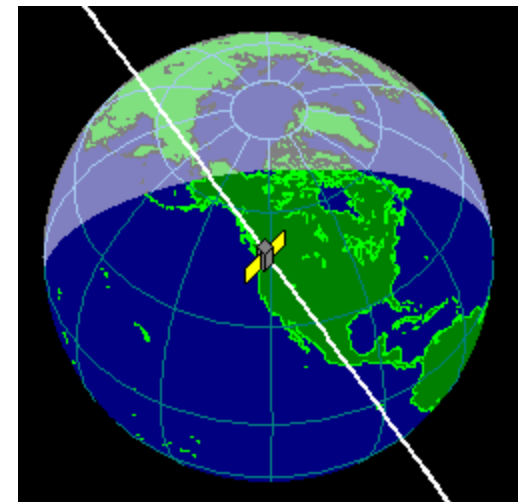
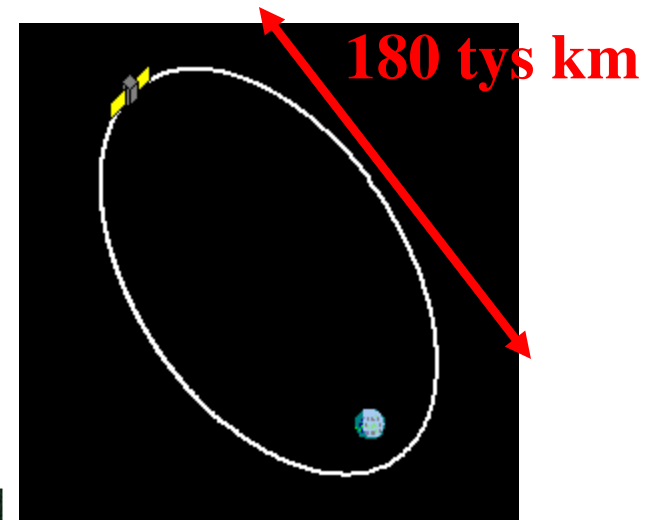
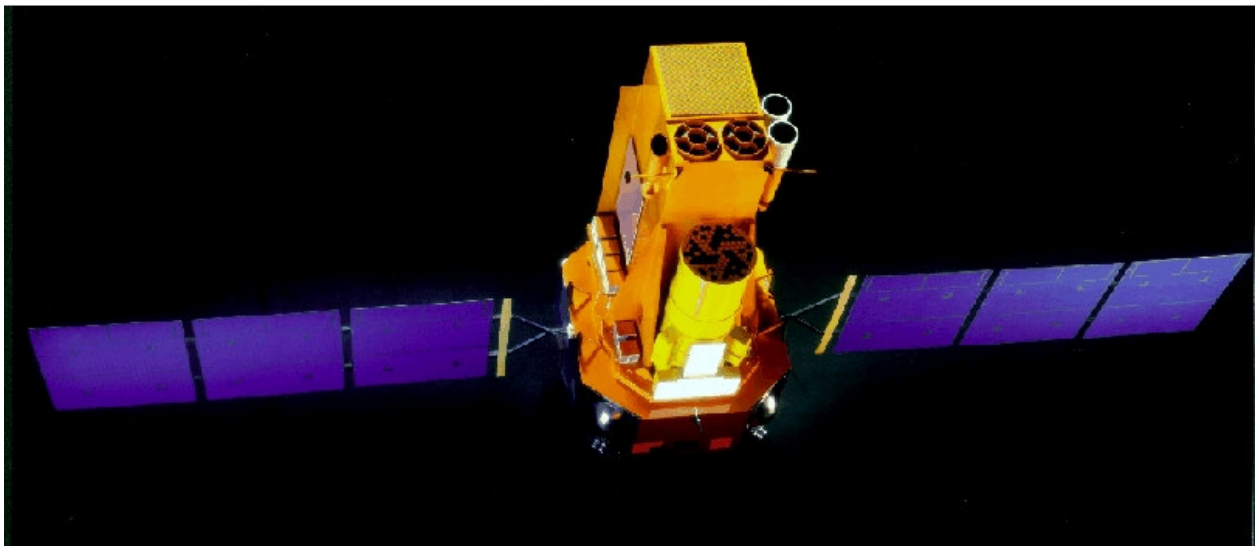


Fizyka jądrowa z Kosmosu – wyniki z kosmicznego teleskopu γ INTEGRAL

**INTEGRAL - International
Gamma-Ray Astrophysical
Laboratory**

prowadzi od 2002 roku pomiary
promieniowania γ w Kosmosie



Źródła emisji promieniowania γ w Kosmosie - Procesy fizyczne zachodzące we Wszechświecie

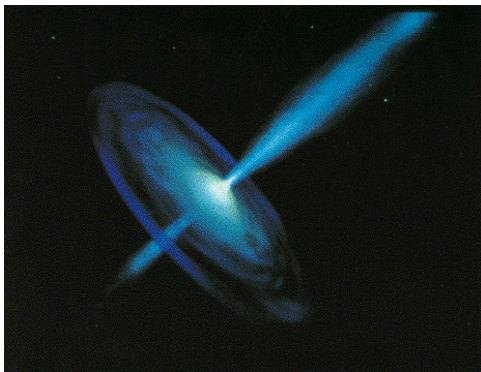
1. Promieniowanie synchrotronowe - oddziaływanie wysokoenergetycznych elektronów z polem magnetycznym
2. Odwrotny efekt Comptona – zderzenie relatywistycznego elektronu z niskoenergetycznym fotonem
3. Promieniowanie hamowania – promieniowanie wysyłane przez elektrony poruszające się w gęstej i gorącej plazmie
4. Procesy jądrowe
 - a) rozpad mezonów π^0 , anihilacja e^+e^- , anihilacja p^+p^- ,
 - b) linie emisyjne - deekscytacja jąder wzbudzonych, rozpad jąder ciężkich, rozpad jąder pierwiastków promieniotwórczych

Źródła emisji promieniowania γ w Kosmosie

– pozaziemskie źródła promieniowania γ

1. Słońce – źródło miękkiego promieniowania γ - widmo liniowe: 0.511 MeV, 1.17 i 1.33 MeV, 2.22 MeV, 4.4 MeV, 6.1 MeV
2. Źródła pozasłoneczne

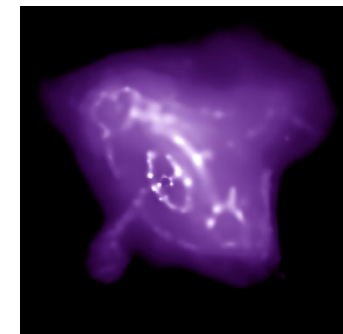
**Aktywne jądra galaktyk
AGN**



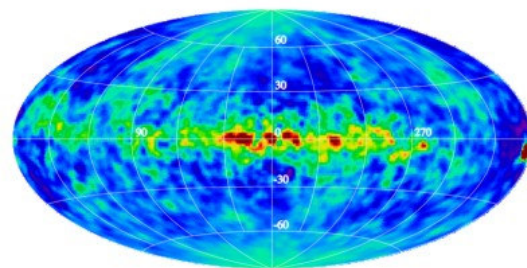
Czarne dziury



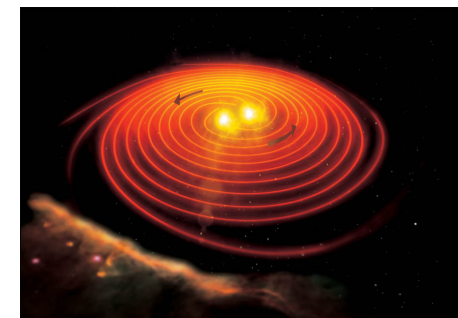
**Pulsary,
gwiazdy neutronowe**



Emisja rozciąga



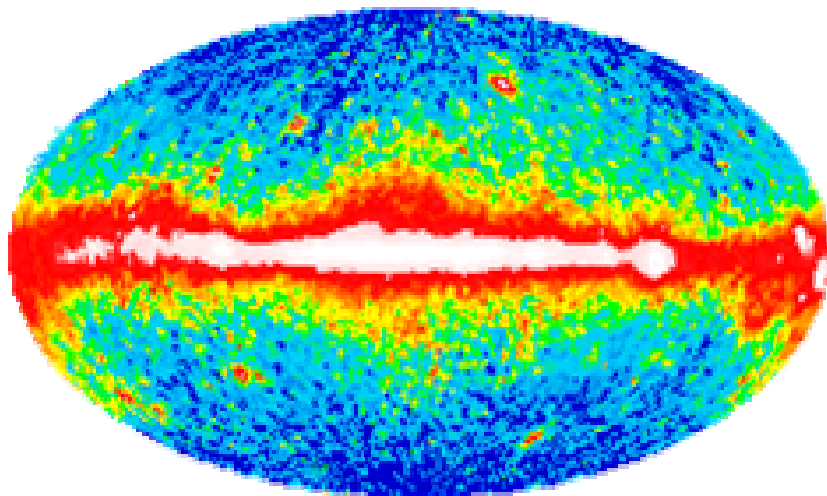
**Błyski gamma
GRB**



Obraz nieba widziany w różnych długościach fal elektromagnetycznych



Promieniowanie
podczerwone



Promieniowanie
gamma

Oddziaływanie promieniowania γ w materii

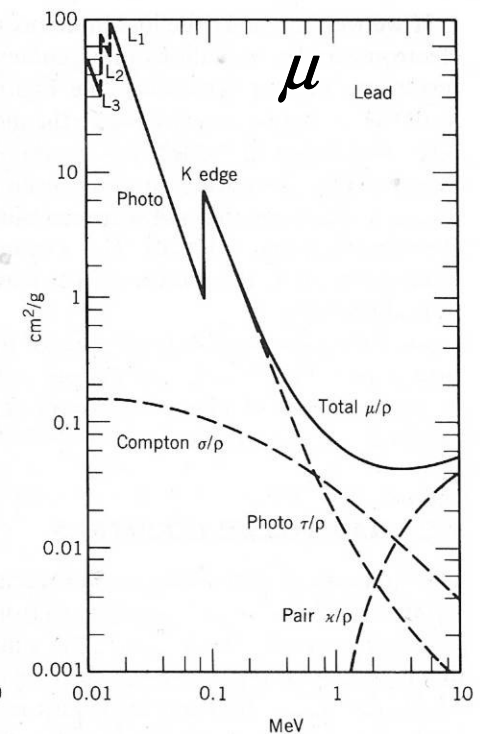
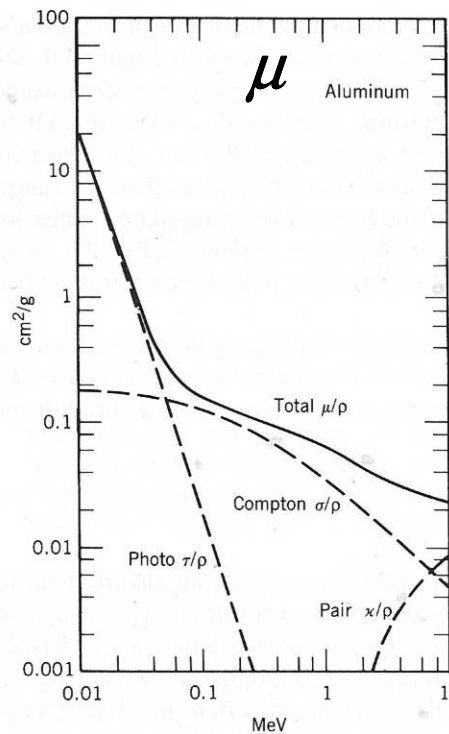
1. Zjawisko fotoelektryczne
2. Zjawisko Comptona
3. Zjawisko tworzenia par $e^+ e^-$

