# ŰRCSILLAGÁSZAT

## RÖNTGENCSILLAGÁSZAT

Összeállította: Szabados László

Szegedi Tudományegyetem

2019

# A röntgentartomány

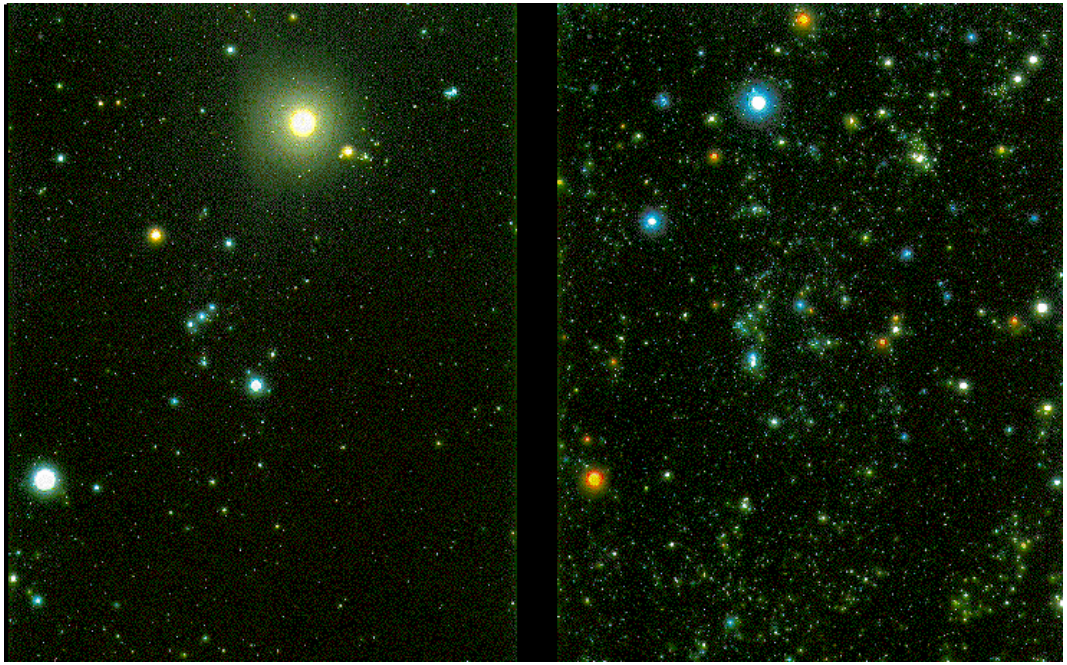
A hullámhossz helyett a fotonenergiával jellemzik.

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

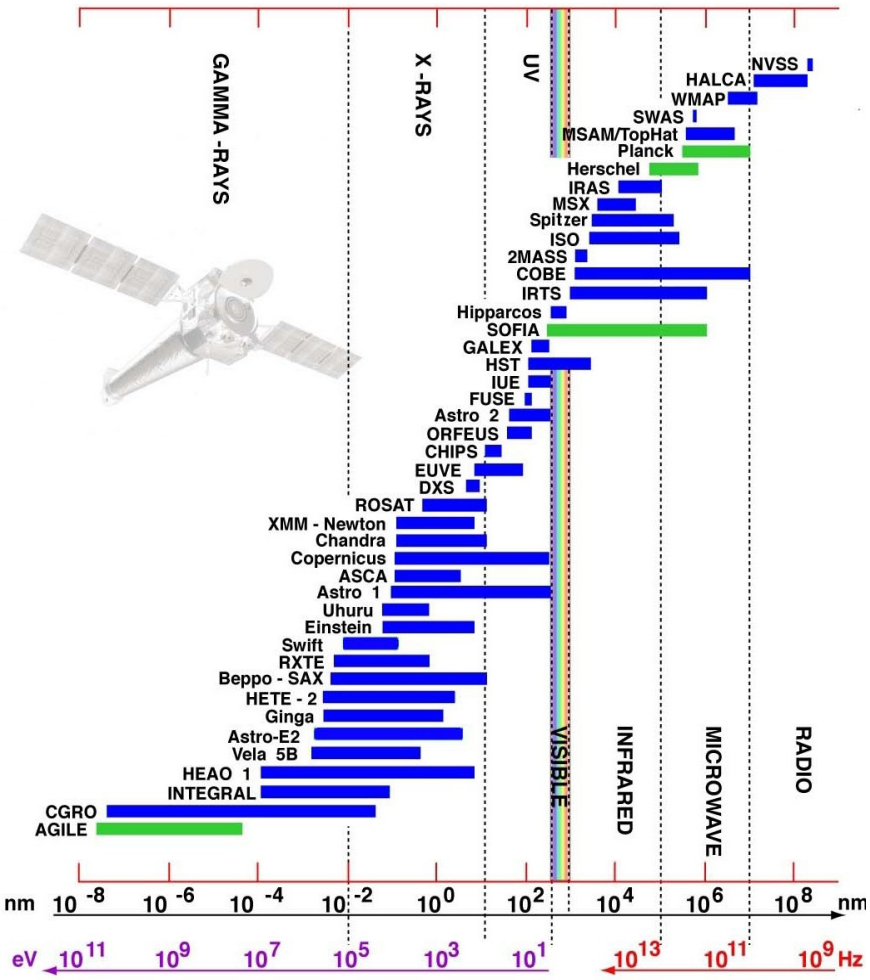
Keményröntgen-tartomány: $0{,}002\ \text{nm} < \lambda < 1\ \text{nm}$ ; $0{,}5\ \text{MeV} > E > 1\ \text{keV}$

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

Durván: $\lambda \cdot E = 1$ [nm][keV]



# Röntgencsillagászat röviden




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

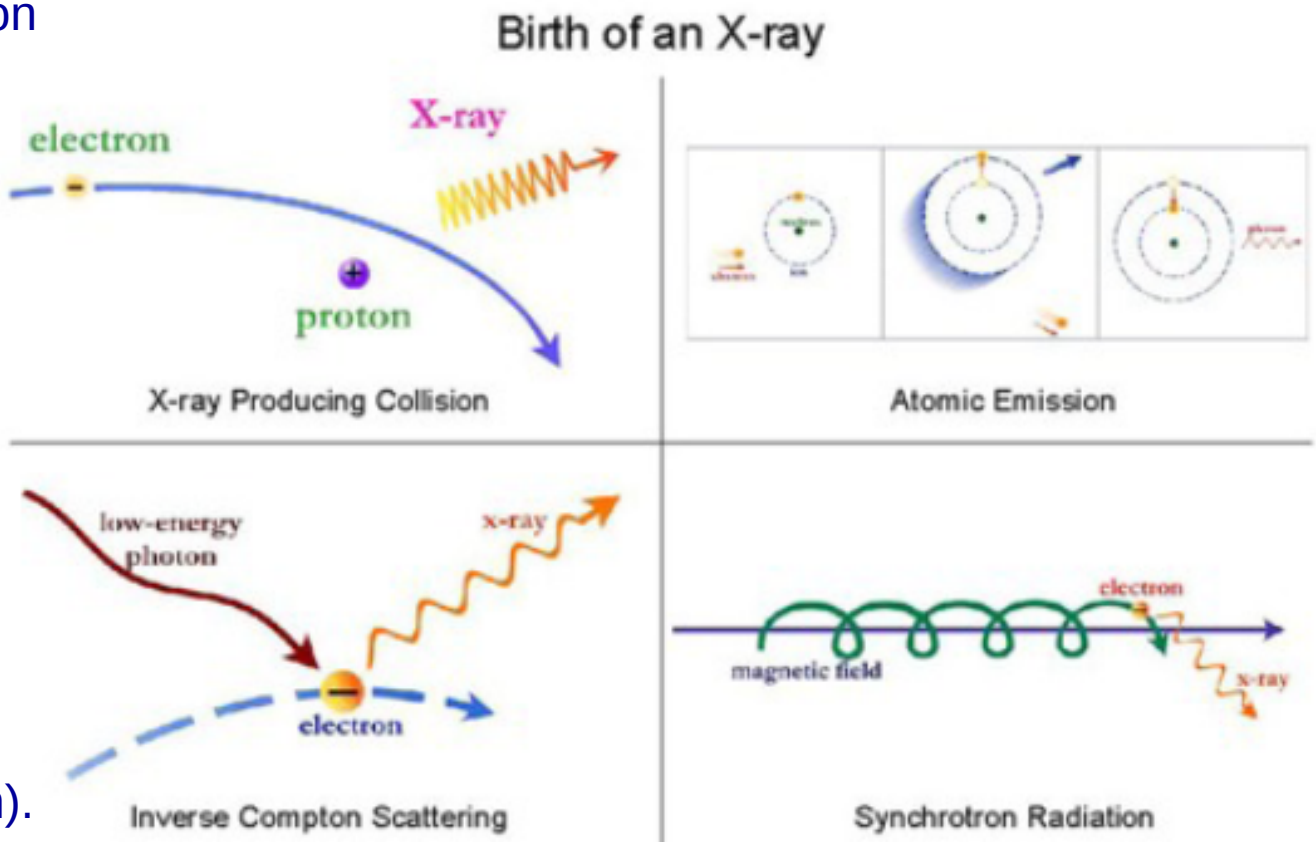
Detektor: GM-cső, proporcionális számláló (nemesgázzal töltött kamra, a röntgenfoton elektronlavinát vált ki benne); később kódolt maszk az irányérzékenység javítására; még később mikrocsatornás lemez.

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, $\Theta$ a beesési szög; $d$=1 és $n$=1 esetén $\lambda/\Delta\lambda$=1000 lehet a felbontás.

Képalkotás: lágyröntgen-tartományban súroló beesésű távcsővel.

# Röntgencsillagászat 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).



# Röntgencsillagászat 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, XXM-Newton, Suzaku *IXO* |
| 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 |

# Röntgencsillagászat 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. |

# Röntgencsillagászat röviden

Satellites with extra-solar X-ray experiments

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

# Röntgencsillagászat röviden

Satellites with extra-solar X-ray experiments

| Launch date | Launch vehicle | Orbit† Perigee (km) | Apogee (km) | Inclination* | Notes |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

# Röntgencsillagászat 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

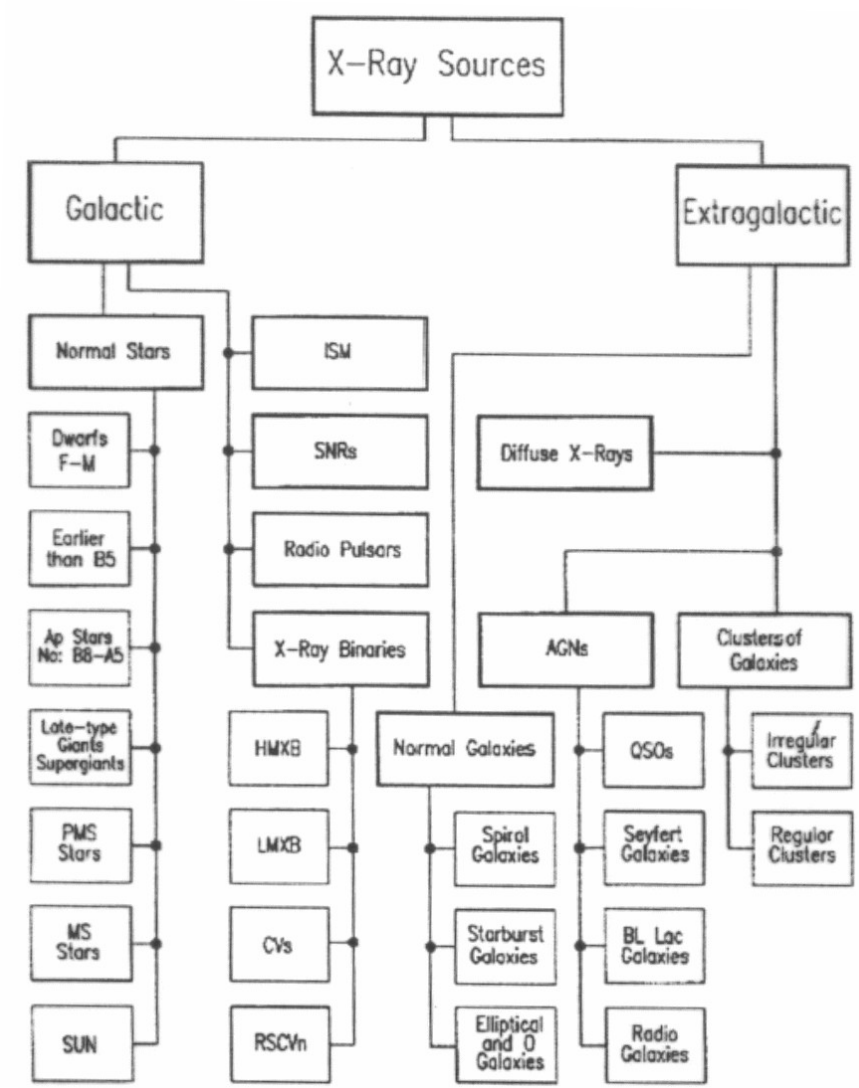


**Table 1.** X-ray astronomy satellites 1969–2000. Adapted from Charles and Seward (1995) updated January 2000.

| 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 | July1976 | 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 | Képalkotás, spektrométer, proporcionális számlálók |
| EXOSAT | | ESA | 1983 – 1986 | 0.04 – 2,0 keV | Képalkotás, spektrométer, proporcionális számlálók |
| ROSAT | Roentgen Satellite | Németország, NASA, Nagy-Britannia | 1990 – 1999 | ~ 1 keV | Képalkotás, proporcionális számlálók |
| Ulysses | | ESA, NASA | 1990 – | 5 – 150 keV | 2 db CsI szcintillátor, 2 db szilícium érzékelő, napkutatás, gammakitörések |
| Compton | Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) | NASA | 1991 – 2000 | 30 keV – 30 GeV | Képalkotás, 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, napkutatás |

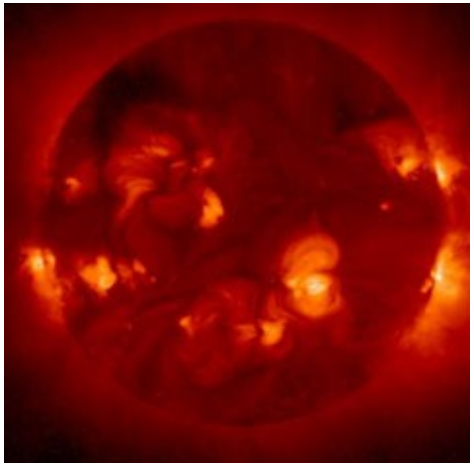
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ASCA | Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics | Japán, NASA | 1993 – 2001 | 1 – 10 keV, széles sávú röntgen | Képalkotás, spektrométer (kombinált) |
| SOHO | Solar and Heliospheric Observatory | NASA, ESA | 1995 – | EUV, röntgen | 12 db műszer, koronográf spektrométer, részecskedetektor, 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 | Képalkotás, spektroszkóp, proporcionális számlálók |
| Chandra | Advanced X-Ray Astrophysics Facility (AXAF) | NASA | 1999 – | 0.1 – 10 keV | HRC: nagyfelbontású képalkotás, ACIS: CCD képalkotó 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: képalkotó kamera, OM: optikai, UV, IR monitor |
| HETE – 2 | High-Energy Transient Explorer 2 | NASA | 2000 – | 0.5 – 400 keV | FREGATE: nagy látómezejű gammaspektrométer, WXM: nagy látómezejű, közepes energiájú röntgenkamera, SXC: nagy látómezejű lágy-röntgen kamera |
| HESSI | High Energy Solar Spectroscopic Imager | NASA | 2001 – | 3 keV – 20 MeV | képalkotó kamera, gammaspektrométer, napkutatás |

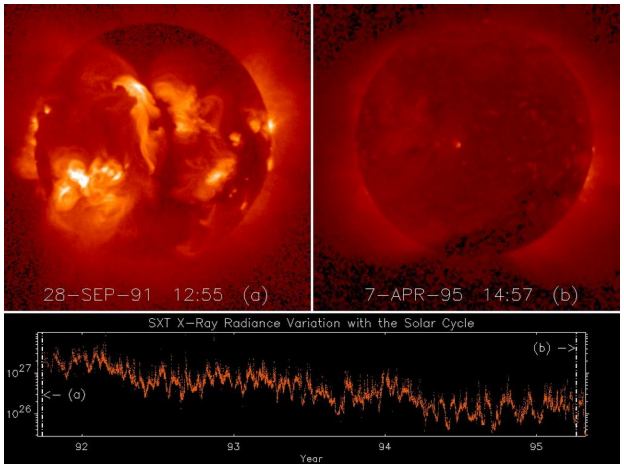
Újabb szondák (részben gammaszondák röntgendetektorral): INTEGRAL (2000-), HETE-2 (2000-), Swift (2004-), Szuzaku (2005-), NuSTAR (2012-), AstroSat (2015-), Hitomi (2016), Továbbá a Napot kutató röntgenszondák.

# Napkutató röntgenszondák

**Yohkoh** (japán, ‘napsugár’): 1991. aug.-2001. dec. (napfogyatkozáskor megszűnt az irányzás, a szonda felpörgött), 2005. szept.: elégett a földi 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 színképe).
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).

A többi napszonda sokkal általánosabb (SOHO [199x-], Ulysses [199x-], SDO [200x-], STEREO [201x-] stb.)
??????????????





# Röntgenfényesség

Nincs közös fotometriai rendszer (szemben az optikai fényességméréssel)

A Rák-ködhöz hasonló színkép esetén (2-11 keV között):

1 crab = 1060 μJy

(1 Jy = $10^{-26}$ w/m$^2$/Hz).

Kezdetben UFU (1 Uhuru-beütés/s):

1 UFU = 1,1 μJy

(az OSO-7 és Ariel megint más rendszert használt)

A csillagközi elnyelésre viszont nem szokták korrigálni a fluxust (pedig nagy távolság esetén kellene).

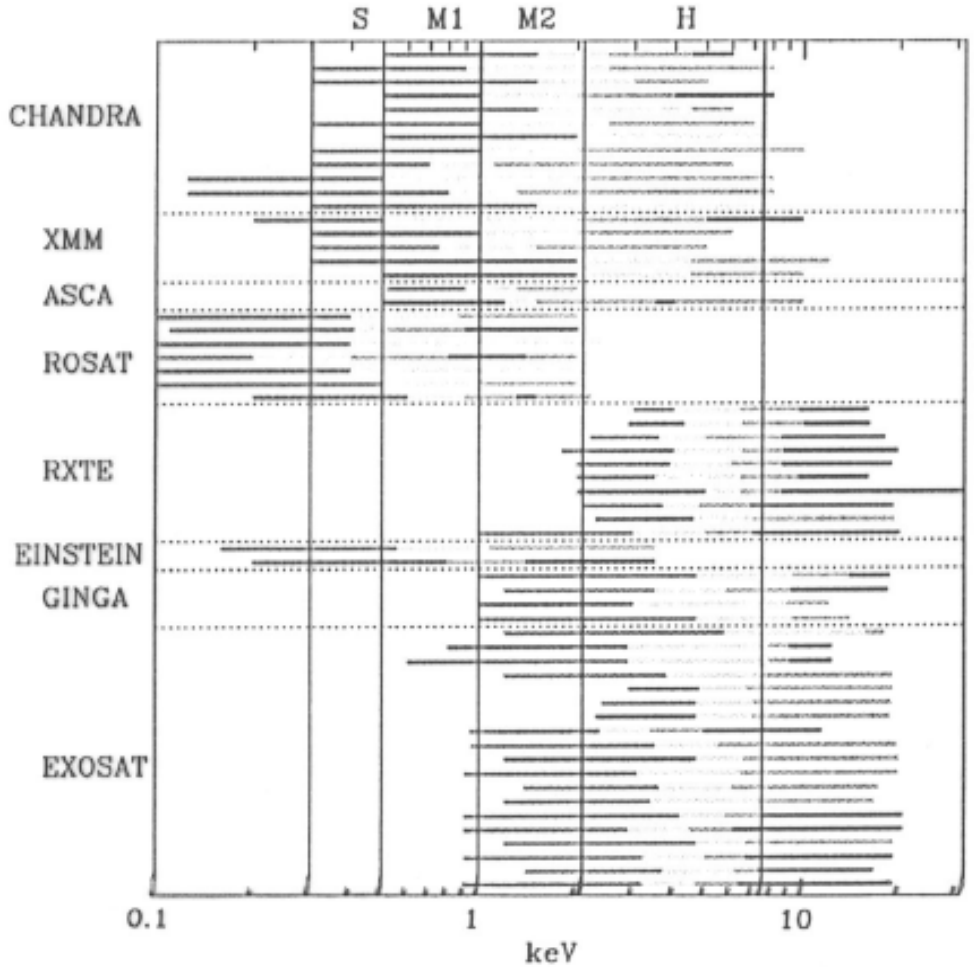
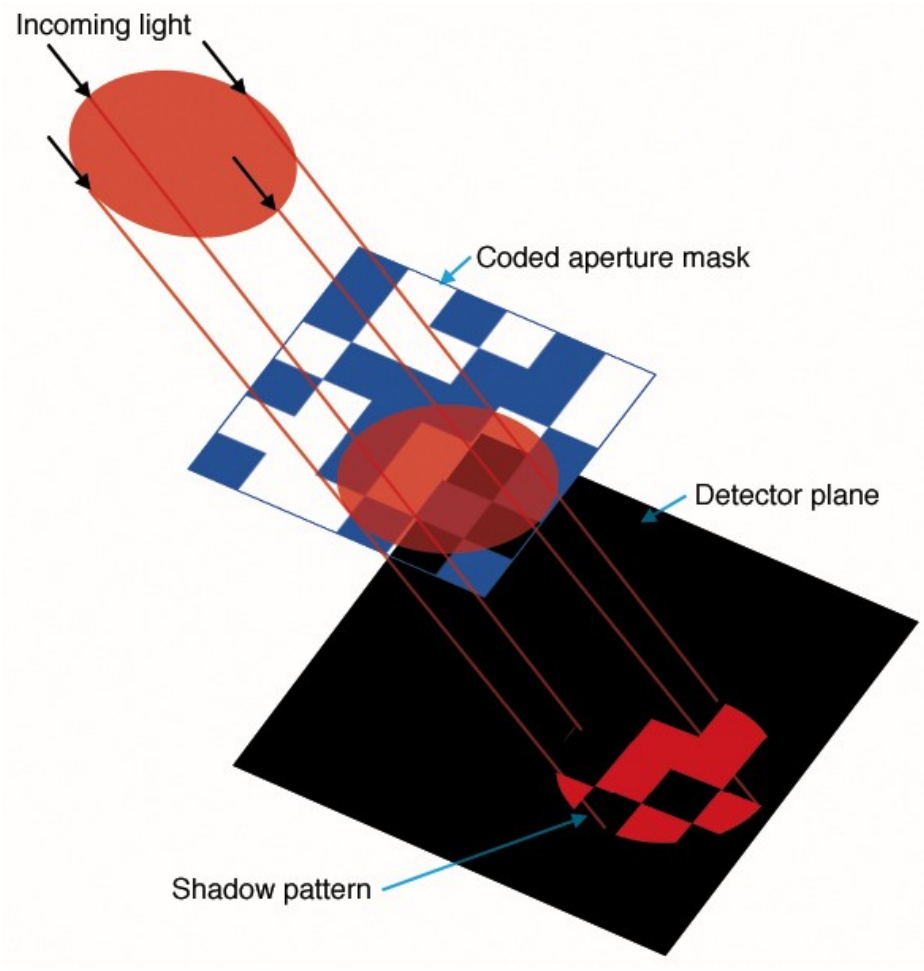


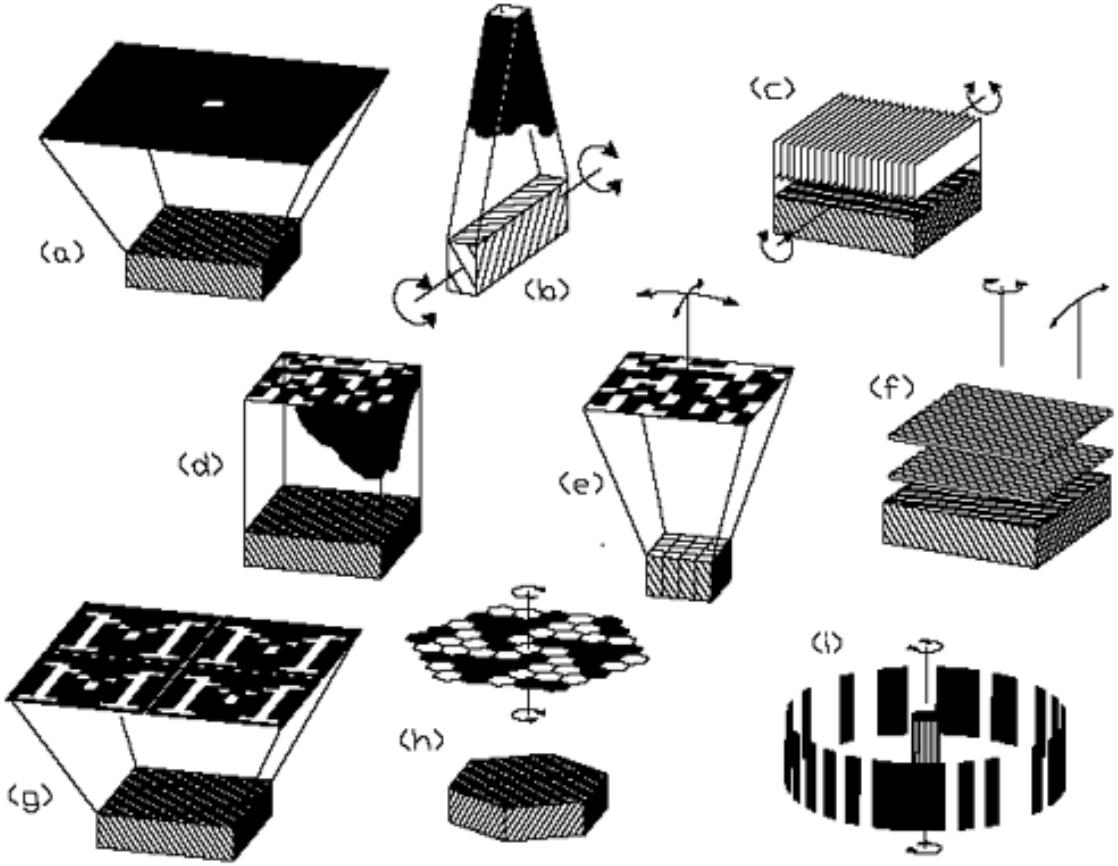

**Figure 1.** Energy bands used in various publications for X-ray satellites. The

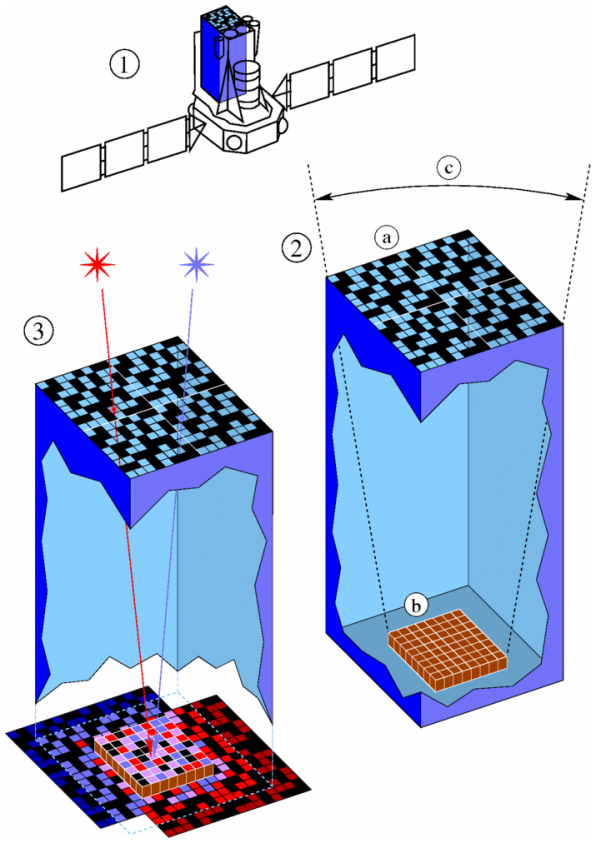
# A röntgencsillagászat kezdetei

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



# Az irányérzékenység javítása kódolt maszkkal



# A röntgencsillagászat kezdetei

Példák:

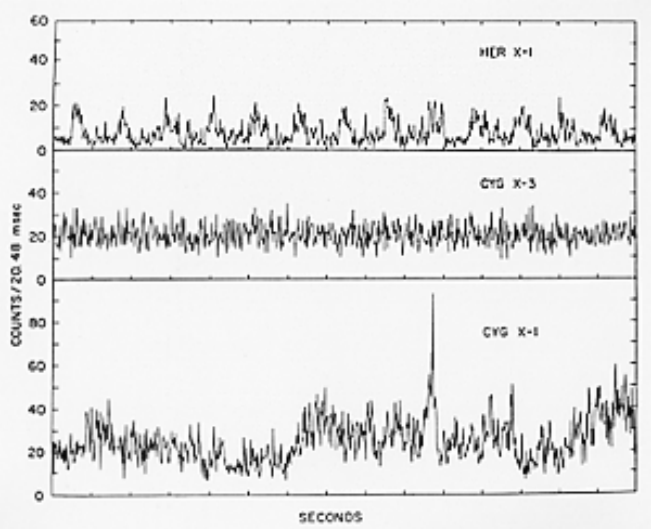
- A legerősebb röntgenforrás a Nap után a Sco X-1, optikai fényessége 13 magnitúdó.

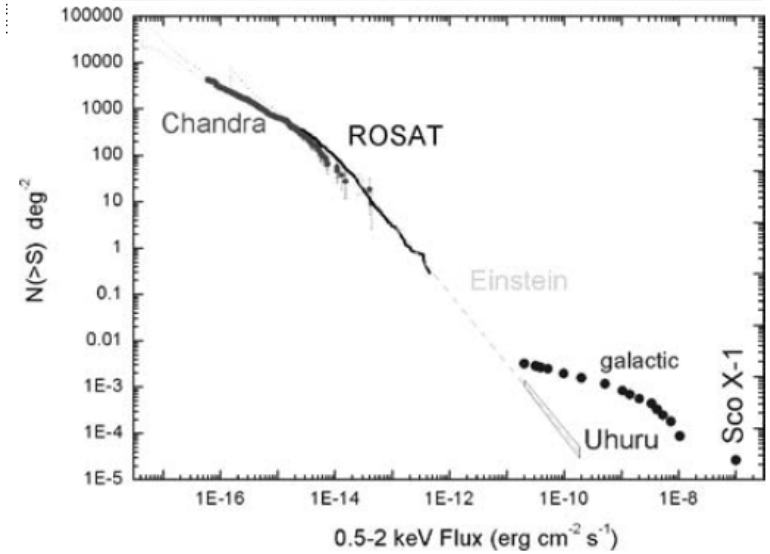
Kis tömegű röntgenkettős (V818 Sco)

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

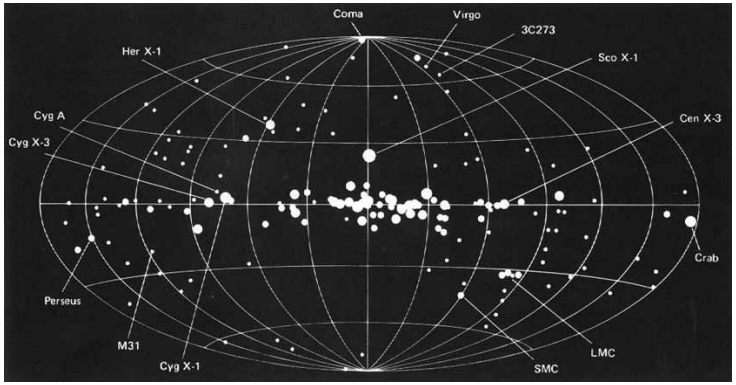
Röntgenműszerek korábbi holdakon is voltak már. Az első kifejezetten röntgenszonda az **Uhuru** (SAS-A): 1970. dec. – 1975. jan.

