

Błyski gamma
największe kataklizmy Wszechświata
eksperyment „ π of the Sky”

Grzegorz Wrochna
Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana

<http://grb.fuw.edu.pl>

7.12.1941, Pearl Harbor



**Niespodziewany atak lotnictwa japońskiego
na zgrupowanie floty USA**

Szok w USA $\Rightarrow$ doktryna „nigdy nie dać się zaskoczyć”

**1963 – Układ o zakazie prób jądrowych
w przestrzeni kosmicznej**



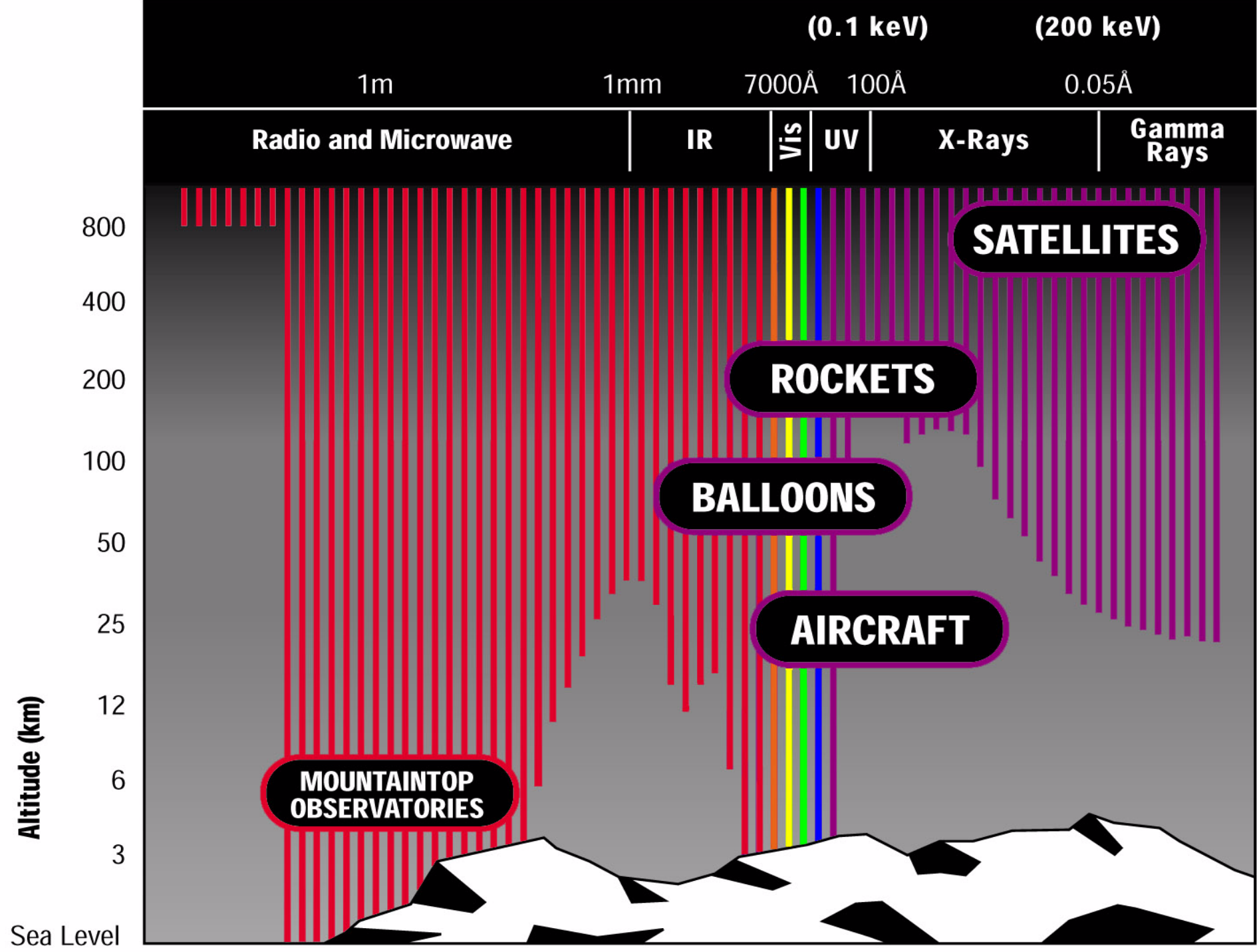
Wystrzelenie satelitów VELA

Stirling Colgate, Los Alamos National Laboratory

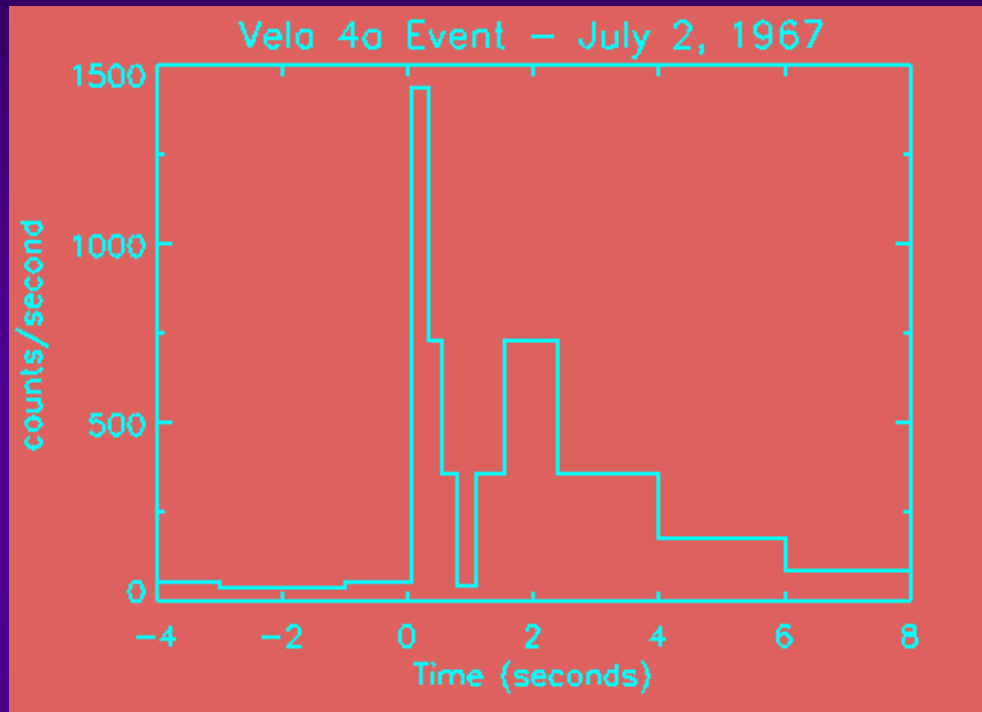
- wyposażone w detektory promieni γ
- orbita $R=100\,000$ km, okres=4.5 doby
- zdolne wykryć wybuch jądrowy
na odwrotnej stronie Księżyca

**1958 – USA planują próby jądrowe
na odwrotnej stronie Księżyca**
(dane ujawnione dopiero w 2000)





2.6.1967 – VELA rejestrują błysk γ



- Ray Klebesadel i Roy Olson z Los Alamos National Laboratory porównują wydruki danych z VELA 4A i 4B
- Znajdują ten sam błysk widziany przez oba statki
ZSRR złamało Układ?
- Kształt impulsu inny niż dla bomby jądrowej
brak informacji o kierunku i odległości

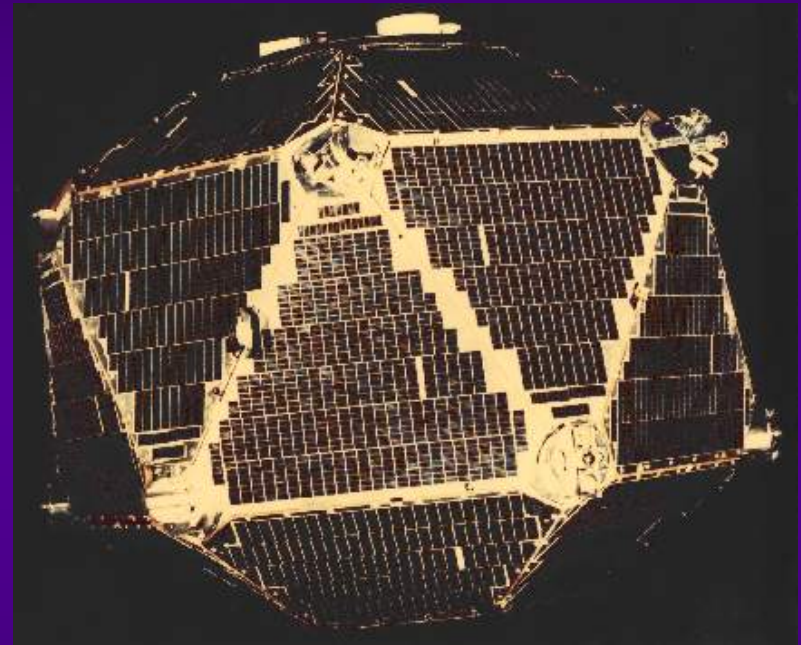
1969 – Wystrzelenie VELA 5 i 6

- czasowa zdolność rozdzielcza 1/64 s
- możliwość określenia kierunku ($\sim 5^\circ$) i odległości

1969-73 – rejestracja
16 błysków γ

1973 – publikacja
wyników

- odległość > milion km
- kierunki wykluczają Słońce i planety
- rozkład $\sim$ izotropowy
- dziennikarze węższą wojnę jądrową między kosmitami
- podniecenie wśród astronomów



Skale odległości w jednostkach świetlnych

Ziemia – Księżyc	1 s
Ziemia – Słońce	8 min
krańce Układu Słonecznego	11 h
najbliższa Słońcu gwiazda	4 lata
średnica Galaktyki	100 000 lat
odległość do M31	2.5 mln lat
widzialny Wszechświat	15 mld lat

Pierwsze hipotezy

1974 – przegląd Rudermana wymienia kilkadziesiąt teorii

Gdzie?

Układ Słoneczny, Galaktyka, Wszechświat

Co?

gwiazdy ciągu głównego, białe karły, czarne dziury,
gwiazdy neutronowe, planety, komety, ziarna pyłu,
białe dziury, struny kosmiczne, wormholes, etc.

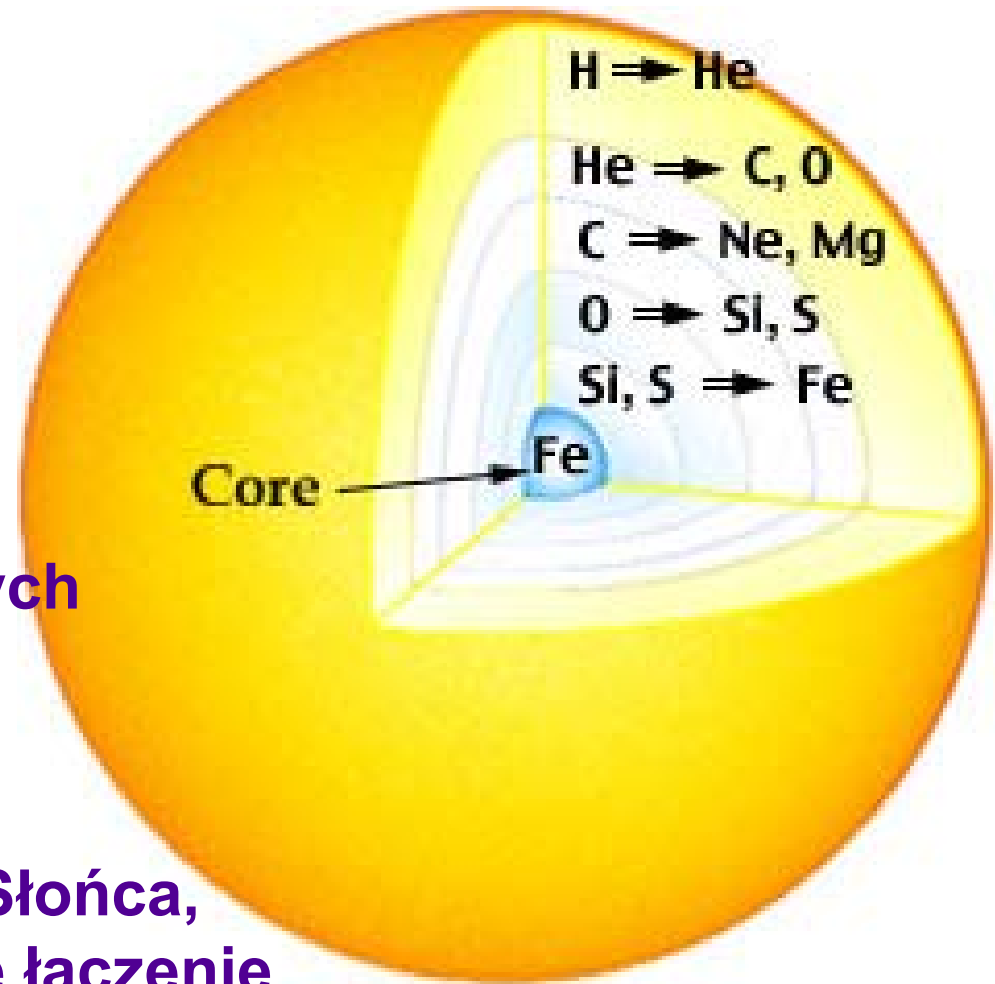
Jak?

energia grawitacyjna, termojądrowa, magnetyczna,
kinetyczna (rotacyjna)

Supernowe

Gwiazda czerpie energię z procesów termojądrowych łączenia atomów H w He.

Jeśli jest >8x cięższa od Słońca, to po zużyciu H następuje łączenie cięższych pierwiastków aż do Fe.



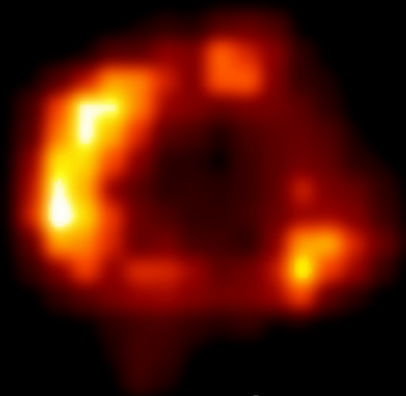
Wybuch supernowej

- ◆ Nagle żelazne jądro o masie $\sim M_{\text{Słońca}}$ i promieniu $\sim R_{\text{Ziemi}}$ w ciągu ułamka sekundy kurczy się do $R \sim 10$ km tworząc gwiazdę neutronową ...
- ◆ Zewnętrzne warstwy zapadają się i z prędkością $\sim c/3$ odbijają się od jądra
- ◆ Przeciwbieżne strumienie materii zderzają się
- ◆ Wytworzona fala uderzeniowa brnie przez materię wytwarzając pierwiastki cięższe od Fe
- ◆ Wreszcie odrzuca najbardziej zewnętrzne części gwiazdy

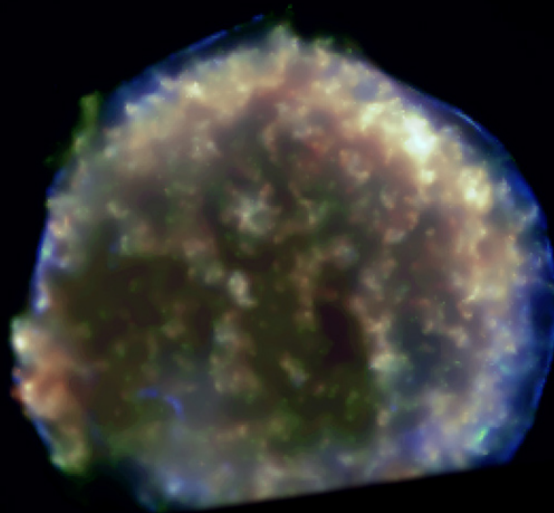
Supernowe

- ◆ Wyzwolona energia $\sim 3 \cdot 10^{46}$ J jest unoszona przez neutrina ($\sim 95\%$) i fotony ($\sim 5\%$)
- ◆ Gwiazda staje się jaśniejsza niż cała galaktyka (miliardy gwiazd)
- ◆ Po kilku tygodniach stopniowo przygasa
- ◆ Barwna otoczka pozostaje widoczna przez stulecia

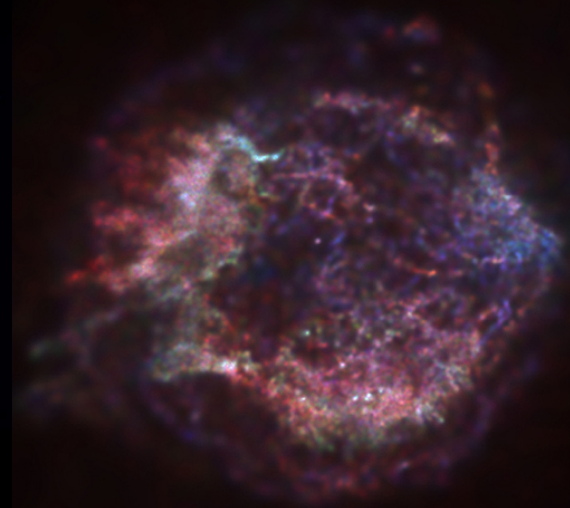
Galeria supernowych (X)



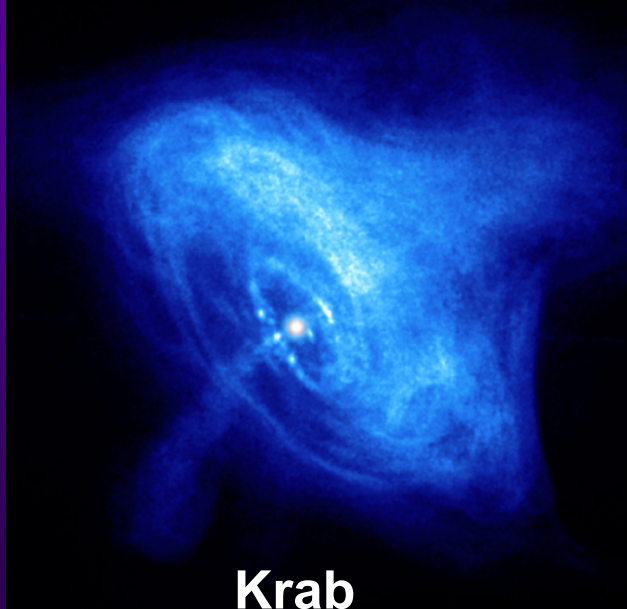
SN 1987



SN 1572



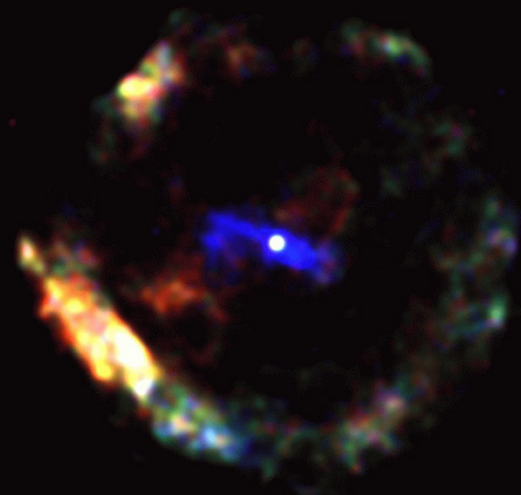
SN w Kasjopei



Krab



SN 386



Gwiazdy neutronowe

- Obiekt o masie rzędu Słońca i $R \sim 10$ km
- Grawitacja między jądra atomowe
 - $\Rightarrow$ **gwiazda neutronowa = gigantyczne jądro atomowe**
- Szybki obrót – 1-1000/s
- Silne pole magnetyczne skupia promieniowanie w wąskim stożku
- Jeśli oś pola $\neq$ osi obrotu to stożek promieniowania omiata przestrzeń jak latarnia morska
 - $\Rightarrow$ **gwiazda neutronowa = pulsar**

Spadek komety na gwiazdę neutronową

Różnorodność kształtów i wielkości komet
dobrze tłumaczy różnorodność kształtów błysków γ

Ale g.n. skupione są w dysku Galaktyki

Skąd więc rozkład izotropowy?