$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

$$\mu = \tau + \sigma + \chi$$

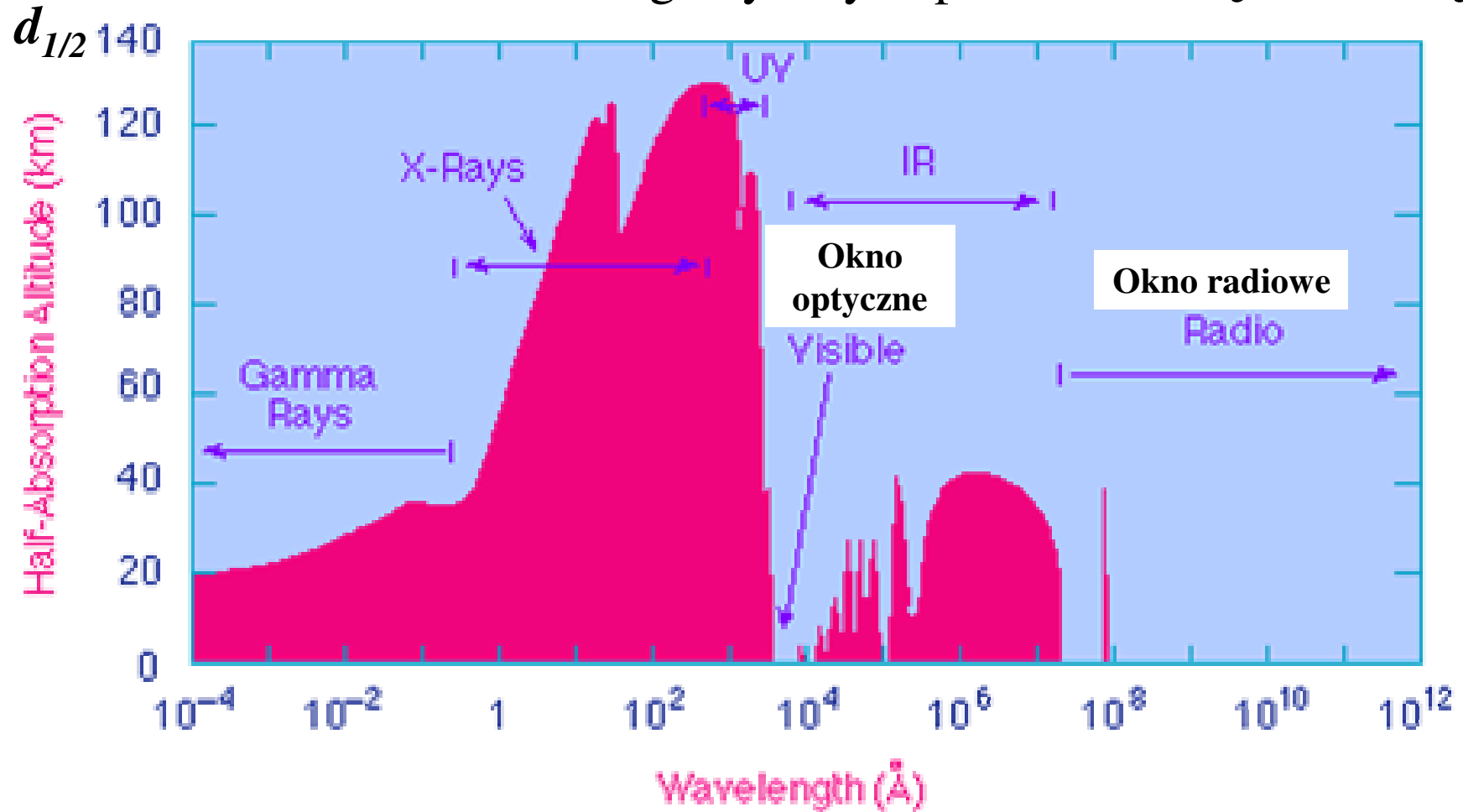
grubość warstwy połowicznego osłabienia

$$d_{1/2} = \ln 2 / \mu$$



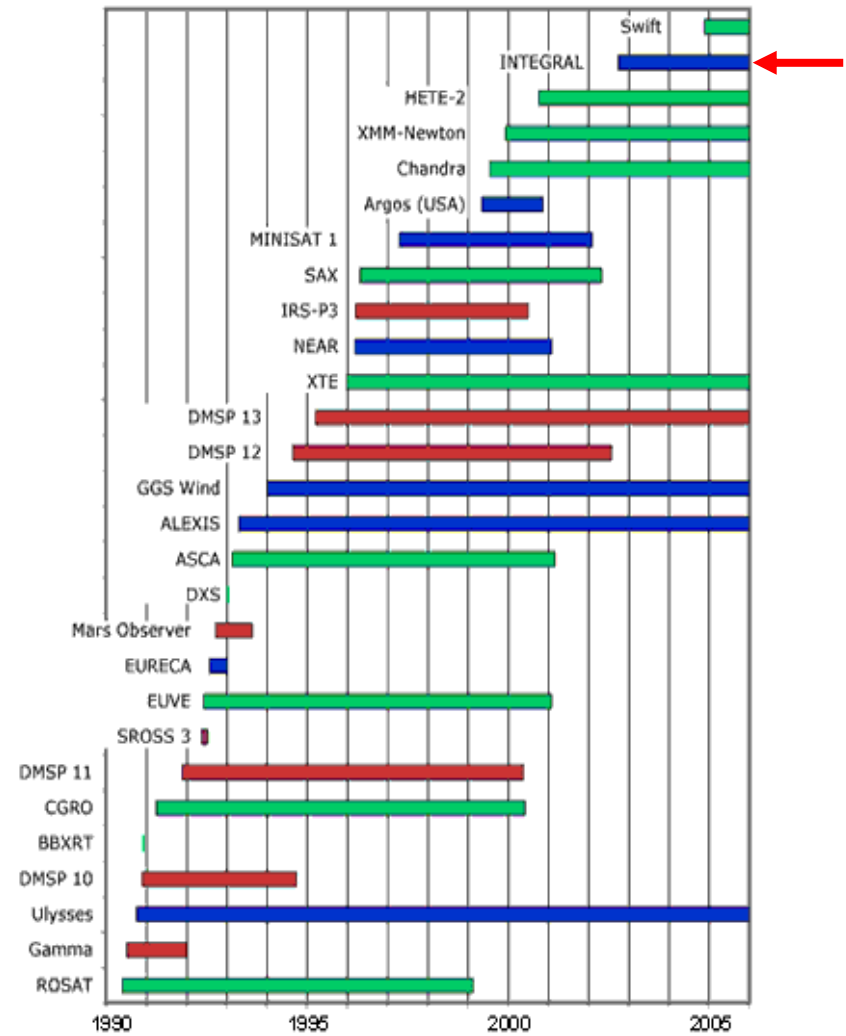
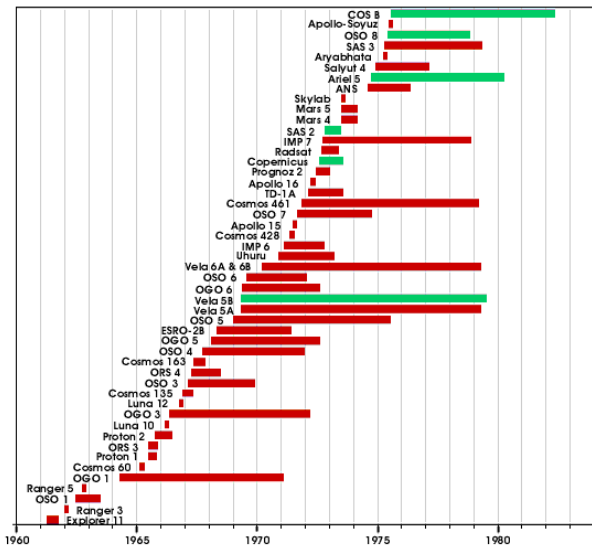
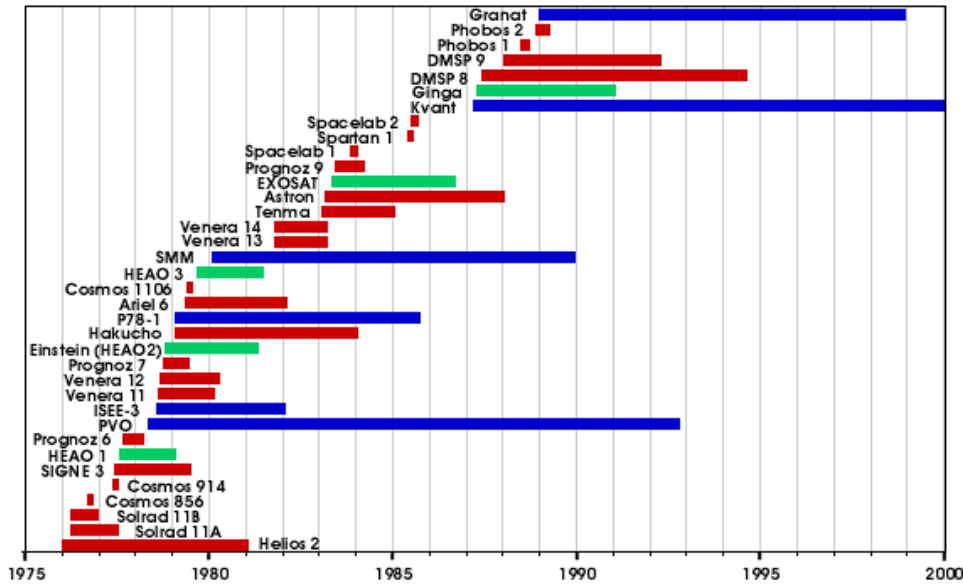
Dlaczego trzeba mierzyć w Kosmosie?