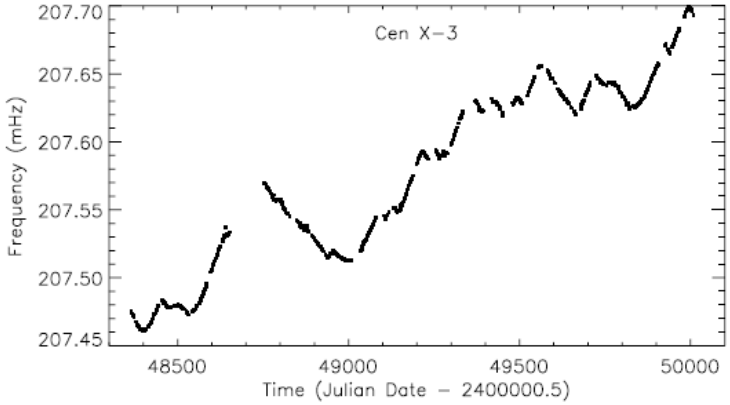
Alacsony pályán, 12 perces tengelyforgási idővel a teljes eget mérte 0,001 crabig proporcionális számlálóval 2–20 keV között.

A végső Uhuru-katalógusban 339 objektum van: főleg kettőscsillagok, szupernóva-maradványok, aktív galaxisok és galaxishalmazok.

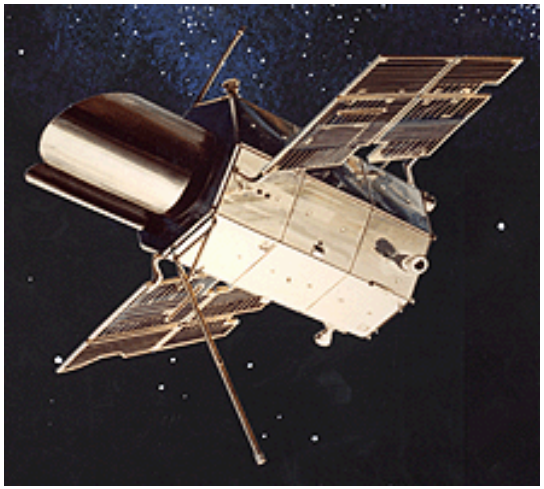
Közelebb vitt a források természetének megértéséhez:

- Röntgenkettősnél fedési változás (Her X-1, Cen X-3 - jobbra BATSE-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.
- Galaxishalmazokból diffúz röntgenemisszió: forró intergalaktikus gáztól ered.



# Kezdeti röntgenholdak



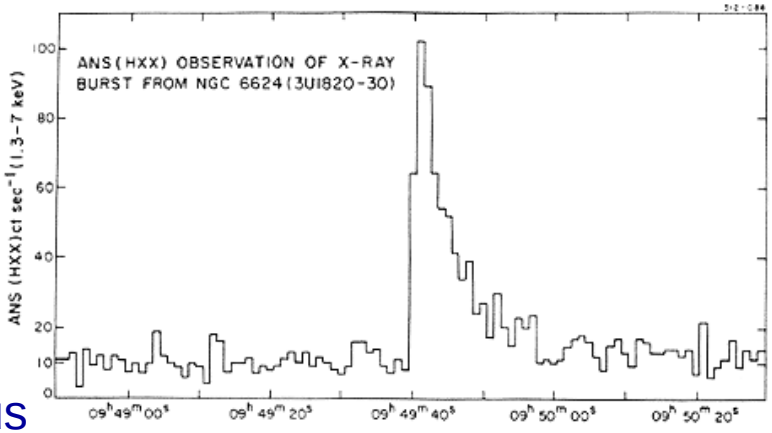
**OAO-3 (Copernicus)**: USA + Anglia (SERC). Az UV-kutatások (Princeton) mellett röntgenben is észlelt (London, Mullard Lab.). 1972. aug. – 1981. feb. között működött az 0,5–10 keV tartományban proporcionális számlálókkal (jobbra).

Főbb eredményei:

- Néhány pulzár felfedezése;
- Pulzárok 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 (jobbra) (neutroncsillag felszínén bekövetkező magfúzió okozhatja); az UV Ceti és az YZ CMi röntgenflerjei; a Sirius és a Capella röntgenkoronája.



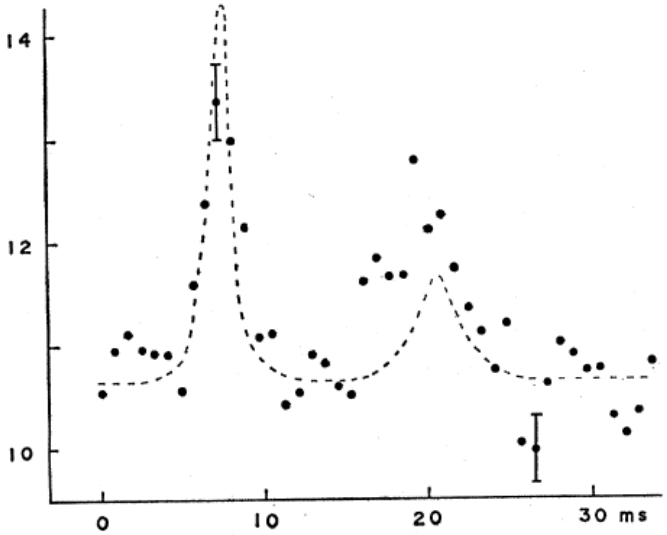

**OSO-8** (1975-1978, NASA): vasvonalak galaxishalmazban, forró gáz jelenléte tipikus a galaxishalmazokban.

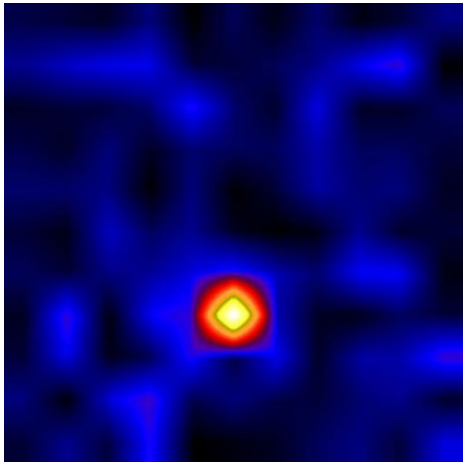
# Röntgencsillagászat - 1970-es évek

Közben további rakéták és léggömbök szolgáltak röntgencsillagászati célra.

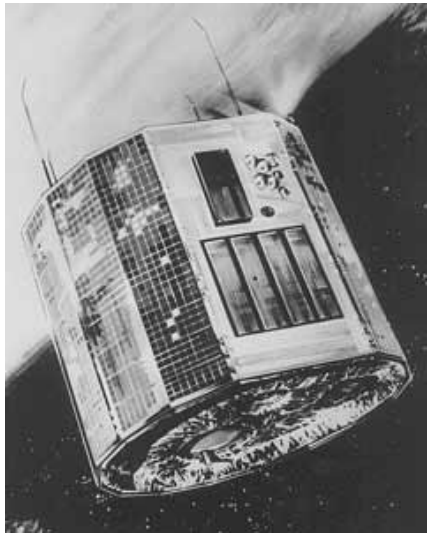
Fontos eredmények:

- A Rák-köd röntgensugárzásának polarizációja szinkrotron eredetre utal (jobbra: 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 (jobbra: későbbi ballonos felvétel).
- A Tejútrendszer centruma környékének vizsgálata röntgenhullámhosszakon (a felbontás növelésére kódolt maszkot alkalmaztak).



# Újabb röntgenholdak (1970-es évek)



**Ariel–V**: 1974. okt. – 1980. márc. között működött, 200 kg tömegű brit szonda. Szkennelte az eget. Detektorai: proporcionális számláló, polariméter, Bragg-kristály-spektrométer, 2–10 keV között.
Fő eredményei:

- hosszú periódusú (perces) röntgenpulzárok 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. – 1980. 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:

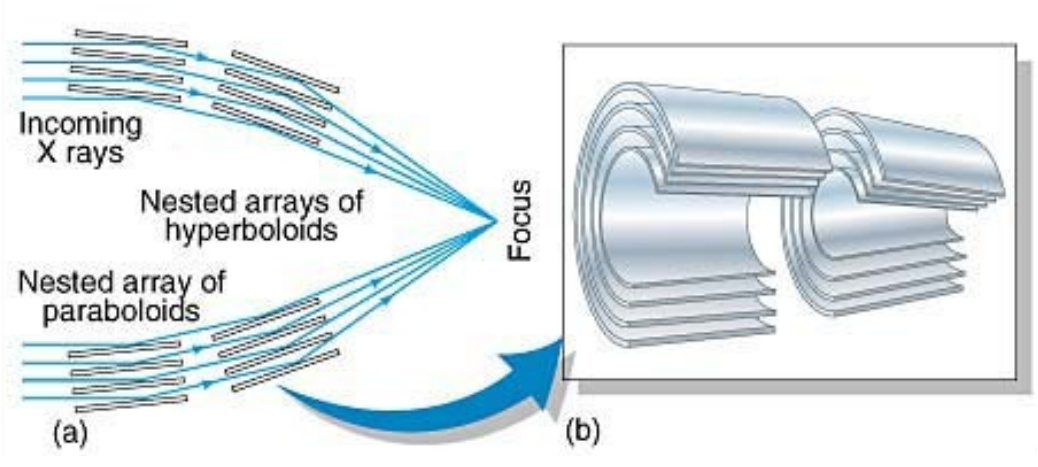
- LASS (Large Area Sky Survey): proporcionális számláló 0,25–25 keV között;
- CXE (Cosmic X-ray Experiment): 2–60 keV között jobb térbeli és spektrális felbontással;
- MC (Modulation Collimator): röntgenforrások pontos pozíciója optikai és rádióazonosításhoz;
- Keményröntgen- és lágygamma-kísérlet: 20 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 $m^2$ felületűek, de a belépő pupillája csak 0,047 $m^2$. 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 sávszélesség (nagyobb energiát is leképez).

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

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

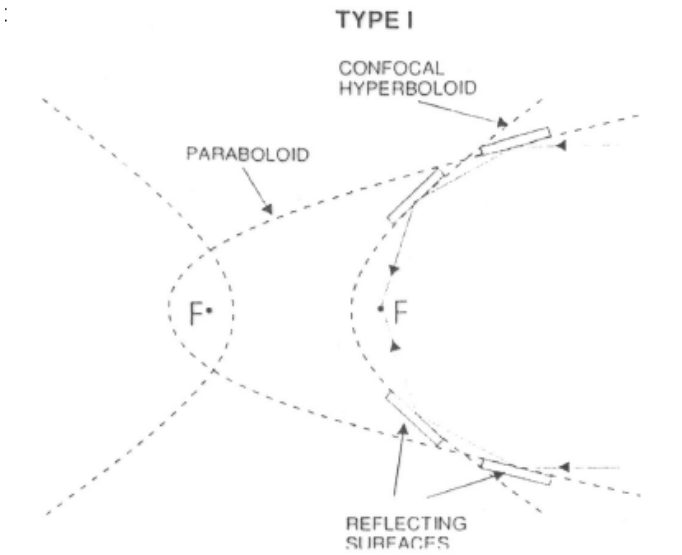
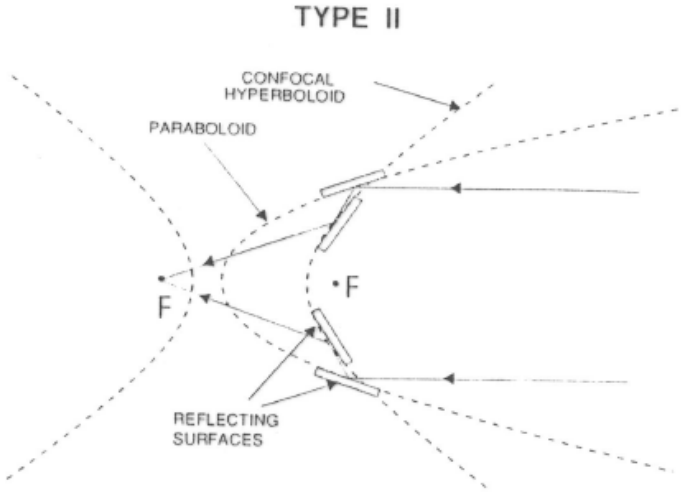



Figure 2. Schematic representation of the Wolter type I telescope.



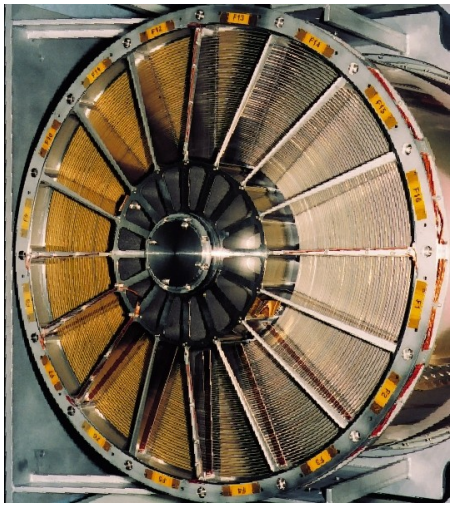
# Súroló beeséssel leképező távcsövek

Wolter-II elrendezés: képalkotás a tárggyal átellenes oldalon. Hosszabb fókuszú, 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.



# Röntgentávcsövek, 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 röntgentávcső kiegészítő berendezései:

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

Chandránál a pixelméret: 24 $\mu$m, szögfelbontás 0,5 ívmásodperc.

A CCD-mozaik a görbült fókuszfelületnek megfelelően helyezhető el.

De most térjünk vissza az Einstein röntgenszondához!

# HEAO-2 = Einstein

Effektív tükörfelülete 0,04 $m^2$ 0,25 keV-nál, 0,02 $m^2$ 2 keV-nál, érzékenysége $10^{-7}$ crab intenzitásig. Röntgenobszervatórium „vendégkutatókkal”.

A fókuszba négyféle műszer egyikét lehetett forgatni:

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

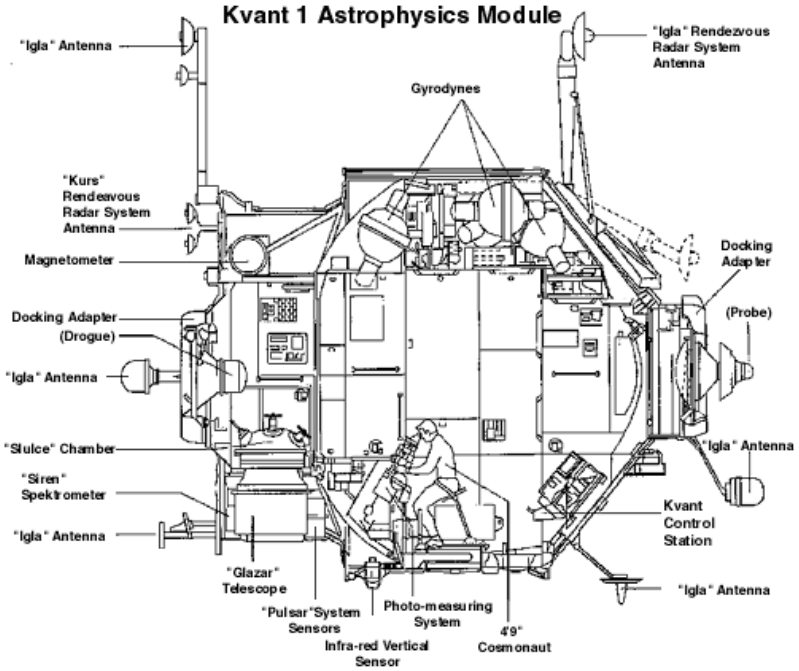
Érzékenysége miatt áttörést jelentett a röntgencsillagászatban:

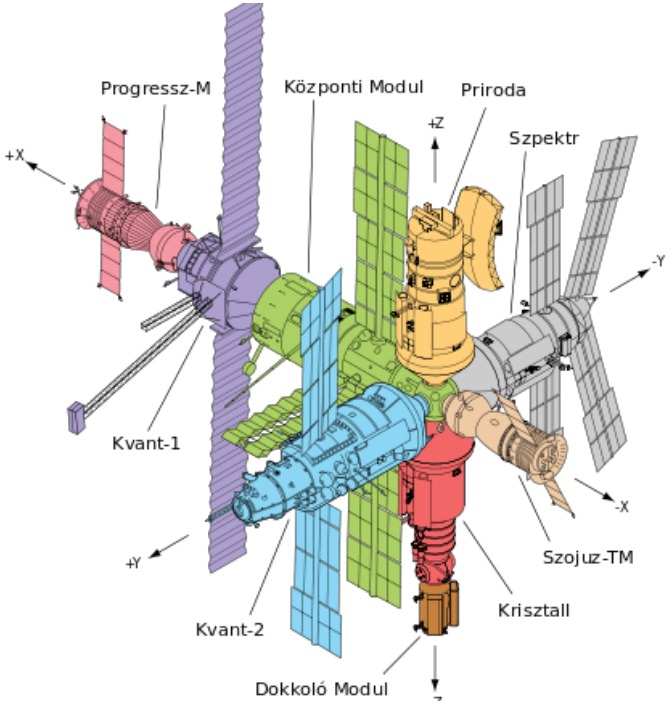
- a normális csillagokat körül is röntgenkorona veszi körül; a hideg csillagoknál a röntgenintenzitás a tengelyforgási sebességgel korrelál (és a felcsavarodó mágneses tér fűti a koronát);
- szupernóva-maradványok spektroszkópiája: O, Si és S nukleoszintézise; 47 SNR röntgenmorfológiája (LMC-ben is 30);
- 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 röntgenhátteret.

# Az 1980-as évek röntgenszondái

Az 1980-as években nem működött amerikai röntgencsillagászati 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. - 1986. ápr.), **Tenma** (1983. feb. - 1985. nov.), **Ginga** (1987. feb. - 1991. nov.); Szovjetunió: **Kvant** (a Mir űrállomáson), **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 **E**uropean **X**-ray **O**bservatory **SAT**ellite 1983 - 1986 között működött. Pontra állítható észlelőberendezés, 0,16 $m^2$ felületű proporcionális számlálóval (az Uhurué feleekkora volt). Először lehetett tartósan észlelni egy forrást. Volt rajta leképező röntgentávcső is, de kis apertúrájú (0,001 $m^2$). Összesen 1780 észlelés (AGN, csillagkorona, CV, WD, XRB, SNR, galaxishalmaz). Az első EUV-észlelések (10-30 nm) is ezzel születtek.

Színkép készítéséhez transzmissziós rácsot + gázszcintillációs 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 oszcillációt alaposan mérte. 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 0,1-10 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.

Egyik komponens kompakt (neutroncsillag vagy fekete lyuk), tömegbefogás a szoros (1 naprádiusznál közelebbi) kísérőről (közönséges csillagról).

A tömeget vesztő 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 túlcsordul (de előfordul a kettő kombinációja is).

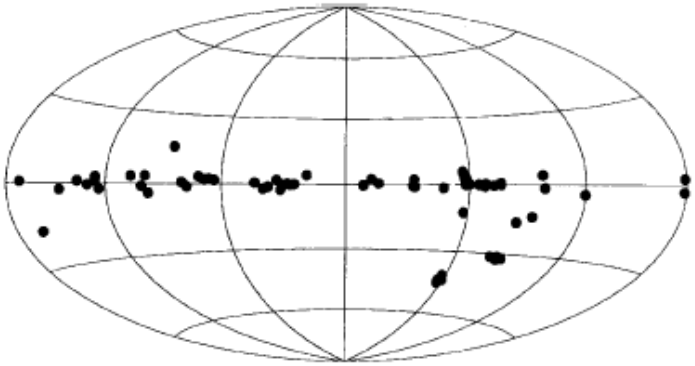
A Tejútrendszerben kb. 200 ismert, a fősík mentén nagy tömegű, a dudorban kis tömegű, egy tucatnyinál valamivel több röntgenkettős ismert gömbhalmazokban.

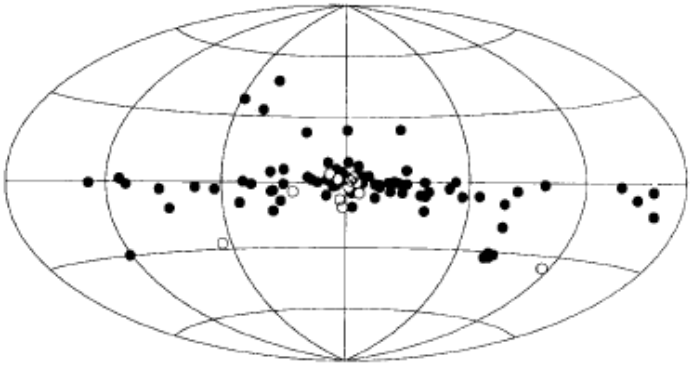
A velük rokon ***kataklizmikus csillagok*** (fehér törpe a kompakt csillag) sokkal gyakoribbak.

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.

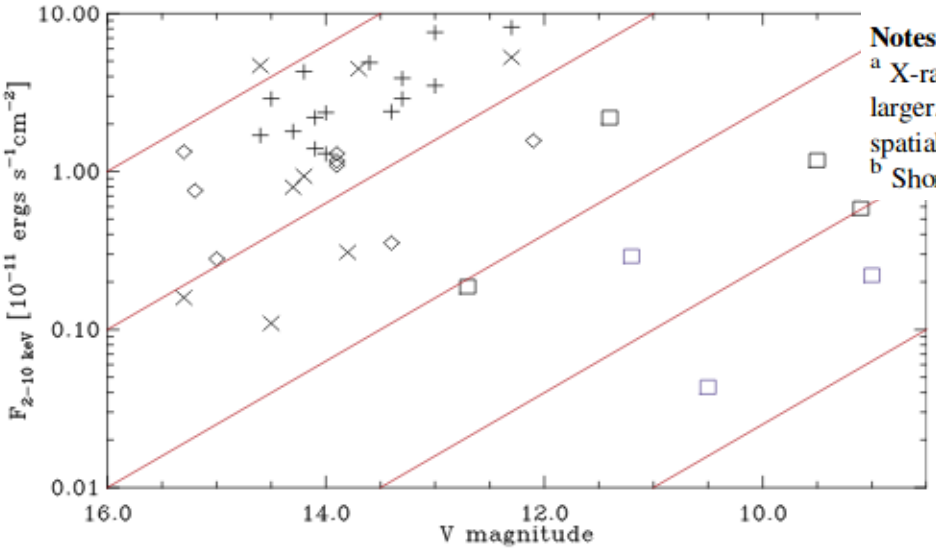
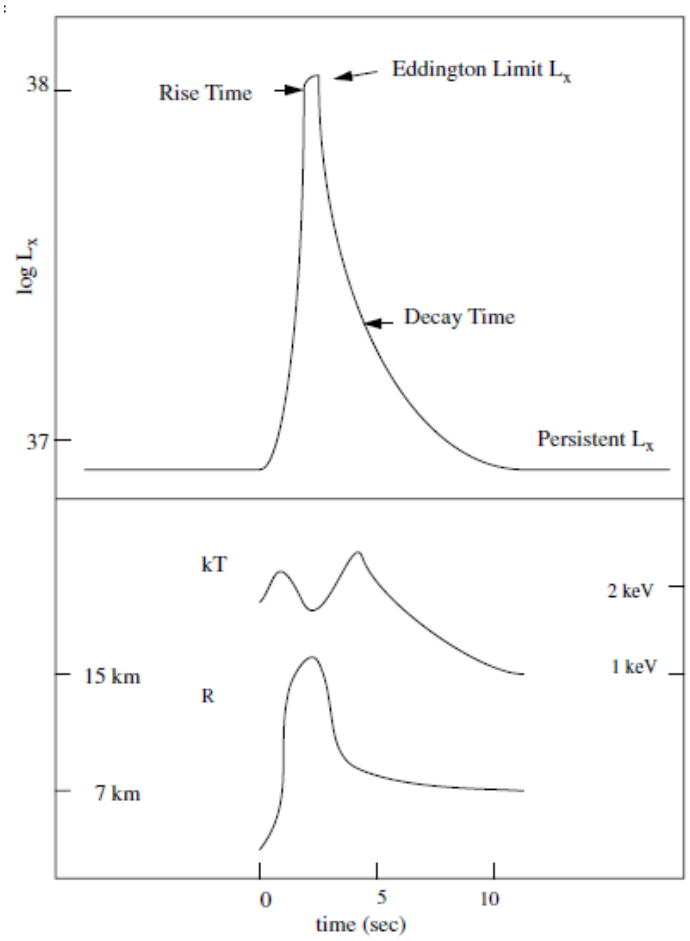


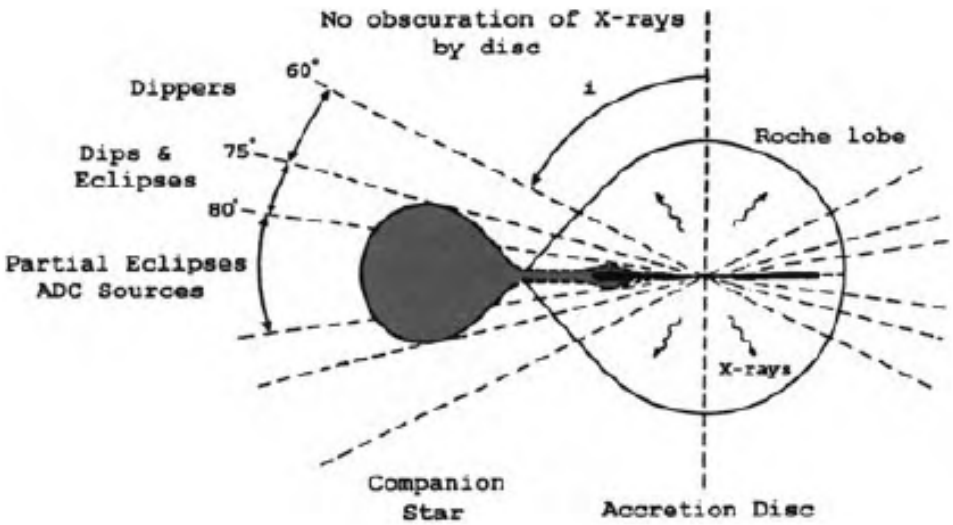

**Figure 3.** Selected CVs of various subtypes in the $F_X/F_{opt}$ plane. Pluses are IPs, crosses are polars, diamonds are dwarf novae in quiescence, and open squares are non-magnetic nova-like systems (black) and dwarf novae in outburst (blue). The diagonal red lines are for equal $F_X/F_{opt}$ ratios,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

# Röntgenkitörések




XRB (X-ray burster): tízszeresére növő röntgenluminozitás 1-10 s alatt, legfeljebb néhány percig tart.

A Roche-térfogatjukat kitöltő kettőscsillagok (öregek, már nem pulzárok). A korongból a neutroncsillagra hulló anyag magfúziót indít be.



# Nagy tömegű röntgenkettősök

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

*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, 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 |

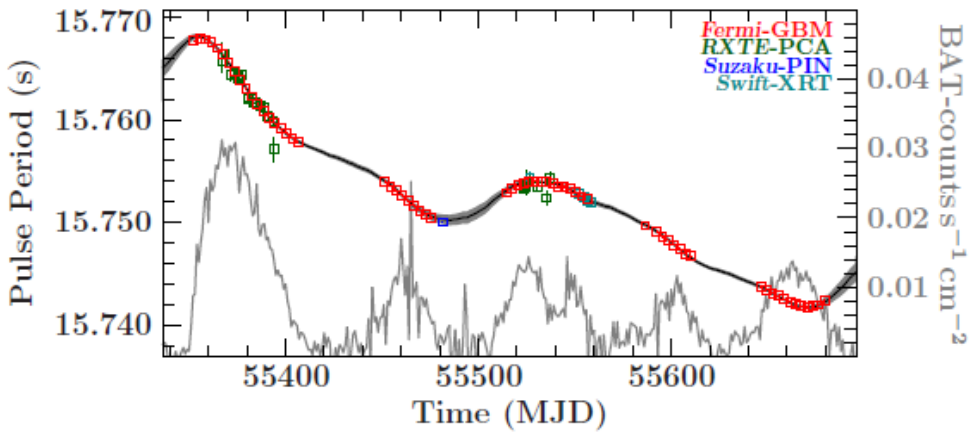



**Figure 3** Pulse period history of XTE J1946+274, showing significant spin-up and variation as function of orbital phase. The gray line shows the *Swift*/BAT monitoring lichtcurve and

# 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) | $e$ | $L_X$(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 | $8 \times 10^{36}$ |
| V0332+53 | Be | 15.3 | 4.4 | 34.25 | 0.31 | $10^{38}$ |
| A0535+26 | O9.7IIIe | 9 | 104 | 111 | ~0.3 | $2 \times 10^{37}$ |
| GX304-1 | B2Ve | 14 | 272 | 133 | ? | $3 \times 10^{36}$ |
| 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 ilyen 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 túlcsordulása miatt lép fel. A korong vastag, ezért a kompakt objektum sose látszik ki.

Gömbhalmazokban is előfordulnak, nagyobb arányban, mint a galaktikus mezőben. 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.

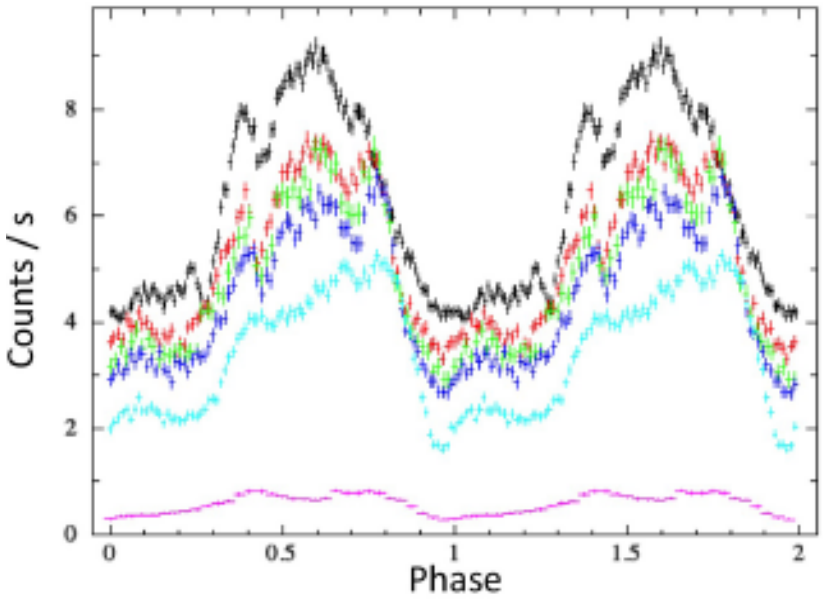
A röntgenszünet és a korongkorona az akkréciós korong azimutális szerkezetére utal.

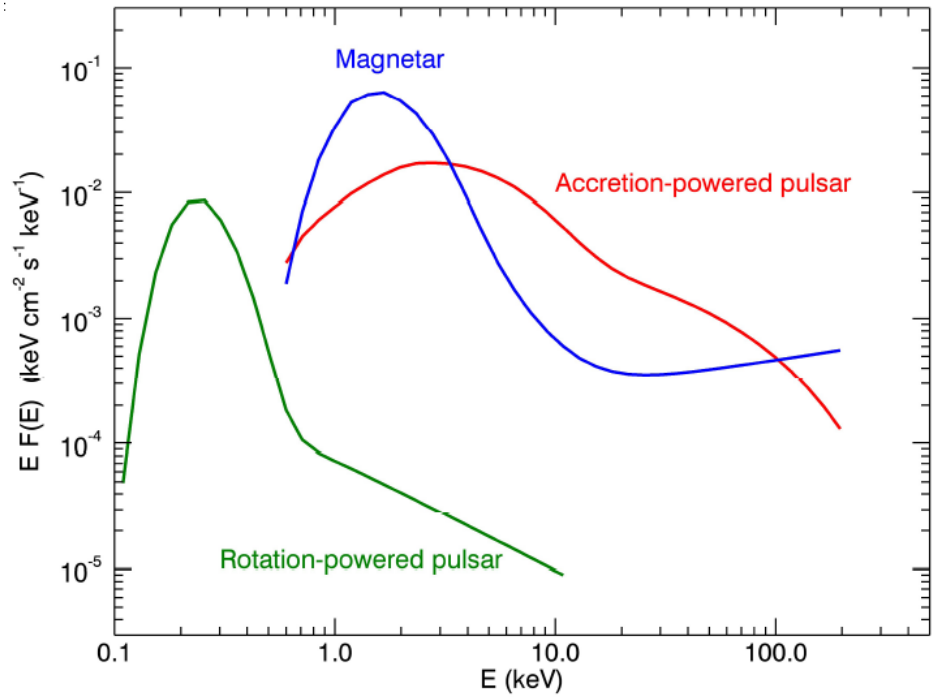
# Magnetárok

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.

