

**Wczesna obserwacja najjaśniejszego
optycznie błysku gamma GRB080319b
wykonana przez detektor "Pi of the Sky"**

Marcin Sokołowski
Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana

Plan Seminarium

- Motywacja dla eksperymentu “Pi of the Sky”
- Błyski gamma
- Eksperyment “Pi of the Sky” (prototyp i pełna wersja)
- Pierwsze wyniki, przede wszystkim obserwacja **GRB080319b**
- Przyszłość

Motywacja

- obserwowanie szybkozmiennych zjawisk astrofizycznych o skalach czasowych ≥ 10 sec.
- błyski gamma, czyli **G**amma **R**ay **B**ursts (**GRB**)
- krótkie błyski optyczne pochodzenia astrofizycznego
- Wszelkie zjawiska którym towarzyszą rozbłyski optyczne, np :
wybuchy gwiazd nowych lub supernowych
- monitorowanie zmienności optycznej blazarów i AGN-ów
- badanie gwiazd zmiennych (**$\delta T \geq 10$ sec**)
- stworzenie złożonego eksperymentu w Polskich realiach, edukacja

Projekt realizowany przez :

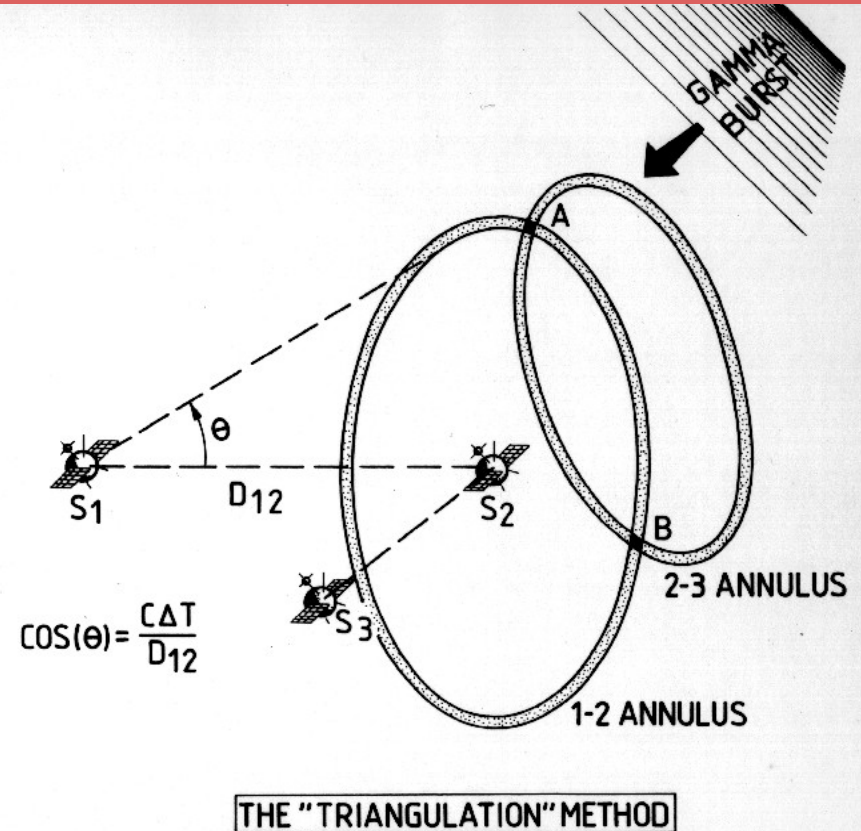
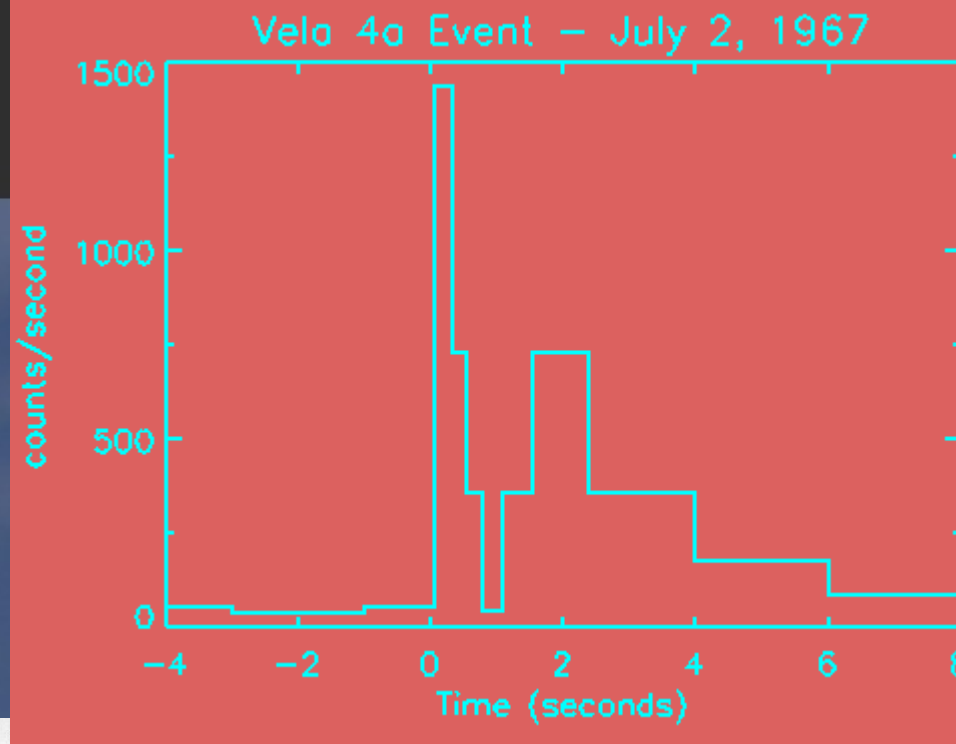
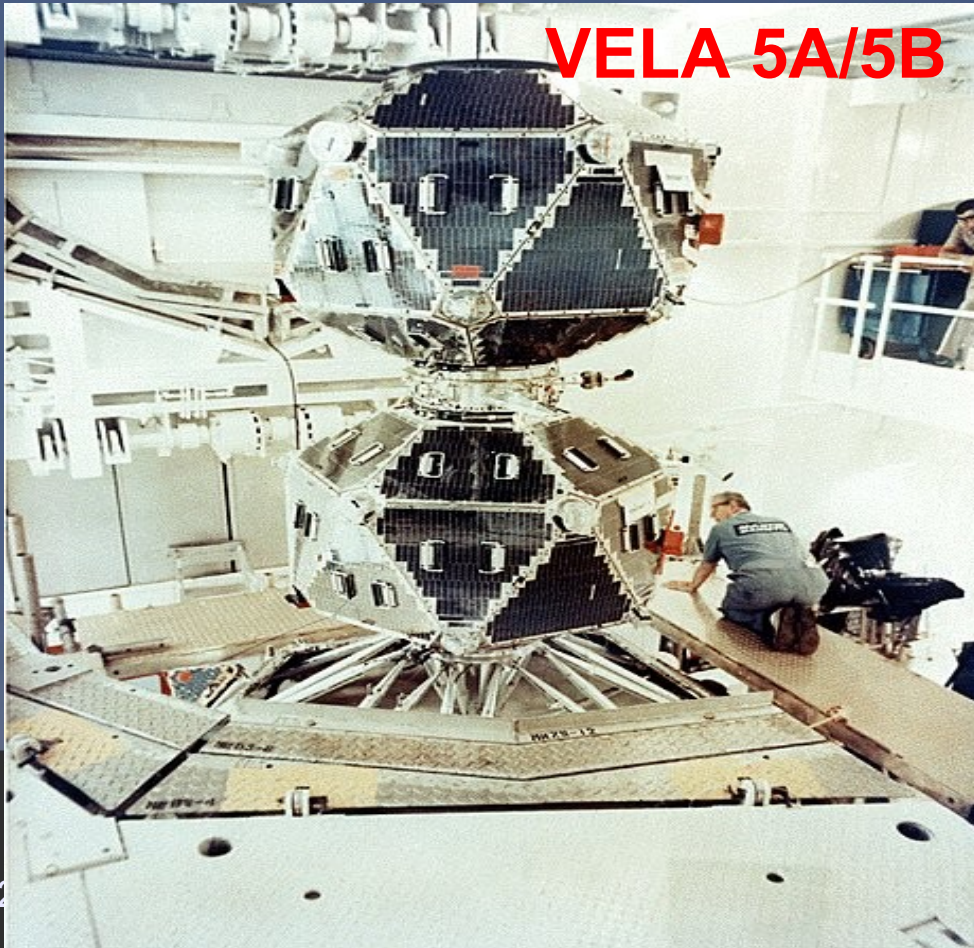
- Instytut Problemów Jądrowych, Warszawa i Świerk
- Centrum Fizyki Teoretycznej PAN, Warszawa
- Centrum Badań Kosmicznych PAN, Warszawa
- Instytut Fizyki Doświadczalnej UW
- Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki UW
- Instytut Systemów Elektronicznych PW
- Wydział Fizyki PW
- Akademia Pedagogiczna, Kraków
- Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa

Błyski gamma (ang. GRB)

- Krótkie impulsy (**0.1 - 100 s**) promieniowania gamma pochodzące z punktowych źródeł na niebie , odkryte w **1967** przez amerykańskie satelity szpiegowskie **VELA**
- Obserwacje w gammach możliwe tylko z satelitów spoza atmosfery Ziemi, informacja jest rozsyłana przez sieć **GCN**
- Rozkład izotropowy na niebie, częstość **2-3 dziennie** na całej sferze niebieskiej, około kilkanaście na miesiąc rejestrują satelity
- Pochodzą spoza Galaktyki, najbardziej energetyczne procesy we wszechświecie po poprawieniu na kolimacje emisji $E_{LONG} \sim 10^{51}$ erg (30 mld lat świecenia Słońca), $E_{SHORT} \sim 10^{49}$ erg
- Aktualne modele , długie błyski (> 2 s) to śmierć masywnej gwiazdy (**collapsar lub hypernova**) , krótkie błyski (< 2 s) zderzenie dwóch zwartych obiektów w układzie podwójnym (**merger**)
- W około połowie przypadków obserwuje się optyczne odpowiedniki

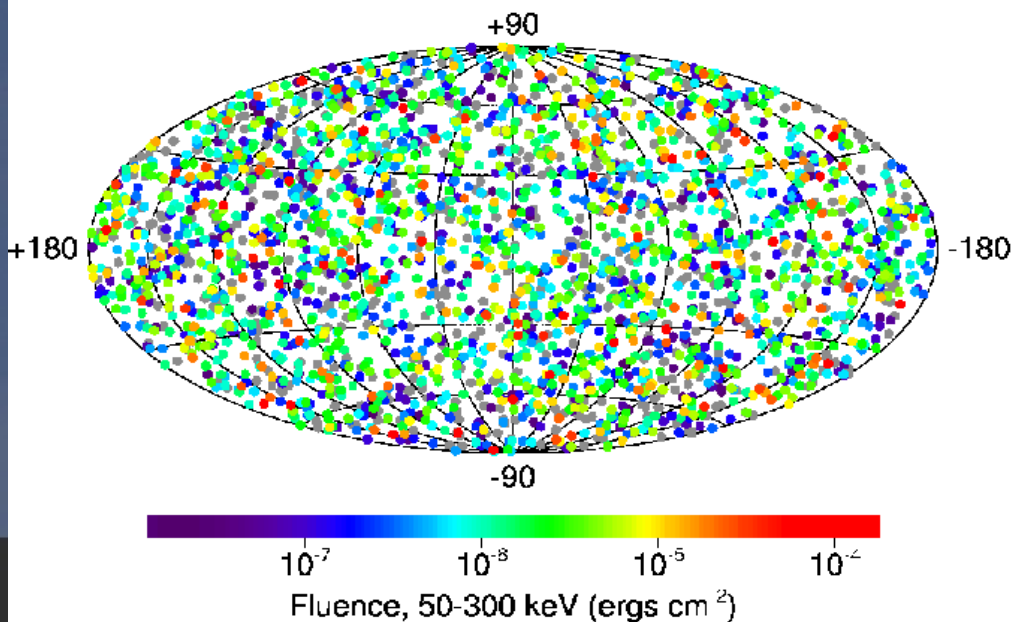
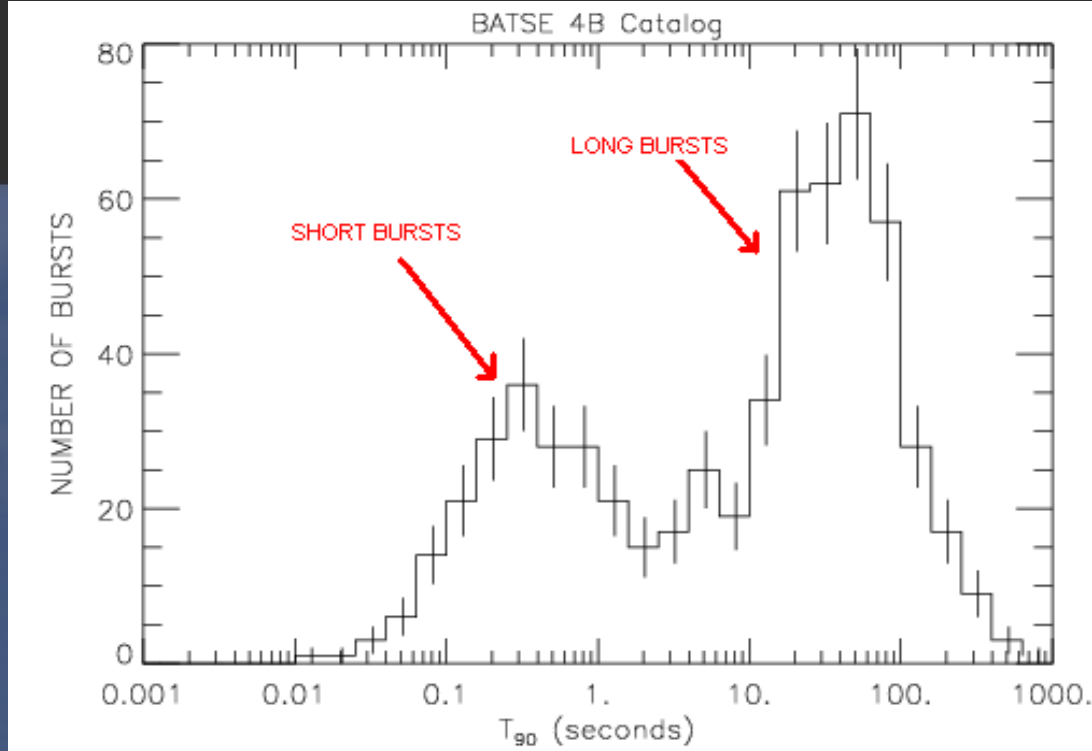
Gamma Ray Bursts (GRB) – trudne początki

