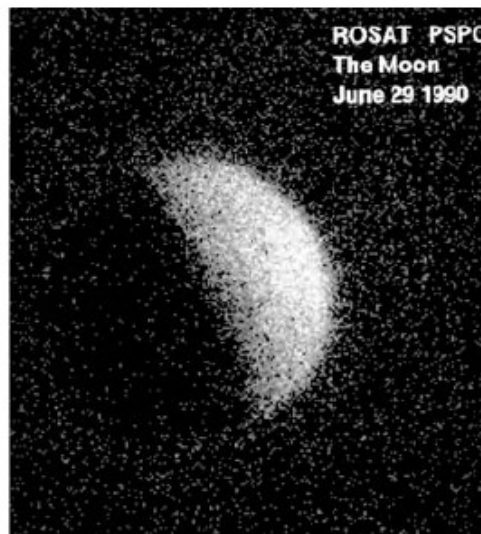


A ROSAT fontosabb eredményei

Jupiter: a SL-9 üstökös bezuhanásakor észlelte az auróra indukált erősödését.
Üstökösök röntgensugárzása: a legnagyobb meglepetés. Hyakutake (1996): a vártnál 400-szor erősebb röntgenben, és órás időskálán 5-szörös faktoral változás. Az üstökös Nap felőli oldaláról ered, szimmetrikus a Nap–üstökös irányra. Oka: az üstökös és a napszél kölcsönhatása. Az égfelmérés adatait ellenőrizve további 3 üstökösnél (Tabur, Encke, Hale–Bopp) találtak röntgensugárzást. A Naptól 2 CSE-en belül mindig röntgensugárzóvá válik az üstökös.

Csillagok: csillaghalmaz vizsgálata (azonos korú csillagok) alapján a koronaaktivitás függése a tömegtől és a rotációtól.

Beágyazott **protocsillagoknál** is észleltek röntgensugárzást (magnetocentrifugális szél eredetű bipoláris kifújás).



A ROSAT fontosabb eredményei

Barna törpénél is talált röntgenemissziót: röntgenkoronája van.

Gömbhalmazok: közel 50 halmaz vizsgálata alapján megháromszorozta az ilyen halmazokban ismert röntgenforrások számát (30 forrás 18 halmazban). Sikeres optikai azonosítás (pl. akkréciós korong emissziója).

Kompakt objektumok: megduplázta az AM Her típusú rendszerek ismert számát. A ROSAT előtt kevés izolált neutroncsillag röntgensugárzása volt ismert (10^8 T mágneses mező). Az ilyen objektumok száma 20-ra nőtt, a felénél röntgenpulzáció is észlelhető. A neutroncsillag forgási energiáját elektromágnesessé konvertálja.

Röntgenkettősök: egy nagy tömegű röntgenkettősnél a keringési periódus szekuláris változását is kimutatták.

Szupernóva-maradványokban (200-at talált a ROSAT) fiatal neutroncsillagok kimutatása. A neutroncsillag sajátmozgása mérhető a köd kinematikai centrumához képest (kb. 1000 km/s) az optikai foszlányok alapján. A robbanás aszimmetrikus.



A ROSAT fontosabb eredményei

Szupernóva-maradványok: 3 fő vizsgálati irány: a maradvány kialakulása a robbanás után; a maradvány szerkezete és fejlődése; nagy léptékű diffúz röntgenemisszió sok SNR által hajtva. Mindez segíti az intersztelláris anyag kémiai és dinamikai fejlődésének megértését.

A robbanás miatt táguló burok kölcsönhatása a korábban kidobott cirkumsztelláris anyaggal.

A Fátyol-köd (legközelebbi SNR) nagy térbeli felbontású vizsgálata (millió másodperces integrálás).

Az SMC-ben van nem röntgensugárzó SNR (SNR 0101-7226), és két SNR összeütközése is (DEM L316).

Galaxisok: a közeli galaxisokban a diszkrét források feltérképezése, a diffúz sugárzás feloldása.

Az M31-ben 86 forrást találtak 10^{36} erg/s felett. Az Einstein szonda által talált forrásokat újra mérve kb. a források fele változik.

Kölcsönható galaxisok: pl. a Csápok galaxispárból komplex röntgenemisszió a csillagkeletkezési területekről és a HII-zónákból.

Aktív galaxismagok: a ROSAT 150000 pontforrásának fele (kvazár, blazár, Seyfert, rádiógalaxis); időbeli változások korreláltatása más hullámhosszú viselkedéssel.

A Lockman-lyuk mélyvizsgálata: 0,5 millió s 15 négyzetfokról (UMa).

Galaxishalmazok: több ezret észlelt, közülük 1500-nak ismert a távolsága. Finomszerkezet különféle méretskálákon (kölcsönhatás, összeolvadás, hierarchia). Galaxisfejlődés: hűtőáram (cooling flow) z-függése.

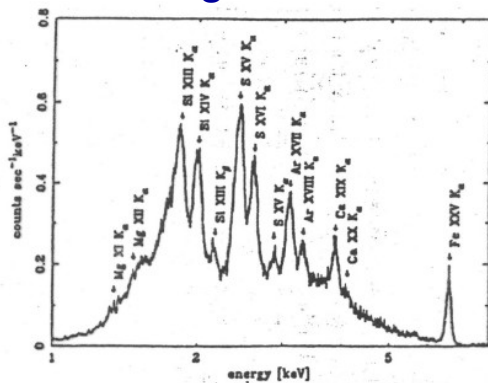
Más röntgenszondák a ROSAT idején

ASCA: Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics (az indításig ASTRO-D). Japán hold (+USA), az 'aszka' jelentése repülő madár; az i. sz. 7. sz.-ban Japánban volt aszka kor (a buddhizmus virágzása). 1993. feb. – 2000. júl. között a 0,5–10 keV tartományban mért (2001. márc.: lezuhant). A ROSAT kisebb energiára volt érzékeny.

CCD-detektorok + leképező gázcintillációs proporcionális számláló. Energiafelbontása jobb, szögfelbontása (3') rosszabb, mint a ROSAT-é. Spektroszkópiát végzett, jól kiegészítve a ROSAT méréseit (képek).

Főbb eredményei: Aktív galaxisokban a Fe K vonalának (a H Ly α -vonalának felel meg) szélessége erős gravitációra utal (közel a fekete lyuk eseményhorizontjához); Az intergalaktikus gáz kémiai összetétele alapján a korábbi csillaggenerációkban gyakoribbak voltak a nagy tömegű csillagok; Közepes tömegű fekete lyukak felfedezése; Katakizmikus változók: nemmágneses CV, polár (AM CVn), mérsékelt polár (DQ Her) vizsgálata

ALEXIS (Array of Low Energy X-ray Imaging Sensors): főleg az EUV tartományt vizsgáló szonda volt (Los Alamos National Laboratory, 1993–2005).



X-ray spectrum of the SNR W49B measured with

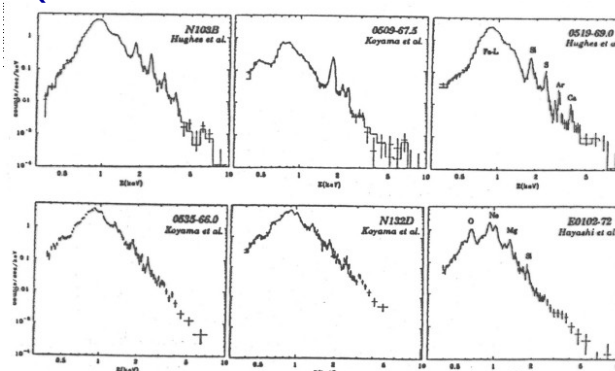


Fig. 4. X-ray spectra of young SNRs in the LMC and SMC.

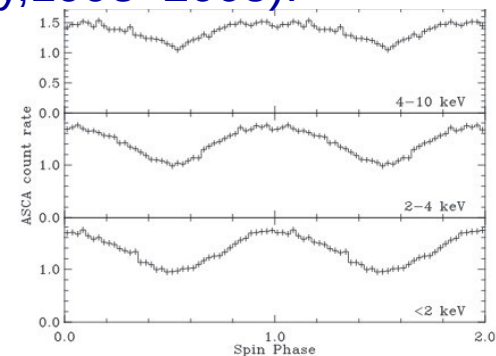


Figure 7. Example of energy-dependent X-ray spin modulation of IPs, V1223 Sgr observed with ASCA. Each panel shows the sum of count rates in the four telescopes on-board ASCA in the indicated energy range, folded on the spin period.

Más röntgenszondák a ROSAT idején

RXTE: Rossi X-ray Timing Explorer (Bruno Rossiról elnevezve) = Explorer-69. A NASA szondája. Indítás: 1995. dec., LEO pályára. Kétéves működést terveztek, de egészen 2012-ig működött. Célja: ismert röntgenforrások (pl. röntgenpulzárak, -kitörések) időbeli változásának vizsgálata 2–250 keV között + újabb röntgenkitörések felfedezése.

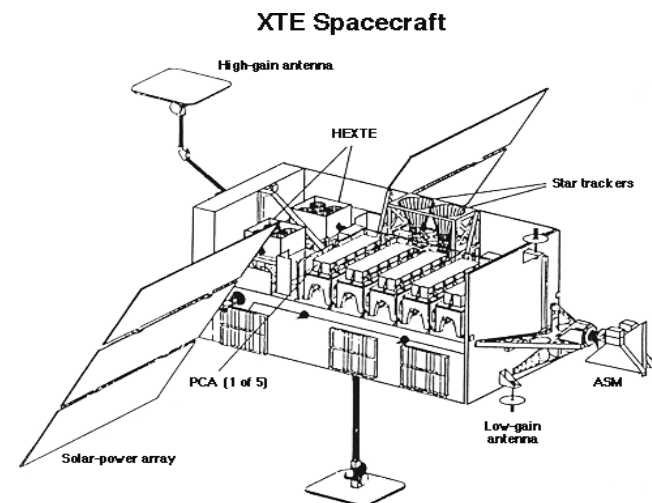
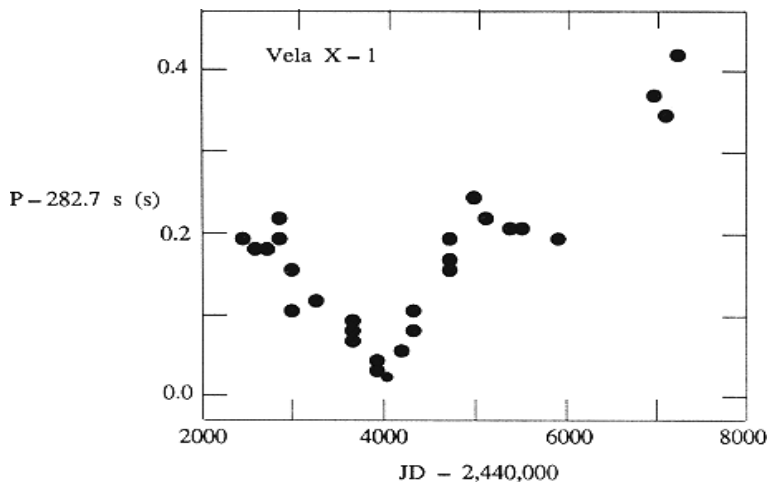
Műszerei:

PCA: proportional counter array, Xe-gázzal töltve, 6500 cm² felületű, 2–60 keV között érzékeny, a HEXTE irányába nézett; 1 milliomod másodperc időbeli felbontás is elérhető;

HEXTE: High Energy X-ray Timing Experiment, 15–250 keV között;

ASM: All Sky Monitor, 2–12 keV között mért, másfél óra alatt az egész eget végigmérte (felfedezés és hosszú időskálájú nyomon követés).

Fő eredménye: a diffúz röntgenhátér csillagkoronáktól és korábban nem ismert rengeteg fehér törpétől ered.



Más röntgenszondák a ROSAT idején

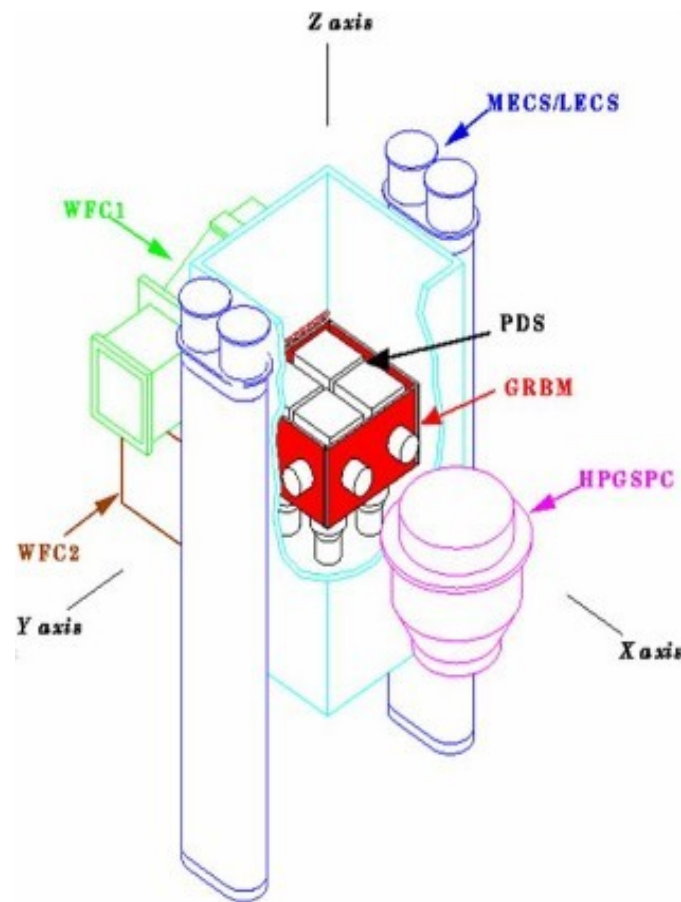
BeppoSAX (Beppo: Giuseppe Occhialini beceneve; SAX = Satellites per Astronomia a raggi X): olasz–holland hold. (kép)

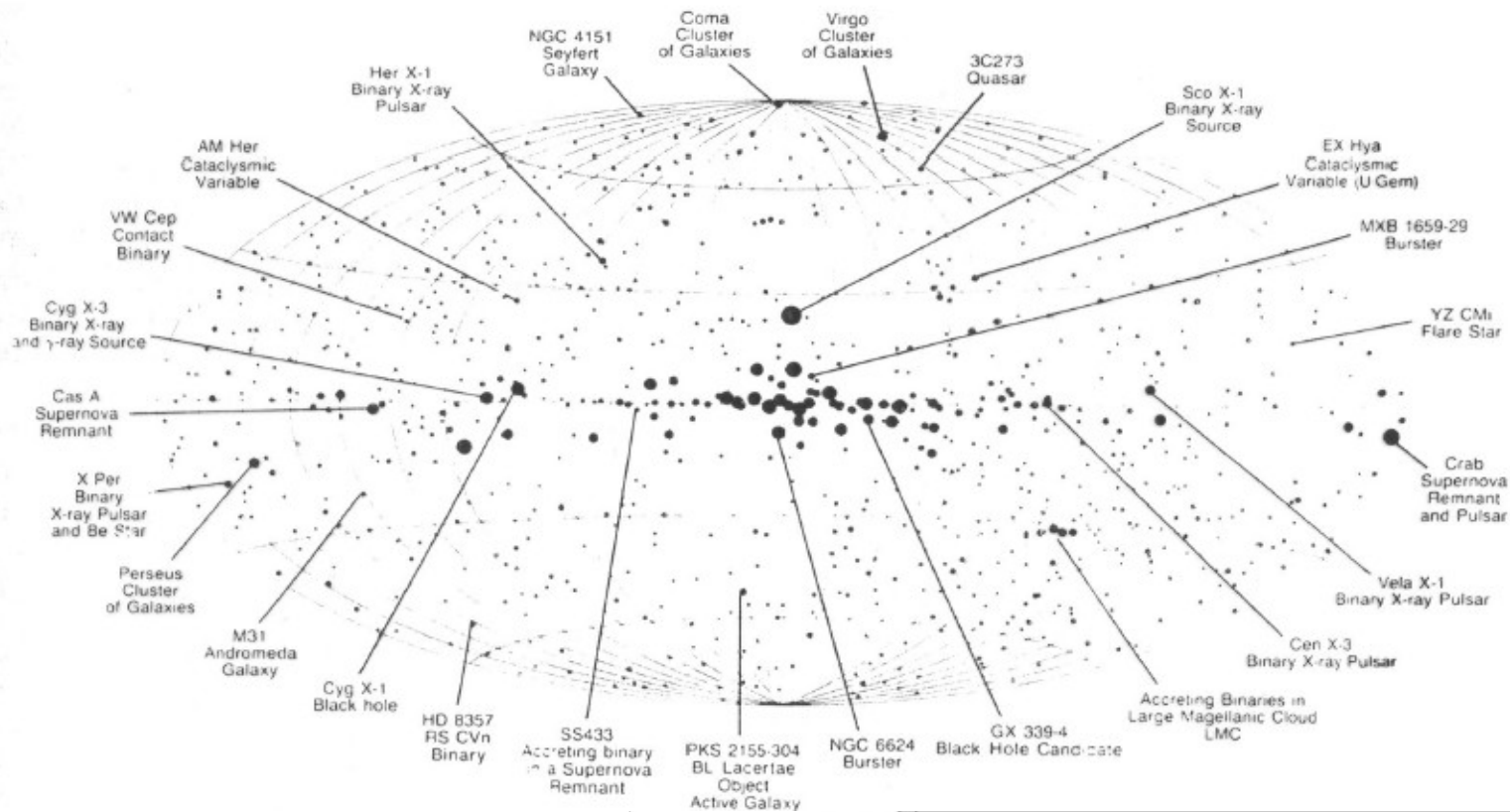
1996. ápr. – 2002 között működött (deaktiválták, 2003-ban visszazuhant).

5 tudományos műszer volt rajta, közte két spektrométer és Wolter-távcső (WFC). 0,1–300 keV között mért, keményröntgenben úttörő szerepe volt.

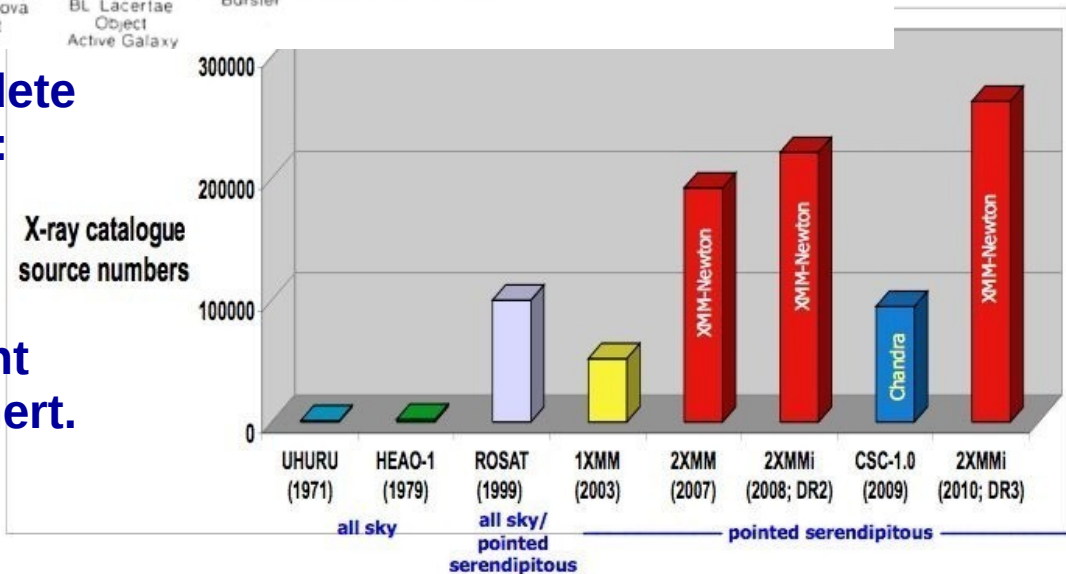
Fő eredménye: a gammakitörések röntgenutófényének felfedezése (1997). Mért továbbá a Tejútrendszer centrumának vidékét, és felmérést végzett aktív galaxisokról.

ABRIXAS (A Broadband Imaging X-ray All-sky Survey): a német DLR szondája, 1999. ápr. és 1999. júl. között észlelt 550–600 km magas pályán





Az 1999-es év új korszak kezdete a röntgensillagászatban: a Chandra és az XMM-Newton indítása. A legfrissebb adat: a 4XMM-DR9 (2019) szerint 550124 röntgenforrás ismert.

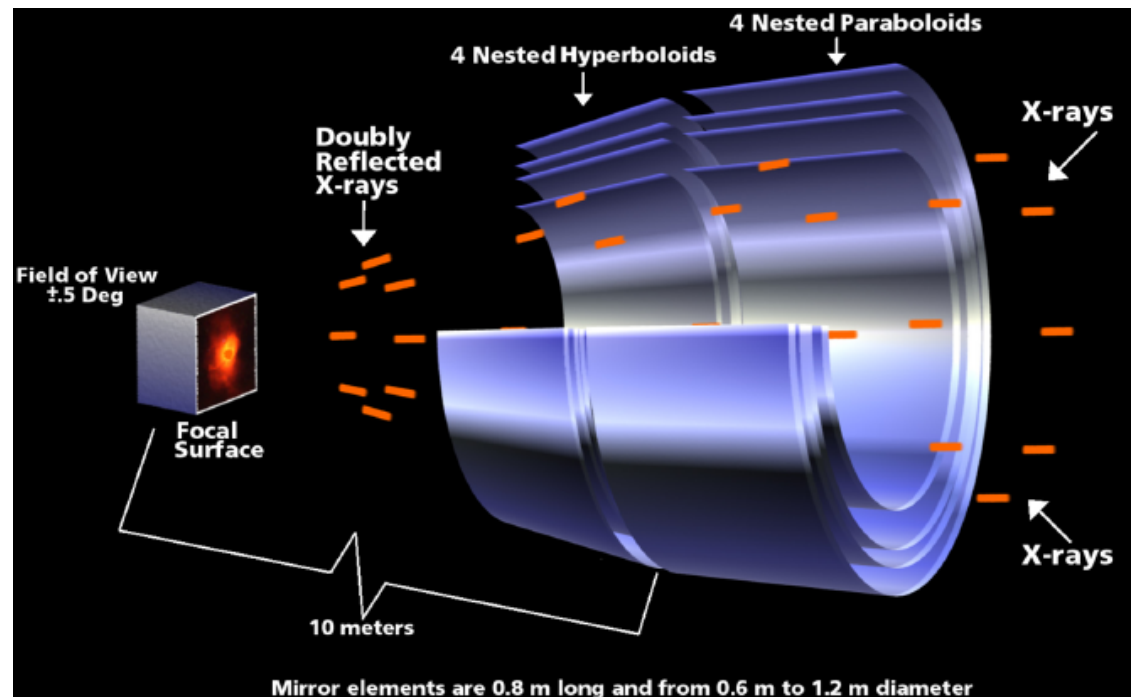


A Chandra-röntgenobszervatórium

A NASA 3. nagy obszervatóriuma. Eredeti neve: AXAF (Advanced X-ray Astrophysics Facility). Indítás: 1999. július. Az űrrepülőgéppel felvitt legnagyobb űrszonda. Legalább 5 éves missziót terveztek, és jelenleg is működik. Chandrasekhar nevééről, a szanszkrit chandra szó jelentése: hold. 4 egymásba skatulyázott Wolter-távcső, 1,2 m maximális átmérővel. Szögfelbontás: 0,5'' (8-szor jobb és 20-50-szer érzékenyebb az addigi legjobb röntgentávcsőnél).

A ROSAT-énál ezerszer jobb a szögfelbontása.

Pályájának apogeuma 130000 km, perigeuma a felszín fölött 7000 km-rel. Főleg képalkotásra, de spektrumot is tud készíteni.



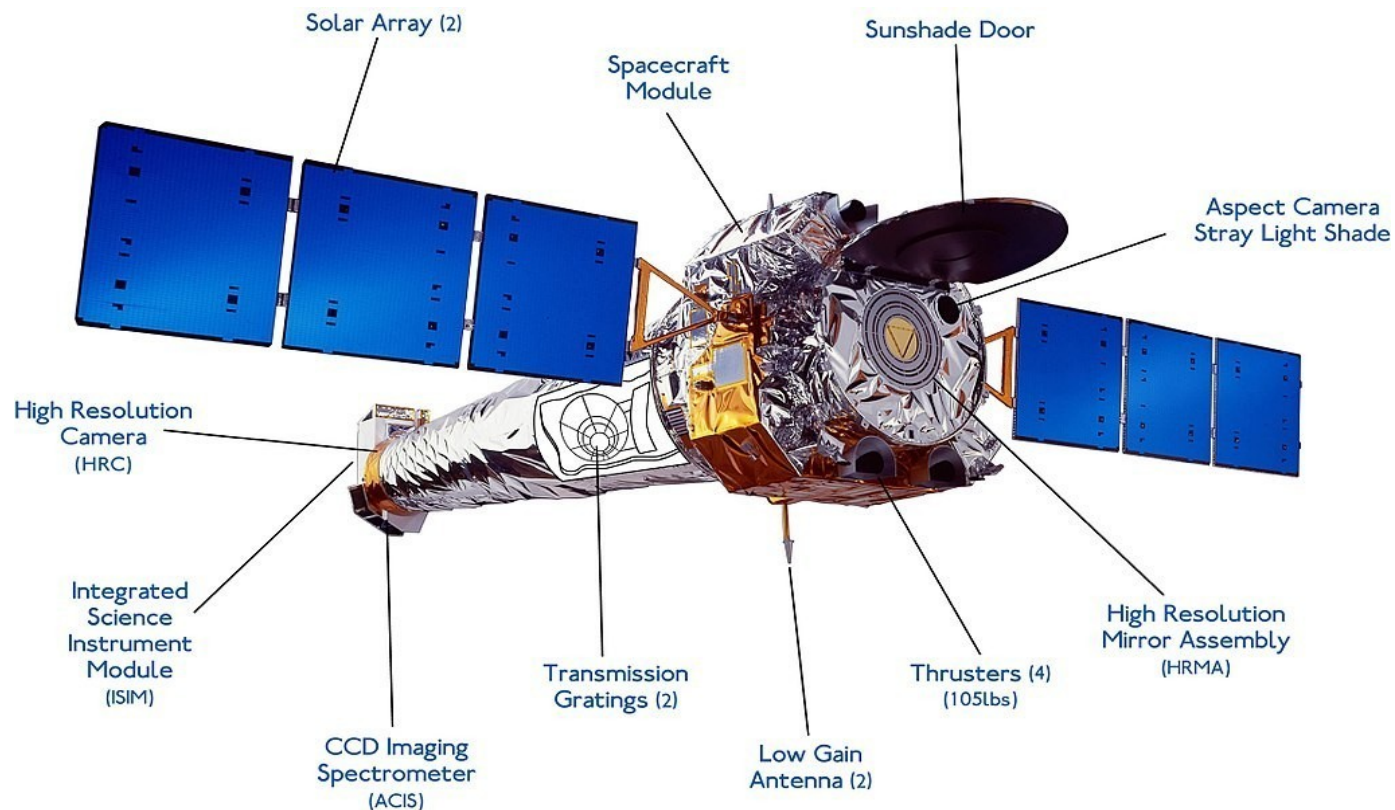
A Chandra-röntgenobszervatórium

Műszerei:

HRC (High Resolution Camera): 69 millió PbO mikrocsatornával;
ACIS (AXAF CCD Imaging Spectrometer): 50 energiacsatorna, de két
diffrakciós ráccsal a felbontás növelhető:

HETGS (0,4–10 keV,
 $R=60-1000$),

LETGS
(0,9–3 keV,
 $R=40-2000$).



Az XMM-Newton

XMM-Newton (X-ray Multi-Mirror Mission) az ESA „válasza” a Chandrára. Indítás: 1999. dec. A missziót 2020 végéig támogatja az ESA, de szándék van további hosszabbításra.

4-10-szer érzékenyebb, mint a Chandra, a szögfelbontása viszont csak 10''.

CCD-detektor és spektrométer is van rajta. Főleg röntgenspektroszkópiára használják. A 0,1–10 keV tartományban érzékeny 10^{-15} erg/s/cm² fluxusig.

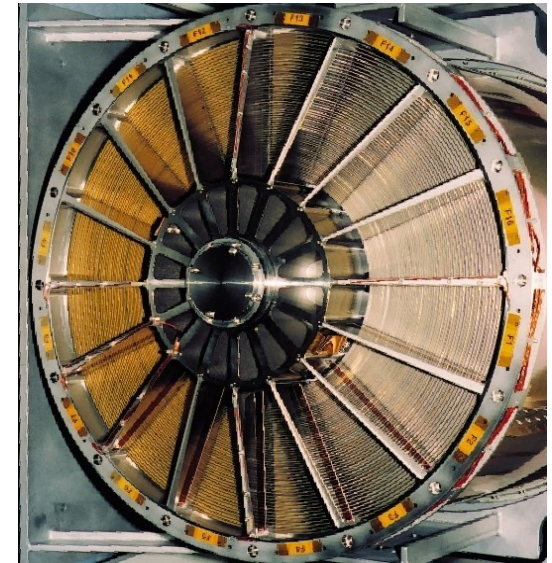
Perigeum: 7000 km, apogeum 114000 km.

Műszerei:

EPIC (European Photon Imaging Cameras): három súroló beesésű távcső, mindegyik 58 egymásba skatulyázott Wolter-I-es távcsővel. 2 keV-nél 4000 cm² effektív felületű, 8 keV-nél pedig 1600 cm². Minden távcső fókuszában CCD-kamerával leképezi a 30 ívperc látómezőt.

RGS: 2 reflexiós rácsú spektrométer 0,2–2 keV között, $R=250$.

OM: optikai monitor, 160–600 nm (azaz UV-ben is). 2001 elején újabb földi állomást (Santiago) beiktatva 60%-os hatásfokú lett az észlelés (a kezdeti 35% helyett). Ez olyan, mint a Chandráé.



Chandra és XMM-Newton – szinergia

A két szonda együttműködése jellemző kezdettől fogva a rivalizálás helyett.
 A Chandra a képképzésben erősebb (összehasonlítás: jobbra fent), az XMM-Newton a színeképek készítésében jobb (összehasonlítás az alsó képeken).

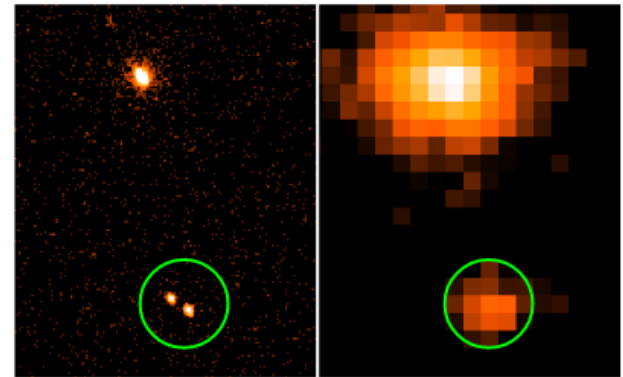


Figure 2. *Chandra* (left, obsID 2950) and *XMM-Newton* PN image (right, obsID 0150280501) of SRC 901. The green 10'' circle is centred at the *XMM-Newton* source position, which encircled two sources with similar brightness in the *Chandra* image, while it is unresolved in the *XMM-Newton* one. The image has been smoothed with a Gaussian kernel of radius 1 pixel.