Przechodzenie fal elektromagnetycznych przez ziemską atmosferę



1 angstrom = 10^{-10} m

X-ray and Gamma-ray Missions as a Function of Time

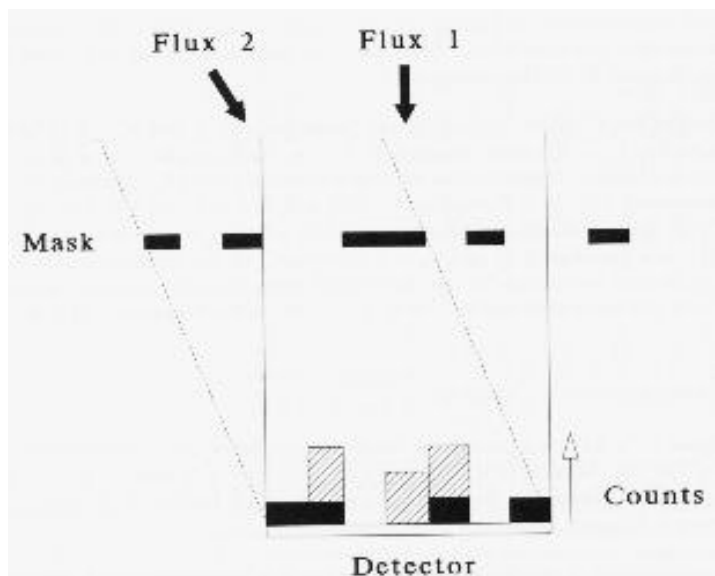


Warunki pomiaru promieniowania w Kosmosie

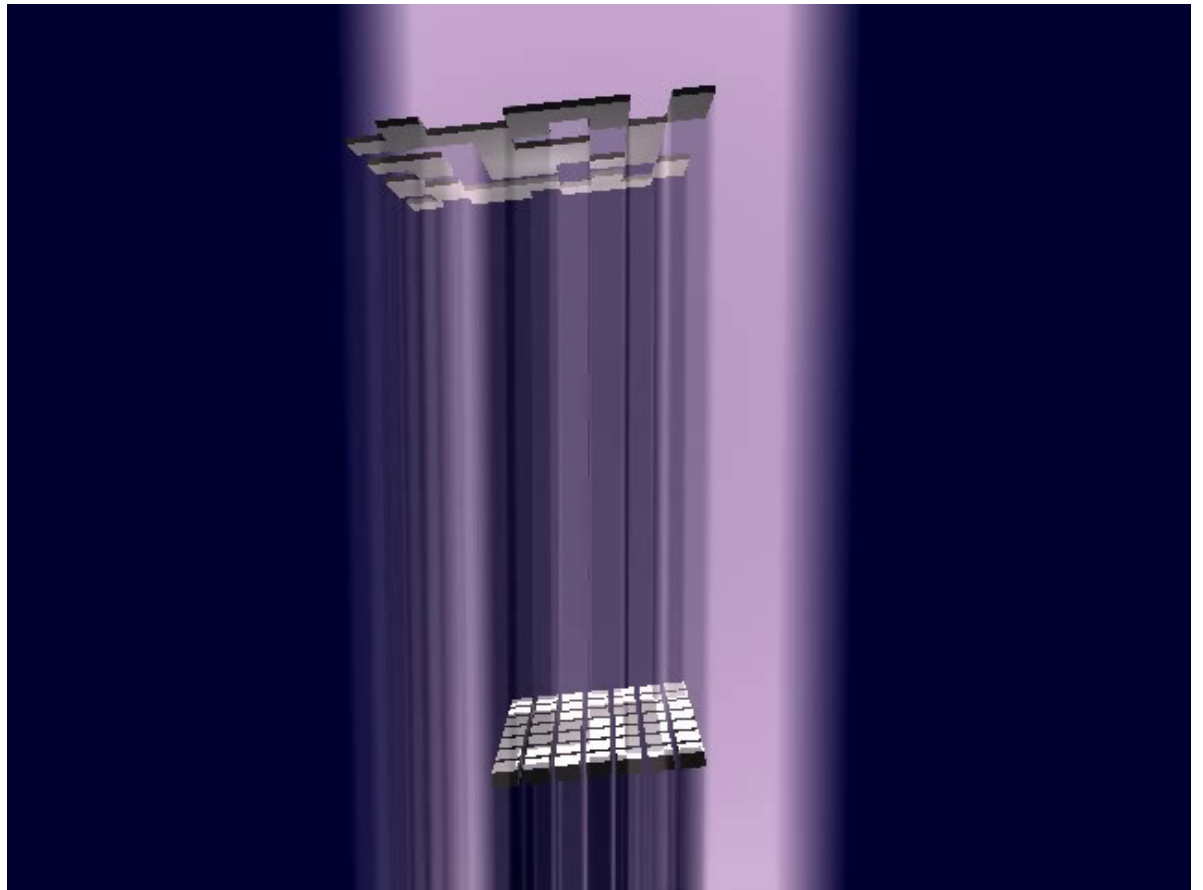
- 1. Ekstremalne temperatury i ich nagłe zmiany**
- 2. Próżnia - brak przewodzenia ciepła**
- 3. Promieniowanie**
- 4. Przeciężenia i wibracje**
- 5. Symulacje warunków panujących w Kosmosie**

Jak zobaczyć fotony γ w Kosmosie i zidentyfikować skąd przylatują?

Maski kodujące



Lunety (star trackers)



Z czego składa się INTEGRAL

1. Detektory:

SPI

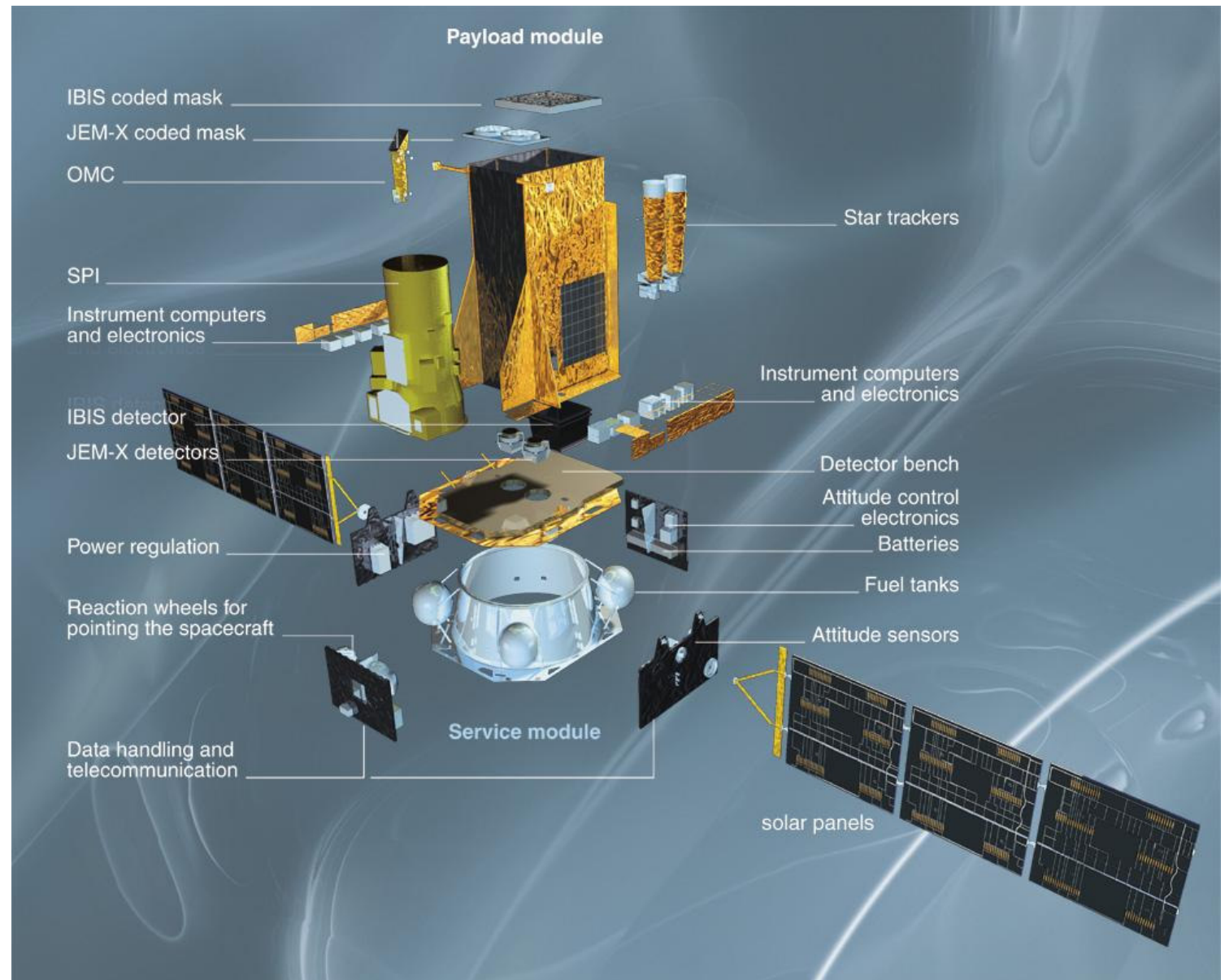
IBIS

2. Monitorzy:

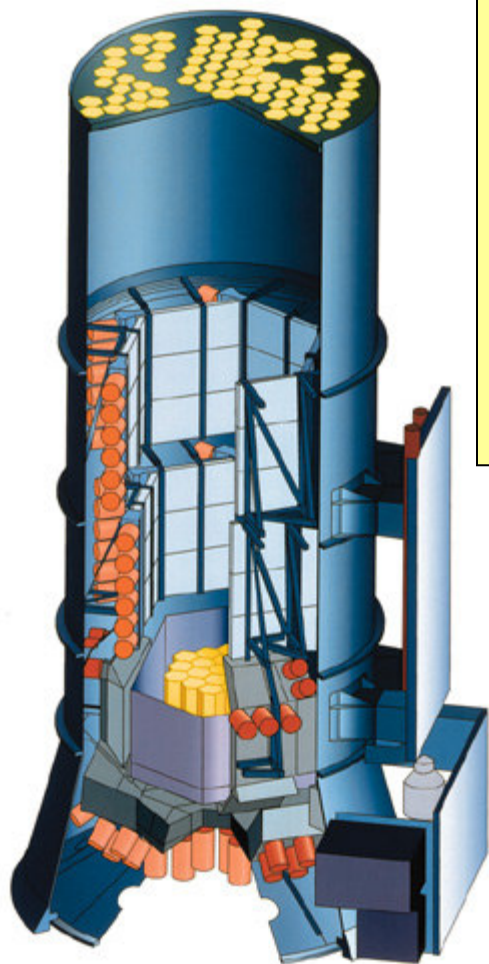
JEM-X

IREM

OMC



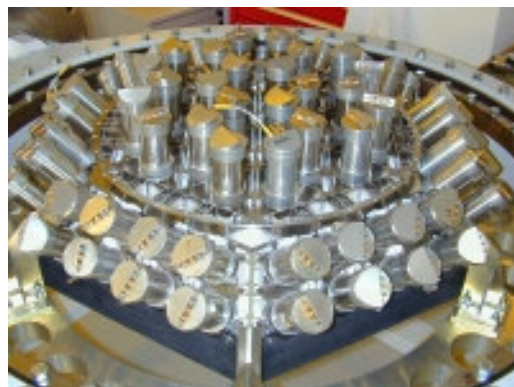
SPI - Spectrometer on INTEGRAL



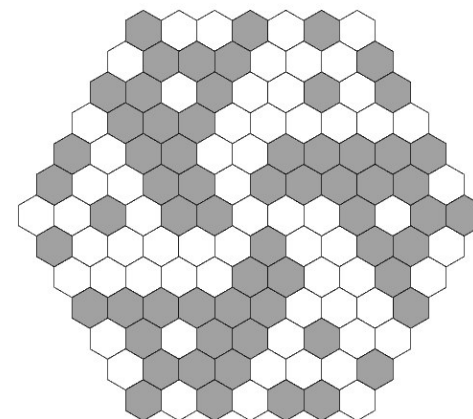
rozdzielczość kątowna	2.5°
pole widzenia	16°
rozdzielczość energetyczna	0.2% (dla 1.33 MeV)
zakres energii	20 keV - 8 MeV
grubość maski	3 cm
waga	1300 kg