- Wyznaczanie pozycji tylko na podstawie czasu rejestracji przez kilka satelitów na orbicie (triangulacja)



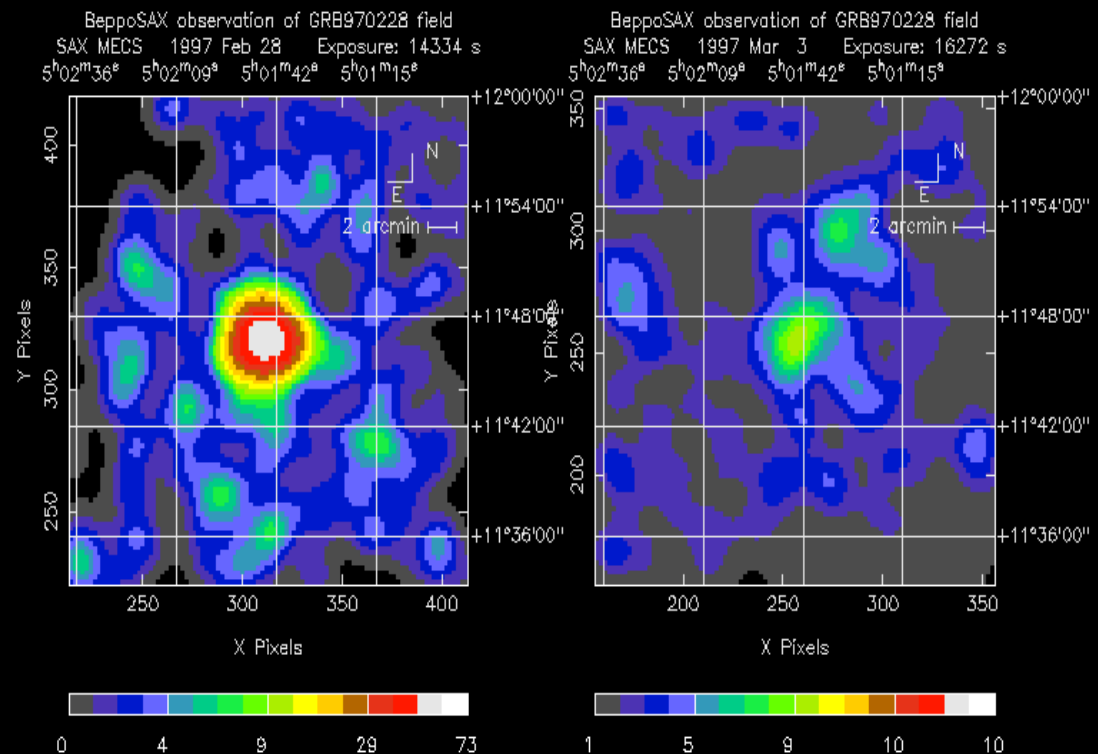
BATSE detektor na pokładzie CGRO

- Działał w latach 1991-2000
- Dwa rodzaje błysków :
 - krótkie $T_{90} < 2 \text{ sec}$
 - długie $T_{90} > 2 \text{ sec}$
- Rozkład izotropowy na niebie wskazywał na pozagalaktyczne pochodzenie
- To pociągało by za sobą gigantyczne energie, więc nie było łatwe do zaakceptowania



Satelita Beppo-SAX , Odpowiedniki X i optyczne

- Działał w latach 1996 – 2002
- Wide Field Camera (WFC)
pozwalala wyznaczać pozycje
odpowiednika w X z dokładnością
do 3 arcmin
- Obserwacja pierwszych
odpowiedników w X i
optycznych
- Wyznaczenie przesunięć ku
czerwieni **GRB970508**
($z = 0.835$), **GRB971214**
($z = 3.1418$)
- Pozagalaktycznie
pochođenje potwierdzone



X-ray counterpart grb970228

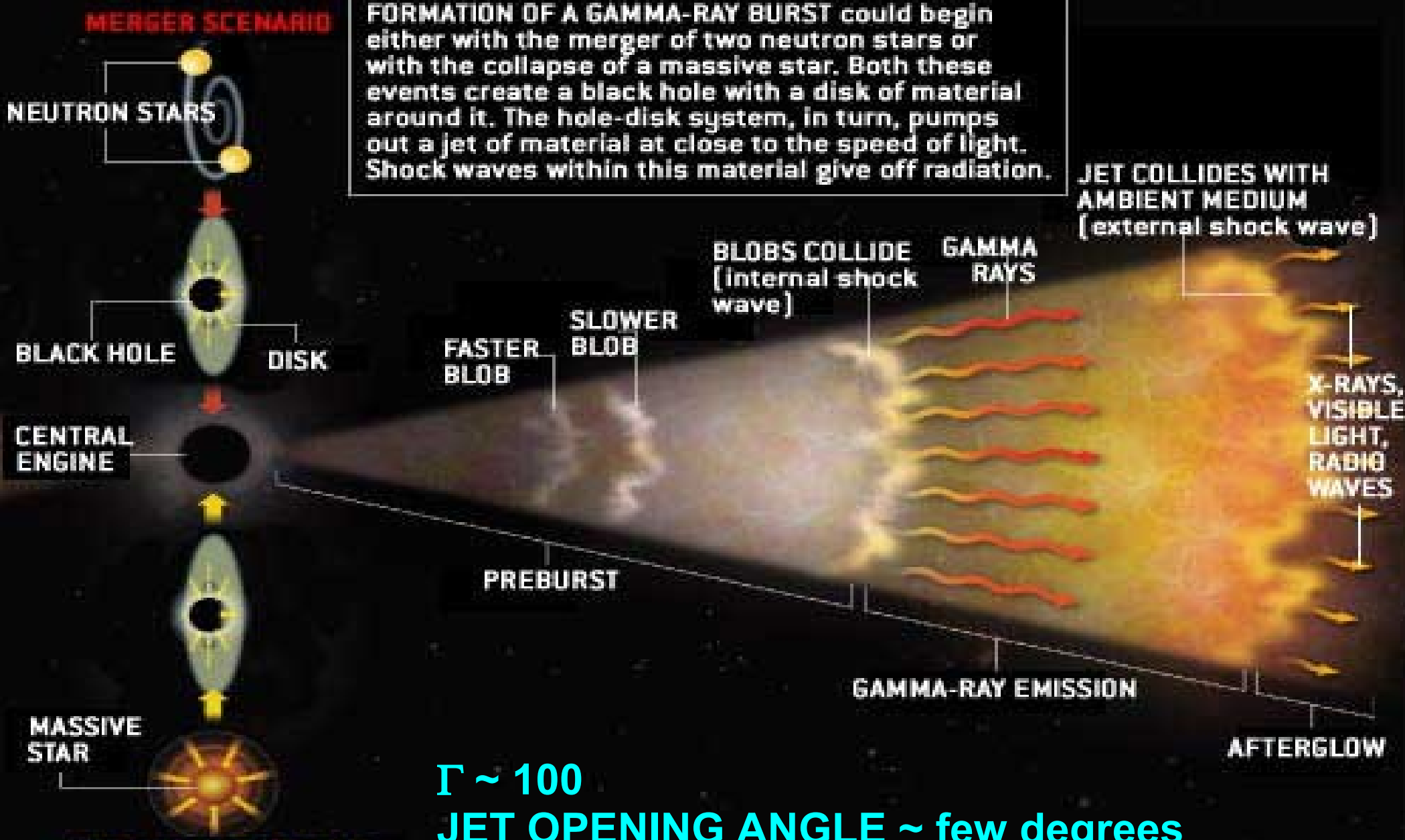
Aktualny stan wiedzy

- Potwierdzone pozagalaktyczne pochodzenie
- Zaobserwowano optyczne odpowiedniki krótkich błysków optycznych i zmierzono ich przesunięcia ku czerwieni (ang. Redshift) , są to typowo $z < 1$
- Najdalszy obserwowany we wszechświecie obiekt to błysk gamma **GRB050904**, **$z=6.29$** (około 12.8 miliarda lat)
- Wciąż nie dokładnie rozumiemy mechanizmów powstawania błysków, w jaki sposób można wyprodukować tak gigantyczne ilości energii ?
- Zrozumienie błysków gamma pozwoliłoby używać ich jako narzędzi do badania wszechświata

Fireball model

BURSTING OUT

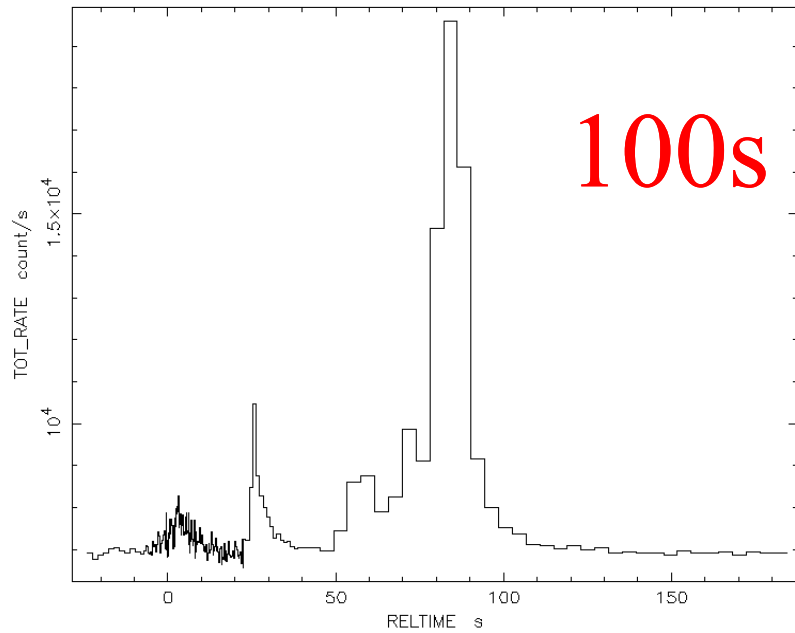
FORMATION OF A GAMMA-RAY BURST could begin either with the merger of two neutron stars or with the collapse of a massive star. Both these events create a black hole with a disk of material around it. The hole-disk system, in turn, pumps out a jet of material at close to the speed of light. Shock waves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



$\Gamma \sim 100$
JET OPENING ANGLE ~ few degrees
Synchrotron radiation and SSC

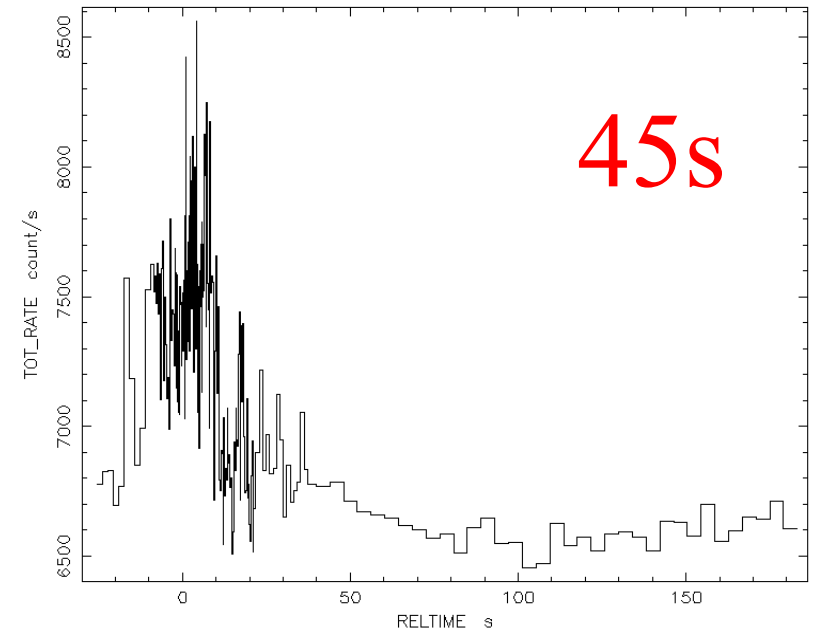
Długie błyski ze SWIFT-a

TriggerNum=252588, 2006-12-22 03:28:52 UT, 15-350keV
(Note Variable Time Sampling)



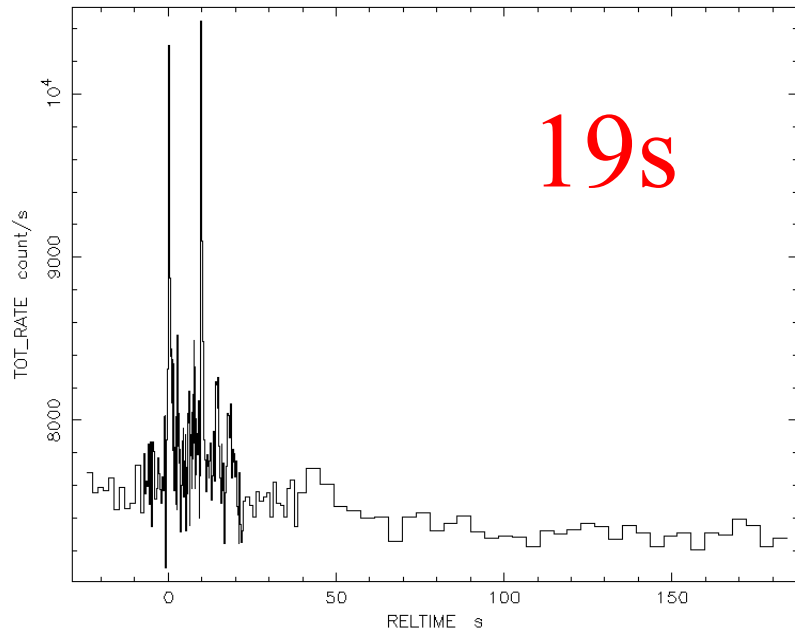
vzw 21-Dec-2006 22:32

TriggerNum=238174, 2006-11-10 21:58:45 UT, 15-350keV
(Note Variable Time Sampling)