Możliwy, jeśli widzimy tylko bliskie g.n.

Znając liczbę gwiazd neutronowych

(z obserwacji pulsarów i supernowych)

oraz liczbę komet (z Układu Słonecznego)

można policzyć częstość błysków γ

Znając typowe wielkości komet i g.n.

możemy policzyć wyzwoloną energię

Porównując z energią obserwowaną otrzymujemy

skalę odległości: 10-1000 lat świetlnych

10 l.ś. ~ odległość do najbliższych g.n.

1000 l.ś. ~ grubość dysku galaktycznego

Sieć międzyplanetarna

Inter-Planetary Network (IPN)

1978 – kilka statków kosmicznych z dala od Ziemi wyposażonych w detektory gamma

- **Prognoz 7 (ZSRR)** – satelita Ziemi
- **Helios 2 (RFN)** – satelita Słońca
- **Pioneer Venus Orbiter (USA)**
- **Wenera 11 i 12 (ZSRR)** – misja na Wenus
- **Kosmos (ZSRR)** – kilka satelitów Ziemi
- **Vela 5 i 6 (USA)** – dalekie orbity wokółziemskie

Błysk w Obłoku Magellana

5.3.1979 – satelity IPN rejestrują niezwykle silny błysk po którym następuje gasnący szereg słabych co 8 s

Kierunek z Wielkiego Obłoku Magellana

(sąsiednia galaktyka, 160 000 l.ś. od Ziemi)

Położenie pokrywa się z pozostałością po supernowej

Gigantyczna energia wyklucza hipotezę komety

Miejsce po supernowej i 8 s pulsacje wskazują na gwiazdę neutronową (pulsar)

Hipoteza gigantycznej burzy magnetycznej na g.n. o olbrzymim polu magnetycznym dobrze tłumaczy obserwowany błysk γ

Linie widmowe

Widmo błysku 79 03 05 miało piki ~ 800 i 400 keV
zgodne z anihilacją e^+e^- w 1 lub 2 γ
(1022 lub 511 keV minus energia ucieczki z g.n.)

**1979-81 - W widmach kilkudziesięciu innych błysków γ
japoński sat. Ginga i rosyjska grupa Evgeni Mazets
zaobserwowały „dołki” (linie absorpcyjne) ~ 30 -60 keV**

Zinterpretowano je jako częstości cyklotronowe
elektronów w polach magnetycznych g.n.
Obliczono wartości rzędu $3 \cdot 10^{12}$ gausów, typowe dla g.n.

**Utwierdziło to hipotezę błysków galaktycznych, gdyż
większe odległości wymagałyby znacznie większych pól**

Archiwalne obserwacje optyczne

1981 – Bradley Schaefer (MIT) przejrzał stare zdjęcia nieba

- **znalazł błysk 1928.11.17 w miejscu GRB 1978.11.19**

1984 – kolejny przegląd

- **GRB 1979.11.05 = błysk 1901**
- **GRB 1979.01.13 = błysk 1944**

- ⇒ średnia częstość błysków obiektu = 1.1/rok**
- ⇒ obiekt musiał przeżyć >50 lat ⇒ >50 eksplozji**
- ⇒ eksplozje nie są niszczące ⇒ niezbyt duże energie**
- ⇒ kolejne potwierdzenie bliskich odległości**

Rozkład natężenia a odległość

Przy izotropowym rozkładzie źródeł,
ich liczba N w sferze o promieniu R :

$$N \sim R^3$$

Natężenie obserwowane $L \sim 1/R^2$

A zatem liczba źródeł obserwowalnych
($L > L_0$, gdzie L_0 – czułość aparatury)

$$N \sim L_0^{-3/2}$$

1982 – dane wykazują odchyłkę od $L_0^{-3/2}$:

deficyt słabych błysków

- sprzeczność z galaktycznym pochodzeniem
- argument za odległościami kosmologicznymi
⇒ dawno temu widocznie było mniej błysków

Sytuacja w 1990

>95% astronomów za pochodzeniem galaktycznym

Ed Fenimore, Martin Rees, Donald Lamb, ...

- błysk w Obłoku Magellana w miejscu po supernowej
- linie widmowe
- niewielka energia potrzebna do wyjaśnienia
- powtarzające się błyski optyczne
- problem ściśnięcia (compactness)

<5% astronomów za pochodzeniem kosmologicznym

Bohdan Paczyński, ...

- deficyt słabych błysków
- rozkład izotropowy

Zakład Fenimore-Paczyński o butelkę wina

Rees proponował Paczyńskiemu zakład 100:1

**Rozkład izotropowy nie był argumentem rozstrzygającym,
a wszystkie pozostałe po latach okazały się fałszywe ...**

Wielka debata nr 2

**1920.04.26 – Wielka debata o odległościach
we Wszechświecie**

**Czy mgławice to obiekty w naszej Galaktyce
czy galaktyki, podobne do naszej?**

Harlow Shapley – Heber Curtis



Rees

Paczyński

Lamb

**1995.04.22 – Wielka debata nr 2
Błyski Gamma w naszej Galaktyce
czy w odległym Wszechświecie**

**Don Lamb – Bohdan Paczyński
Prowadzący: Martin Rees**

Problem ściśnięcia (compactness)

Krótkie czasy błysków (0.01-100s) wskazują na małe źródła (rzędu tys. km) - światło musi przebiec przez źródło

Jeśli źródło jest odległe, a do nas dociera dużo energii, to znaczy, że wydziela się jej ogromna ilość.

Małe rozmiary źródła oznaczają dużą gęstość energii

⇒ fotony γ oddziałują i produkują pary e^+e^-

⇒ w widmie nie powinno być γ o $E > 511 \text{ keV}$

Ponieważ γ takie obserwujemy ⇒ źródła są bliskie

Fałszywy trop - dwie luki w rozumowaniu:

- jeżeli obiekt się rozserza, widzimy tylko jego część
- jeżeli γ pędzą w naszą stronę to muszą mieć więcej energii, żeby wyprodukować parę e^+e^-

Wniosek: błyski γ mogą być odległe, jeśli γ powstają na froncie pędzącej fali uderzeniowej

Fałszywe tropy

- Rozkład izotropowy

możliwy także jeśli GRB są w galaktycznym halo

- Linie widmowe

prawdopodobnie efekt dekonwolucji (odwracania macierzy o elementach obarczonych dużymi błędami)

impuls = energia γ $\times$ odpowiedź detektora

- Powtarzające się błyski optyczne

1989 – Anna Żytkow powtórnie przejrzała zdjęcia:

„we should treat with great caution the suggestion, that the GRB are necessarily accompanied by optical flashes”

- Deficyt słabych błysków

detektory czułe na wartość maksimum, a nie energię całkowitą
 $\Rightarrow$ brak rejestracji impulsów niskich a długich

- Błysk w Obłoku Magellana 1979.03.05 w miejscu po SN

okazał się być nie typowym błyskiem γ

ale tzw. Soft Gamma Repeater (SGR)

(Uwaga! SN kontratakują 1998.04.25 a SGR - 2004.12.27)

Soft Gamma Repeaters (SGR)

1986 – błysk γ zaobserwowany w miejscu GRB 1979.01.07

- przegląd danych archiwalnych ujawnił >100 rozbłysków tego obiektu w latach 1979-84**
- większość skupiona w 1983.11, część w grupach, część pojedynczych**

Wkrótce odkryto więcej takich obiektów

- wszystkie w naszej Galaktyce**
- wszystkie w miejscu po SN sprzed ~10 000 lat**

Dwie klasy wyjaśnień

- spadek materii na gwiazdę neutronową**
- burze magnetyczne na gwiazdzie neutronowej o olbrzymim polu magnetycznym (magnetar)**

Spór do dziś nie rozstrzygnięty ...

BATSE



1991 – wystrzelono satelitę GRO
(Gamma Ray Observatory)
z detektorem BATSE

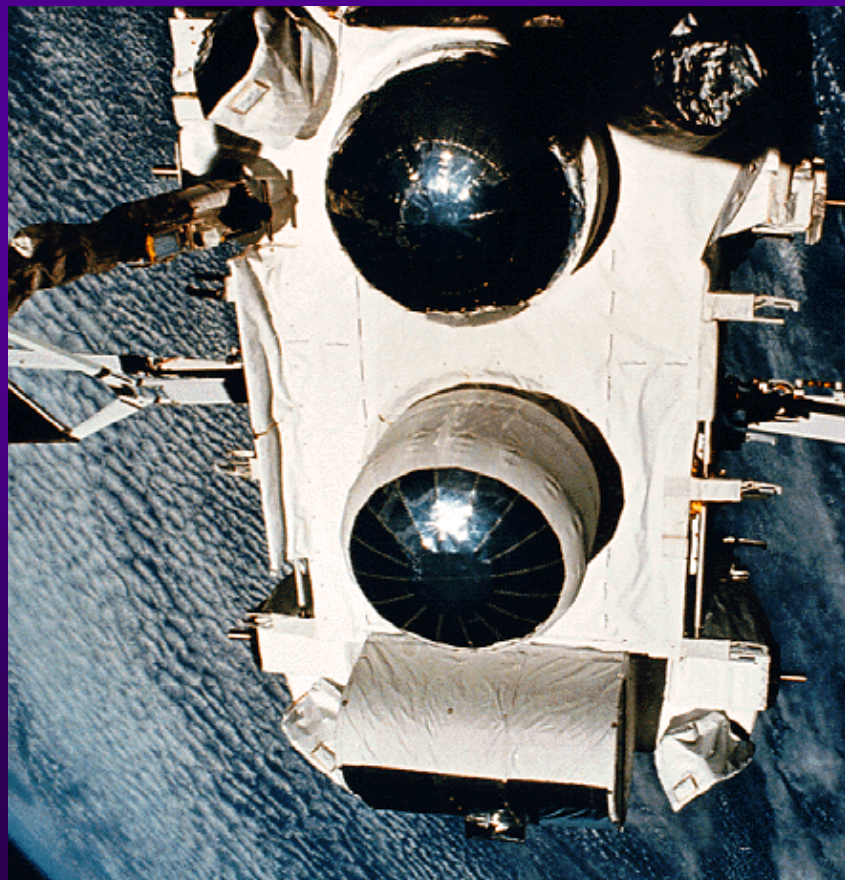
- wykrywał ~1 błysk dziennie
- położenie błysków: 4-10°

Miał nagrywać dane na taśmę
i przesyłać lecąc nad USA

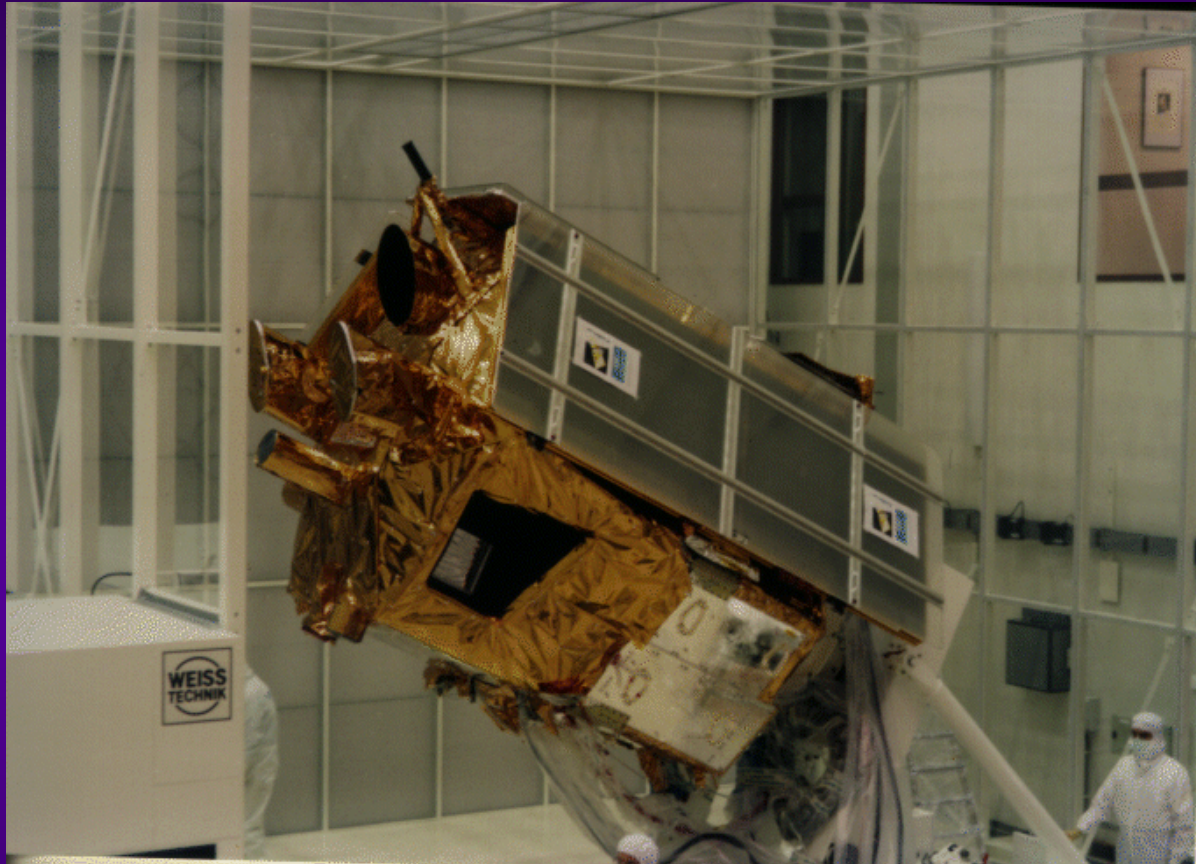
W 1992 zepsuły się magnetofony

NASA zbudowała stacje
w Afryce i Australii

Dzięki bezpośredniej transmisji
teleskopy naziemne mogły
natychmiast podejmować
obserwacje błysków