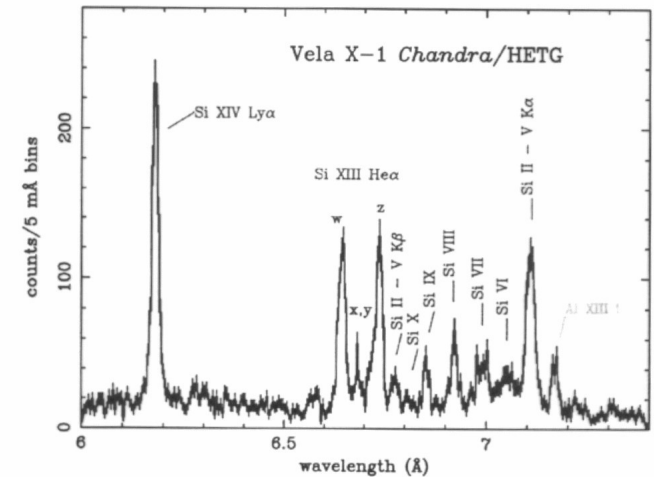
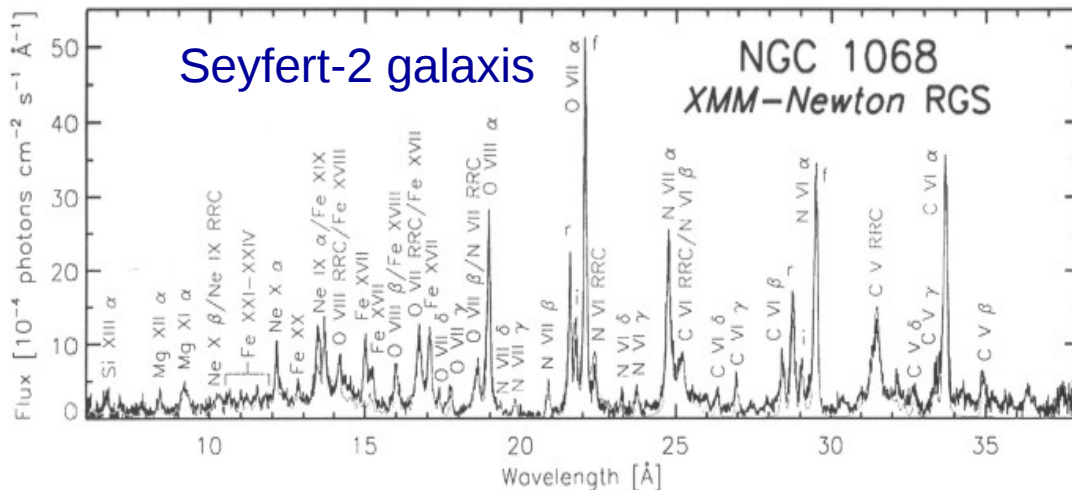
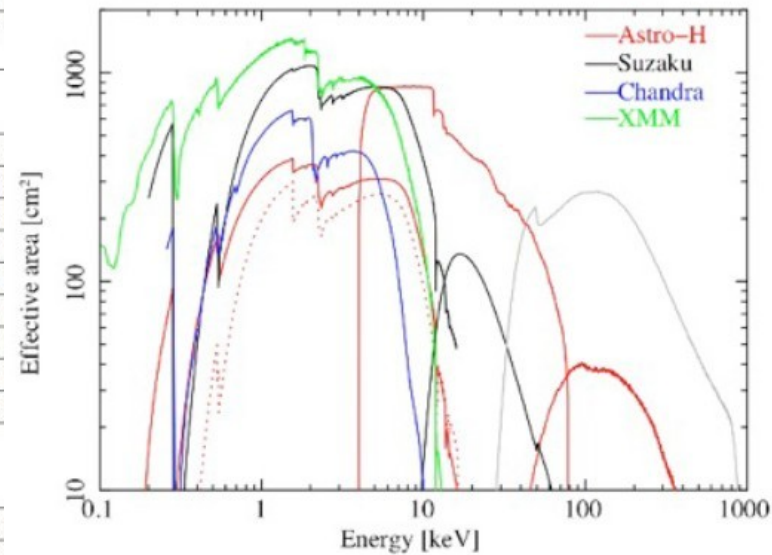


Figure 12 Portion of the *Chandra* HETGS eclipse spectrum of Vela X-1. The spec-

Röntgenszondák összehasonlítása

Comparison of Various X-ray Observatories												
Observatory	XMM			Chandra					Suzaku		Constellation X	
Detector	EPIC MOS	EPIC PN	RGS	ACIS back	ACIS front	HRC	HETG	LETG	XRS	XIS	Calori-	...
Energy Range (keV)	0.2-12	0.2-12	0.4-2.5	0.1-10	0.4-10	0.1-10	0.6-10	0.1-6	0.3-12	0.2-12		
Effective Area (cm ²)												
@0.25 keV	133	460	-	30	-	150	-	25	-	-		
@0.4 keV	360	771	44	120	35	50	-	12	-	-		
@0.6 keV	591	1061	94	345	70	65	-	25				
@1.0 keV	922	1227	185	615	385	215	10	55	100	1600		
@1.5 keV	1180	1304	160	500	525	162	45	105				
@2.5 keV	696	779	-	320	320	65	20	50				
@6.0 keV	768	851	-	205	235	45	25	20	150	1000		
@8.0 keV	390	557	-	45	60	10	7	4				
@12.0 keV	19	56	-	-	-	-	-	-				
Energy Resolution (eV)												
@0.25 keV	35	35	-	130	37	-	-	0.4	-	-		
@0.4 keV	45	45	0.5	120	42	-	-	0.8	6.5	30		
@1.0 keV	55	55	2.9	100	56	-	1.0	5.4	6.5	50	2	4.1
@2.5 keV	85	85	17	120	82	-	5.2	34	6.5	80	2	-
@6.0 keV	130	130	-	170	130	-	29	-	6.5	120	2	-
@8.0 keV	150	150	-	190	150	-	50	-	6.5	140	2	-
Angular Resolution (FWHM)	~6"	~6"	-	1"	1"	<0.5"	-	-	limited	<1.5'	6"	-
Field of View	30'	30'	-	17'x17'	17'x17'	31'x31'	-	-	3'x3'	19'x19'	2.5'	-



XMM-Newton – eredmények

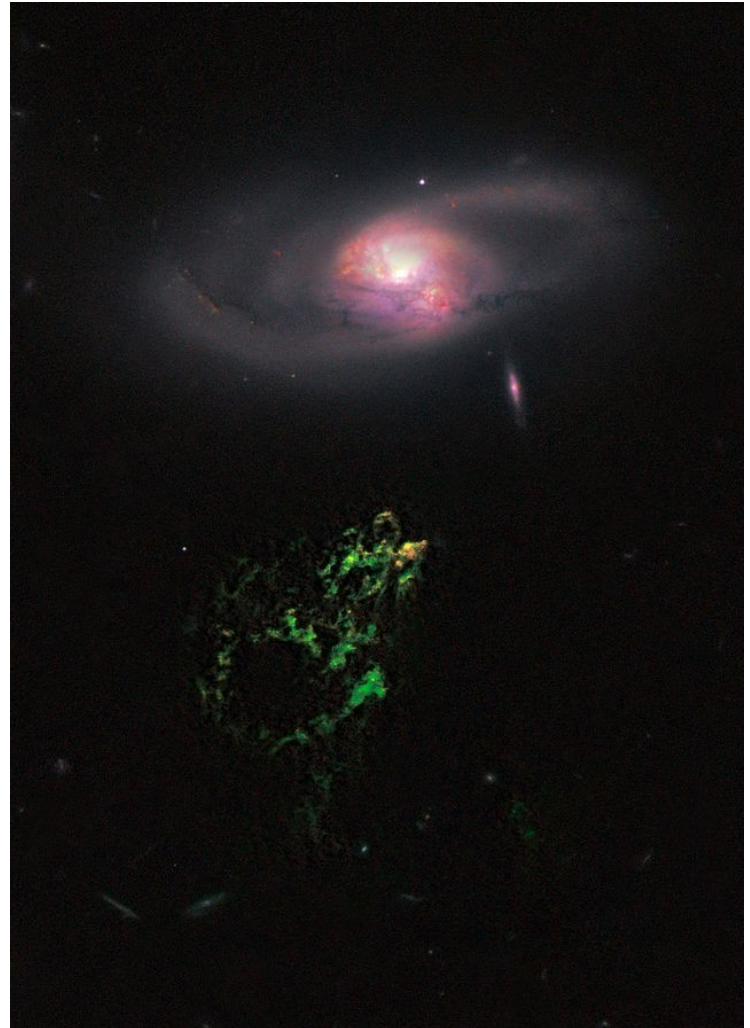
A Hanny-objektum (Hanny's voorwerp, itt a HST felvételen)

Hanny van Arkel amatőr csillagász fedezte fel a Galaxy Zoo (az SDSS adatai alapján készített képek feldolgozására 2007-ben indított projekt) keretében.

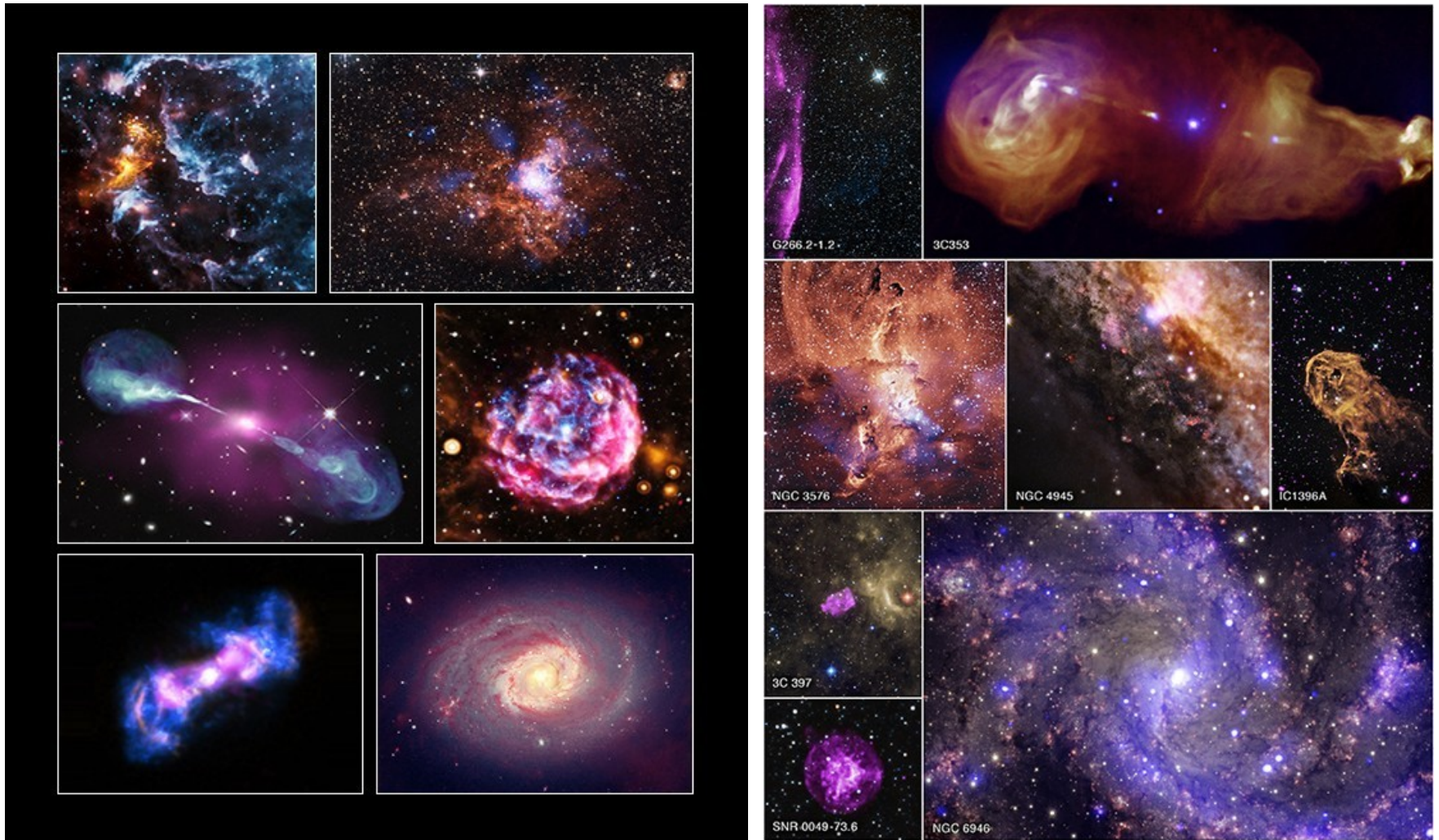
Az IC 2497 centrális fekete lyuka gerjesztette a köd zöld [OIII] $\lambda 5007$ sugárzását. 45000-70000 fényévre van a galaxistól.

Az XMM-Newton szerint a galaxis röntgenluminozitása most 2-4 nagyságrenddel alacsonyabb a köd gerjesztéséhez szükséges értéknél.

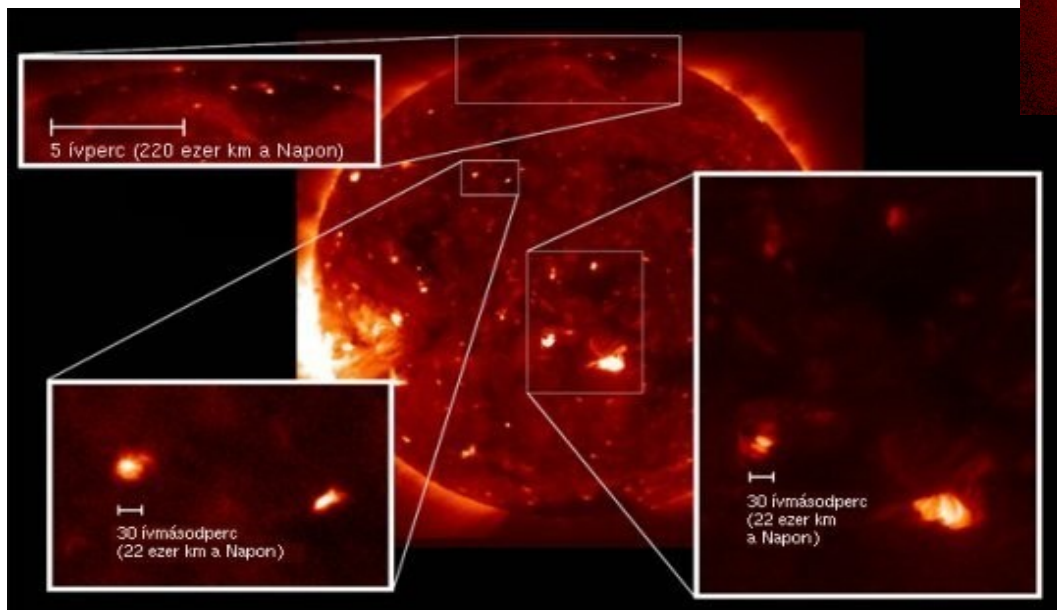
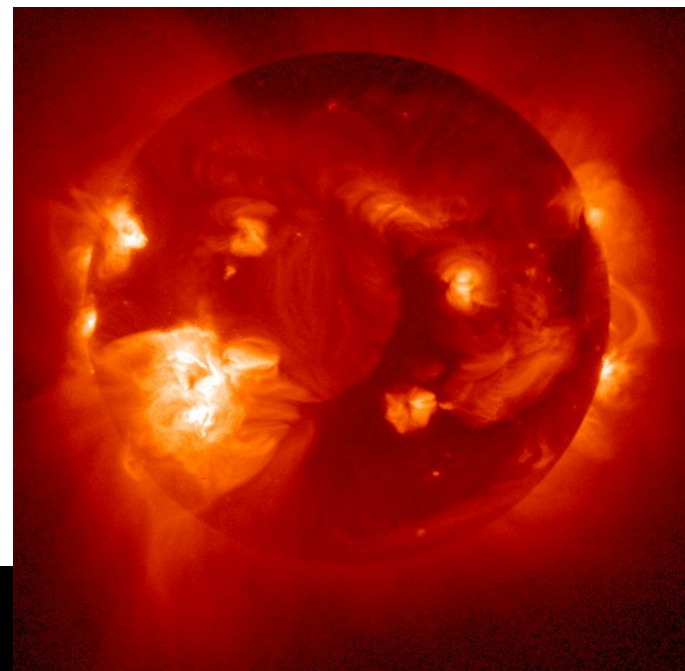
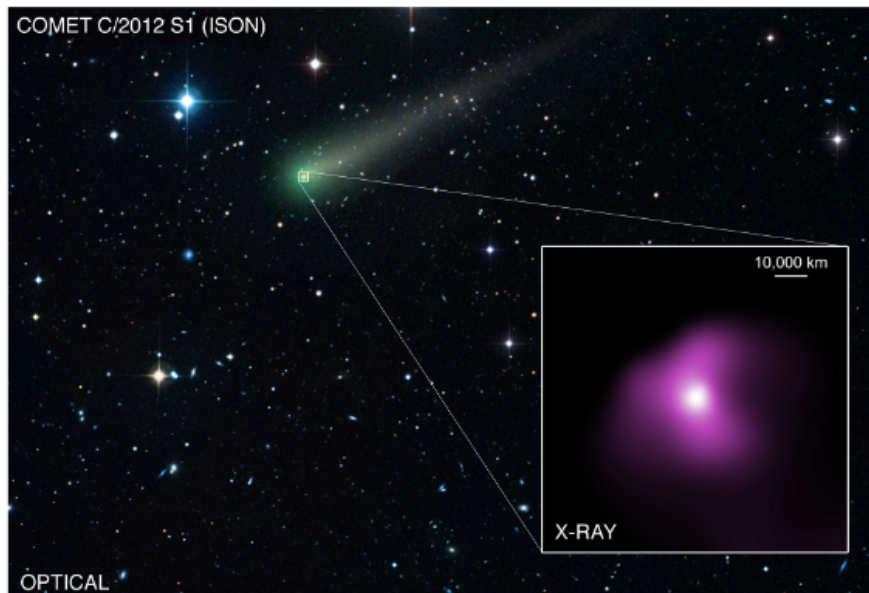
Ez az első bizonyíték a kvazártevékenység lezárulására. Az időskála tehát néhány száz 10000 év.



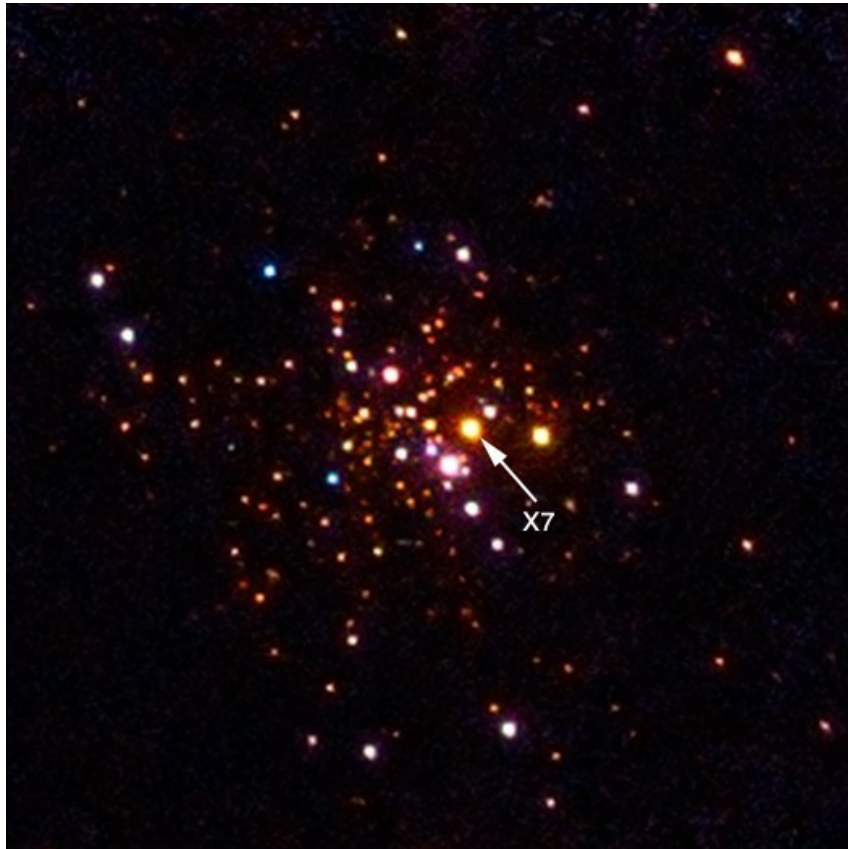
Néhány kép a Chandra-archívumból



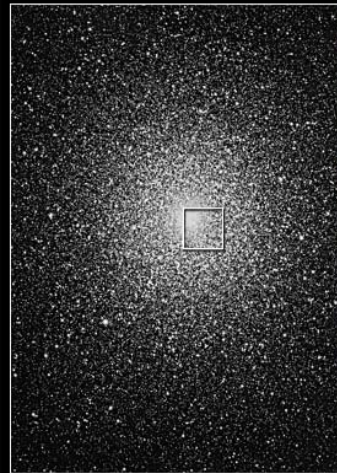
A Naprendszer vizsgálata a Chandrával



Chandra-eredmények



**Globular Cluster
47 Tucanae**



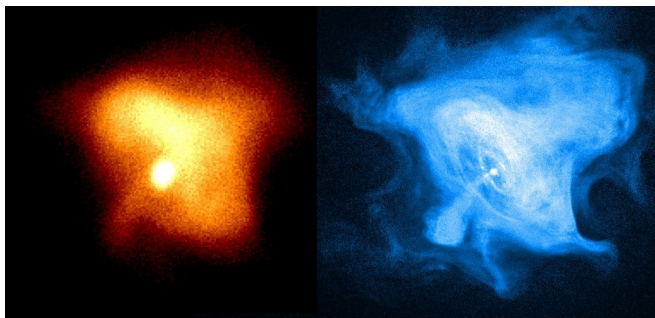
Ground • AAT

NASA and R. Gilliland (STScI)
STScI-PRC00-33



Hubble Space Telescope • WFPC2

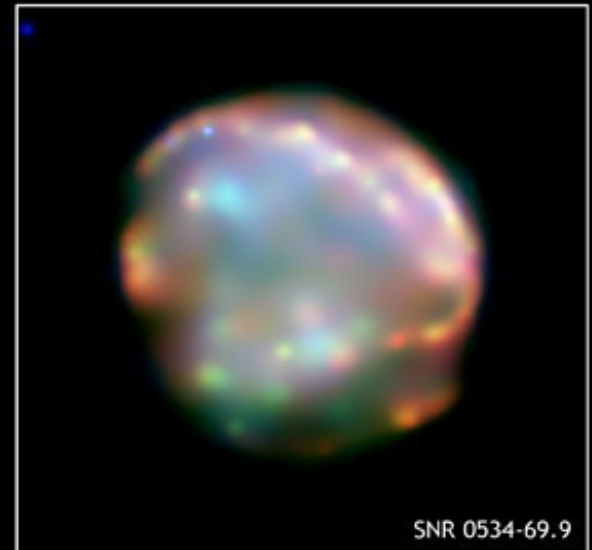
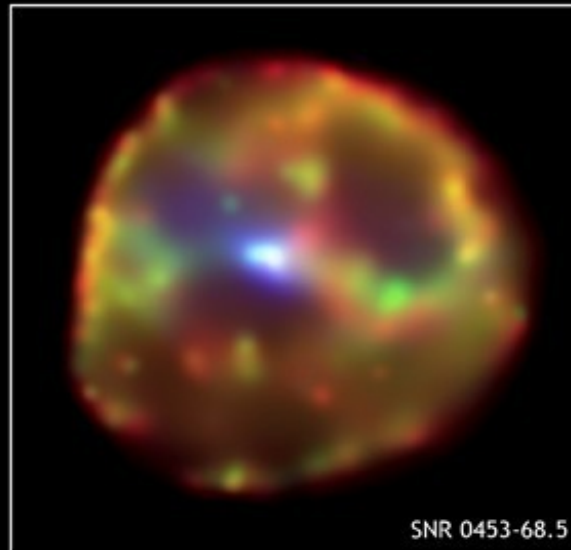
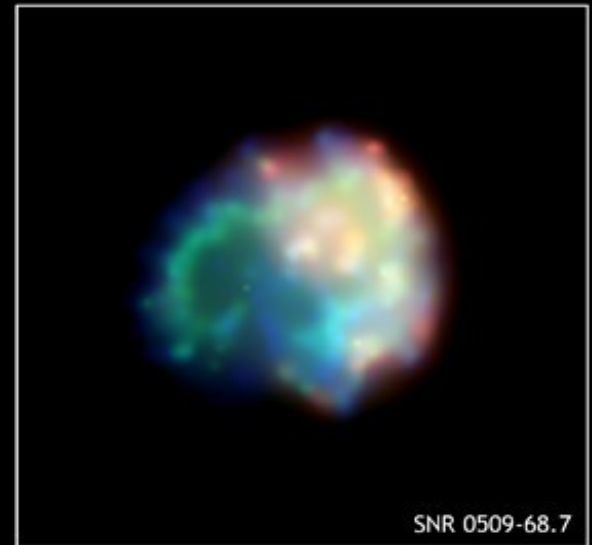
A Rák-köd a Chandra felvételén

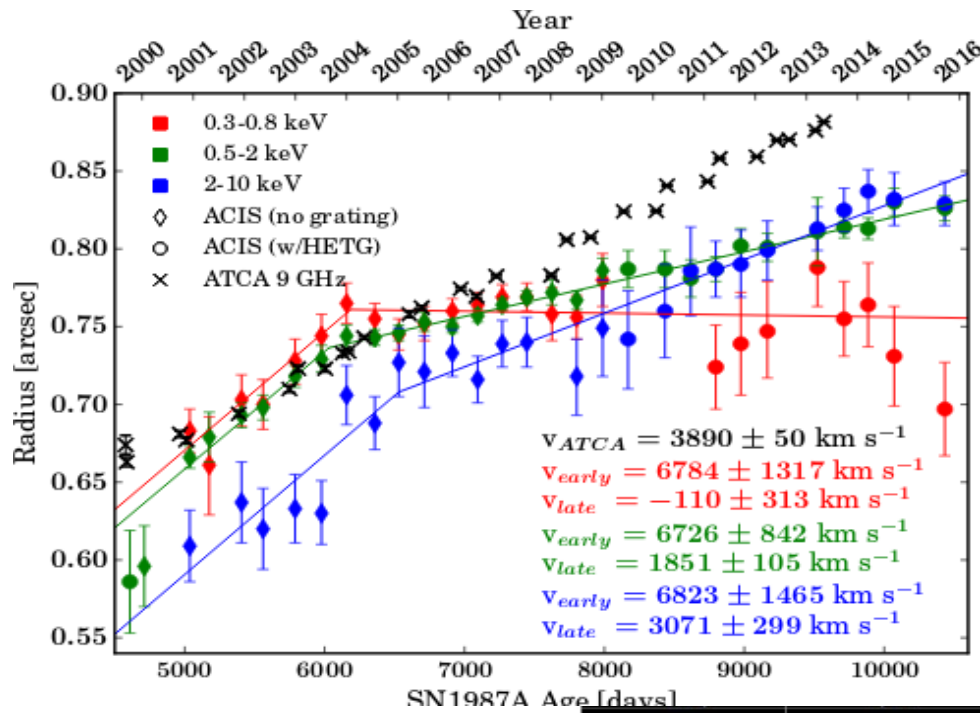


A ROSAT és a Chandra
felbontása közötti
különbség



Szupernóváknál
a színezés az
energiára utal.





Az SN 1987A a Chandra szemével.

CHANDRA OBSERVATIONS OF SN 1987A

7

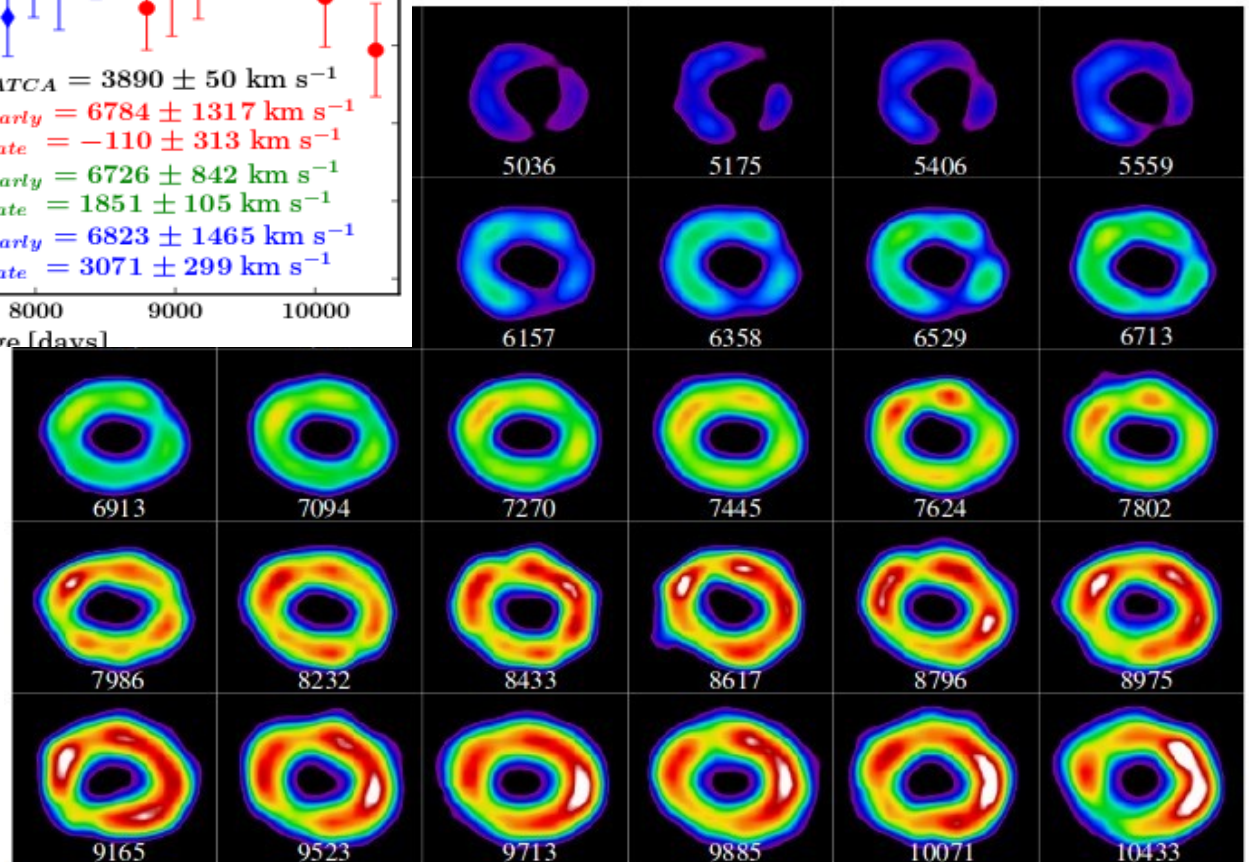
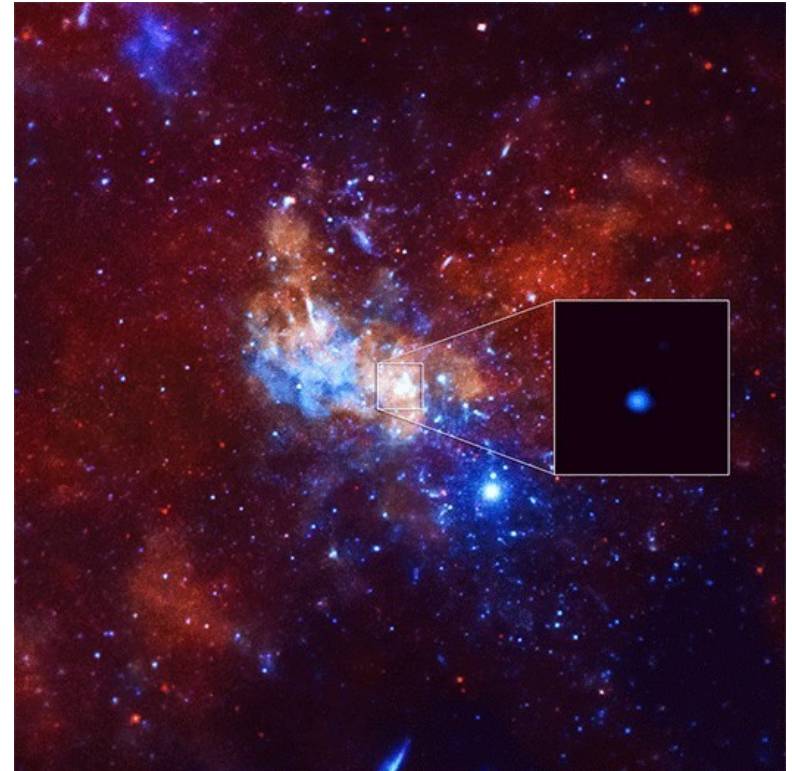
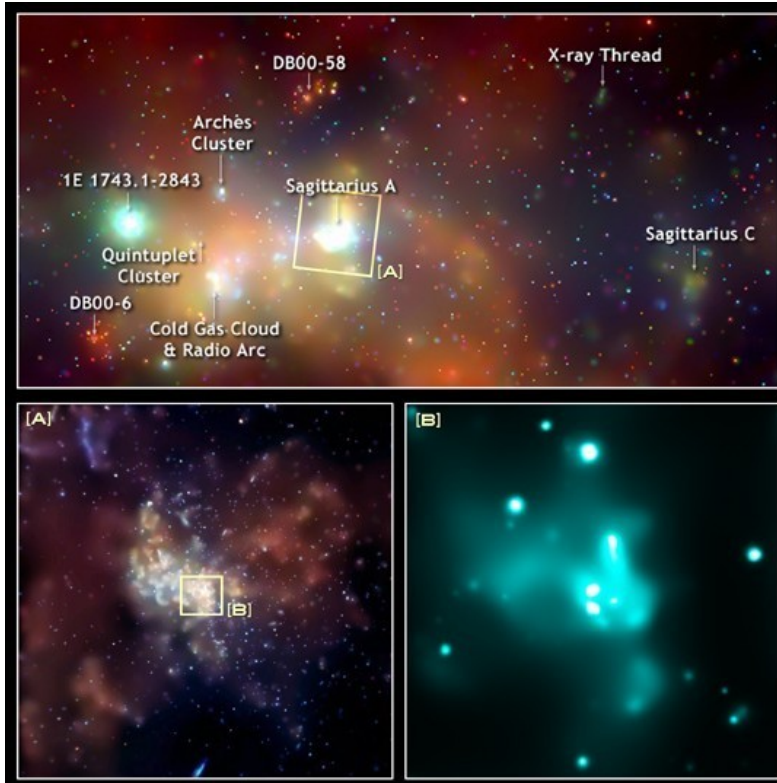


Figure 5. Deconvolved, smoothed 0.3-8.0 keV false-color images of SN 1987A covering days 4608 - 10433. Images use a square root scale and are normalized by flux. The age, in days since the supernova, is shown below each image. North is up and East is to the left.