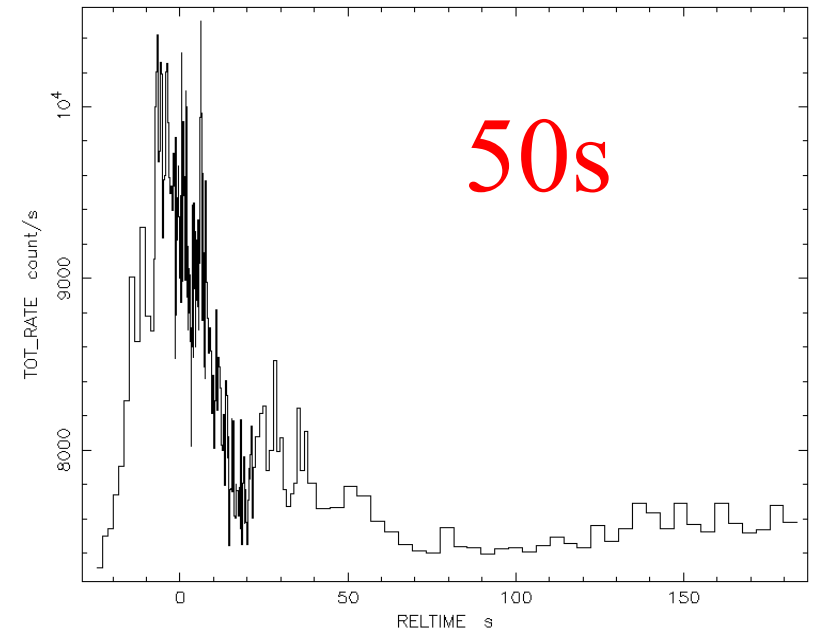
vzw 10-Nov-2006 17:09

TriggerNum=254532, 2007-01-03 20:46:39 UT, 15-350keV
(Note Variable Time Sampling)



vzw 3-Jan-2007 15:52

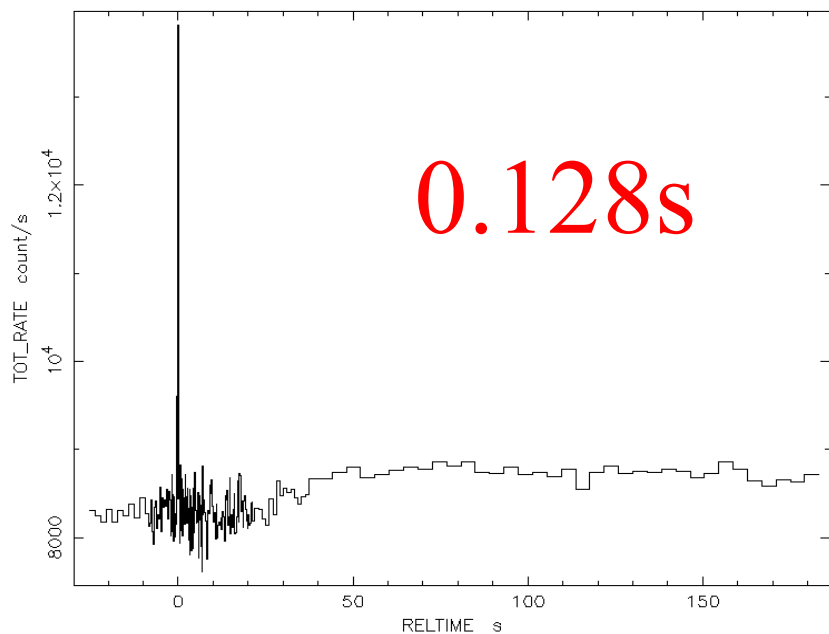
TriggerNum=255029, 2007-01-07 12:05:18 UT, 15-350keV
(Note Variable Time Sampling)



vzw 7-Jan-2007 07:09

Krótkie błyski ze SWIFT-a

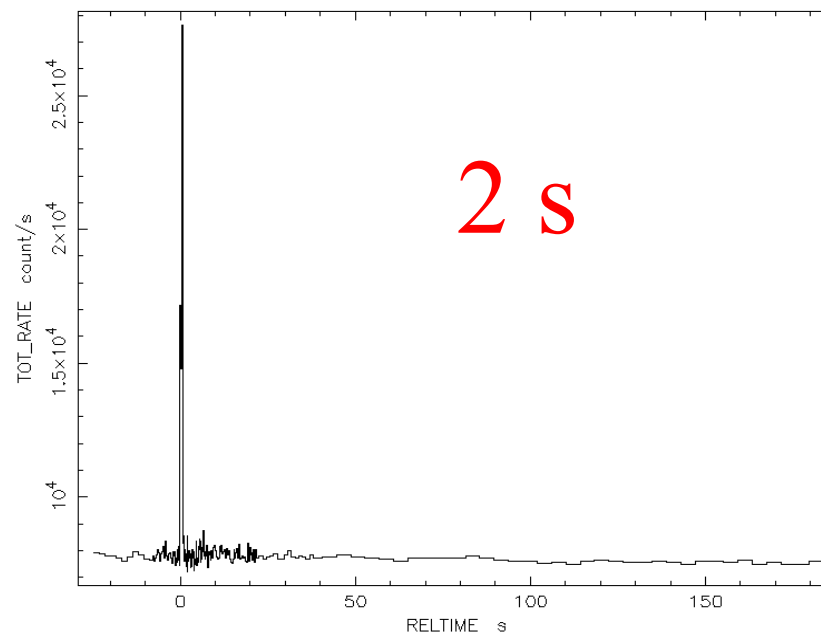
TriggerNum=208275, 2006-05-02 17:24:41 UT, 15-350keV
(Note Variable Time Sampling)



0.128s

2-May-2006 13:29

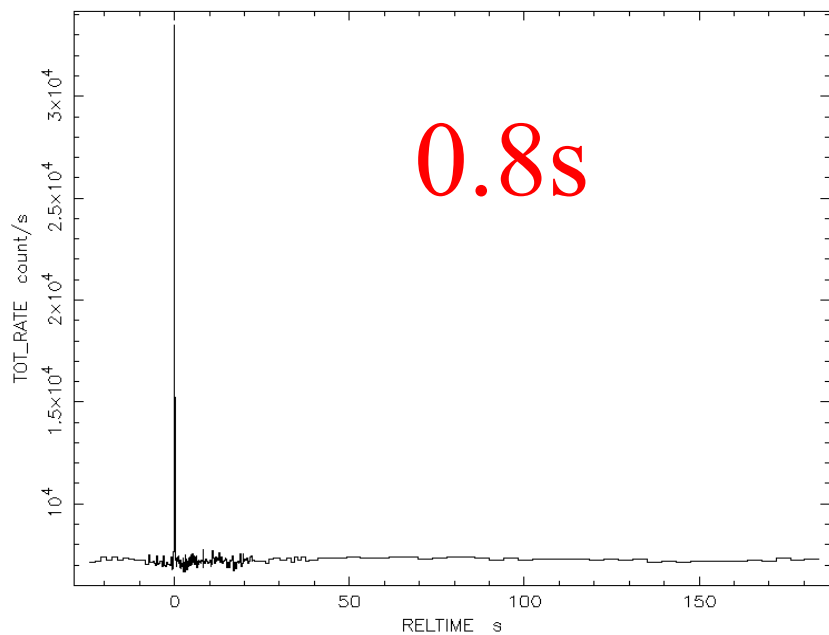
TriggerNum=241840, 2006-12-01 15:58:36 UT, 15-350keV
(Note Variable Time Sampling)



2 s

vxx 1-Dec-2006 11:03

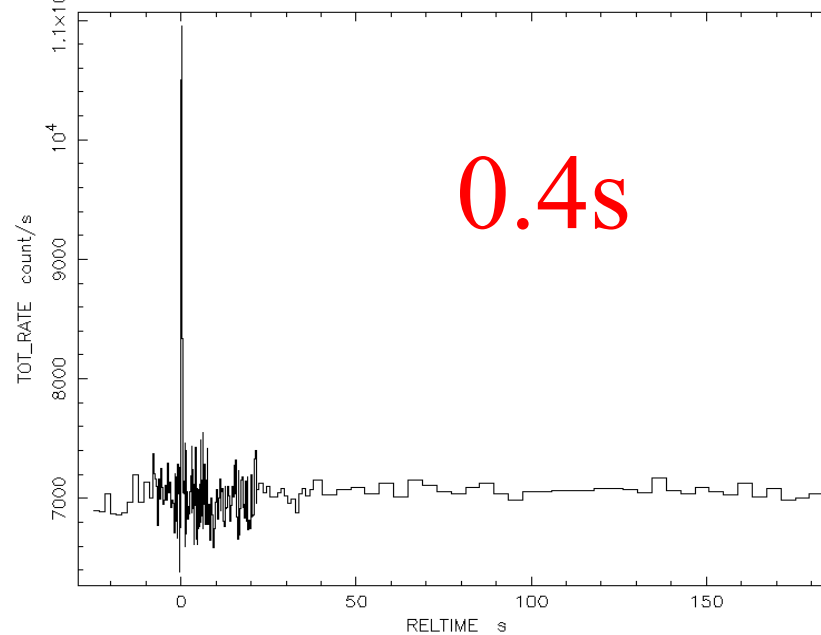
TriggerNum=243690, 2006-12-10 12:20:39 UT, 15-350keV
(Note Variable Time Sampling)



0.8s

vxx 10-Dec-2006 07:24

TriggerNum=251634, 2006-12-17 03:40:08 UT, 15-350keV
(Note Variable Time Sampling)



0.4s

vxx 16-Dec-2006 22:59

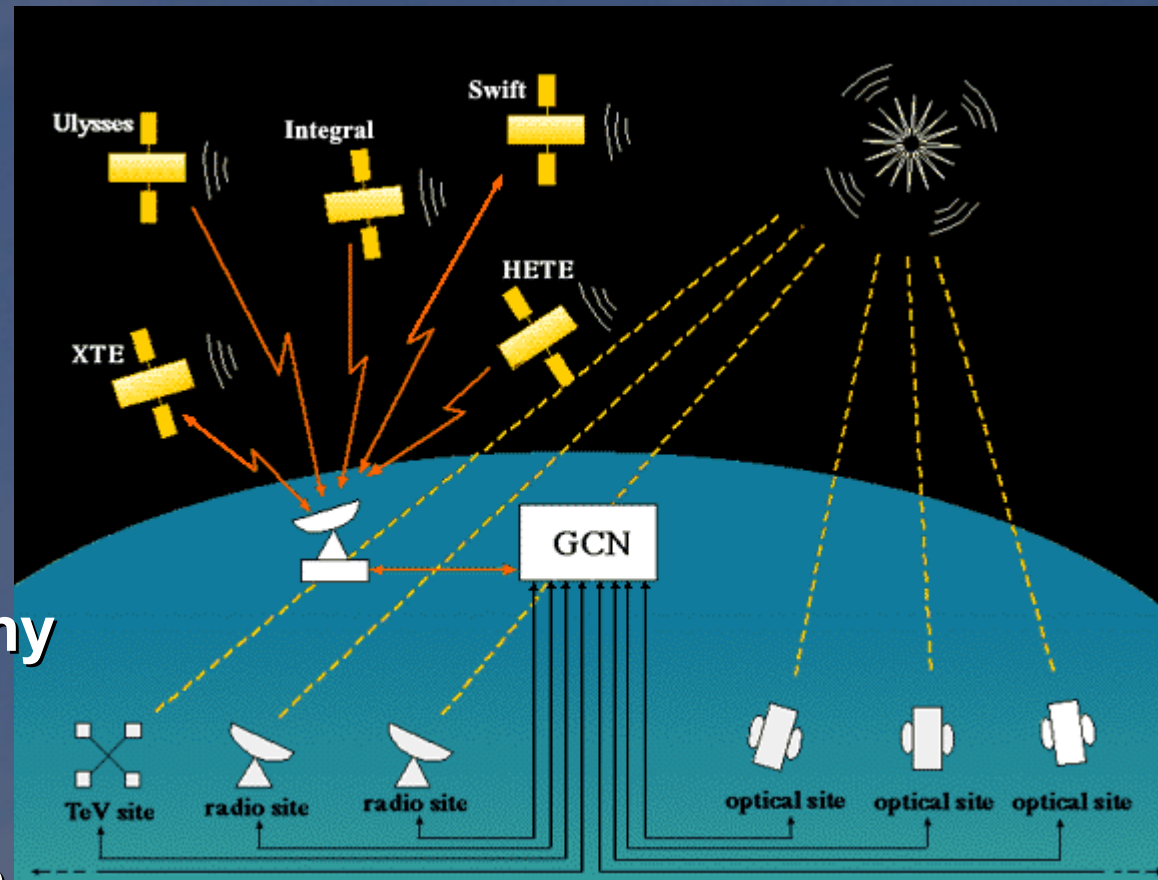
Obserwacje optycznych odpowiedników błysków gamma

- Informacja o błysku i jego pozycji jest przekazywana z satelitów do teleskopów naziemnych (czas reakcji sekundy do minut)
- Tylko w kilku wypadkach udało się zaobserwować sygnał optyczny w czasie trwania emisji gamma

Co można poprawić :