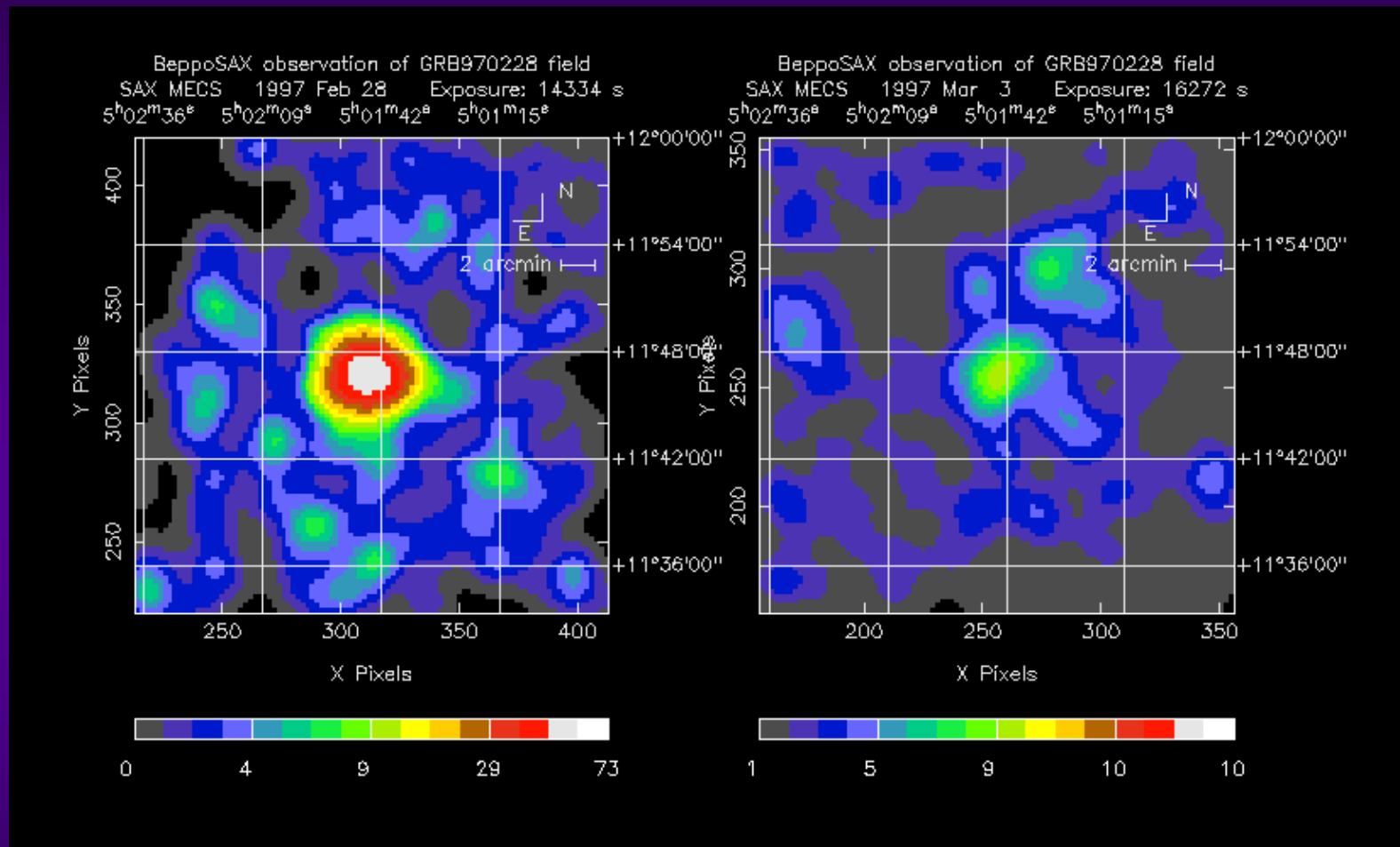
BeppoSAX



1996 – włosko-holenderski satelita BeppoSAX

- szerokokątna (pole 40°) kamera rentgenowska
- precyzyjna (rozdzielczość $3'$) kamera rentgenowska
- monitor promieniowania γ

Pierwsze poświaty

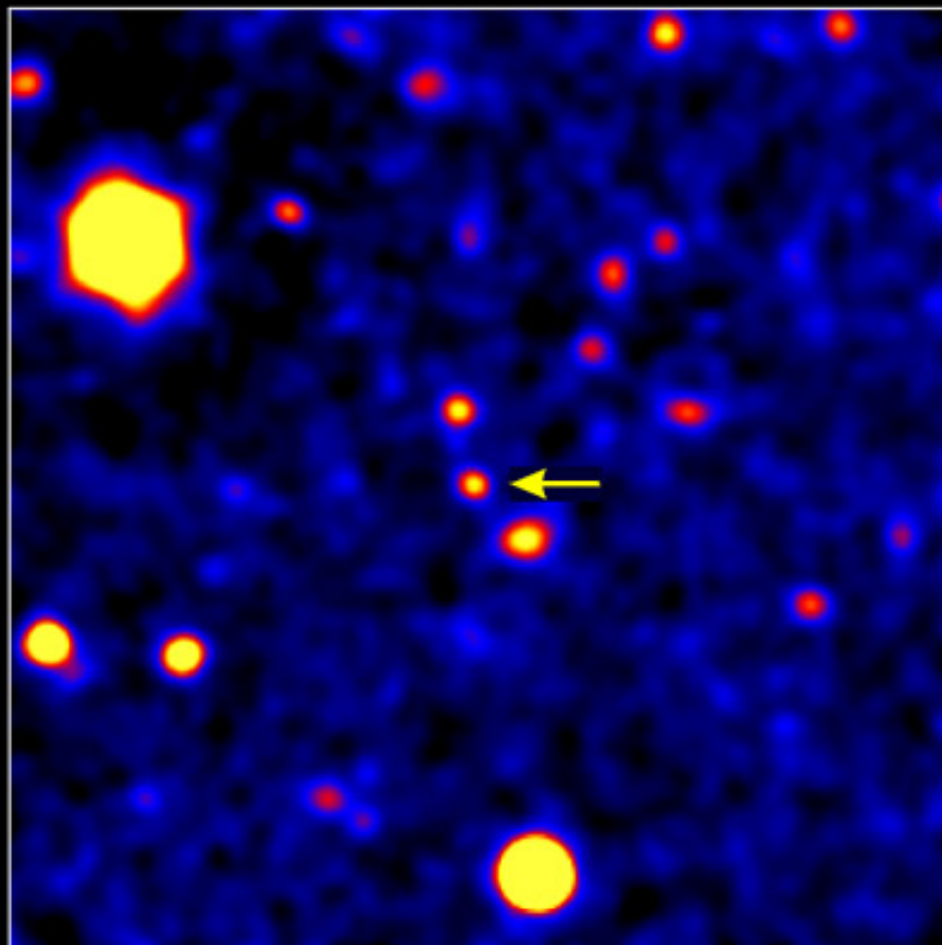


1997.02.28 – obserwacja GRB w promieniach X

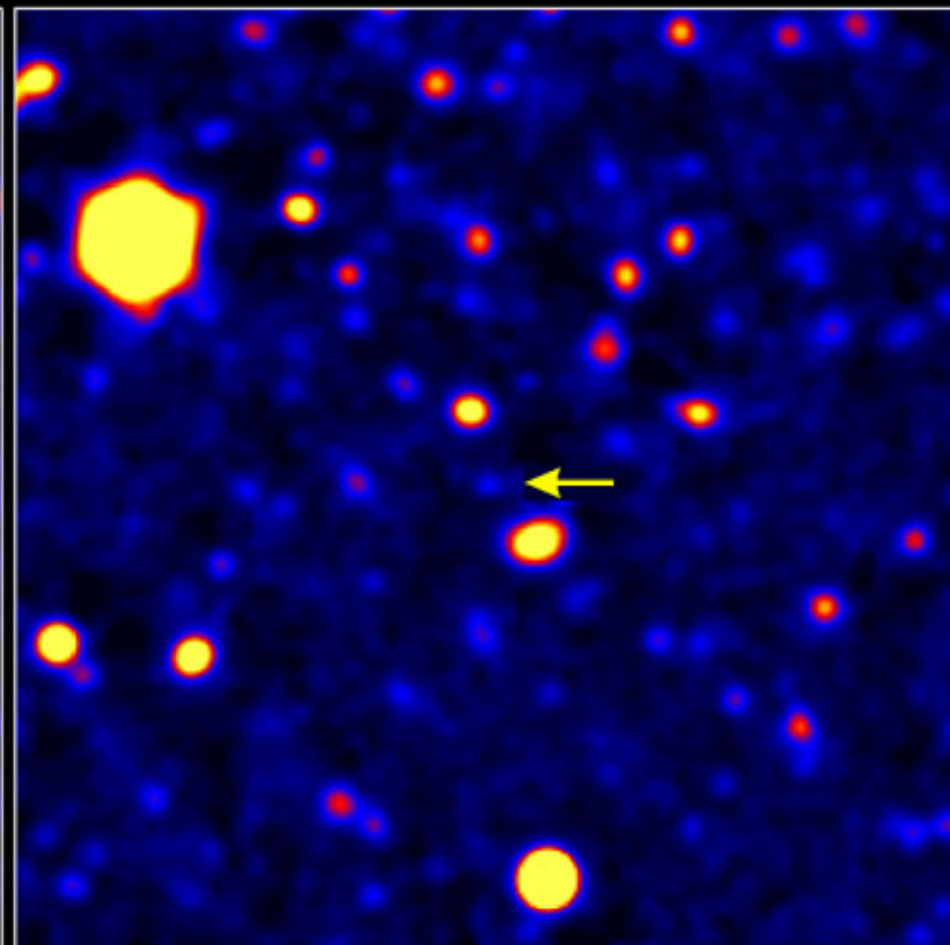
1997.05.08 – obserwacja γ , X, potem radiowa

i optyczna (teleskop Keck): 1997.05.11, $z=0.835$

Gamma Ray Burst 971214 • W. M. Keck Observatory



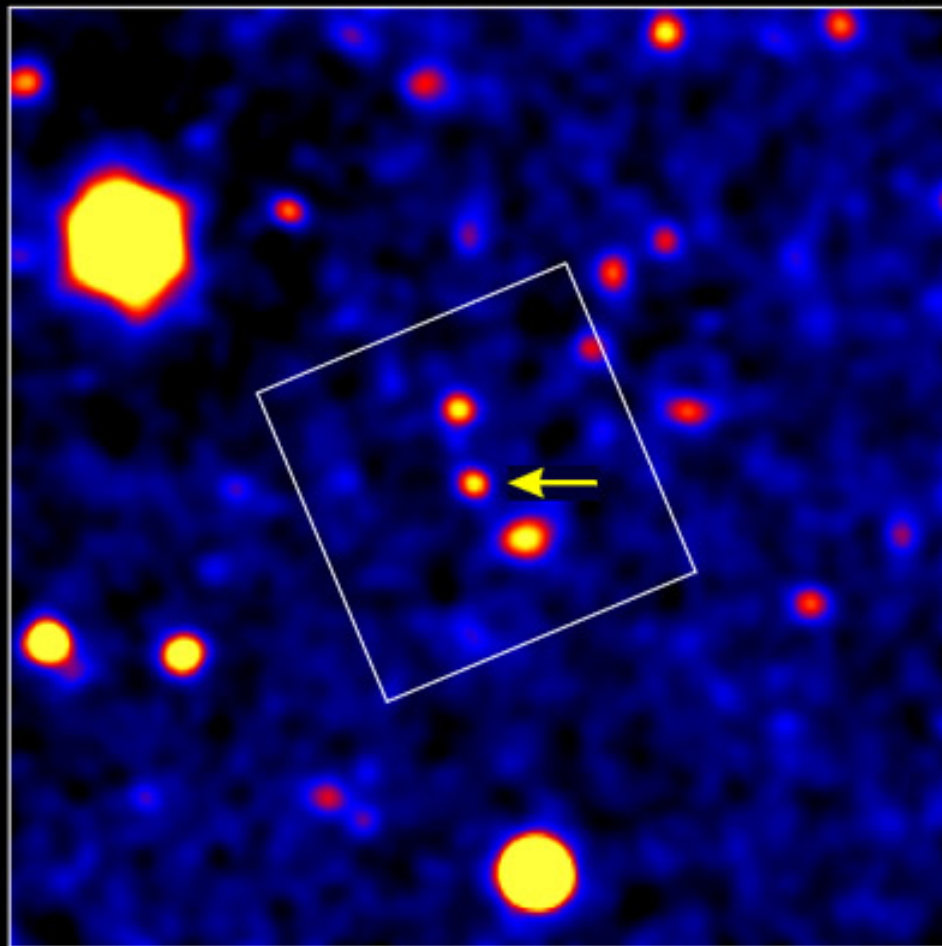
December 1997



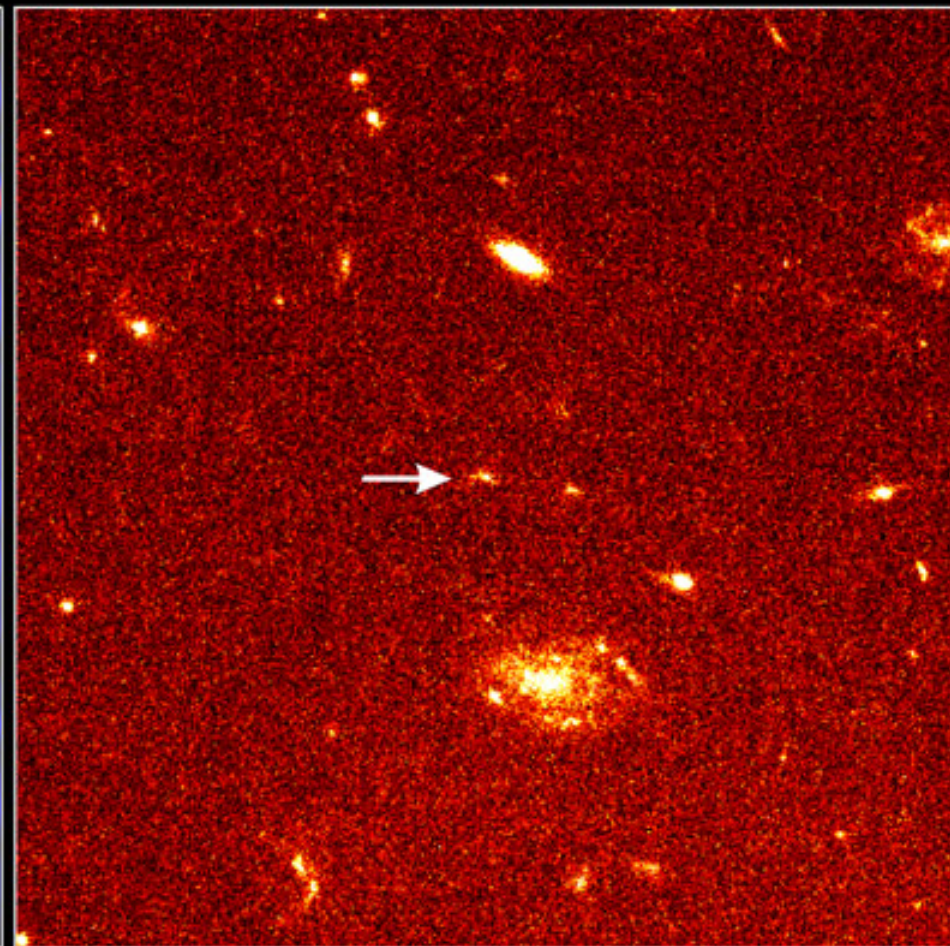
February 1998

PRC98-17b • May 7, 1998 • ST ScI OPO
S. G. Djorgovski and S. R. Kulkarni (Caltech),
the Caltech GRB Team and W. M. Keck Observatory

Gamma Ray Burst 971214



Keck • December 1997



HST/STIS • February 1998

PRC98-17c • May 7, 1998 • ST ScI OPO
S. G. Djorgovski and S. R. Kulkarni (Caltech), the Caltech GRB Team,
W. M. Keck Observatory and NASA

Nowa Supernowa SN1998bw

1998.04.25 – GRB zaobserwowany przez BeppoSAX

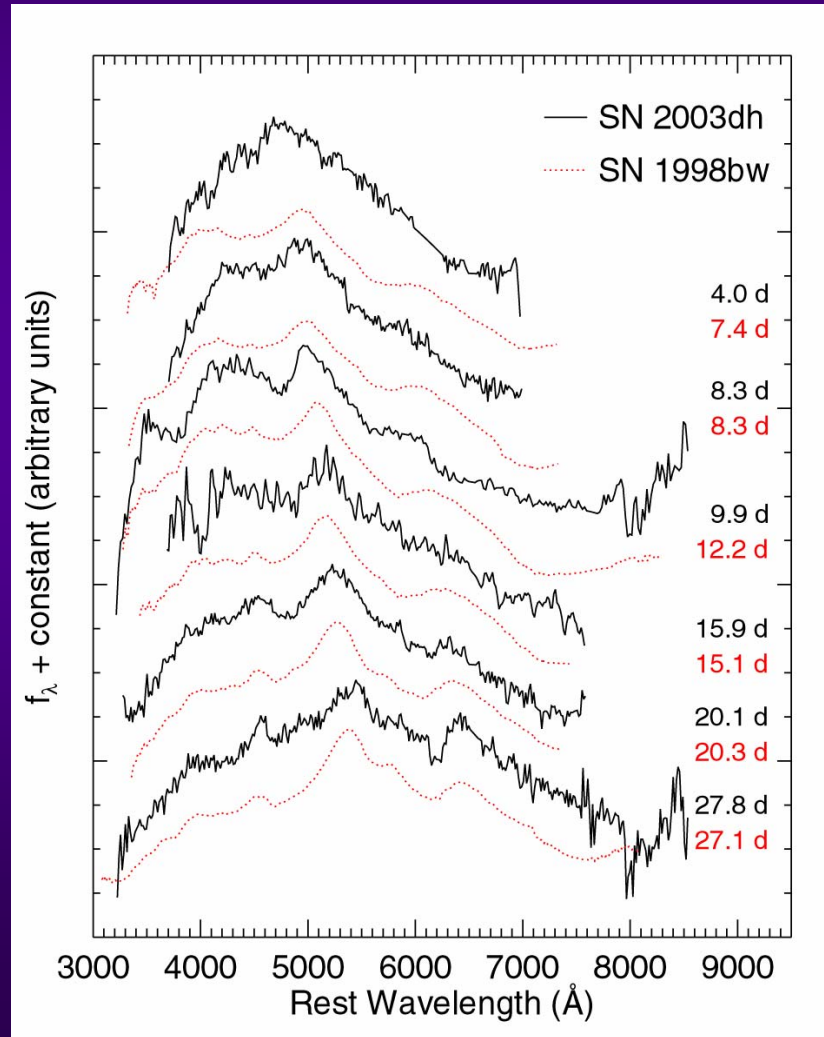
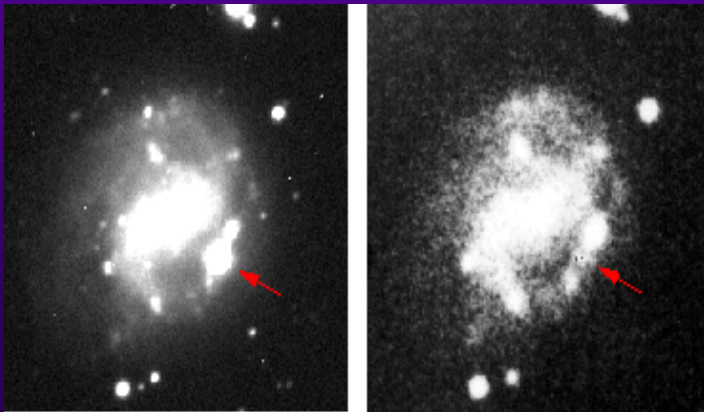
- **znaleziono bardzo jasną poświatę – 14^m**