19 detektorów HPGe

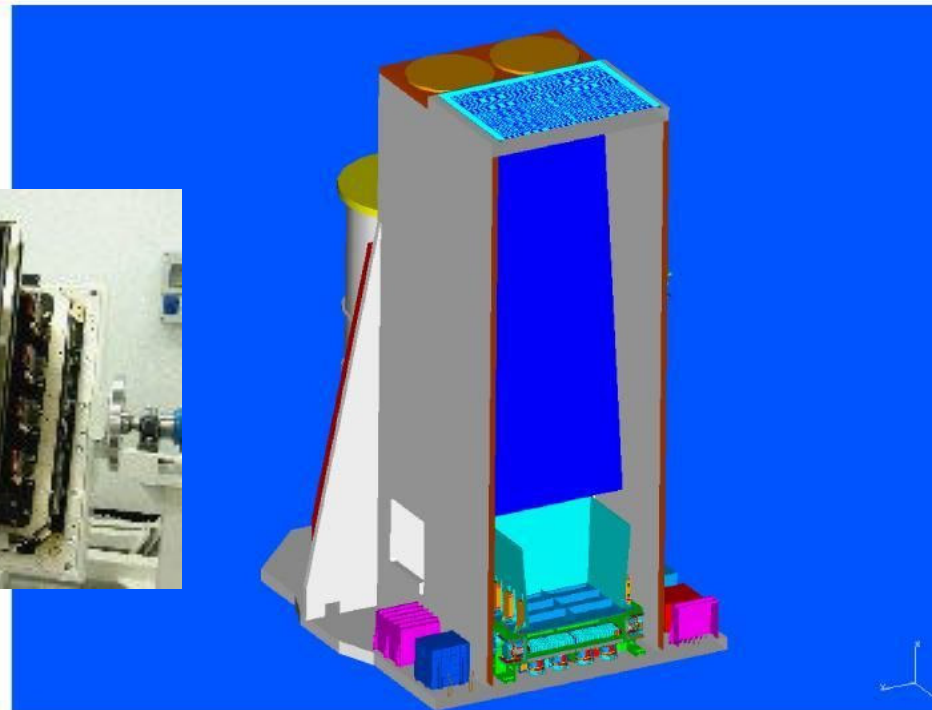
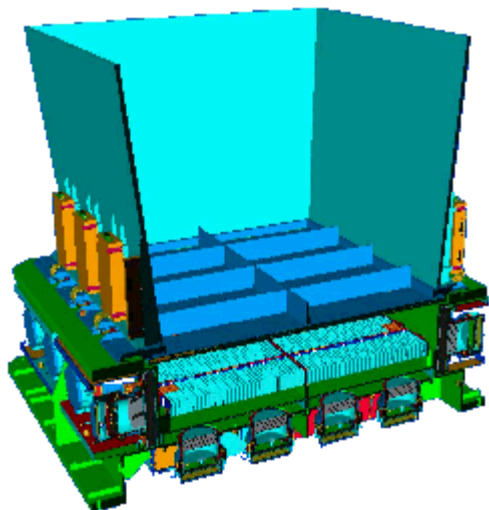
osłona z BGO



maska kodująca
ze 127 elementów



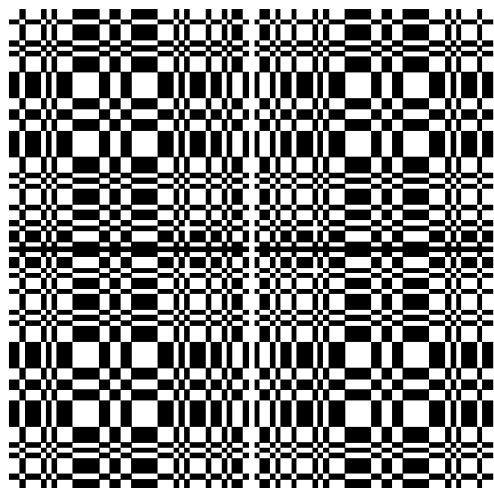
IBIS - IMAGER



detektory scyntylacyjne

I płaszczyzna - 16 384 pixeli (4x4x2 mm) z CdTe - niskie energie

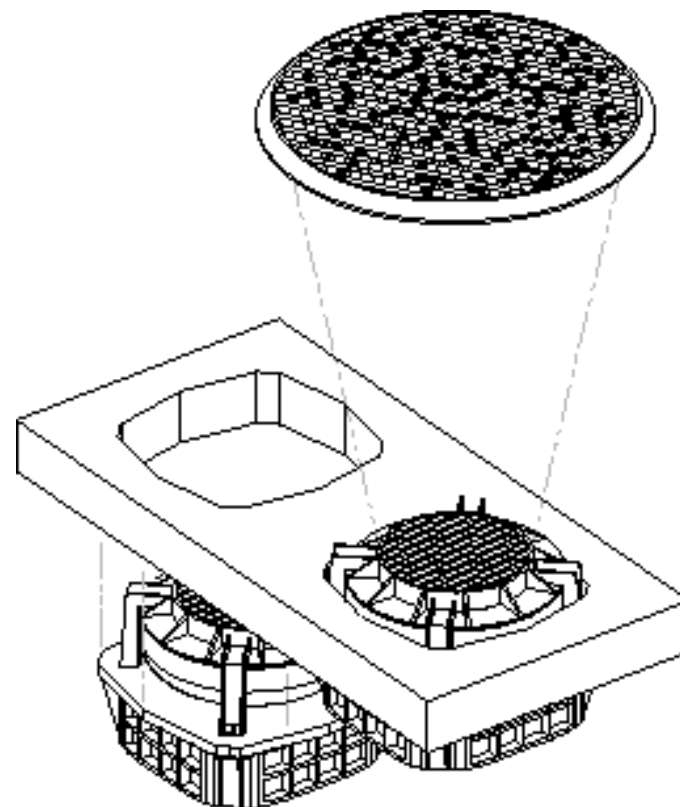
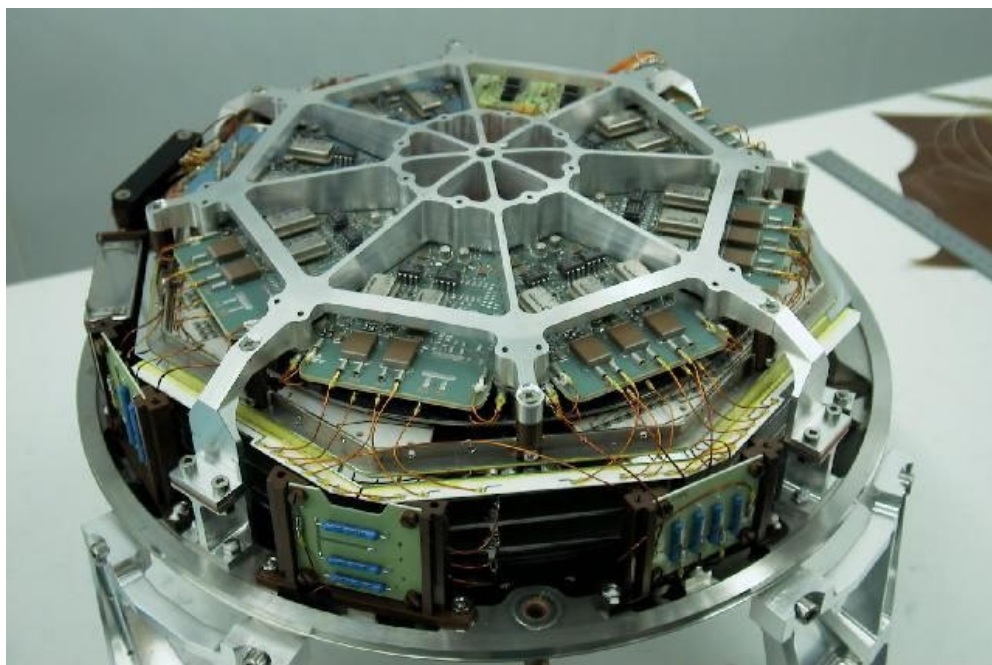
II płaszczyzna - 4096 pixeli (9x9x30 mm) z CsI - wysokie energie



← **maska**

rozdzielczość kąтова	12'
pole widzenia	9x9° (19x19)
rozdzielczość energetyczna	9% (100 keV)
zakres energii	15 keV-10 MeV
grubość maski	1.4 cm

JEM-X - Joint European X-Ray Monitor



gazowy detektor paskowy

rozdzielczość kątowa	3'
pole widzenia	5°
rozdzielczość energetyczna	2%
zakres energii	3 - 35 keV
grubość maski	0.5 cm