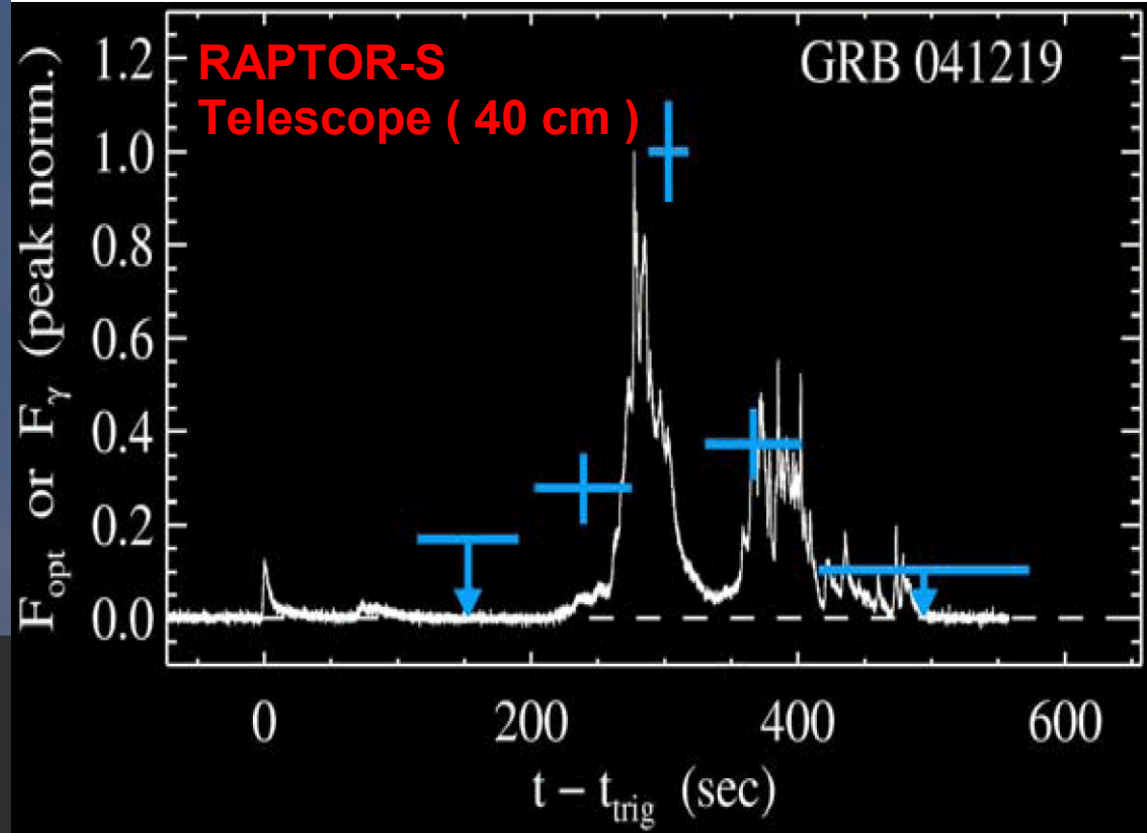
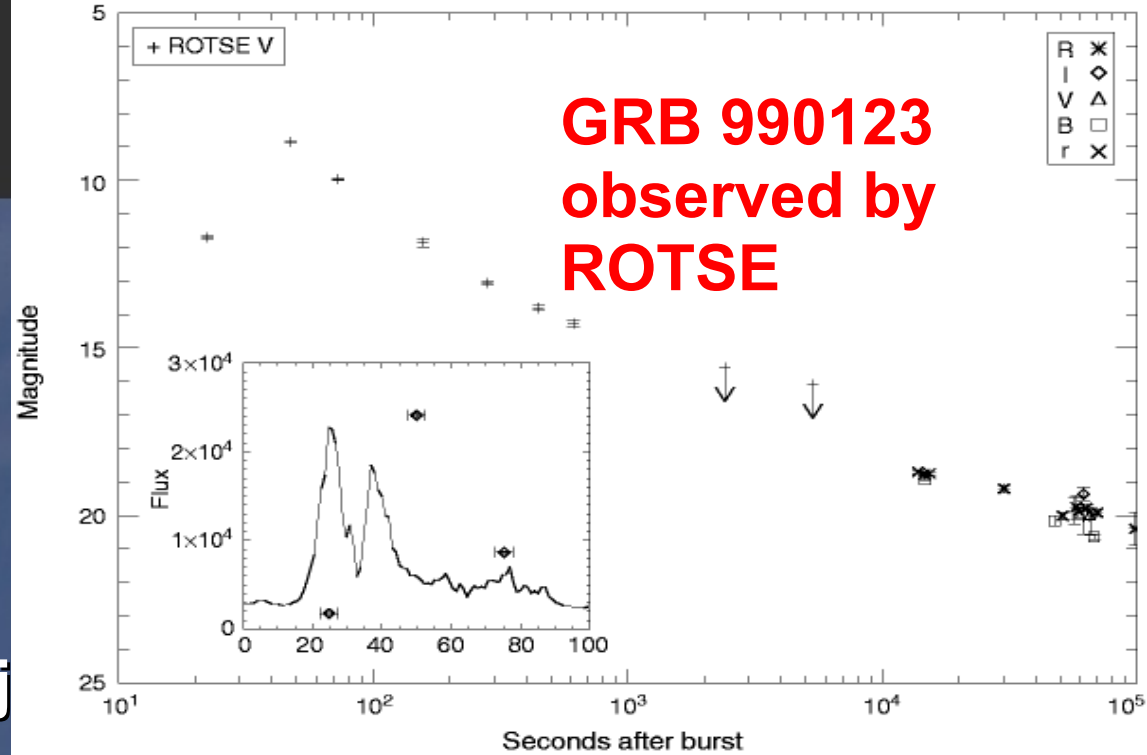
- Czas reakcji (nie wiadomo gdzie i kiedy będzie następny błysk)
- Rozdzielczość czasową
- Osieroczone błyski optyczne

Gamma-Ray bursts Coordinates Network



Wczesne obserwacje optyczne

- Tylko w kilku wypadkach udało się obserwować sygnał optyczny w trakcie emisji gamma
- Mechanizmy emisji optycznej nie są jasne
- Aby uzyskać więcej wczesnych obserwacji optycznych potrzebne jest nowe podejście



GRB990123

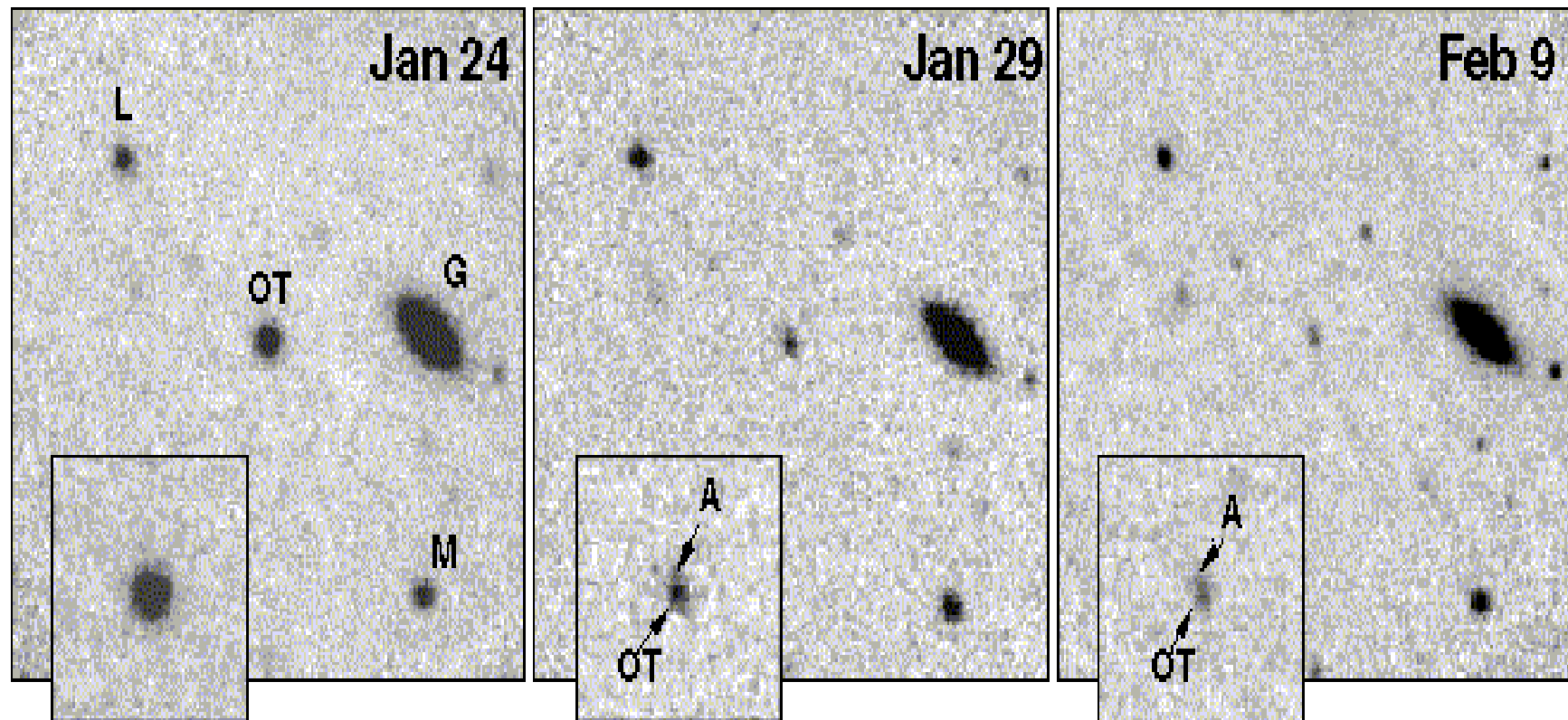
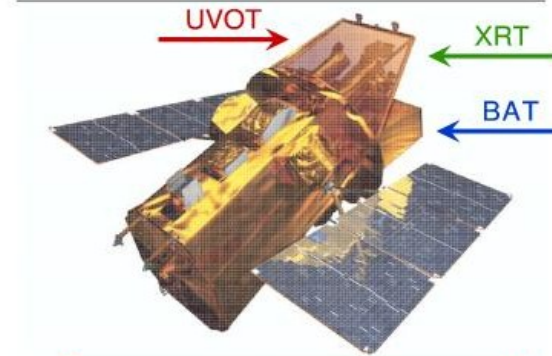


Fig. 1.— Three epochs of Keck I *K*-band imaging of the field of GRB 990123 (24 January 1999 UT, 29 January 1999, and 9 February 1999 UT). The field shown is $32 \text{ arcsec} \times 32 \text{ arcsec}$, corresponding to about 270 physical kpc (710 comoving kpc) in projection at $z = 1.6004$ (for $H_0 = 65 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ and $\Omega_0 = 0.2$). The image is rotated to the standard orientation, so that the east is to the left and north is up. In the 24 Jan image, the OT dominates the host galaxy flux, but by 29 Jan the galaxy is resolved (see inset) from the OT.

Obserwacje optyczne w erze SWIFTA

- Prawie natychmiastowe obserwacje teleskopem UVOT (na pokładzie SWIFTA)
- Jednak ciągle czas reakcji ograniczony na poziomie około **60 sekund** (trzeba obrócić statek kosmiczny)
- Żeby obserwować odpowiedniki optyczne w czasie emisji g trzeba nieustannie monitorować niebo
- Sytuacja w czasie $T=0$ nie poprawiła się znacząco

The *Swift* satellite



BURST ALERT TELESCOPE

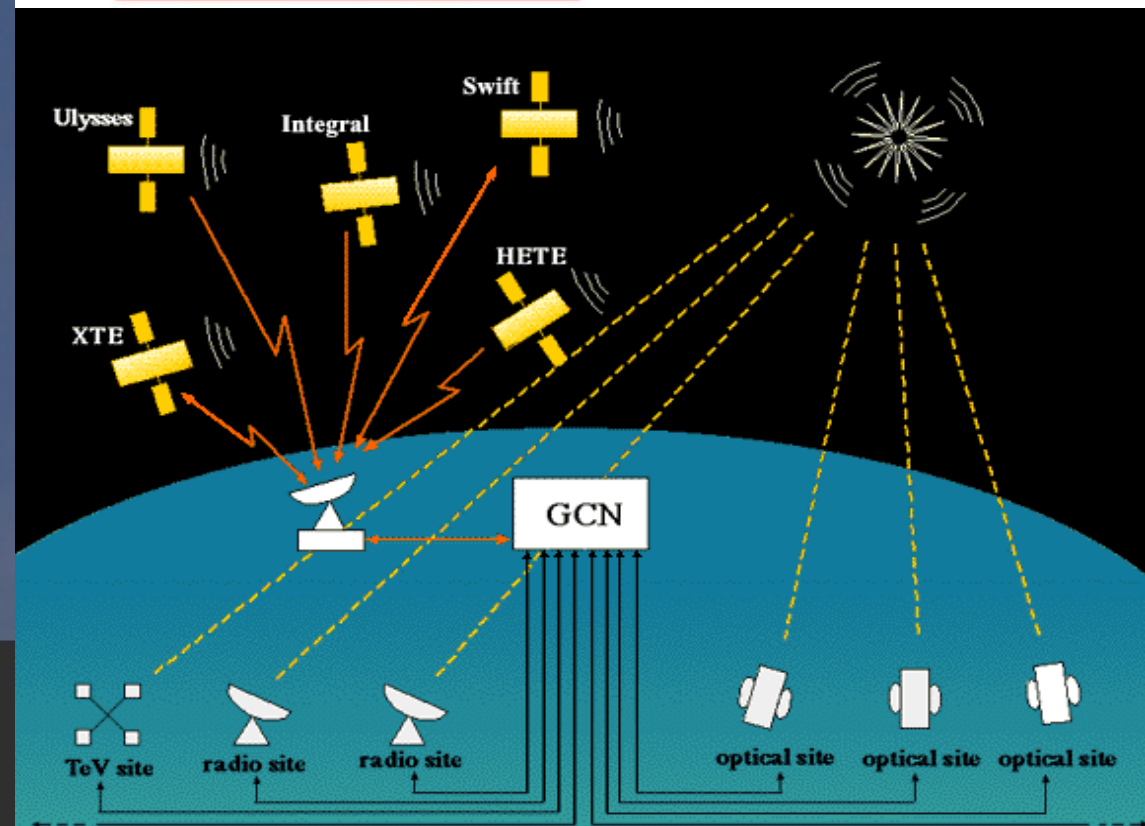
- * Imaging: 15-150 keV
- * Precision: 2-3 arcmin
- * Field of view: 1/6 of sky

UV/OPTICAL TELESCOPE

- * Imaging: 1700 – 6500 Å
- * Precision: 0.5 arcsec
- * Sensitivity: $V = 20$

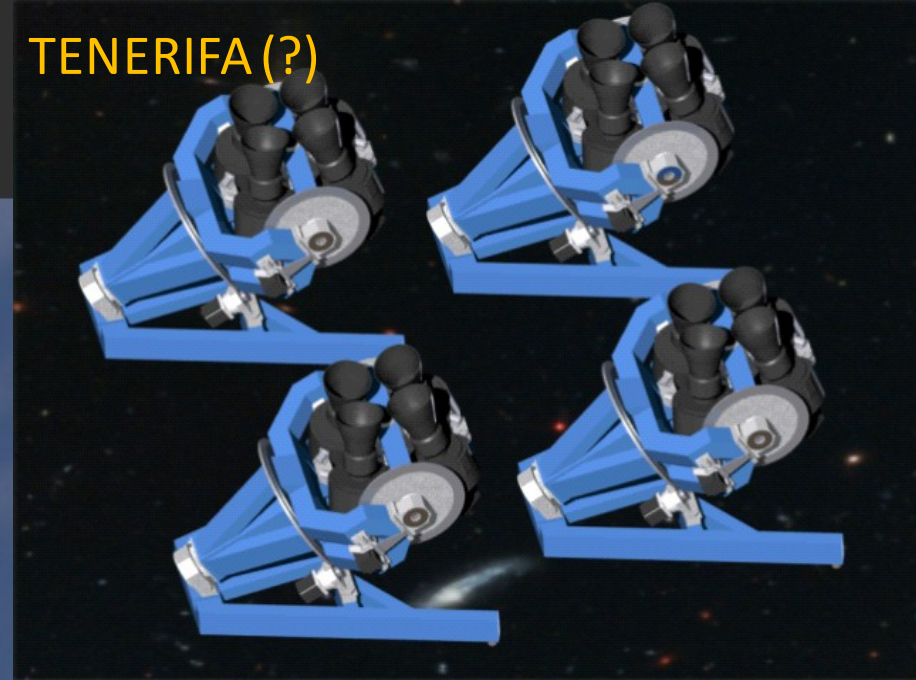
X-RAY TELESCOPE

- * Imaging in 0.2–10 keV
- * Precision: 3 arcsec
- * Sensitivity: 2×10^{-14} cgs