A Tejútrendszer centruma röntgenfényben



2013 szeptemberében a Tejútrendszer centrumában levő fekete lyuknál 400-szoros intenzitásnövekedést észleltek röntgenben. Vagy mágneses átkötődés okozta, vagy egy kisbolygó zuhant a fekete lyukba.

A Tejútrendszer centruma röntgenfényben

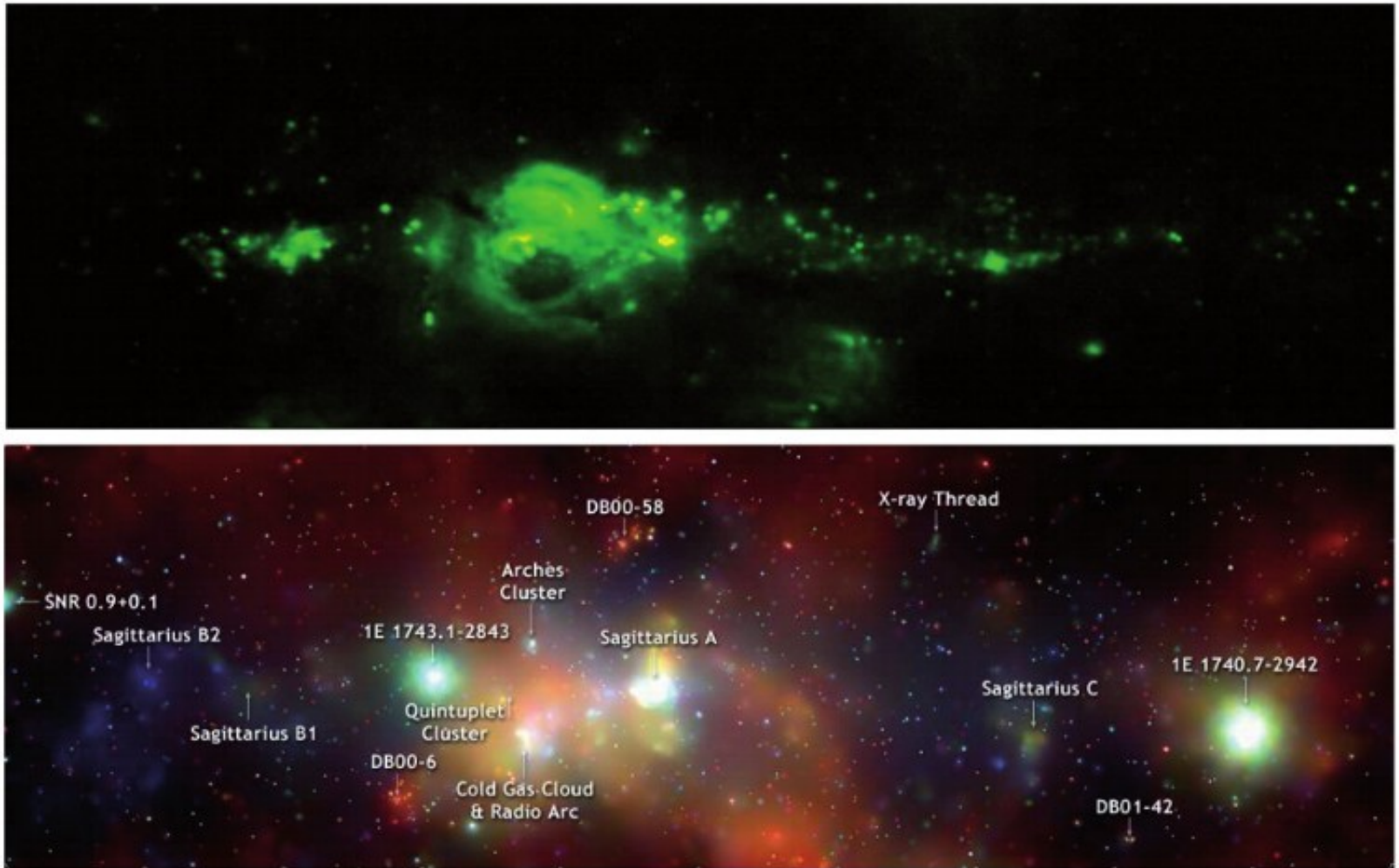


Figure 4: Spitzer infrared (top) and Chandra X-ray (bottom) maps (in Galactic coordinates) of a $2^\circ \times 0.8^\circ$ region around the GC. The infrared emission traces warm dust and stellar activity, while the keV photons (red: 1-3 keV, green: 3-5 keV, blue: 5-8 keV) trace high energy phenomena of the start and end points of stellar life (such as particle acceleration at stellar wind shocks or in large magnetic fields of rotating neutron stars) and extended regions where relativistic electrons produce synchrotron or bremsstrahlung radiation. Images after [34] and [37].

A Tejútrendszer centruma röntgenfényben



X-Ray: NASA/CXC/UMaés/D. Wang et al.
Radio: NRP/SARAO/MeerKAT

De nemcsak röntgenben, hanem a rádiósugárzástól kezdve minden hullámhosszon



Az M87
pekuliáris
galaxis
röntgenképe

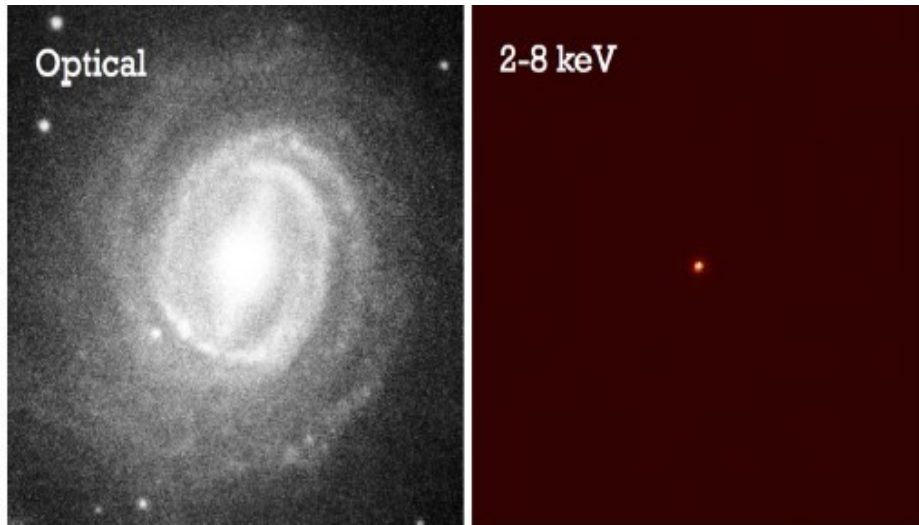
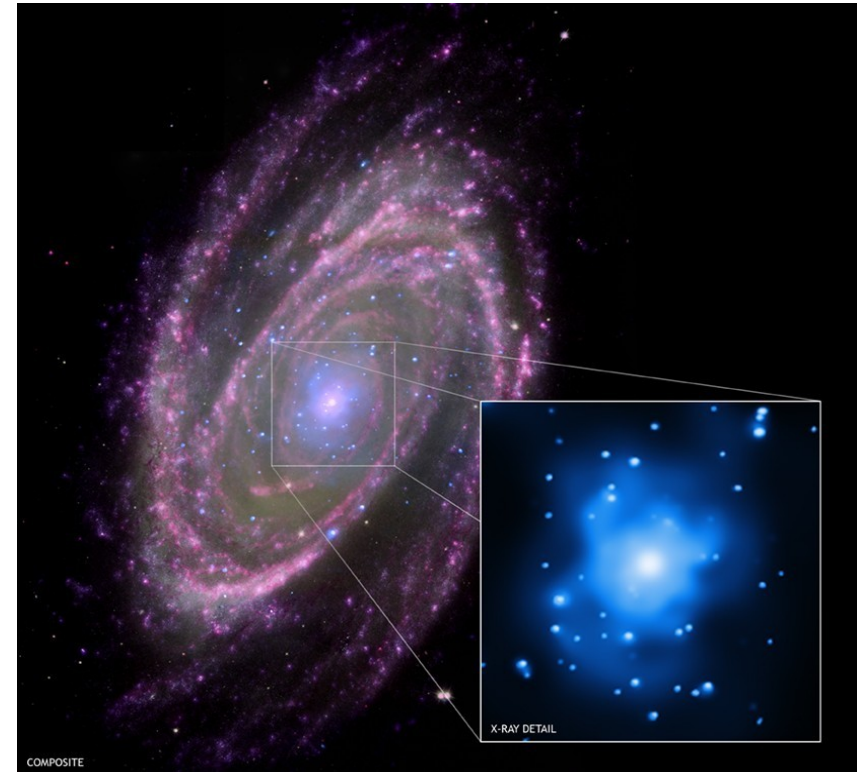
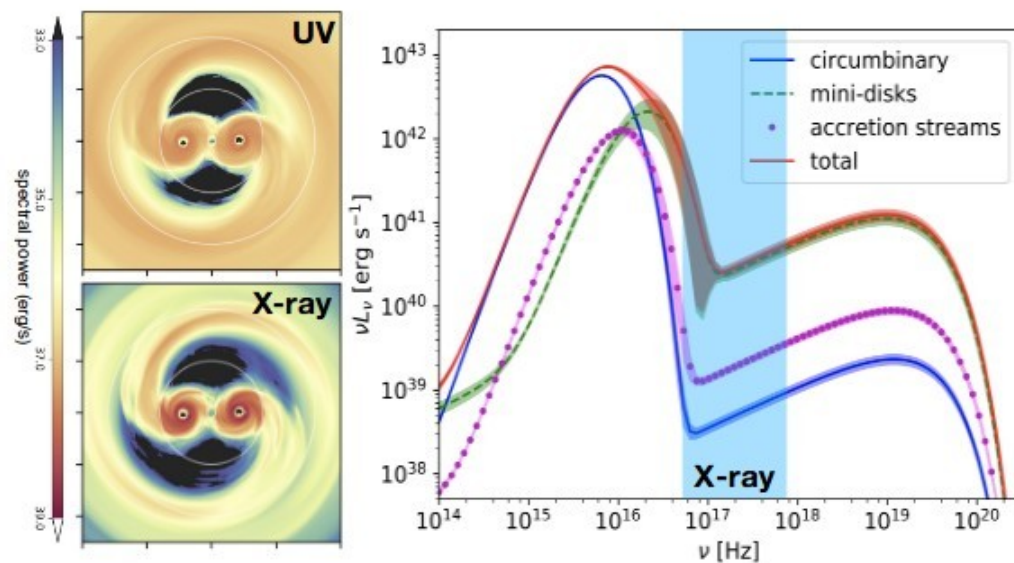
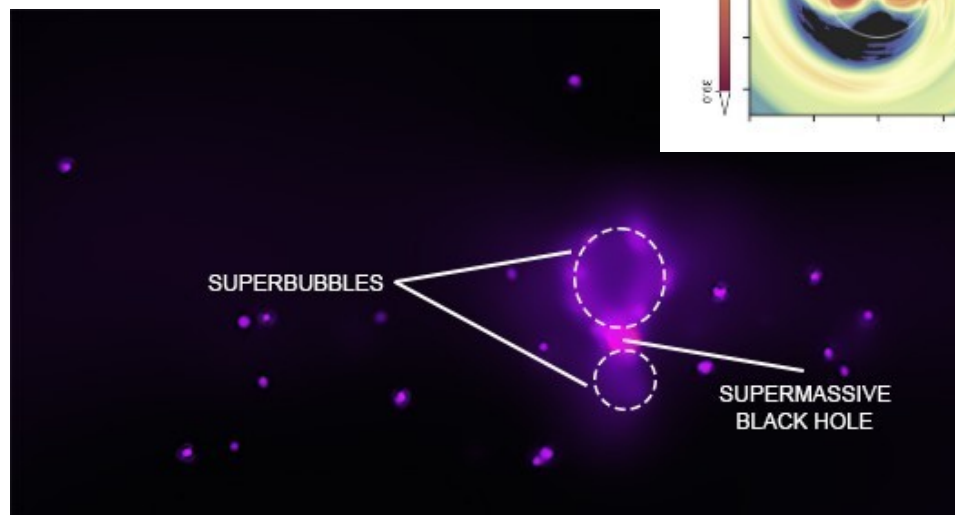


Fig. 2 Optical and *Chandra* 2–8 keV images of a local active galaxy (NGC 3783); each image is 1.5 arcmin on a side. Note the substantial host-galaxy starlight competing with the AGN light in the optical band while, in the X-ray band, only the AGN light is apparent. The large contrast in the X-ray band between AGN light and starlight helps greatly with the identification of distant AGNs



Röntgenforrások galaxisok centrumában, illetve azok környékén.
Aktív galaxis (**balra**), közönséges galaxis (**jobbra**)



Az NGC 3079 centrumában levő szupernagy tömegű fekete lyuk
 bipoláris irányú superbuborékot „fúj” (balra).
 Kettős fekete lyuk modelljéből számított röntgenszínkép (jobbra).

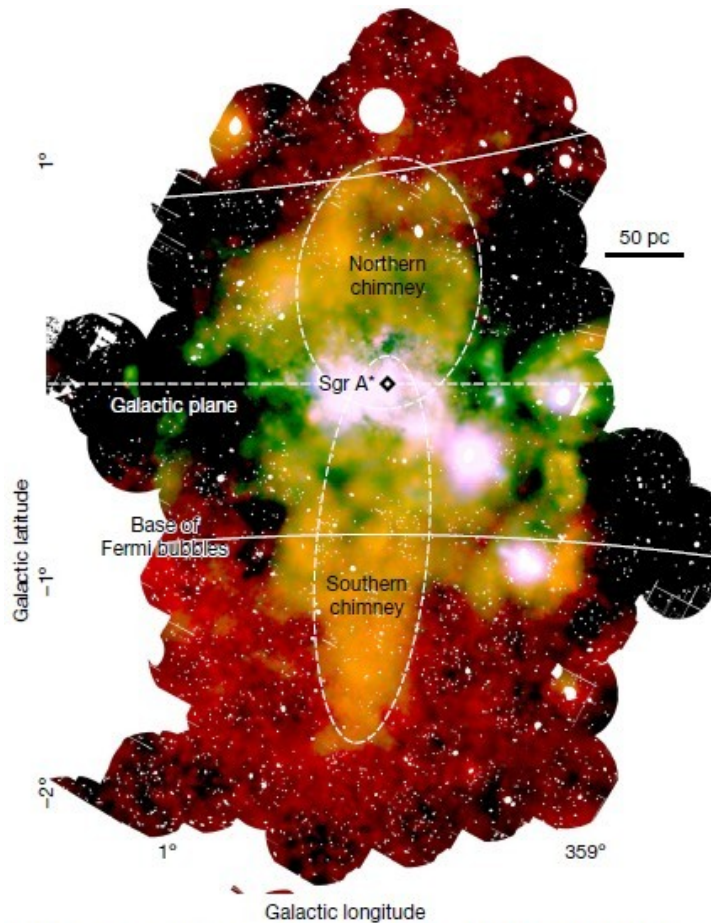
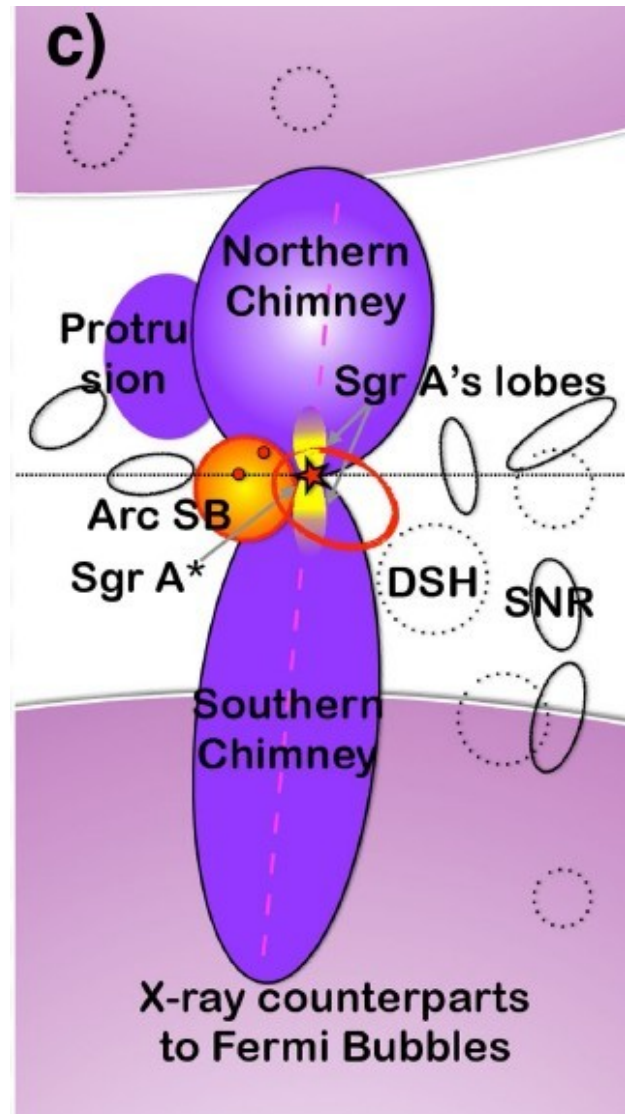
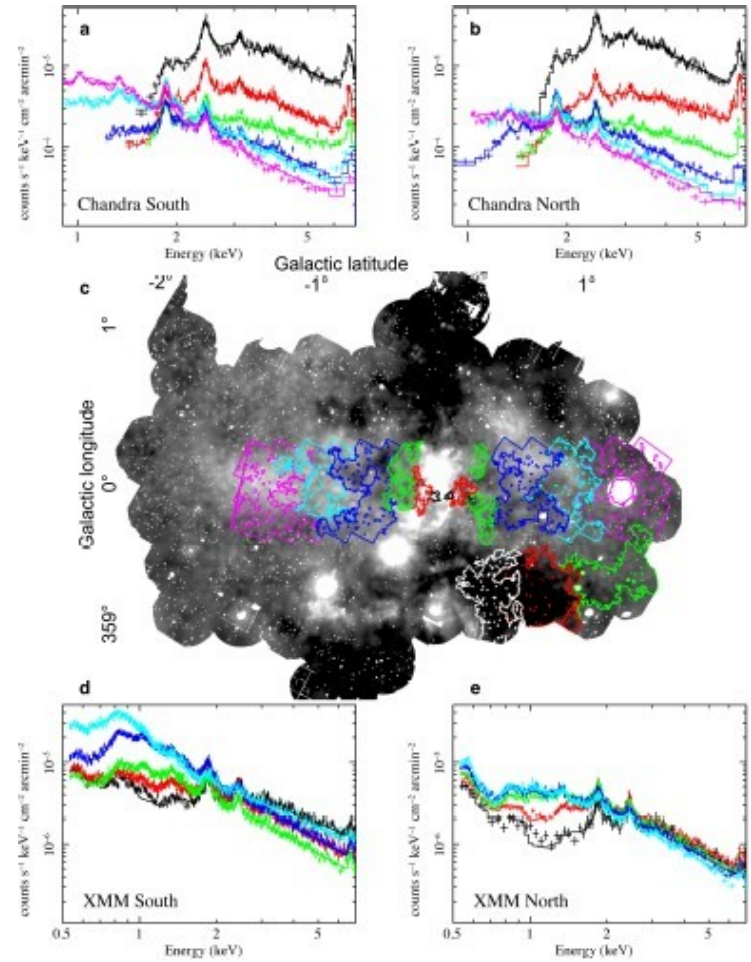
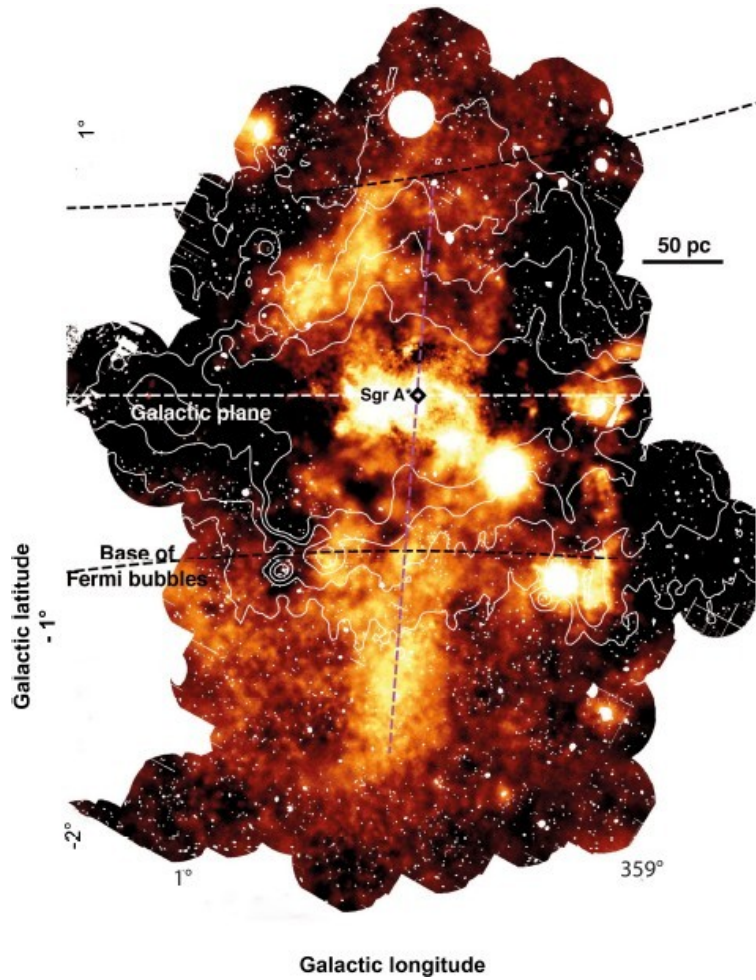


Fig. 1 | X-ray emission from the central 300 pc by 500 pc of the Milky Way. The red–green–blue (RGB) image shows integrated emission in the energy range 1.5–2.6 keV (red); integrated emission from 2.35 keV to 2.56 keV, corresponding to the S xv transition (green); and continuum emission in the 2.7–2.97-keV band, which is therefore not contaminated by the intense S xv and Ar xvii lines (blue)⁹. Sgr A*, the electromagnetic



X-ray counterparts to Fermi Bubbles

A Tejútrendszer centrumában levő szupernagy tömegű fekete lyuk is bipoláris irányú superbuborékot hoz létre, az XMM-Newton vizsgálata szerint.

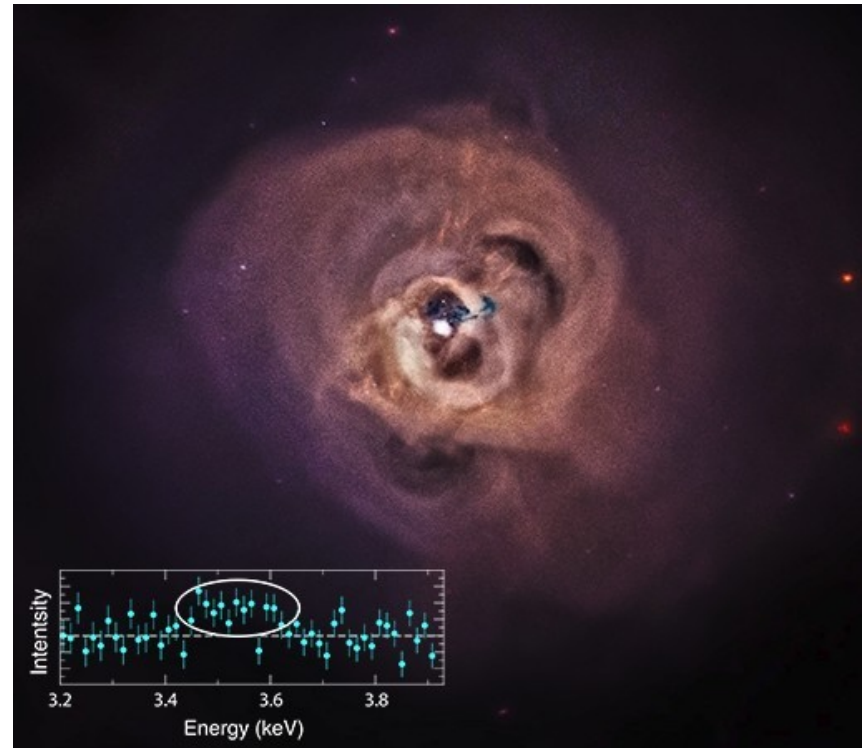


A Tejútrendszer centrumában levő szupernagy tömegű fekete lyuk környezete, az XMM-Newton és a Chandra közös vizsgálata alapján.

Galaxishalmazok röntgensugárzása

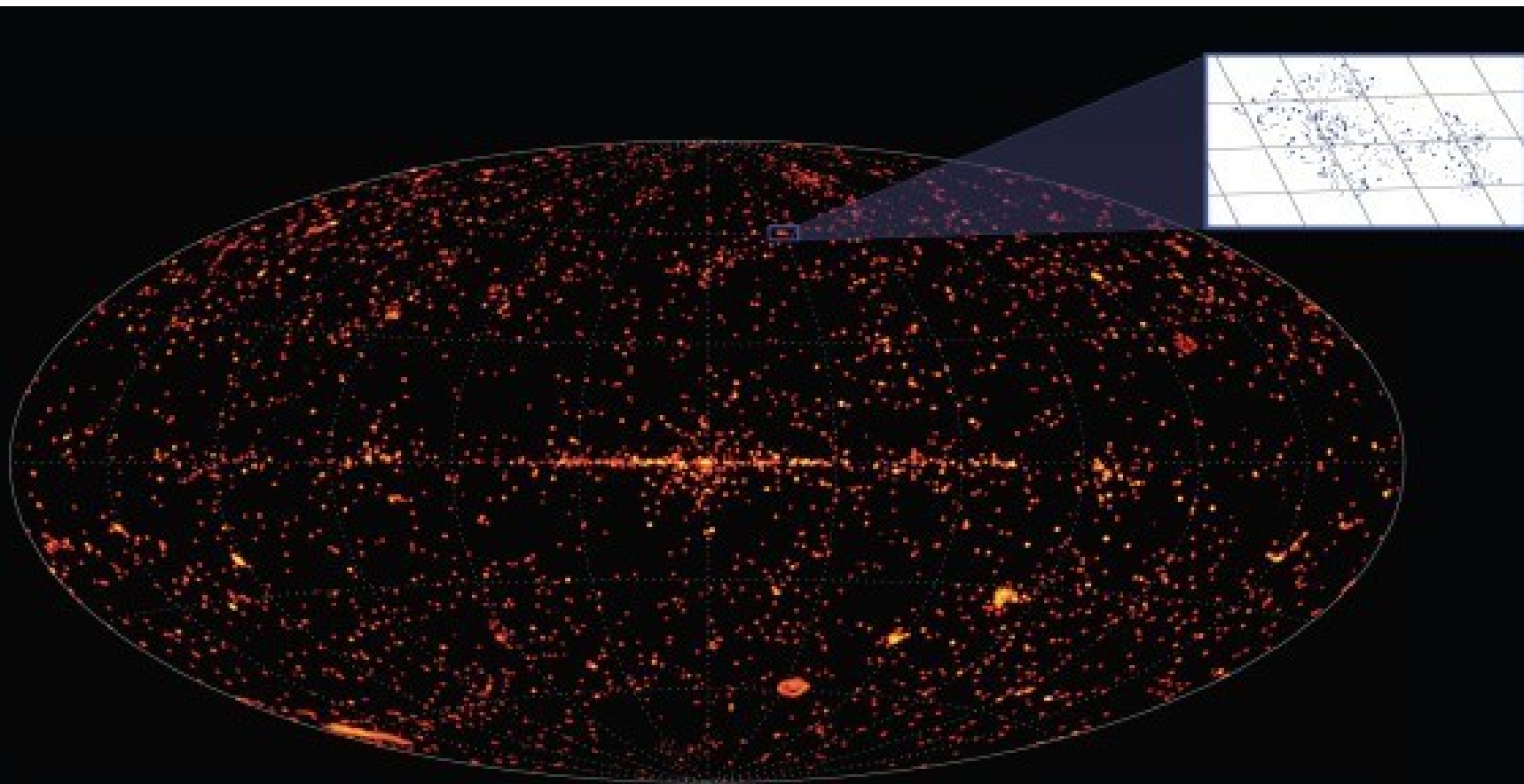
Az Ágyúgolyó-halmaz (balra): a sötét anyag közvetlen kimutatása.
A Perseus-halmaz (jobbra): 3,56 keV-nél rejtélyes fluxustöbblet (más galaxishalmazoknál is).

2015-ben 320 galaxishalmazban az intergalaktikus anyag fizikai tulajdonságait vizsgálták.



Röntgenforrások statisztikája

Az XMM-Newton 3. Serendipitous Source Catalog (3XMM-DR4) –
2013-ban: 372728 röntgenforrás 531261 detektálása 2012. decemberig.
A 2019 vége óta elérhető 4XMM-DR9 már 550124 forrást tartalmaz.