OMC - Optical Multiwavelength camera

**Możliwość pomiaru światła widzialnego
ze źródeł promieniowania γ i X**

Standardowa luneta z CCD



INTEGRAL - po zmontowaniu



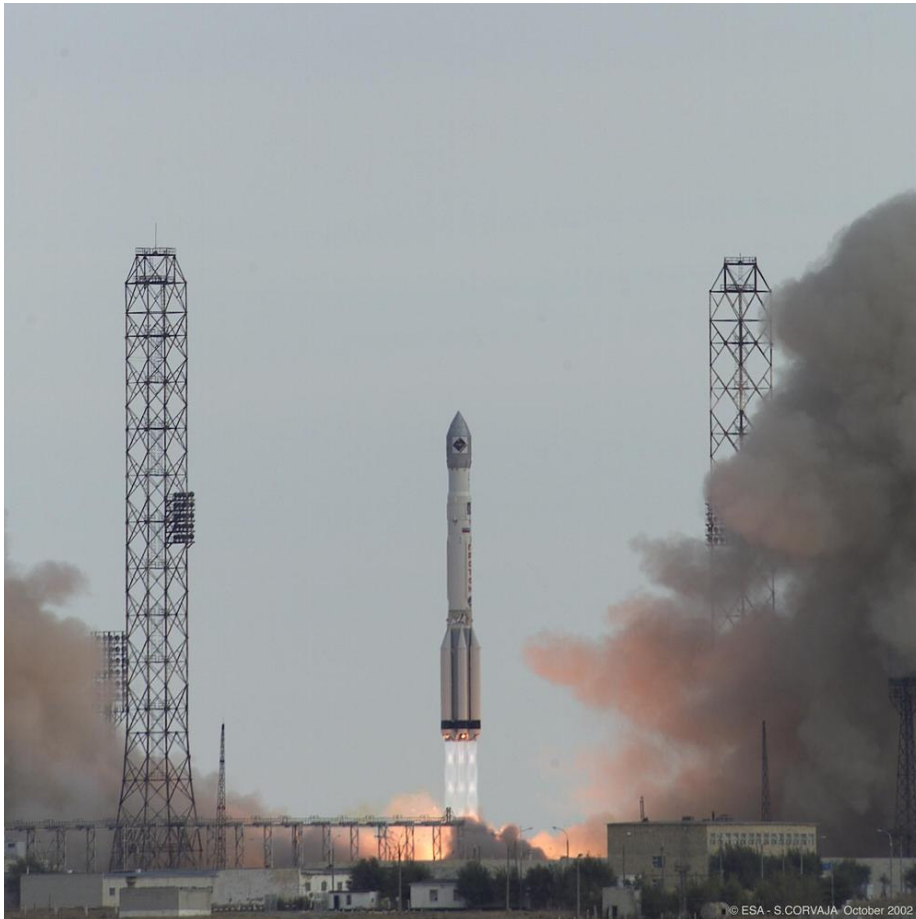
Montaż INTEGRALa w rakiecie



Przygotowania do wystrzelenia rakiety



Wystrzelenie rakiety z kosmodromu w Bajkonurze 17 października 2002

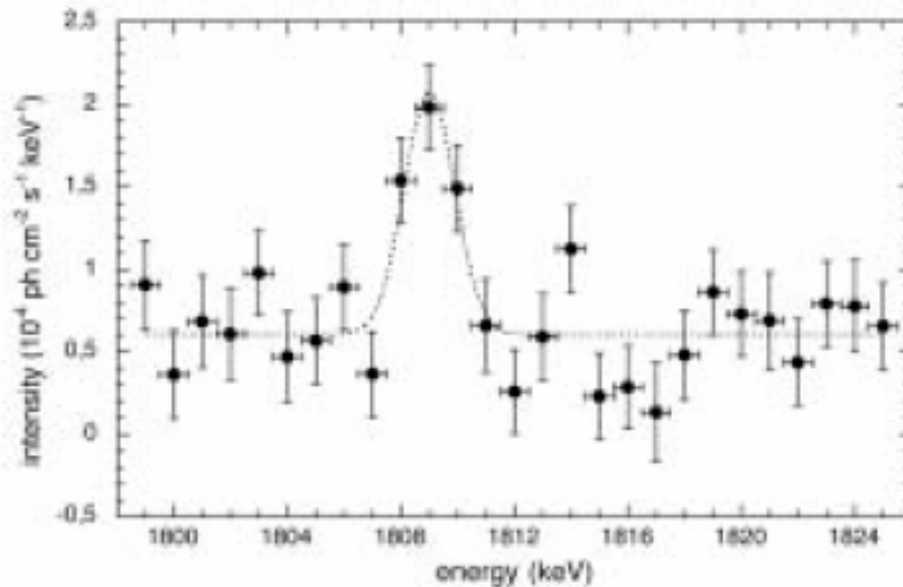


Cele naukowe

1. Badanie obiektów zwartych
2. Astronomia pozagalaktyczna
3. Nukleosynteza w gwiazdach
4. Struktura galaktyki
5. Oddziaływania cząstek elementarnych i ich akceleracja
6. Identyfikacja źródeł promieniowania o wysokiej energii

Badanie nukleosyntezy

1. Pomiar linii promieniowania γ z nowoutworzonych pierwiastków ^{26}Al , ^{44}Ti , ^{60}Fe – w masywnych gwiazdach supernowych

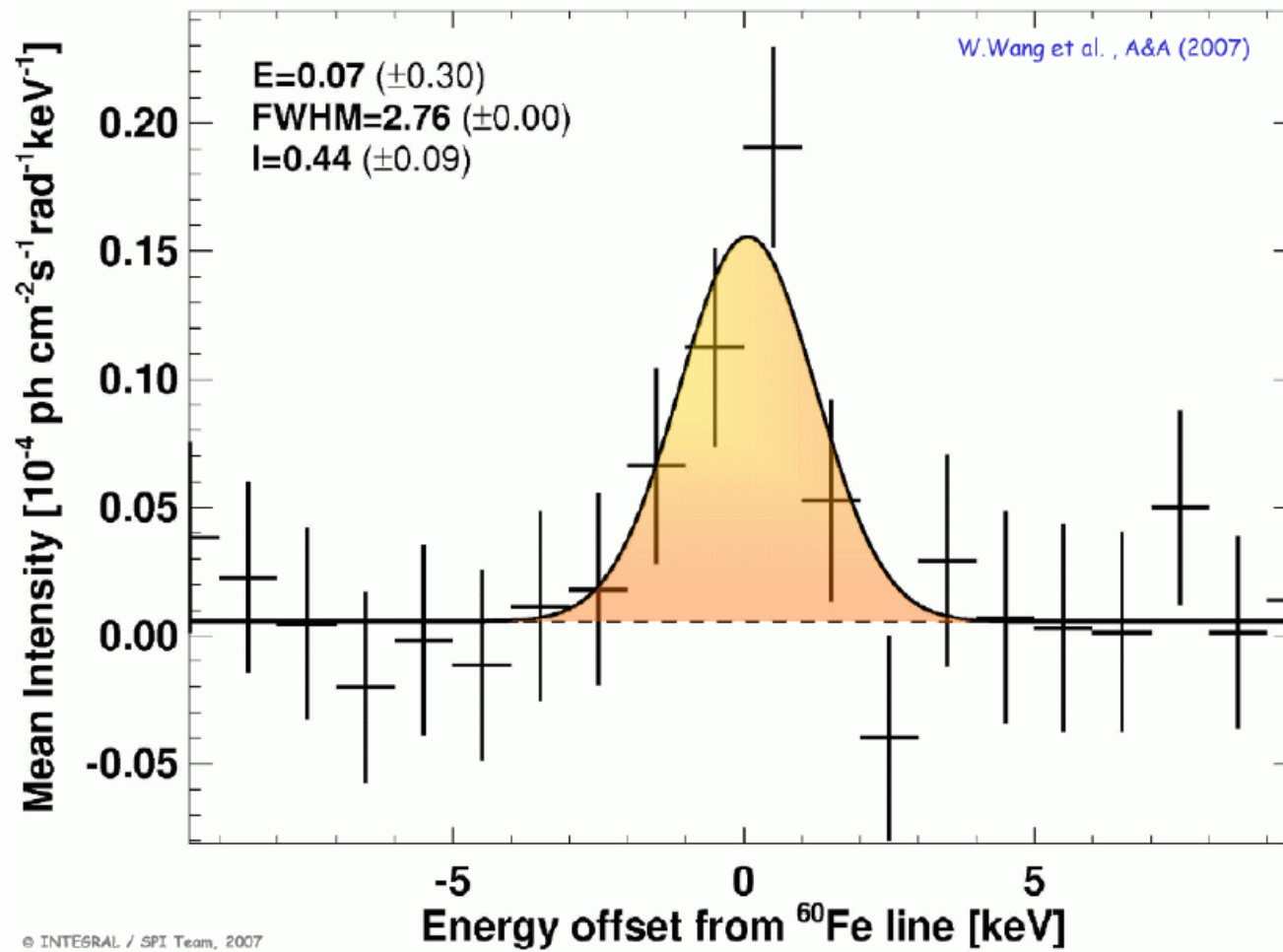


Informacja o kinematyce emitującego obszaru galaktyki – sama rotacja nie wystarcza

Figure 2.7.1. Spectrum of the radioactive decay of ^{26}Al (1809 keV) obtained from observations of the Galactic Centre region (Diehl et al., *A&A* 411, L451, 2003).

Badanie nukleosyntezy

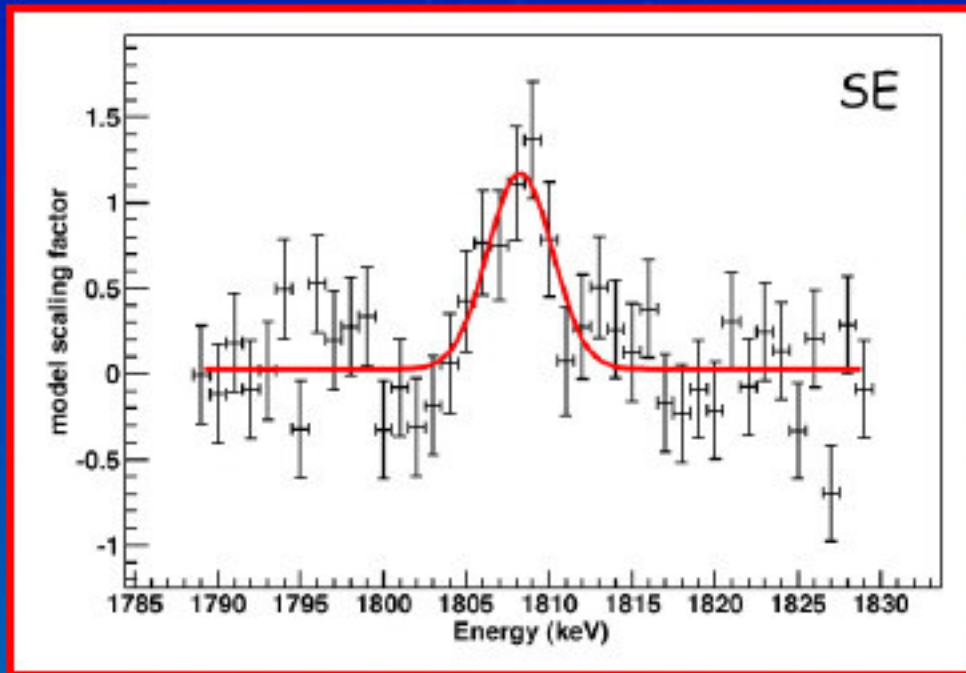
2. ^{60}Fe jest produkowany w zewnętrznej warstwie konwektywnej masywnych gwiazd poprzez wychwyty neutronów i magazynowany do czasu wybuchu supernowej, który kończy życie gwiazdy masywnej. Badanie nukleosyntezy ^{60}Fe pozwala analizować strukturę gwiazd masywnych na ostatnim etapie ich ewolucji.