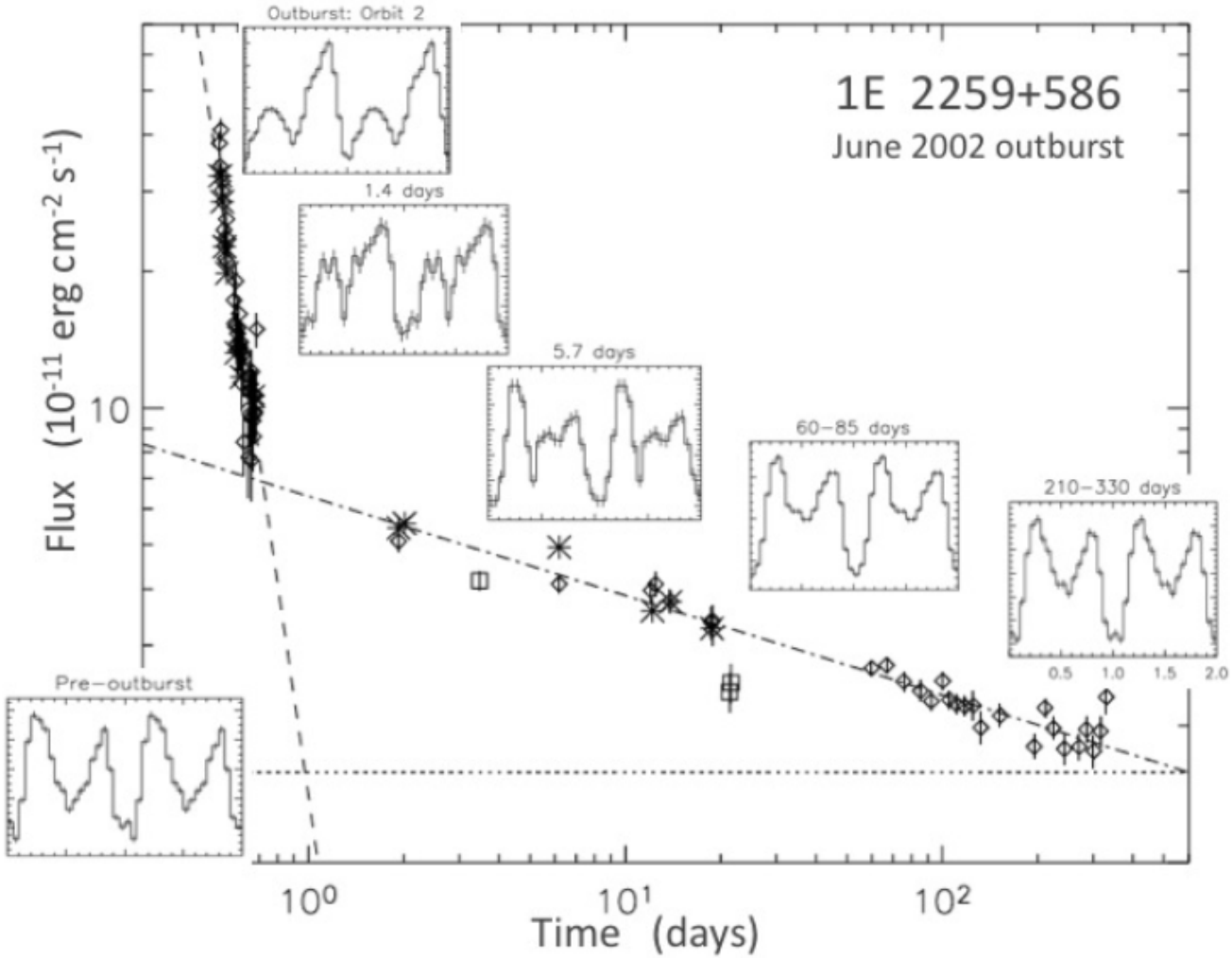
A különféle típusú neutroncsillagok spektrálisenergia-eloszlása jobbra lent látható.



# 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 $m^2$) proporcionális számlálóval észlelt. Jó felbontású színképeket 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 színképe két komponensre választható: a tömegbefogási korongból és a neutroncsillagból származóra.

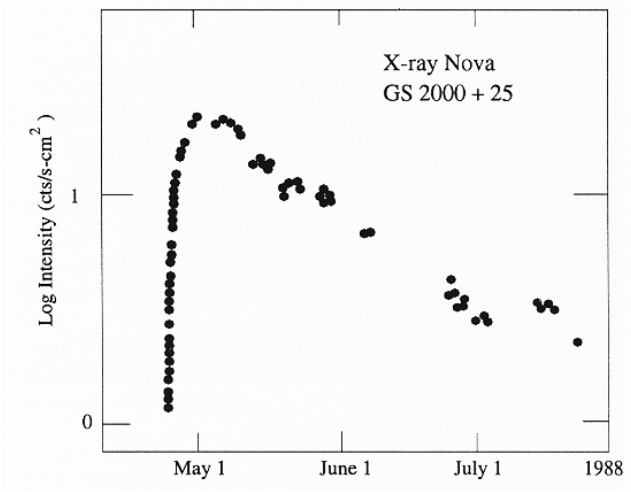
# Japán röntgenszondák

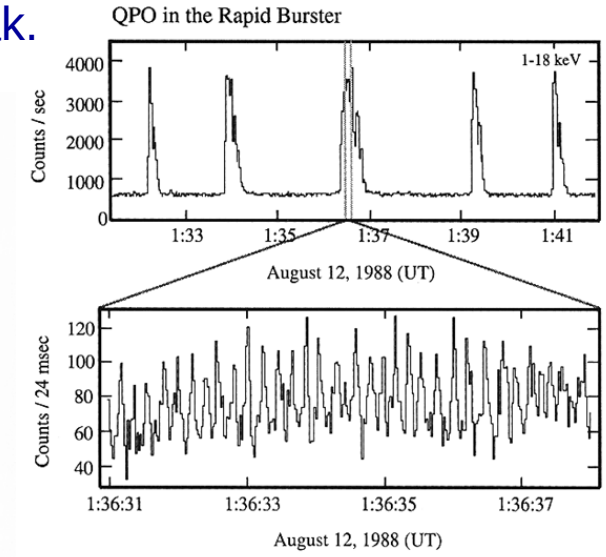
**Ginga** (=galaxis) (1987-1991): 3 tengely mentén stabilizált szonda volt, igen nagy (0,40 $m^2$, angol gyártmányú) proporcionális számlálóval, emiatt érzékenyebb a korábbiaknál. Nagy látómezejű monitor és amerikai gammakitörés-detektor is volt rajta.

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 kvazárokban;
- A 3C279 kvazár hirtelen luminozitásnövekedése nyalábolásra utal (a nyaláb látóirányba kerülve sugároz)

A japán röntgenprogramot több szondával folytatták.



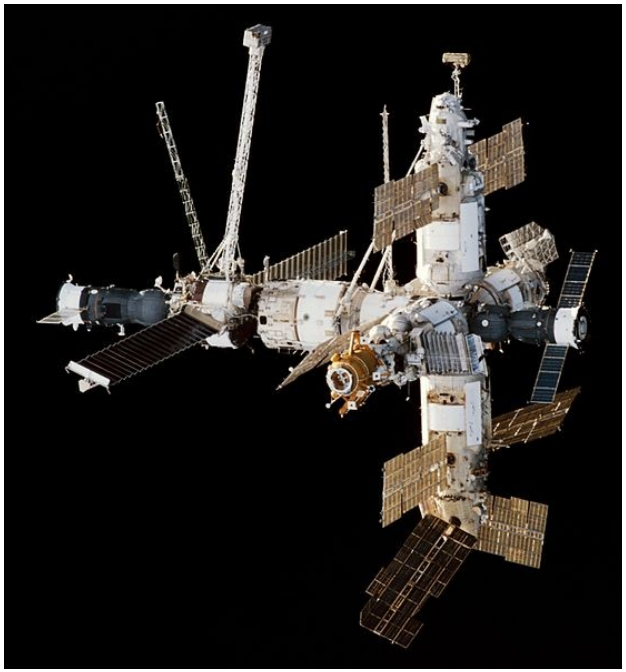



# Szovjet röntgencsillagászat

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 röntgendetektorok európaiegyüttműködésben (D, N, UK, ESA). Kódolt maszkkal röntgen- és gammamérések is.
Rövid ideig tartó észleléseket végeztek, mert más tudományos programok is voltak a Kvant-on. Észlelték az SN1987A röntgensugárzását (a Ginga is), és detektálták a Her X-1 pulzár felpörgését 1987-1988-ban.

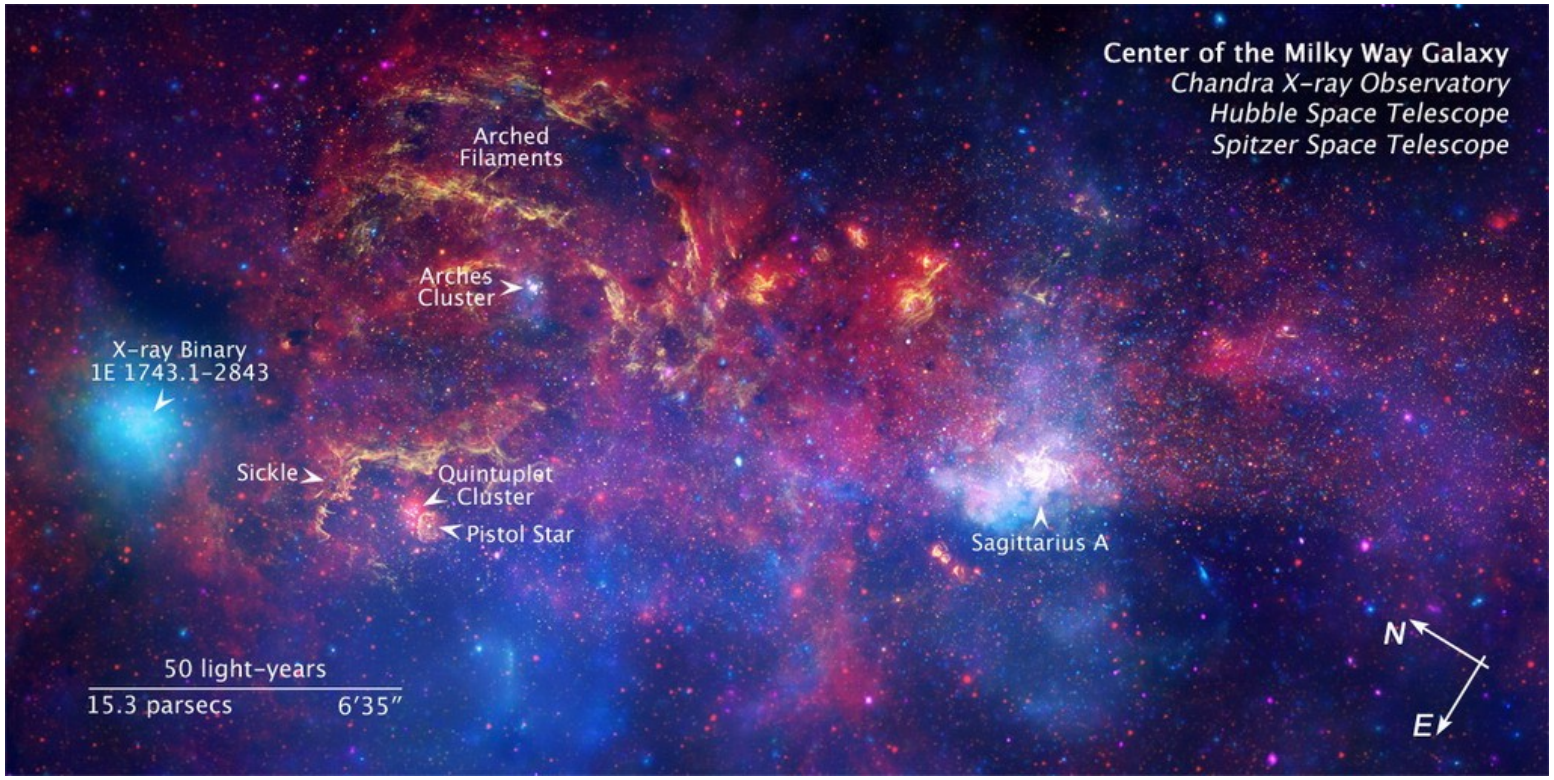


# Szovjet röntgencsillagászat

Az első kifejezetten röntgenszondájuk a **Granat** (1987-1988): 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 röntgencsillagászatban:

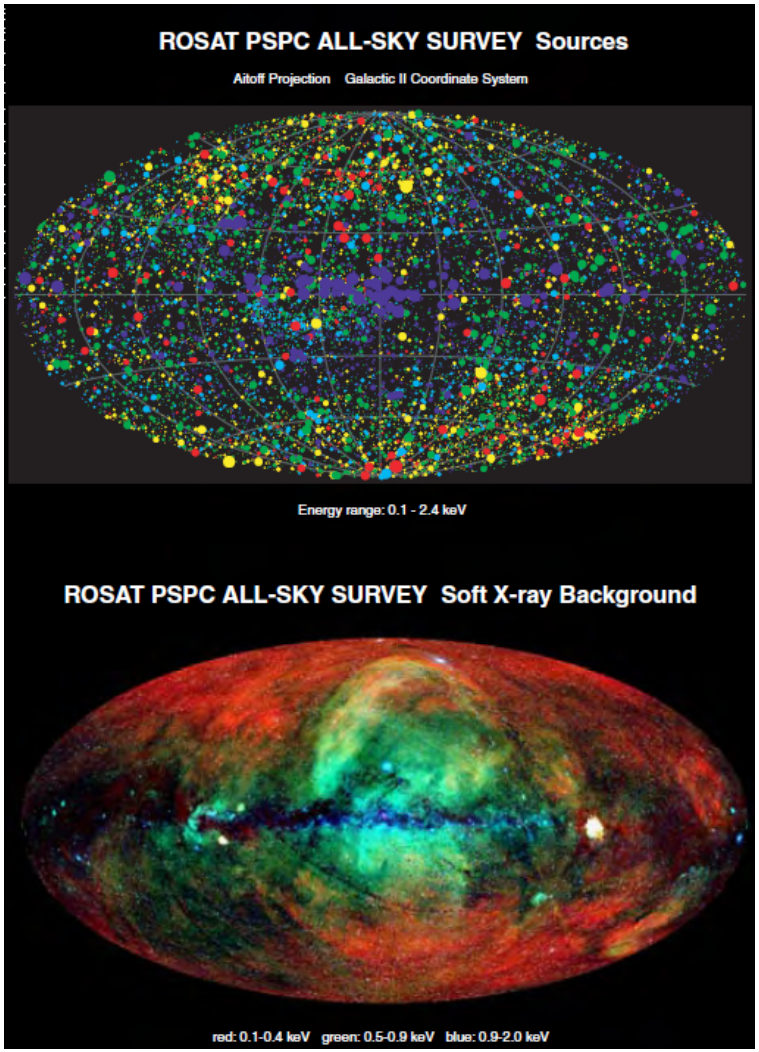
**ROSAT = Röntgensatellit** (D, UK, USA):
1990. jún. - 1999. febr.

Indítás: Cape Canaveralról Delta rakétával.

- Röntgentávcső: 4 Wolter-I egymásba skatulyázva, 0,11 $m^2$ 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).

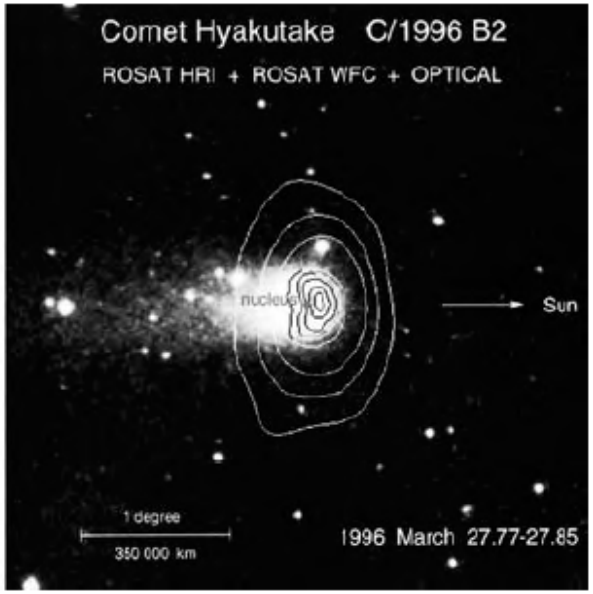
Először fél évig teljes égfelmérést végeztek EUV-ben és lágyröntgenben: 600 EUV-forrás + 150000 röntgenforrás, amelyek fele aktív galaxismag.

Újabb katalógusa a 2RXS.



# A ROSAT fontosabb eredményei

*Jupiter*: a SL-9 üstökös becsapódásakor észlelte az auróra indukált erősödését.
*Üstökösök* röntgensugárzása: a legnagyobb meglepetés. Hyakutake (1996): a vártnál 400-szor erősebb röntgenben, és órás időskálán 5-szörös faktorral 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

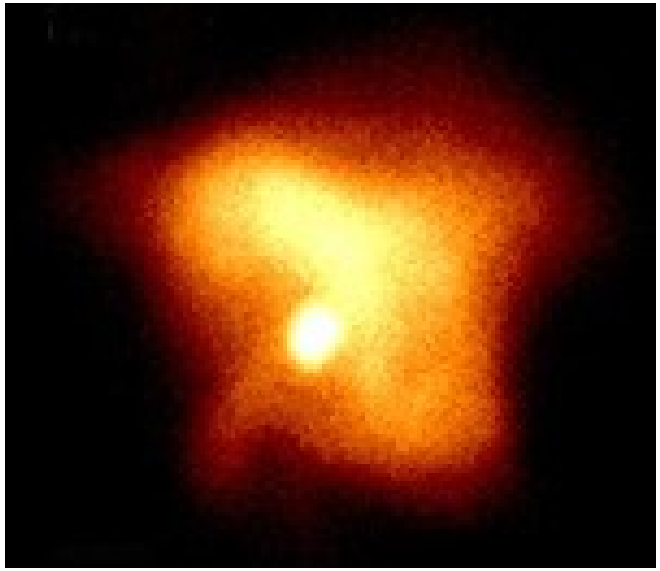
*Barna törpé*nél is talált röntgenemissziót: röntgenkoronája van.

*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.

*Röntgenkettős*ök: egy nagy tömegű röntgenkettősnél a keringési periódus szekuláris változását is kimutatták.

*Szupernóva-maradványok*ban (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.
Aszimmetrikus a robbanás.



# 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 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 Lockmann-lyuk mélyvizsgálata*: félmillió másodpercig 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. febr.- 2000. júl. között a 0,5-10 keV tartományban mért (2001. márc.: lezuhant). A ROSAT kisebb energiára volt érzékeny.

CCD-detektorok + leképező gázszcintillációs proporcionális számláló.

Energiafelbontása jobb, szögfelbontása (3’) rosszabb, mint a ROSAT-é.

Spektroszkópiát végzett, jól kiegészítve a ROSAT méréseit. Főbb eredményei:

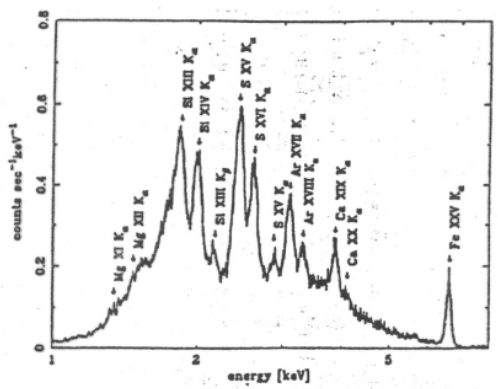
Aktív galaxisokban a Fe K vonalának (a H Ly$\alpha$-vonalának felel meg) szélessége erős gravitációra utal (közel a fekete lyuk esemény-horizontjához);

Az intergalaktikus gáz kémiai összetétele alapján a korábbi csillaggenerációkban gyakoribbak voltak a nagy tömegű csillagok;

Közepes tömegű fekete lyukak felfedezése;

Kataklizmikus változók: nemmágneses CV, polár (AM CVn), átmeneti polár (DQ Her) vizsgálata

**ALEXIS**: főleg az EUV tartományt vizsgáló szonda volt (1993-2005).




X-ray spectrum of the SNR W49B measured with .

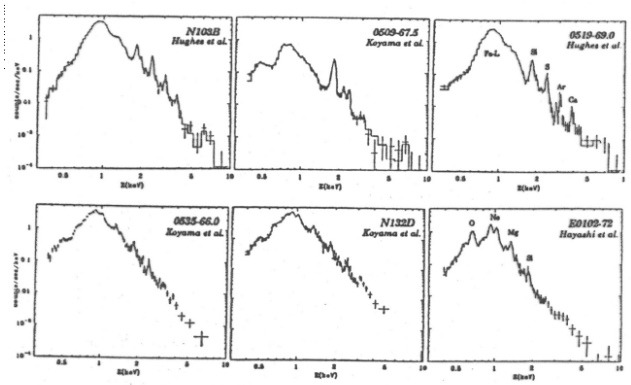



Fig. 4. X-ray spectra of young SNRs in the LMC and SMC.

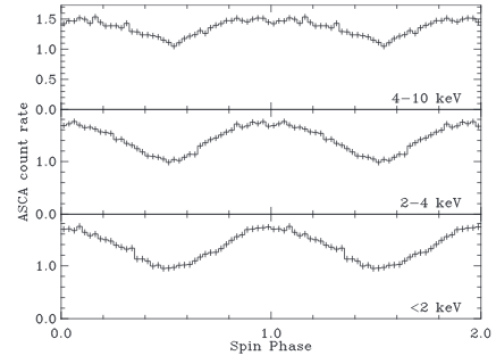



**Figure 7.** Example of energy-dependent X-ray spin modulation of IPs, V1223 Sgr observed with *ASCA*. Each panel shows the sum of count rates in the four telescopes on-board *ASCA* in the indicated energy range, folded on the spin period.

# 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. röntgenpulzárok, -kitörések) időbeli változásának vizsgálata 2-250 keV között + újabb röntgenkitörések felfedezése.

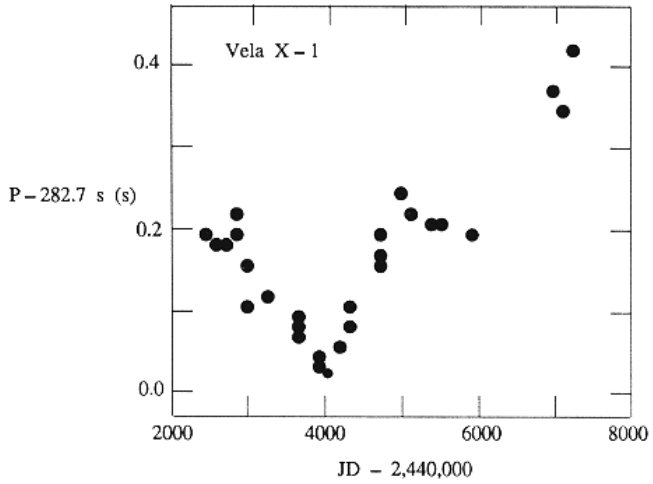
Műszerei:

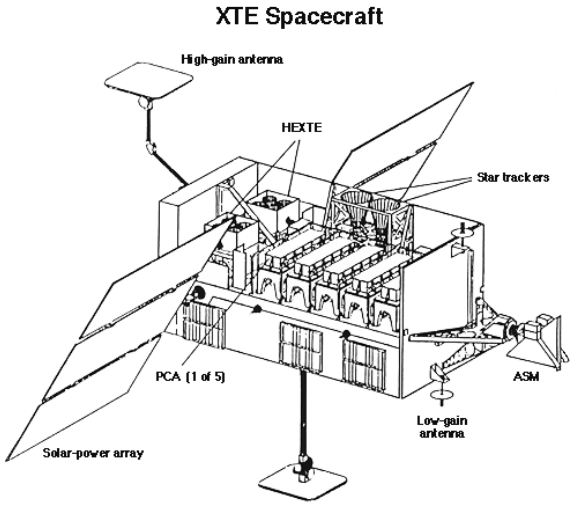
PCA: proportional counter array, Xe-gázzal töltve, 6500 $cm^2$ felületű, 2-60 keV között érzékeny, a HEXTE irányába nézett; 1 milliomod másodperc időbeli felbontás is elérhető;

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 röntgenháttér csillagkoronáktól és korábban nem ismert rengeteg fehér törpétől ered.



# Más röntgenszondák a ROSAT idején

**BeppoSAX** (Beppo: Giuseppe Occhialini beceneve; SAX = Satellita per Astronomia a raggi X): olasz-holland hold;

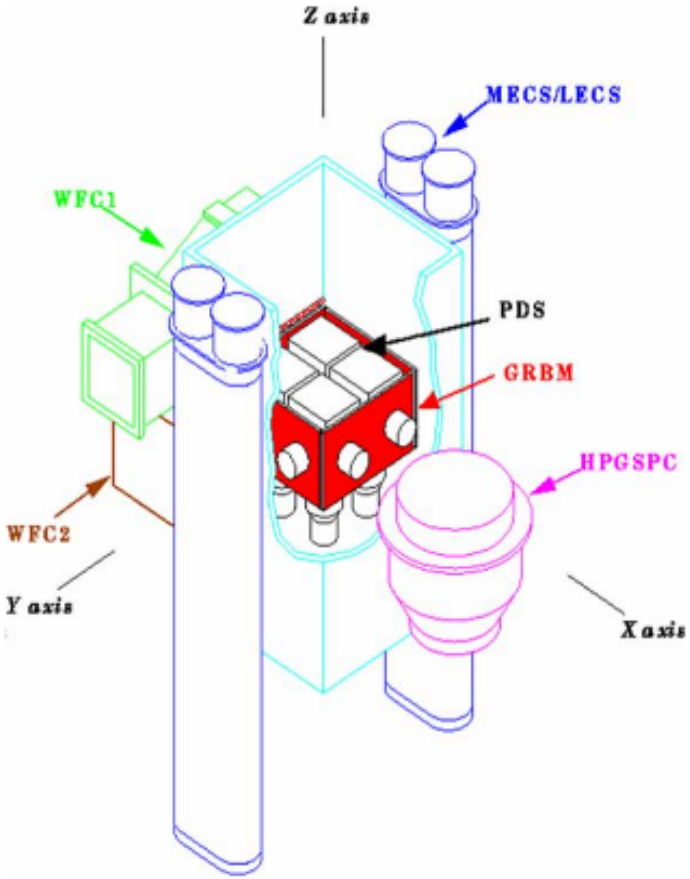
1996. ápr. - 2002 között működött (deaktiválták, 2003-ban visszazuhant).

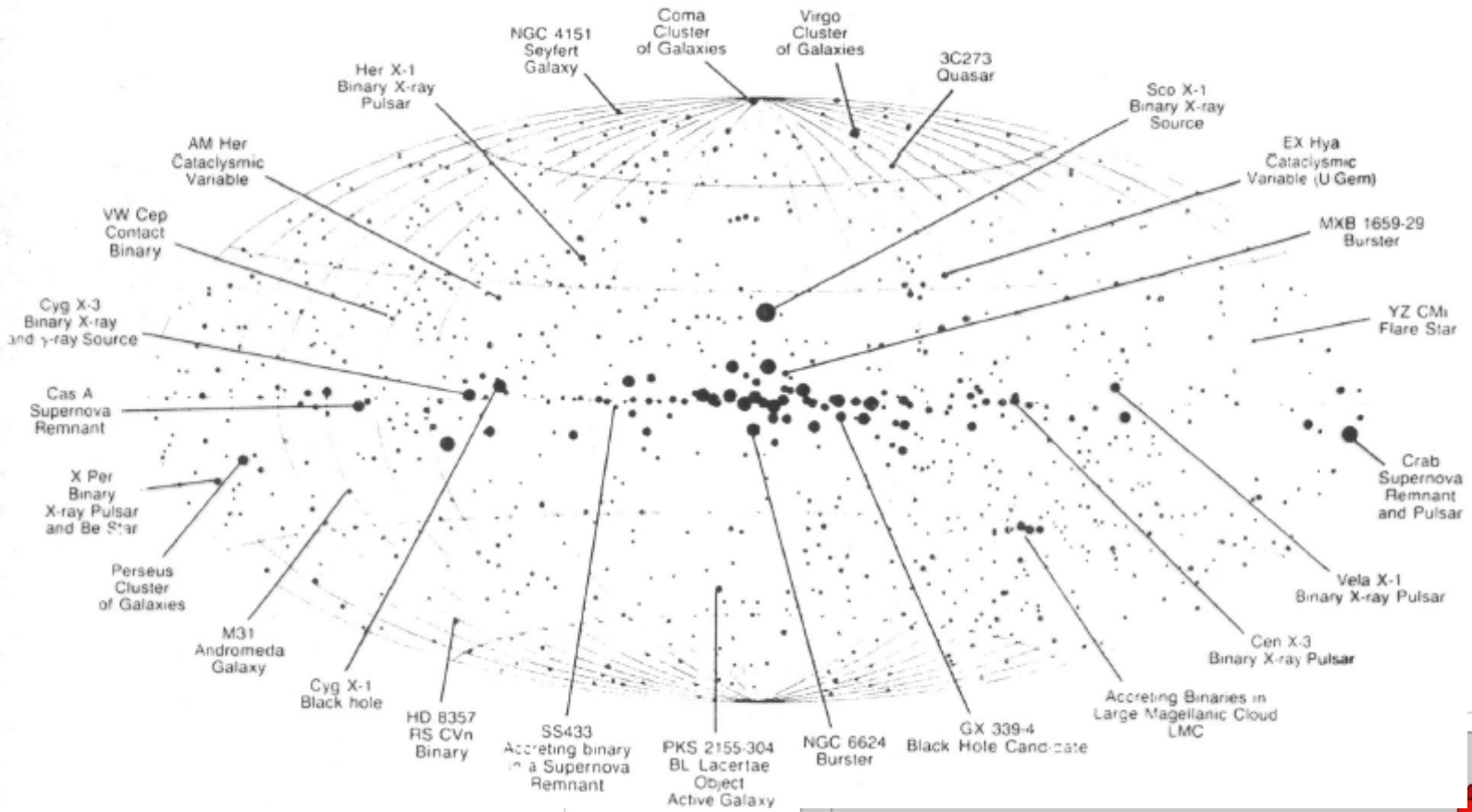
5 tudományos műszer, közte két spektrométer és Wolter-távcső (WFC).

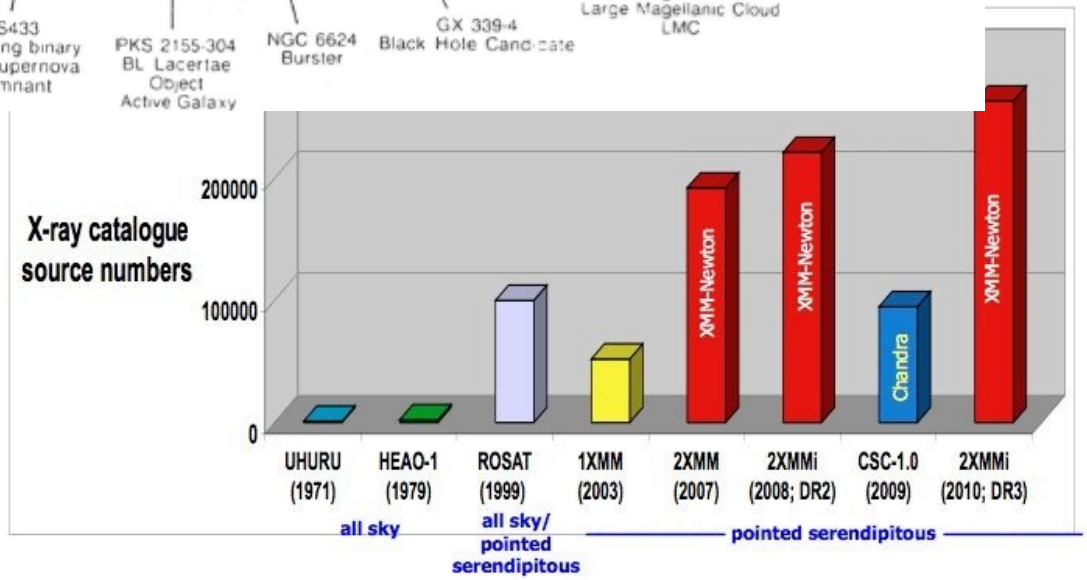
0,1-300 keV között mért, keményröntgenben úttörő szerepe volt.