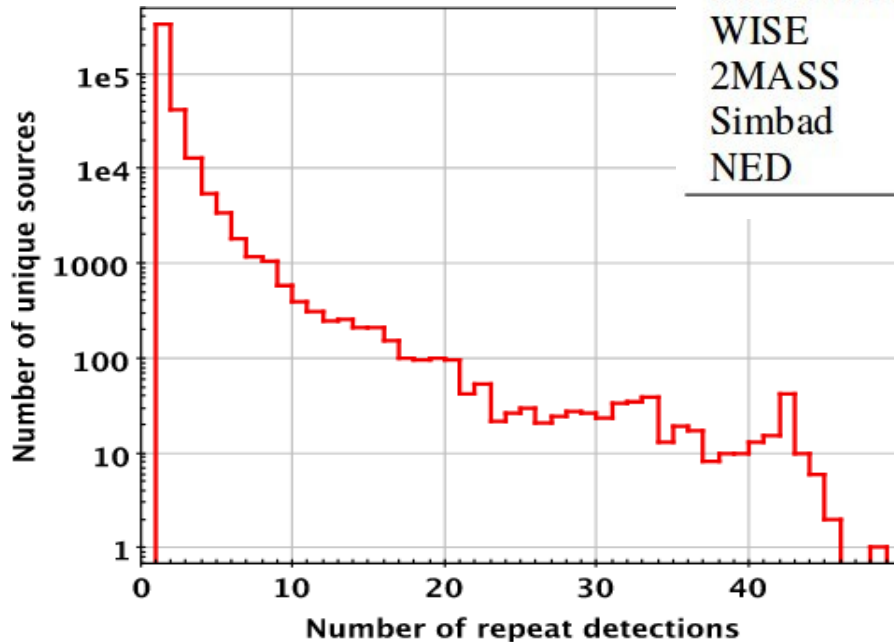


Ez ugyan 2013-as állapot, de tanulságos

Az egyes röntgenforrásokra vonatkozó mérések száma (lent), és a röntgenforrások azonosítása más (nemcsak röntgen-) projektek adatbázisaiban (jobbra).

Table 4. Cross-matching statistics between 3XMM sources and other catalogues.

Catalogue	Detections	Catalogue	Detections
Chandra src cat.	63,676	Chandra gal.	9,908
SDSS8	129,252	RAVE	219
USNO-B1.0	229,730	IPHAS	38
WISE	454,957	AKARI	5,598
2MASS	36,830	GLIMPSE	35,572
Simbad	204,657	Planck ERCSC	43,136
NED	296,914		



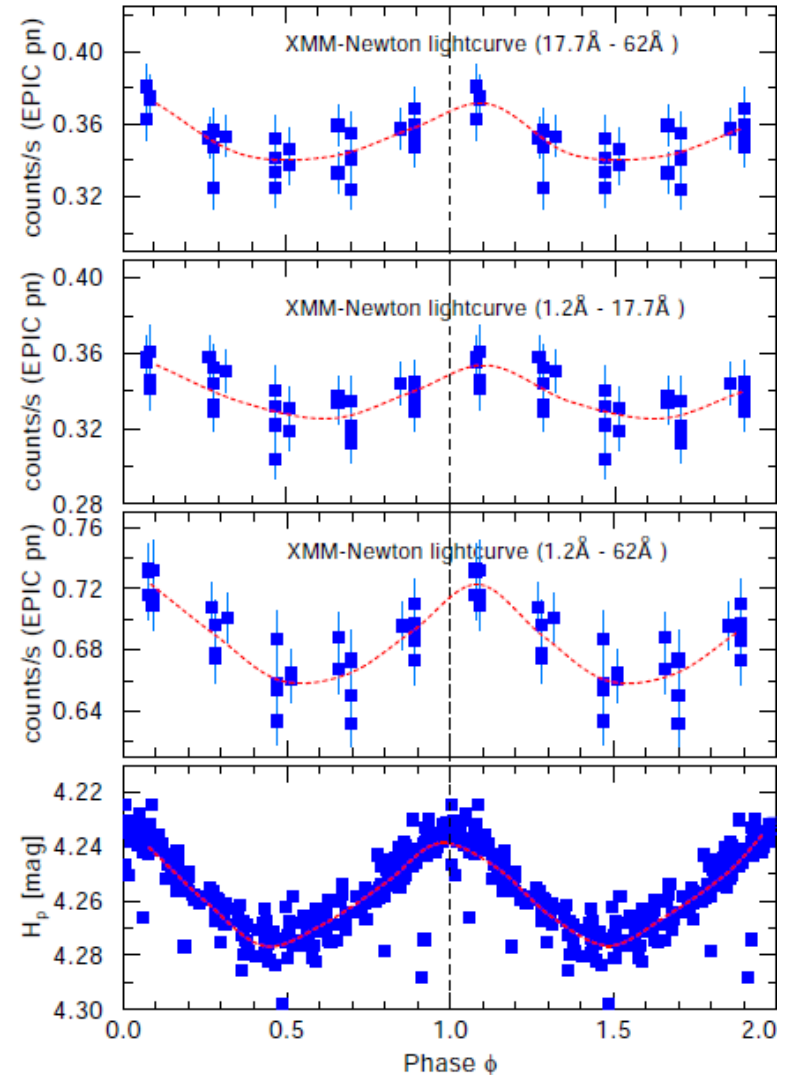
Az XMM-Newton egyedi csillagokról

ξ CMA: nagy tömegű B-csillag, BCEP típusú pulzációt végez.

Az XMM-Newtonnal röntgenben is látszik a pulzáció az optikaival azonos periódussal.

Más BCEP csillagnál viszont nincs ilyen. Mi okozhatja a plazma fűtését?

Distance	424 pc
Sp. Type	B0.5-B1IV
T_{eff}	27 000 — 28 000K
$\log L/L_{\odot}$	4.5
R/R_{\odot}	7 ± 1
Rotational velocity $v \sin i$	$9 \pm 2 \text{ km s}^{-1}$
Mass-loss rate \dot{M}	$< 10^{-10} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
Wind velocity v_{∞}	$\sim 700 \text{ km s}^{-1}$
Polar magnetic field strength B_p	$5 \pm 1 \text{ kG}$
Pulsation period	0.2096 d

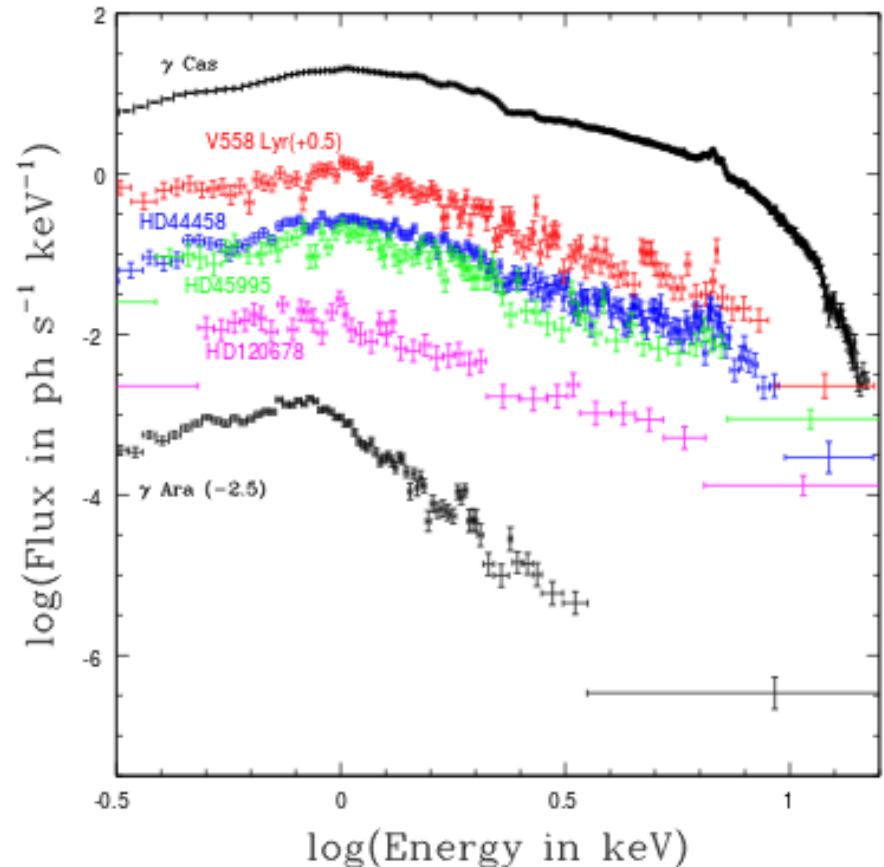


Az XMM-Newton egyedi csillagokról

Némelyik Be csillag különösen erősen sugároz kemény röntgenben. Célzott vizsgálatot végeztek korábbi röntgenszondák mérései alapján, és sok Be csillagnál találtak a γ Cas csillagra jellemző viselkedést (kép). Röntgenben a cirkumsztelláris korong sugároz.

Szuperfler: 2100 K hőmérsékletű L törpén észlelt hatalmas flert az XMM-Newton. Tehát a Napnál 12-szer kisebb sugarú csillagnak is van mágneses mezeje. A röntgensugárzás az atmoszféra külső részéből eredhet.

A V473 Lyrae cefeida addig ismeretlen kísérőjét a csillag állandó röntgensugárzása alapján mutatták ki.



Gömbhalmazbeli fényes röntgenforrások

Table 1. Luminous X-ray sources and transients in Galactic globular clusters¹

Cluster	ID	Position RA, Dec (J2000)	P_b	Opt	Note
Liller 1	Rapid Burster [1]	17 ^h 33 ^m 24 ^s .61, −33°23′19.8″ [2;R]	–	–	T
Liller 1	CXOU J173324.6–332321 [3]	17 ^h 33 ^m 24 ^s .61, −33°23′21.2″ [4;X]	–	–	T
Liller 1	CXOU J173324.1–332316 [5]	17 ^h 33 ^m 24 ^s .14, −33°23′16.0″ [5;X]	–	–	T? ^a
M 15	M 15 X-1, AC 211 ^b [6]	21 ^h 29 ^m 58 ^s .31, +12°10′02.89″ [7;R]	17.1 h [8]	+ [9]	P
M 15	M 15 X-2 [6]	21 ^h 29 ^m 58 ^s .13, +12°10′02.6″ [6;X]	22.6 m [10]	+ [6]	P
M 28	IGR J18245–2452 [11]	18 ^h 24 ^m 32 ^s .51, −24°52′07.9″ [12;R]	11.0 h [13]	+ [14]	T ^c
NGC 1851	4U 0513–40 [15]	05 ^h 14 ^m 06 ^s .48, −40°02′38.8″ [16;X]	~17 m [17]	+ [18]	P
NGC 2808	Swift J0911–6452 [19]	09 ^h 12 ^m 02 ^s .46, −64°52′06.4″ [20;X]	44.3 m [21]	–	T
NGC 6388	IGR J17361–4441 [22]	17 ^h 36 ^m 17 ^s .42, −44°44′05.98″ [23;X]	–	–	T ^d
NGC 6440	SAX J1748.9–2021 ^e [24]	17 ^h 48 ^m 52 ^s .2, −20°21′32.6″ [25;O]	8.7 h [26]	+ [27,28]	T
NGC 6440	NGC 6440 X-2 [29]	17 ^h 48 ^m 52 ^s .76, −20°21′24.0″ [30;X]	57.3 m [31]	–	T
NGC 6441	4U 1746–37 [32]	17 ^h 50 ^m 12 ^s .73, −37°03′06.5″ [33;O]	5.2 h [34]	+ [35,33]	P
NGC 6624	4U 1820–30 [32]	18 ^h 23 ^m 40 ^s .57, −30°21′39.92″ [36;O]	11.4 m [37]	+ [36]	P
NGC 6652	XB 1832–330 [38]	18 ^h 35 ^m 43 ^s .67, −32°59′26.3″ [39;X]	2.1 h [40]	+ [41]	P ^f
NGC 6712	4U 1850–087 [42]	18 ^h 53 ^m 04 ^s .91, −08°42′19.35″ [43;O]	20.6 m [44]	+ [45]	P
Terzan 1	XB 1732–304 [46]	17 ^h 35 ^m 47 ^s .26, −30°28′55.3″ ^g [47;X]	–	–	T
Terzan 2	4U 1722–30 [48]	17 ^h 27 ^m 33 ^s .15, −30°48′07.8″ [49;X]	– ^h	–	P
Terzan 5	Terzan 5 X-1 ⁱ [50,51]	17 ^h 48 ^m 05 ^s .23, −24°46′47.6″ [52;O]	–	+ [52]	T
Terzan 5	Terzan 5 X-2 ^j [53,54]	17 ^h 48 ^m 04 ^s .82, −24°46′48.9″ [55;M]	21.3 h [56]	+ [57]	T
Terzan 5	Terzan 5 X-3 ^k [58]	17 ^h 48 ^m 05 ^s .41, −24°46′38.0″ [59;X]	–	–	T
Terzan 6	GRS 1747–312 [60]	17 ^h 50 ^m 46 ^s .86, −31°16′28.9″ [61;X]	12.4 h [61]	–	T

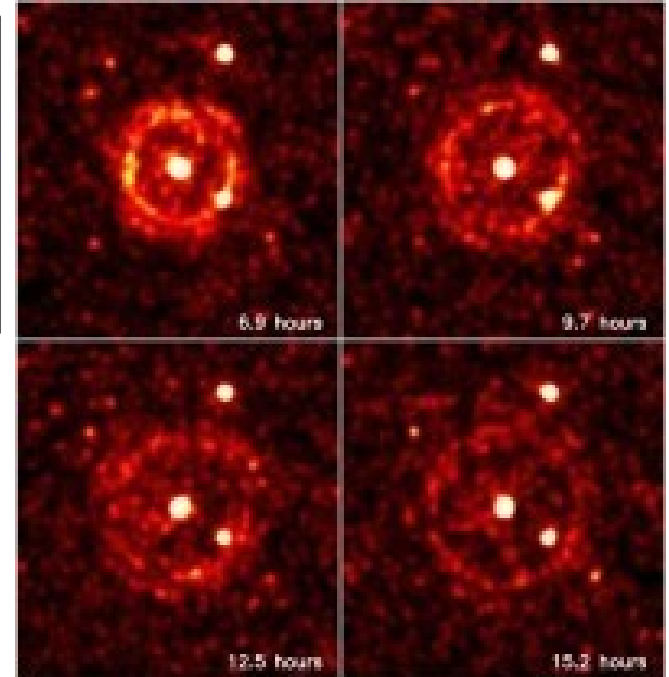
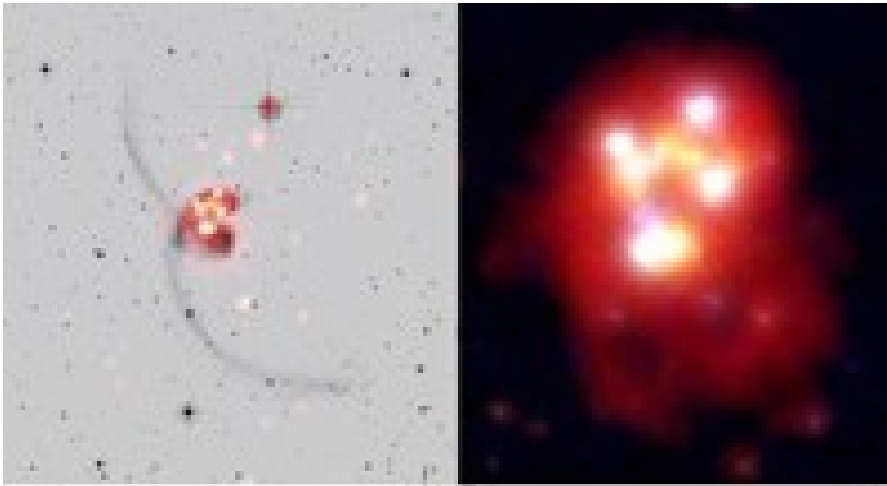
¹Status as of August 2019. The column “ID” gives (one of) the common source name(s) and a reference to an early report of the detection as a persistent or transient luminous source. The column “Position” gives a recent accurate position reported in the literature and the method to measure it: M=Moon occultation, O=optical, R=Radio, X=X-ray. The column “ P_b ” gives the orbital period, and the entry in the column “Opt” indicates whether an optical (or near-ultraviolet, or near-infrared) counterpart has been identified (+) or not (–). The column “Note” has additional comments and indicates whether a source has been persistently luminous since its discovery (P), or whether it is transient (T). ^aThe *Chandra* position of the faint ($L_X(0.5\text{--}2.5\text{ keV}) \approx 10^{32\text{--}34}$

Az XMM-Newton képeiből



Kettős pulzár

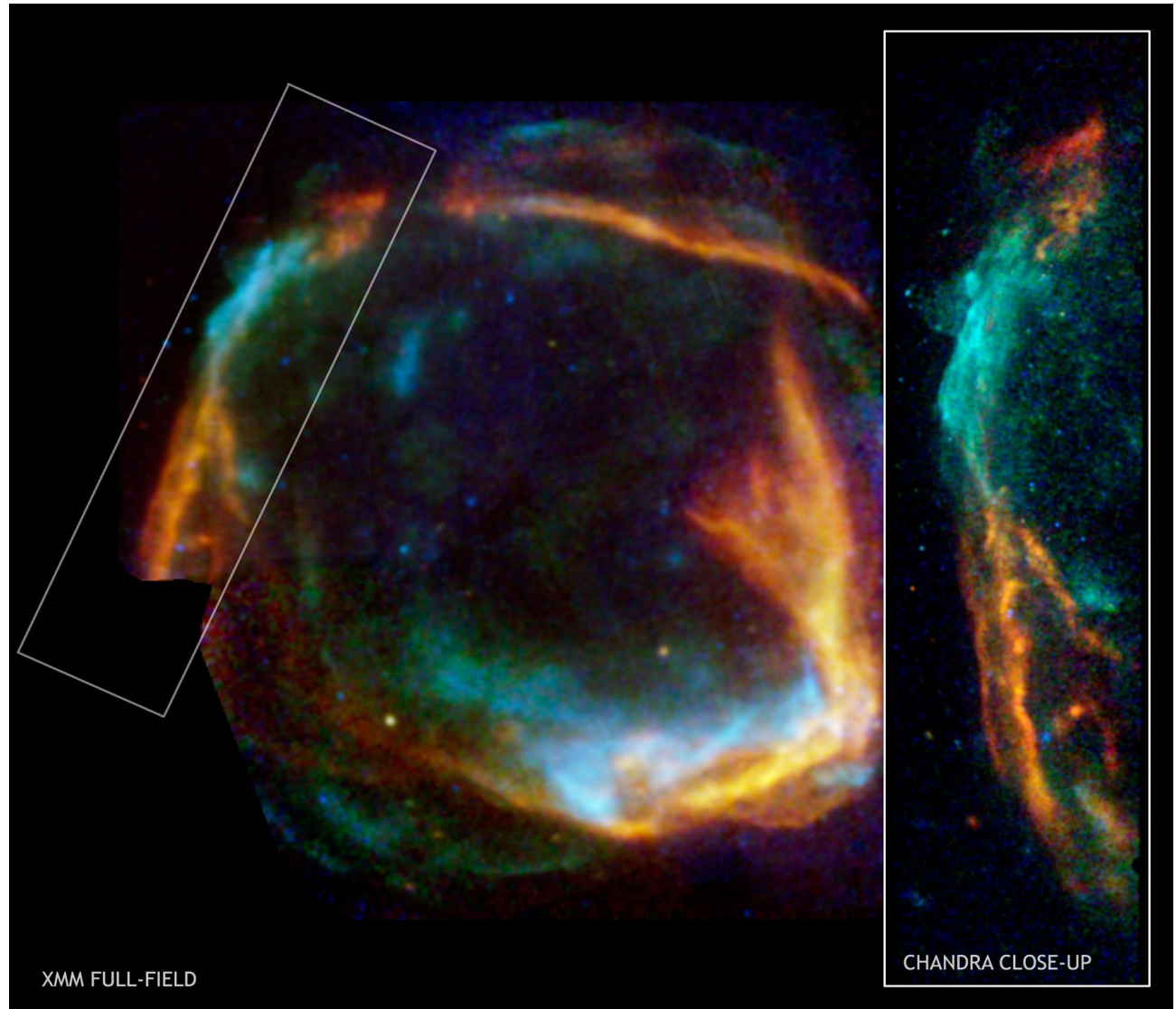
A Csápok galaxispár



Gammakitörés
körüli röntgenhaló

A Chandra és az XMM-Newton kooperációja

Az RCW 86
szupernóva-
maradvány



A Lockman-lyuk az XMM-Newtonnal

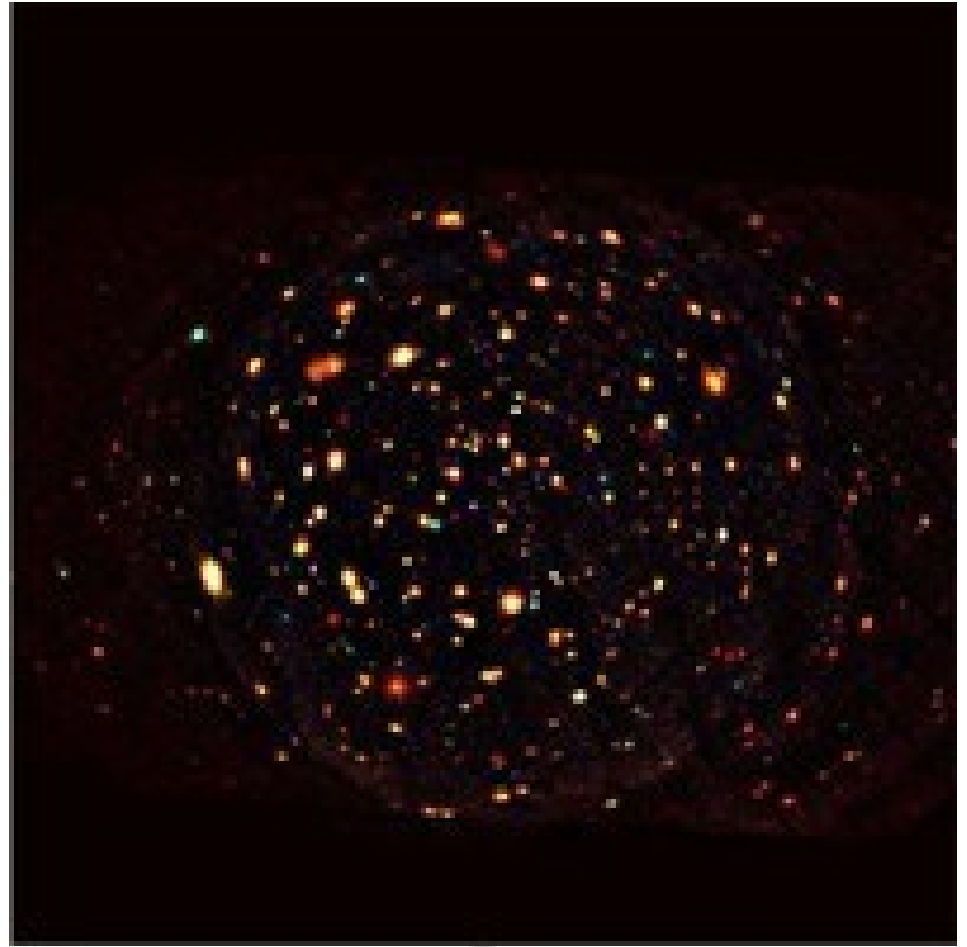
Lockman-lyuk: az Ursa Majorban 15 négyzetfok ($10^{\text{h}}45^{\text{m}}$, 58° körül) minimális csillagközi elnyeléssel, ezért egészen messzire el lehet látni.

A ROSAT működése alatt 75 röntgenforrást talált, a Chandra már több százat.

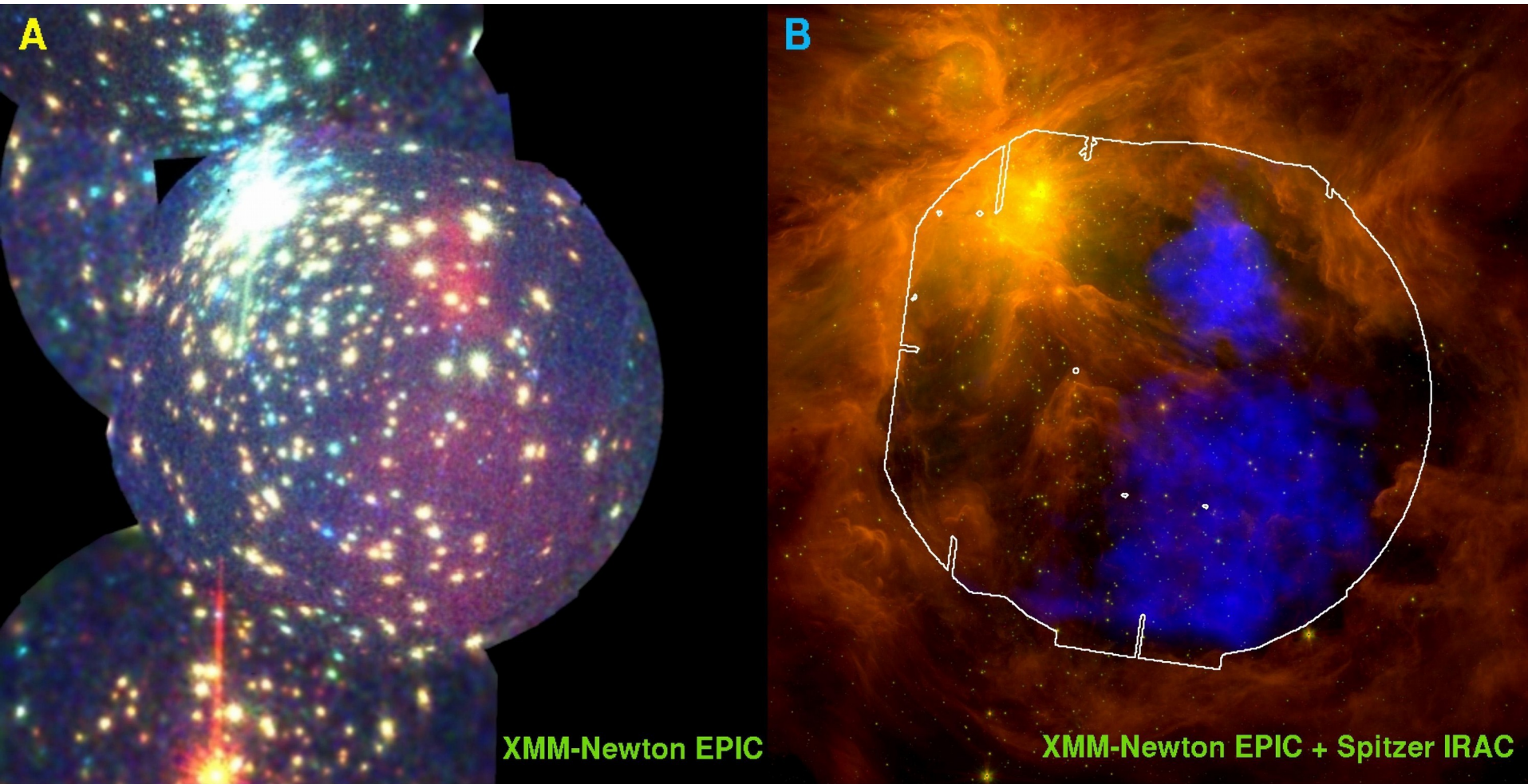
Az XMM-Newton pedig 123-ról részletes spektrumot készített.

A szín a keménységre utal:
vörös: 0,5–2 keV,
zöld: 2–4,5 keV,
kék: 4,5–10 keV.

(A Herschel SPIRE több ezer galaxist talált 10-12 milliárd fényév távolságban.)

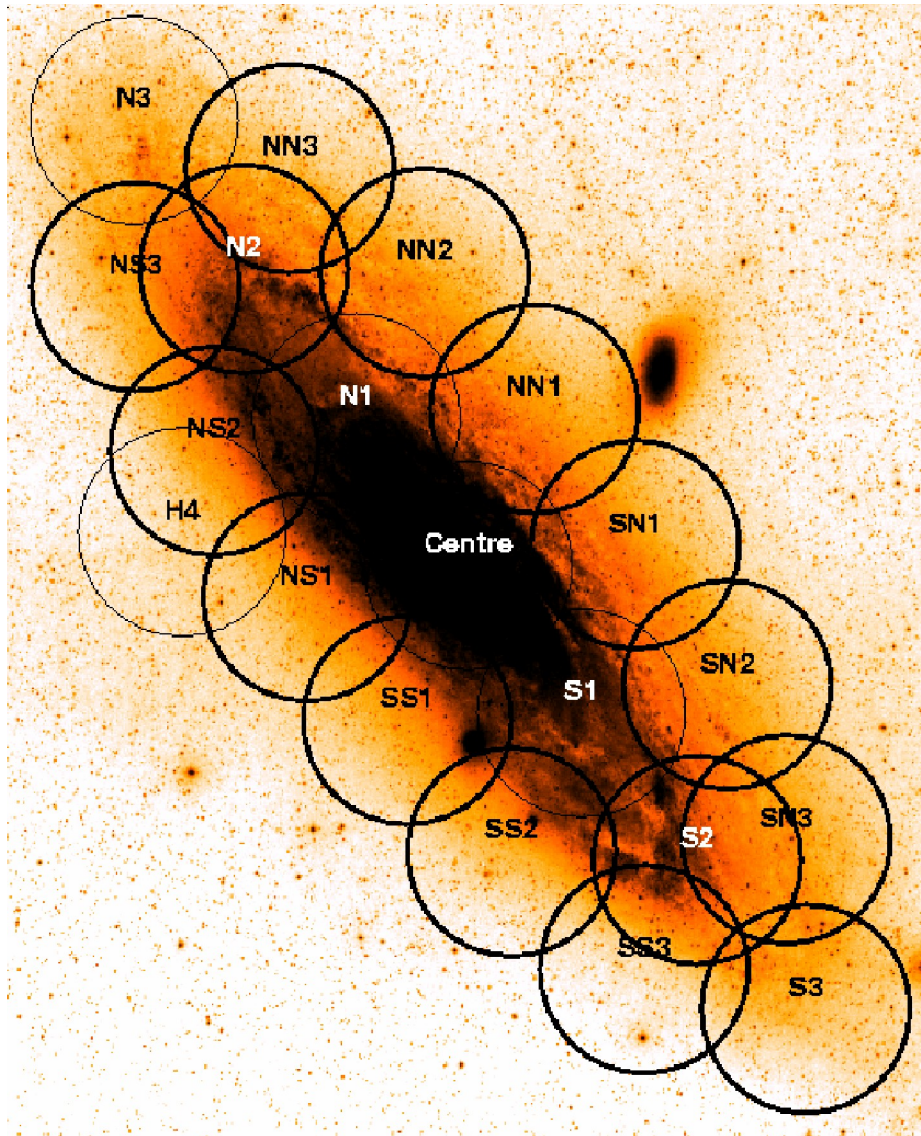


Az Orion az XMM-Newtonnal



Más példa űrszondák kooperációjára: az Orion csillagkeletkezési terület: röntgenben és infravörösben. Millió fokok plazma van az Orion-ködben.