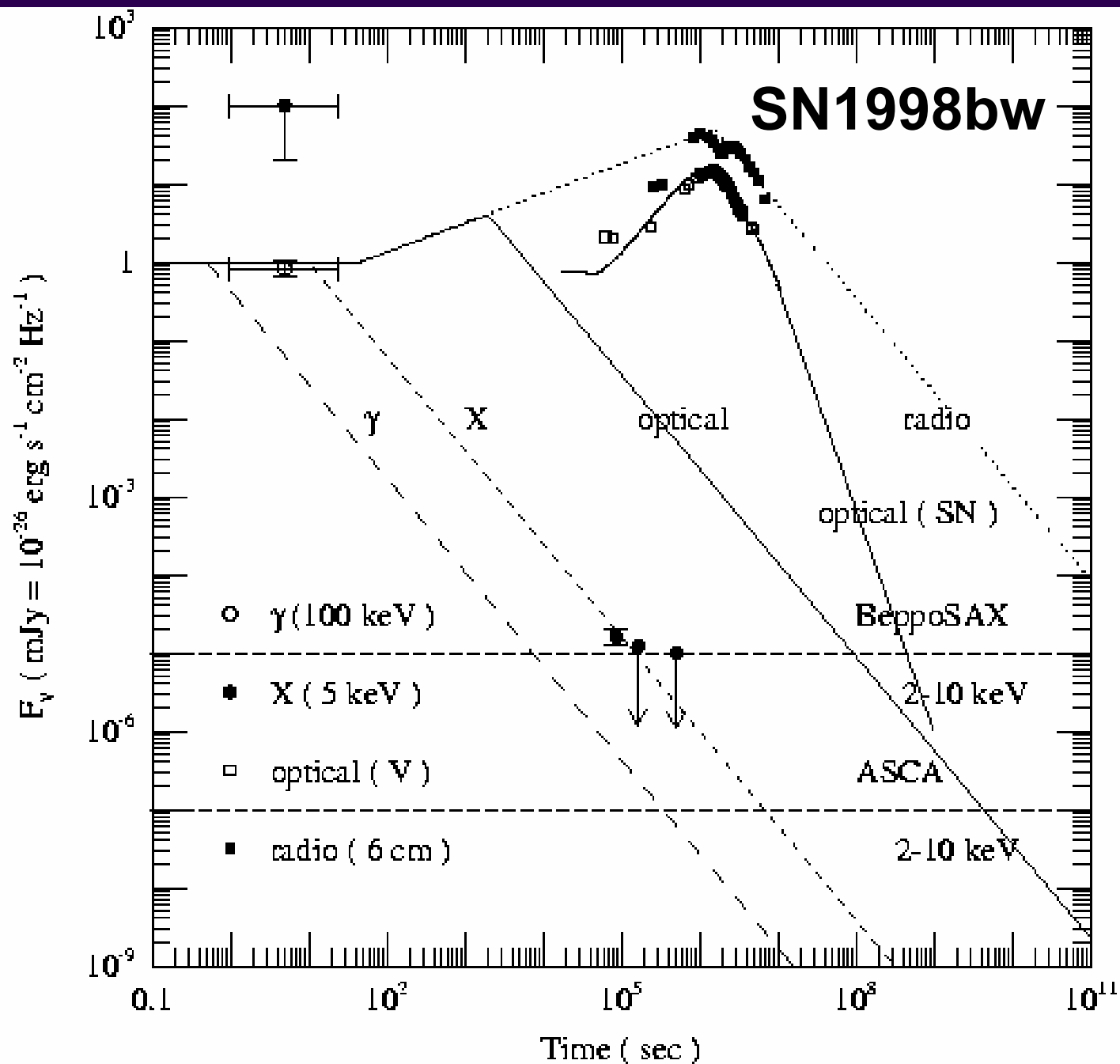
(wszystkie poprzednie >20^m)

- **widmo**

inne niż poprzednich GRB
charakterystyczne dla SN

- **poświata jaśniała**
przez 2 tygodnie,
potem słabła





Odrzucone granty

1974 – Paul Boynton proponuje poszukiwać optycznych odpowiedników GRB vidicon'em

NSF: „failed to show that they would, in fact, observe anything”

1983 – MIT: **Explosive Transient Camera**

(16 kamer = 43% nieba, d=25mm)

Rapidly Moving Telescope, d=180mm

odrzucone przez NFS, okrojona wersja w 1991
oprogramowanie nie poradziło sobie z tłem

1993 – Scott Barthelmy (NASA) tworzy

sieć dystrybucji alertów **B**Atse **C**Oor**D**Inate **N**etwork

i proponuje eksperyment **GTOTE** – odrzucony przez NASA

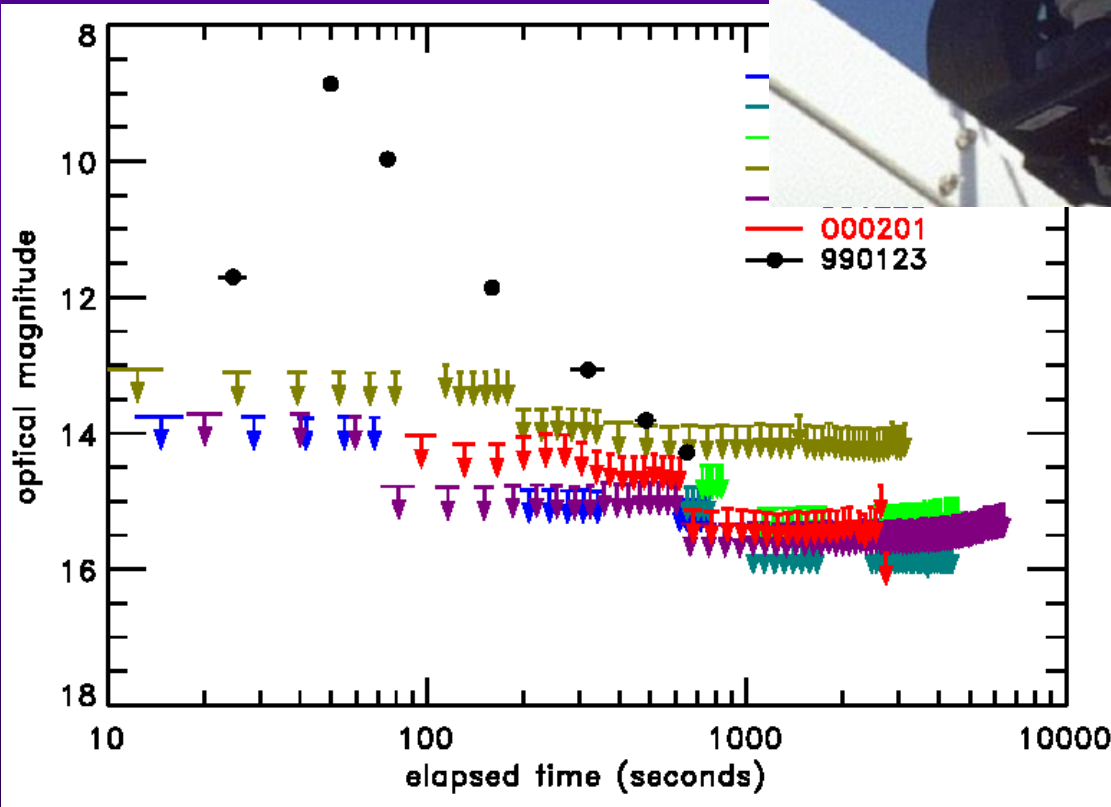
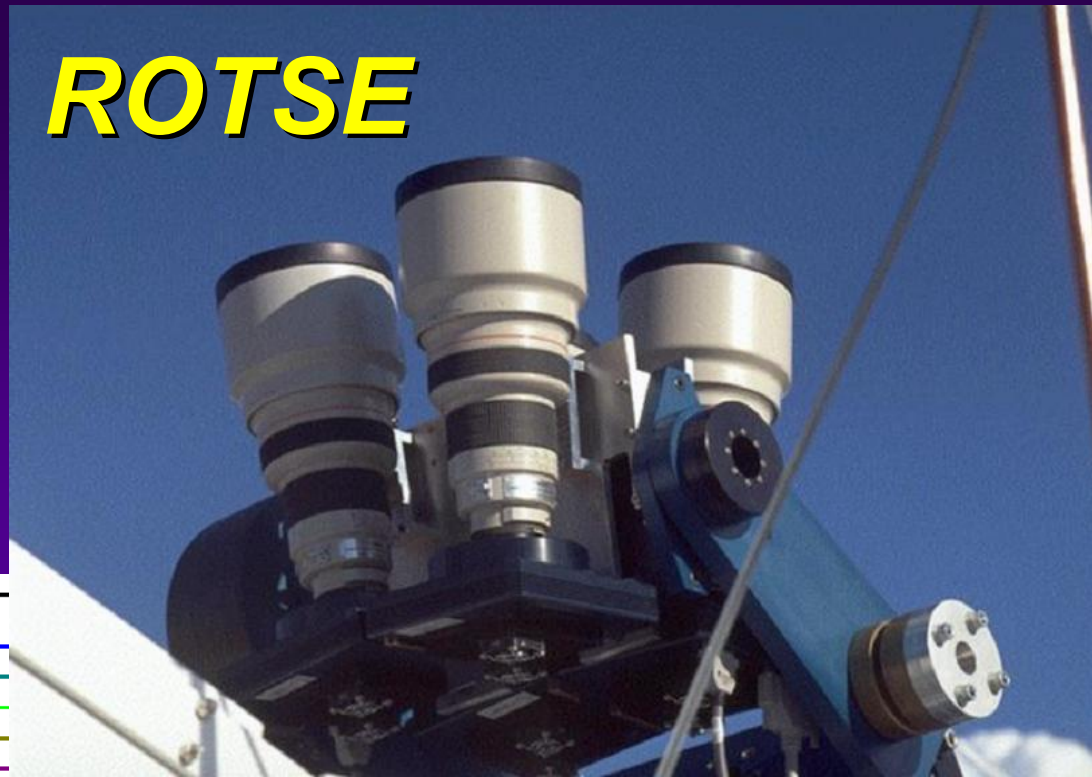
~1989 – Lawrence Livermore NL ma opracować kamerę dla programu „Gwiezdnych Wojen”. **Projekt upada.**

Wyrok Salomona

- 1992 – Carl Akerlof, fizyk cząstek (m.in. MACHO) jedzie do LLNL
- Od koleżanki ze studiów Hye-Sook Park dowiaduje się o kamerze do „Gwiezdných Wojen”
- **Odkurzona kamera staje się eksperymentem GROCSE**
Niestety, nic zaobserwowała żadnego błysku
- 1994-95 – propozycja GROCSE-II odrzucona przez NFS 4x
- **1996 – Lee próbuje usunąć Akerlofa z projektu**
Dzieli kamerę na pół i rozstają się
 - Lee w Livermore buduje LOTIS
 - Akerlof w Los Alamos buduje ROTSE
- **1999.01.23 – BATSE wysyła alert GRB**
 - nad Livermore chmury
 - nad Los Alamos czyste niebo ...

BATSE i ROTSE

4 ruchome obiektywy
CANON d=10 cm
sterowane sygnałem
z satelity BATSE

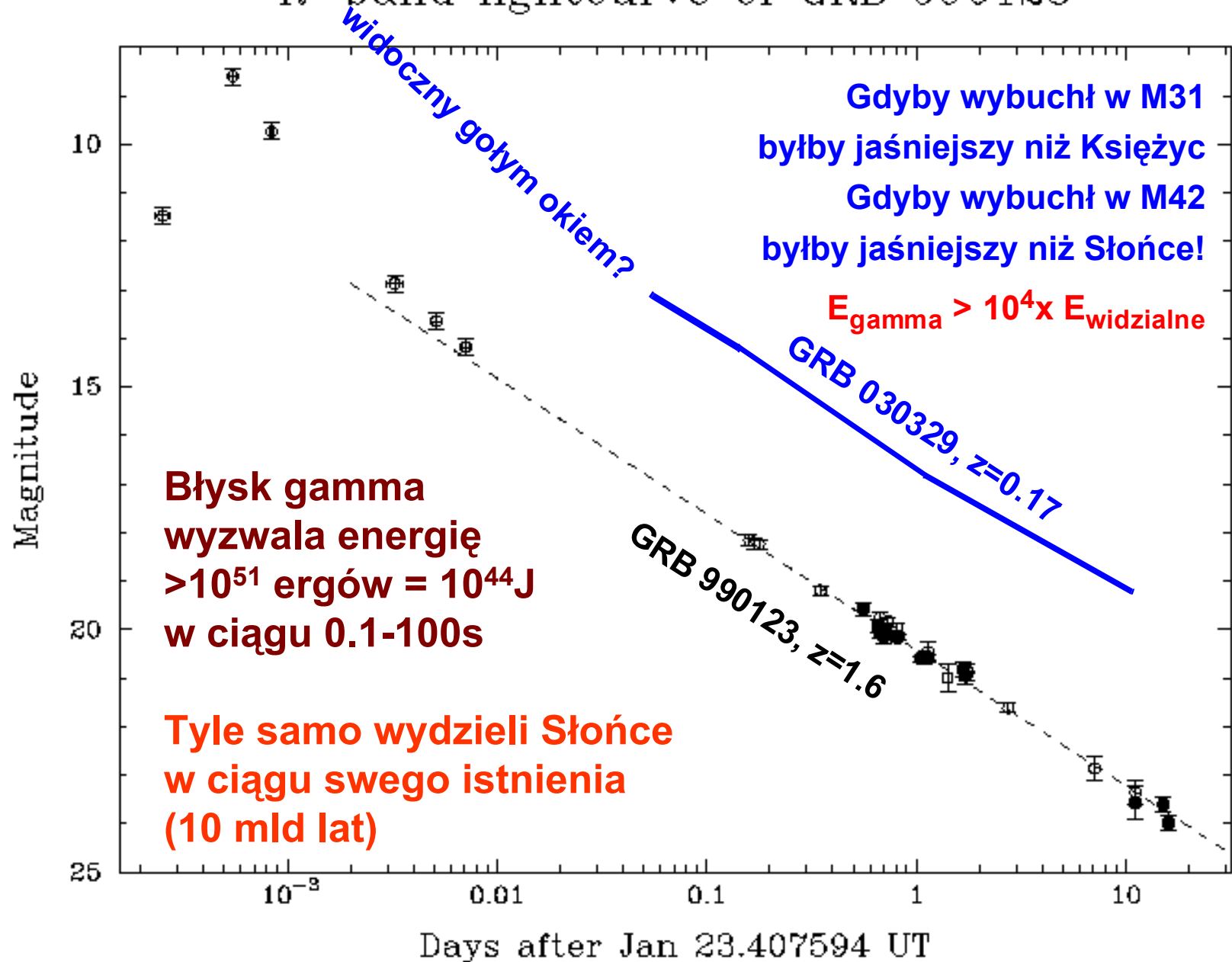


Obserwacja 1999.01.23
20 s po alercie BATSE

Błysk optyczny 9^m !
widoczny przez lornetkę

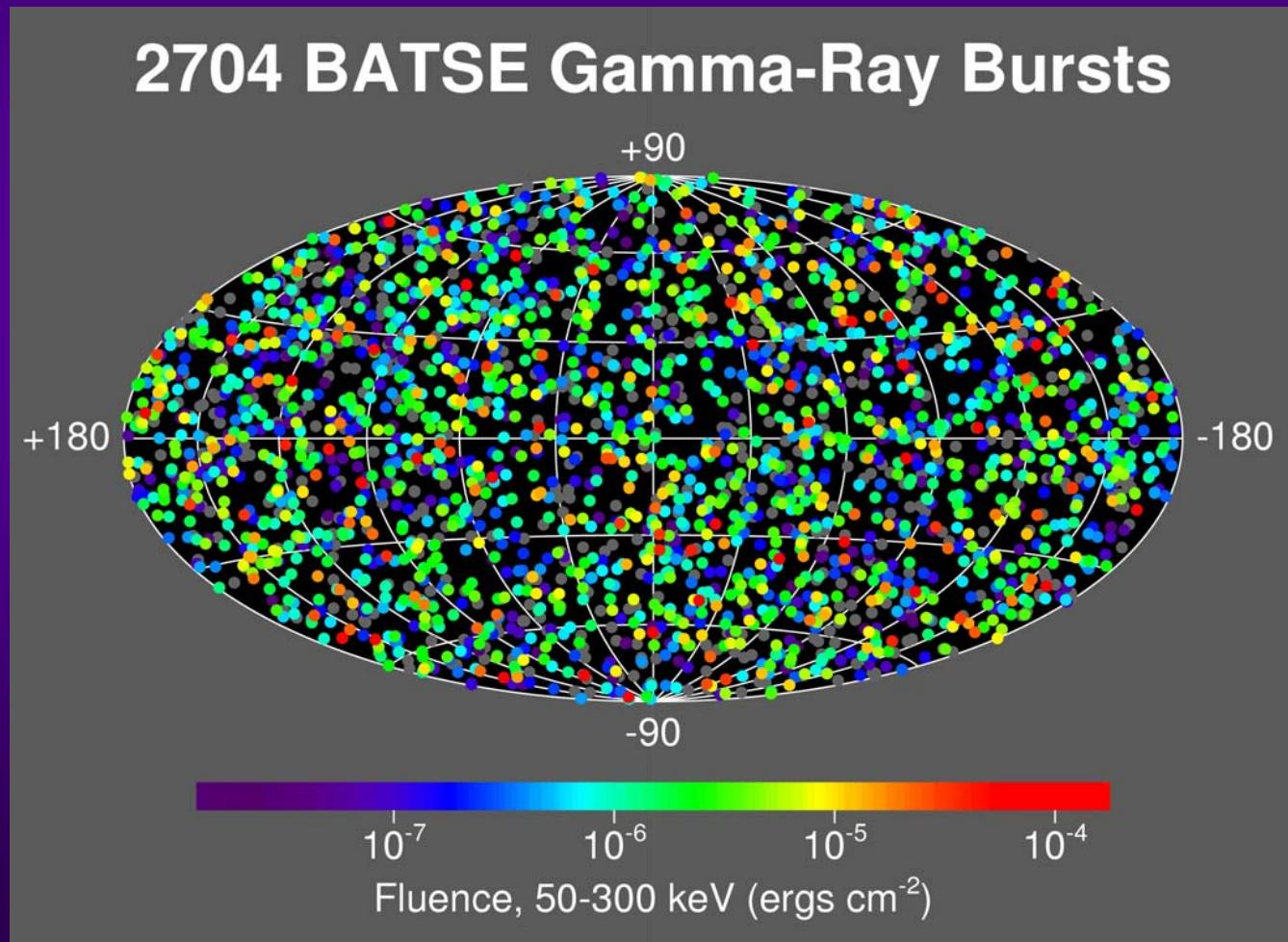
Nigdy potem nie udało
się tego powtórzyć ☹