Unveiling massive star nucleosynthesis in Cygnus X

1809 keV gamma-ray line emission from radioactive ^{26}Al decay

SPI/INTEGRAL 1809 keV line spectrum of Cygnus X



Flux : $(7.2 \pm 1.8) \times 10^{-5} \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Position : $1808.4 \pm 0.3 \text{ keV} \Rightarrow v_{\text{rad}} = -41 \pm 50 \text{ km s}^{-1}$
Width : $3.3 \pm 1.3 \text{ keV} \Rightarrow \Delta v = 550 \pm 210 \text{ km s}^{-1}$

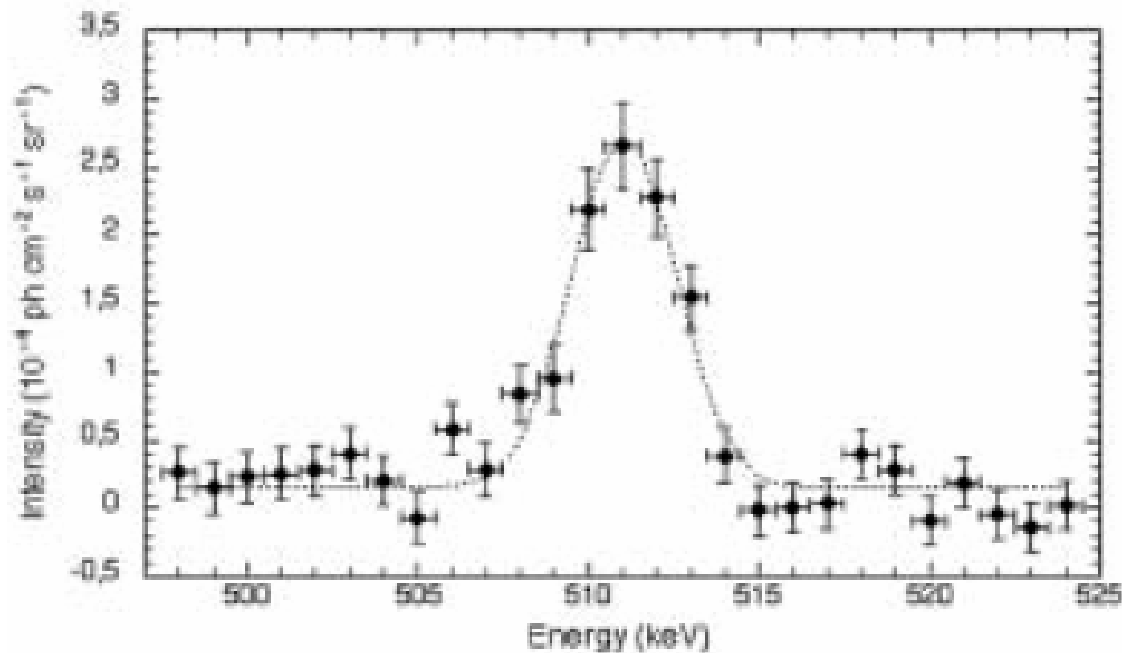


DRAO radio image of ionising massive star clusters in Cygnus X that are at the origin of the ^{26}Al production detected by SPI

Jürgen Knödlseder (on behalf of the INTEGRAL team), Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, Toulouse, France

Badanie nukleosyntezy

3. Spektroskopia linii anihilacyjnej $e^+ + e^-$

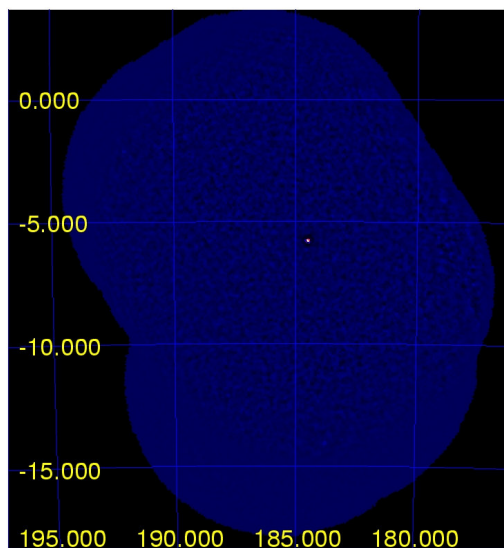


Informacja o źródle
emitującym
pozytony

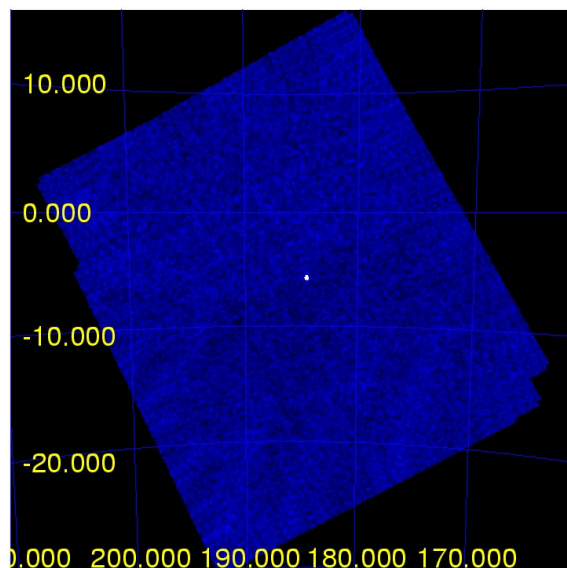
Figure 2.7.2. Spectrum of the electron-positron annihilation feature at 511 keV obtained during Galactic Centre observations (Jean et al., *A&A* 407, L55, 2003).

Obrazy nieba w obszarze Craba

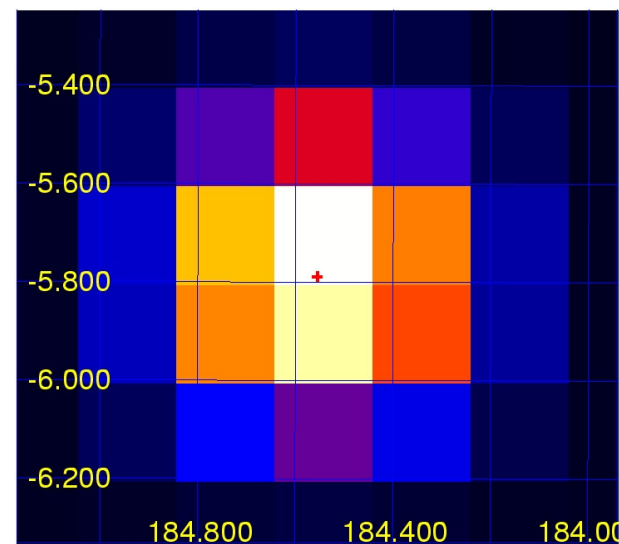
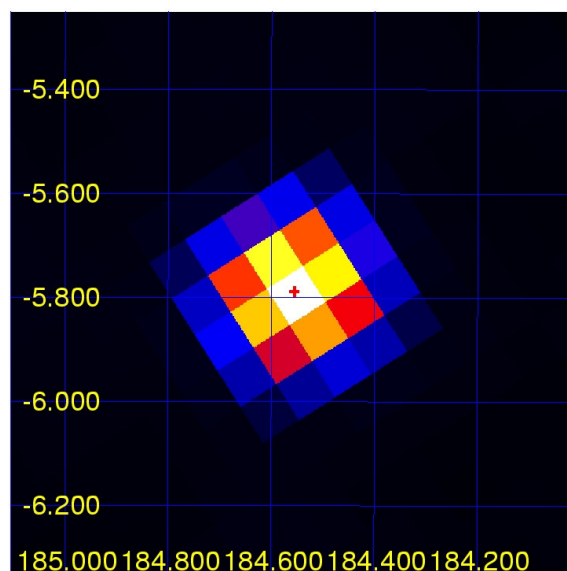
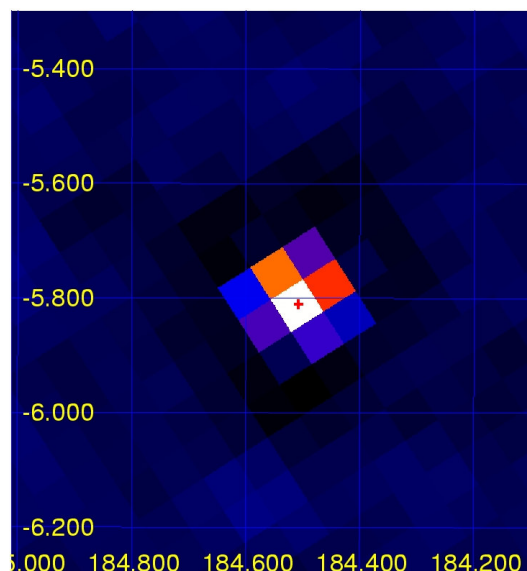
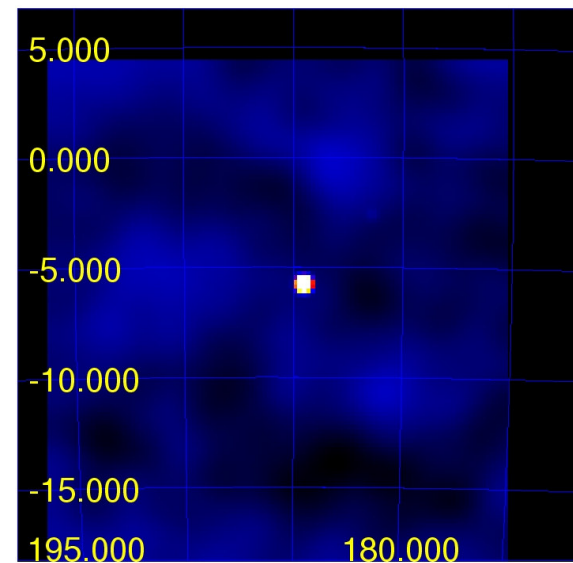
JEM-X 3-6 keV