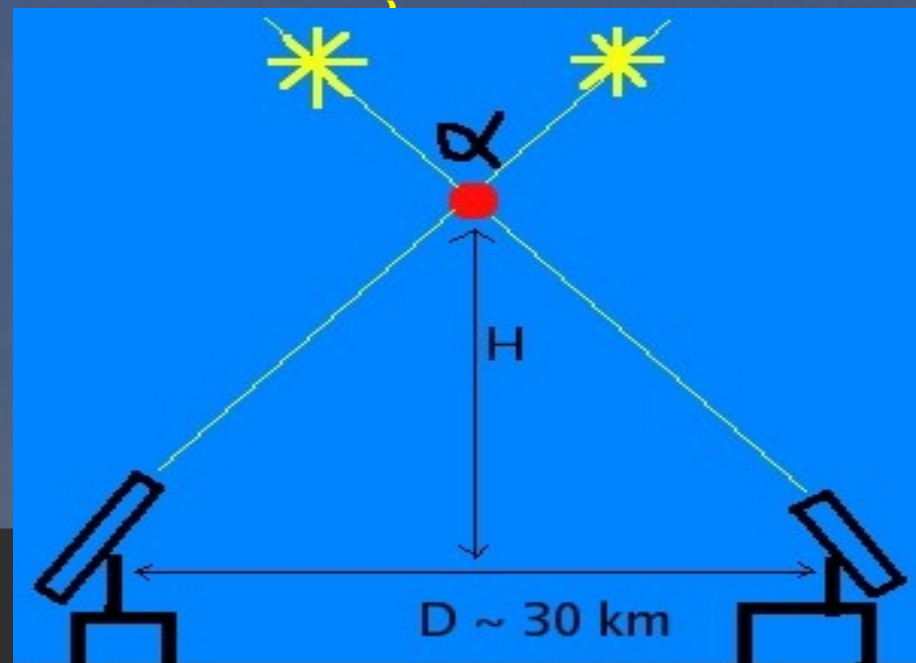


Nowe podejście – system “Pi of the Sky”

- Ciągła obserwacja dużego wycinka nieba. Odpowiadającego polu widzenia (FOV) satelitom SWIFT lub GLAST (~ 2 steradiany)
- Każdy zarejestrowany GRB będzie w naszym FOV (czas reakcji < 0 !)
- Własny algorytm do wykrywania błysków optycznych
- Krótkie ekspozycje (10 s)
- ~ 650 GB danych / noc



150 km
1 pixel =>
Parallax ~700000 km



Prototyp w LCO

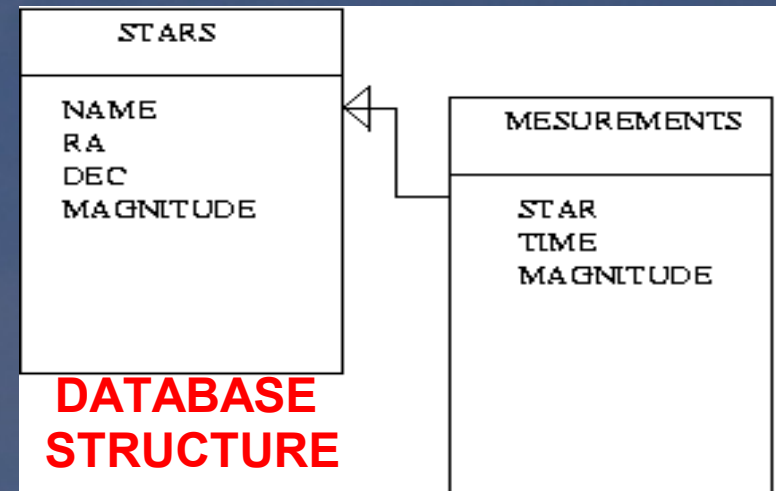
- 2 samodzielnie zaprojektowane kamery na montażu paralaktycznym działają w koincydencji
- Pole widzenia $\sim 20^\circ \times 20^\circ$
- Zasięg $\sim 11\text{m}$ na zdjęciu 10s i do $\sim 13\text{m}$ na 20 posumowanych obrazkach
- Algorytm on-line wykrywający krótkie błyski optyczne (10s)
- Katalogowanie pomiarów jasności gwiazd do bazy danych
- Algorytm off-line wykrywa nowe obiekty na niebie i pojaśnienia w dłuższych skalach czasowych
- System jest samodzielny, w razie problemów wysyła SMS-a, że trzeba coś naprawić

Prototypowy system w Las Campanas Observatory (LCO) w Chile działający od czerwca 2004



Analiza danych

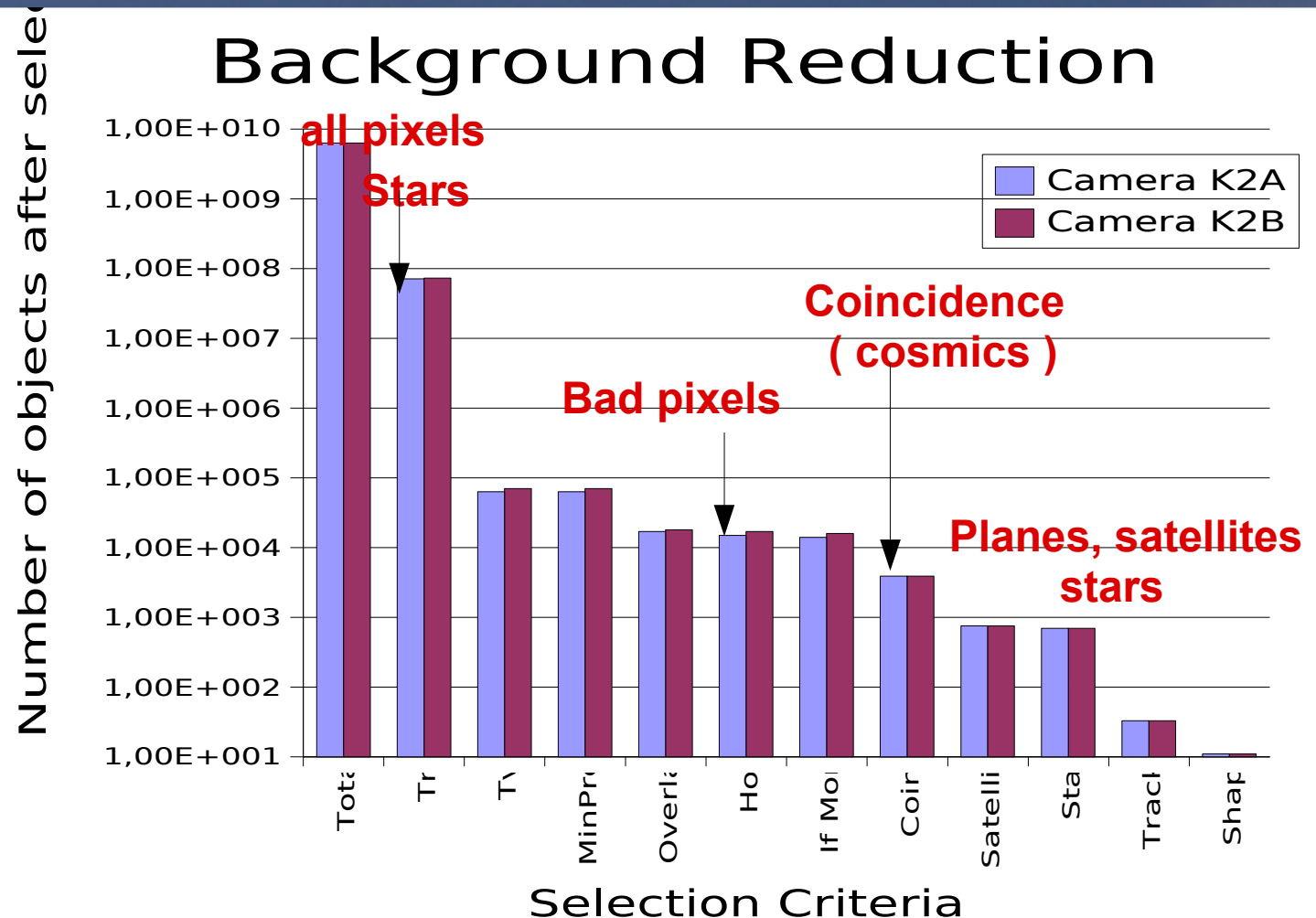
- Alorytmy on-line są proste i szybkie, porównują kolejne obrazki. Poszukując nowych obiektów na nowym zdjęciu w skali czasowej 10s i 22s
- Dane są redukowane (fotometria i astrometria) a następnie katalogowane do bazy danych PostgreSQL
- Katalog gwiazz z lat 2004-2007 jest dostępny publicznie z naszej strony WWW (grb.fuw.edu.pl)
- Alorytmy off-line analizują krzywe blasku obiektów w bazie danych



Algorytmy on-line

- Algorytm on-line porównuje nowy obrazek z kilkoma poprzednimi, poszukując obiektów, które pojawiły się na nowym zdjęciu a nie było ich na poprzednich zdjęciach (każdy obrazek to około $\sim 2 \times 10^4$ gwiazd)
- Odrzucenie tła pochodzącego od promieni kosmicznych, błyskających sztucznych satelitów, gwiazd stałych, meteorów, chmur, UFO itd ...

- Wykrywanie błysków optycznych w czasie rzeczywistym - idea wielostopniowego trygera zaczerpnięta z fizyki cząstek elementarnych



On-line Data Analysis Results

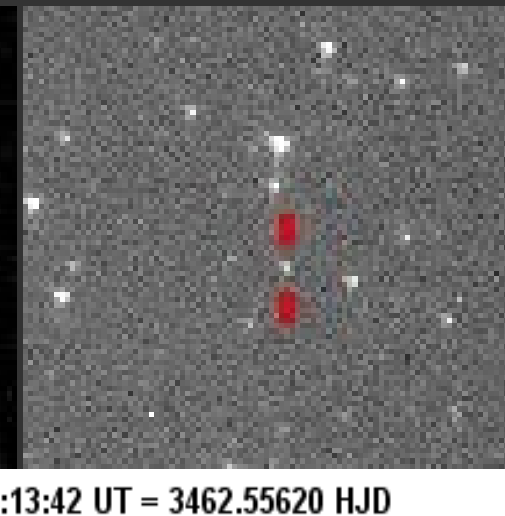
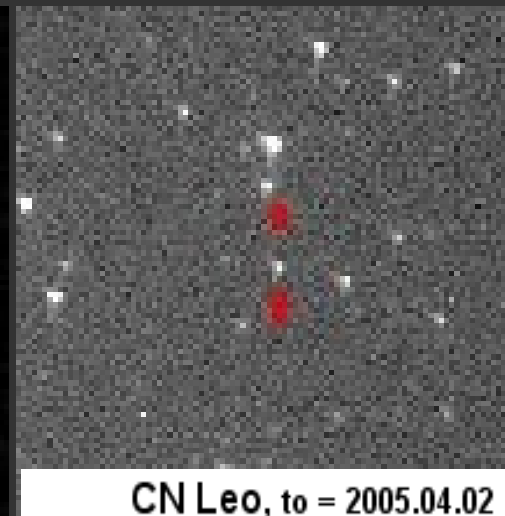
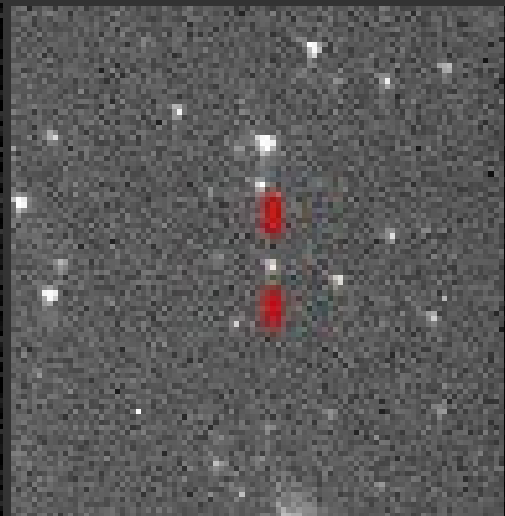
2 pewne – **GRB080319b** i rozbłysk gwiazdy rozblyskowej CN Leo
8 błysków widocznych na 2 kolejnych klatkach, ale 1 kamerze
150 błysków widocznych na 1 klatce , ale 2 kamerach

-1

0

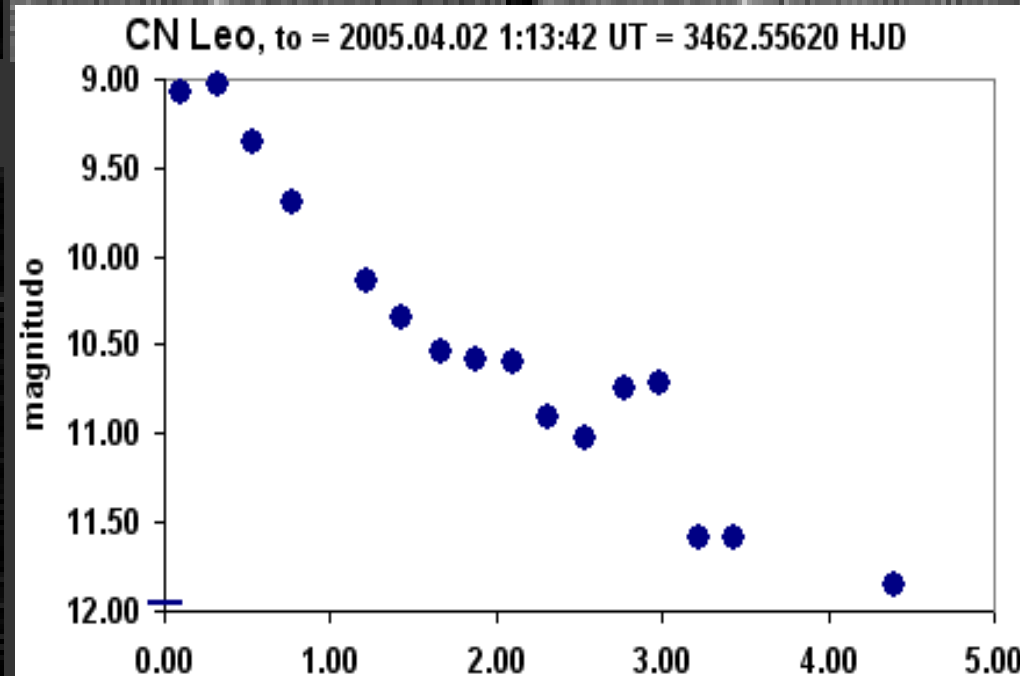
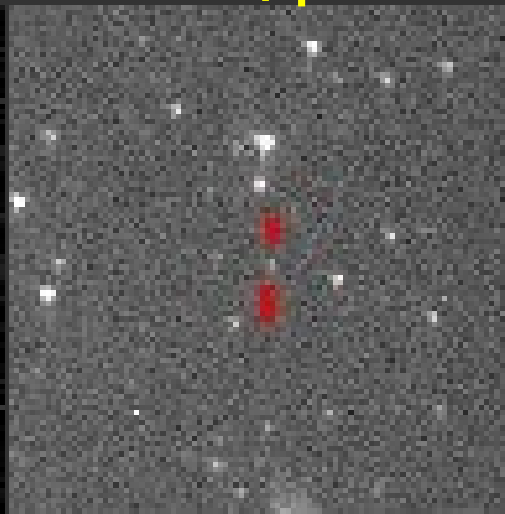
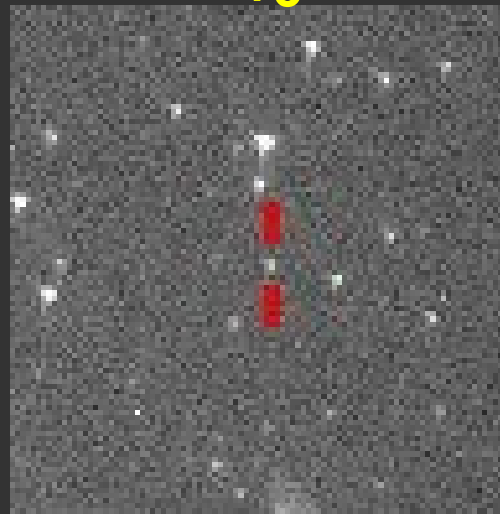
+1