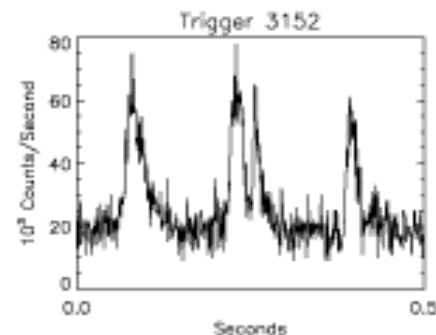
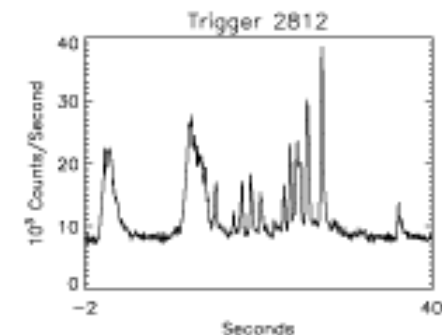
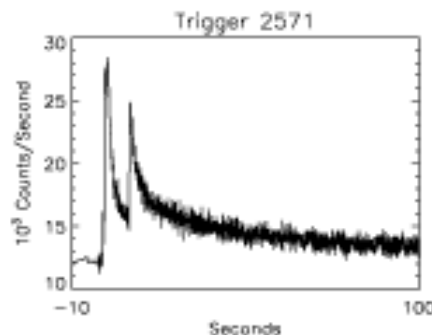
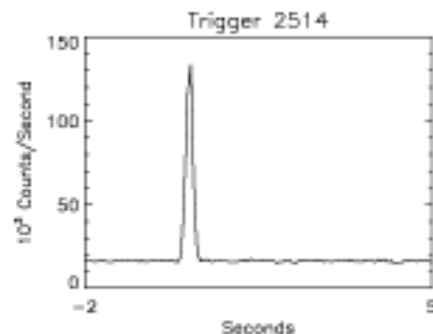
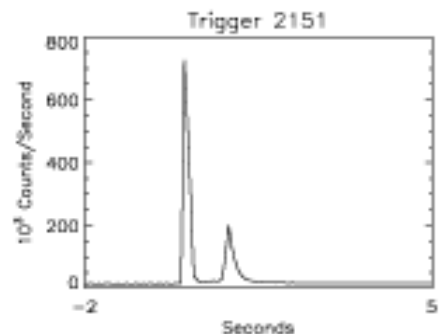
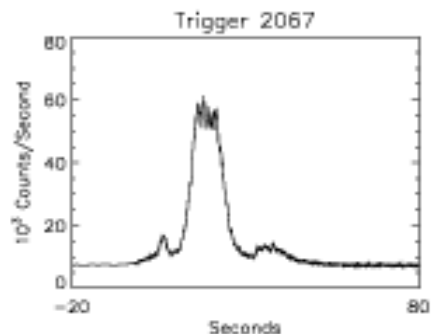
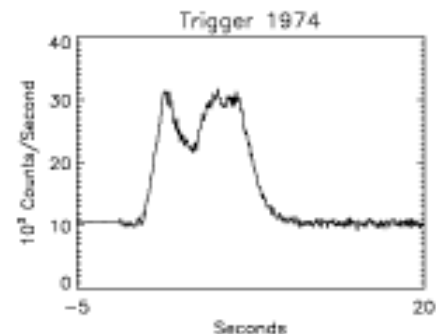
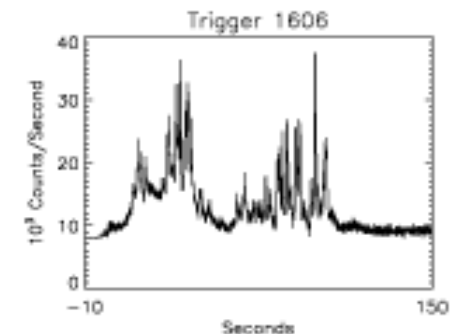
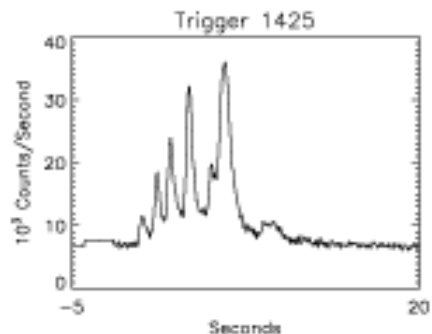
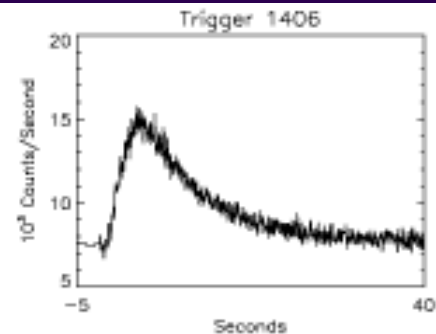
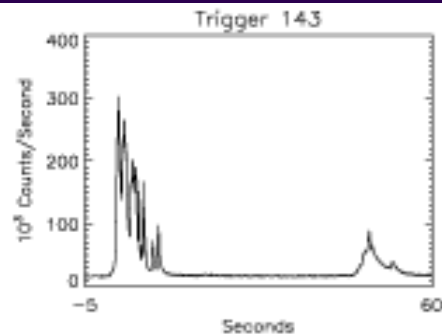
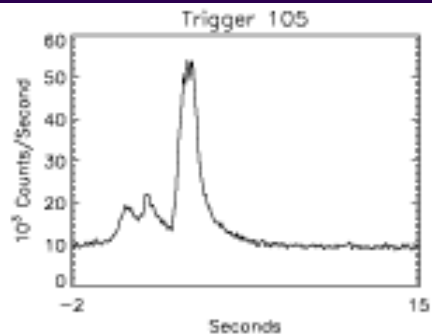
R-band lightcurve of GRB 990123



Krajobraz po BATSE

2000 – z powodów politycznych NASA zdecydowała spalić satelitę pomimo nienagannej pracy aparatury i protestów naukowców ☹

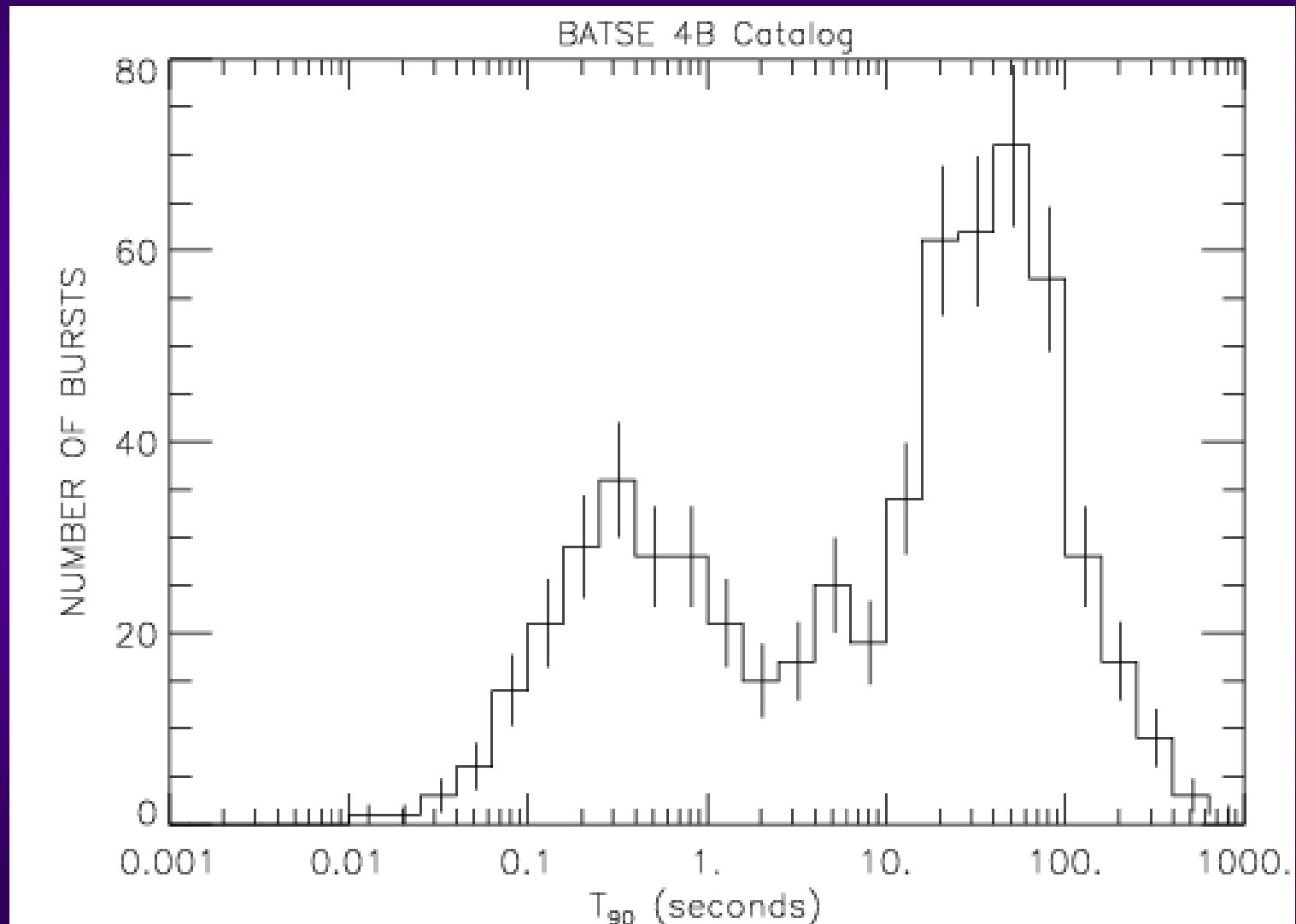




**Jeśli
widziałeś
jeden
GRB ...**

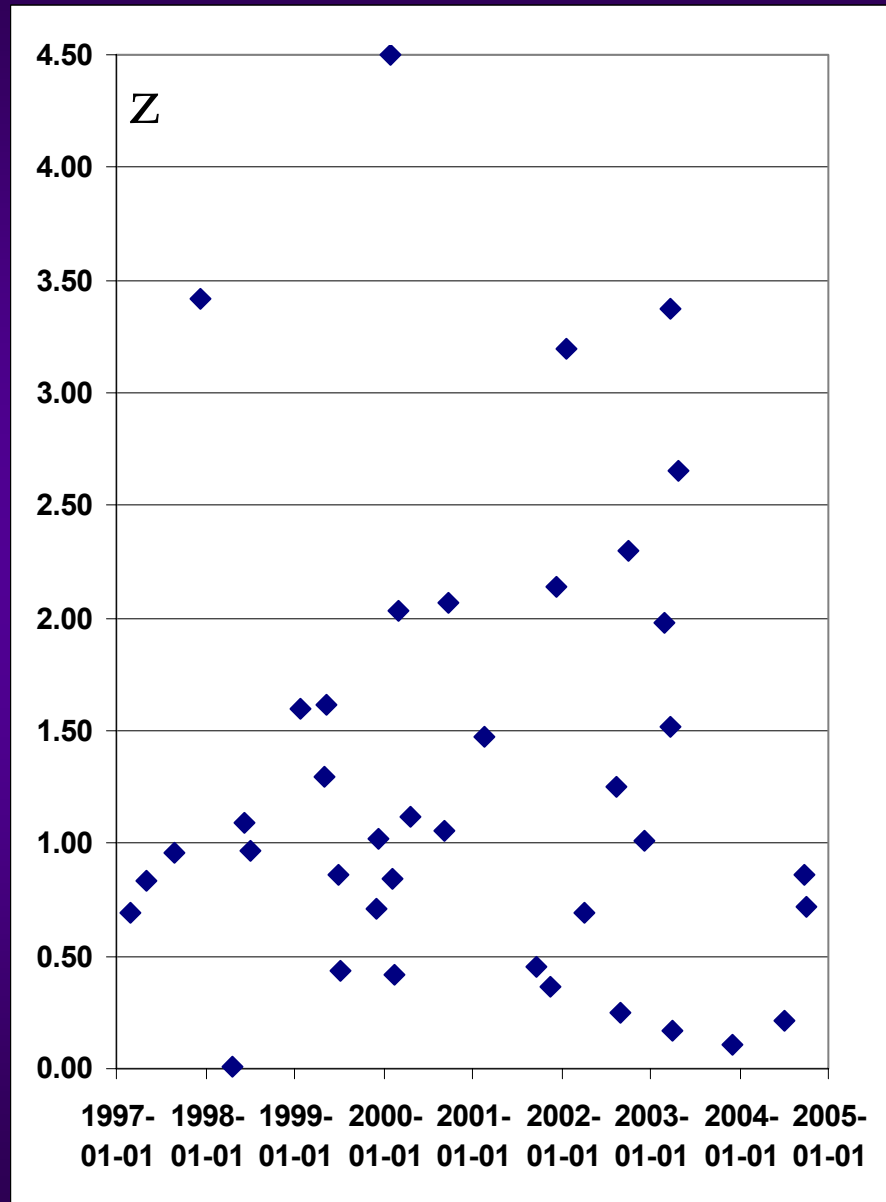
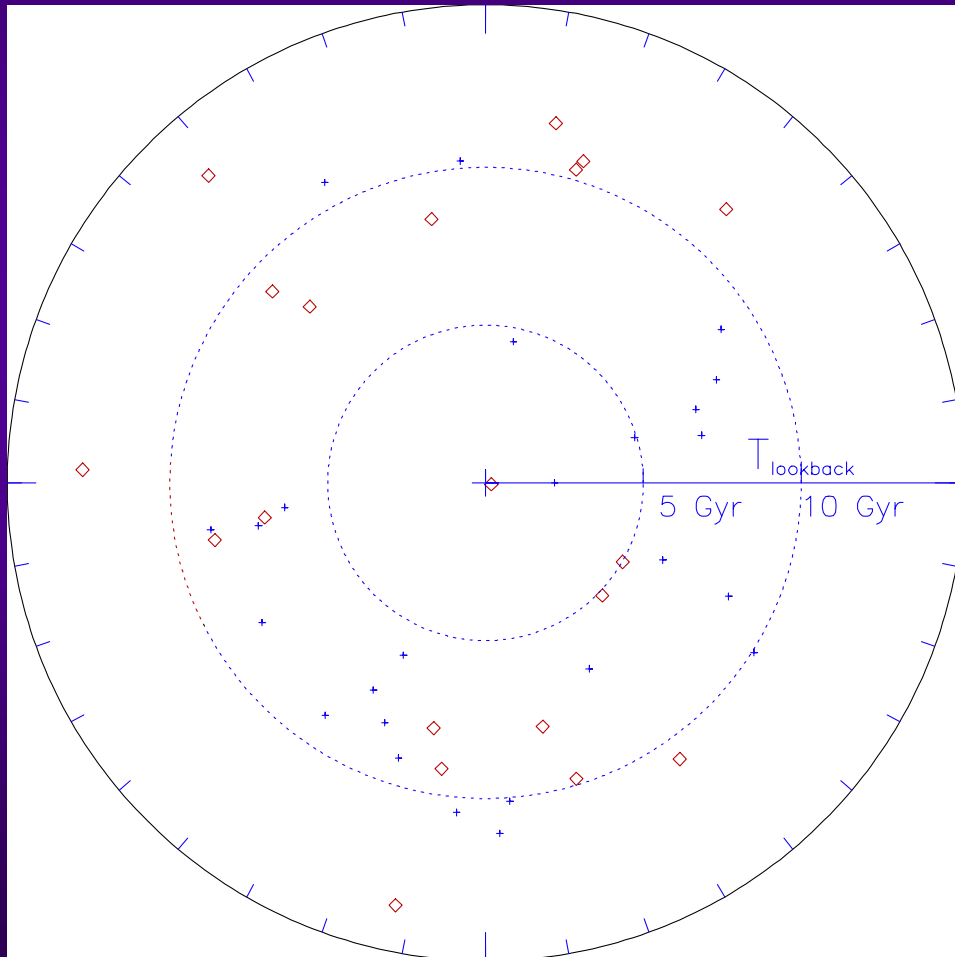
**widziałeś
jeden
GRB. 😊**

Błyski „krótkie” i „długie”