Fő eredménye: a gammakitörések röntgenutófényének felfedezése (1997).

Mérte továbbá a Tejútrendszer centrumának vidékét, és felmérést végzett aktív galaxisokról.






**Még újabb adat:**
**3XMM-DR5 (2015):**
**396910 röntgenforrás**

# 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 nevéről, a szanszkrit chandra szó jelentése: hold.

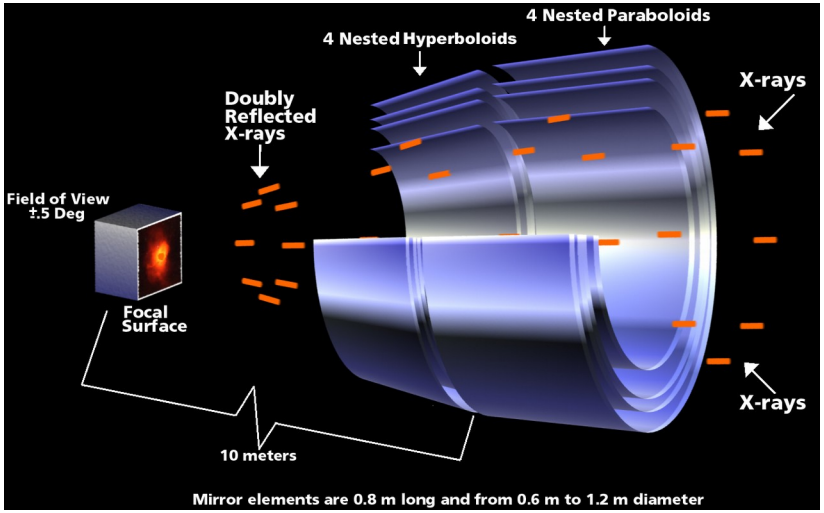
4 egymásba skatulyázott Wolter-távcső, 1,2 m maximális átmérővel. Szögfelbontás: 0,5” (8-szor jobb és 20-50-szer érzékenyebb az addigi legjobb röntgentávcsőnél). A ROSAT-énál ezerszer jobb a szögfelbontása.

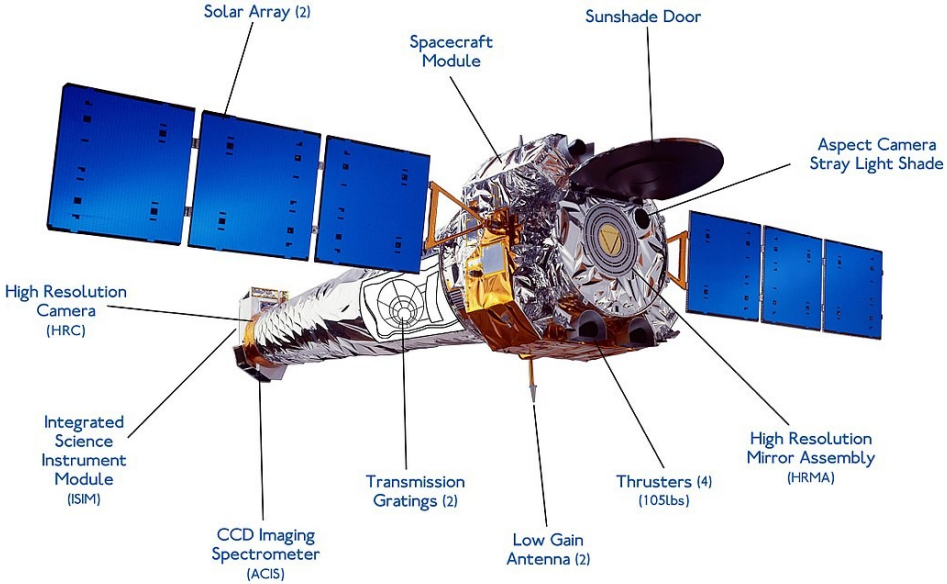
Pályájának apogeuma 140000 km.

Főleg képalkotásra, de spektrumot is tud készíteni. Műszerei:

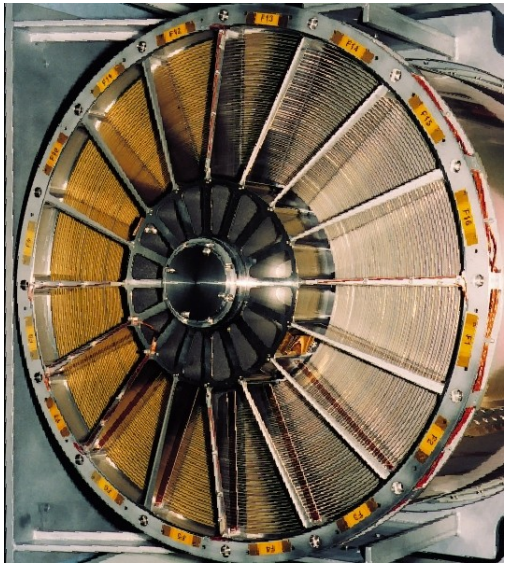
HRC (High Resolution Camera): 69 millió PbO mikrocsatornával;

ACIS (AXAF CCD Imaging Spectrometer): 50 energiacsatorna, de 2 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. december. A missziót jelenleg 2020 végéig támogatja az ESA, de szándék van további hosszabbításra.

4-10-szer érzékenyebb, mint a Chandra, de a szögfelbontása csak 10’’.

CCD-detektor és spektrométer is van rajta. Főleg röntgenspektroszkópiára használják. A 0,1-10 keV tartományban érzékeny $10^{-15}$ erg/s/cm$^2$ fluxusig.

Perigeum: 7000 km, apogeum 114000 km.

Műszerei:

EPIC (European Photon Imaging Cameras): 3 súroló beesésű távcső, mindegyik 58 egymásba skatulyázott Wolter-I-es távcsővel. 2 keV-nél 4000 cm$^2$ az effektív felülete, 8 keV-nél pedig 1600 cm$^2$. Minden távcső fókuszában CCD-kamerával leképezi a 30 ívperc látómezőt.

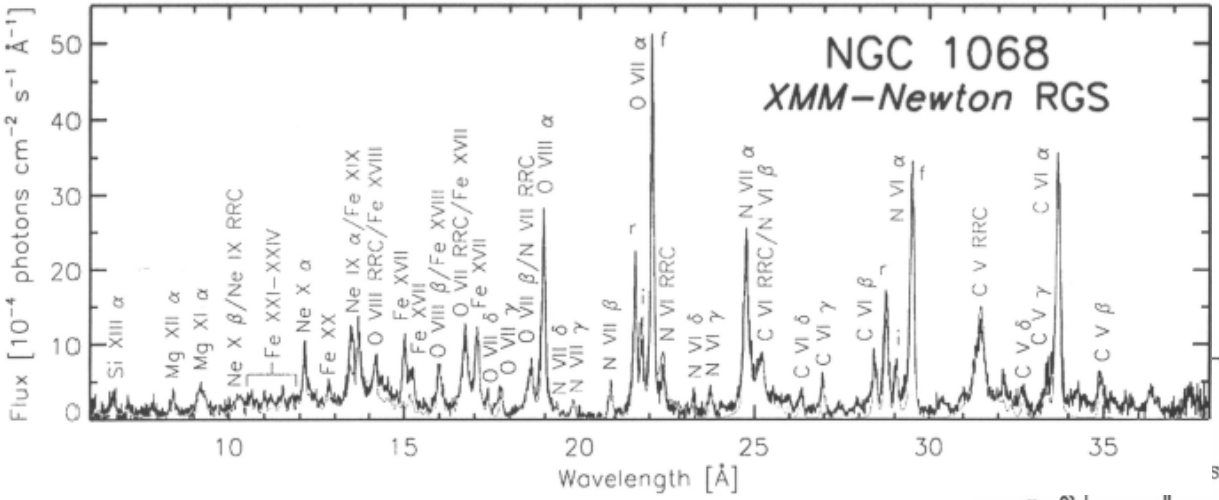
RGS: 2 reflexiós rácsú spektrométer 0,2-2 keV között, R=250.

OM: optikai monitor, 160-600 nm (azaz UV-ben is).

2001 elején újabb földi állomás (Santiago) beiktatásával 60%-os hatásfokú lett az észlelés (a kezdeti 35% helyett). Ez olyan, mint a Chandráé.

# Chandra és XMM-Newton - eredmények

Kezdettől fogva az együttműködés jellemző a rivalizálás helyett.
A Chandra a képalkotásban erősebb, az XMM-Newton a színképkészítésben.




NGC 1068: Seyfert-2 galaxis

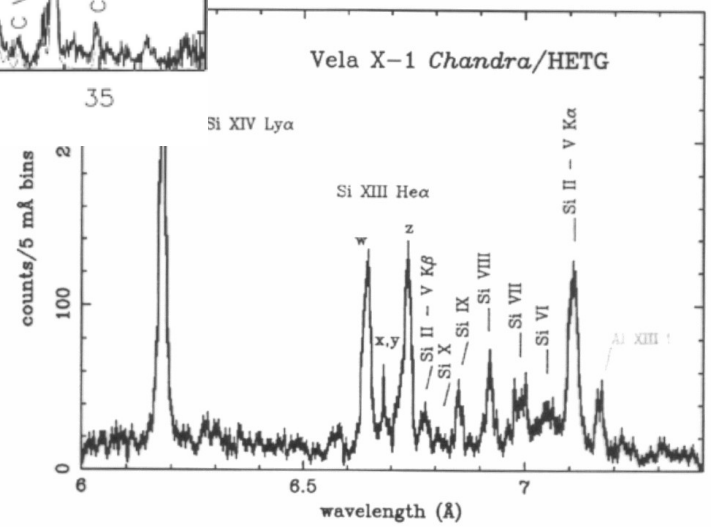
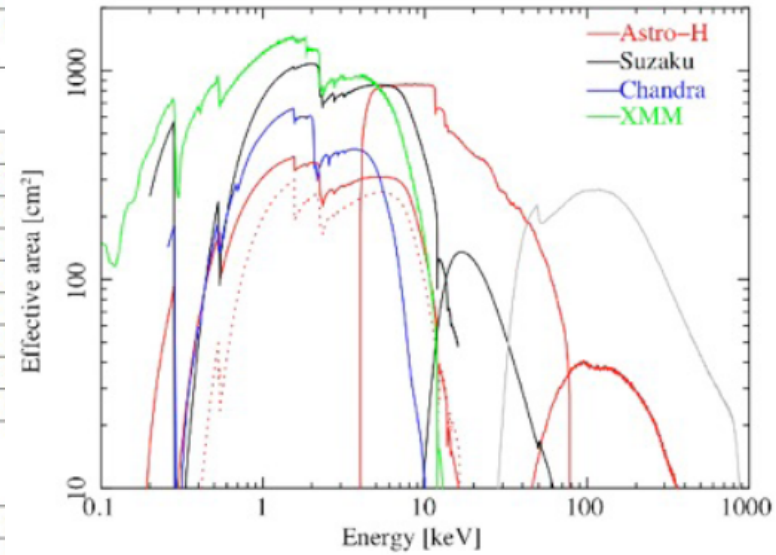



**Figure 12** Portion of the *Chandra* HETGS eclipse spectrum of Vela X-1. The spec-

# 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- | 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 | | |
| 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 felvételén)

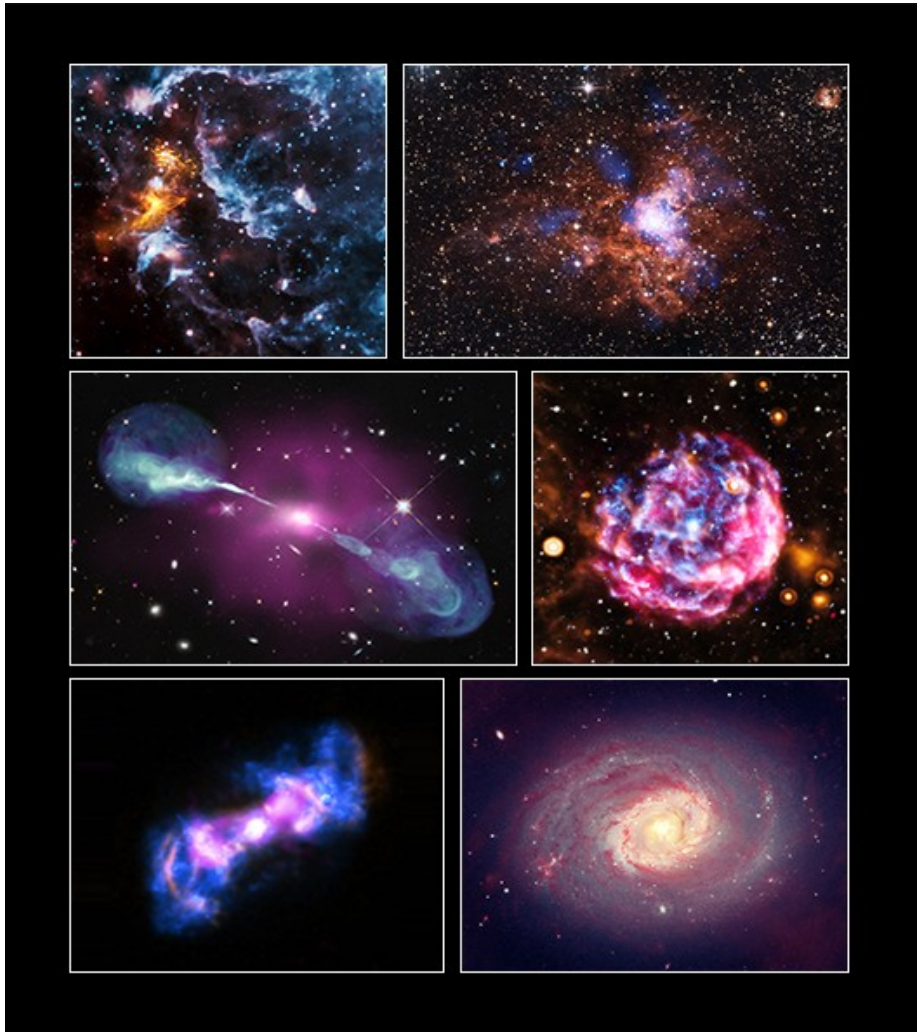
Hanny van Arkel amatőr csillagász fedezte fel a Galaxy Zoo (az SDSS adatai alapján készített képek feldolgozására 2007-ben indított projekt) keretében.

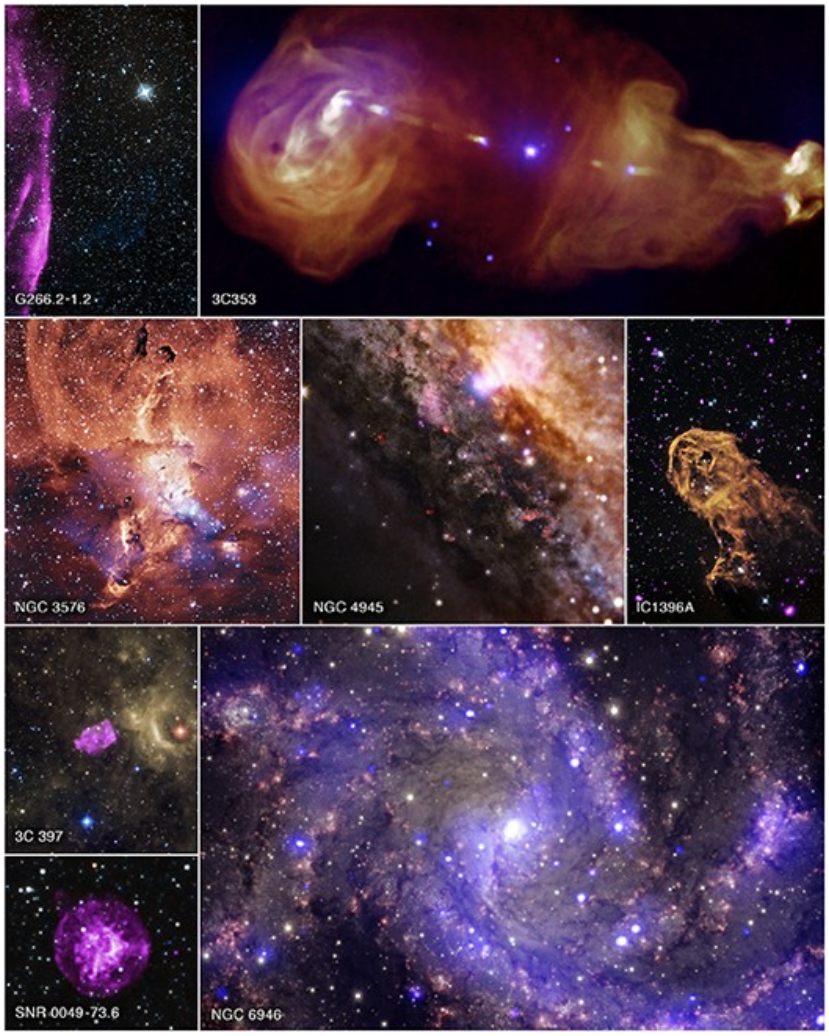
Az IC 2497 centrális fekete lyuka gerjesztette a köd zöld [OIII] $\lambda$5007 sugárzását. 45000-70000 fényévre van a galaxistól.

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

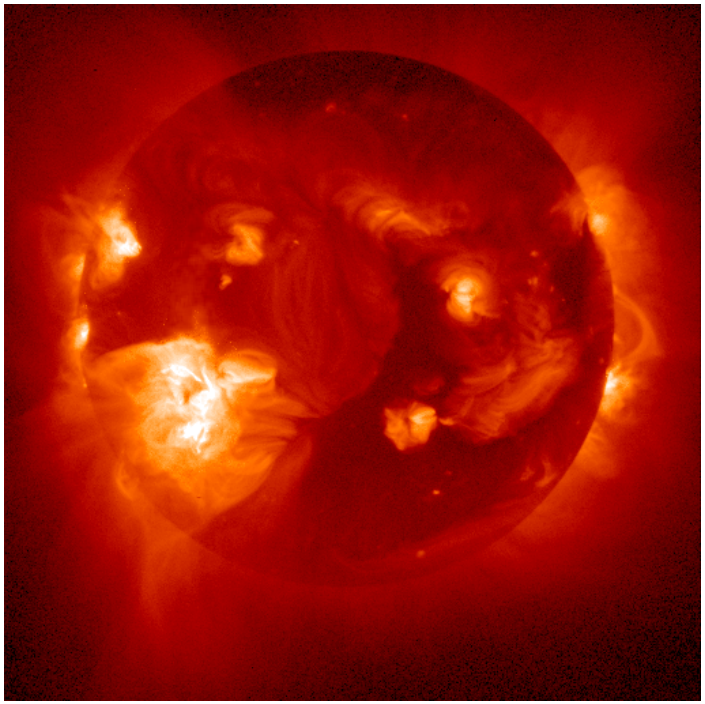
Ez az első bizonyíték a kvazártevékenység lezárulására. Az időskála tehát néhányszor 10000 év.

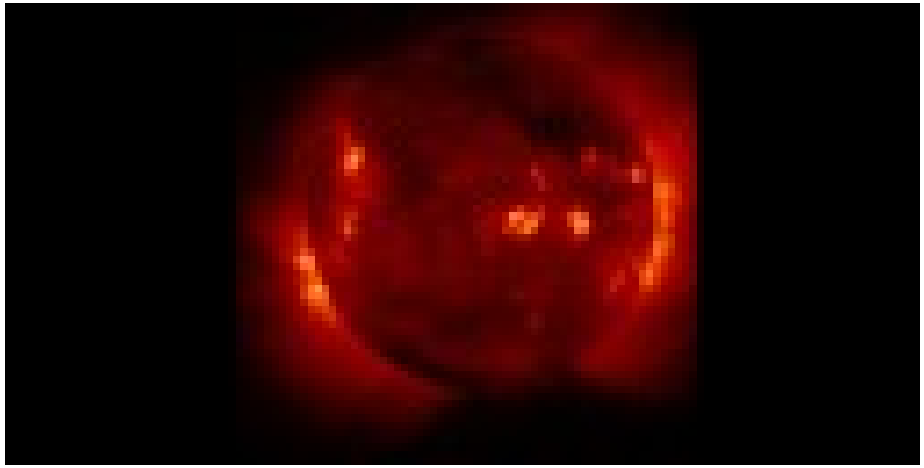
# A Chandra-archívum

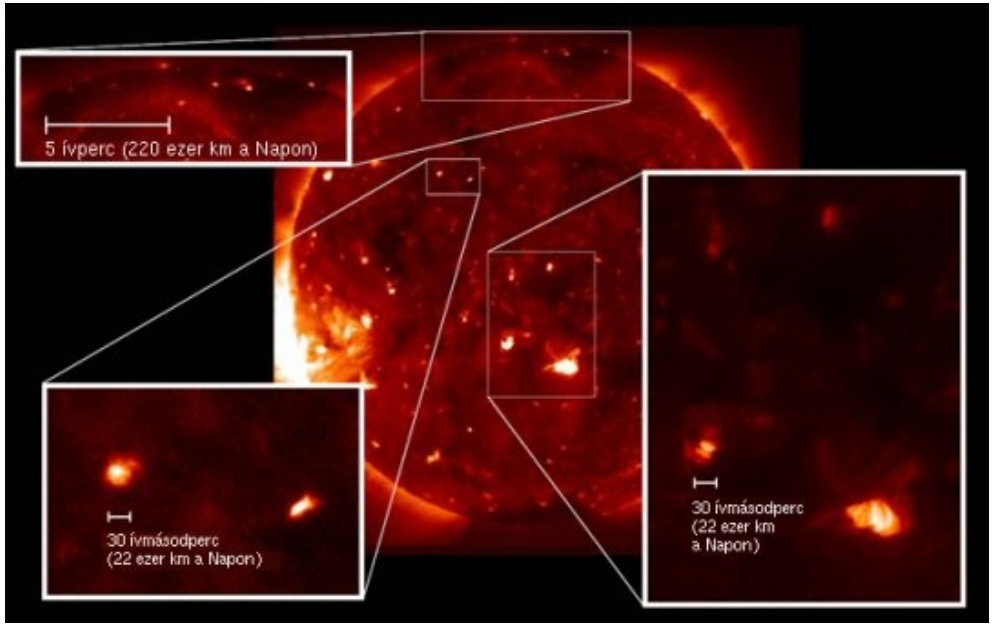




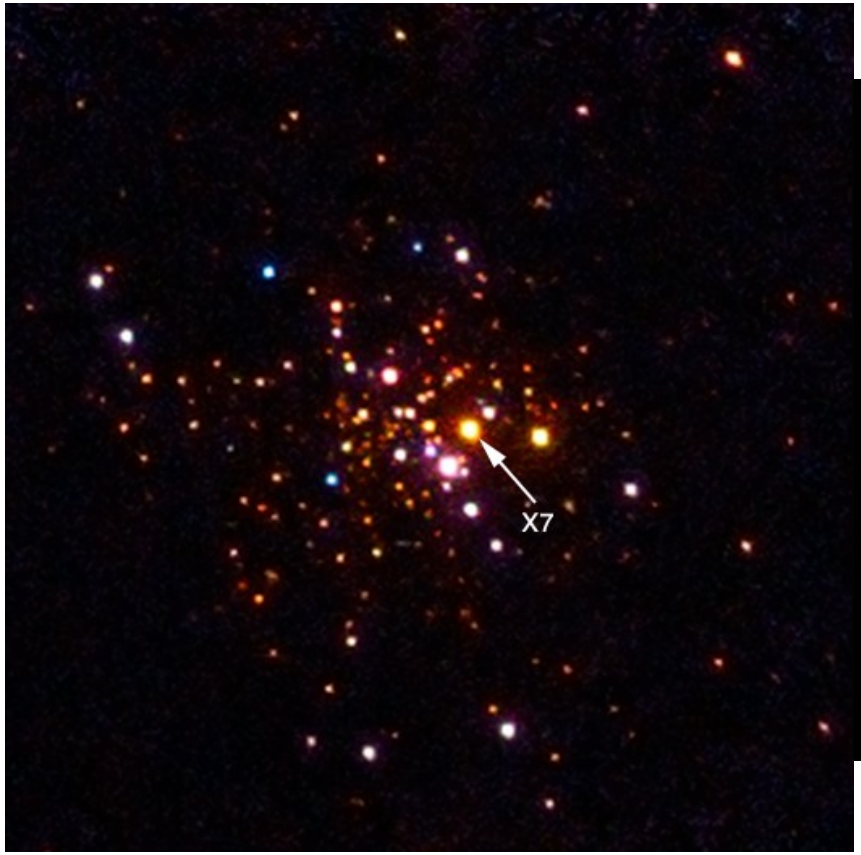
# Chandra-felvételek a Napról

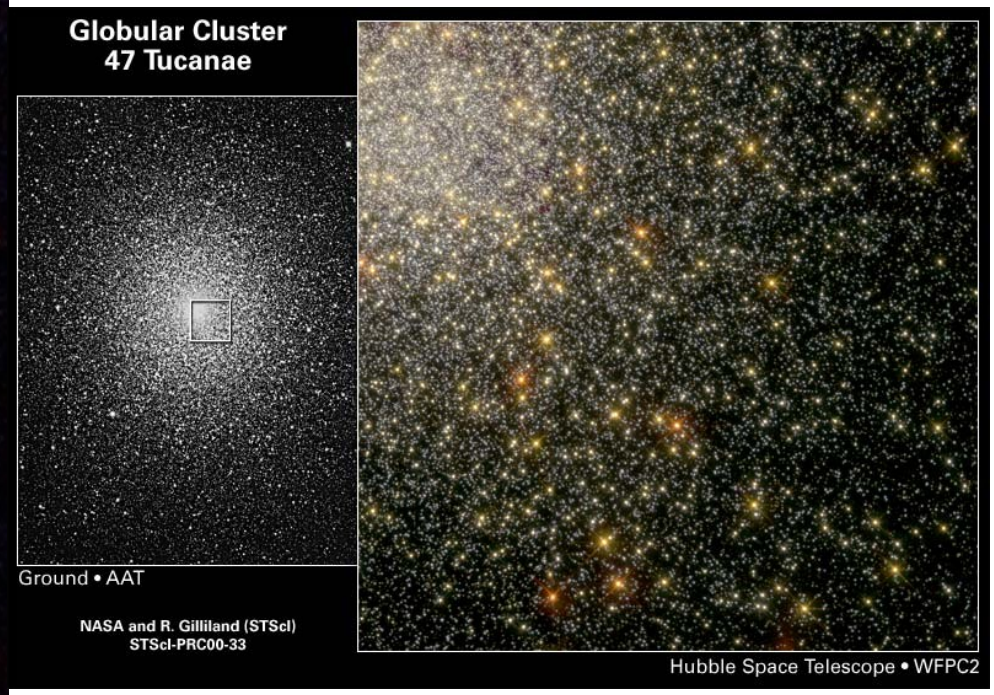




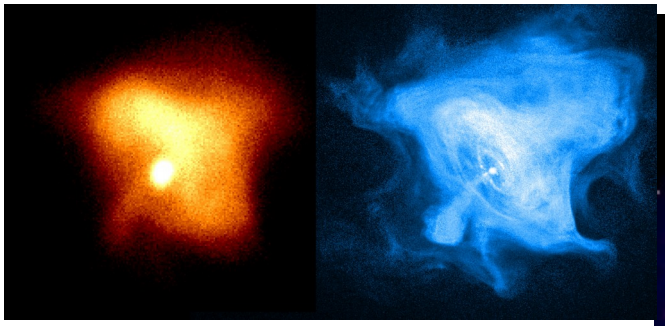


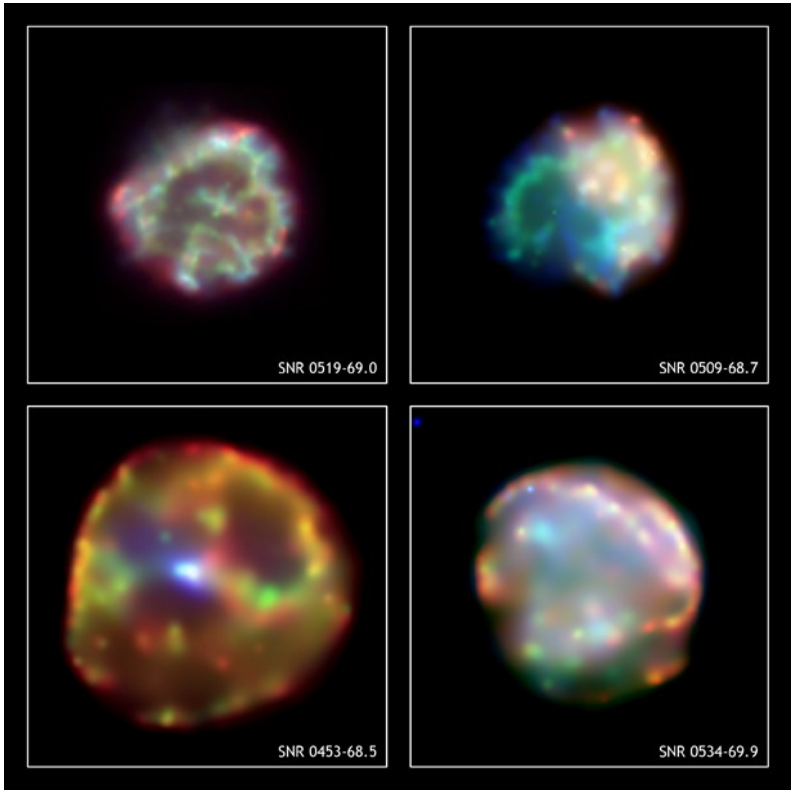
# Chandra-eredmények

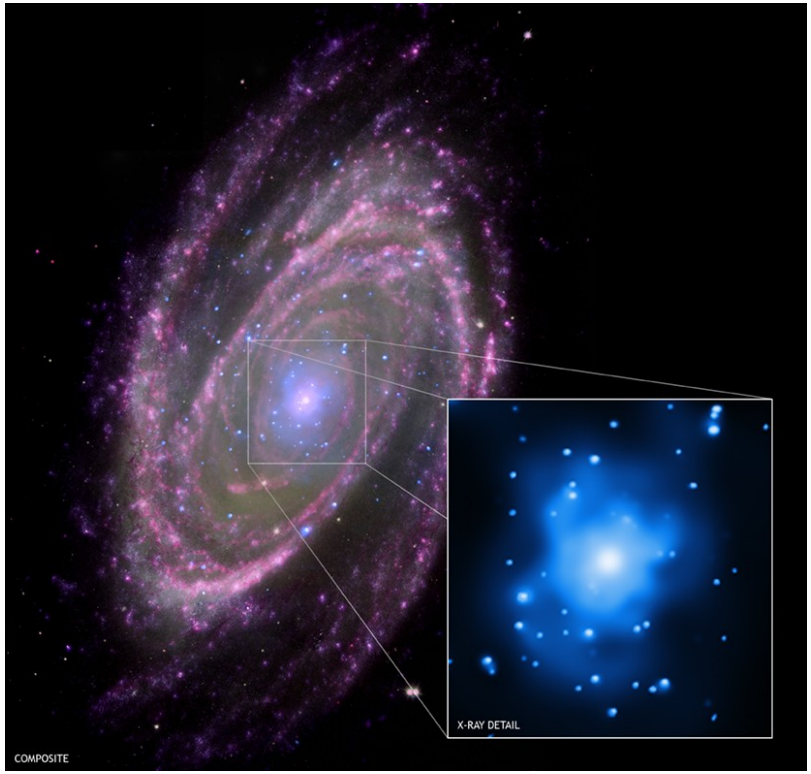


# A Rák-köd a Chandra felvételén






Szupernóváknál a színezés az energiára utal.