ISGRI(IBIS) 40-80 keV

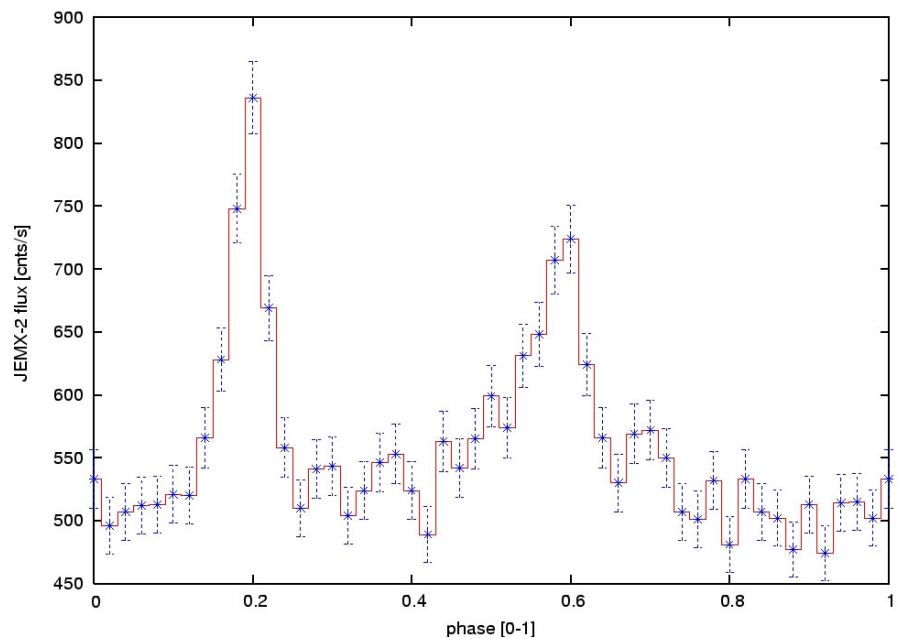


SPI 20-200 keV

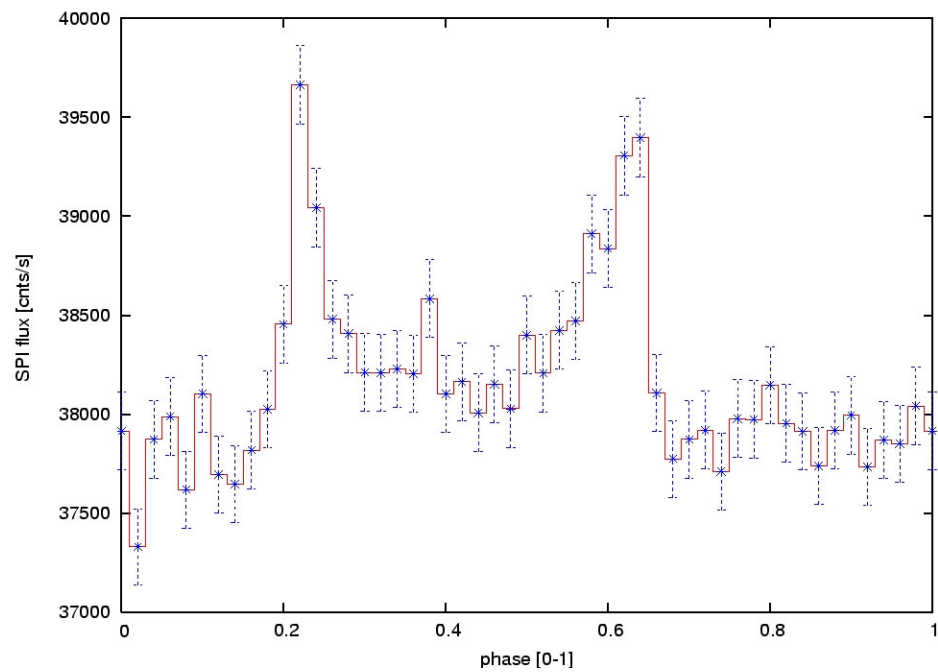


PARAMETRY CZASOWE

CRAB
 $f = 29.809$ Hz

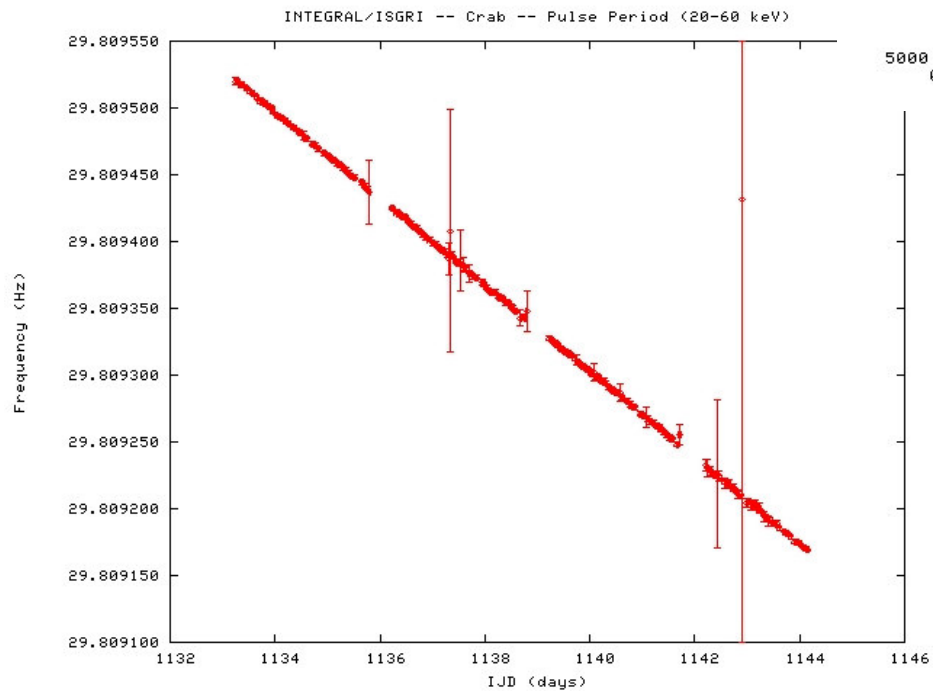
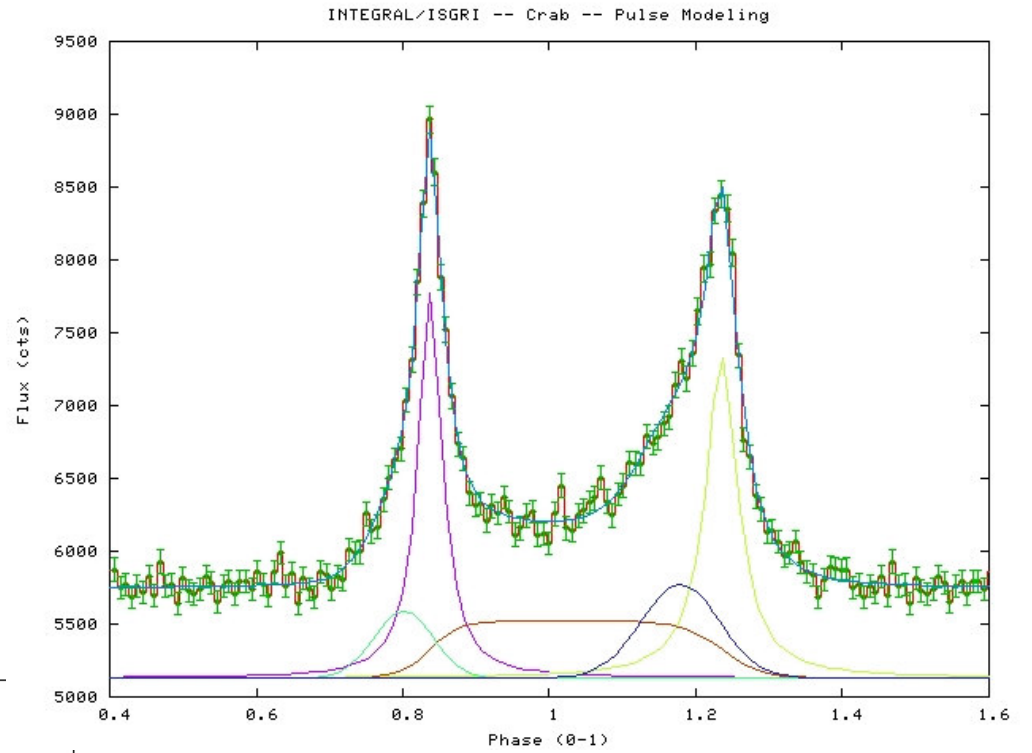


JEMX



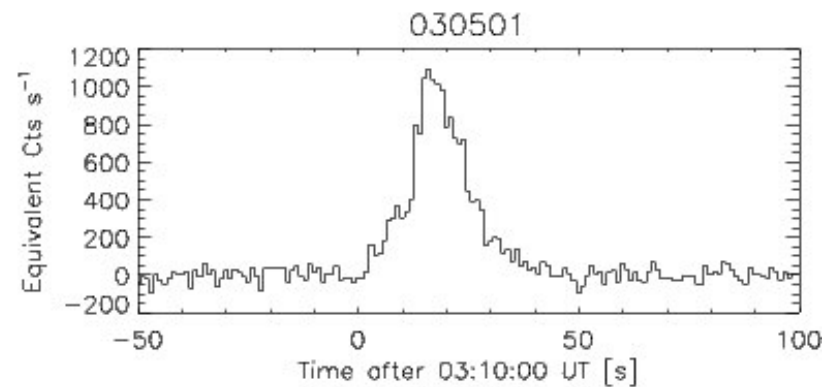
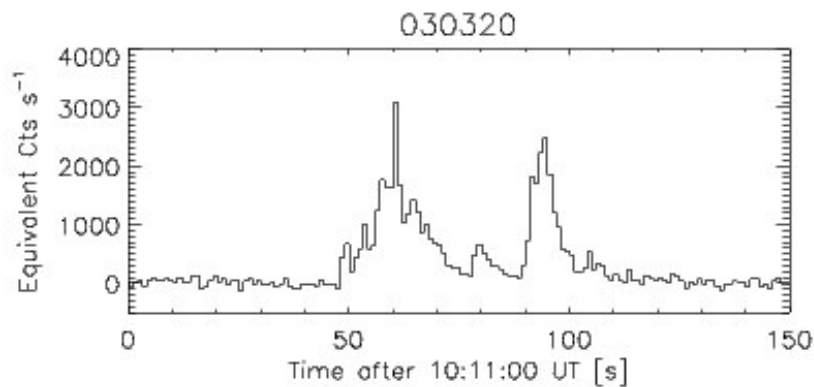
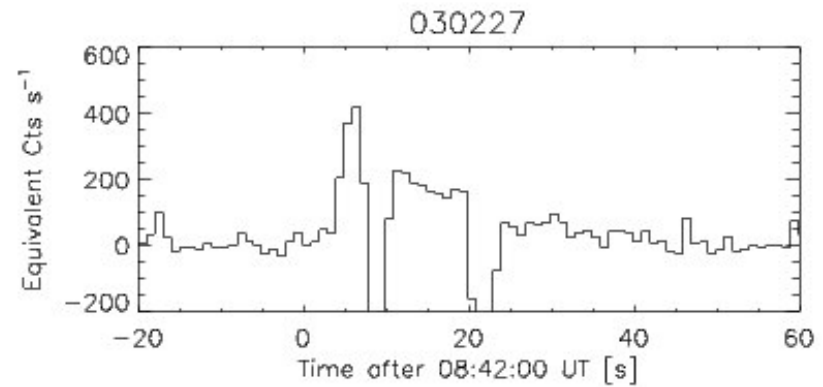
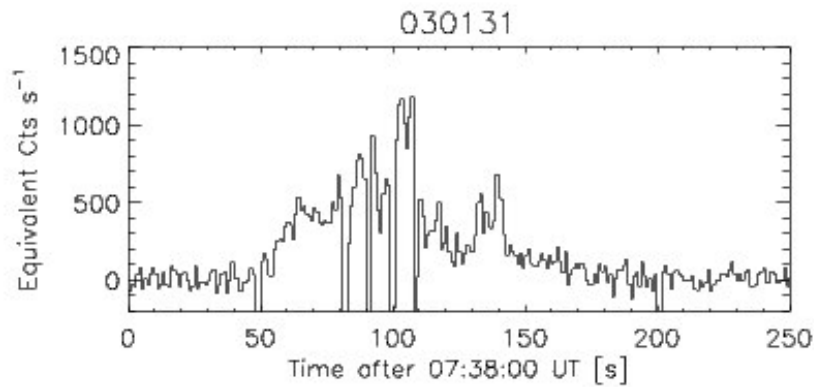
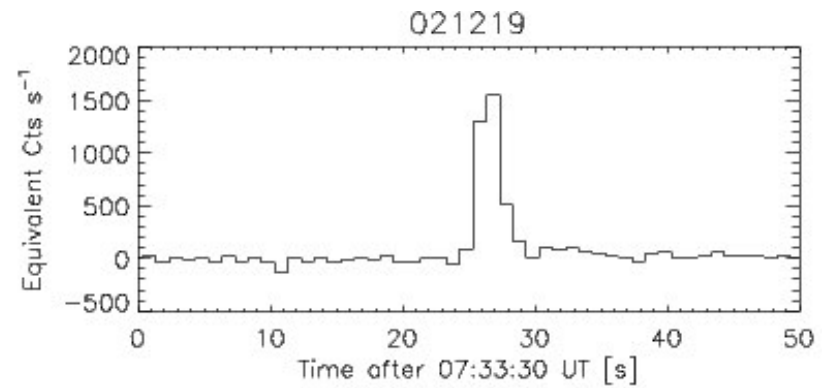
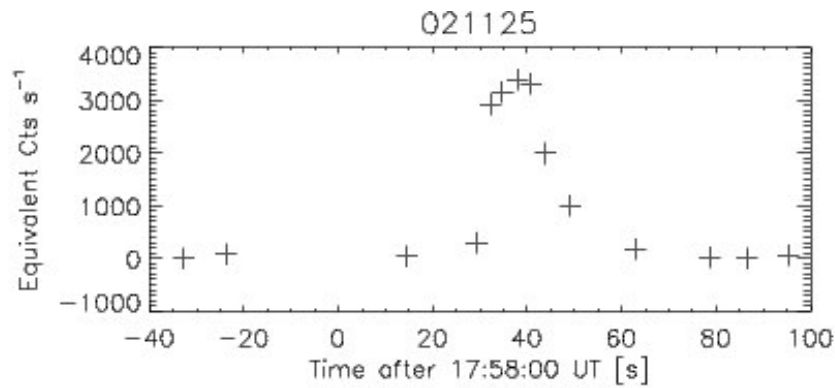
SPI