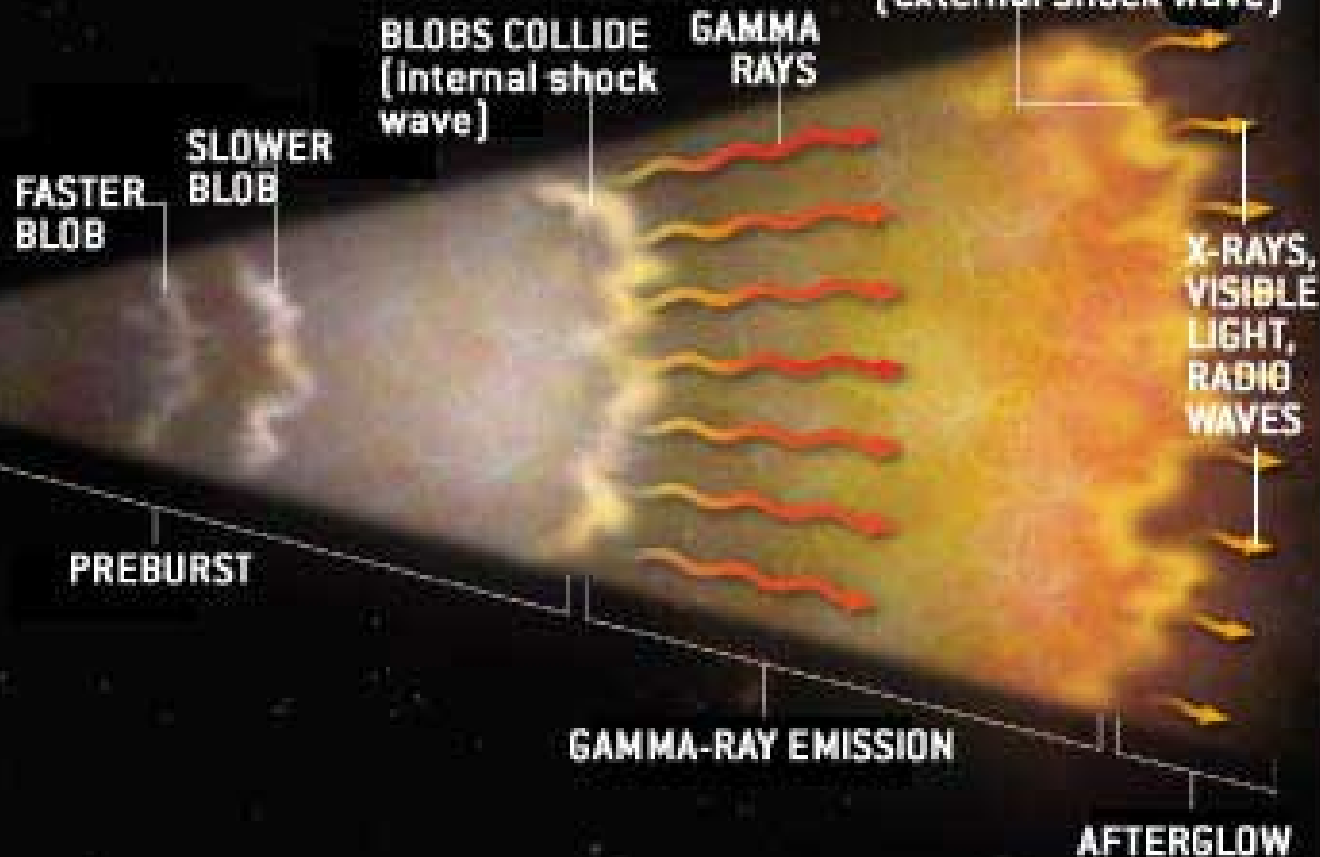
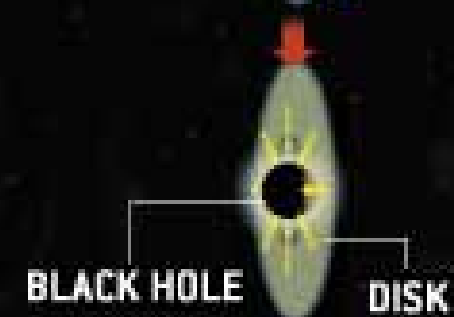
Odległości

najdalszy – 13 mld l. św.



MERGER SCENARIO

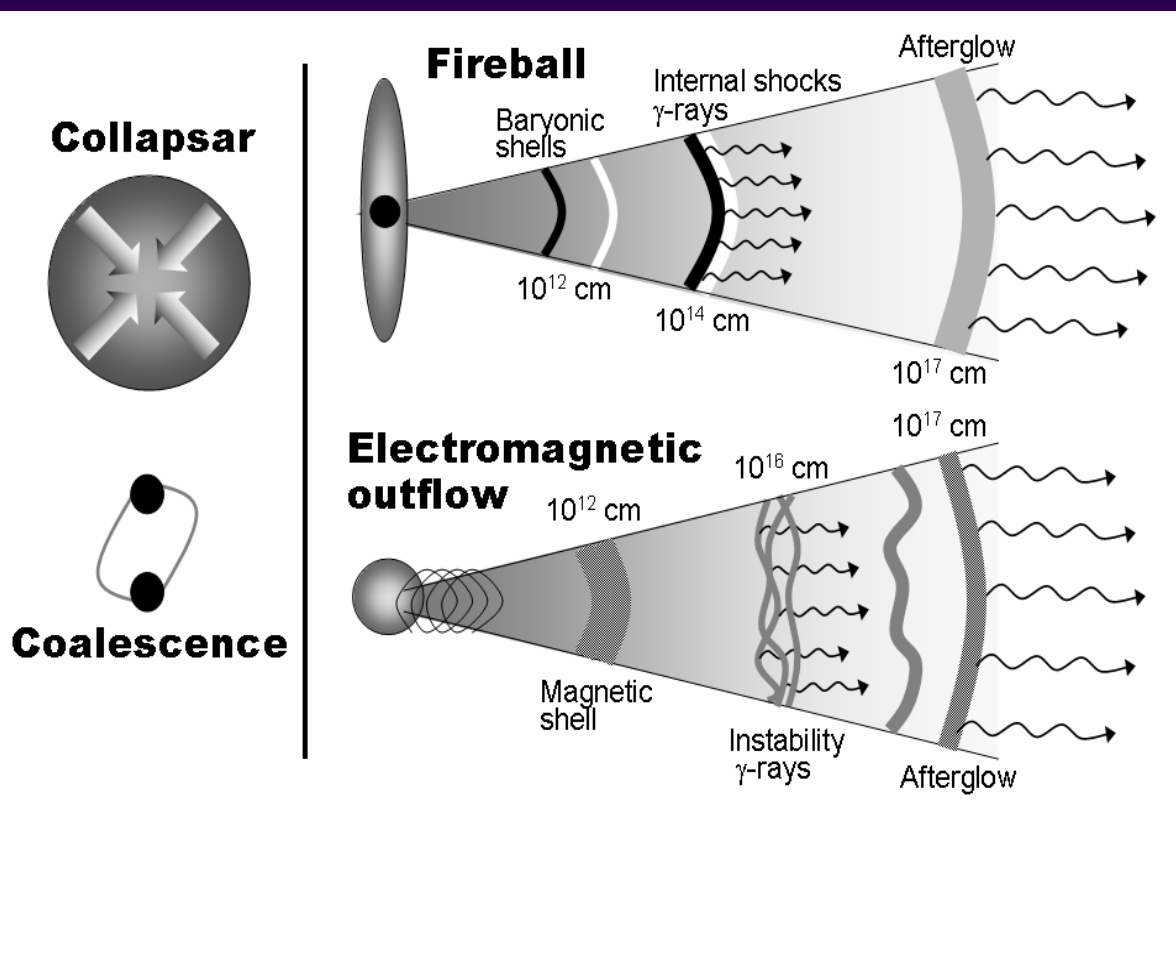
FORMATION OF A GAMMA-RAY BURST could begin either with the merger of two neutron stars or with the collapse of a massive star. Both these events create a black hole with a disk of material around it. The hole-disk system, in turn, pumps out a jet of material at close to the speed of light. Shock waves within this material give off radiation.



Central engines

Collapsar (hypernova)
big, rotating star
collapsing to
neutron star and/or
black hole
(long bursts?)

Coalescence (merger)
of two neutron stars
or NS and BH
(short bursts?)



Engine $\rightarrow$ energy transport $\rightarrow$ conversion to γ -rays $\rightarrow$ afterglow

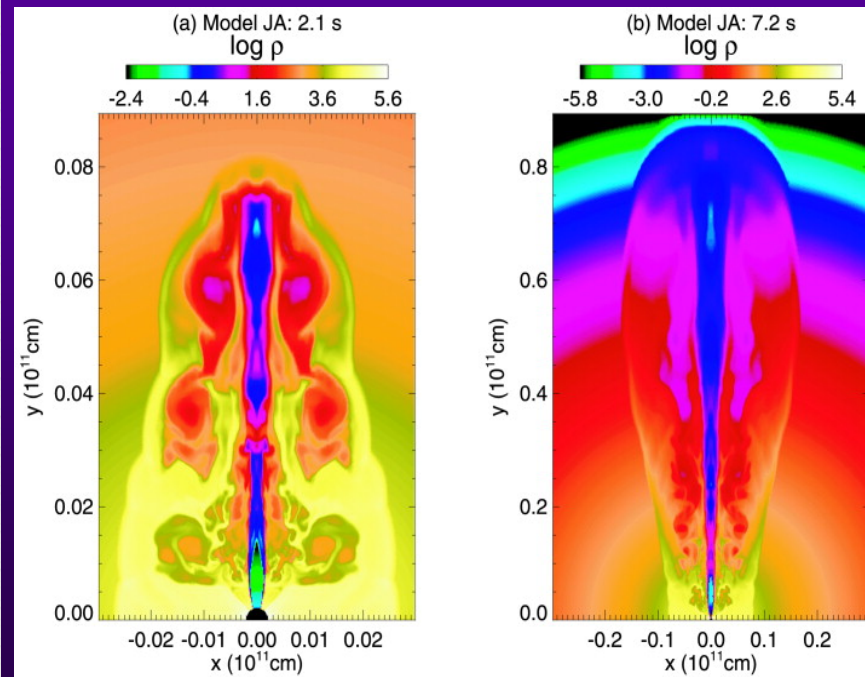
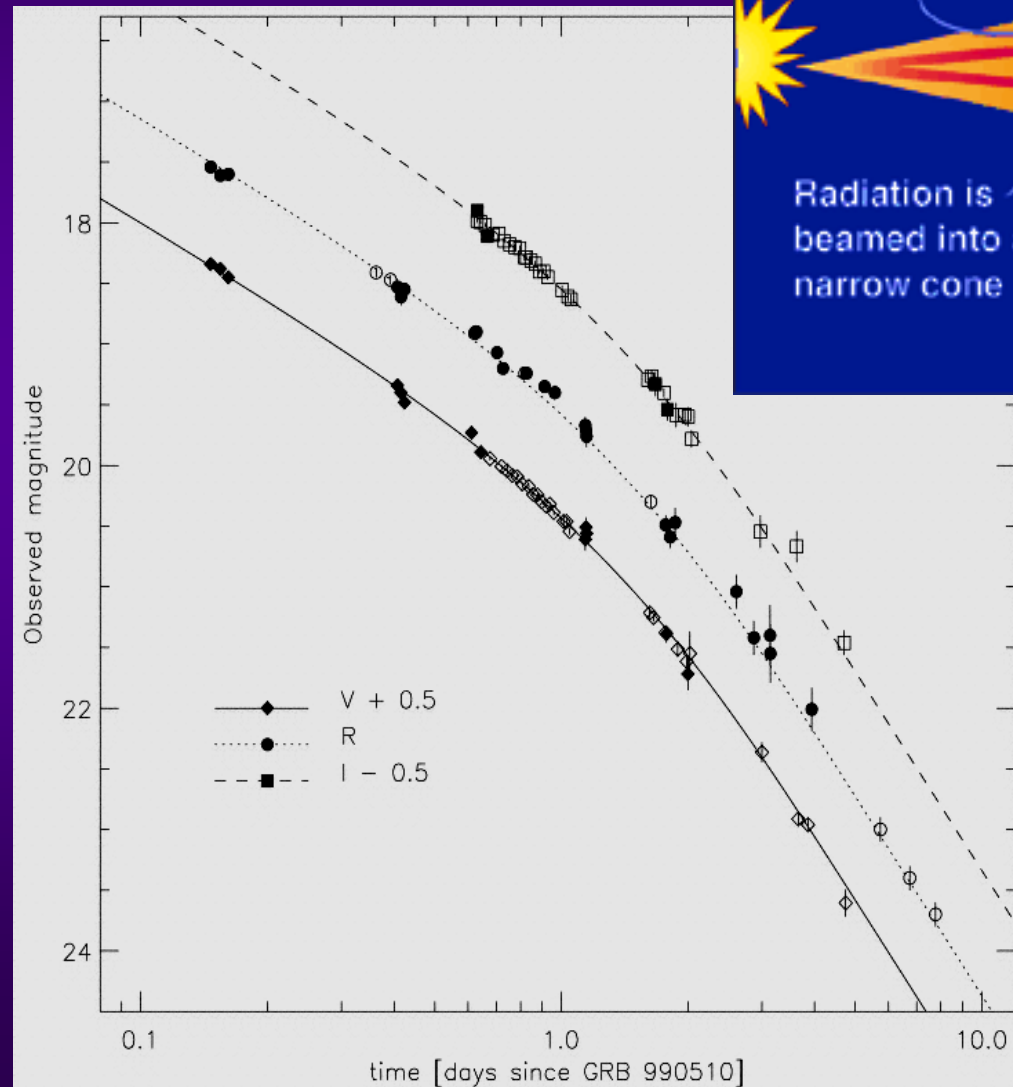
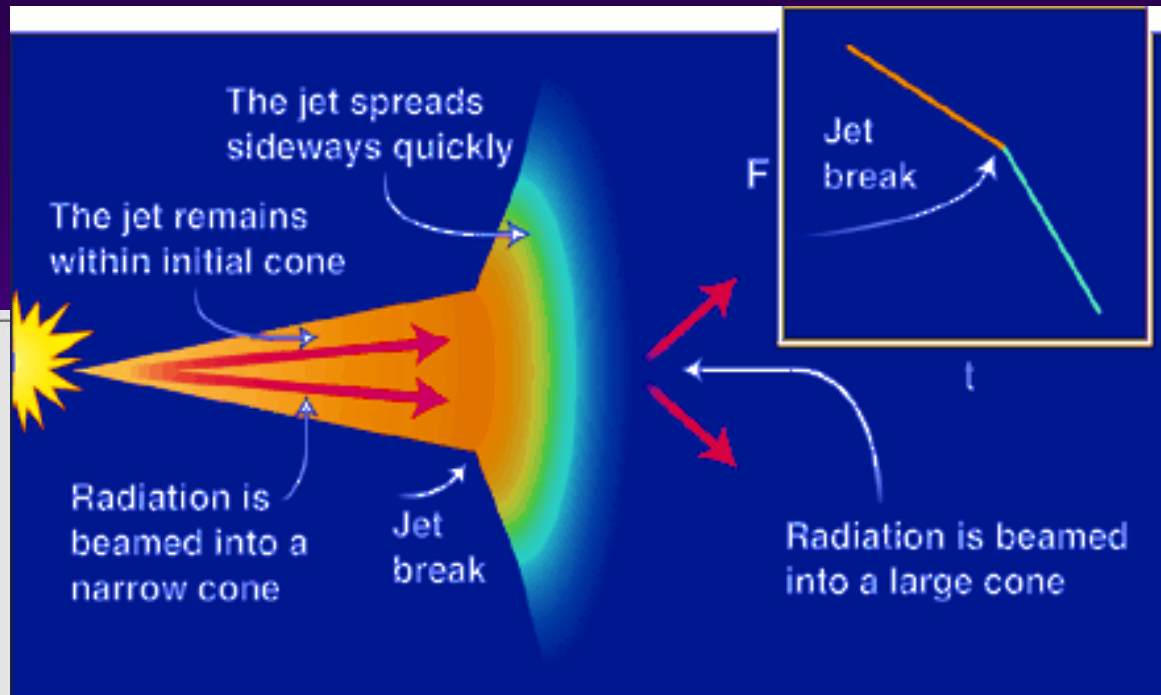
↓
Collapsar
Coalescence

↓
Baryonic
Magnetic

↓
Internal Shocks
Magnetic instability

↓
External Shock

Dżety



Satelite HETE

1996.11.04

Wystrzelenie HETE
pozostał uwięziony
w korpusie rakiety



2000.10.09

Wystrzelenie HETE-2
pole widzenia $50^{\circ} \times 50^{\circ}$

Wystrzelony 2004.11

Trzy instrumenty:

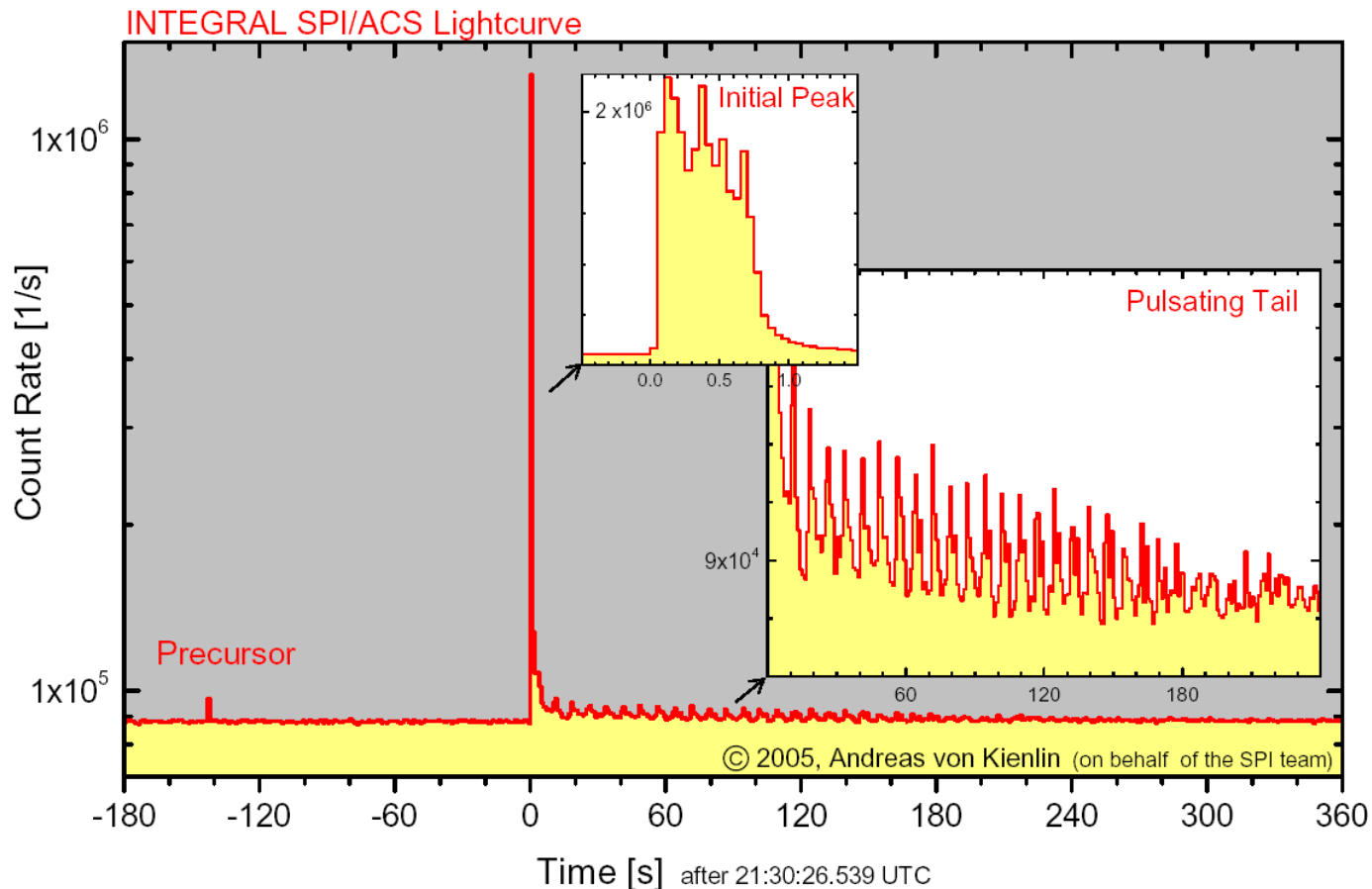
- **BAT** - detektor γ : 2 steradiany
- **XRT** - detektor X: rozdzielczość 4'
- **UVOT** – ruchomy teleskop optyczny (+ultrafiolet)



Swift

Soft Gamma Repeater 1806-20

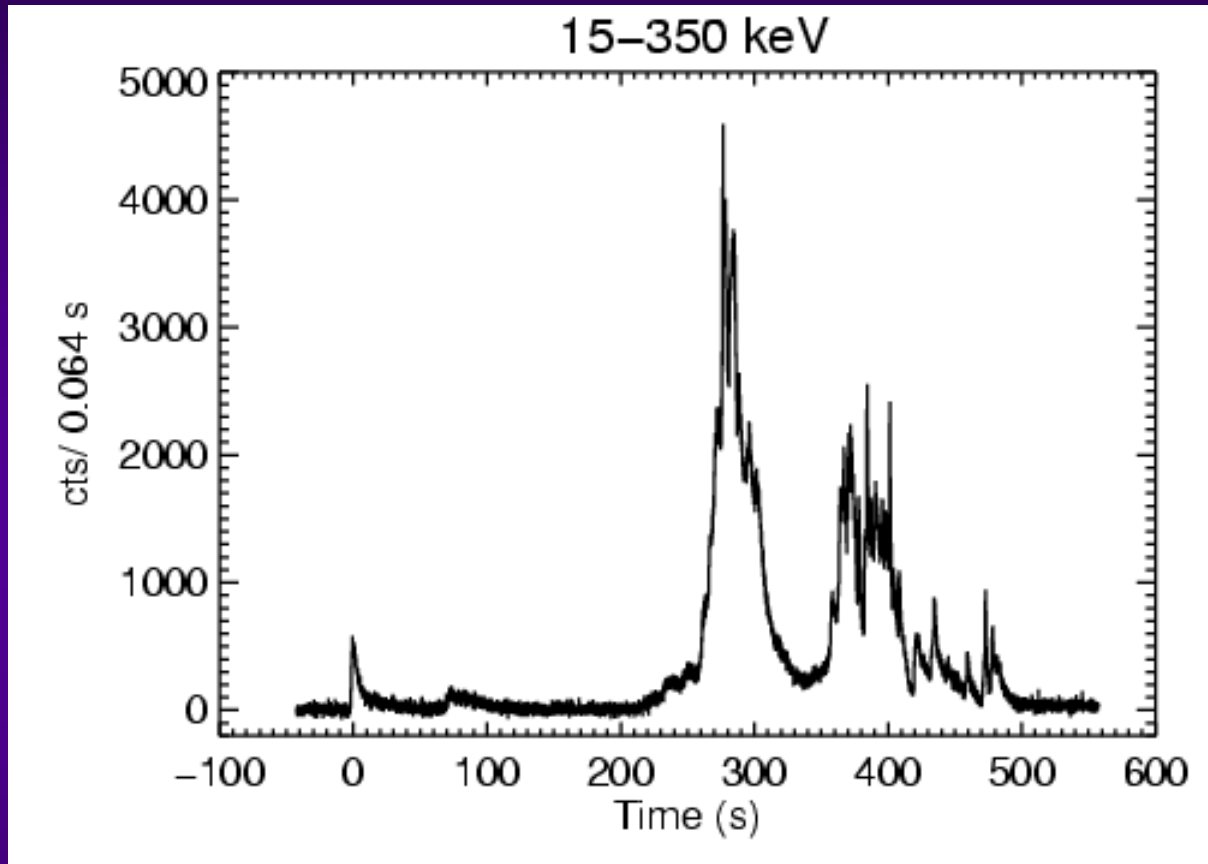
SGR 1806-20 Outburst on December 27, 2004



Gigantyczny wybuch SGR 1806

Może krótkie GRB to superwybuchy odległych SGR?
(ich słabszych wybuchów nie rejestrujemy)

Swift GRB 2004.12.19



Prekursor widoczny także w GRB 2005.01.24

B.Paczyński i P.Haensel ([astro-ph/0502297](#))

interpretują prekursor jako kolaps do gwiazdy neutronowej
a główny błysk jako utworzenie gwiazdy kwarkowej

Co dalej?

Konieczność obserwacji optycznych w czasie i przed GRB
Dotychczasowe metody mało skuteczne (1 błysk ROTSE)

Zbyt długi czas reakcji

- wypracowanie trygera
- transmisja na Ziemię
- obrót teleskopu

Nowe podejście: wykorzystanie metod fizyki cząstek

projekt „ π of the Sky”:

- jednoczesna obserwacja całego nieba
- duży strumień danych
- analiza w czasie rzeczywistym
- wielostopniowy tryger

Zespół „ π of the Sky”

Instytut Problemów Jądrowych

- ◆ dr M.Górski, mgr inż. J.Mrowca-Ciułacz, dr K.Nawrocki, mgr M.Sokołowski, dr hab. G.Wrochna
(niektóre detale do prototypu wykonał warsztat P6)

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN

- ◆ dr hab. L.Mankiewicz

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW

- ◆ dr M.Ćwiok, inż. H.Czyrkowski, inż. R.Dąbrowski, dr hab. W.Dominik, L.W.Piotrowski

Obserwatorium Astronomiczne UW

- ◆ mgr B.Pilecki, mgr D.Szczygieł

Instytut Systemów Elektronicznych PW

- ◆ dr A.Burd, mgr M.Grajda, dr K.Poźniak, dr hab. R.Romaniuk, G.Kasprowicz, S.Stankiewicz

Uniwersytet Kard. Stefana Wyszyńskiego

- ◆ K.Krupska, K.Kwiecińska

We współpracy z

- ◆ prof. B.Paczyńskim, Princeton i dr. G.Pojmańskim, OA UW (ASAS)

Aparatura „ π of the Sky”



Brwinów

- 2 kamery CCD 2000×2000 pikseli
- obiektywy Zeiss $f=50\text{mm}$, $d=f/1.4$
- wspólne pole widzenia $33^\circ \times 33^\circ$

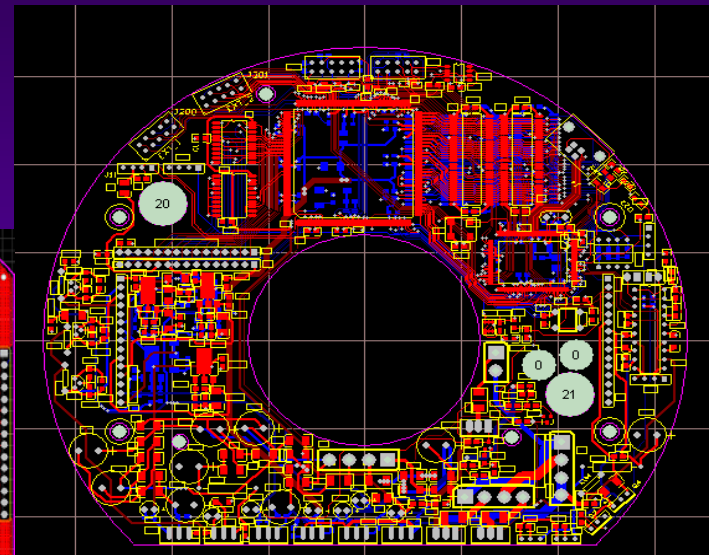
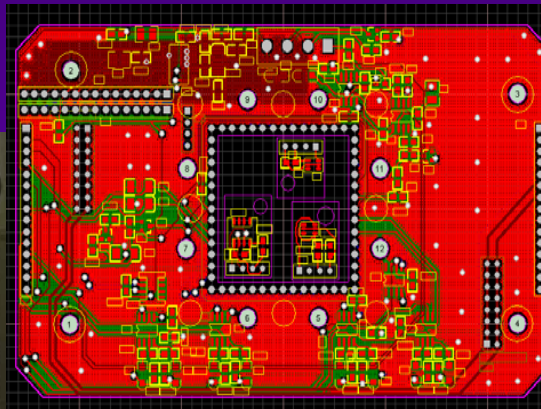
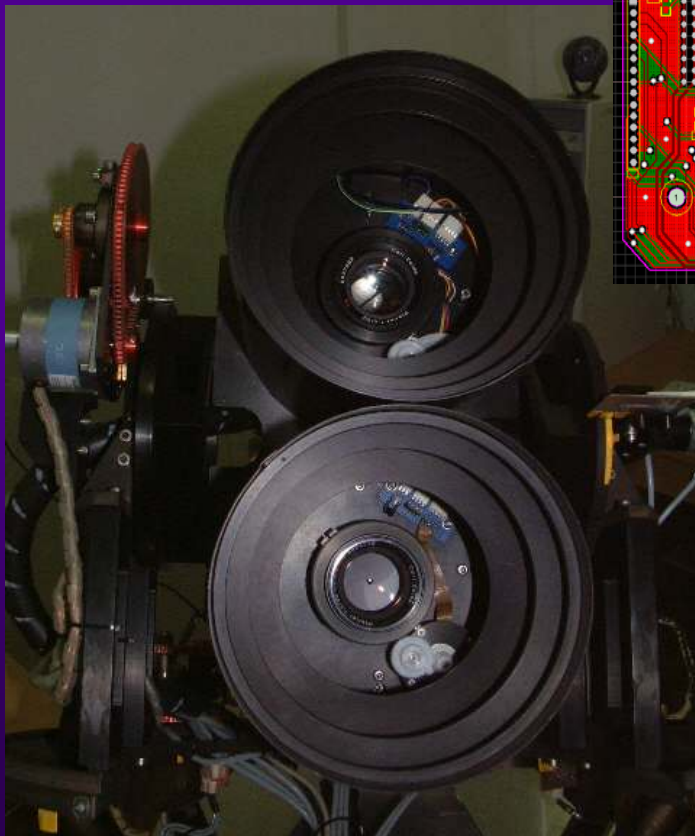
Las Campanas Observatory, Chile



- montaż paralaktyczny
- 5 kroków / arcsec
- < 1 min w dowolny punkt nieba

Kamery „ π of the Sky”

- efektywność kwantowa $\sim 30\%$
- szum odczytu $\sim 15 e^-$
- ADC 16 bit $\times 2$ MHz $\Rightarrow 2$ s / klatkę
- USB 2.0



- programowalna elektronika (FPGA)
- procesor Cypress, 16 MB RAM
- czujniki temperatury i wilgotności
- CCD w atmosferze argonu, chłodzone 35° poniżej otoczenia
- migawka na 10^7 otwarć
- silnik do ogniskowania

„ π of the Sky”: detektor-robot

System pracuje autonomicznie według programu:

- śledzi pole widzenia satelity HETE
- samodzielnie wykrywa błyski optyczne
- wieczorem i rano skanuje całe niebo (2×20min)
- podąża za obiektami alertów satelitarnych

Wysoka niezawodność:

- 2 PC, remote-reset, Wake-on-LAN, Boot-from-LAN
- samodiagnostyka (e-mail i SMS do Polski)

W ciągu 8 miesięcy pracy:

- ~10 nocy przestoju z powodu awarii
+ ~20 nocy przestoju z powodu pogody
- > 200 nocy pracy, 800 000 zdjęć nieba,
10¹⁰ pomiarów fotometrycznych

Algorytmy rozpoznawania błysków

Rozwiązania inspirowane eksperymentami fizyki cząstek

- koincydencja 2 kamer
- wielostopniowy tryger

Pierwsza udana próba redukcji tła (kilka błysków / miesiąc)

J.I.Katz w książce “The Biggest Bangs” (Oxford Univ. Press 2002)

tak pisze o detektorze błysków ETC sprzężonym z teleskopem RMT:

“ETC found an enormous number, hundreds per night, of spurious flashes, mostly sunlight reflected by artificial Earth satellites, meteors, clouds scattering moonlight, or stars appearing from behind clouds. ...

It may be possible to find a needle in a handful of straw, but ETC was giving the RMT a whole haystack. As a result, the RMT never collected useful data.”

„ *π of the Sky*” zaobserwował 48 błysków o długości $< 10s$

Nie można wykluczyć, że to refleksy satelitarne

21.2.2004 w czasie testów w Polsce

zaobserwowano błysk $> 15s$

w miejscu galaktyki LEDA 11485



„ π of the Sky”: obserwacje GRB

41 GRB wykrytych przez satelity od 1.7.2004, z tego:

- 1 - aparatura wyłączona
- 8 - nieosiągalny (północna półkula)
- 21 - w ciągu dnia
- 10 - poza polem widzenia, dla trzech z nich limity
 - GRB 040916B, $>13^m$ dla $t > t_0 + 17\text{min}$ (publ. GCN 2725)
 - GRB 041217, $>11.5^m$ dla $t > t_0 + 30\text{min}$ (publ. GCN 2862)
 - GRB 050123, $>12^m$ dla $t < t_0 - 1.8\text{h}$ (publ. GCN 2970)
- 1 - w polu widzenia
 - GRB 040825A (publikacja GCN 2677)
 - $>10^m$ dla $t < t_0 - 11\text{s}$
 - $>12^m$ dla $t = t_0$
 - $>9.5^m$ dla $t > t_0 + 7\text{s}$

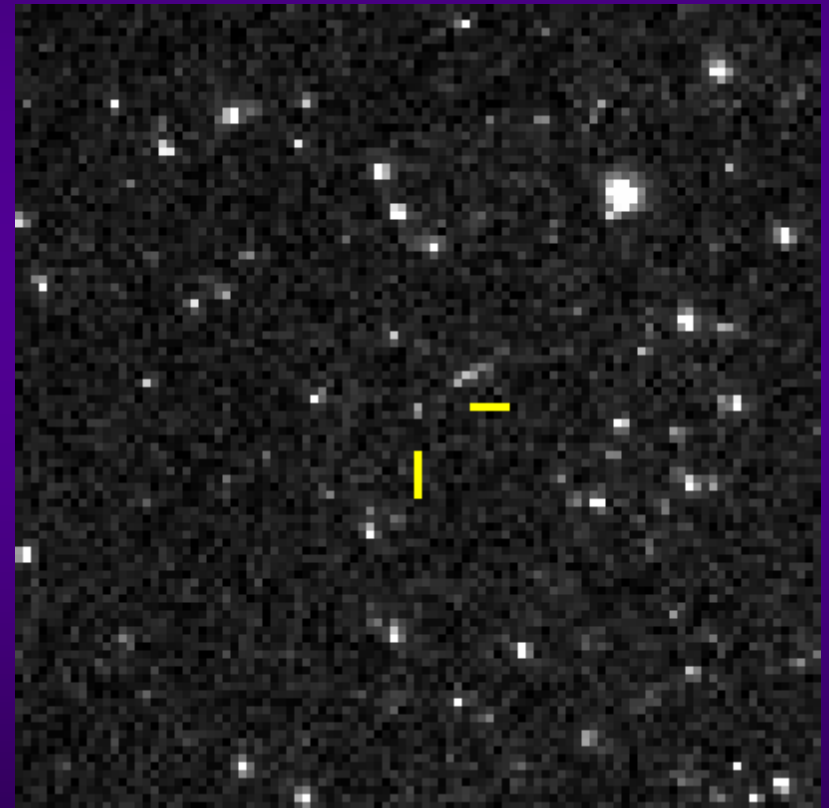
← pierwszy limit przed i w czasie trwania GRB