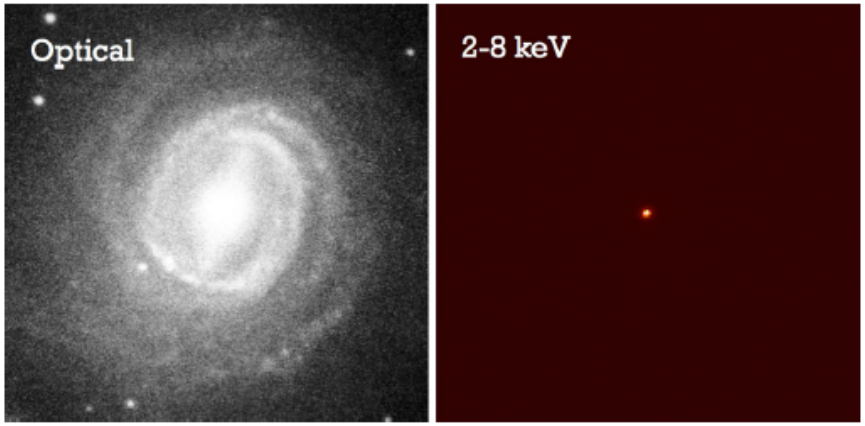
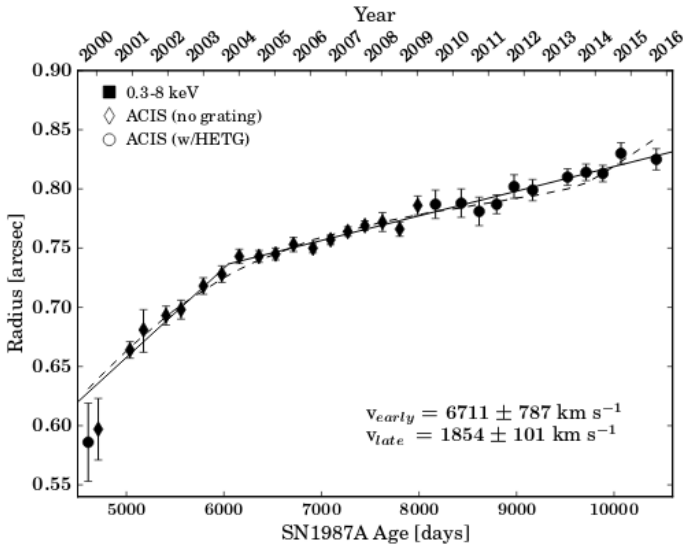
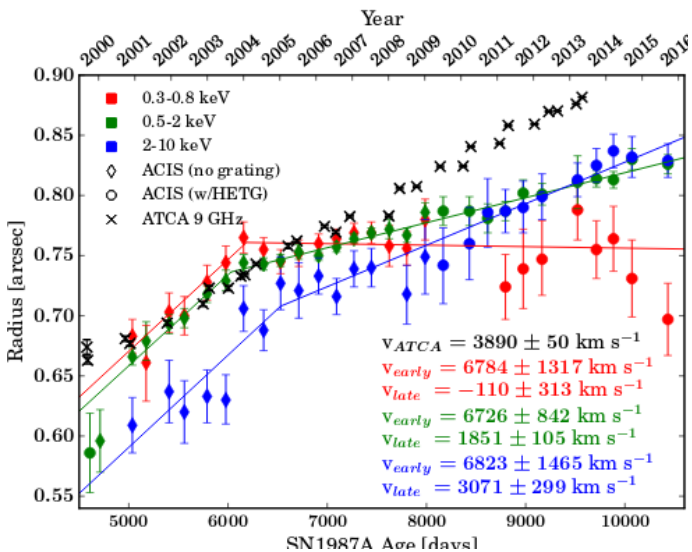



**Fig. 2** Optical and *Chandra* 2–8 keV images of a local active galaxy (NGC 3783); each image is 1.5 arcmin on a side. Note the substantial host-galaxy starlight competing with the AGN light in the optical band while, in the X-ray band, only the AGN light is apparent. The large contrast in the X-ray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



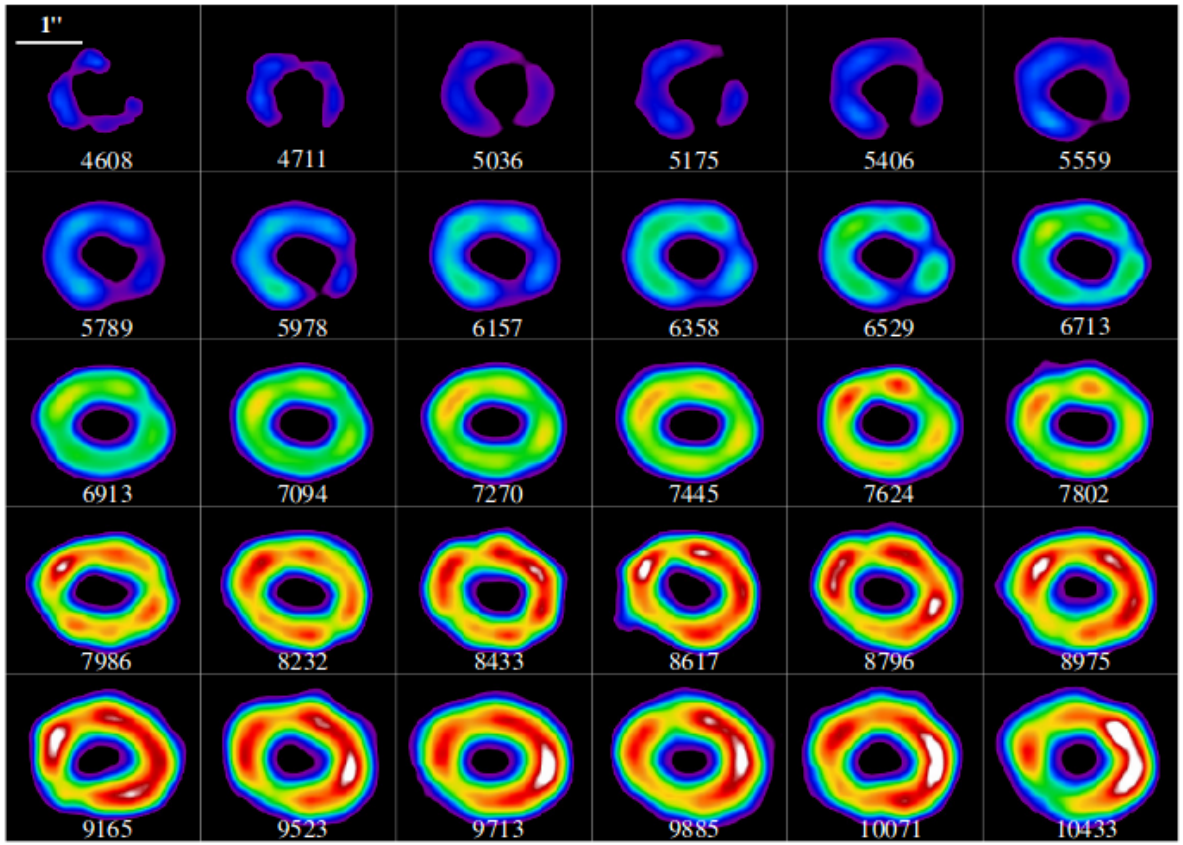
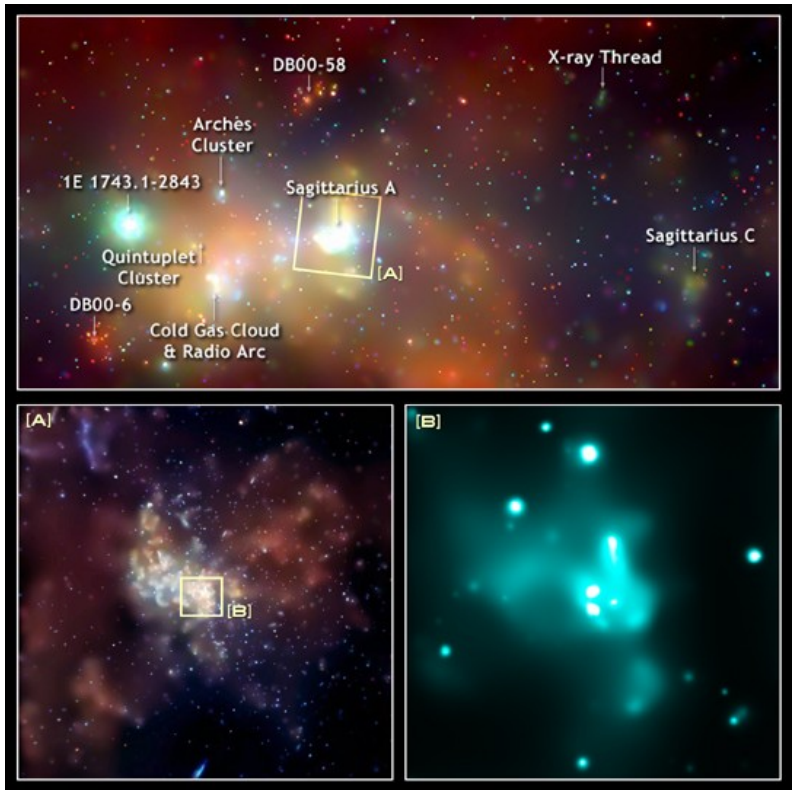




**Figure 5.** Deconvolved, smoothed 0.3-8.0 keV false-color images of SN 1987A covering days 4608 - 10433. Images use a square root scale and are normalized by flux. The age, in days since the supernova, is shown below each image. North is up and East is to the left.

Az SN 1987A a Chandra szemével.



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

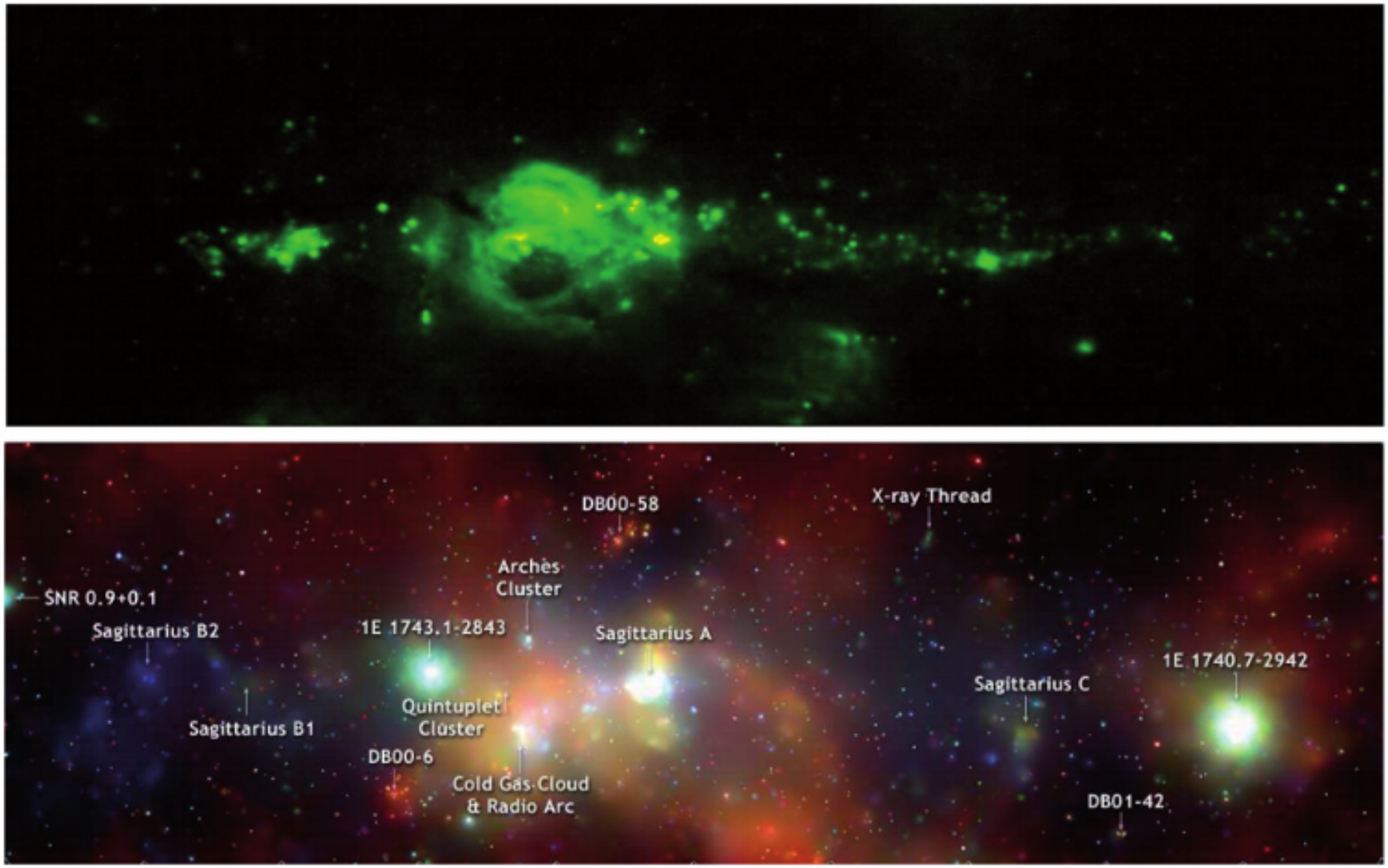
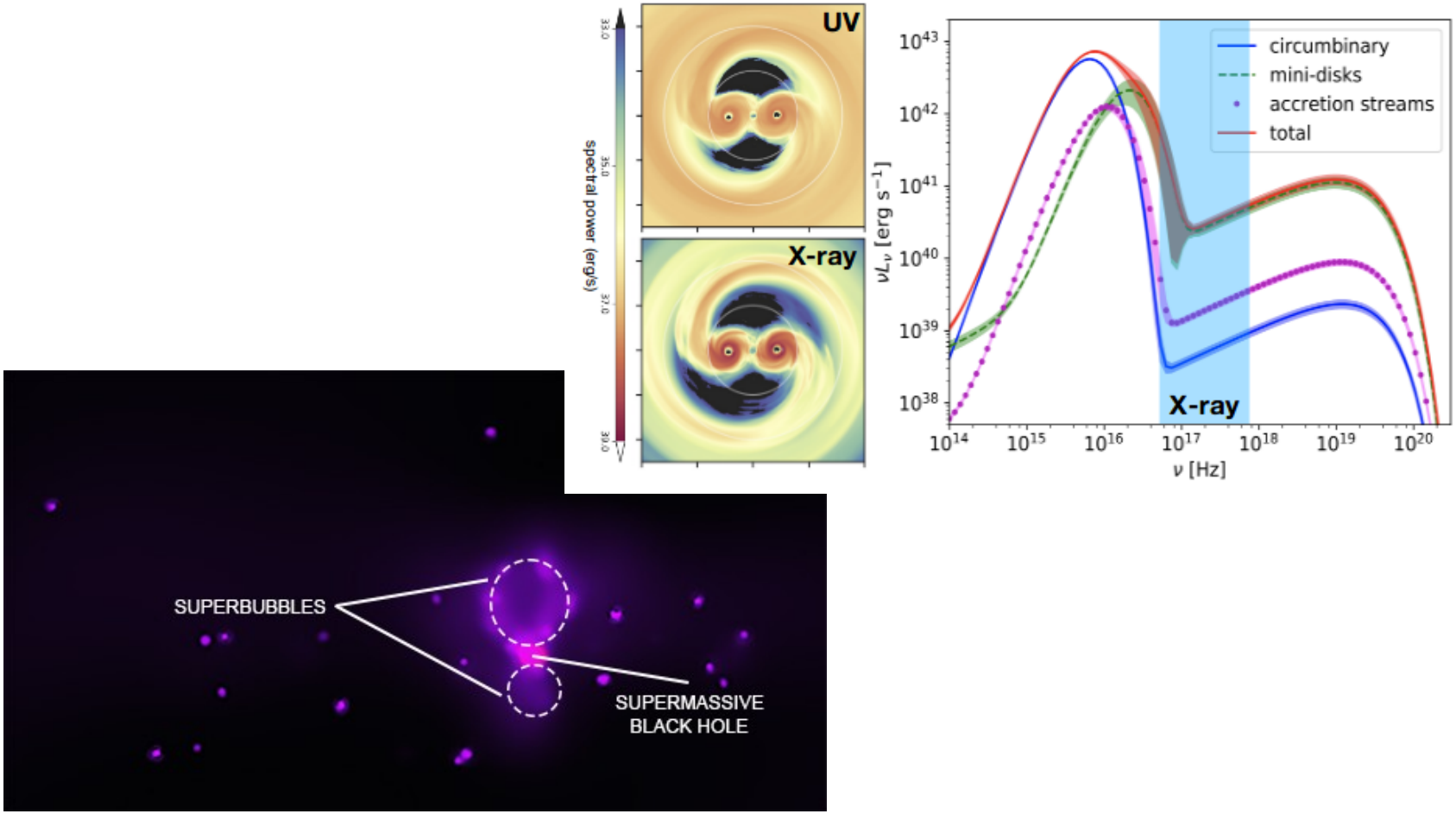



Figure 4: Spitzer infrared (top) and Chandra X-ray (bottom) maps (in Galactic coordinates) of a $2^\circ \times 0.8^\circ$ region around the GC. The infrared emission traces warm dust and stellar activity, while the keV photons (red: 1-3 keV, green: 3-5 keV, blue: 5-8 keV) trace high energy phenomena 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 bremstrahlung radiation. Images after [34] and [37].




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

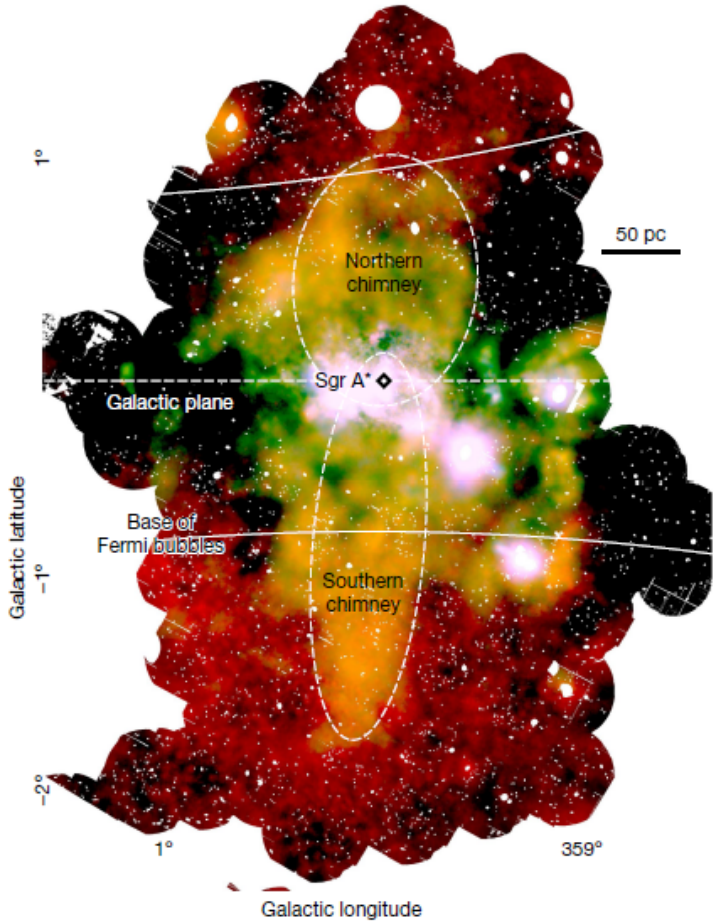
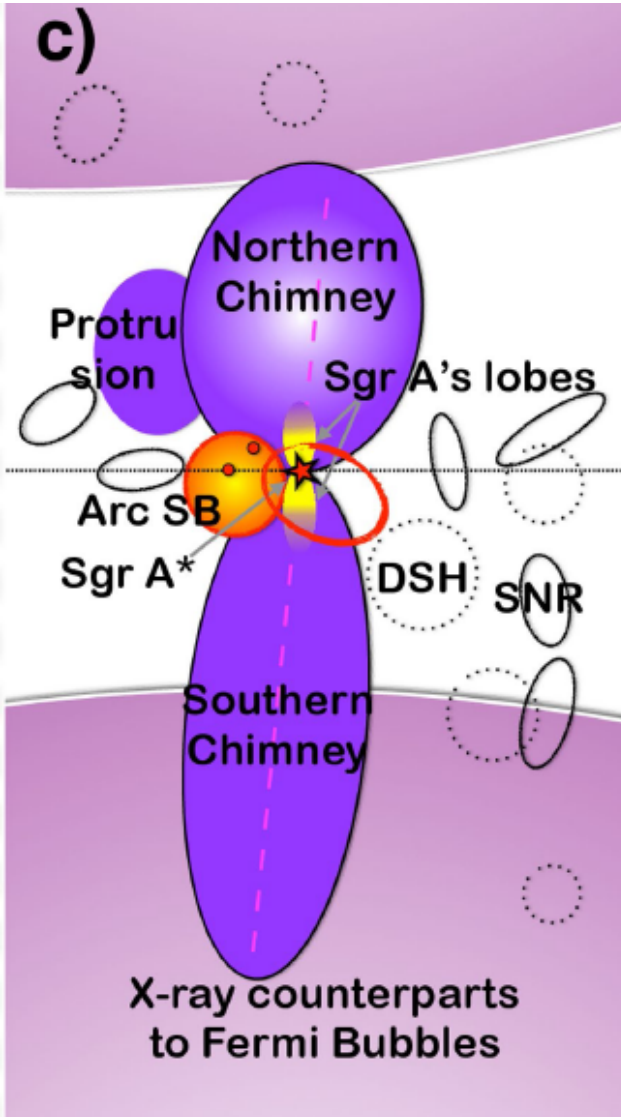
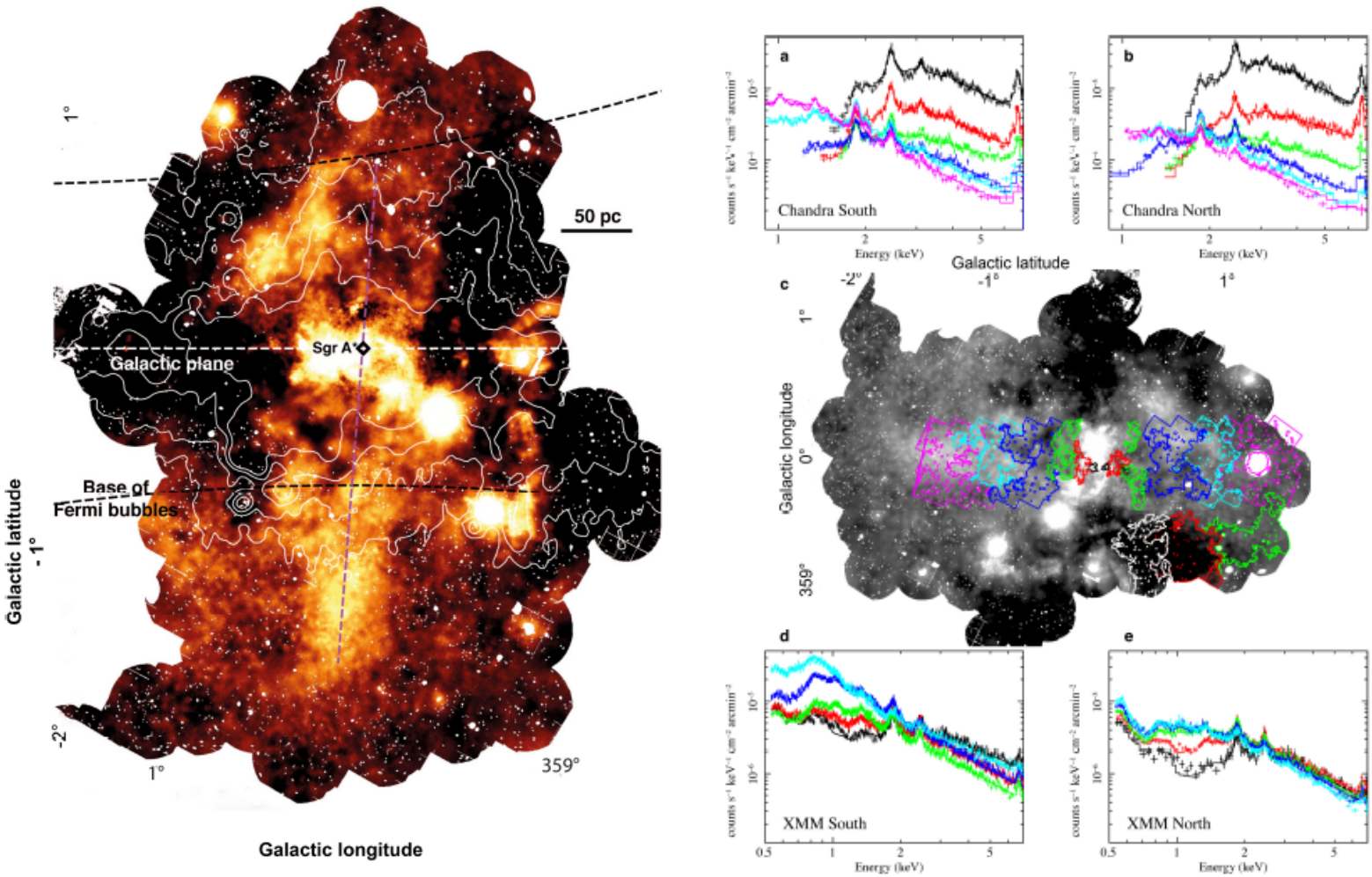



**Fig. 1 | X-ray emission from the central 300 pc by 500 pc of the Milky Way.** The red–green–blue (RGB) image shows integrated emission in the energy range 1.5–2.6 keV (red); integrated emission from 2.35 keV to 2.56 keV, corresponding to the S XV transition (green); and continuum emission in the 2.7–2.97-keV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



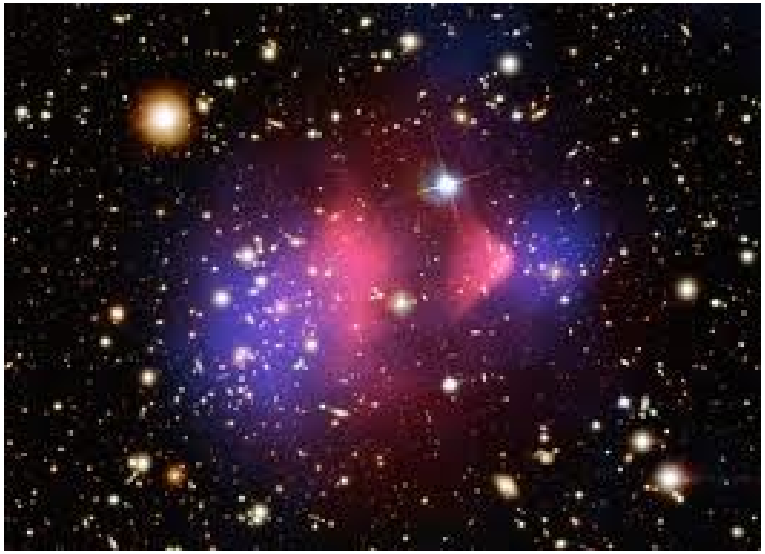

A Tejútrendszer centrumában levő szupernagy tömegű fekete lyuk is bipoláris irányú szuperbuborékot „fúj”, de ez már az XMM-Newton vizsgálata.

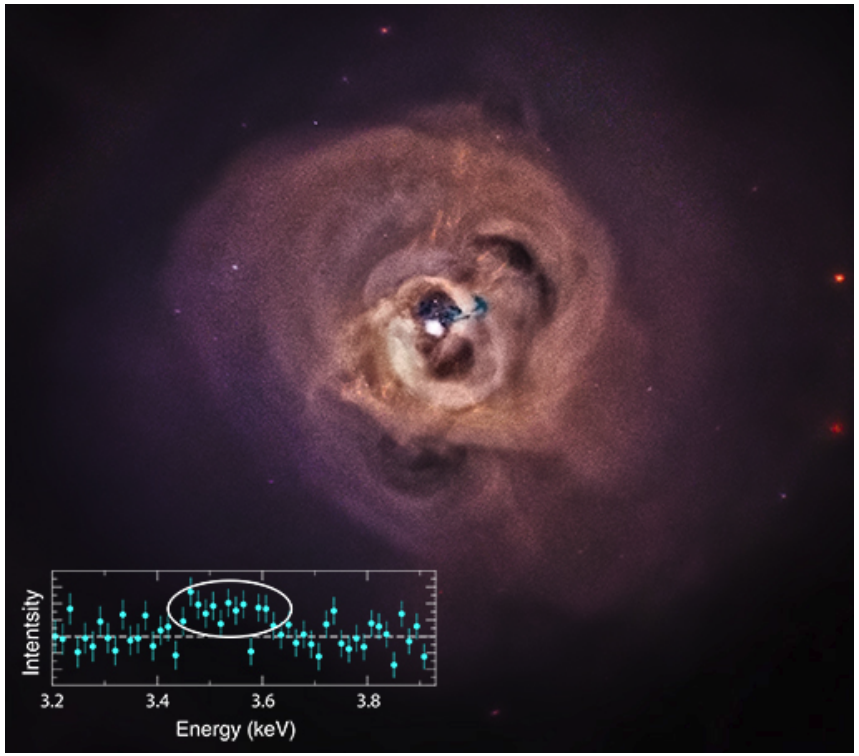


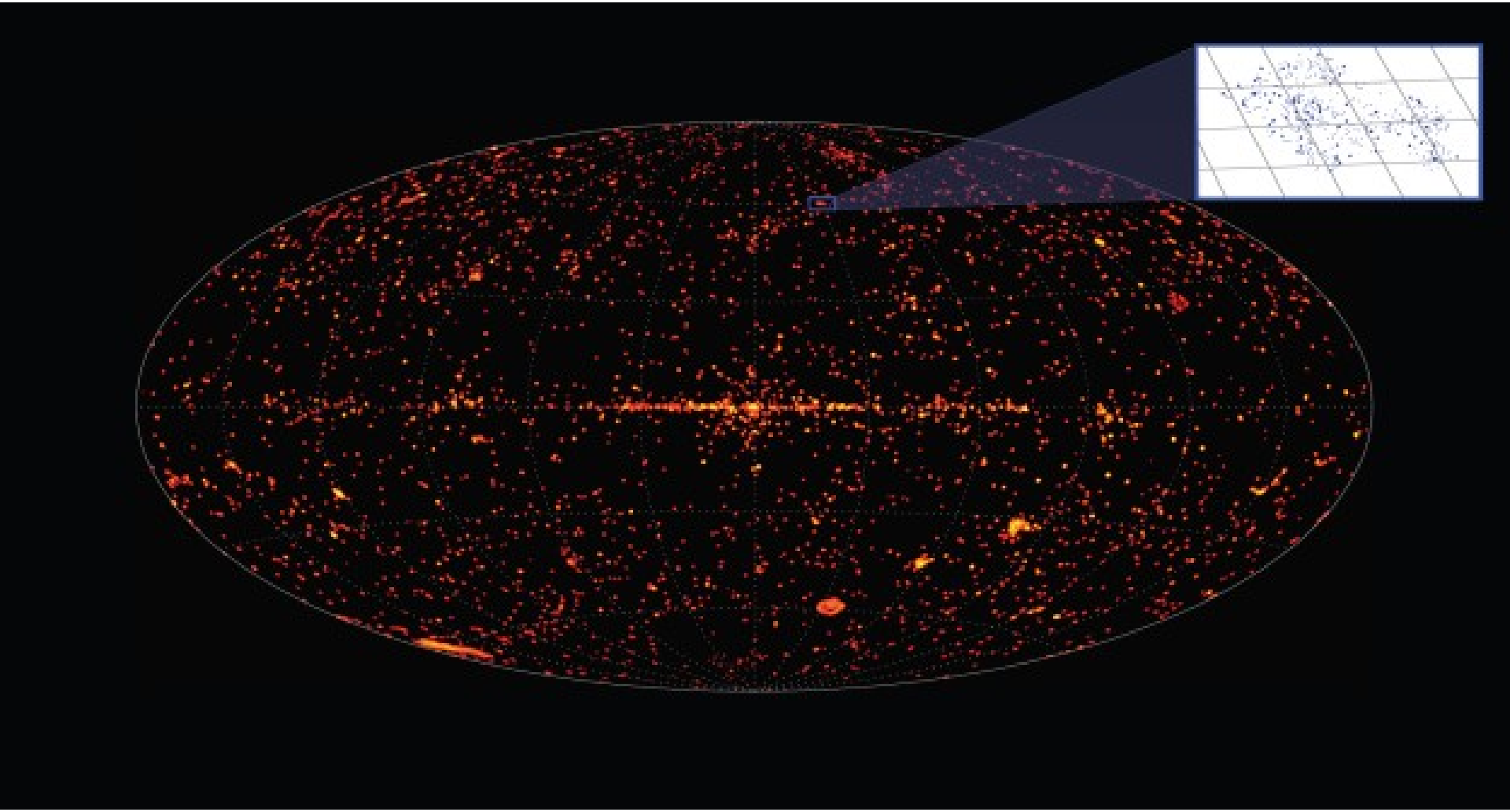

A Tejútrendszer centrumában levő szupernagy tömegű fekete lyuk környezete, az XMM-Newton és a Chandra közös vizsgálata alapján.