PARAMETRY CZASOWE

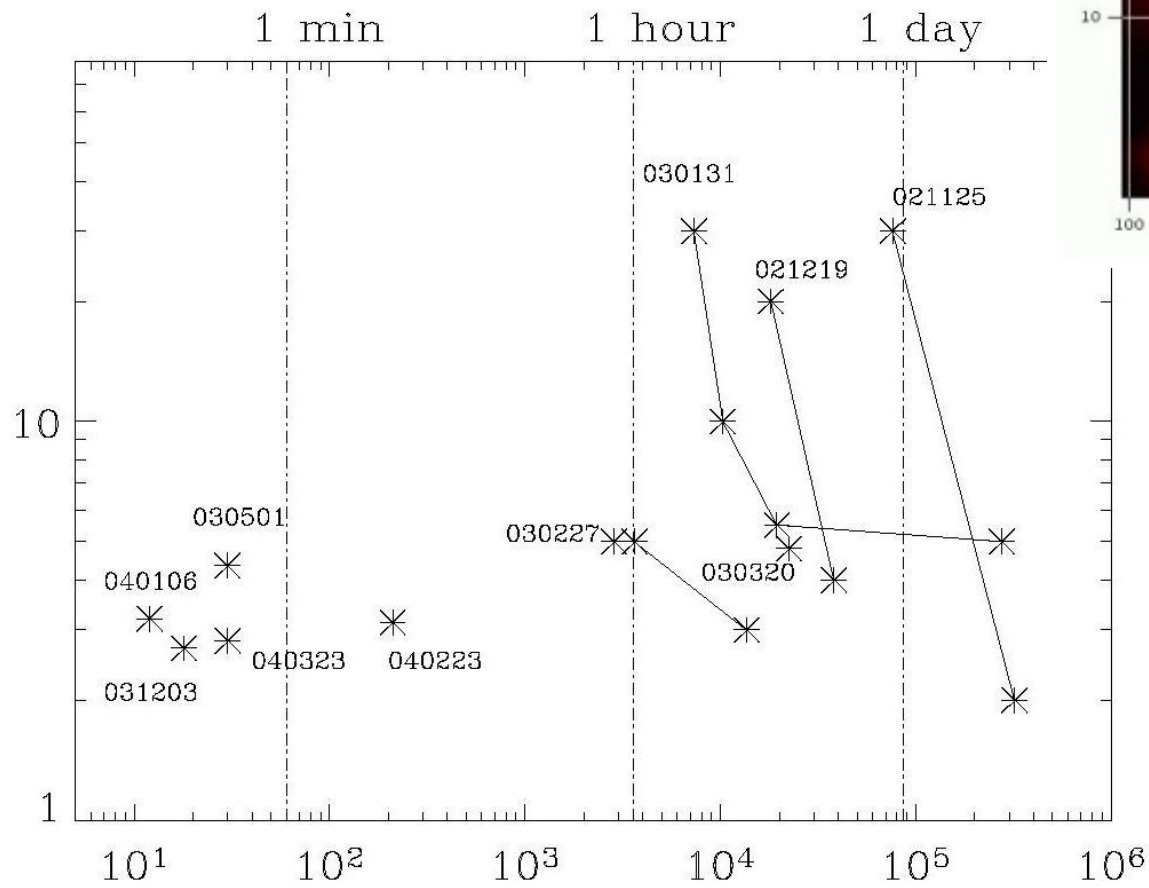
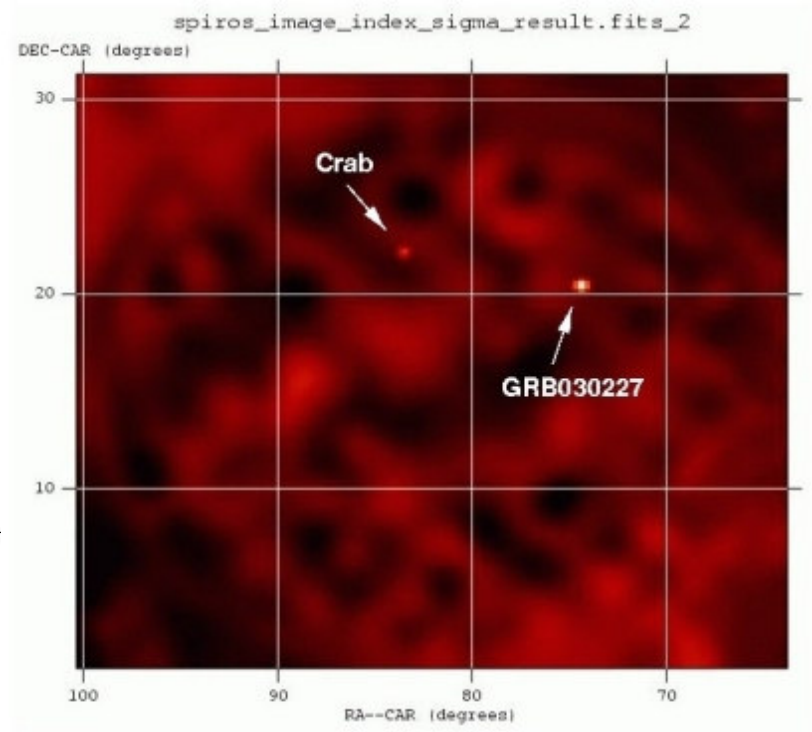


ISGRI (IBIS)

Błyski gamma z niezidentyfikowanych obiektów w Kosmosie (GRB)



GRB

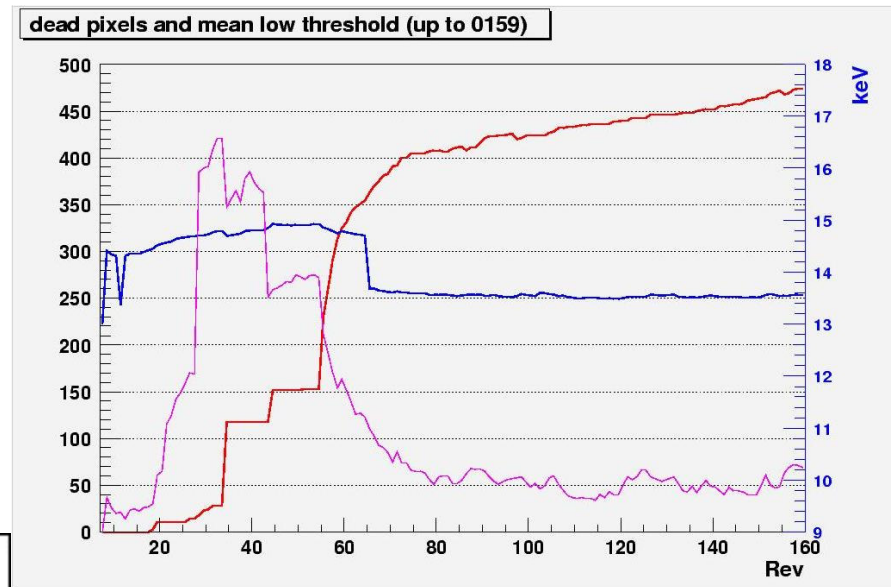
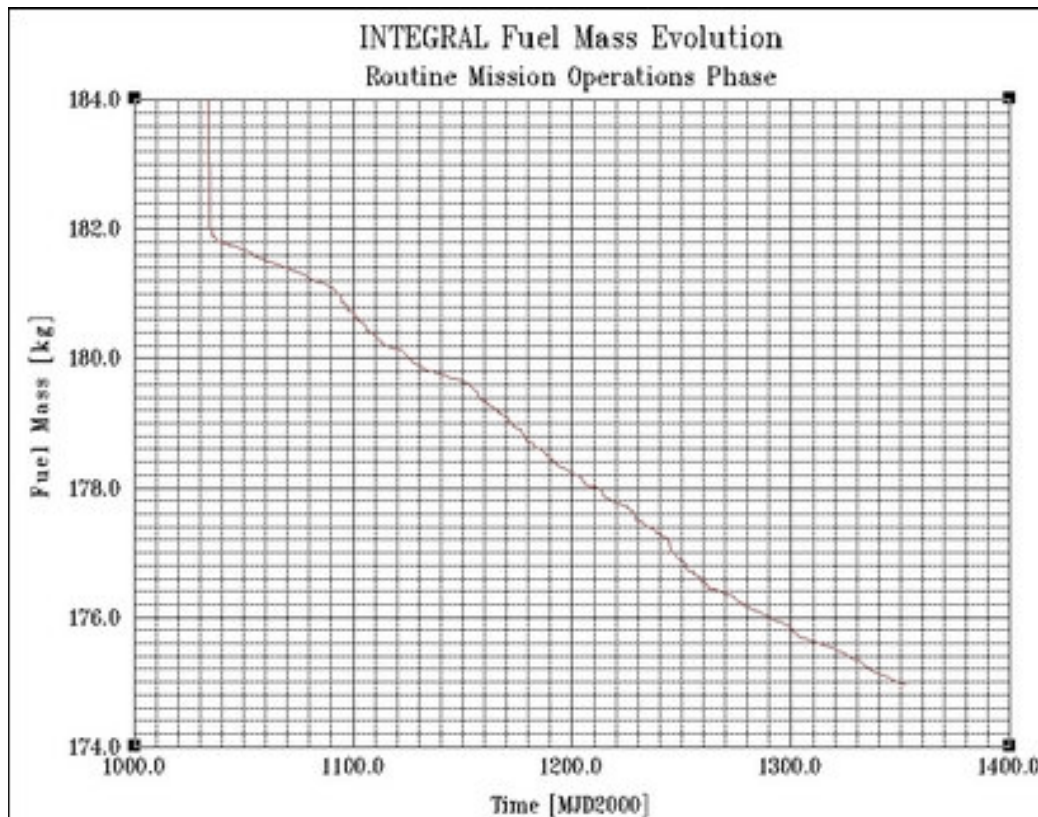


EMISJA ROZCIĄGŁA CZY ŹRÓDŁA PUNKTOWE W GALAKTYCE?



INTEGRAL pomógł wykryć ok. 500 nowych obiektów

JAK DŁUGO JESZCZE?



Zatwierdzone działanie do
końca 2008