Az M31 vizsgálata az XMM-Newtonnal



Az M31 vizsgálata az XMM-Newtonnal

Korábbi vizsgálatok is voltak, azokra lehetett építeni

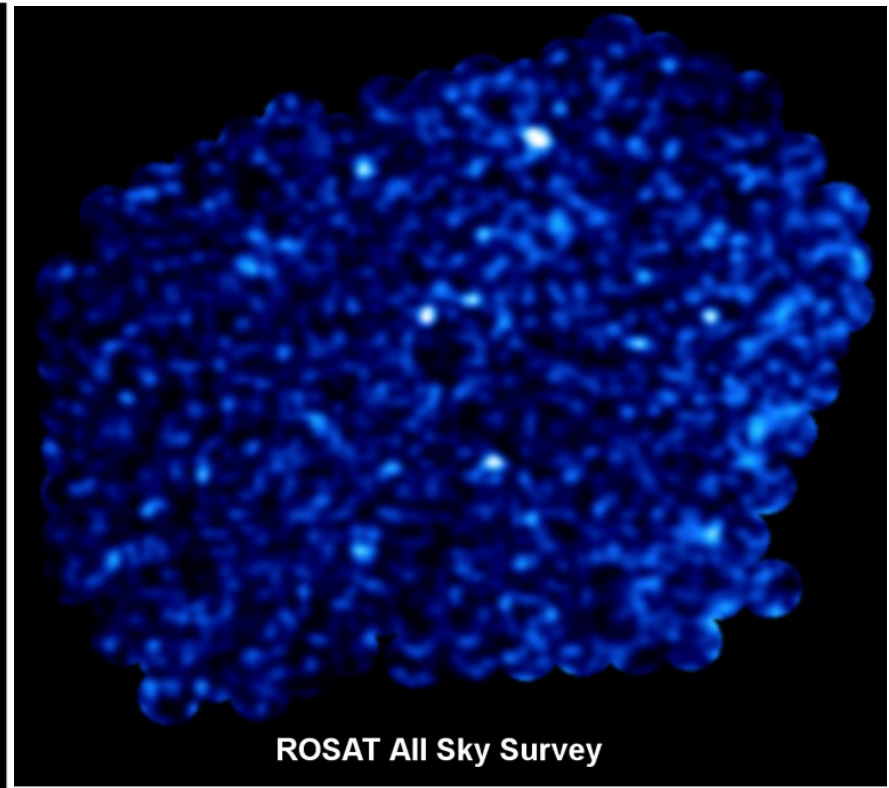
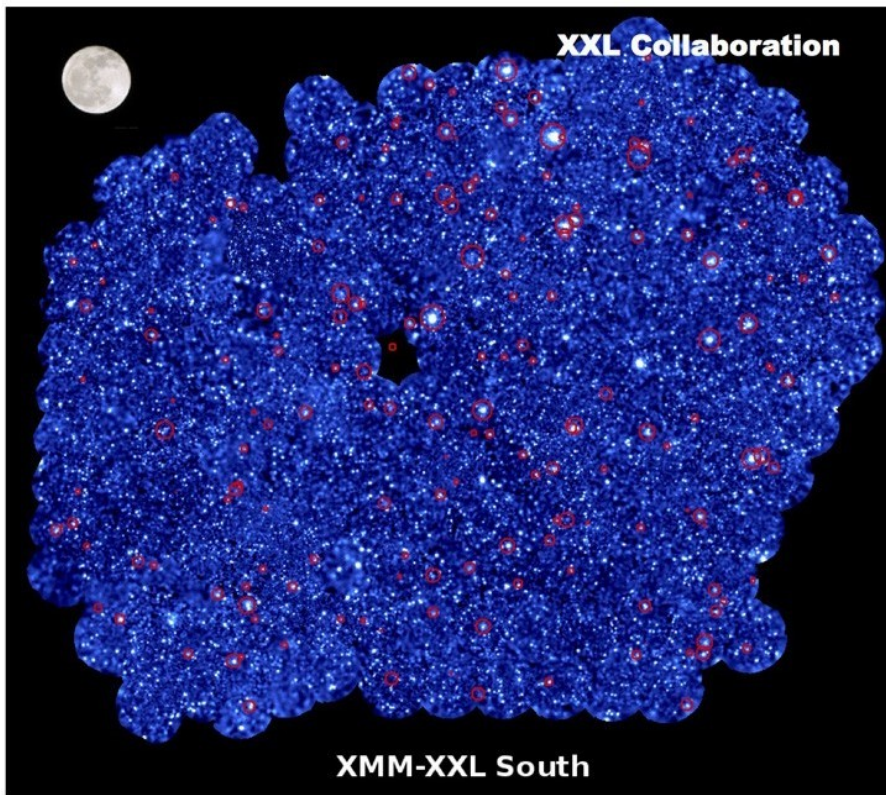
Table 1. A selection of important X-ray surveys of M 31.

Paper	S ⁺	#ofSrc ⁺	L_X^{\dagger} erg cm ⁻² s ⁻¹	Field	Comments
Trinchieri & Fabbiano (1991, TP91)	E	108	$6.4 \times 10^{36} - 1.3 \times 10^{38}$ (0.2–4 keV)	entire set of <i>Einstein</i> imaging observations	16 sources showed variability
Primini et al. (1993, PFJ93)	R (HRD)	86	$\geq 1.8 \times 10^{36}$ (0.2–4 keV)	bulge region	18 sources variable; ~3 transients
Supper et al. (1997, 2001) (SPH97, SHL2001)	R (PSPC)	560	$5 \times 10^{35} - 5 \times 10^{38}$ (0.1–2.4 keV)	whole galaxy	two deep surveys 491 sources not detected with <i>Einstein</i>
Osborne et al. (2001)	X	116	$\geq 6 \times 10^{35}$ (0.3–12 keV)	centre	11 sources variable, 7 transients compared to <i>Einstein</i> 34 sources variable, 8 transients between ROSAT surveys examined the ~60 brightest sources for variability
Kong et al. (2002b)	C (ACIS-I)	204	$\geq 2 \times 10^{35}$ (0.3–7 keV)	central ~17' × 17'	observations between 1999 and 2001 ~50% of the sources are variable, 13 transients
Kaaret (2002)	C (HRC)	142	$2 \times 10^{35} - 2 \times 10^{38}$ (0.1–10 keV)	centre	one 47 ks observation; 46 ± 26% of the sources with $L_X > 5 \times 10^{36}$ erg s ⁻¹ are variable bright X-ray binaries
Di Stefano et al. (2002)	C (ACIS-I/S)	28	$5 \times 10^{35} - 3 \times 10^{38}$ (0.3–7 keV)	3 disc fields	supersoft sources and quasisoft sources ≥25% showed significant variability
Di Stefano et al. (2004) Williams et al. (2004)	C (ACIS-S S3) C (HRC)	33 166	$1.4 \times 10^{36} - 5 \times 10^{38}$ (0.1–10 keV)	3 disc fields + centre major axis + centre	globular cluster study
Trudolyubov & Priedhorsky (2004)	C, X	43	$\sim 10^{35} - 10^{37}$ (0.3–10 keV)	major axis + centre	source catalogue
Pietsch et al. (2005b, PFH2005)	X	856	$4.4 \times 10^{34} - 2.8 \times 10^{38}$ (0.2–4.5 keV)	major axis + centre	correlations with optical novae
Pietsch et al. (2005a, PFF2005)	C, R, X	21	$\sim 10^{35} - 10^{38}$ (0.2–1 keV)	centre	supersoft sources and quasisoft sources
Orio (2006)	C, X	42	$6 \times 10^{35} - 10^{39}$ (0.2–2 keV)	major axis + centre	correlations with optical novae
Pietsch et al. (2007, PHS2007)	C, X	46	$\sim 10^{35} - 10^{38}$ (0.2–1 keV)	centre	low mass X-ray binary study
Voss & Gilfanov (2007)	C	263	$5 \times 10^{33} - 1.5 \times 10^{38}$ (0.5–8 keV)	bulge region	re-analysis of archival and new 2004 observations time variability analysis; 149 sources with a significance for variability >3; 6 new X-ray binary candidates, 3 supernova remnant classifications were rejected
Stiele et al. (2008, SPH2008)	X	39 300	$7 \times 10^{34} - 6 \times 10^{37}$ $4.4 \times 10^{34} - 2.8 \times 10^{38}$ (0.2–4.5 keV)	centre	background subtracted spectra and lightcurves for each source; 18 HMXB candidates, selected from their power law photon index
Shaw Greening et al. (2009, SBK2009)	X	335	$\sim 10^{34} - 10^{39}$ (0.3–10 keV)	5 fields along major axis	supersoft sources; comparing ROSAT, <i>Chandra</i> and <i>XMM-Newton</i> catalogues
Stiele et al. (2010)	X	40		whole galaxy	

Notes. ⁽⁺⁾ X-ray satellite(s) on which the study is based: E for *Einstein*, R for ROSAT, C for *Chandra*, and X for *XMM-Newton* (EPIC). ^(*) Number of sources. ^(†) observed luminosity range in the indicated energy band, assuming a distance of 780 kpc to M 31.

XMM-Newton XXL Survey

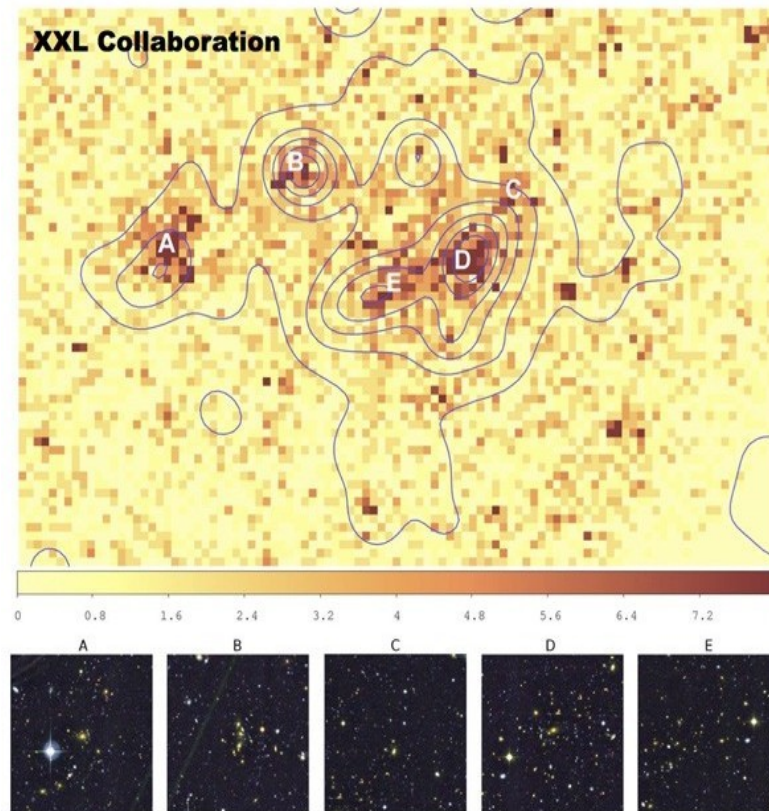
Az XMM-Newton legnagyobb felmérése: két (25-25 négyzetfok területű) extragalaktikus mezőről 2016-ig 7 millió másodperc észlelés. Az XXL a méretre utal. A ROSAT-tal összehasonlítva jól látszik a minőségi javulás.



XMM-Newton XXL Survey

Table 1. Characteristics of the two XMM XXL survey fields.

FIELD	XXL-N	XXL-S
RA, Dec (J2000)	2h20–5d00	23h30–55d00
Size	25 deg ²	25 deg ²
Galactic latitude	–60 deg	–58 deg
Galactic longitude	170 deg	325 deg
Ecliptic latitude	–18 deg	–46 deg
$\log_{10}(N_{\text{H}}/\text{cm}^{-2})$	20.4	20.1



XMM
photon map

Optical galaxy
density
contours

Image size
20'x13'

XMM-Newton XXL Survey

Table A.1. First series of XXL articles.

Num.	The XXL Survey	Authors
I	Scientific motivations – <i>XMM-Newton</i> observing plan – Follow-up observations and simulation programme	Pierre, Pacaud, Adami et al.
II	The bright cluster sample	Pacaud, Clerc, Giles et al.
III	Luminosity-temperature relation of the bright cluster sample	Giles, Maughan, Pacaud et al.
IV	Mass-temperature relation of the bright cluster sample	Lieu, Smith, Giles et al.
V	Detection of the Sunyaev-Zel'dovich effect of the redshift 1.9 galaxy cluster XLSSU J021744.1-034536 with CARMA	Mantz, Abdul, Carlstrom et al.
VI	The 1000 brightest X-ray point sources	Fotopoulou, Pacaud, Paltani et al.
VII	A supercluster of galaxies at $z = 0.43$	Pompei, Adami, Eckert et al.
VIII	MUSE characterisation of intra-cluster light in a $z = 0.53$ cluster of galaxies	Adami, Pompei, Sadibekova et al.
IX	Optical overdensity and radio continuum analysis of a supercluster at $z = 0.43$	Baran, Smolčić, Milaković et al.
X	Weak-lensing mass – K -band luminosity relation for groups and clusters of galaxies	Ziparo, Smith, Mulroy et al.
XI	ATCA 2.1 GHz continuum observations	Smolčić, Delahize, Huynh et al.
XII	Optical spectroscopy of X-ray selected clusters and the frequency of AGNs in superclusters	Koulouridis, Poggianti, Altieri et al.
XIII	The baryon content of the bright cluster sample	Eckert, Ettori, Coupon et al.
XIV	AAOmega redshifts for the southern XXL field	Lidman, Ardila, Owers et al.

Table 3. Spectroscopic data available in the XXL fields at the end of 2015.

Instrument/Programme	Field	Resolution	Coverage	Type	Status
VIMOS/VIPERS	N	$R = 200$	16 deg ²	E-S	C
BOSS ancillary programme	N	$R = 1400-2600$	~25 deg ² AGNs	E-S	C
AAOmega/GAMA field G02	N	$R = 1400$	23.5 deg ² overlap with XXL	E-S	C
SDSS DR10	N	$R = 1300-3000$	larger than XXL	E-S	C
WHT	N	$R = 800$	<i>detailed studies of groups and clusters</i>	PI-T	OG
NTT	N+S	$R = 300$	<i>individual clusters</i>	PI*-T	OG
FORS2	N+S	$R = 600$	<i>individual clusters</i>	PI*-T	OG
AAOmega	S	$R = 1400$	25 deg ² clusters + AGNs	PI-S	C

Notes. The ⟨Type⟩ column indicates the source of the data: E (external), PI (XXL PI), and whether the observations are conducted in survey mode (S) or using target XXL sources (T). The ⟨Status⟩ column indicates whether the observations are completed (C) or on-going (OG). The * stands for ESO Large Programme. More detailed information, maps, and references are available at <http://xxlmultiwave.pbworks.com>.

XMM-Newton XXL Survey

Table 2. Imaging and radio data available in the XXL fields at the end of 2015.

Instrument/Programme	Field	Bands	Coverage	Type	Status
MegaCam at CFHT/CFHTLS	N	$u, g, r, i/y, z$	larger than XXL	E-S	C
HSC at Subaru	N	g, r, i, z, y	larger than XXL	PI-S	C
<i>Spitzer</i> /SWIRE	N	3.6, 4.5, 5.8, 8.0, 24, 70, 160 μm	10 deg ²	E-S	C
<i>Spitzer</i>	N	3.6, 4.5 μm	16 deg ²	PI-S	C
VISTA VIDEO	N	Z, Y, J, H, K_s	4.5 deg ²	E-S	OG
WIRCAM at CFHT/MIRACLES	N	K_s	11.2 deg ²	E-S	C
WIRCAM at CFHT	N	K_s	5.5 deg ²	PI-S	OG
SDSS DR10	N	u, g, r, i, z	larger than XXL	E-S	C
UKIDSS Deep Survey	N	J, H, K	9.15 deg ²	E-S	C
HAWK-I at VLT	N+S	Y, J, K_s	<i>individual clusters</i>	PI-T	OG
<i>Herschel</i> HERMES	N	70, 100, 160, 250, 350, 500 μm	9.3 deg ²	E-S	C
WISE	N+S	3.5–23 μm	larger than XXL	E-S	C
GALEX	N+S	1528, 2310 Å	larger than XXL	E-S	C
Blanco Telescope/BCS	S	g, r, i, z	larger than XXL	PI-S	C
DES	S	g, r, i, z, y	larger than XXL	E-S	OG
deep DECam survey	S	g, r, i, z	25 deg ²	PI-S	OG
OmegaCAM at VST	S	i	25 deg ²	PI-S	OG
VISTA	S	J, H, K_s	larger than XXL	E-S	OG
<i>Spitzer</i> /SSDF	S	3.6, 4.5 μm	larger than XXL	PI-S	C
GMRT	N	240, 610 MHz	25 deg ²	PI-S	OG
VLA/NVSS	N	1.4 GHz	larger than XXL	E-S	C
JVLA	N	3 GHz	0.25 deg ²	PI-T	C
CARMA	N	30, 90 GHz	<i>individual clusters</i>	PI-T	C
ATCA	S	2.1 GHz	25 deg ²	PI-S, E-S	C
Molonglo/SUMSS	S	843 MHz	larger than XXL	E-S	C
SPT – SPT _{pol}	S	90, 150, 220 GHz	larger than XXL	E-S	OG
ACT – ACT _{pol}	N+S	150, 220 GHz	larger than XXL	PI-S	OG

Notes. The ⟨Type⟩ column indicates the source of the data: E (external), PI (XXL PI), and whether the observations are conducted in survey mode (S) or using target XXL sources (T). The ⟨Status⟩ column indicates whether the observations are completed (C) or on-going (OG). More detailed information, maps, and references are available at <http://xxlmultiwave.pbworks.com>.

Az XMM-Newton eredményei röviden

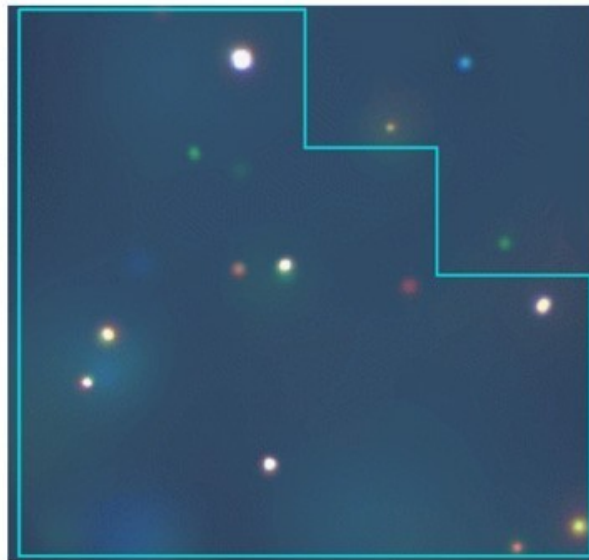
- Végső bizonyíték arra, hogy az üstökösök röntgensugárzását a napszél nehéz és több elektronját vesztett ionjaival bekövetkező töltéscsere okozza;
- Főszorozat előtti csillagoknál a röntgenemisszió szerepének tisztázása a cirkumsztelláris anyaggal való kölcsönhatásban és a bolygórendszer kialakulási folyamatában;
- Ciklikus röntgenváltozás első kimutatása Nap-típusú csillagban (HD 81809), és a változás összhangban van a csillagfoltciklussal (mint a Nap esetében).
- Az Orion-ködbeli millió fokos röntgenemisszió jelzi, hogy néhány nagy tömegű csillag milyen hatásra képes a környezetében;
- A WR 142 körüli keményröntgen-emisszió a nagy tömegű csillagok fejlődésének végállapotához közeli csillagszél fizikájába nyújt betekintést.
- Az SNIa új típusának felfedezése: a vas L-héjától származó emissziós vonalak alapján;
- A közepes tömegű fekete lyukak létére vonatkozó eddigi legerősebb bizonyíték: HLX-1 forrás az ESO 243-49 spirálgalaxisban, a tömeg alsó határa 500 naptömeg;
- A HST méréseivel kooperálva a sötét anyag eloszlásának 3D feltérképezése a COSMOS mezőben, időben 6 milliárd évre visszamenően.

Chandra-mélyvizsgálatok

Mélyvizsgálatot a Chandrával is végeztek. A diffúz röntgen-háttérsugárzás tanulmányozásából nőtt ki. A ROSAT 2 keV alatt a „háttérsugárzás” 75%-át diszkrét objektumokra bontotta.

A Hubble Deep Field (N [bal alsó kép] és S) területeit vizsgálták a Chandrával (illetve a középpont volt azonos). CDF-North (lent középen): 2 millió s, CDF-South (jobbra lent): 1 Ms, de az első elemzések után további expozíciókat végeztek (2010-ig 3,8 Ms). A képeken a szupernagy tömegű fekete lyukak látszanak röntgenben.

Még egy nagyságrenddel lejjebb szorították a háttérfluxust, és a háttérsugárzás 90%-át különféle diszkrét forrásokra bontották.



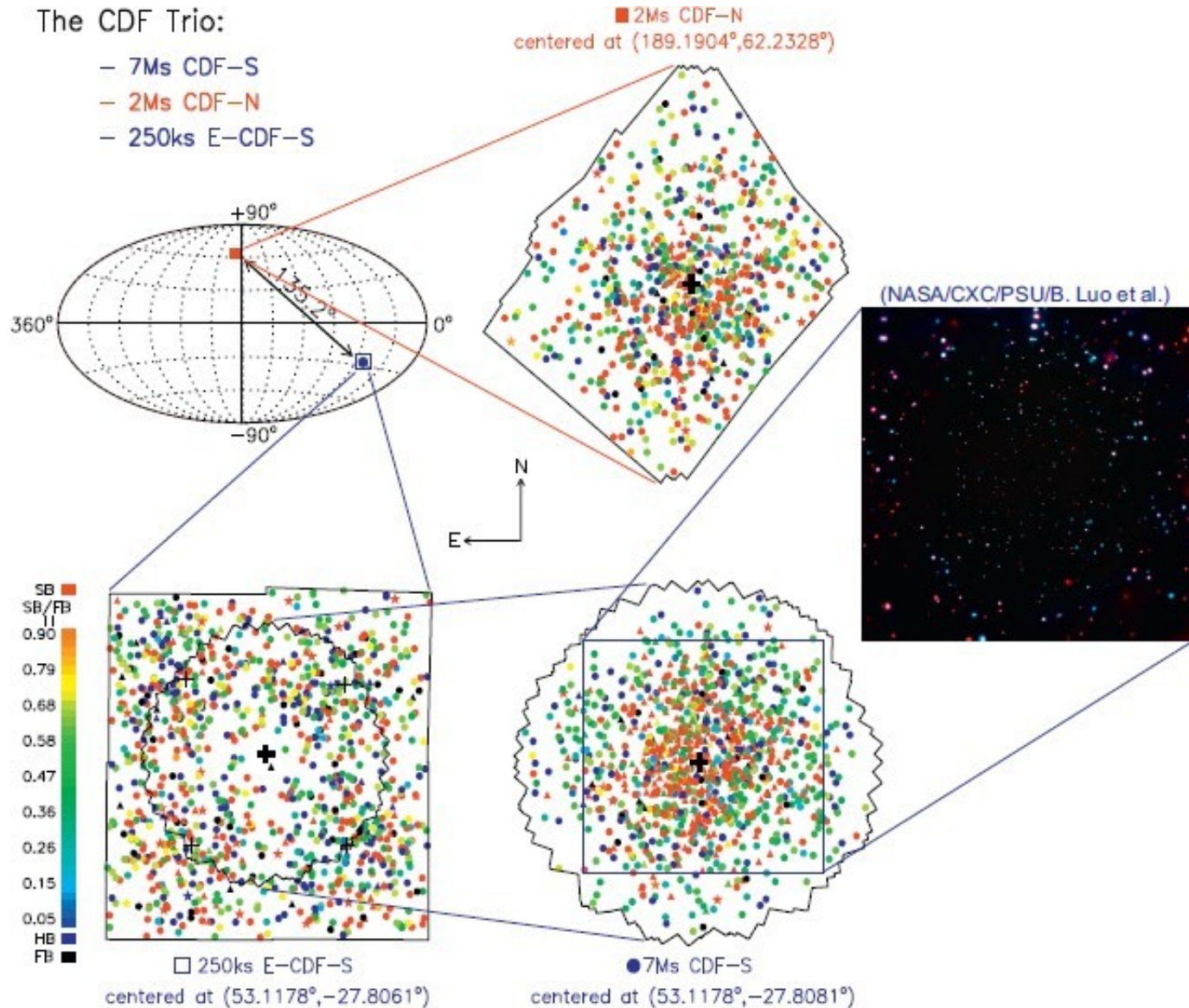
Chandra-mélyvizsgálatok

A Chandra-mélyvizsgálatok néhány jellemző adata

Properties of the CDFs^a.

	CDF-S	CDF-N	E-CDF-S
Galactic N_{H} (cm^{-2})	8.8×10^{19}	1.6×10^{20}	8.8×10^{19}
Observational timespan	1999/10 – 2016/03 (16.4 yrs)	1999/11 – 2002/02 (2.3 yrs)	2004/02 – 2004/11 (0.8 yrs)
Total number of observations	102	20	9
Effective exposure (ks)	6727	1896	235/209/240/241 ^b
Solid angle covered (arcmin^2)	484.2	447.5	1128.6
Source detection criteria	WAVDETECT at 10^{-5} and $P < 0.007^c$	WAVDETECT at 10^{-5} and $P < 0.004$	WAVDETECT at 10^{-5} and $P < 0.002$
Number of sources detected ^d	1008	683	1003
FB (0.5–7 keV) detected counts	(11.2, 98.9, 56916.2) ^e	(8.1, 66.2, 19748.4)	(3.3, 27.1, 4010.6)
SB (0.5–2 keV) detected counts	(6.1, 47.4, 38817.0)	(5.4, 35.0, 14227.3)	(2.2, 18.9, 2802.6)
HB (2–7 keV) detected counts	(9.2, 94.6, 18137.8)	(7.7, 57.5, 5540.6)	(3.4, 20.4, 1210.8)
1σ X-ray positional uncertainty (")	(0.11, 0.47, 1.28)	(0.10, 0.47, 2.02)	(0.10, 0.63, 1.30)
Logarithm of FB flux ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(–16.76, –15.50, –12.96)	(–16.35, –15.09, –12.70)	(–15.73, –14.79, –12.88)
Logarithm of SB flux ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(–17.11, –16.19, –13.29)	(–16.83, –15.79, –13.07)	(–16.13, –15.27, –13.26)
Logarithm of HB flux ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(–16.46, –15.25, –13.13)	(–16.15, –14.95, –12.95)	(–15.73, –14.70, –13.02)
Faintest sources detected	1 count per ≈ 10 days	1 count per ≈ 4 days	1 count per ≈ 1 day
Logarithm of $L_{0.5-7 \text{ keV}}$ (erg s^{-1}) ^f	(39.01, 42.48, 45.05)	(39.28, 42.94, 45.07)	(39.89, 43.34, 45.50)
% of multiwavelength identifications	98.4%	98.1%	95.5%
% of z_{spec} (z_{adopted}) ^g	67.2% (97.8%)	51.4% (93.4%)	47.5% (80.8%)
z_{adopted} ^h	(0.000, 1.156, 5.776)	(0.000, 1.130, 5.365)	(0.000, 1.193, 7.203)
% of AGNs/galaxies/stars	70.5%/28.3%/1.2%	86.5%/11.0%/2.5%	90.6%/6.7%/2.7%
AGN/galaxy/star density (deg^{-2}) ⁱ	13600/12100/250	12400/4200/100	5200/500/100

Chandra-mélyvizsgálatok



Chandra-mélyvizsgálatok

És az XMM-Newton is beszállt a Chandra-mélyvizsgálatba.

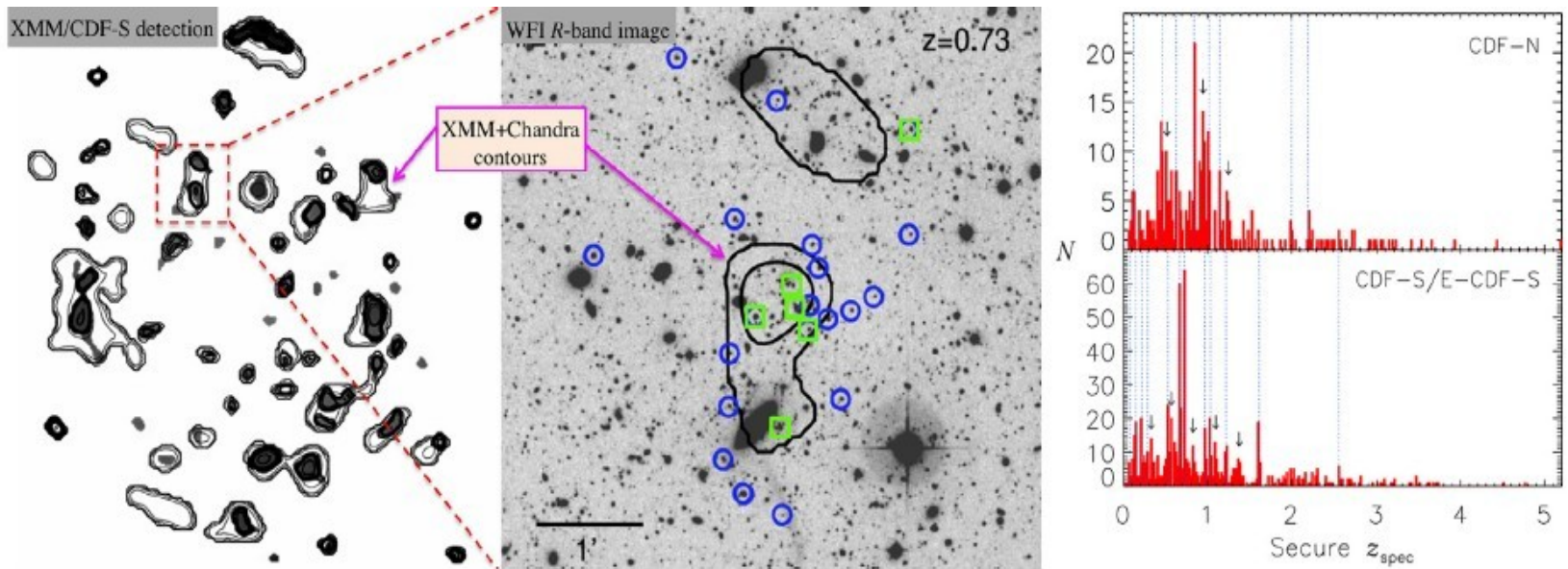
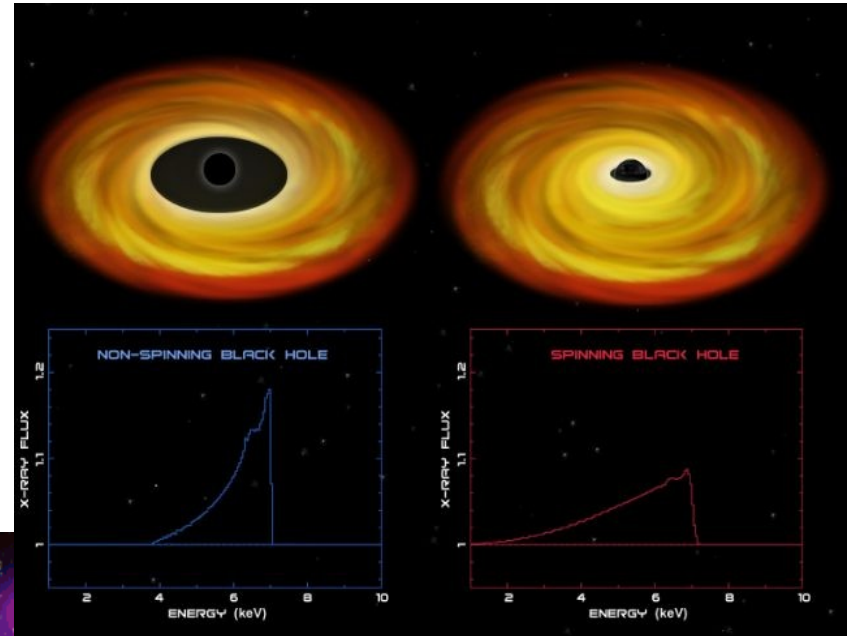


Fig. 20. (Left) *XMM-Newton* detection of the extended emission on a 32 arcsec scale in the full E-CDF-S field, overlaid with the contours that show the extended emission detected in the combined *Chandra* and *XMM-Newton* images on the 32 and 64 arcsec scales. (Middle) The most prominent spectroscopically identified $z \approx 0.73$ group/cluster in the E-CDF-S (i.e., the highest redshift spike in the Right-bottom panel), with the contours overlaid onto the WFI *R*-band image showing the extended X-ray emission detected by *XMM-Newton* and *Chandra*. X-ray sources with $|z_{\text{spec}} - 0.73| < 0.01$ are labeled as circles (GOODS spectroscopy) and squares (VLT/VIMOS and Keck/DEIMOS spectroscopy). (Right) Secure z_{spec} distributions of the CDF X-ray sources in bins of $\Delta z_{\text{spec}} = 0.02$ (the CDF-S z_{spec} 's are compiled by Luo (2017), and the CDF-N and E-CDF-S z_{spec} 's by Xue et al. (2016)). The vertical dotted lines indicate the previously known redshift spikes (i.e., associated with LSSs) identified by X-ray sources, and the downward arrows indicate additional likely redshift spikes identified in this paper. (Left) adapted from Finoguenov (2015) and (Middle) adapted from Silverman (2010).