Az M87 (balra).
Az Ágyúgolyó-halmaz (balra lent): a sötét anyag közvetlen kimutatása.
A Perseus-halmaz (lent): 3,56 keV-nél rejtélyes fluxustöbblet (más galaxishalmazoknál is).

2015-ben 320 galaxishalmazban az intergalaktikus anyag fizikai tulajdonságainak vizsgálata.







XMM-Newton 3. Serendipitous Source Catalog (3XMM-DR4) – 2013-ban: 372728 röntgenforrás 531261 detektálása 2000. feb. és 2012. dec. között. Azóta van frissebb, több forrást tartalmazó katalógus (lásd egy korábbi ábrához írt kiegészítő szöveget).

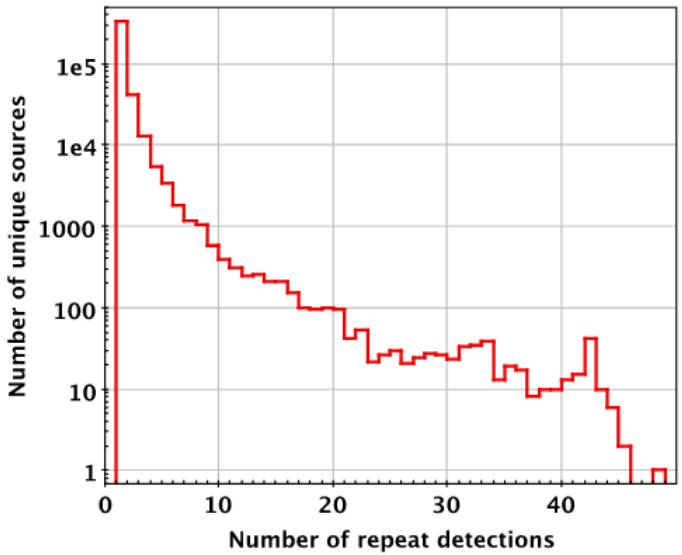



**Table 4.** Cross-matching statistics between 3XMM sources and other catalogues.

| 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 | | |

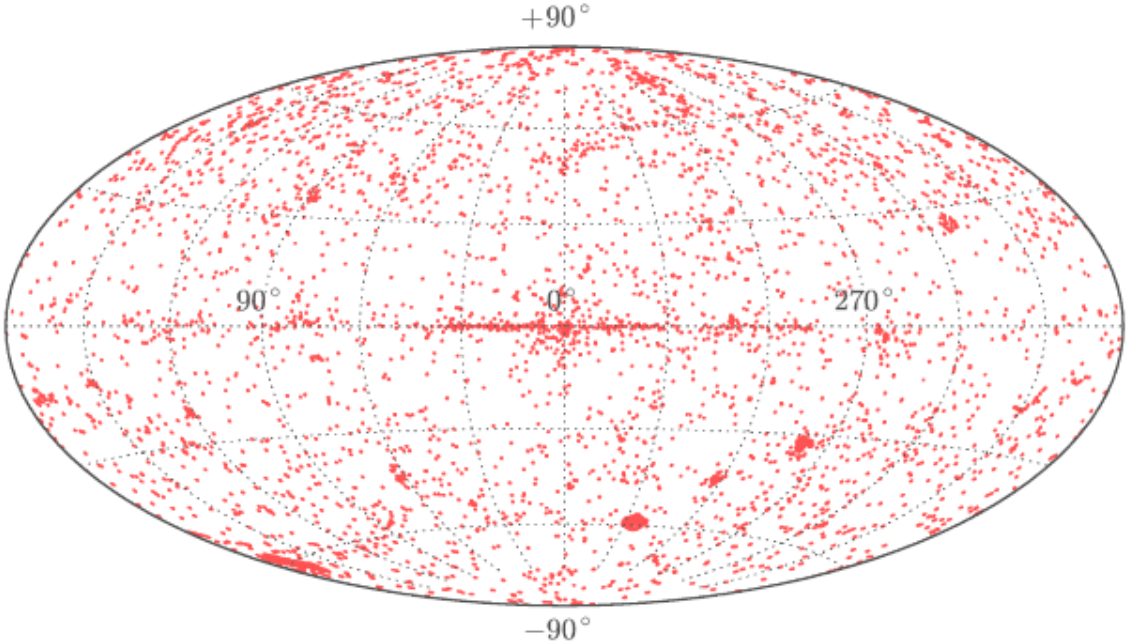
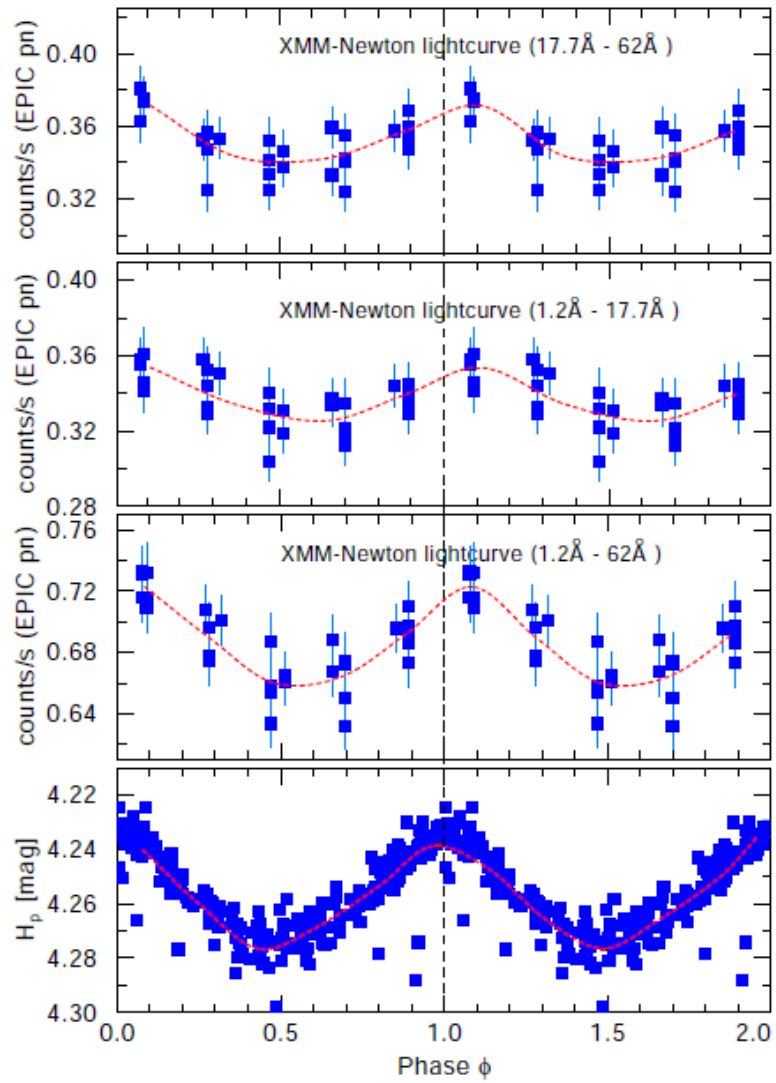



**Fig. 1.** Hammer-Aitoff equal area projection in Galactic coordinates of the 7781 3XMM-DR5 fields.

# XMM-Newton

ξ CMa: Nagy tömegű B-csillag, BCEP típusú pulzációval.
Az XMM-Newtonnal röntgenben is látszik a pulzáció az optikaival azonos periódussal. Más BCEP csillagnál nincs ilyen.
De mi okozza a plazma fűtését???

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



# XMM-Newton

RCW 86: példa az XMM-Newton és a Chandra kooperációjára.

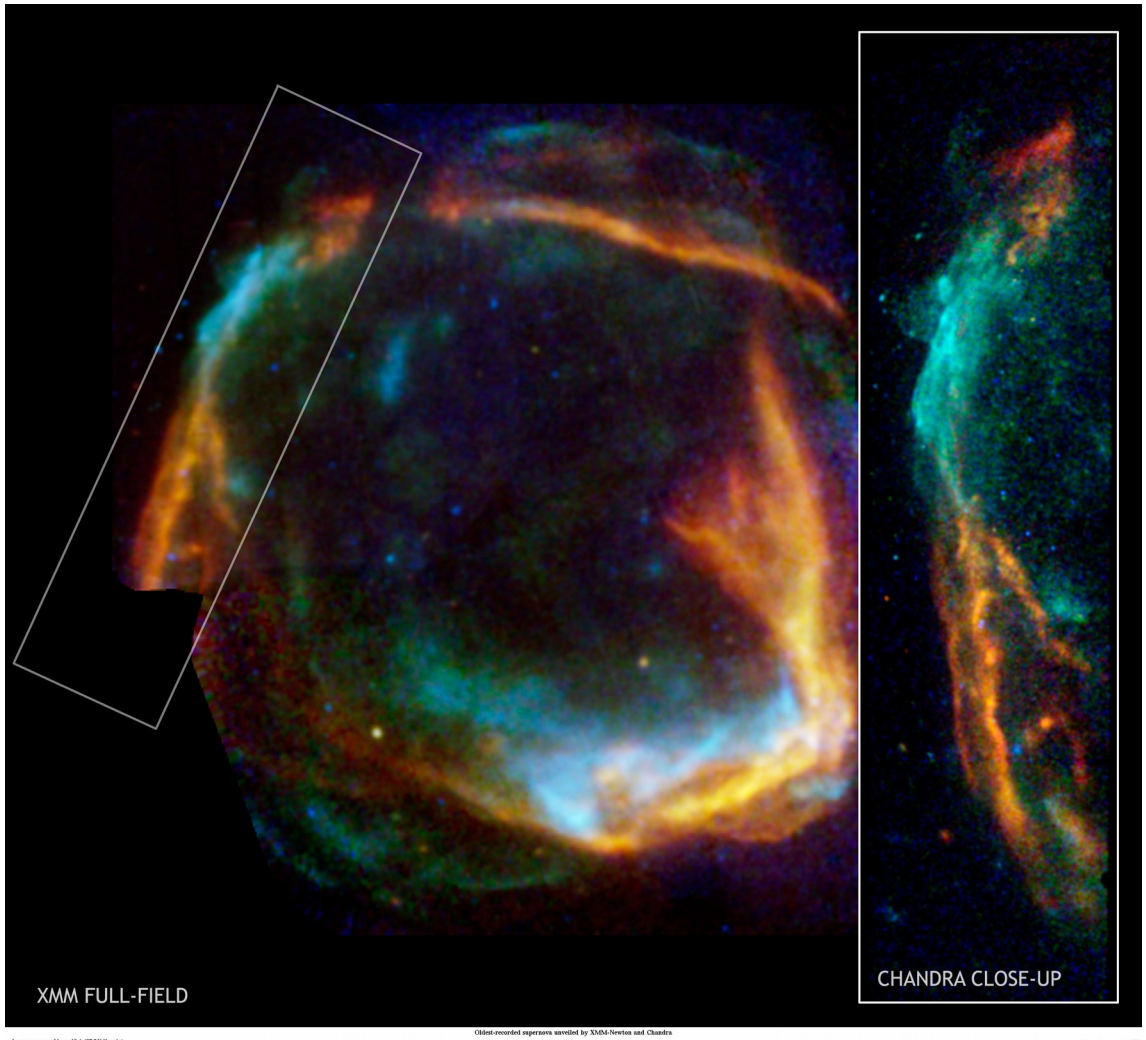



Image courtesy of Jacco Vink (SRON Utrecht)

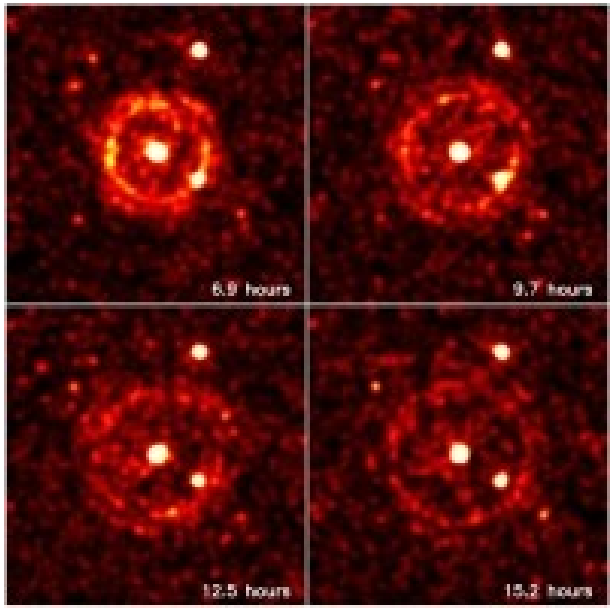
Oldest-recorded supernova unveiled by XMM-Newton and Chandra

European Space Agency

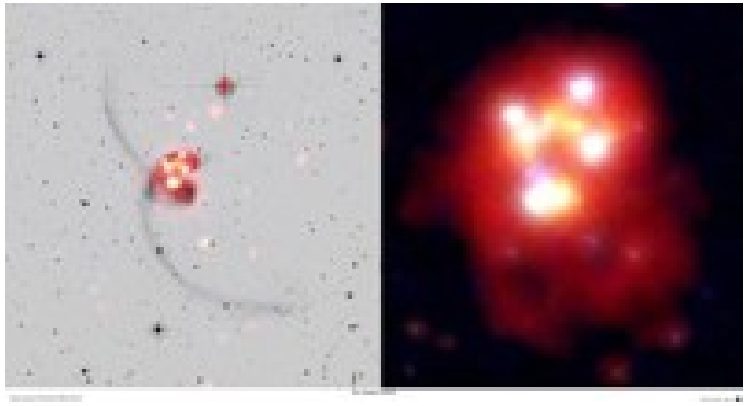
# XMM-Newton

Kettős pulzár

Gammakitörés
körüli röntgenhaló



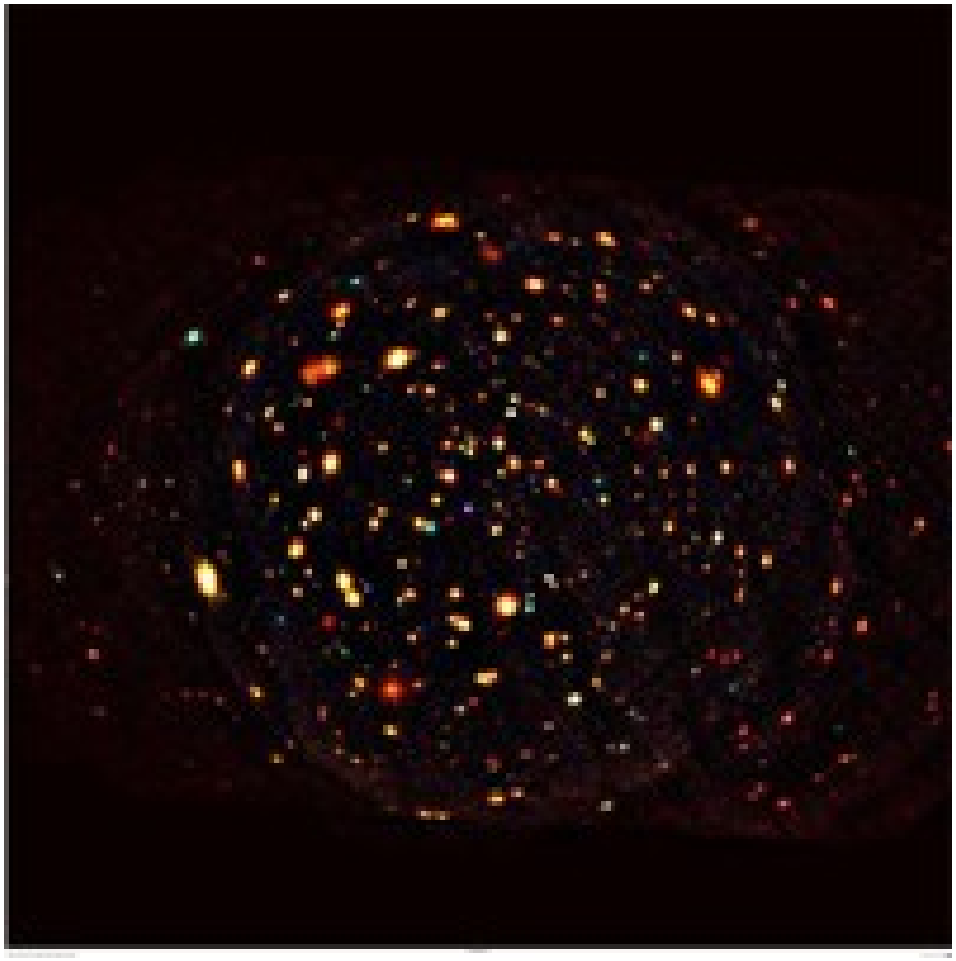

A Csápok galaxispár



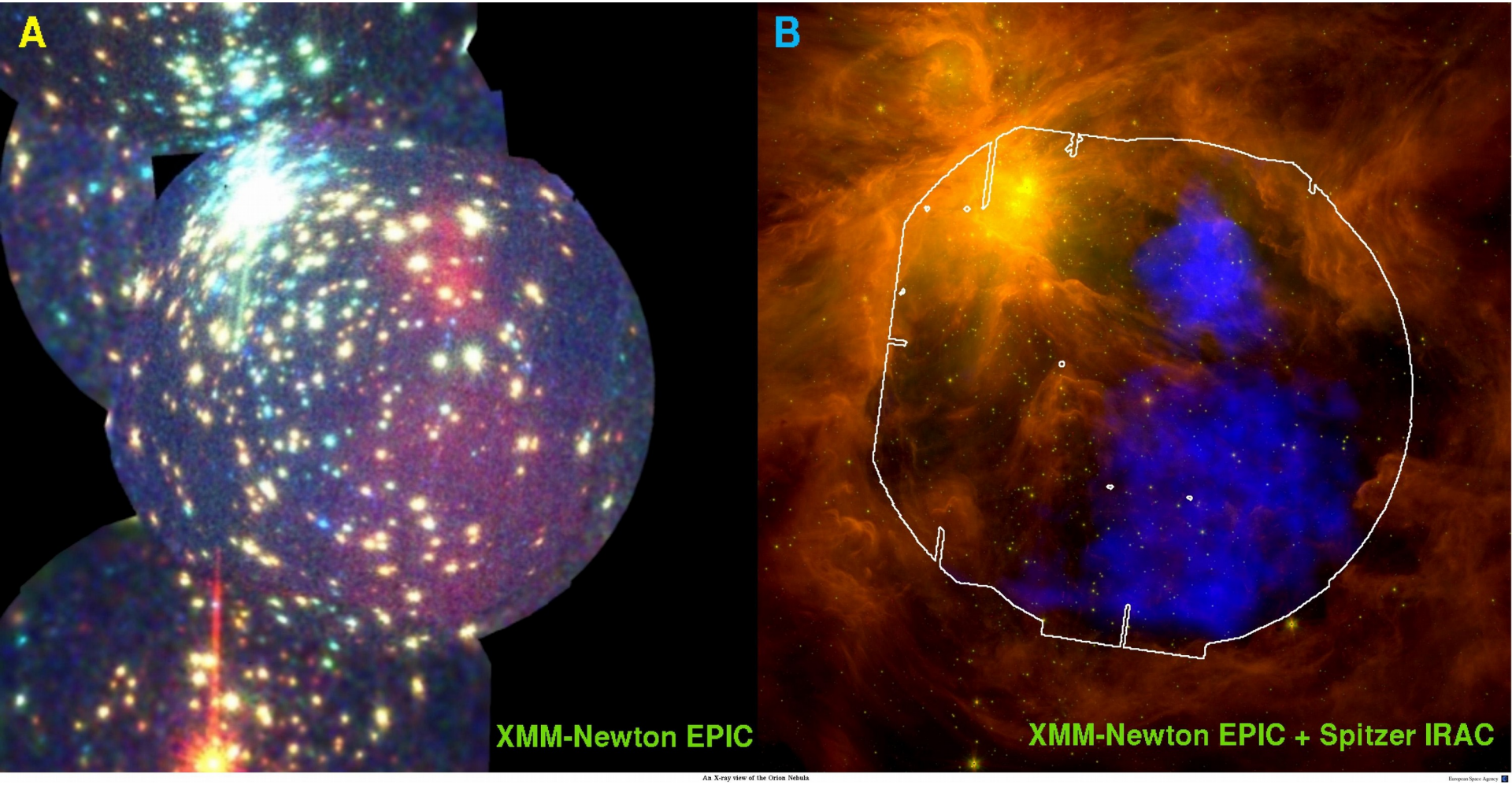
# A Lockmann-lyuk az XMM-Newtonnal

Lockmann-lyuk:
az Ursa Majorban 15 négyzetfok ($10^h45^m$, $58^\circ$ 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.)

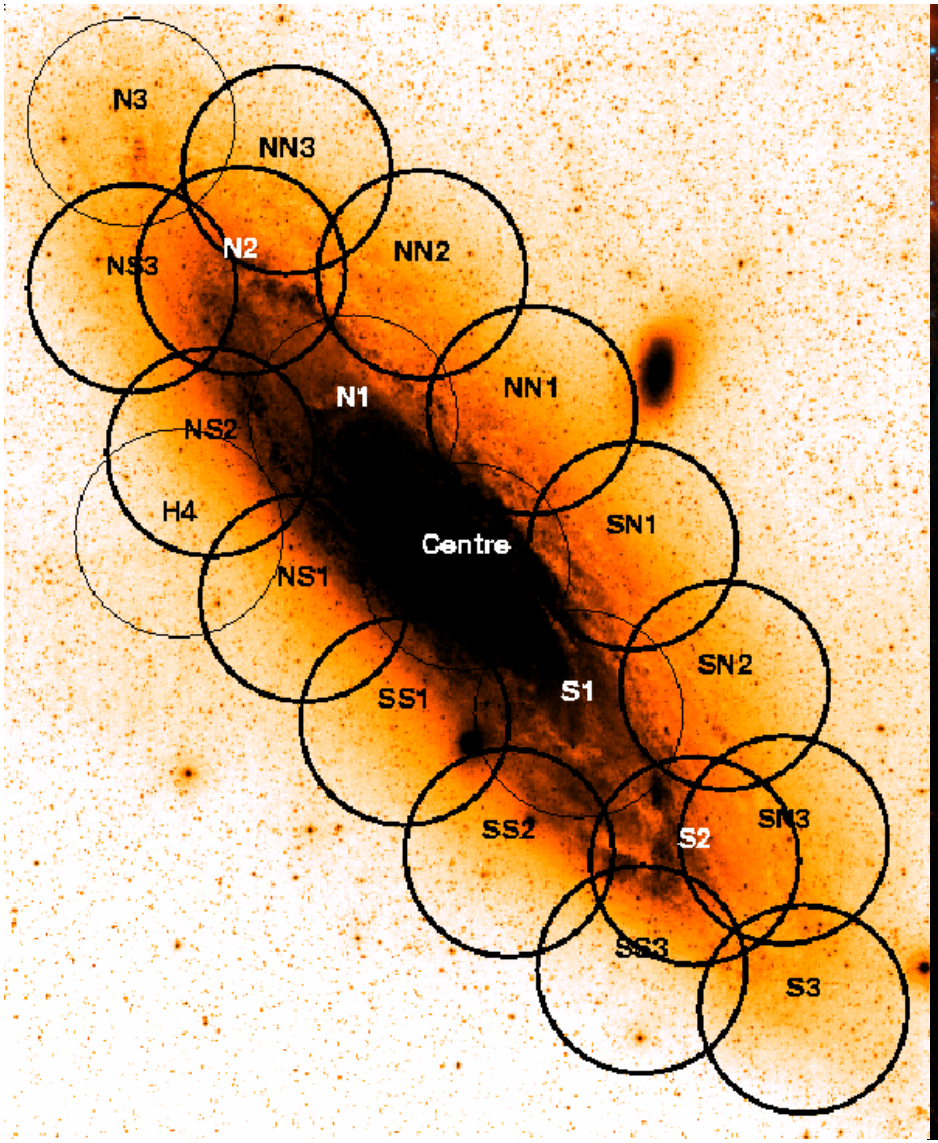


# Az Orion az XMM-Newtonnal




Más példa a kooperációra: az Orion csillagkeletkezési terület: röntgenben és infravörösben. Millió fokos plazma van az Orion-ködben.

# Az M31 vizsgálata az XMM-Newtonnal



# Az M31 vizsgálata az XMM-Newtonnal

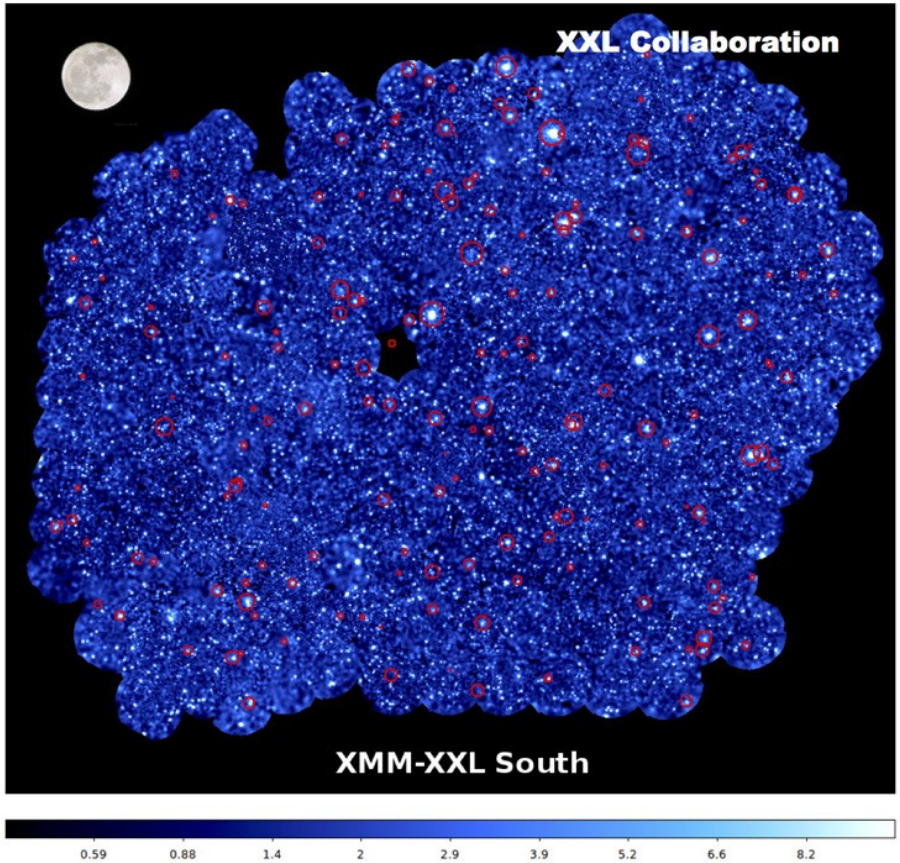
**Table 1.** A selection of important X-ray surveys of M 31.

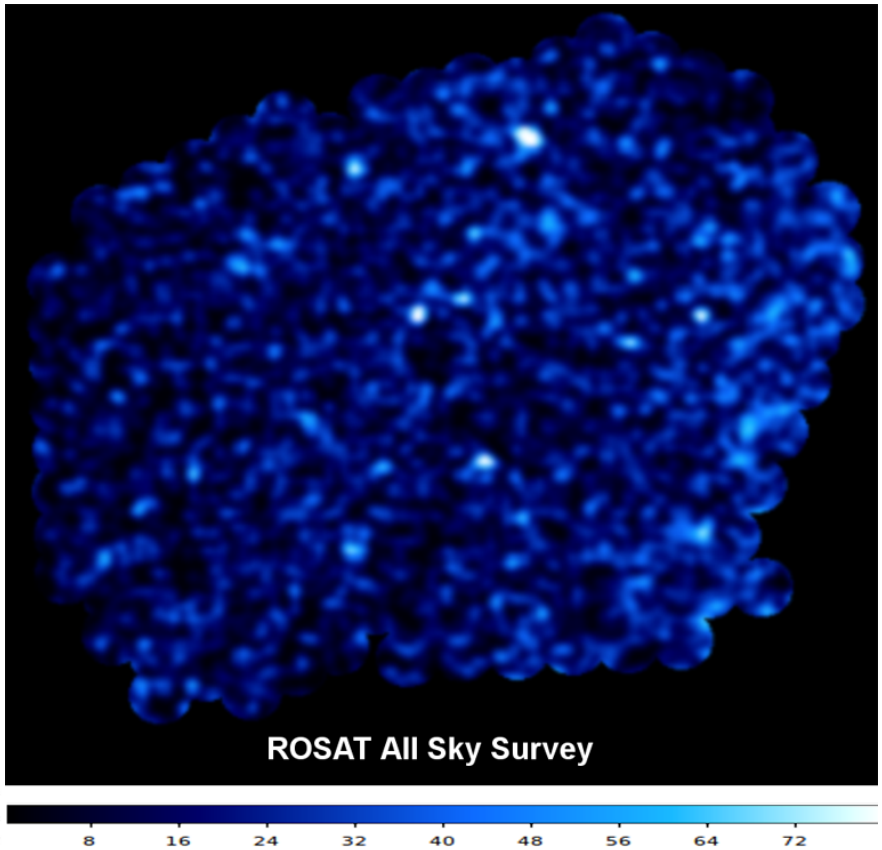
| Paper | S[+] | #ofSrc[•] | $L_X$[†] erg cm$^{-2}$ s$^{-1}$ | Field | Comments |
|---|---|---|---|---|---|
| Trinchieri & Fabbiano (1991, TF91) | E | 108 | $6.4\times10^{36}$–$1.3\times10^{38}$ (0.2–4 keV) | entire set of *Einstein* imaging observations | 16 sources showed variability |
| Primini et al. (1993, PFJ93) | R (HRI) | 86 | $\geq1.8\times10^{36}$ (0.2–4 keV) | bulge region | 18 sources variable; ~3 transients |
| Supper et al. (1997, 2001) (SPH97, SHL2001) | R (PSPC) | 560 | $5\times10^{35}$–$5\times10^{38}$ (0.1–2.4 keV) | whole galaxy | two deep surveys<br>491 sources not detected with *Einstein*<br>11 sources variable, 7 transients compared to *Einstein*<br>34 sources variable, 8 transients between ROSAT surveys |
| Osborne et al. (2001) | X | 116 | $\geq6\times10^{35}$ (0.3–12 keV) | centre | examined the ~60 brightest sources for variability |
| Kong et al. (2002b) | C (ACIS-I) | 204 | $\geq2\times10^{35}$ (0.3–7 keV) | central ~17′ × 17′ | observations between 1999 and 2001<br>~50% of the sources are variable, 13 transients |
| Kaaret (2002) | C (HRC) | 142 | $2\times10^{35}$–$2\times10^{38}$ (0.1–10 keV) | centre | one 47 ks observation; 46 ± 26% of the sources with $L_X > 5\times10^{36}$ erg s$^{-1}$ are variable |
| Di Stefano et al. (2002) | C (ACIS-I/S) | 28 | $5\times10^{35}$–$3\times10^{38}$ (0.3–7 keV) | 3 disc fields | bright X-ray binaries |
| Di Stefano et al. (2004) | C (ACIS-S S3) | 33 | | 3 disc fields + centre | supersoft sources and quasisoft sources |
| Williams et al. (2004) | C (HRC) | 166 | $1.4\times10^{36}$–$5\times10^{38}$ (0.1–10 keV) | major axis + centre | ≥25% showed significant variability |
| Trudolyubov & Priedhorsky (2004) | C, X | 43 | ~$10^{35}$–~$10^{39}$ (0.3–10 keV) | major axis + centre | globular cluster study |
| Pietsch et al. (2005b, PFH2005) | X | 856 | $4.4\times10^{34}$–$2.8\times10^{38}$ (0.2–4.5 keV) | major axis + centre | source catalogue |
| Pietsch et al. (2005a, PFF2005) | C, R, X | 21 | ~$10^{35}$–~$10^{38}$ (0.2–1 keV) | centre | correlations with optical novae |
| Orio (2006) | C, X | 42 | $6\times10^{35}$–~$10^{39}$ (0.2–2 keV)<br>(0.3–10 keV) | major axis + centre | supersoft sources and quasisoft sources |
| Pietsch et al. (2007, PHS2007) | C, X | 46 | ~$10^{35}$–~$10^{38}$ (0.2–1 keV) | centre | correlations with optical novae |
| Voss & Gilfanov (2007) | C | 263 | $5\times10^{33}$–$1.5\times10^{38}$ (0.5–8 keV) | bulge region | low mass X-ray binary study |
| Stiele et al. (2008, SPH2008) | X | 39<br>300 | $7\times10^{34}$–$6\times10^{37}$<br>$4.4\times10^{34}$–$2.8\times10^{38}$ (0.2–4.5 keV) | centre | re-analysis of archival and new 2004 observations<br>time variability analysis; 149 sources with a significance for variability >3; 6 new X-ray binary candidates, 3 supernova remnant classifications were rejected |
| Shaw Greening et al. (2009, SBK2009) | X | 335 | ~$10^{34}$–~$10^{39}$ (0.3–10 keV) | 5 fields along major axis | background subtracted spectra and lightcurves for each source; 18 HMXB candidates, selected from their power law photon index |
| Stiele et al. (2010) | X | 40 | | whole galaxy | supersoft sources; comparing ROSAT, *Chandra* and *XMM-Newton* catalogues |