Opublikowano w GCN limity lepsze od innych eksperymentów

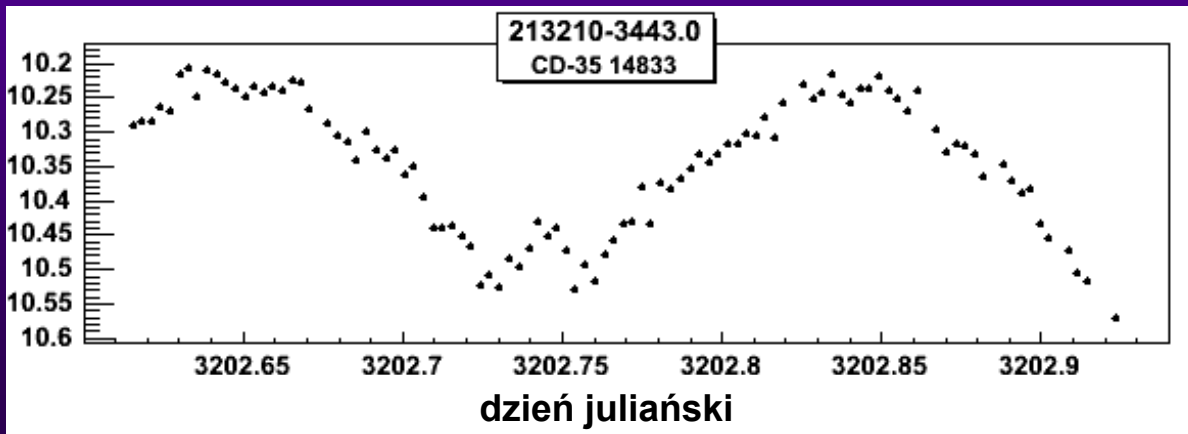
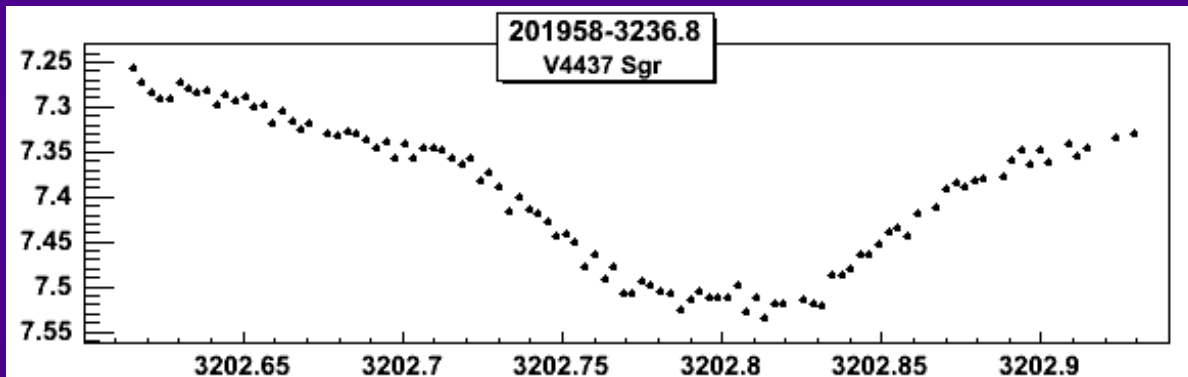
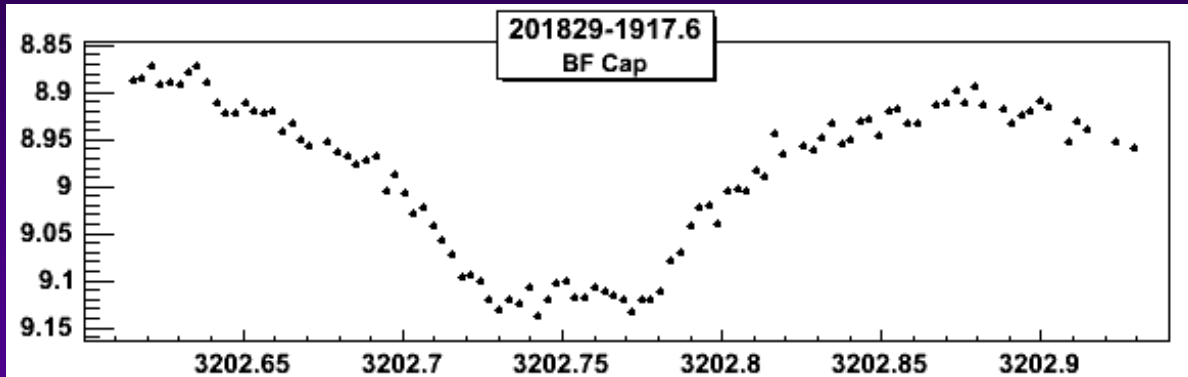
Obserwacje gwiazd kataklizmicznych

Obserwacja nowej karłowatej ASAS 002511+1217.2
przed odkryciem przez ASAS

Data	UT	Aparatura	Jasność
06.9	8:43	ASAS	-
10.9	9:02	<i>π of the Sky</i>	11.0 m
11.9	4:44	ASAS	10.4 m
11.9	8:33	<i>π of the Sky</i>	10.7 m
15.9	7:01	ASAS	11.1 m
15.9	ogłoszenie odkrycia przez ASAS		
16.9	8:43	ASAS	11.1 m
16.9	9:01-9:39	<i>π of the Sky</i>	11.6 m
19.9	2:38-8:29	<i>π of the Sky</i>	11.5 m



Obserwacje gwiazd okresowych



Przykład krzywych blasku z jednej nocy:

BF Cap i V4437 Sgr
to znane zmienne zaćmieniowe typu β Lyrae

Odkrycie
zmienności
gwiazdy
CD-35 14833
 $\Rightarrow$ okres $\sim 9h$

„ π of the Sky”: obserwacje meteorów

Wybuch bolidu zarejestrowany 2.12.2004



Perspektywy „ π of the Sky”

Budujemy 2 kamery dla ASAS + 2 dla „ π of the Sky”

Przystępujemy do budowy systemu 2×16 kamer
pokrywających całe niebo ($>\pi$)

Włączamy się do projektu obserwacji na Grenlandii
i Antarktydzie w Międzynarodowym Roku Polarnym 2007

Przygotowujemy grant międzynarodowy
z Astrophysikalisches Institut Potsdam
na budowę $O(100)$ kamer o większym zasięgu

„Zrób to sam”



Obserwatorium cyfrowe za 500 zł

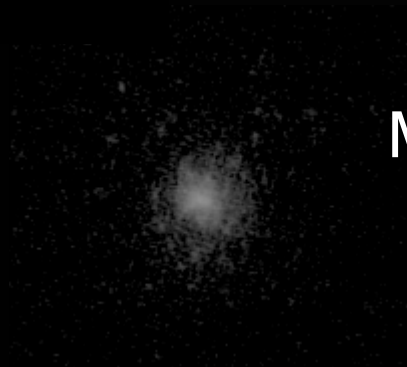
Kamera internetowa (webcam) z CCD

+ teleskop = fotografie planet

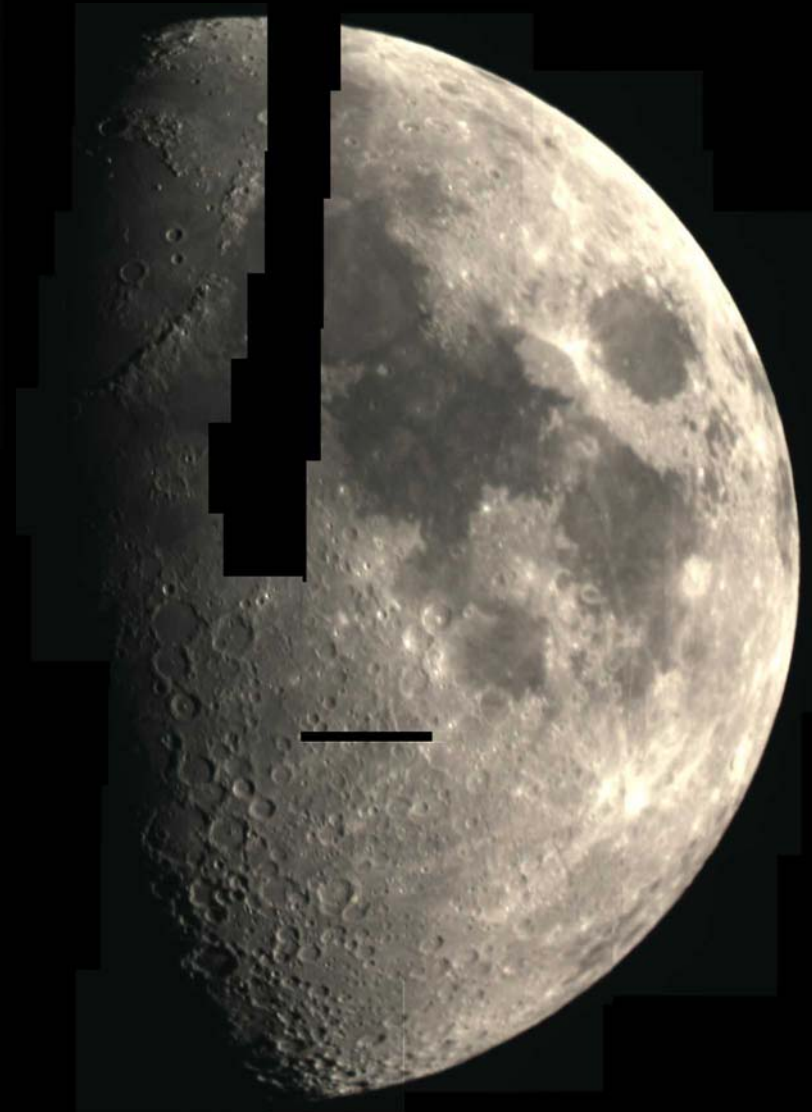
+ obiektyw „Zenit” = pomiary blasku gwiazd



Kamera internetowa + teleskop



M15



plamy na Słońcu

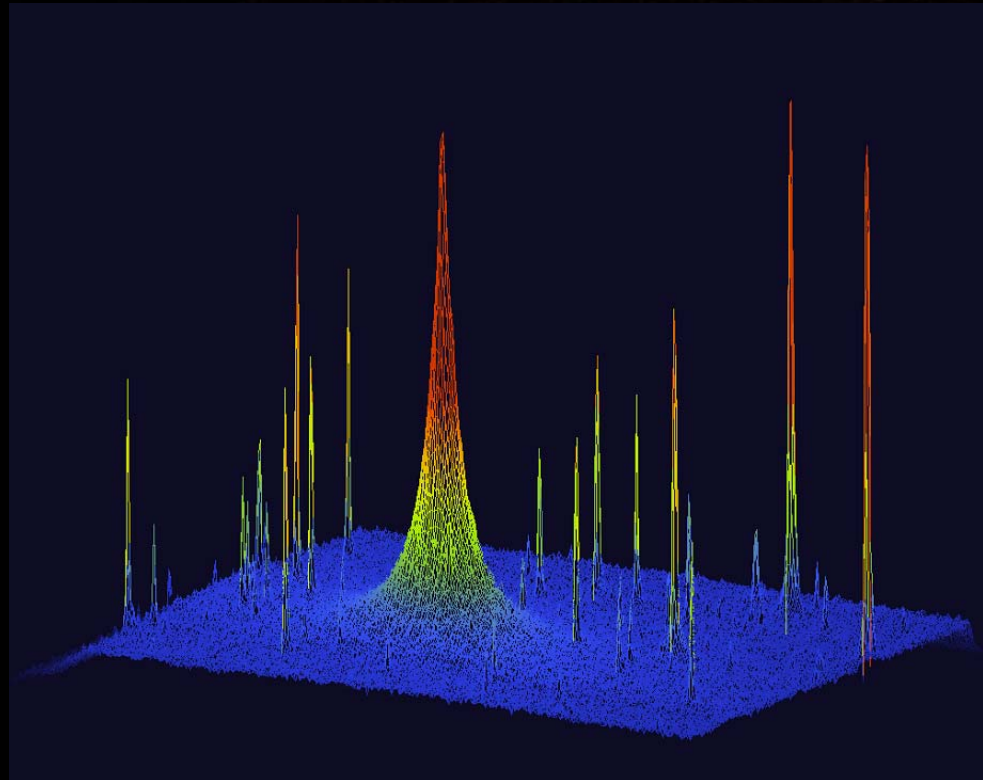
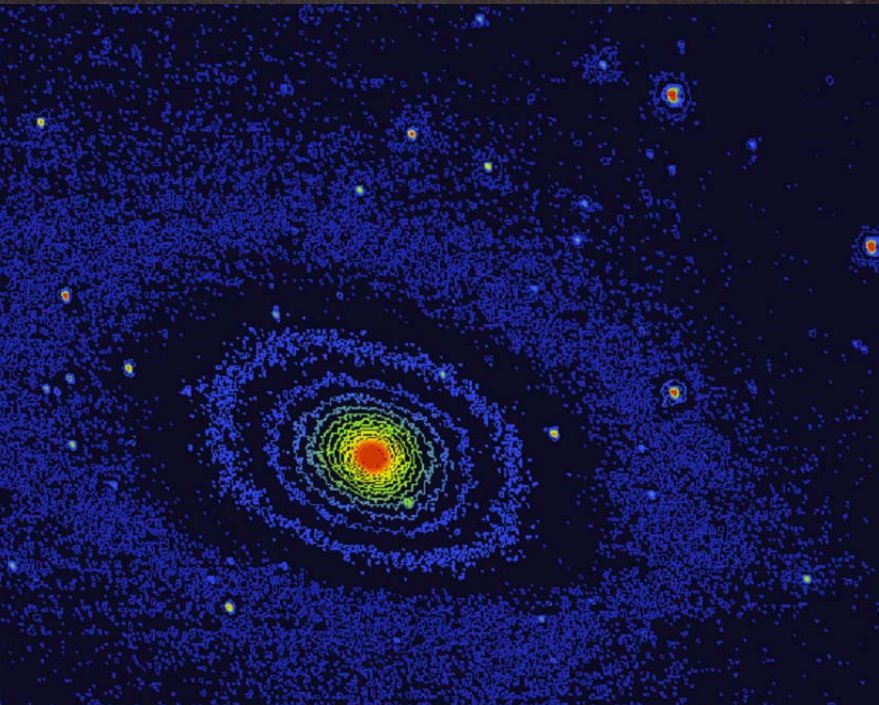
Kamera zmodyfikowana



M31



M57

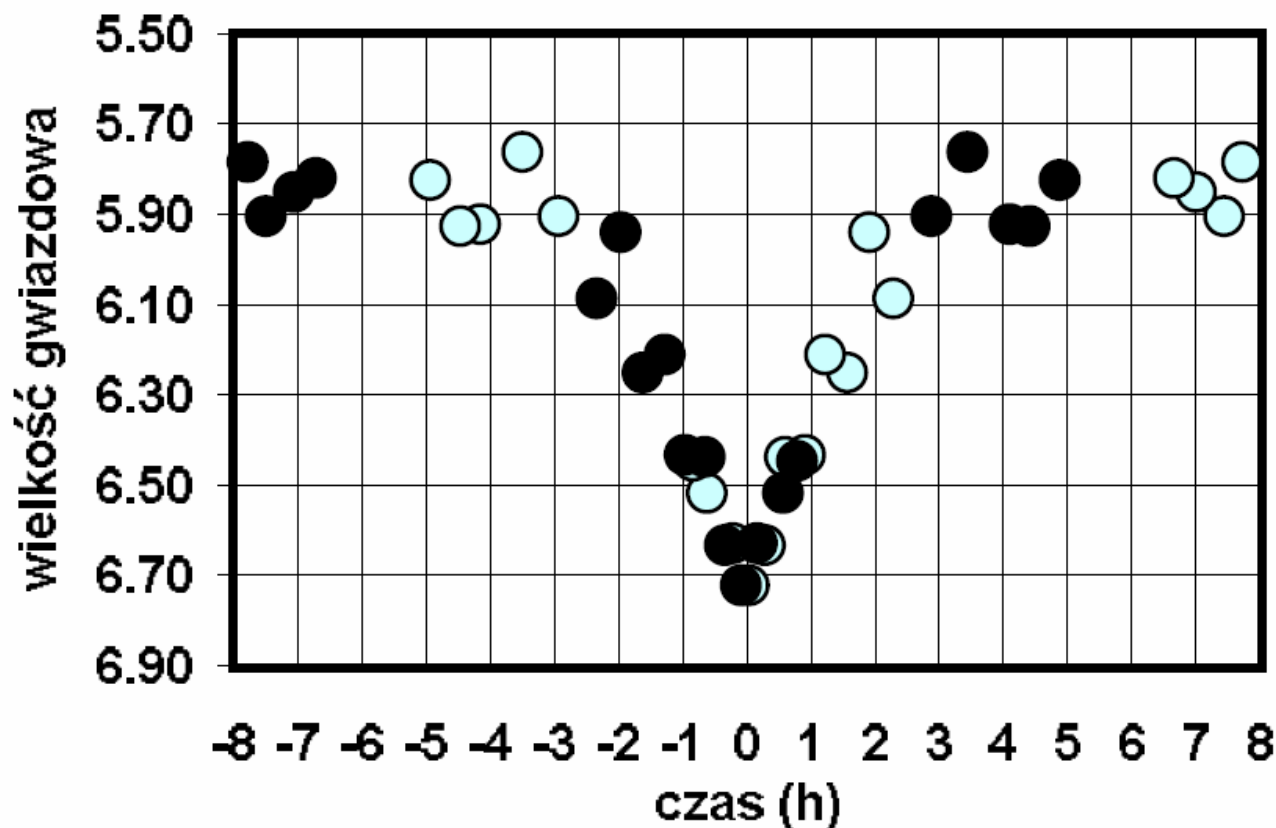


Kamera + obiektyw



Pomiar blasku gwiazd

U Wężownika



Dwie gwiazdy o podobnej wielkości i jasności okrążają się po ciasnej orbicie. Z Ziemi widać je jako jeden obiekt, którego blask okresowo spada o połowę.

Astronomia CCD – między hobby a nauką
ccd.astronet.pl

Teleskopy w edukacji
Telescopes in Education
tie.astronet.pl

Wszechświat własnymi rękami
Hands on Universe
hou.astronet.pl

π of the Sky
grb.fuw.edu.pl