+2



+3

+4



Przykład błysku widocznego na 2 kamerach (ale tylko na 1 klatce)

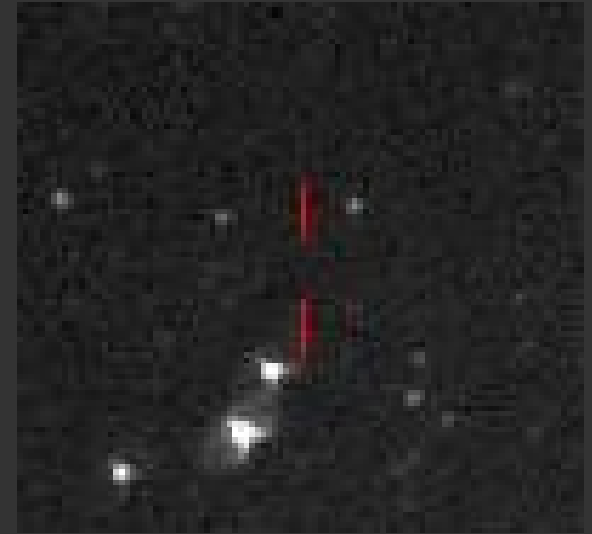
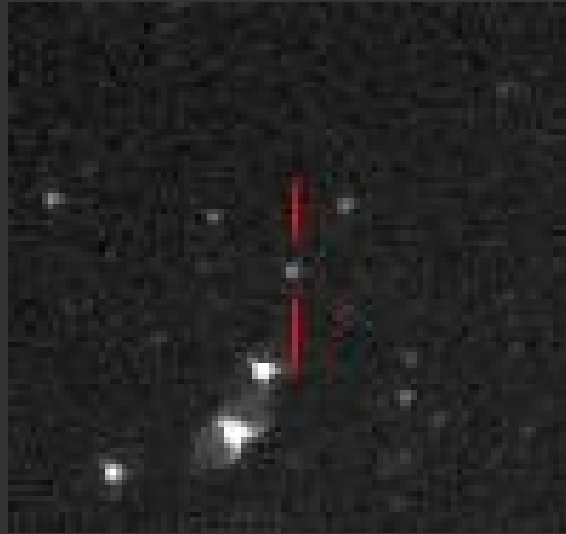
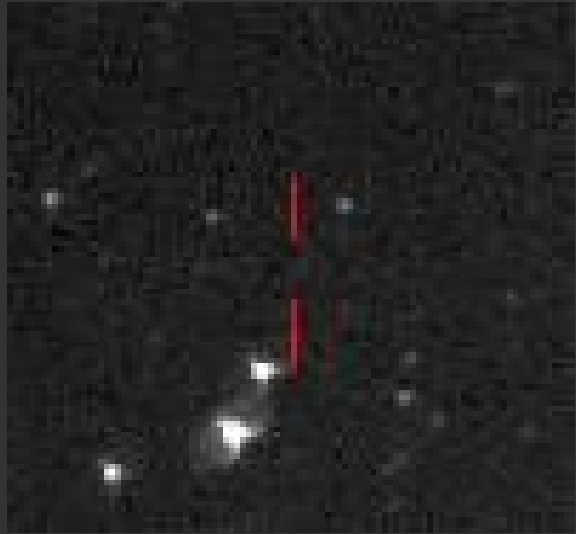
Wciąż mogą to być błyski spowodowane przez sztuczne satelity, których nie ma w używanym przez nas katalogu satelitów (w odległości $d < 70000$ km)

-1

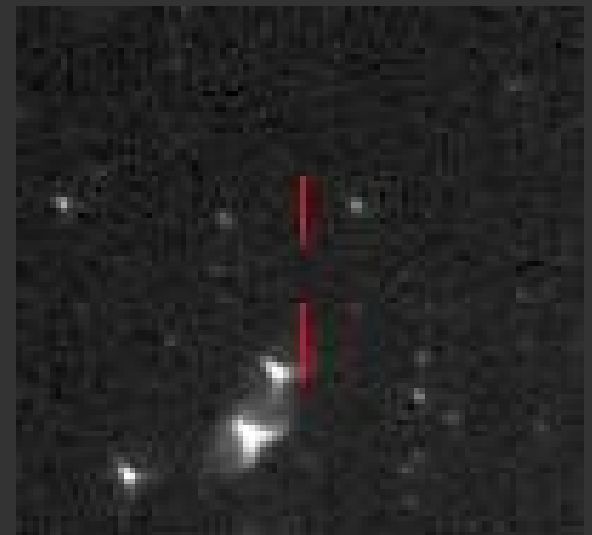
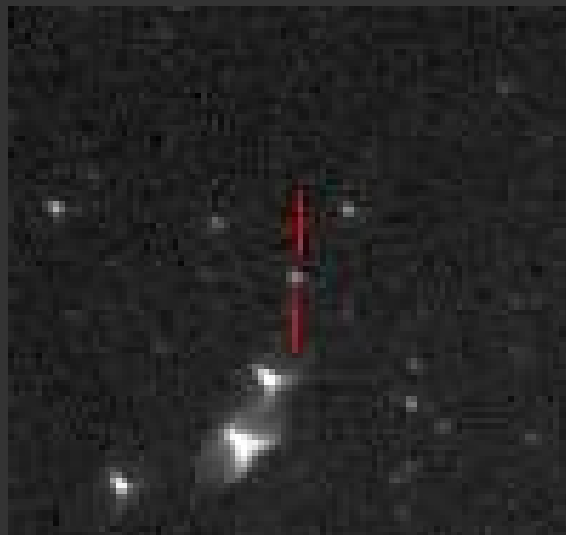
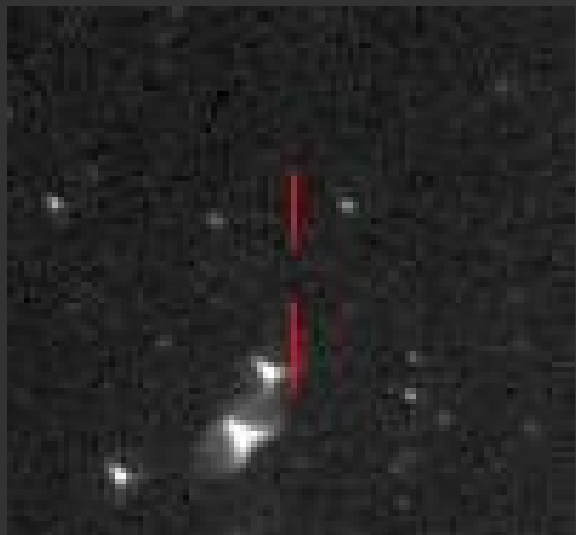
0

+1

k2a



k2b

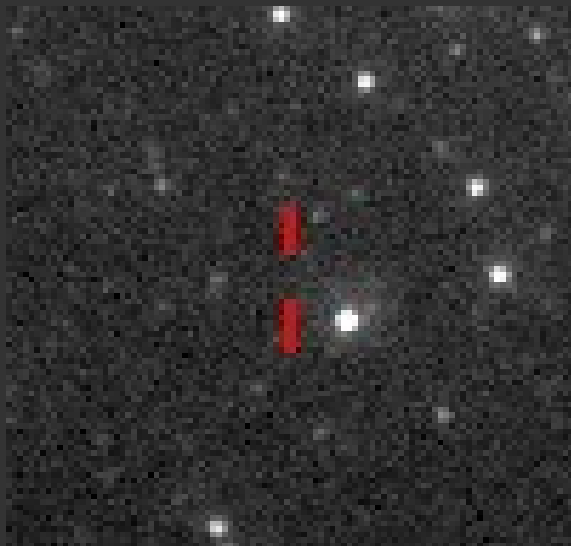


Błysk widoczny na 2 kolejnych zdjęciach

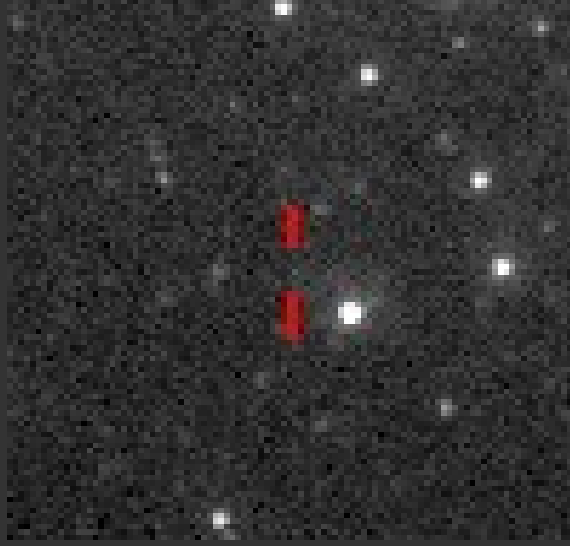
Błysk widoczny na 2-3 kolejnych zdjęciach, zaobserwowany 2006.10.10 02:44:43 UT przez jedną kamerę (druga akurat nie działała)