**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.

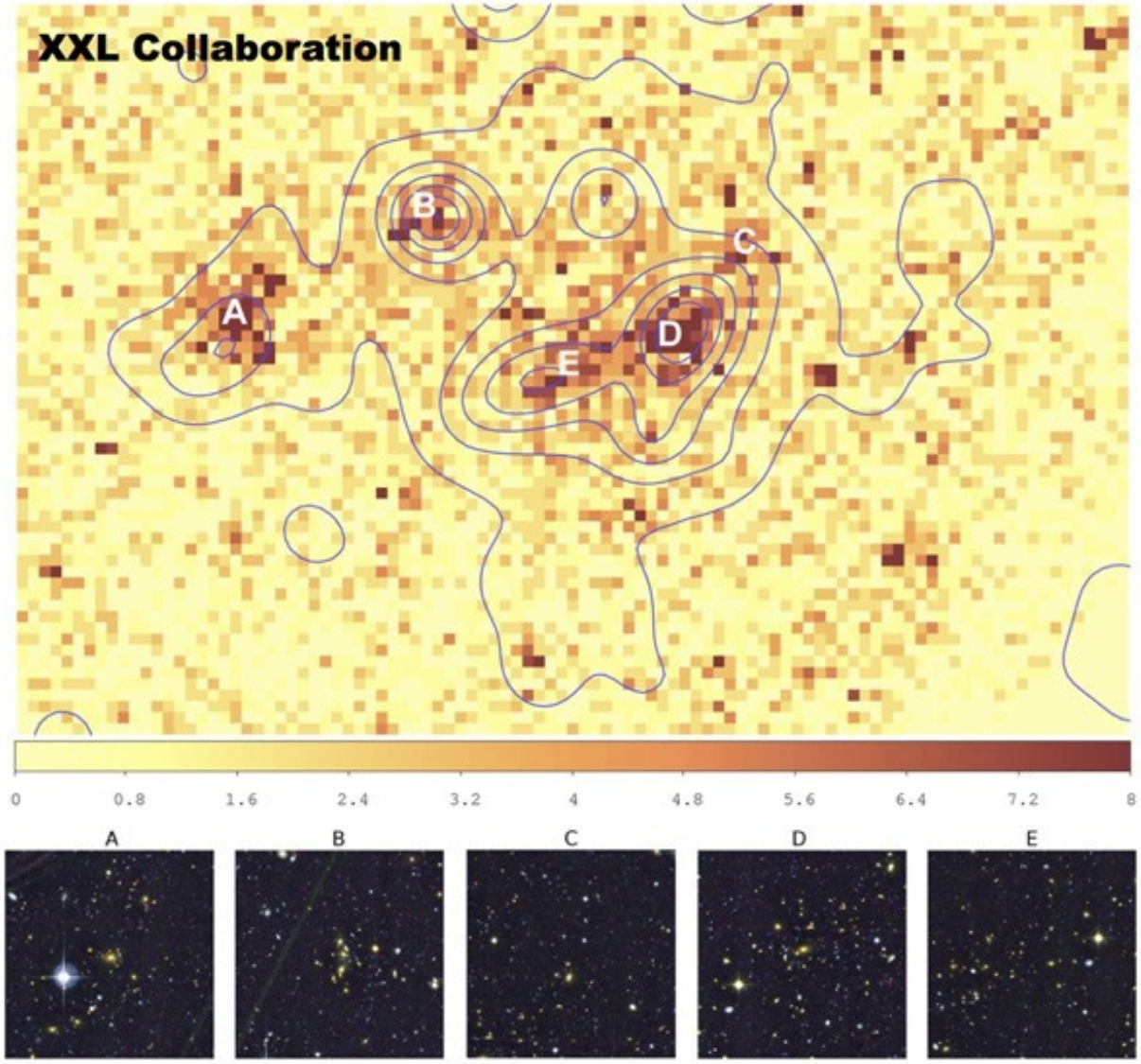
# XMM-Newton XXL Survey

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




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 – *XMM-Newton* observing plan – Follow-up observations and simulation programme | Pierre, Pacaud, Adami et al. |
| II | The bright cluster sample | |
| III | Luminosity-temperature relation of the bright cluster sample | |
| IV | Mass-temperature relation of the bright cluster sample | |
| V | Detection of the Sunyaev-Zel'dovich effect of the redshift 1.9 galaxy cluster XLSSU J021744.1-034536 with CARMA | |
| VI | The 1000 brightest X-ray point sources | |
| VII | A supercluster of galaxies at $z = 0.43$ | |
| VIII | MUSE characterisation of intra-cluster light in a $z = 0.53$ cluster of galaxies | |
| IX | Optical overdensity and radio continuum analysis of a supercluster at $z = 0.43$ | |
| X | Weak-lensing mass – *K*-band luminosity relation for groups and clusters of galaxies | |
| XI | ATCA 2.1 GHz continuum observations | |
| XII | Optical spectroscopy of X-ray selected clusters and the frequency of AGNs in superclusters | |
| 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 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 |
| $\log_{10}(N_H/\mathrm{cm}^{-2})$ | 20.4 | 20.1 |

**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 | $R = 800$ | *detailed studies of groups and clusters* | PI-T | OG |
| NTT | N+S | $R = 300$ | *individual clusters* | PI*-T | OG |
| FORS2 | N+S | $R = 600$ | *individual clusters* | 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 |
| *Spitzer*/SWIRE | N | 3.6, 4.5, 5.8, 8.0, 24, 70, 160 $\mu$m | 10 deg$^2$ | E-S | C |
| *Spitzer* | N | 3.6, 4.5 $\mu$m | 16 deg$^2$ | PI-S | C |
| VISTA VIDEO | N | $Z, Y, J, H, Ks$ | 4.5 deg$^2$ | E-S | OG |
| WIRCAM at CFHT/MIRACLES | N | $Ks$ | 11.2 deg$^2$ | E-S | C |
| WIRCAM at CFHT | N | $Ks$ | 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 | $Y, J, Ks$ | *individual clusters* | PI-T | OG |
| *Herschel* HERMES | N | 70, 100, 160, 250, 350, 500 $\mu$m | 9.3 deg$^2$ | E-S | C |
| WISE | N+S | 3.5–23 $\mu$m | 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 | $J, H, Ks$ | larger than XXL | E-S | OG |
| *Spitzer*/SSDF | S | 3.6, 4.5 $\mu$m | 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 | *individual clusters* | 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

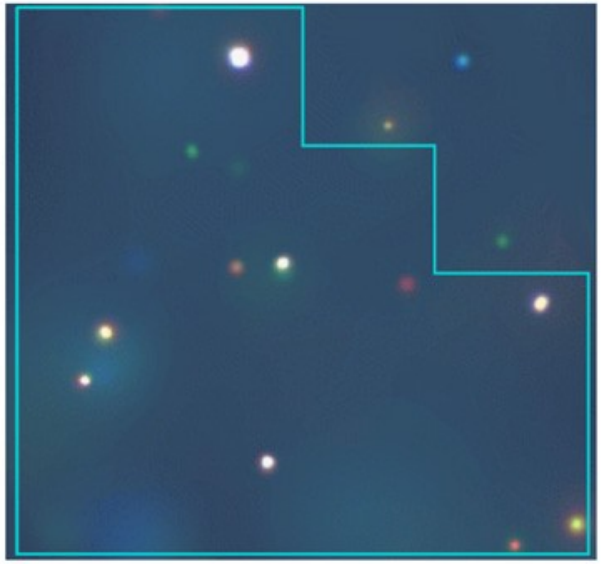
- Végső bizonyíték arra, hogy az üstökösök röntgensugárzását a napszél nehéz és több elektronját vesztett ionjaival bekövetkező töltéscsere okozza;
- Fősorozat előtti csillagoknál a röntgenemisszió szerepének tisztázása a cirkumsztelláris anyaggal való kölcsönhatásban és a bolygórendszer kialakulási 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 és S) területeit vizsgálták a Chandrával (illetve a középpont volt azonos). CDF-North (lent középen): 2 millió másodperc, 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.

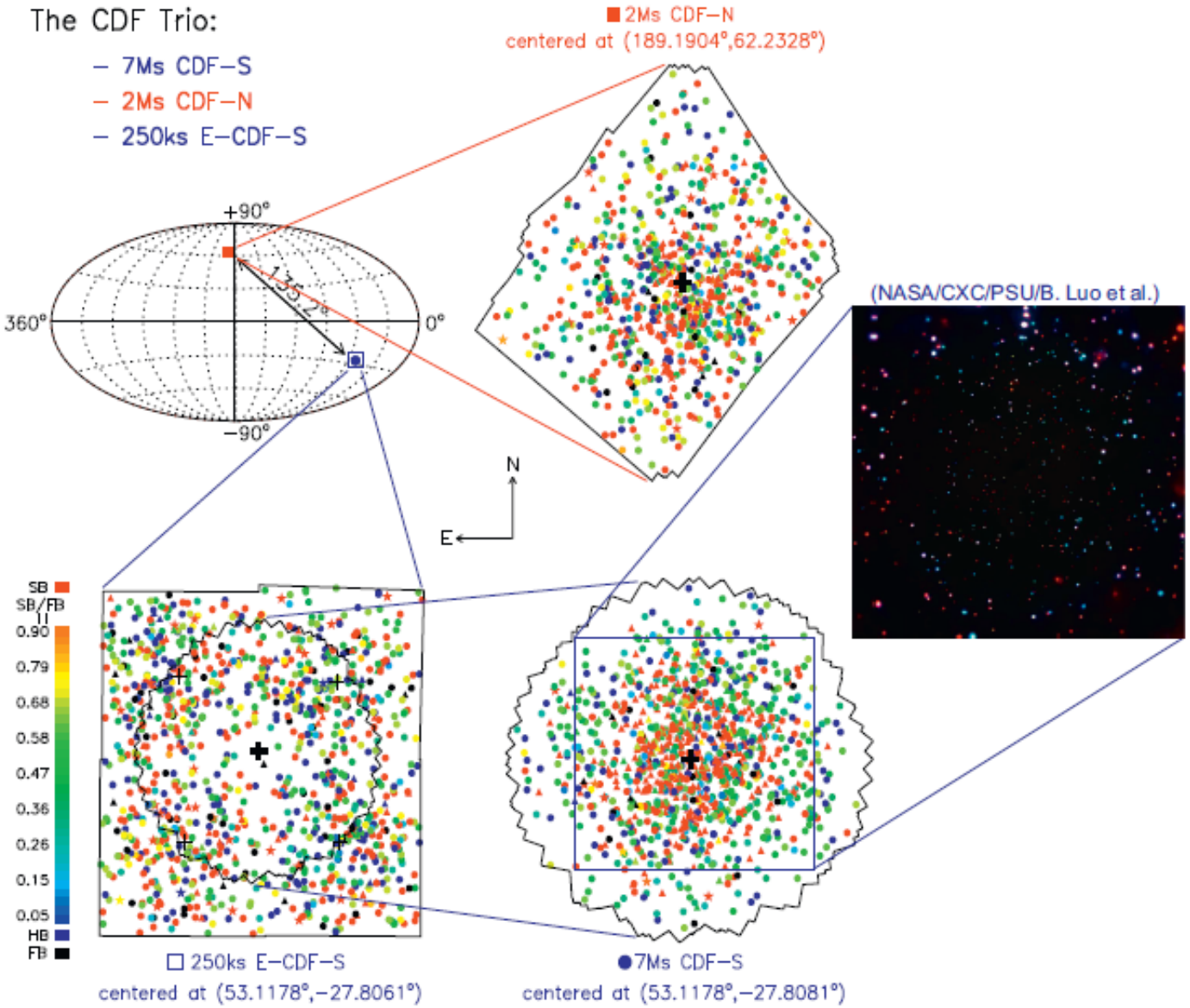


# Chandra-mélyvizsgálatok

Properties of the CDFs[a].

| | CDF-S | CDF-N | E-CDF-S |
|---|---|---|---|
| Galactic $N_H$ ($cm^{-2}$) | $8.8 \times 10^{19}$ | $1.6 \times 10^{20}$ | $8.8 \times 10^{19}$ |
| 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) |
| $1\sigma$ 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 (erg $cm^{-2}$ $s^{-1}$) | (−16.76, −15.50, −12.96) | (−16.35, −15.09, −12.70) | (−15.73, −14.79, −12.88) |
| Logarithm of SB flux (erg $cm^{-2}$ $s^{-1}$) | (−17.11, −16.19, −13.29) | (−16.83, −15.79, −13.07) | (−16.13, −15.27, −13.26) |
| Logarithm of HB flux (erg $cm^{-2}$ $s^{-1}$) | (−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 $L_{0.5\text{-}7\,keV}$ (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

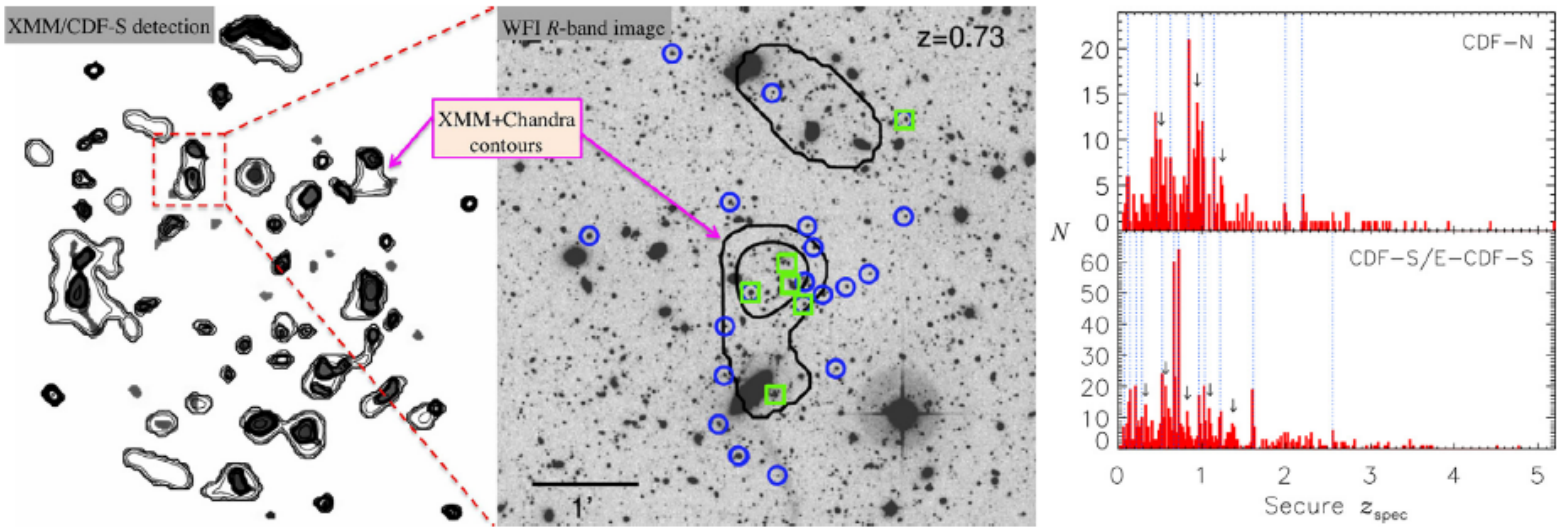



**Fig. 20.** (Left) *XMM-Newton* detection of the extended emission on a 32 arcsec scale in the full E-CDF-S field, overlaid with the contours that show the extended emission detected in the combined *Chandra* and *XMM-Newton* images on the 32 and 64 arcsec scales. (Middle) The most prominent spectroscopically 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 $|z_{spec} - 0.73| < 0.01$ 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 $\Delta z_{spec}$=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).

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

# Extragalaktikus röntgenfelmérések

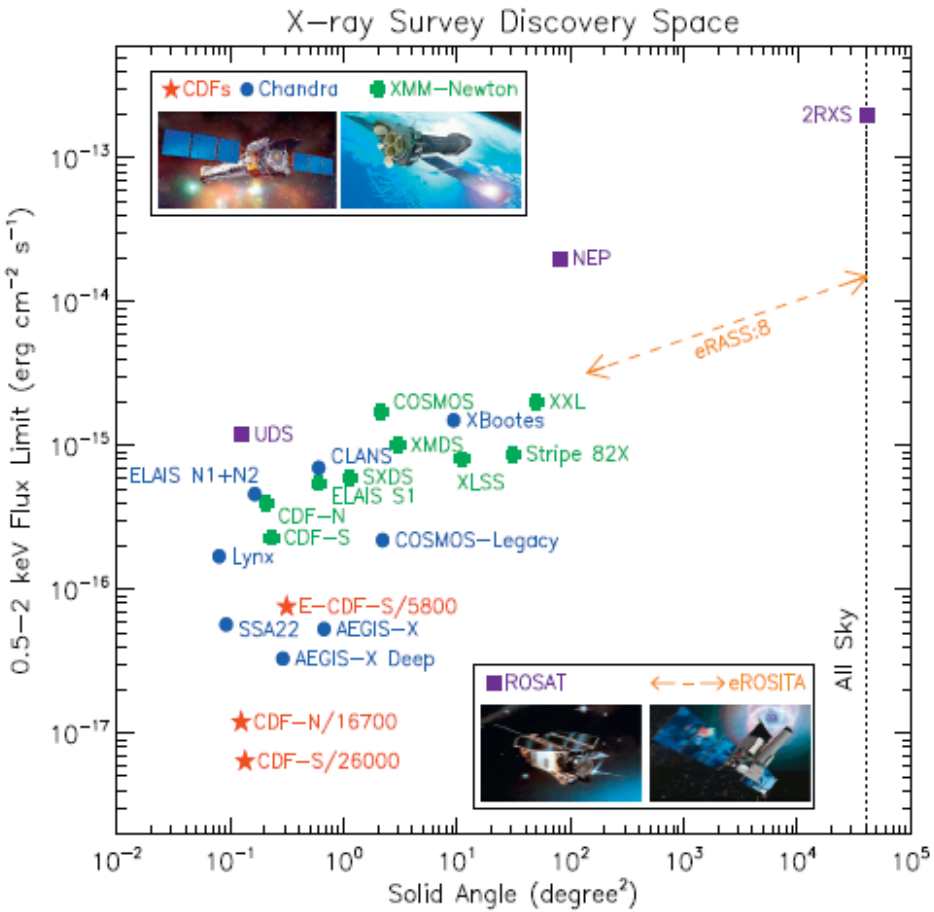
**Table 1** Selected extragalactic X-ray surveys with *Chandra*, *XMM-Newton*, and *NuSTAR*

| Survey name | Rep. Eff. Exp. (ks) | Solid angle (arcmin$^2$) | Representativ reference |
|---|---|---|---|
| *Chandra* (0.3–8 keV) | | | |
| *Chandra* Deep Field-South (CDF-S) | 3870 | 465 | Xue et al. (20 |
| *Chandra* Deep Field-North (CDF-N) | 1950 | 448 | Alexander et |
| AEGIS-X Deep | 800 | 860 | Goulding et a |
| SSA22 protocluster | 392 | 330 | Lehmer et al. |
| HRC Lockman Hole | 300 | 900 | PI: S.S. Murr |
| Extended CDF-S (E-CDF-S) | 250 | 1,128 | Lehmer et al. |
| AEGIS-X | 200 | 2,412 | Laird et al. (2 |
| Lynx | 185 | 286 | Stern et al. (2 |
| LALA Cetus | 174 | 297 | Wang et al. (2 |
| LALA Boötes | 172 | 346 | Wang et al. (2 |
| C-COSMOS and COSMOS-Legacy | 160 | 6,120 | Elvis et al. (2 |
| SSA13 | 101 | 345 | Barger et al. ( |
| Abell 370 | 94 | 345 | Barger et al. ( |
| 3C 295 | 92 | 274 | D'Elia et al. ( |
| ELAIS N1+N2 | 75 | 590 | Manners et al |
| WHDF | 72 | 286 | Bielby et al. ( |
| CLANS (Lockman Hole) | 70 | 2,160 | Trouille et al. |
| SEXSI[a] | 45 | 7,920 | Harrison et al |
| CLASXS (Lockman Hole) | 40 | 1,620 | Trouille et al. |
| 13 h Field | 40 | 710 | McHardy et a |
| ChaMP[a] | 25 | 34,560 | Kim et al. (20 |
| XDEEP2 Shallow | 15 | 9,432 | Goulding et a |
| *Chandra* Source Catalog (CSC)[a] | 13 | 1,150,000 | Evans et al. (2 |
| Stripe 82X–*Chandra*[a] | 9 | 22,320 | LaMassa et al |
| NDWFS XBoötes | 5 | 33,480 | Murray et al. |
| *XMM-Newton* (0.2–12 keV) | | | |
| *Chandra* Deep Field-South (CDF-S) | 2820 | 830 | Ranalli et al. (2013) |
| Lockman Hole | 640 | 710 | Brunner et al. (2008) |
| *Chandra* 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 *XMM-Newton* 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 |
|---|---|---|---|
| 3XMM[a] | 15 | 2,300,000 | Watson (2012) |
| Stripe 82X–*XMM-Newton*[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–*XMM-Newton* Targeted | 8 | 129,600 | PI: C.M. Urry |
| *XMM-Newton* Slew Survey (XMMSL1)[a] | 0.006 | $8 \times 10^7$ | Warwick et al. (2012) |
| *NuSTAR* (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] Serendipitious survey; see Sect. 2.1 for brief discussion regarding such surveys

# Röntgenfelmérések



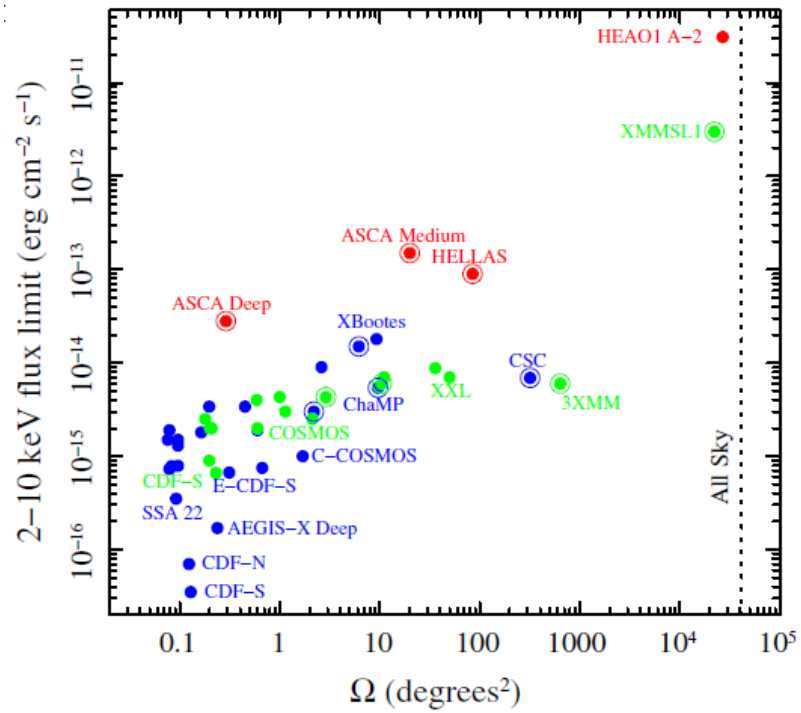
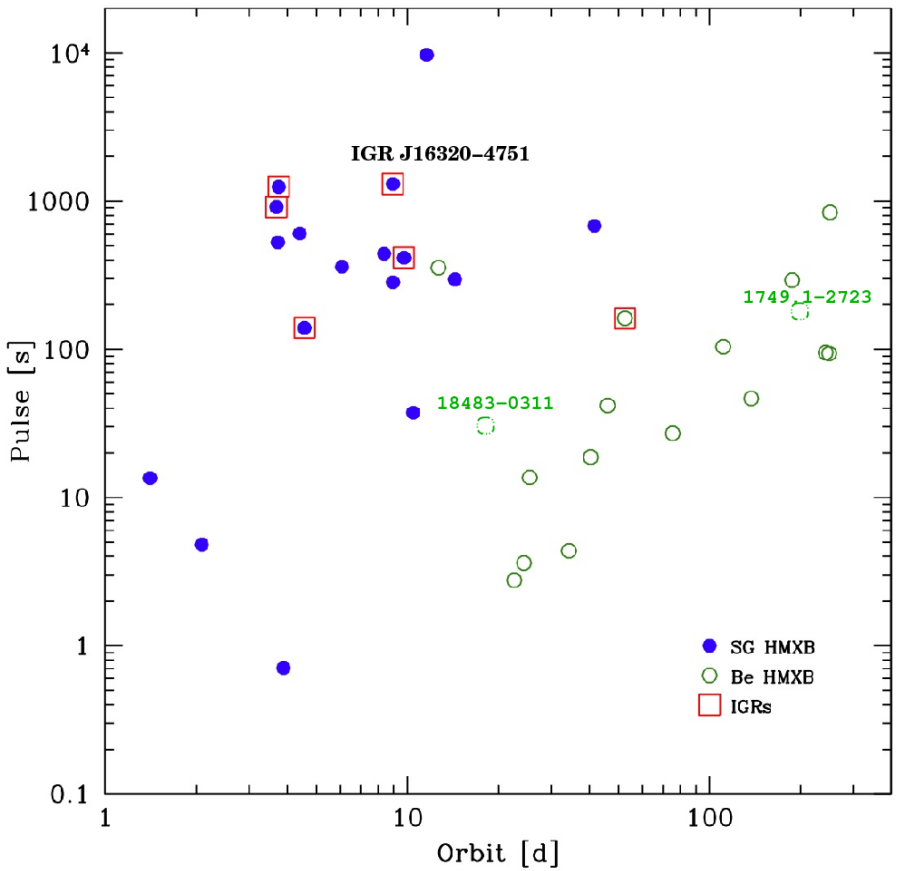
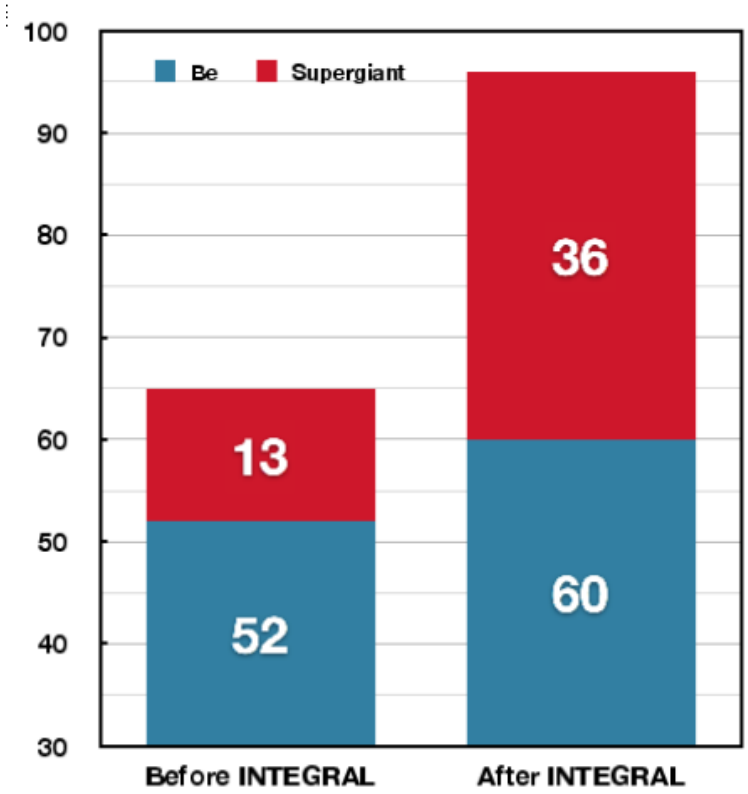




**Fig. 1.** Flux limits achieved versus solid angles covered by some selected X-ray

# INTEGRAL

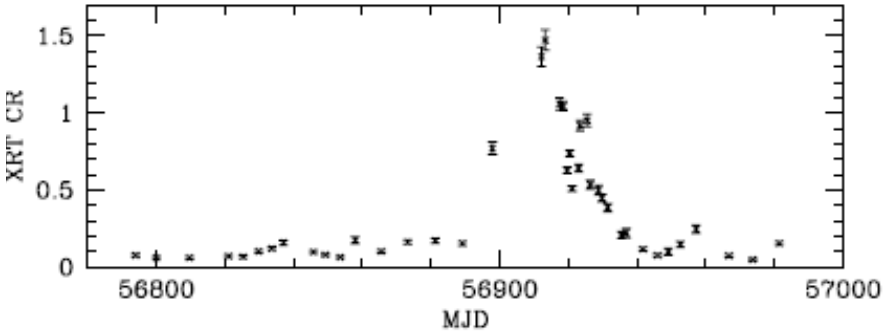
Részletesen a gammacsillagászatnál tárgyaljuk. Itt csak két eredmény szerepel a röntgenvizsgálatok alapján: a nagy tömegű röntgenkettősökre vonatkozó diagramok.

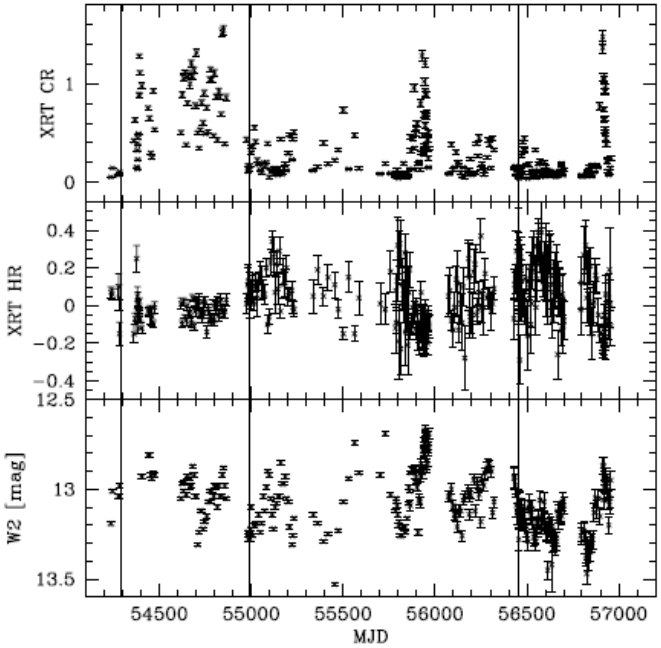


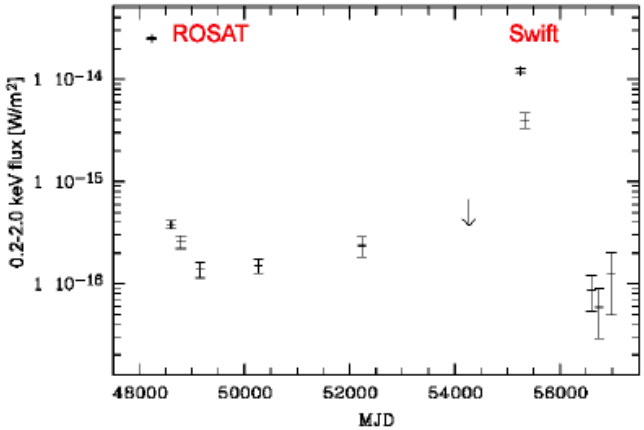



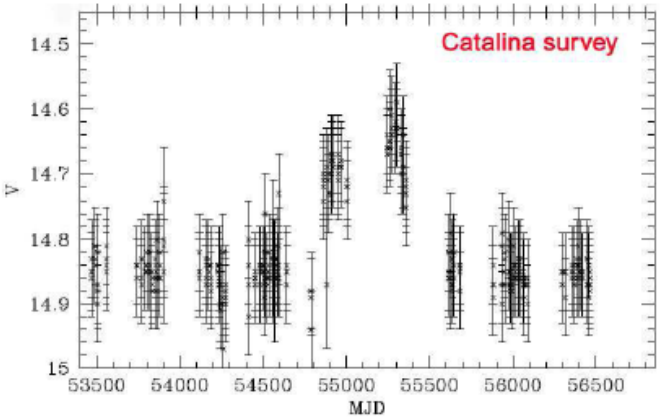
# Újabb gammaszondák röntgenműszerekkel

**HETE-2**: 2000-től (részletesen a gammacsillagászatnál lesz szó)
**Swift**: 2004-től: (bővebben szintén a gammacsillagászatnál lesz szó).
Példa: egy Seyfert-galaxis (Mrk 335) viselkedése röntgentartományban.