További Chandra-eredmények

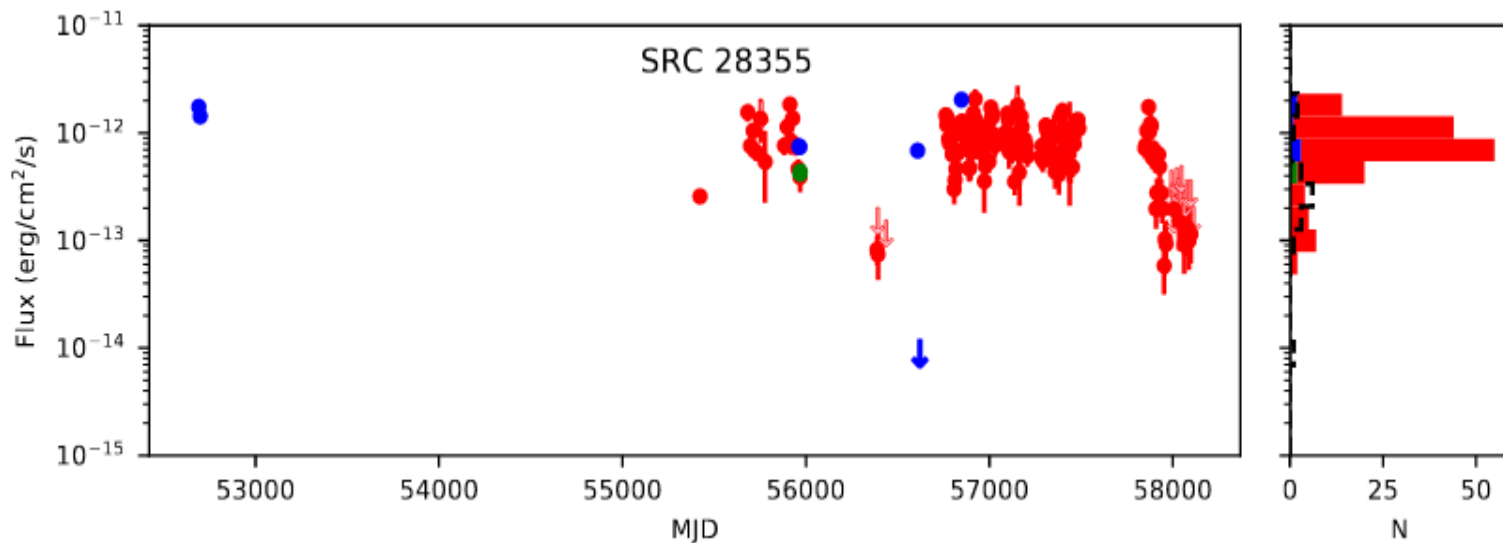
Forgó és nem forgó fekete lyukak megkülönböztetése a röntgenszínképből.

Sötét anyag kimutatása galaxishalmazok diffúz röntgensugárzásából



A két nagy röntgenszonda szinergiája

Az ultranagy luminozitású röntgenforrások (ULX) galaxisok magján kívül találhatóak, röntgenluminozitásuk nagyobb 10^{39} erg/s-nál (ekkora egy 10 naptömegű fekete lyuk Eddington-luminozitása). Ezeket viszont röntgenpulzások (PULX) hajtják, tehát neutroncsillag van a centrumban. A Chandra és az XMM-Newton méréseit még a Swift adataival is kiegészítették. A 296 azonosított ULX közül 25-nél a fluxusváltozás legalább egy nagyságrendű. A képen kék az XMM-Newton, zöld a Chandra, vörös a Swift méréseiből származó pont.



A Chandra és a HST szinergiája

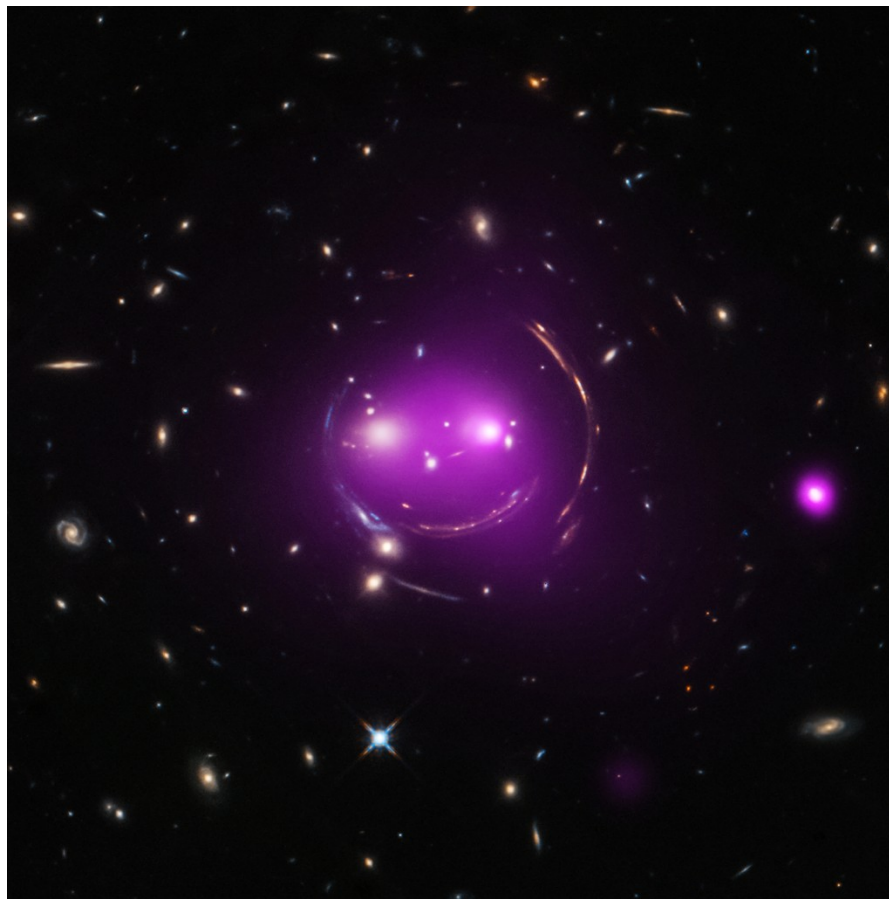
Az N63A
szupernóva-
maradvány a
Nagy-Magellán-
felhőben.



A Chandra és a HST szinergiája

A Cheshire-macska galaxishalmaz 4,6 milliárd fényévre van az UMa csillagképben. Az előtérbeli gravitációs lencse a röntgenfényt is felerősíti.

A galaxisok közötti térben az anyag több millió K hőmérsékletű, ezért röntgenben sugároz.



Extragalaktikus röntgenfelmérések

Table 1 Selected extragalactic X-ray surveys with *Chandra*, *XMM-Newton*, and *NuSTAR*

Survey name	Rep. Eff. Exp. (ks)	Solid angle (arcmin ²)	Representative reference
<i>Chandra</i> (0.3–8 keV)			
<i>Chandra</i> Deep Field-South (CDF-S)	3870	465	Xue et al. (2000)
<i>Chandra</i> Deep Field-North (CDF-N)	1950	448	Alexander et al. (2003)
AEGIS-X Deep	800	860	Goulding et al. (2006)
SSA22 protocluster	392	330	Lehmer et al. (2005)
HRC Lockman Hole	300	900	PI: S.S. Murray (2005)
Extended CDF-S (E-CDF-S)	250	1,128	Lehmer et al. (2005)
AEGIS-X	200	2,412	Laird et al. (2005)
Lynx	185	286	Stern et al. (2005)
LALA Cetus	174	297	Wang et al. (2005)
LALA Boötes	172	346	Wang et al. (2005)
C-COSMOS and COSMOS-Legacy	160	6,120	Elvis et al. (2005)
SSA13	101	345	Barger et al. (2005)
Abell 370	94	345	Barger et al. (2005)
3C 295	92	274	D'Elia et al. (2005)
ELAIS N1+N2	75	590	Manners et al. (2005)
WHDF	72	286	Bielby et al. (2005)
CLANS (Lockman Hole)	70	2,160	Trouille et al. (2005)
SEXSI ^a	45	7,920	Harrison et al. (2005)
CLASXS (Lockman Hole)	40	1,620	Trouille et al. (2005)
13 h Field	40	710	McHardy et al. (2005)
ChaMP ^a	25	34,560	Kim et al. (2005)
XDEEP2 Shallow	15	9,432	Goulding et al. (2005)
<i>Chandra</i> Source Catalog (CSC) ^a	13	1,150,000	Evans et al. (2005)
Stripe 82X– <i>Chandra</i> ^a	9	22,320	LaMassa et al. (2005)
NDWFS XBoötes	5	33,480	Murray et al. (2005)
<i>XMM-Newton</i> (0.2–12 keV)			
<i>Chandra</i> Deep Field-South (CDF-S)	2820	830	Ranalli et al. (2013)
Lockman Hole	640	710	Brunner et al. (2008)
<i>Chandra</i> Deep Field-North (CDF-N)	180	752	Miyaji et al. (2003)
13 h Field	120	650	Loaring et al. (2005)
ELAIS-S1	90	2,160	Puccetti et al. (2006)
Groth-Westphal	81	730	Miyaji et al. (2004)
COSMOS	68	7,670	Cappelluti et al. (2009)
Subaru <i>XMM-Newton</i> Deep Survey (SXDS)	40	4,100	Ueda et al. (2008)
Marano field	30	2,120	Lamer et al. (2003)
HELLAS2XMM ^a	25	10,440	Baldi et al. (2002)
XMM-LSS XMDS	23	3,600	Chiappetti et al. (2005)
Survey name	Rep. Eff. Exp. (ks)	Solid angle (arcmin ²)	Representative reference
<i>XMM-Newton</i> (0.2–12 keV)			
3XMM ^a	15	2,300,000	Watson (2012)
Stripe 82X– <i>XMM-Newton</i> ^a	15	37,800	LaMassa et al. (2013a)
XMM-LSS	10	39,960	Chiappetti et al. (2013)
XMM-XXL	10	180,000	Pierre (2012)
Stripe 82X– <i>XMM-Newton</i> Targeted	8	129,600	PI: C.M. Urry
<i>XMM-Newton</i> Slew Survey (XMMSL1) ^a	0.006	8 × 10 ⁷	Warwick et al. (2012)
<i>NuSTAR</i> (3–24 keV)			
Extended CDF-S (E-CDF-S)	200	1,100	Mullaney et al, in prep
AEGIS-X	270	860	Aird et al, in prep
COSMOS	65	6,120	Civano et al, in prep
Serendipitous survey ^a	22	19,000	Alexander et al. (2013)

^a Serendipitous survey; see Sect. 2.1 for brief discussion regarding such surveys

Röntgenfelmérések

Röntgenfelmérések érzékenysége két energiatartományban.
A vízszintes tengelyen a felmérés során vizsgált térszög szerepel.

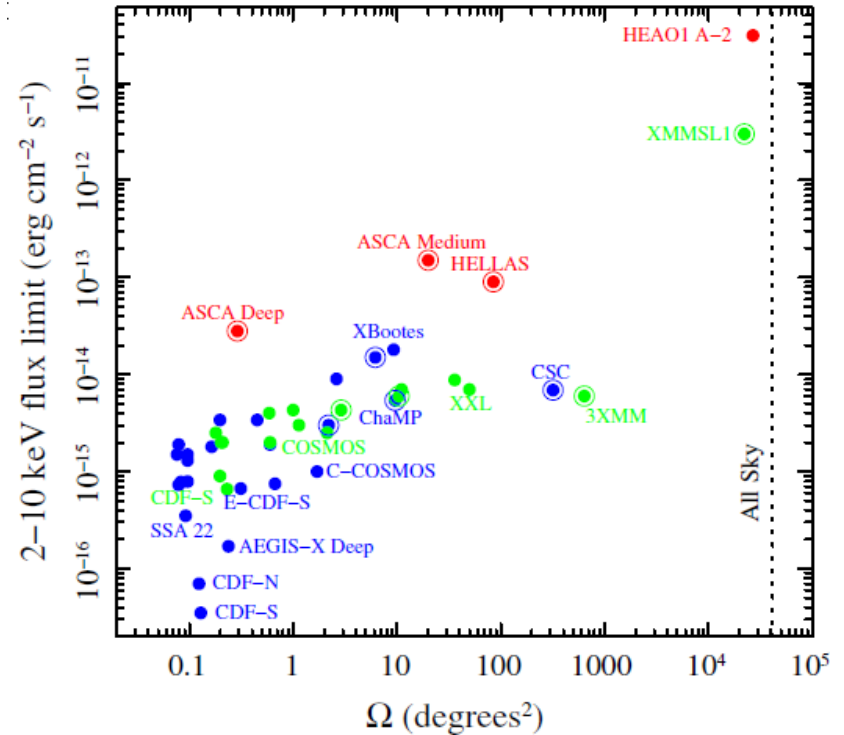
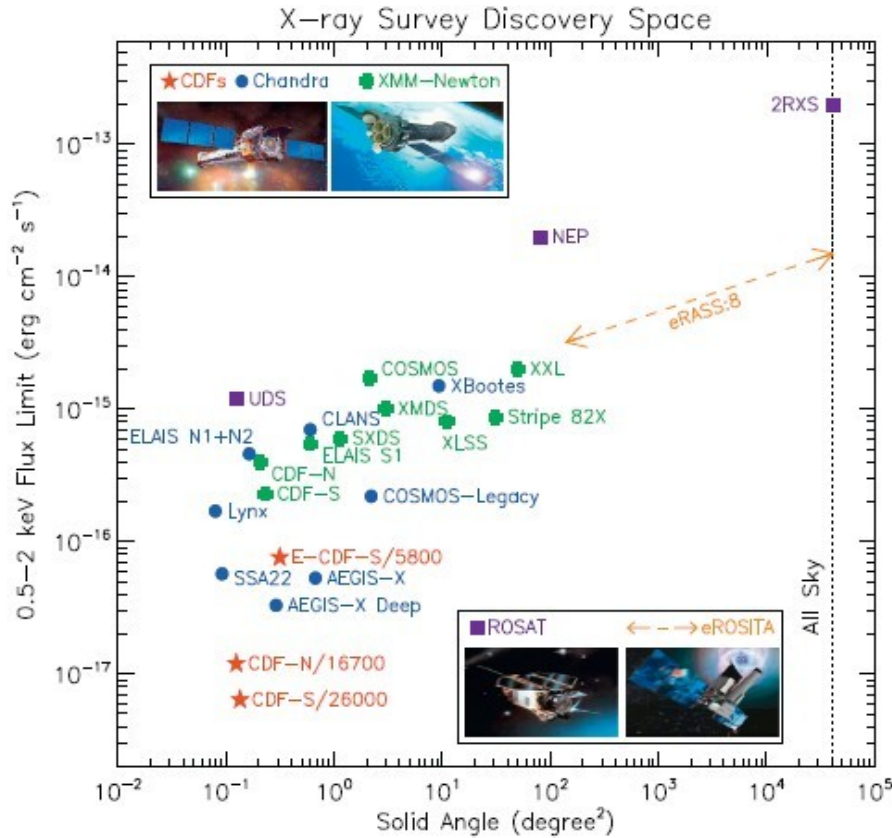
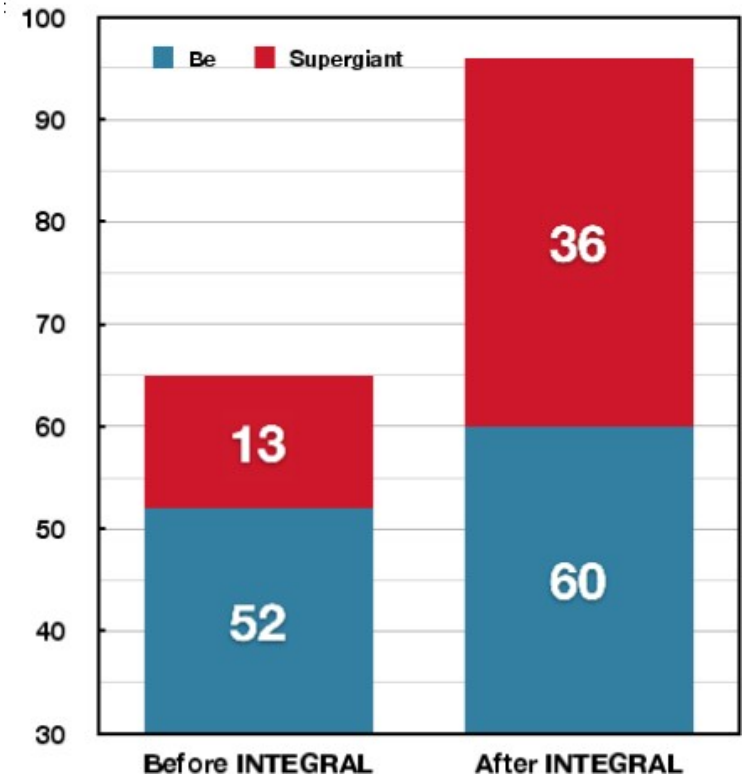
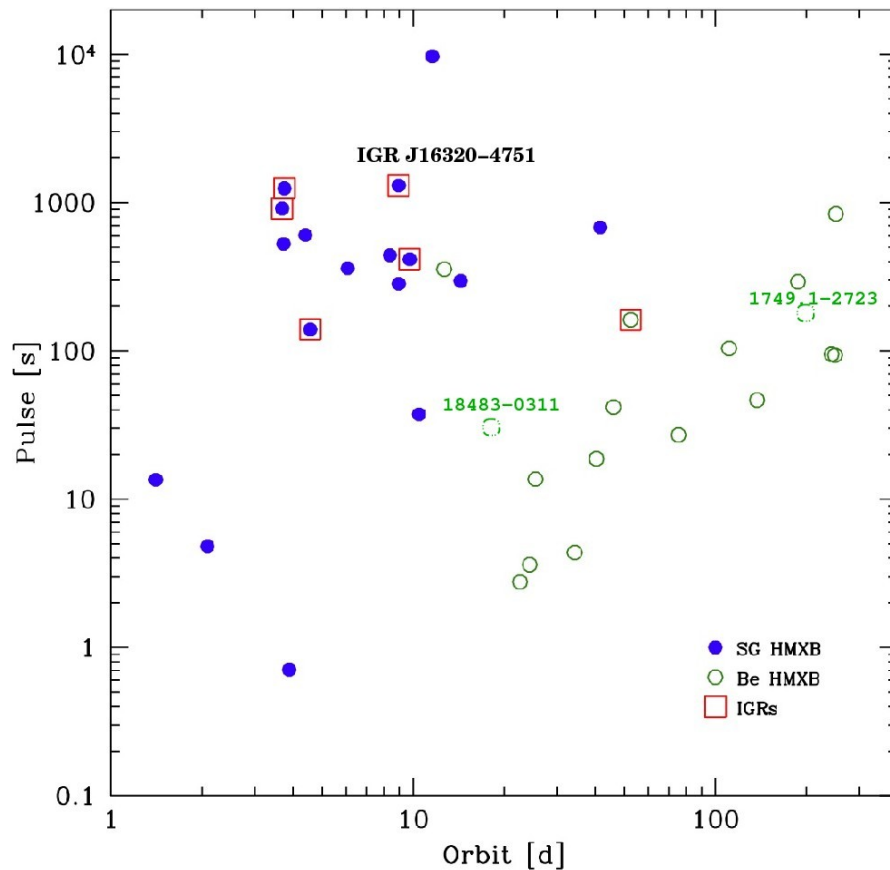


Fig. 1. Flux limits achieved versus solid angles covered by some selected X-ray

INTEGRAL

Részletesen a gammacsillagászatnál tárgyaljuk. Itt csak két eredmény szerepel a röntgenvizsgálatok alapján: a nagy tömegű röntgenkettősökre vonatkozó diagramok.



Újabb gammaszondák röntgenműszerekkel

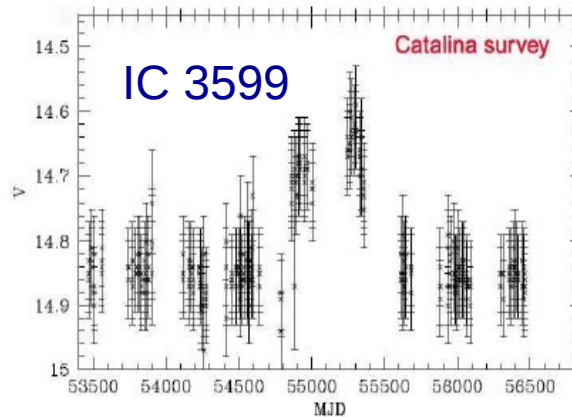
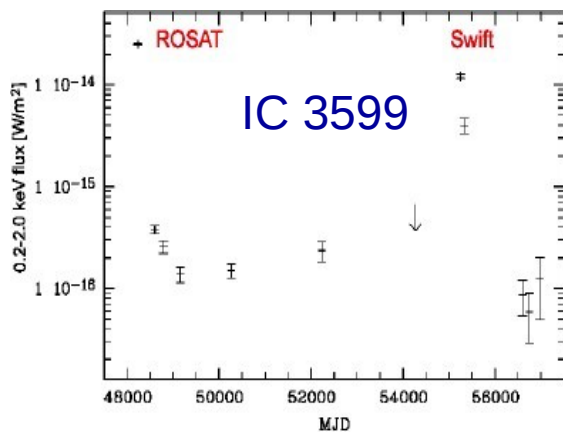
HETE-2: 2000–2008 (részletesen a gammacsillagászatnál lesz szó).

Swift: 2004-től: (bővebben szintén a gammacsillagászatnál).

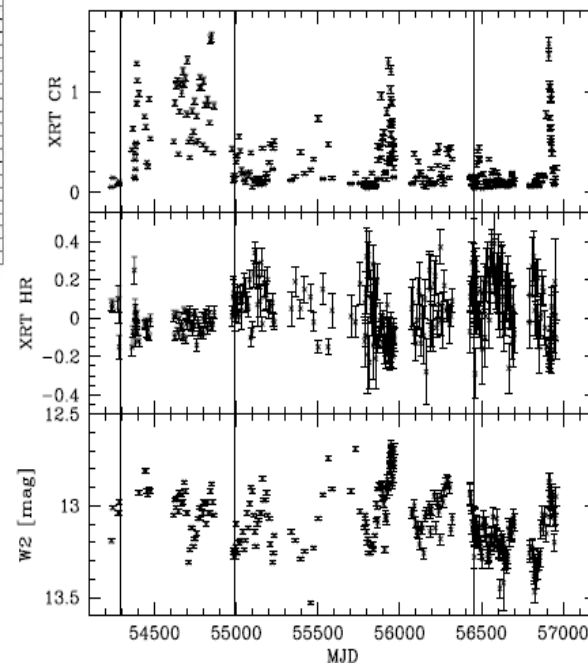
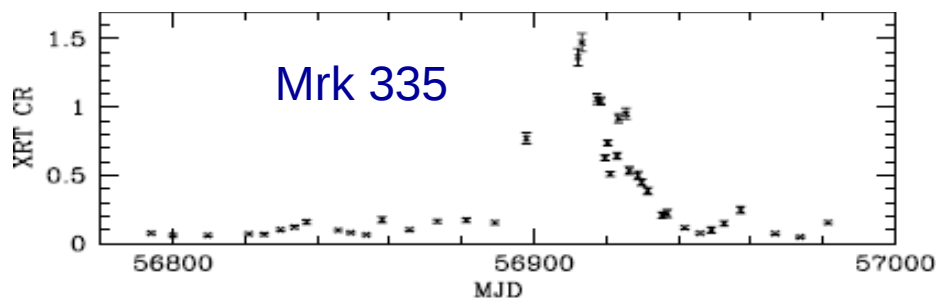
Példák: az IC 3599 és a Mrk 335 Seyfert-galaxisok viselkedése röntgentartományban.

IC 3599: 2010-ben újra erős kitörés, optikaiban is.

Mrk 335: több kitörés egymás után.



Mrk 335

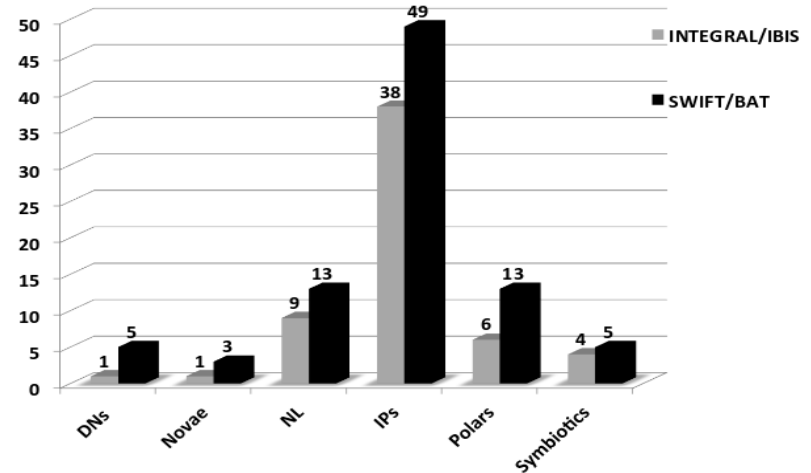
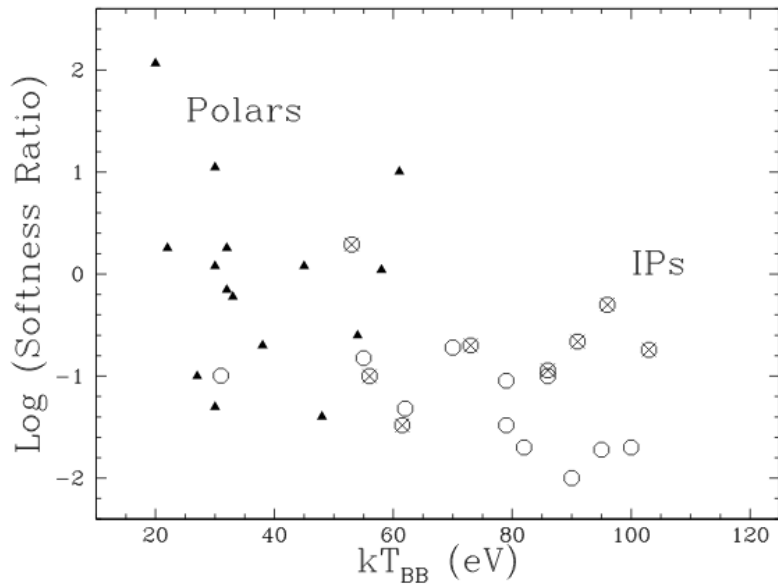
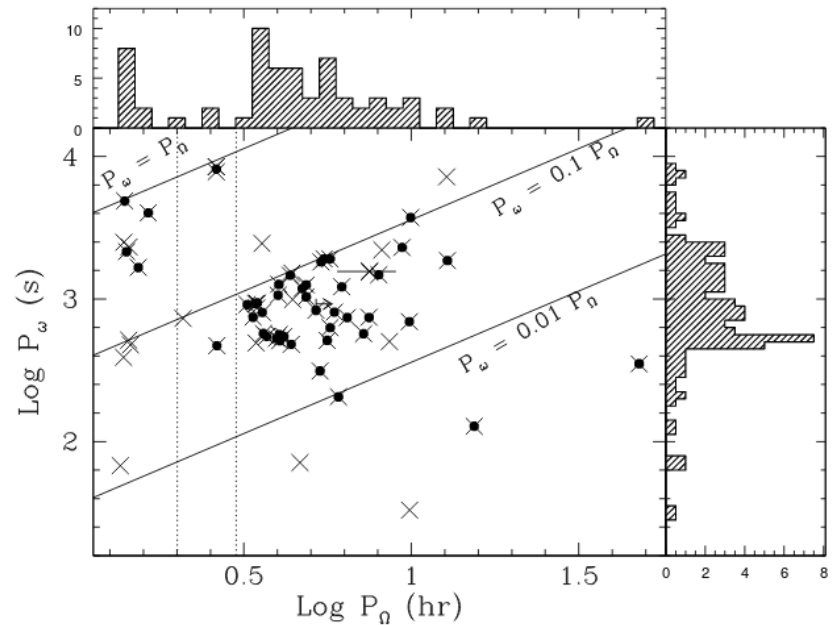


Az INTEGRAL és a Swift szinergiája

Mágneses kataklizmikus változók:
szoros kettős (fehér törpe + a Roche-lebenyét kitöltő késői fősorozati törpe).

Polár (DQ Her típus): erős mágneses tér (néhány ezer tesla)

Kevésbé erős mágneses tér esetén mérsékelt polár (IP) (AM Her típus).



Suzaku

Suzaku (Astro-EII): a JAXA és a NASA szondája. (Az Astro-E 2000-ben a hordozórakétával felrobbant.) 2005. júliusban indították LEO pályára. 2015-ig működött. A 0,3–600 keV tartományt észlelte leképező spektrométerrel és keményröntgen-detektorral. A tervezett Constellation X már nincs napirenden.

Comparison of Various X-ray Observatories												
Observatory	XMM			Chandra					Suzaku		Constellation X	
Detector	EPIC MOS	EPIC PN	RGS	ACIS back	ACIS front	HRC	HETG	LETG	XRS	XIS	Calorimeter	Grating
Energy Range (keV)	0.2-12	0.2-12	0.4-2.5	0.1-10	0.4-10	0.1-10	0.6-10	0.1-6	0.3-12	0.2-12	0.2-10	0.2-2
Effective Area (cm ²)												
@0.25 keV	133	460	-	30	-	150	-	25	-	-	3081	1235
@0.4 keV	360	771	44	120	35	50	-	12	-	-	864	2000
@0.6 keV	591	1061	94	345	70	65	-	25			5127	3720
@1.0 keV	922	1227	185	615	385	215	10	55	100	1600	11274	5327
@1.5 keV	1180	1304	160	500	525	162	45	105			13362	4100
@2.5 keV	696	779	-	320	320	65	20	50			7765	-
@6.0 keV	768	851	-	205	235	45	25	20	150	1000	6600	-
@8.0 keV	390	557	-	45	60	10	7	4			4277	-
@12.0 keV	19	56	-	-	-	-	-	-			638	-
Energy Resolution (eV)												
@0.25 keV	35	35	-	130	37	-	-	0.4	-	-	2	0.25
@0.4 keV	45	45	0.5	120	42	-	-	0.8	6.5	30	2	0.65
@1.0 keV	55	55	2.9	100	56	-	1.0	5.4	6.5	50	2	4.1
@2.5 keV	85	85	17	120	82	-	5.2	34	6.5	80	2	-
@6.0 keV	130	130	-	170	130	-	29	-	6.5	120	2	-
@8.0 keV	150	150	-	190	150	-	50	-	6.5	140	2	-
Angular Resolution (FWHM)	~6"	~6"	-	1"	1"	<0.5"	-	-	limited	<1.5'	6"	-
Field of View	30'	30'	-	17'x17'	17'x17'	31'x31'	-	-	3'x3'	19'x19'	2.5'	-

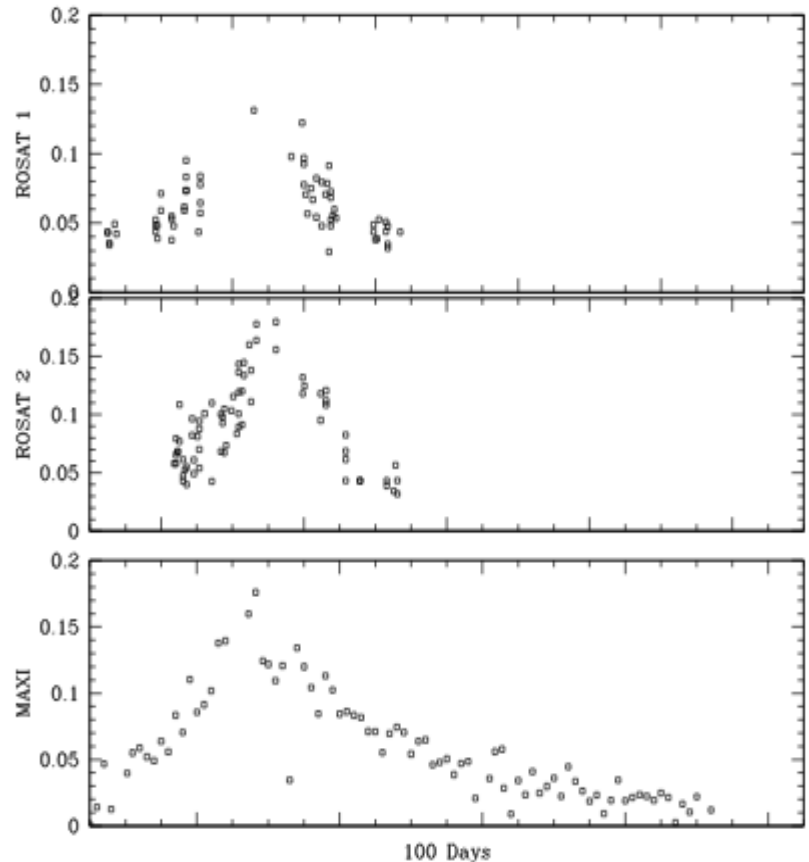
MAXI műszer az ISS fedélzetén

A Nemzetközi Űrállomáson (ISS)
2009 óta működik a japán JAXA
műszere, a **MAXI**: Monitor of
All-sky X-ray Image.