NIE ZNALEZIONO ŻADNEJ KOINCYDENCJI Z GRB ANI INNYM ZDARZENIEM ASTROFIZYCZNYM

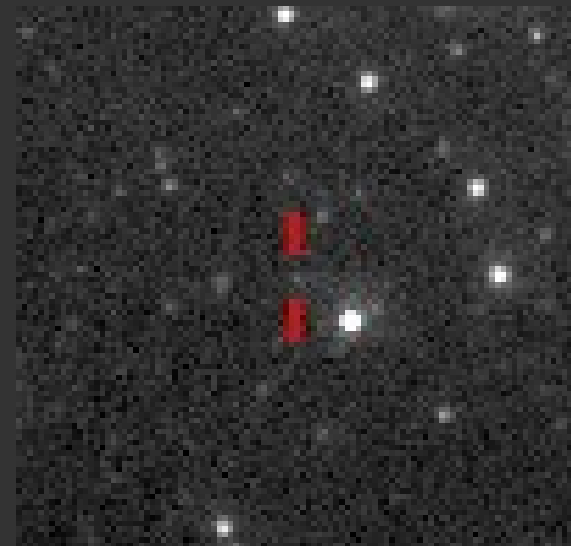
-2



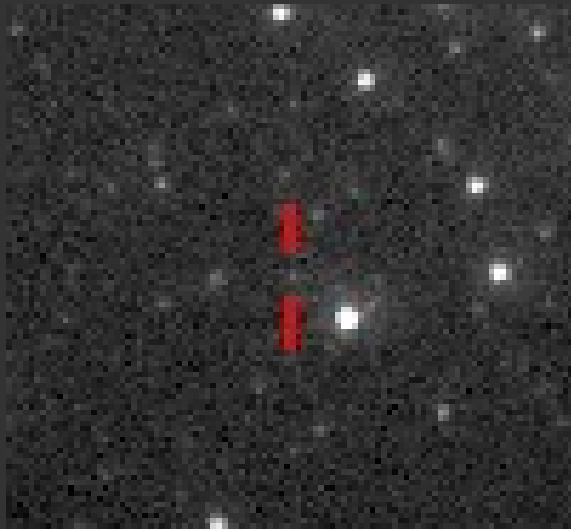
-1



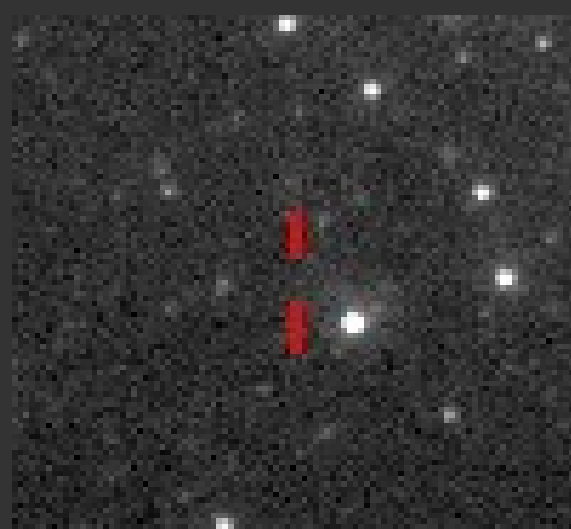
0



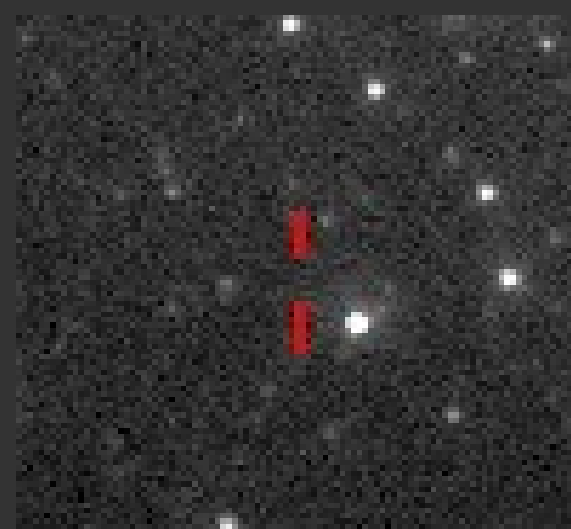
+1



+2



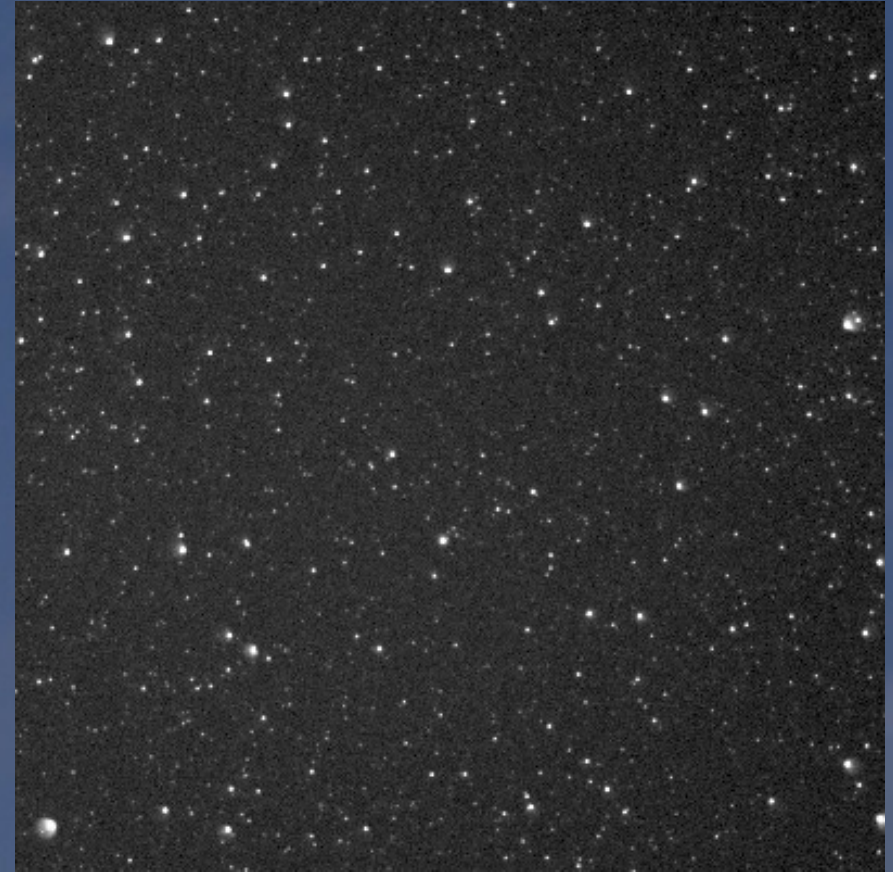
+3



Przykłady tła



“Star Wars”

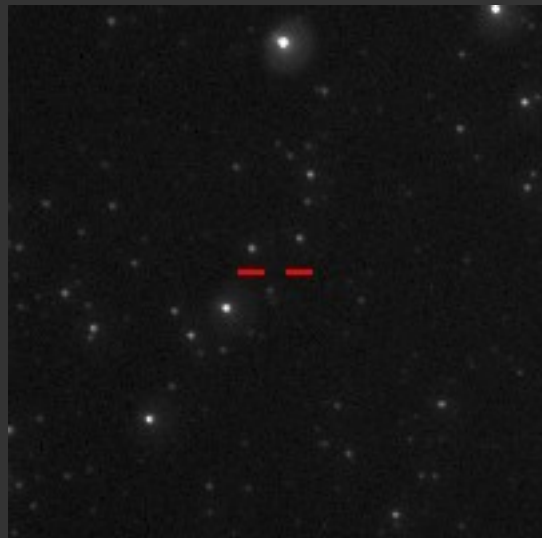


Meteory

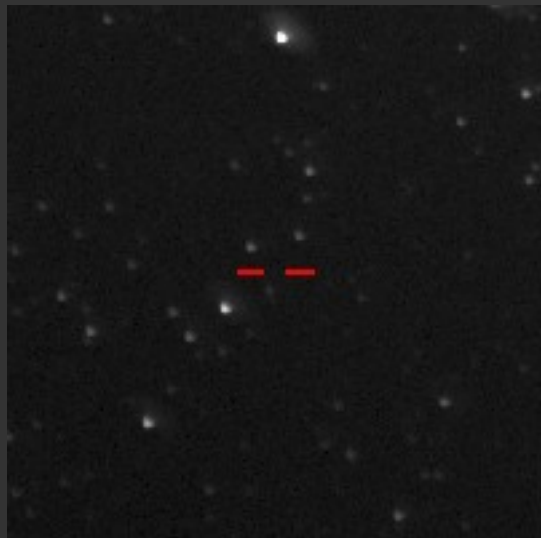
WYBUCH GWIAZDY NOWEJ 1RXS J023238.8-37181

Wybuch gwiazdy nowej RA = 02 32 38, DEC = -37 17 43 nastąpił między 2007-09-15 a 2007-09-16. Został zidentyfikowany przez algorytm off-line poszukujący nowych obiektów w danych pochodzących ze skanu całego nieba (wykonywanego 2 razy na noc)

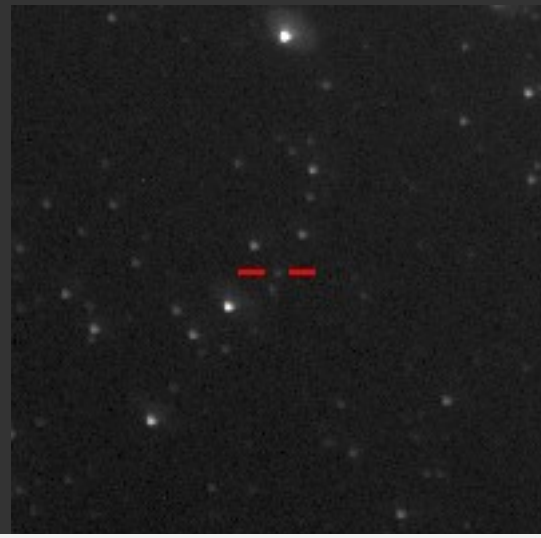
2007-09-13 03:00:27 UT



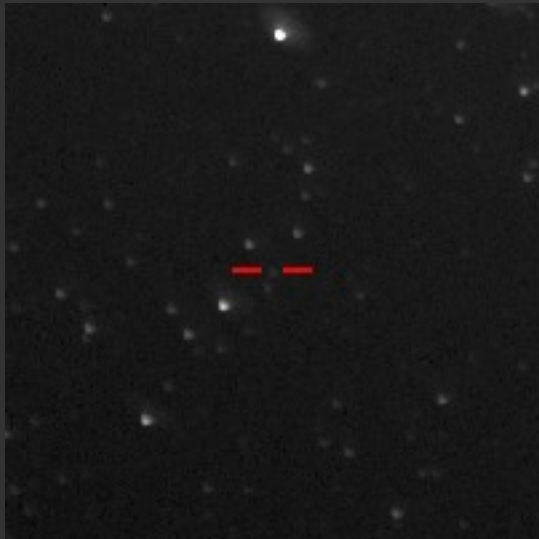
2007-09-14 03:00:46 UT



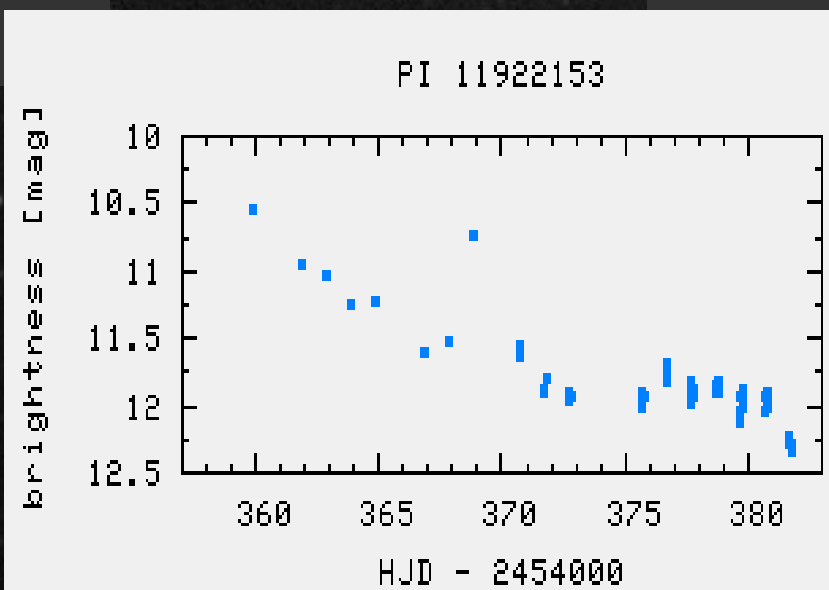
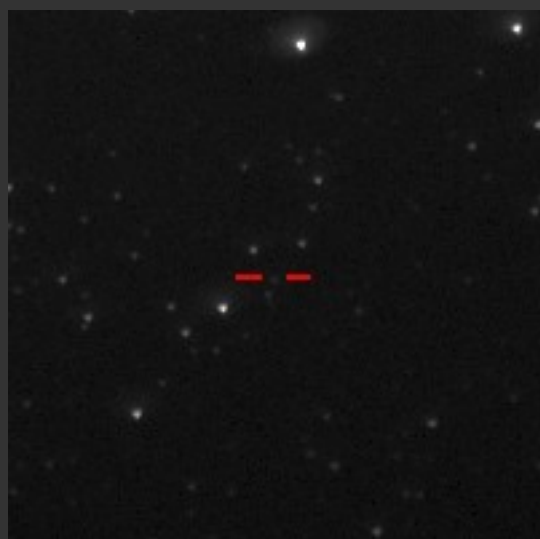
2007-09-16 08:53:44 UT



2007-09-18 02:59:56 UT



2007-09-18 08:59:51 UT



Nie łatwo zaobserwować GRB ...

Obserwacje pola widzenia HETE do kwietnia 2005

Od kwietnia 2005 obserwacje FOV SWIFTA lub INTEGRALA

191 GRB observed by satellites since 2006-06-01

apparatus off	North hemisphere	daytime	below horizon	clouds	outside FOV	inside FOV
13	6	96	35	9	30	2

89 GRB observed by satellites 2004.07.01 - 2005-08-07

1	18	40	8	4	16	2
---	----	----	---	---	----	---

... 2008-03-18/19 , W KOŃCU MIELIŚMY TROCHE SZCZĘŚCIA

- Rankiem 2008-03-19, o 5:45:42 UT SWIFT zaobserwował **GRB080319A** w $\lambda=13^{\text{h}}45^{\text{m}}25^{\text{s}}$, $\delta=+44^{\circ}04' 44''$, teleskopy optyczne (także “Pi of the Sky”) pojechały do tego błysku
- Po mniej niż $\frac{1}{2}$ godziny drugi błysk **GRB080319b** został zarejestrowany przez SWIFTA o 06:12:49 UT w $\lambda=14^{\text{h}} 31^{\text{m}} 42^{\text{s}}$, $\text{DEC}=+36^{\circ} 18' 10''$ (w odległości $\sim 11.75^{\circ}$ od pierwszego błysku)
- Drugi błysk był na brzegu naszego pola widzenia

3 zdjęcia (brzeg klatki)
: 6:12:32 - 6:13:01



Historia odkrycia ...

- **Nasz algorytm wykrył błysk optyczny Kasia Małek, która miała wtedy szychtę. Zgłosiła, że jest to bardzo ciekawy przypadek**
- **Z drugiej strony Lech Piotrowski obejrzał nasze zdjęcia w poszukiwaniu sygnału **GRB080319b** i zobaczył ten sam obiekt. Był jednak podejrzanie jasny ...**
- **Po obejrzeniu zdjęć przez resztę grupy uznaliśmy, że właśnie zaobserwowaliśmy nasz pierwszy GRB !!!**

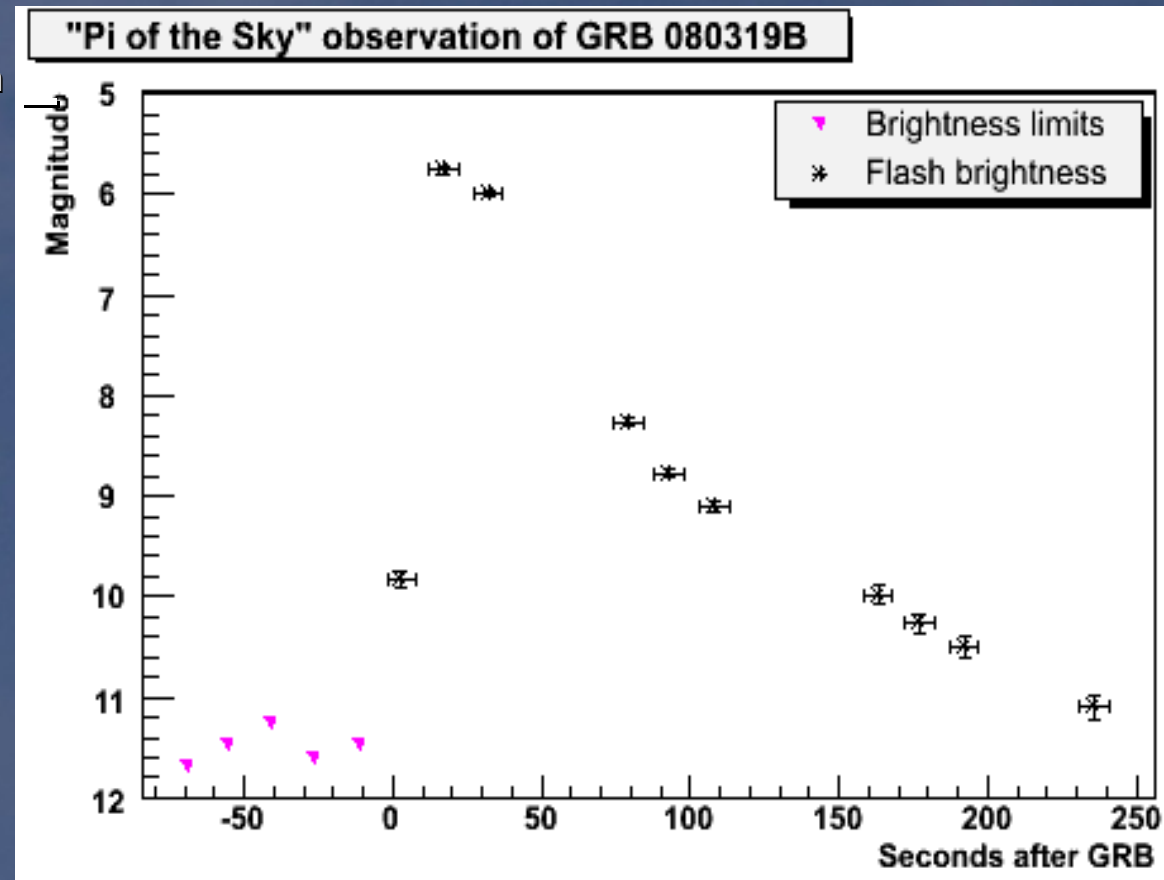


Great gladness and satisfaction
great effort was awarded !