# Szuzaku

**Szuzaku** (Astro-EII): a JAXA és a NASA szondája. 2005. júliusban indították. (Az Astro-E 2000-ben a hordozórakétával felrobbant.) A 0,3-600 keV tartományt észleli leképező spektrométerrel és keményröntgen-detektorral.

**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-meter | 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' | - |

# NuSTAR

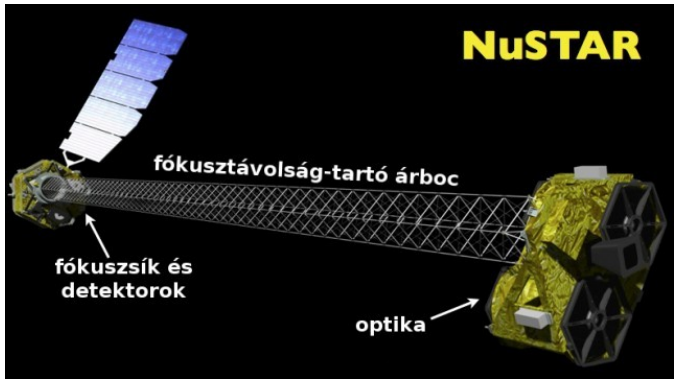
**NuSTAR**: Nuclear Spectroscopic Telescope Array = SMEX-11. A NASA/JPL szondája LEO-pályán. Elődje a HEFT (High Energy Focusing Telescope) volt: ballonra szerelt röntgenszonda.

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

Optikája 133 egymásba skatulyázott Wolter-I-es távcső 847 $cm^2$ gyűjtőfelülettel. Az 5-80 keV közötti tartományt észleli.

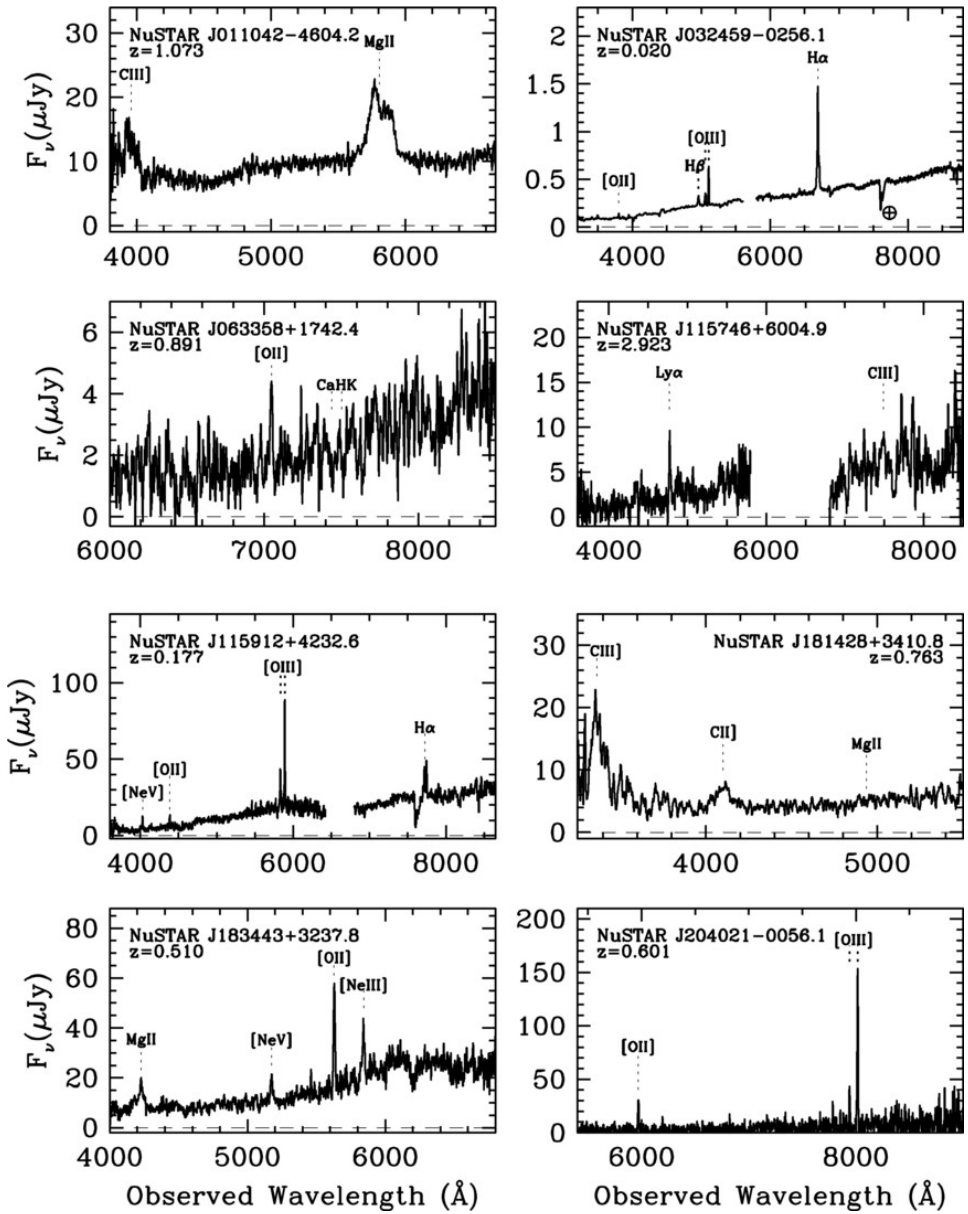
Cél: szupernagy tömegű fekete lyukak vizsgálata (>10 keV).

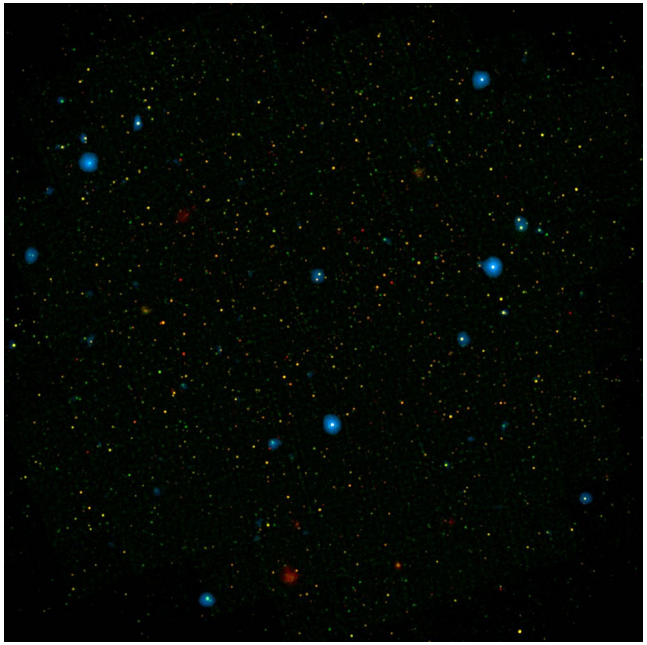
A röntgenhátteret vizsgálva a korábbiaknál százszor gyengébben sugárzó galaxisokat talált $z$=0,02 és 2,92 között. Ezek nagy luminozitású és tömegű AGN-ek.




| | |
|---|---|
| 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

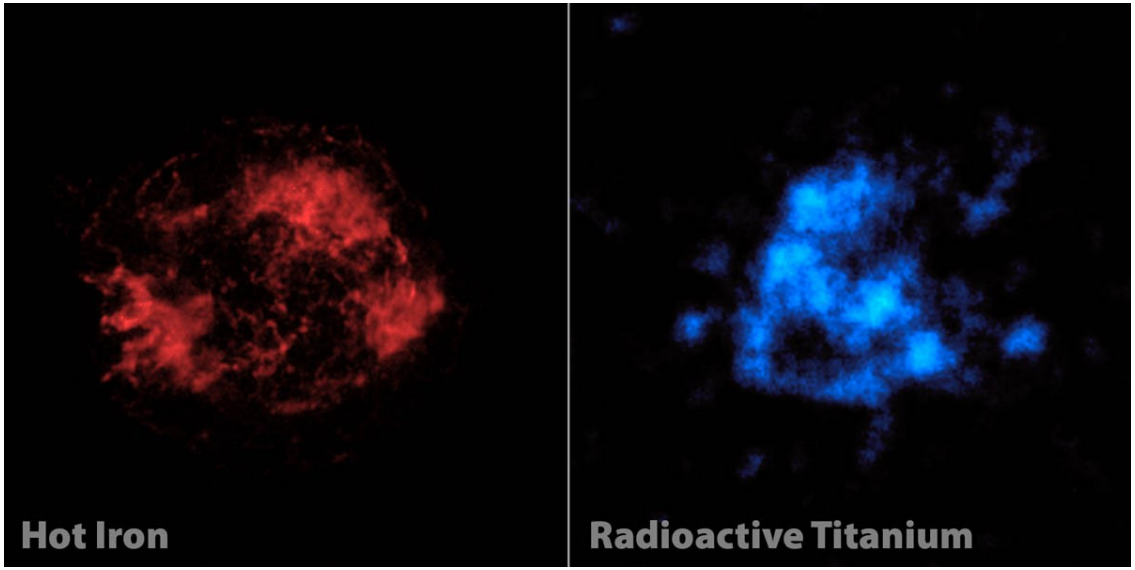

NuSTAR J011042−4604.2
z=1.073
CIII]
MgII
NuSTAR J032459−0256.1
z=0.020
Hα
[OIII]
Hβ
[OII]
NuSTAR J063358+1742.4
z=0.891
[OII]
CaHK
NuSTAR J115746+6004.9
z=2.923
Lyα
CIII]
NuSTAR J115912+4232.6
z=0.177
[OIII]
Hα
[OII]
[NeV]
NuSTAR J181428+3410.8
z=0.763
CIII]
CII]
MgII
NuSTAR J183443+3237.8
z=0.510
[OII]
[NeIII]
MgII
[NeV]
NuSTAR J204021−0056.1
z=0.601
[OIII]
[OII]
$F_\nu(\mu Jy)$
Observed Wavelength (Å)

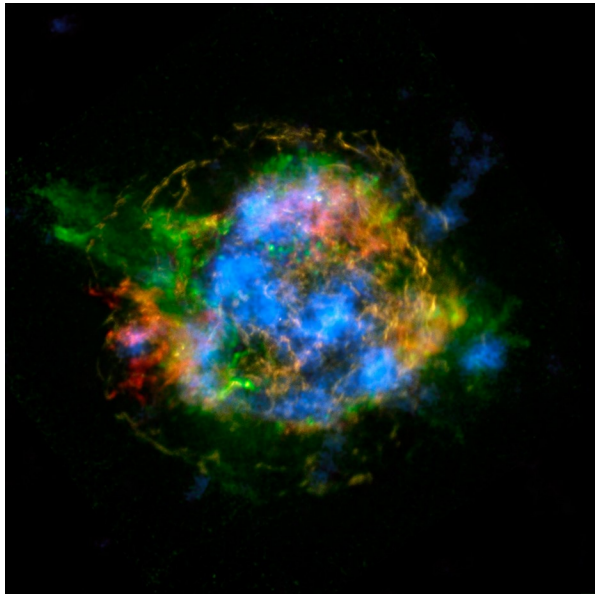


# A NuSTAR néhány eredménye

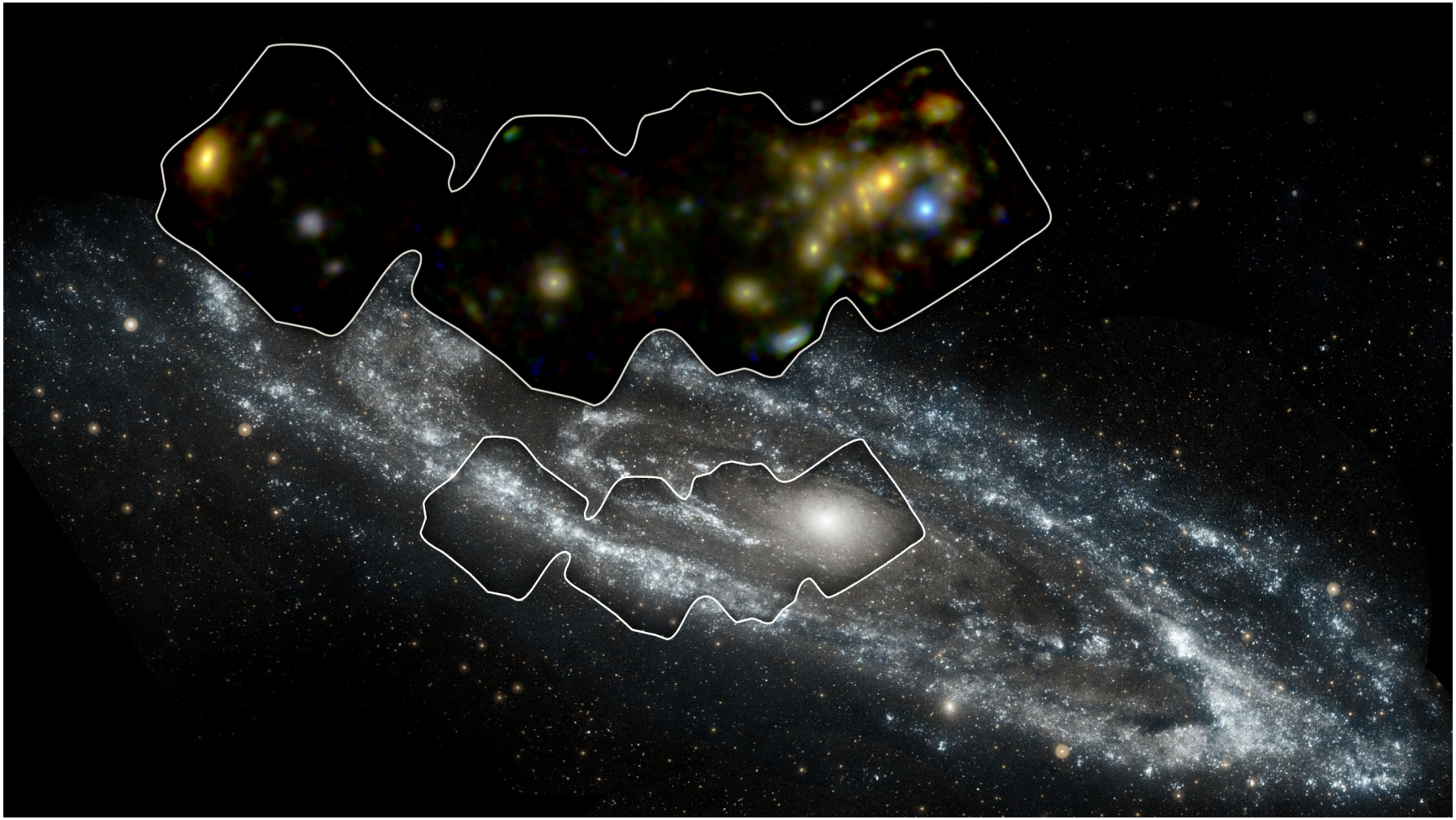
A Cas A szupernóva-maradvány 11000 fényévre van, és 10 fényév átmérőjű a tágulási ütem és a szögméret alapján. 1670 körül következhetett be a robbanás, de akkori megfigyeléséről nincs hiteles adat.

A NuSTAR méréseiből a $^{44}$Ti és a Fe eloszlását határozták meg. Erős aszimmetriát mutat mind a két elem. Újabb bizonyíték a szupernóva-robbanás aszimmetrikus jellegére.



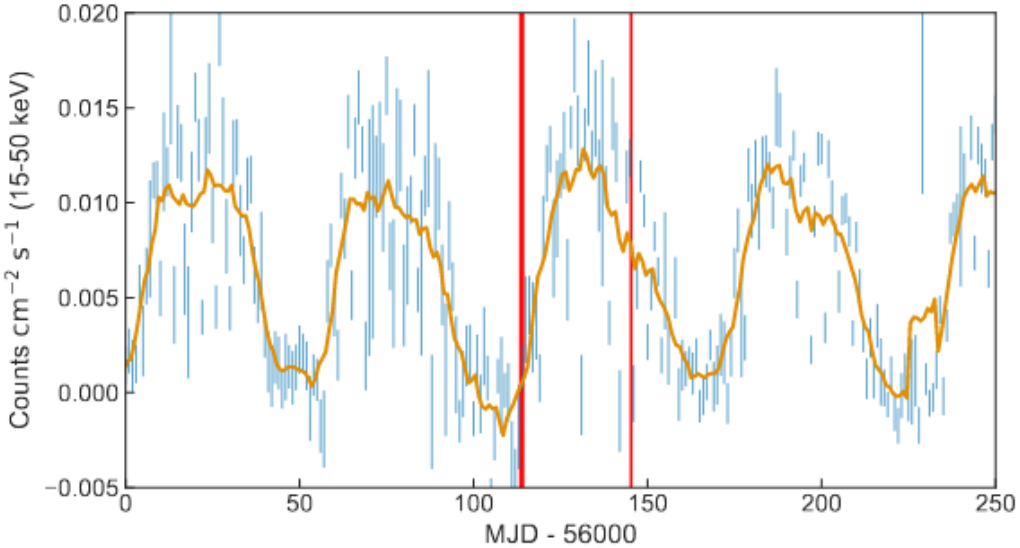



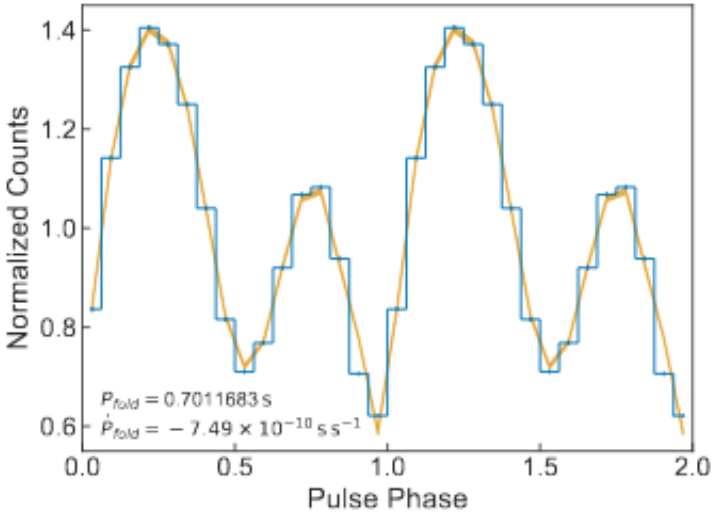
# A NuSTAR néhány eredménye



Az M31 alapos vizsgálata. Az UV kép a GALEX felvétele.

# A NuSTAR néhány eredménye




A Kis-Magellán-felhő SMC X–1 jelű röntgenforrásának tranziens pulzációjának vizsgálata (a Swift szondával együttműködve).

**Table 1.** Results of the folding pulsation search

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

# AstroSat

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

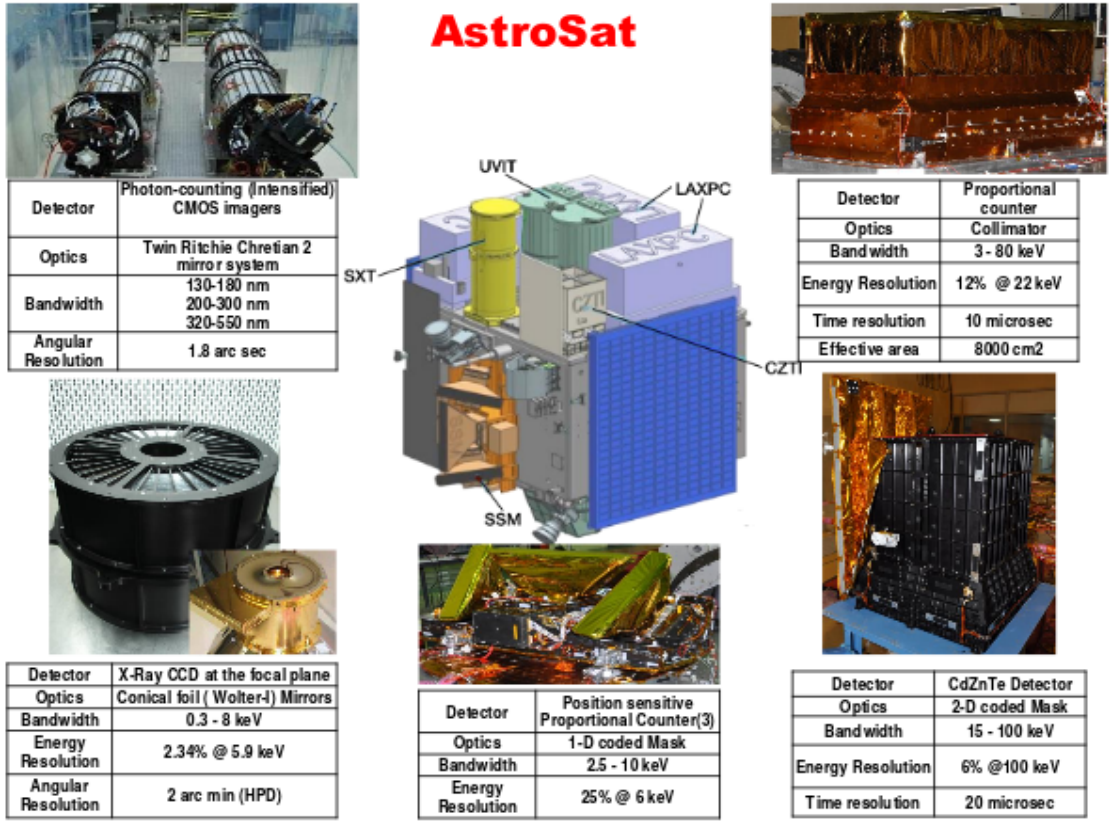
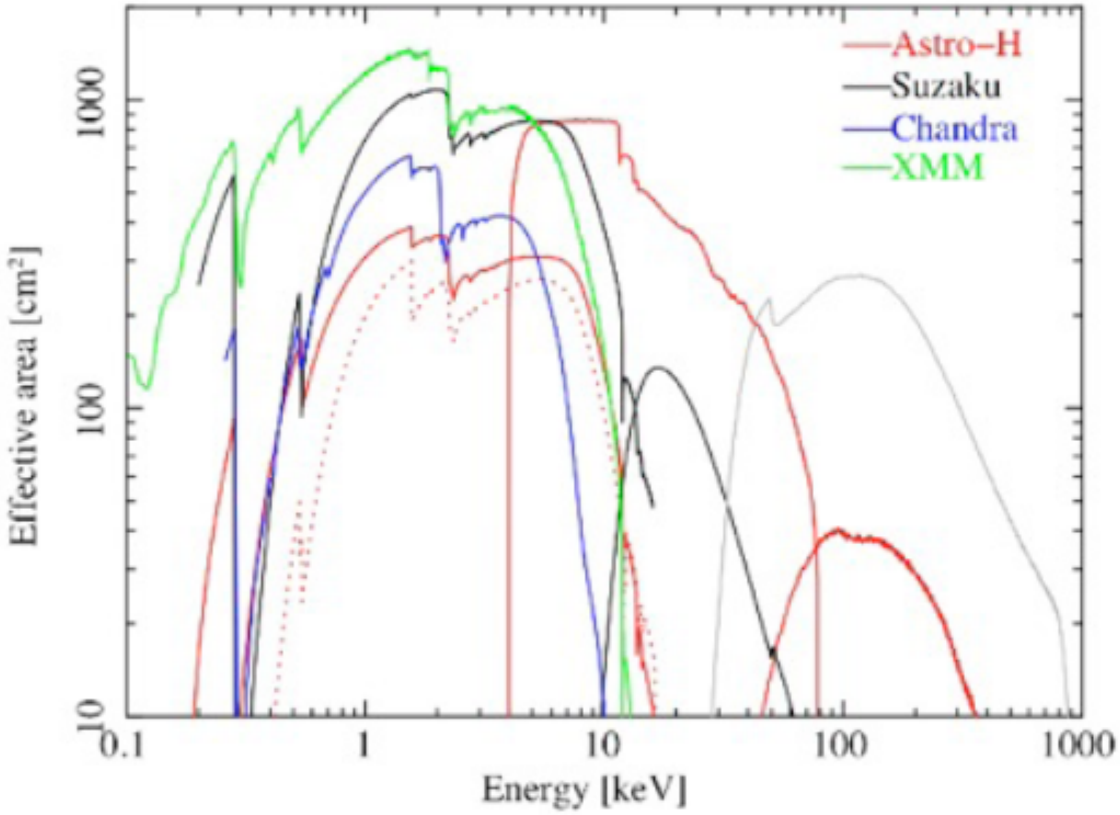



Figure 1: An assembled view of AstroSat. The pictures of the scientific instruments shown are (clockwise, from top left): UVIT telescope; one assembled LAXPC unit; final assembled CZT Imager; assembled SSM units; SXT mirror and the gold coated foils shown in the inset. The

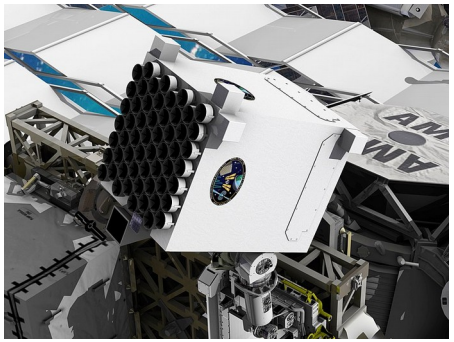
# Hitomi

**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. Egy hónappal később a helyzetellenőrző rendszerrel megszakadt a kapcsolat, a szonda felpörgött, és a gyengébb szerkezeti elemek tönkrementek.



# NICER

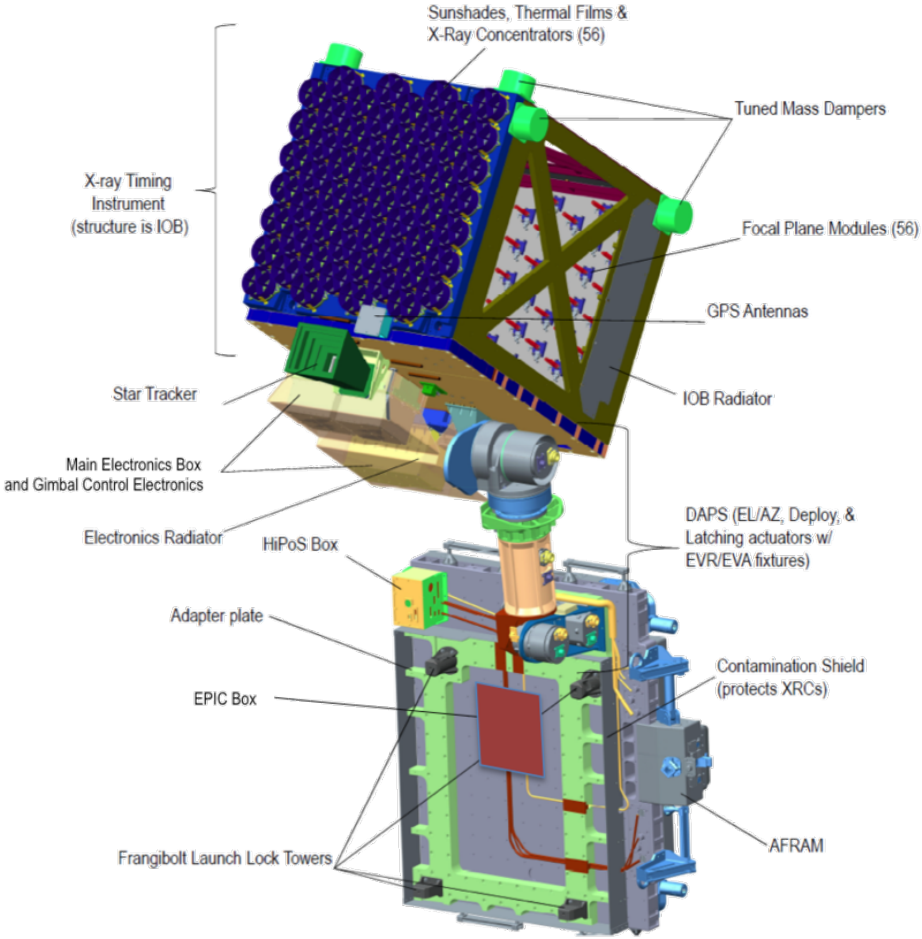


**NICER** (Neutron star Interior Composition Eplorer): 2017 óta működik a Nemzetközi Űrállomáson. A NASA és dánok közös műszere. A SpaceX Falcon–9 rakétája vitte fel.

Az űrállomás navigálására használható a SEXTANT (Station Explorer for X-ray Timing and Navigation Technology). A röntgenpulzárokon alapuló navigáció az XNAV.

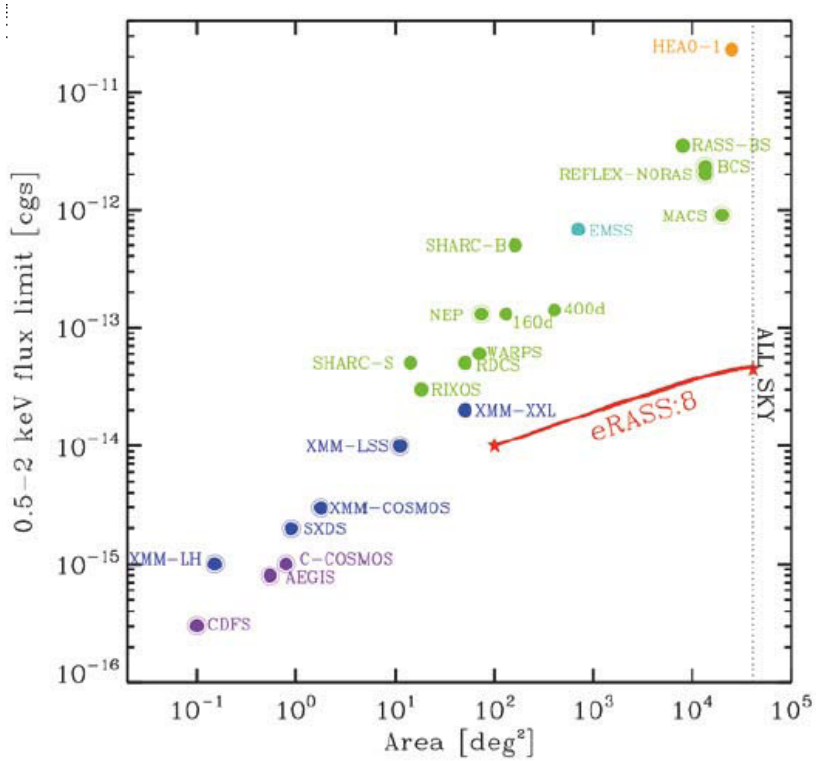
Lágyröntgen-tartomány vizsgálata 0,2 –12 keV között.

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



# A közeljövő röntgenszondái

**Szpektr-RG**: orosz vezetéssel 5 távcső távoli-UV-től keményröntgenig.
2002-ben már törölték, de 2005-ben feléledt.
Várható indítás: 2019.
Apogeum: 200000 km,
keringési periódus: 4 nap.
A korábbihoz két műszer készült el:
JET-X: Leicesteri Egyetem
2 párhuzamos röntgentávcsöve;
TAUVEX: Tel Avivi Egyetem
UV-távcsöve.
Újonnan készült:
eROSITA (MPIfExtraterrPhys):
Wolter-távcső (Extended Roentgen Survey with an Imaging Telescope Array);
ART-XC (IKI): kódolt maszkú távcső.




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