96 percenként végez egy teljes
égfelmérést.

A kép a Magellán-hídban levő egyik
röntgenforrás (RX J0209.6-7427)
kitörését mutatja.

A ROSAT már észlelte a forrás
korábbi kitöréseit.



NuSTAR

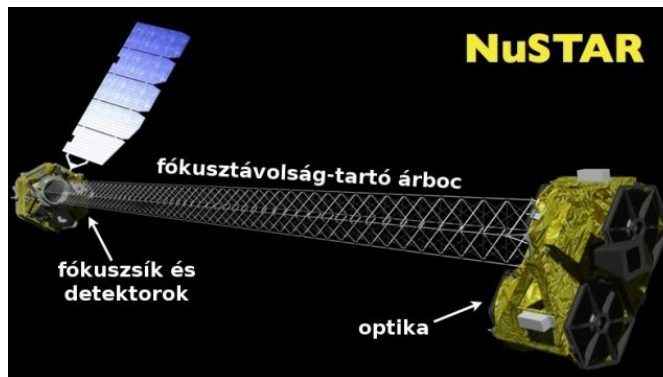
NuSTAR: Nuclear Spectroscopic Telescope Array = SMEX}11. A NASA/JPL szondája LEO-pályán. Elődje a HEFT (High Energy Focusing Telescope) volt: ballonra szerelt röntgenszonda.

Indítás: 2012. jún., kétéves működésre tervezték, de még most is működik.

Optikája 133 egymásba skatulyázott Wolter-I-es távcső 847 cm² gyűjtőfelülettel. Az 5–80 keV közötti tartományt észleli.

Cél: szupernagy tömegű fekete lyukak vizsgálata (>10 keV).

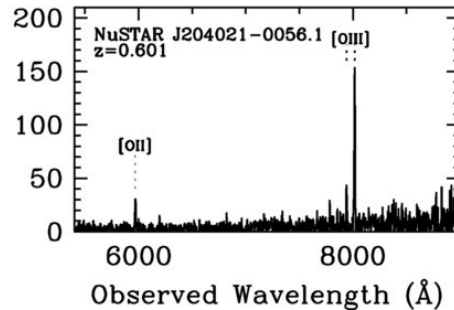
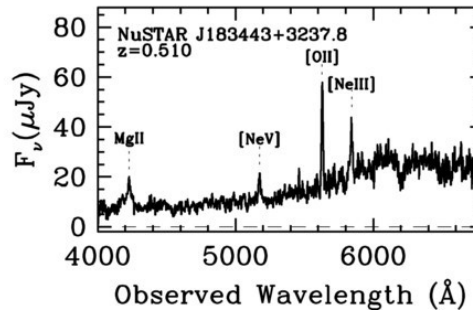
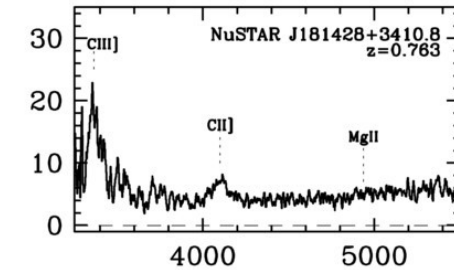
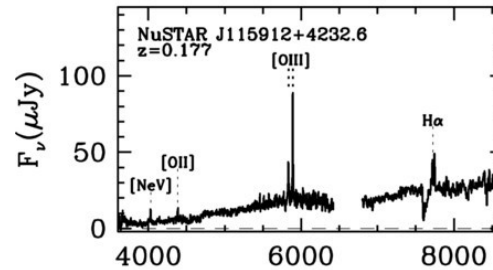
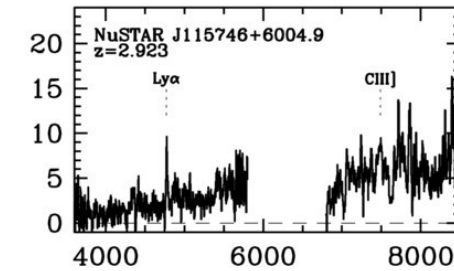
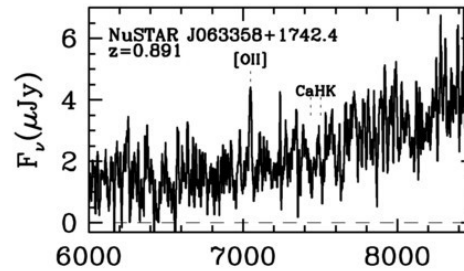
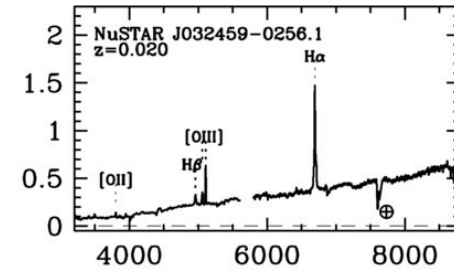
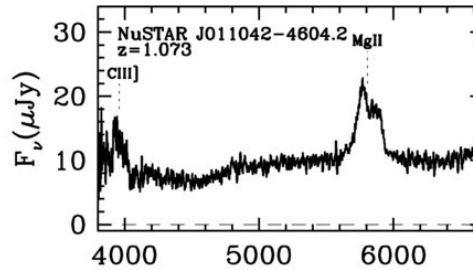
A röntgenhátteret vizsgálva a korábbiaknál százszor gyengébben sugárzó galaxisokat talált $z=0,02$ és $2,92$ között. Ezek nagy luminozitású és tömegű AGN-ek.



Orbital Life	Approximately 10 years
Launch Date	June 13, 2012
Prime Mission	2 years
Launch Vehicle	Pegasus XL
Mass	350 kg
Power	600 W
Stowed Height	1.93 m
Focal Length	10 m
Optics	Two grazing-incidence telescopes
Optics Dimensions	Length: 450 mm; Radius: 191 mm
Energy Range	3-79 keV
Focal Planes	2 x 2 array of CdZnTe detectors 64 x 64 pixels
Pixel Size	12"
Anti-Coincidence Shielding	Cesium-Iodide crystals
Angular Resolution	57" half-power diameter
Field of View	8' at 40 keV

NuSTAR

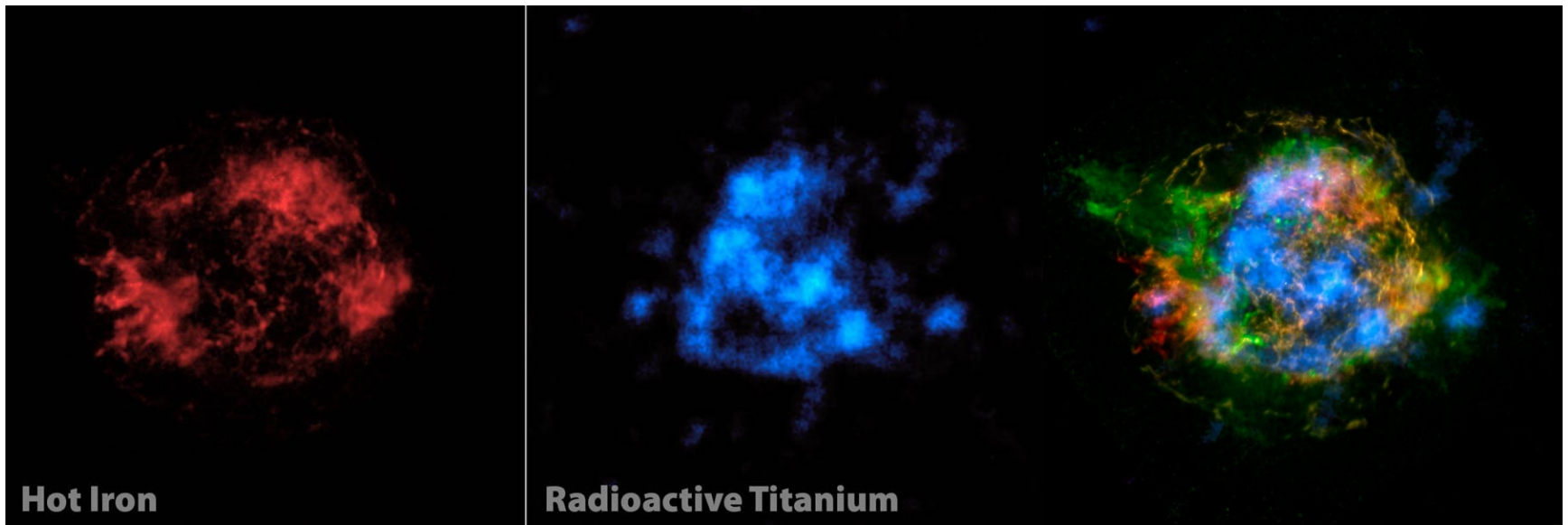
NuSTAR-források
optikai és infravörös-
színképe.



A NuSTAR néhány eredménye

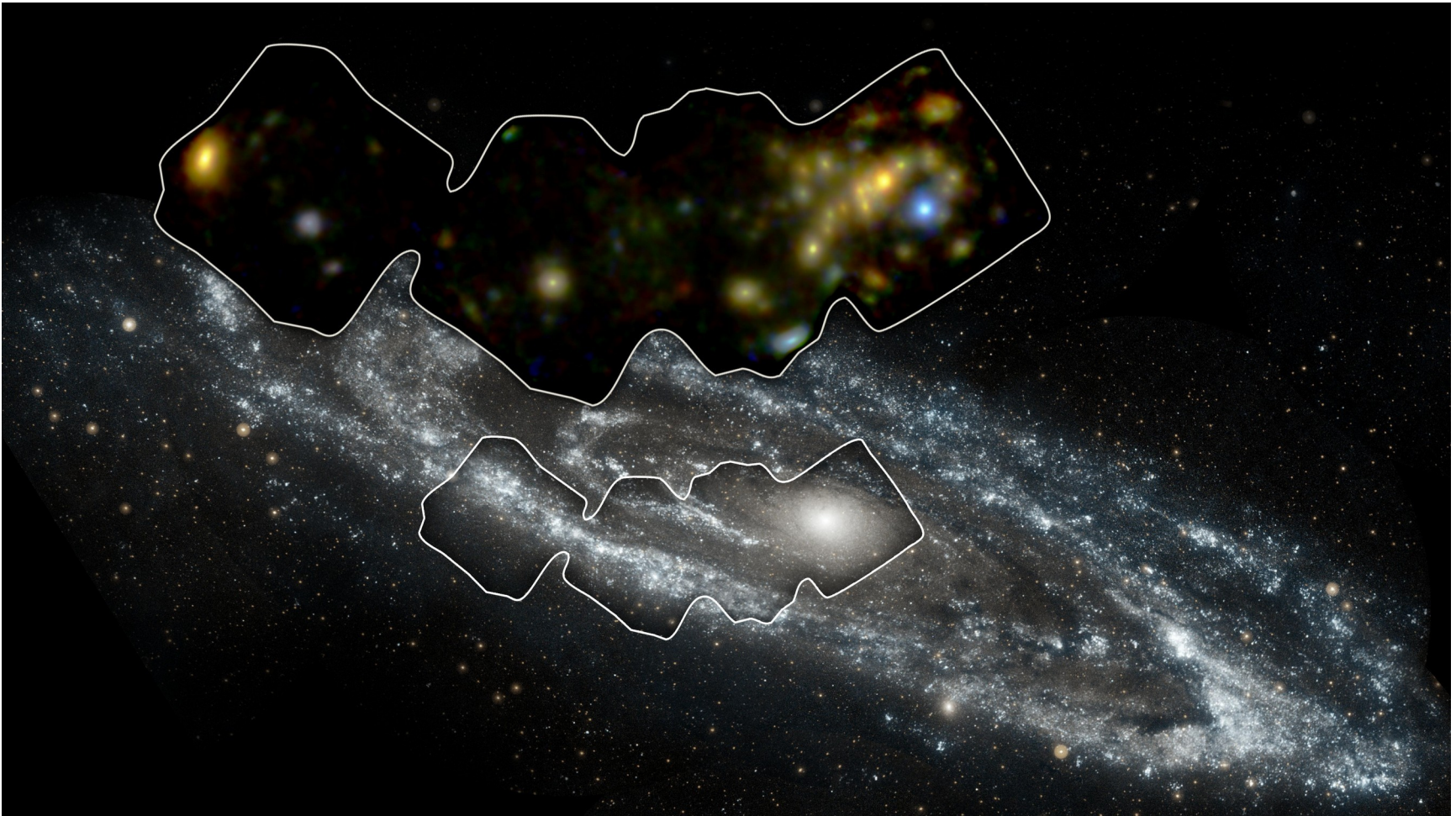
A Cas A szupernóva-maradvány 11000 fényévre van, és 10 fényév átmérőjű a tágulási ütem és a szögméret alapján. 1670 körül következhetett be a robbanás, de akkori megfigyeléséről nincs hiteles adat.

A NuSTAR méréseiből a ^{44}Ti és a Fe eloszlását határozták meg. Erősen aszimmetrikus mindkét elem eloszlása. Újabb bizonyíték a szupernóva-robbanás aszimmetrikus jellegére.



A NuSTAR néhány eredménye

Az M31 egy részének alapos vizsgálata röntgenben. A galaxis UV képe a GALEX felvétele.

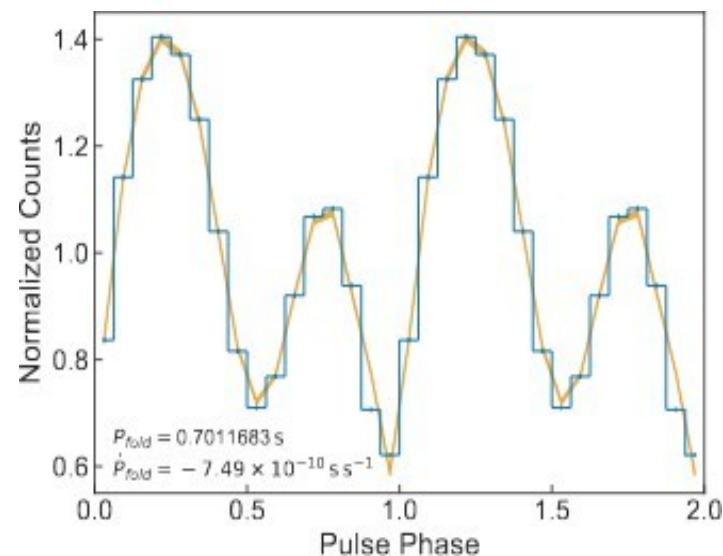
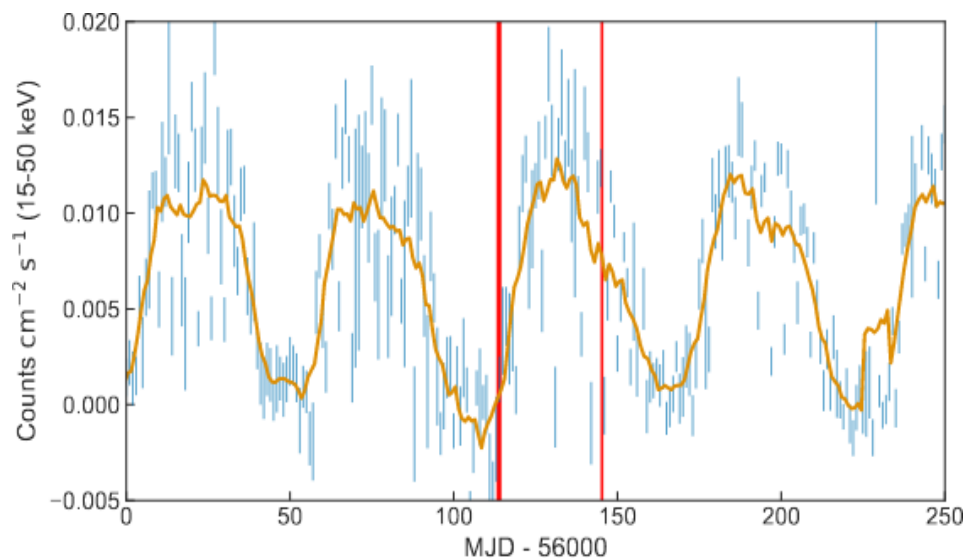


A NuSTAR néhány eredménye

A Kis-Magellán-felhőben levő SMC X-1 röntgenforrás tranziens pulzációjának vizsgálata (a Swift szondával együttműködve).

Table 1. Results of the folding pulsation search

Epoch	T_{ref} (MJD)	P (s)	$ \dot{P} $ (10^{-8} s s^{-1})
I	56113.28661210
II	56113.92279551	0.70121(20)	< 1.2
III	56145.10372569	0.70117(9)	< 0.77



A NuSTAR és az XMM-Newton szinergiája

A Kis-Magellán-felhő három területét alaposan vizsgálta a NuSTAR.

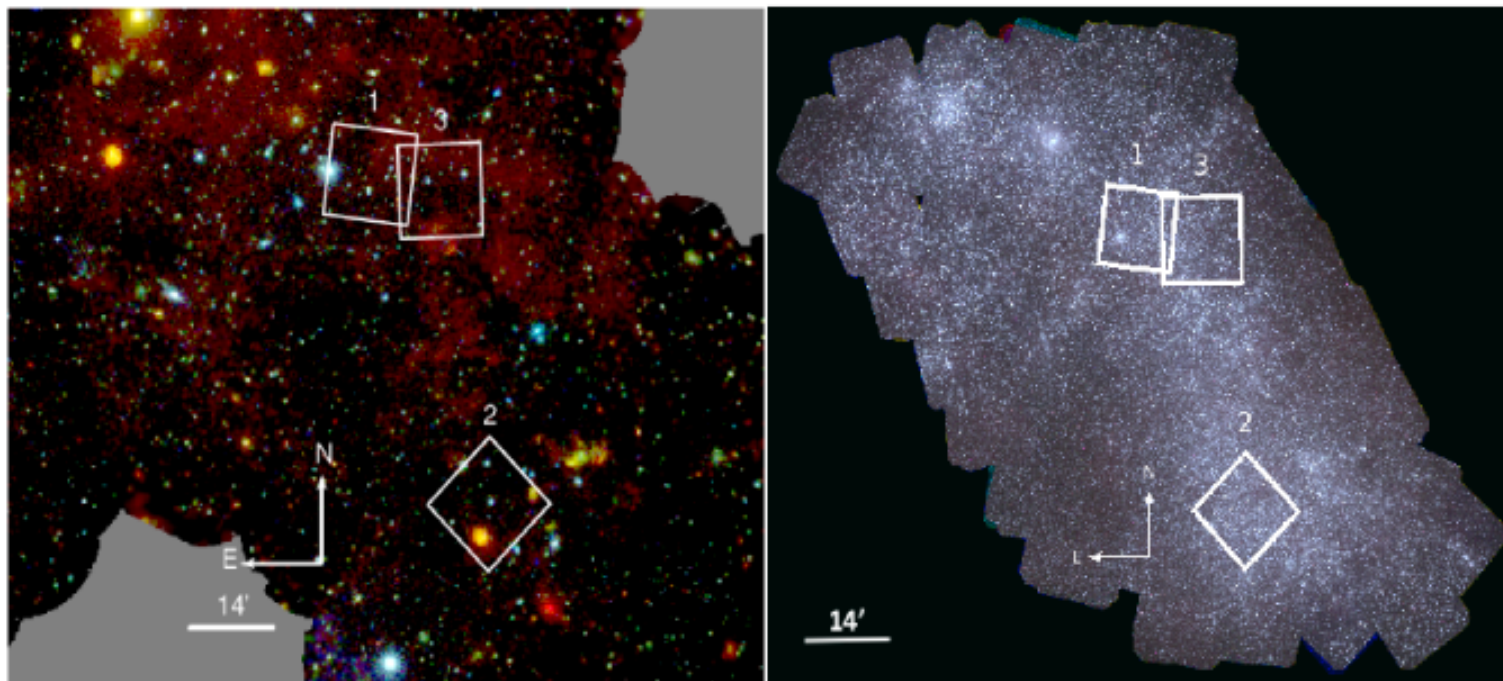


Figure 1. *XMM-Newton* X-ray mosaic image (left) and UV-optical mosaic image (right) of the SMC with the three fields observed by *NuSTAR* presented in this work marked. Left: The image was created by combining *XMM-Newton* observations in the direction of the nearby star-forming galaxy, available until April 2017 (Maitra et al. 2019) and following the procedure described by Haberl et al. (2012). The RGB color is composed of three energy bands 0.2-1.0 keV (red), 1.0-2.0 keV (green) and 2.0-4.5 keV (blue). Colors of point sources are characteristic of their nature, with orange being mostly SNRs, green galaxy clusters or background AGNs and blue HMXBs. Right: *Swift* ultraviolet optical telescope (UVOT) mosaic image of the Small Magellanic Cloud with the three fields observed by *NuSTAR* labeled. This RGB image was created using the following filters: blue = *uvw2*, green = *uvm2*, red = *uvw1*. The three *Swift* filters have the following central wavelengths, respectively: 1928, 2246, 2600 Å (Hagen et al. 2017).

A NuSTAR és az XMM-Newton szinergiája

A Kis-Magellán-felhő három területén talált különféle NuSTAR-források erőssége és keménységi aránya (hardness ratio).

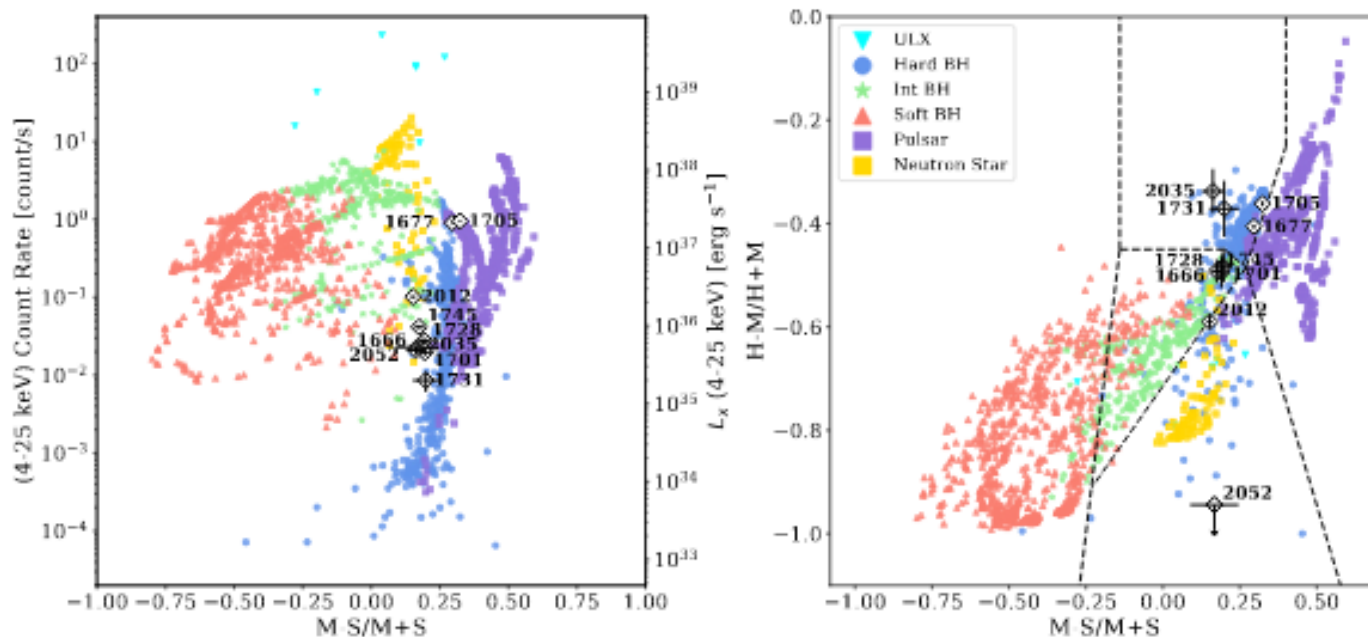


Figure 4. Hardness-intensity diagram and hardness ratio plots for *NuSTAR* sources combining all epochs of observation for each field. This figure is used to give an overview of the sources in our sample. To classify our sources we used diagnostic diagrams with each epoch of observation plotted separately for each source in order to account for variability between observations (see Figures 10-18). Colored points are Galactic *RXTE-PCA* observations of accreting black holes, pulsars and low-magnetic field neutron stars (Zezas et al., in preparation). White diamonds with black outlines and error bars indicate SMC sources with $\geq 3\sigma$ detection in the full 4–25 keV *NuSTAR* band. Black dotted lines show empirical boundaries between different compact-object types in color-color space, following Vulic et al. (2018). We note the small error bars on the sources in our sample due to the

A NuSTAR, a Swift és a Chandra szinergiája

Röntgentranziensek a Tejútrendszer centrumához közel. A Swift fedezte fel, de a Chandra és a NuSTAR is észlelte.

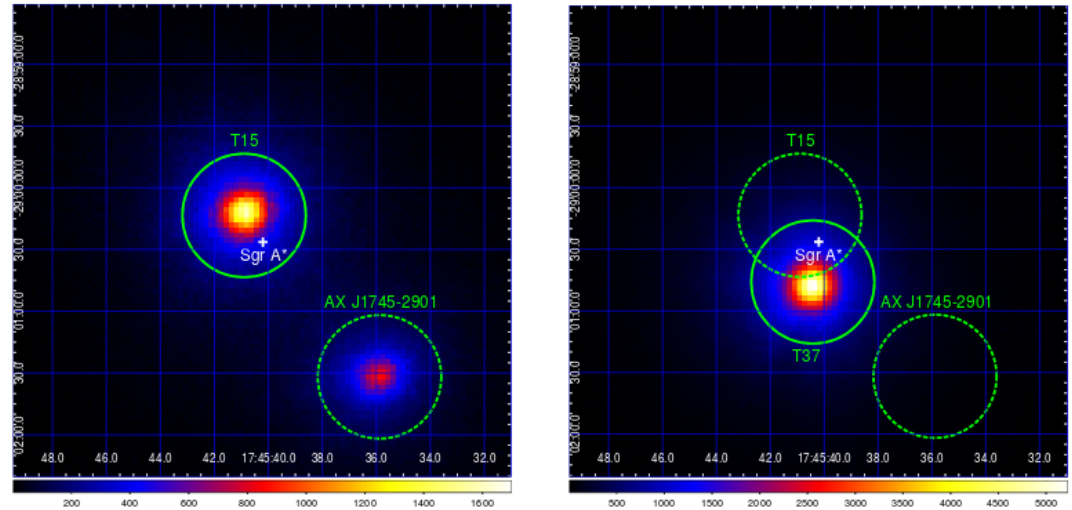


Figure 2. *NuSTAR* FPMA 3–79 keV images from the February (left) and June (right) 2016 observations. In the left image, solid and dashed circles (with a 30'' radius) in green indicate T15 and AX J1745.6–2901, respectively. In the right image, a solid green circle (with a 30'' radius) shows the location of T37 whose X-ray emission dominated over T15 and AX J1745.6–2901 (which are indicated in dashed green circles). The location of Sgr A* is indicated by a white cross near the center of the images.

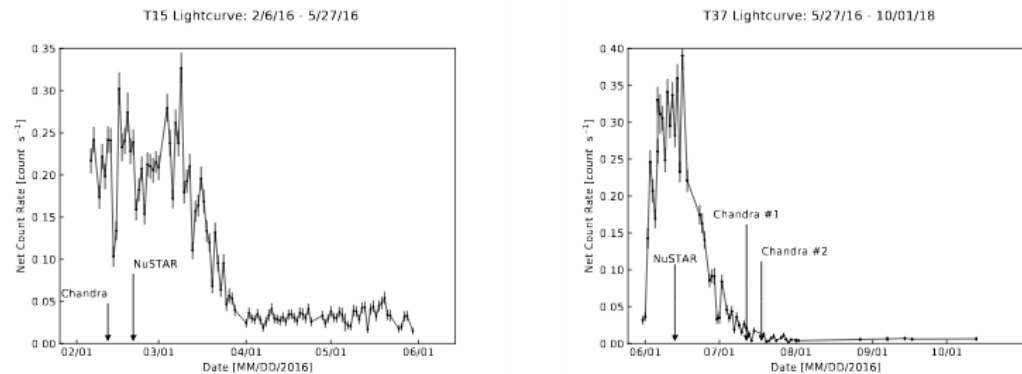


Figure 1. *Swift* 2–10 keV lightcurves of T15 (left) and T37 (right) with 1- σ statistical errors on the net counts. For T15, *Swift* XRT net count rates were calculated by extracting source counts from a $r = 15\text{--}40''$ annular region around the *Chandra* position and subtracting background counts from a source-free region of equivalent size. For T37, a similar annulus was used for extracting source photons but with the half closest to T15 removed from the region to avoid contamination from T15. The *NuSTAR* and *Chandra* observation dates are indicated by arrows. Note that the lightcurve of T15 is shown from 2016 February 6, when the *Swift* monitoring of the GC resumed, to 2016 May 27, when the T37 outburst began.

A NuSTAR és a Swift szinergiája

A T CrB szimbiotikus kettőscsillag korongjának instabilitásából eredő röntgenkitörés észlelése 2015-ben. Meghatározható az esemény során befogott tömeg értéke.

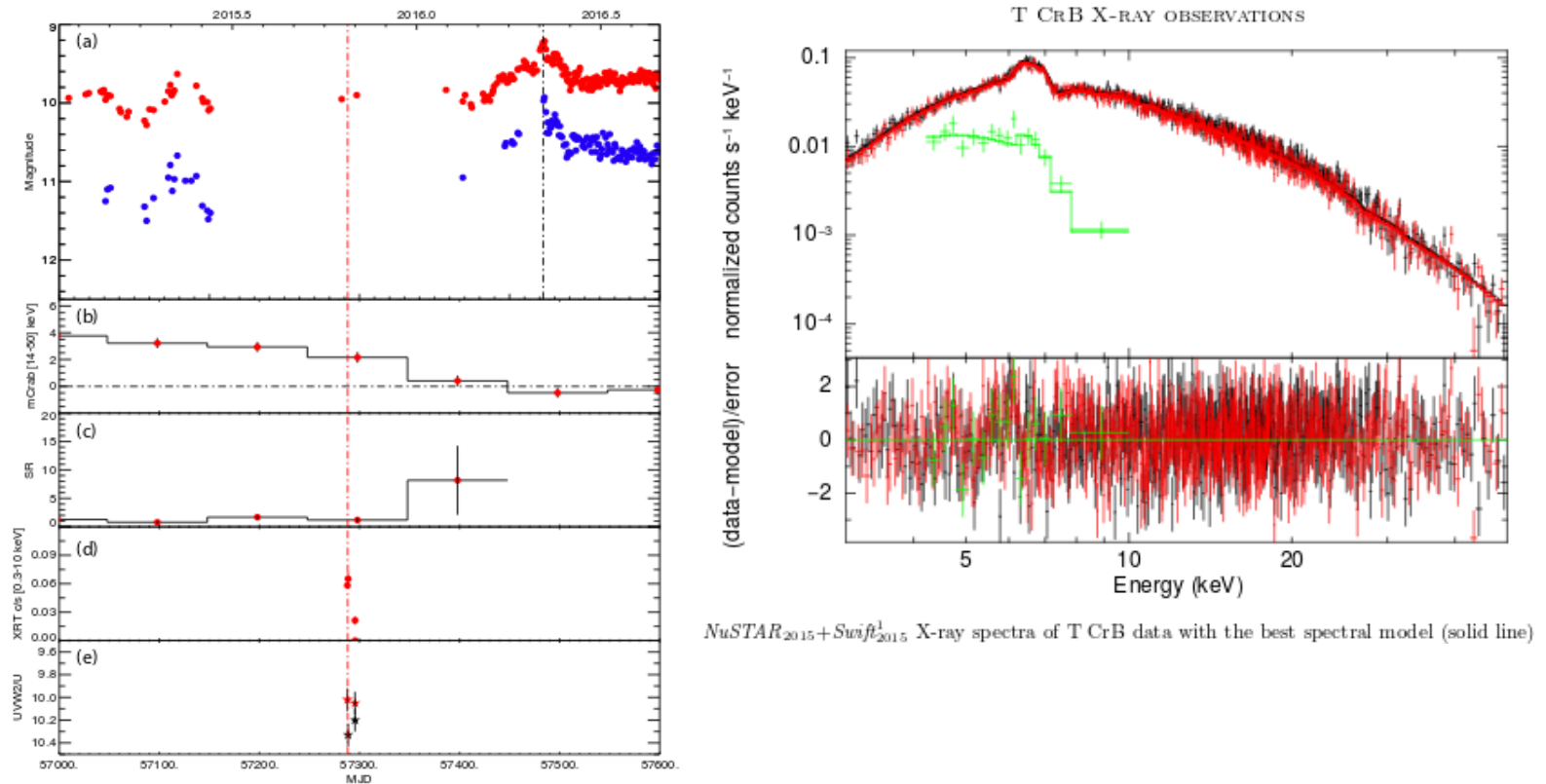


Figure 1. (a) T CrB AAVSO B (blue dots) and V (red dots) light curves. Vertical, dashed lines show the date of the *NuSTAR*+*Swift*¹ observation (red) and date of maximum optical brightness (black). (b) *Swift* BAT 14–50 keV light curve with 100 days bins. It is evident that the BAT flux started to decay quasi-simultaneously with the increase in the optical flux, which started around December 2014, it became too faint for its detection right around the optical maximum. (c) *Swift* BAT softness ratio (15–25/25–100 keV) with 100 days bins. This ratio steeply increased owing to the softening of the X-ray emission. (d) *Swift* XRT 0.3–10 keV count rate. (e) *Swift* UVOT UVW2 (red stars) and U (black stars) magnitudes determined from the CCD readout streak. Even during the rise to optical maximum, the UV flux has already increased dramatically, while previous

A NuSTAR által talált érdekes tranziens

Az NGC 6946-ban a galaxis magja alatti tranziens forrás (a képen zöld) a negyedik észlelt ULX ebben a galaxisban. Optikai fénylés nem volt a helyén, így SN nem lehetett. Az ULX-ek általában hosszabb ideig észlelhetők, mint ez. Talán fekete lyuk nyelt el egy csillagot.



AstroSat

AstroSat: India első csillagászati űrszondája (UV + röntgen). 2015 óta működik.

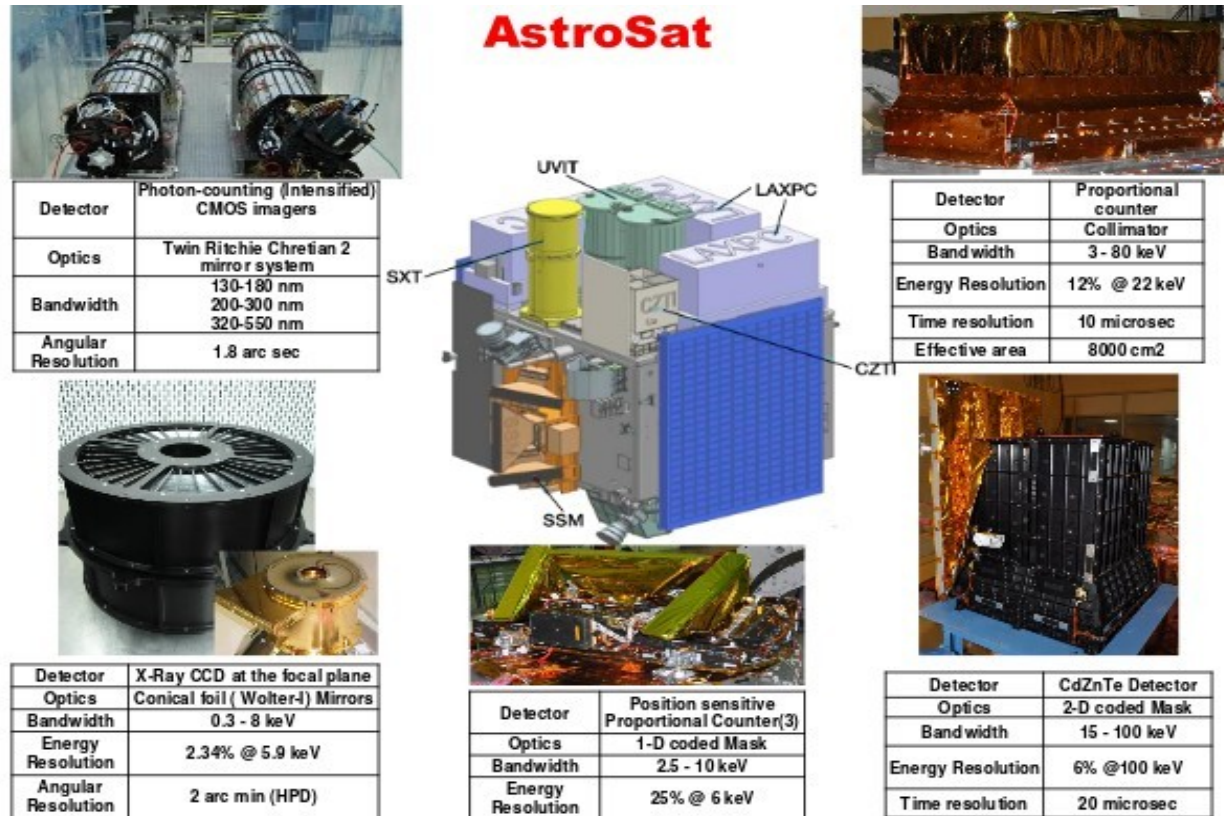
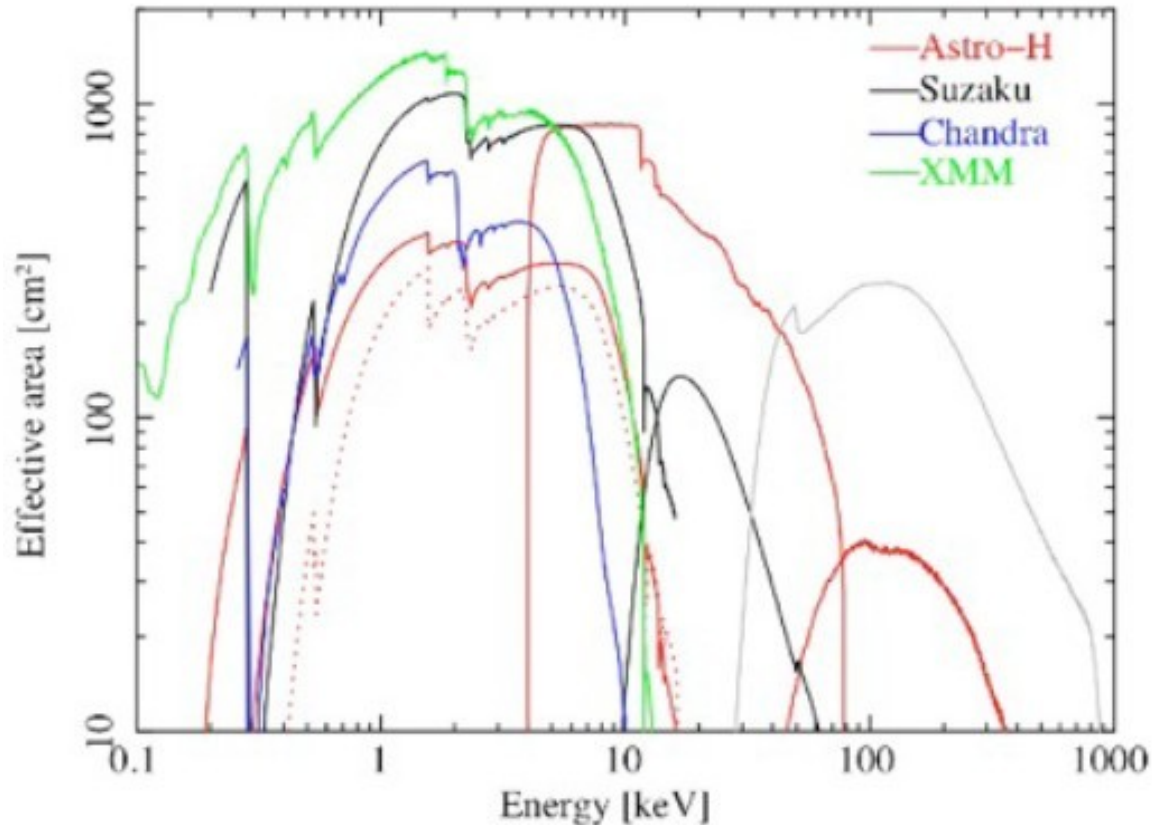


Figure 1: An assembled view of AstroSat. The pictures of the scientific instruments shown are (clockwise, from top left): UVIT telescope; one assembled LAXPC unit; final assembled CZTI Imager; assembled SSM units; SXT mirror and the gold coated foils shown in the inset. The

Hitomi

Hitomi ('pupilla') = Astro-H = NeXT (New X-ray Telescope) (JAXA, NASA, SRON, CSA): az ASCA utódja a 10 keV-nél keményebb röntgensugárzás vizsgálatára. A japánok eddigi legnagyobb tömegű szondája (2400 kg). Indítás: 2016. február 17., LEO-pályára 7 műszerrel a fedélzetén. Néhány héttel később a helyzetellenőrző rendszerrel megszakadt a kapcsolat, a szonda felpörgött, és a gyengébb szerkezeti elemek tönkrementek.



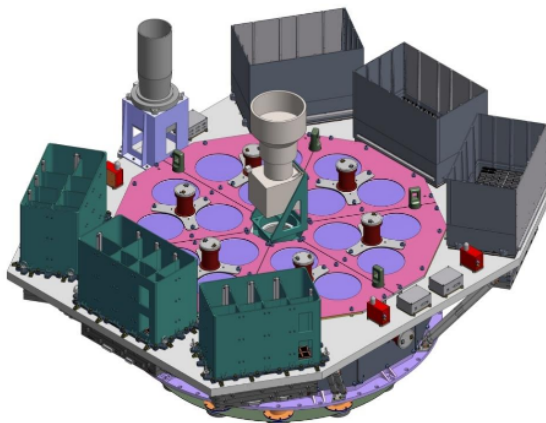
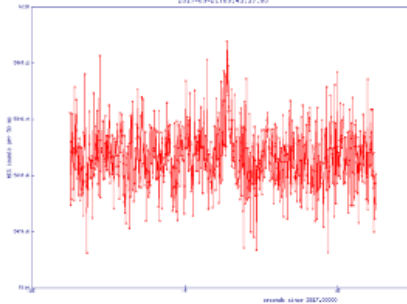
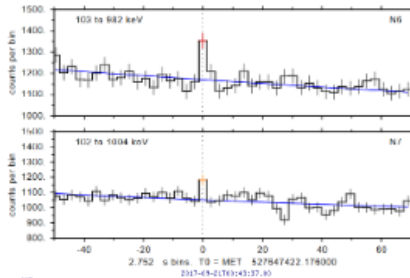
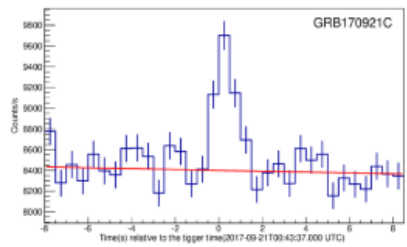
Még újabb röntgenszondák

Mikhailo Lomonosov: a Moszkvai Egyetem szondája. 2016. április és 2018. június között működött 500 km-es LEO pályán.

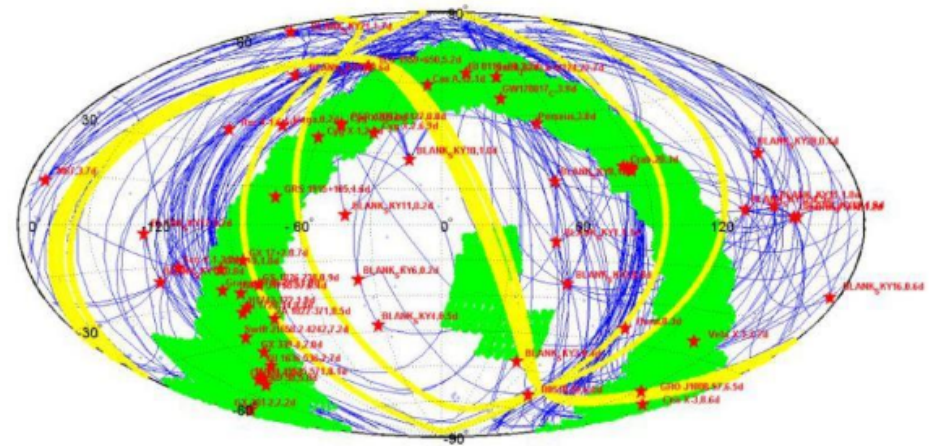
Insight HXMT vagy **HXMT** (Hard X-ray Modulation Telescope): Kína első röntgenszondája.

Indítás: 2017. június, három detektorral.

Pontforrások vizsgálata, szkennelés és GRB-k észlelése (bal oldali kép) 1 és 250 keV között akár nagy (ms-nál jobb) időfelbontással is.



payloads onboard Insight-HXMT. The 18 cylindrical NaI/CsI detectors located at the center are HE, the lower left are LE and upper right ME.



Red stars: point observation

Green regions: small area scan

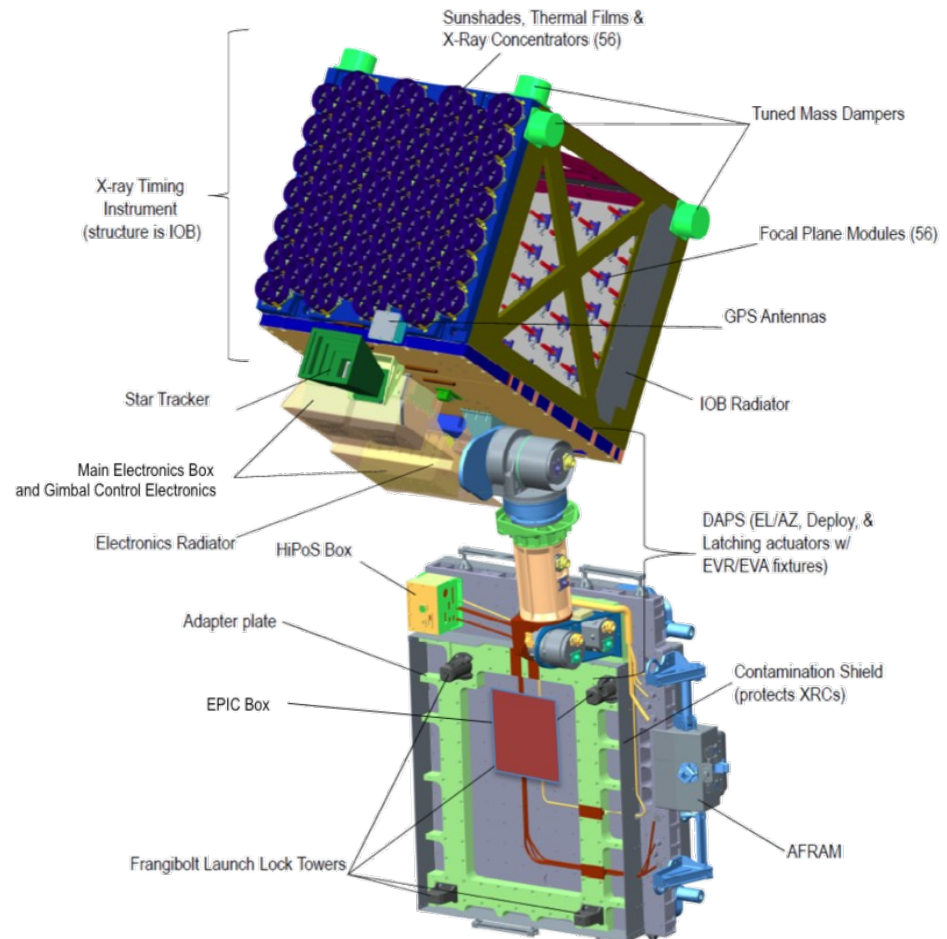
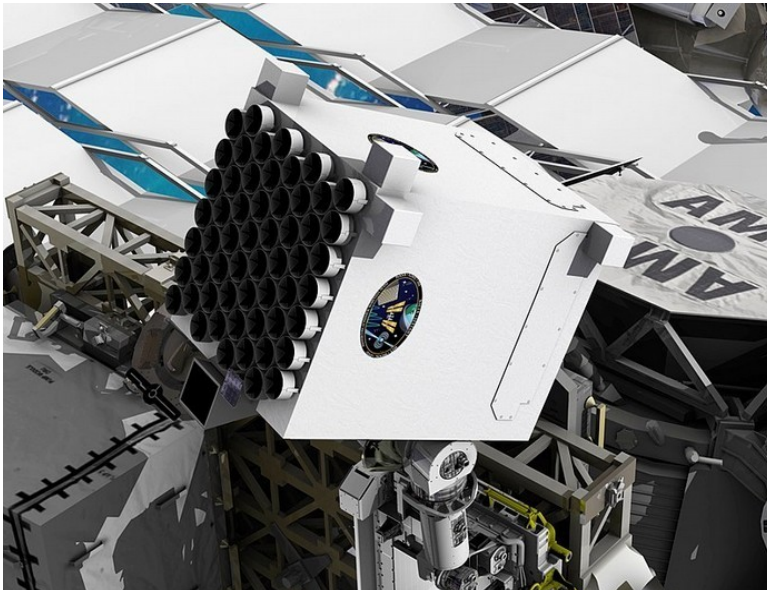
NICER

NICER (Neutron star Interior Composition Explorer): 2017 óta működik a Nemzetközi Űrállomáson. A NASA és dánok közös műszere. A SpaceX Falcon-9 rakétája vitte fel.

Az űrállomás navigálására használható a SEXTANT (Station Explorer for X-ray Timing and Navigation Technology).

A röntgenpulzárokon alapuló navigáció az XNAV.

A lágyröntgen tartomány vizsgálata 0,2–12 keV között.



A NICER eredményeiből

2018 májusában a NICER méréseiből felfedezték az eddigi legrövidebb keringési periódusú röntgenpulzárt: a kettős periódusa 38 perc.

A bal oldali képen a NICER első 22 havi méréseinek útvonala látható.

A fényes foltok a röntgenben erősen sugárzó pulzárak.

A jobb oldali kép egy tipikus triziens magnetár intenzitásváltozásait mutatja több lágyröntgen sávban.

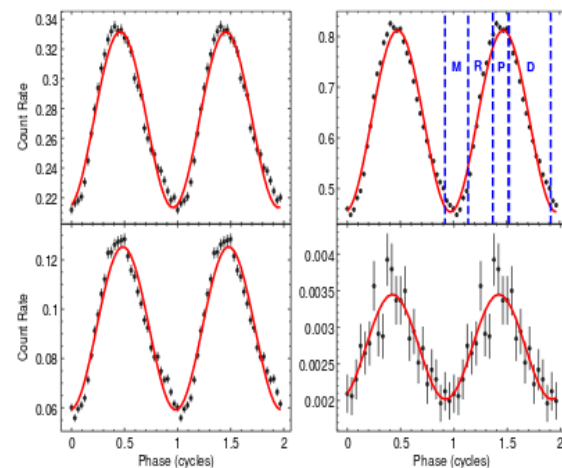
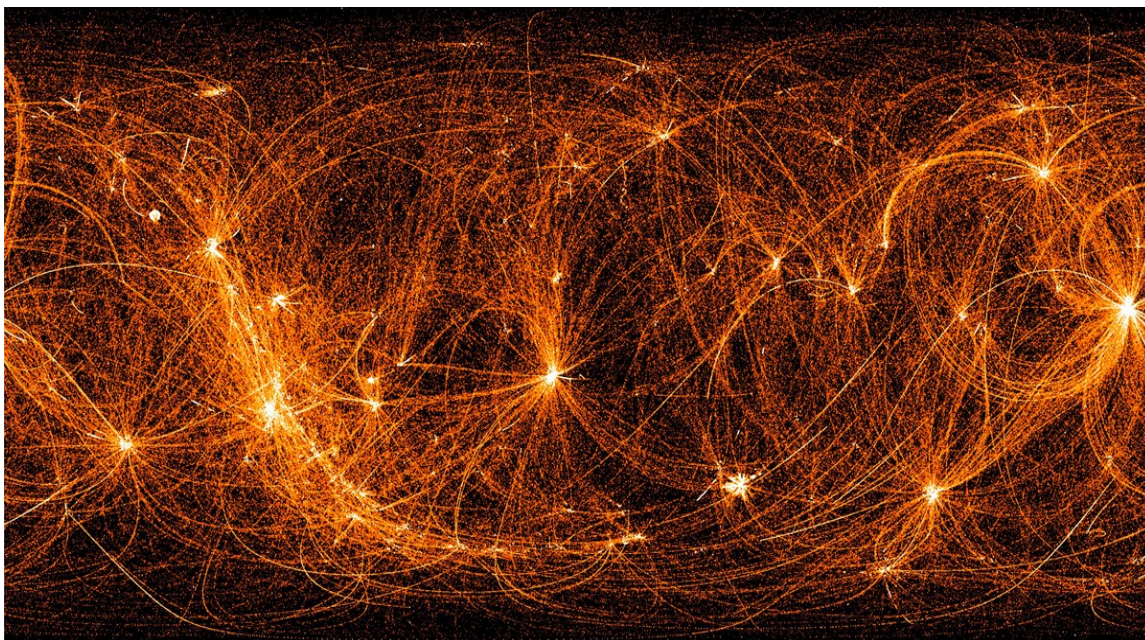


Figure 1. Energy dependent X-ray pulse profiles, including background. From left to right and top to bottom, panels show the pulse profiles in the 0.7–1.5, 1.5–3.5, 3.5–6.5, and 6.5–8.0 keV bands. Best-fit sinusoidal functions are overplotted for each pulse profile. Vertical lines in the upper right panel indicate the spin phase intervals selected for phase-resolved spectral analysis. Minimum, Rise, Peak and Decay intervals are labeled M, R, P, and D, respectively.

A NICER, a Swift és a HXMT szinergiája

Egy Swift-forrás 2018-as kitörésének észlelése a NICER-rel (lent).

A forrás röntgenfénygörbéje az Insight HXMT-vel észlelve (jobbra).

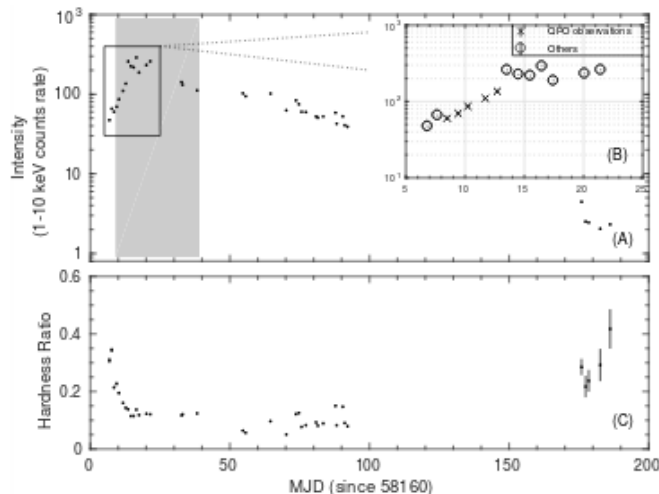


Figure 2: The lightcurve and hardness evolution diagrams of Swift J1658.2-4242's outburst in 2018 observed by *NICER*. Each point correspond to a *NICER* observation. The upper panel shows the 1-10 keV energy band lightcurve. The grey area correspond to the interval when *Insight-HXMT* performed observations. There was an interval lasting about 80 days that *NICER* did not perform any observation before the end of the outburst. Panel (B) presents the location of QPO observations in the raising phase of the outburst. The last five observations show that the source count rate stay in the 1.5 ~ 2 cts/s level at quiescent state, which can be used to evaluate the background level. The lower panel shows the hardness evolution of the outburst. The hardness is defined as the count rate ratio between 6-10 keV and 1-6 keV.

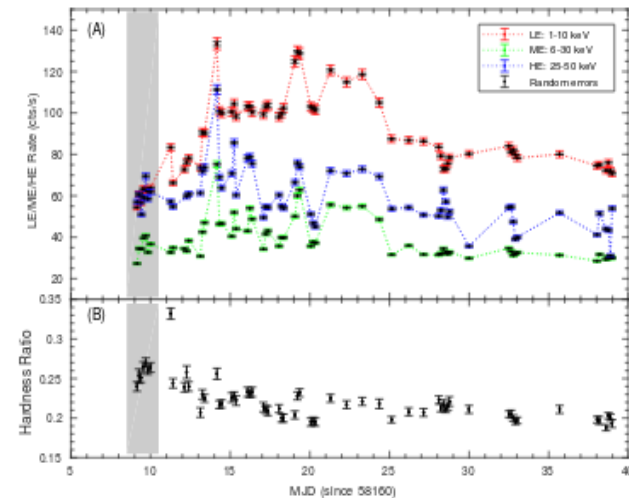


Figure 1: X-ray lightcurves and hardness evolution diagram of Swift J1658.2-4242 in its 2018 outburst observed by *Insight-HXMT*. Panel (A) presents the lightcurves by LE lightcurve (1-10 keV), ME lightcurve (6-30 keV) and HE lightcurve (25-50 keV). A systematical error of 0.02 is add to the lightcurves of three instruments. The random errors are presented in the lightcurves with black-dot symbol. The hardness in panel (B) is defined as the count rate ratio between 6-10 keV and 1-6 keV. The grey area corresponds to the time interval when QPOs are detected. in ME/HE lightcurves correspond to QPO observations.

A röntgenfénygörbén látszik a fekete lyuktól származó kváziperiodikus oszcilláció (QPO).

A legújabb röntgenszonda

Szpektr-RG: az RG a röntgenre és gammára utal. Orosz vezetéssel a távoli UV-től a kemény röntgenig érzékeny műszerek vannak a fedélzetén. A Szunyajev által kezdeményezett projektet 2002-ben törölték, de 2005-ben sikerült felélesztetni. A német közreműködés megmaradt.

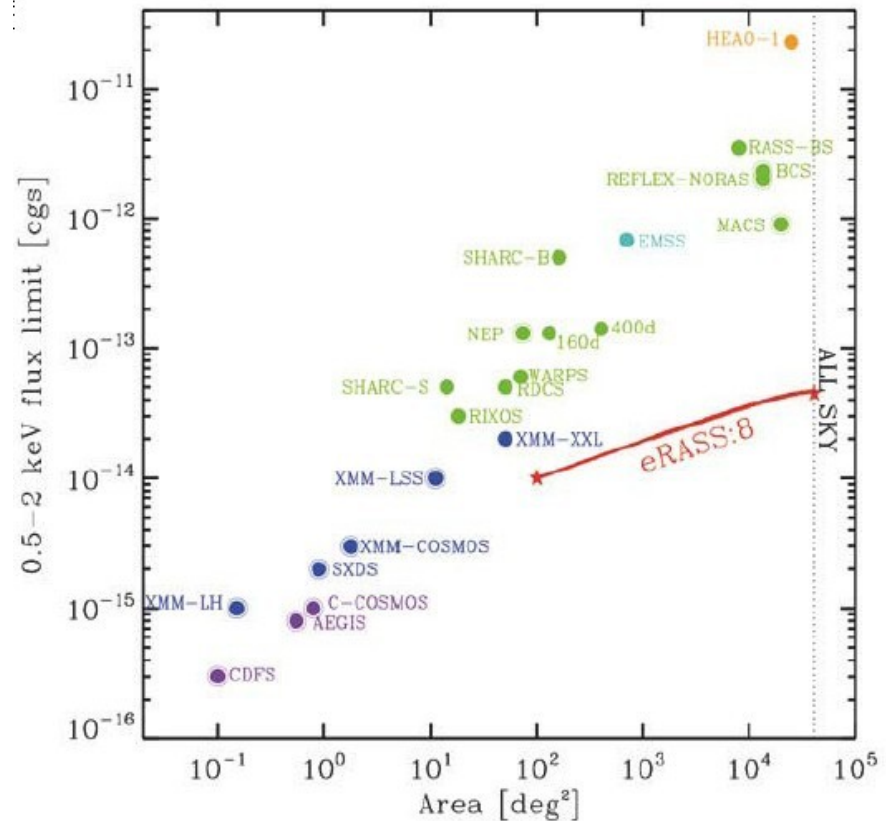
Indítás: 2019. július, 7 évre tervezett működési idő.

Az L2 pont körüli halópályán 2019. október óta.

A korábbihoz készített két műszer (JET-X: Leicesteri Egyetem 2 párhuzamos röntgentávcsöve; TAUDEX: Tel Avivi Egyetem UV-távcsöve) nincs a szondán.

Újonnan készült:

- eROSITA (MPI Extraterrestrial Physics): Wolter-távcső (Extended Roentgen Survey with an Imaging Telescope Array) (a képen eRASS);
- ART-XC (IKI): kódolt maszkú távcső.



A közeljövő röntgenszondái

SVOM (Space Variable Objects Monitor): Kína és Franciaország közös röntgen- és gammacsillagászati projektje. (bővebben lásd a gammacsillagászatnál)

ATHENA (Advanced Telescope for High Energy Astrophysics): az ESA tervezett röntgenobszervatóriuma. Észlelési tartomány: 0,2–12 keV. A NASA által korábban tervezett Constellation-X és az ESA által tervezett XEUS összevonásából kidolgozott IXO (International X-ray Observatory) csökkentett költségű változata.

2014-ben választották az L missziók közé. Várható jóváhagyása: 2021, tervezett indítása egyelőre 2031.

A Nap–Föld rendszer L2 librációs pontja körüli halópályára küldik. 1,4 m² effektív felületű tükör lesz rajta (1 keV-nál), 5 ívmásodperces felbontóképességgel.

Detektorok:

- WFI (Wide Field Imager): spektrográf + kamera
- X-IFU (X-ray Integral Field Unit): spektrométer, színeképek 5 ívperces látómezőben levő forrásokról

Mozgatható tükörrel vetítik az összegyűjtött röntgensugarakat a két fedélzeti műszer egyikébe.