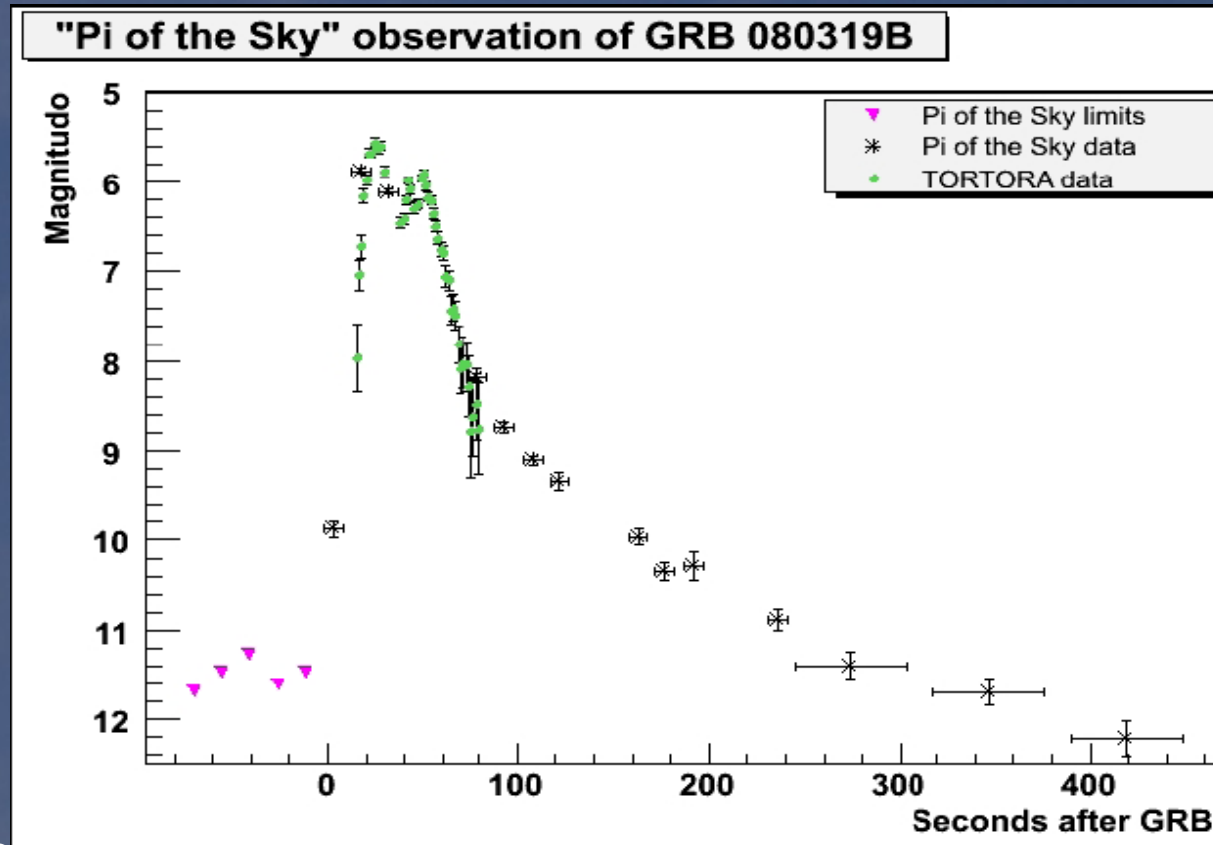
Najjaśniejszy optyczny odpowiednik GRB

- Maksymalna jasność 12 sekund po GRB około $\sim 5.3^m$ TORTORA (5.7^m - “Pi of the Sky”))
- Długi GRB ($T_{90} \sim 57$ sec)
- Fluence $\approx 5.3 \times 10^{-4}$ erg cm $^{-2}$ ($E_{\gamma, iso} \approx 1.3 \times 10^{54}$ erg)
- $z \approx 0.937$ (VLT / UVES)
- $E_{opt, iso} \approx 3 \times 10^{51}$ erg
najjaśniejszy optycznie obiekt
kiedykolwiek obserwowany !!
(jaśniejszy od supernowej 2005ap)

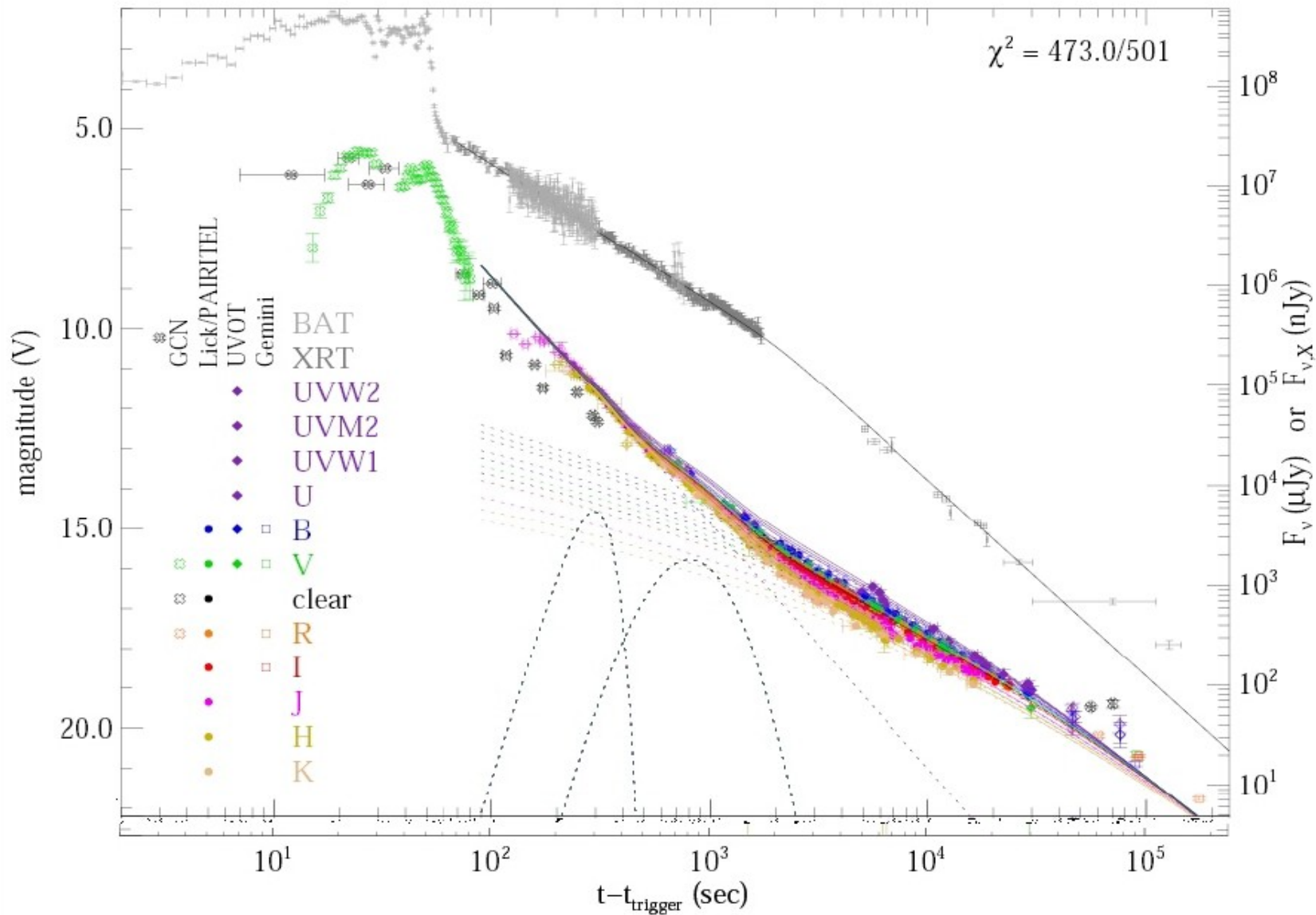


Obserwacje w pełnym zakresie widma

- Optyczne obserwacje przed, w trakcie i po GRB wykonane przez “Pi of the Sky”, TORTORA i RAPTOR(?)
- Rozdzielczość czasowa :
10s - “Pi of the Sky”
0.13s - “TORTORA”
- Bezprecedensowe pokrycie optycznej krzywej blasku
- Obserwacje w X (XRT) zaczęły się ~60 sec po GRB
- Radio, NIR



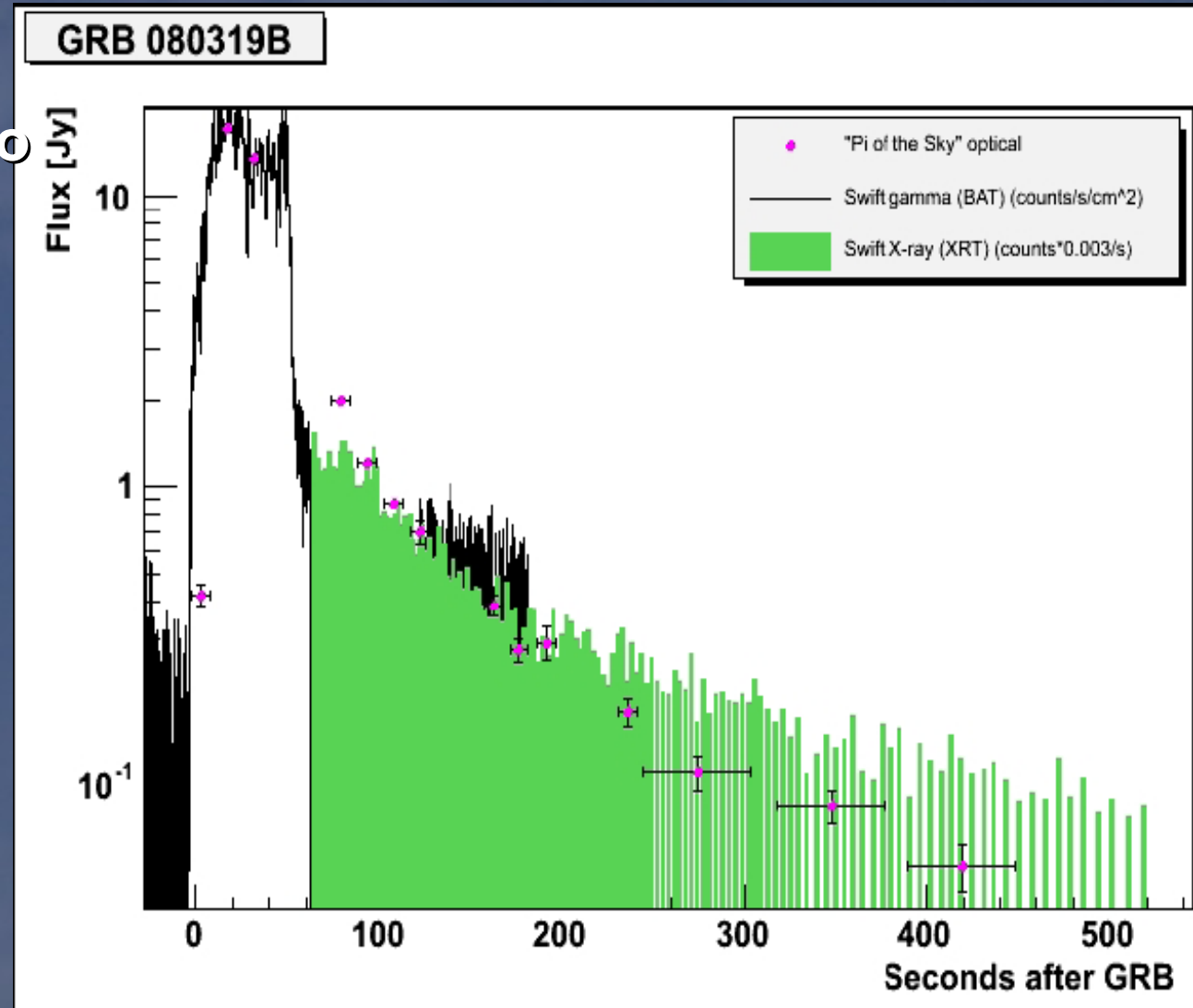
Obserwacje w pełnym zakresie widma



Bloom et al. , astro-ph
0803.3215v1

Obserwacje w pełnym zakresie widma

- Pozytywna korelacja sygnału γ i optycznego być może promieniowanie optyczne – niekoenergetyczny ogon γ
- Emitowane przez ten sam region
- Publikacja złożona do Nature (astro-ph 0805.1557)

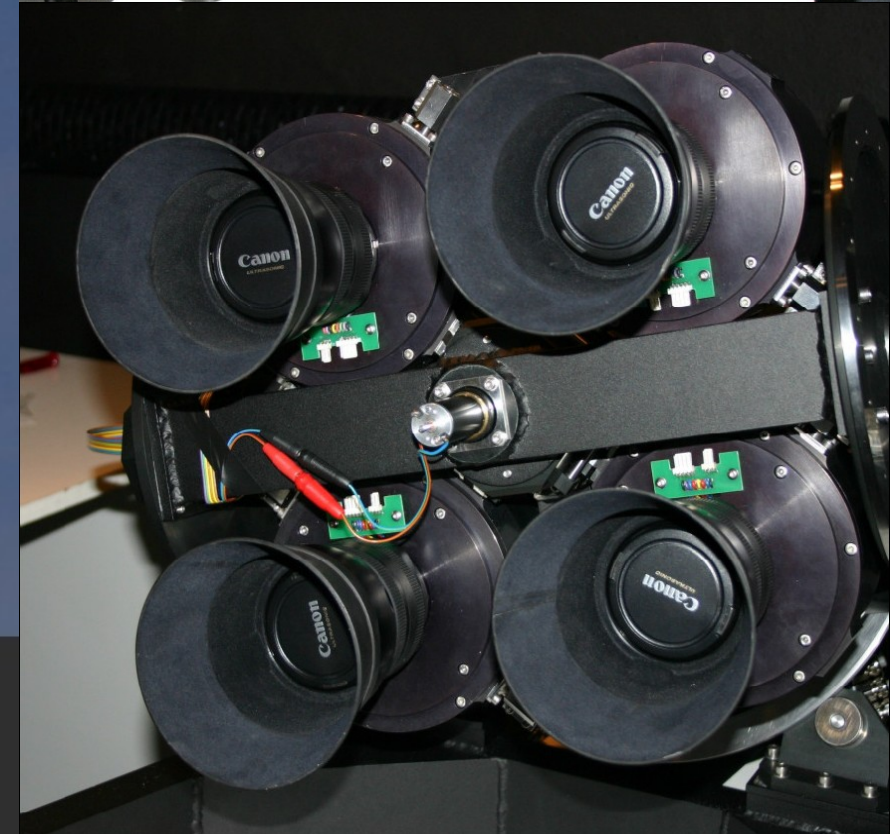
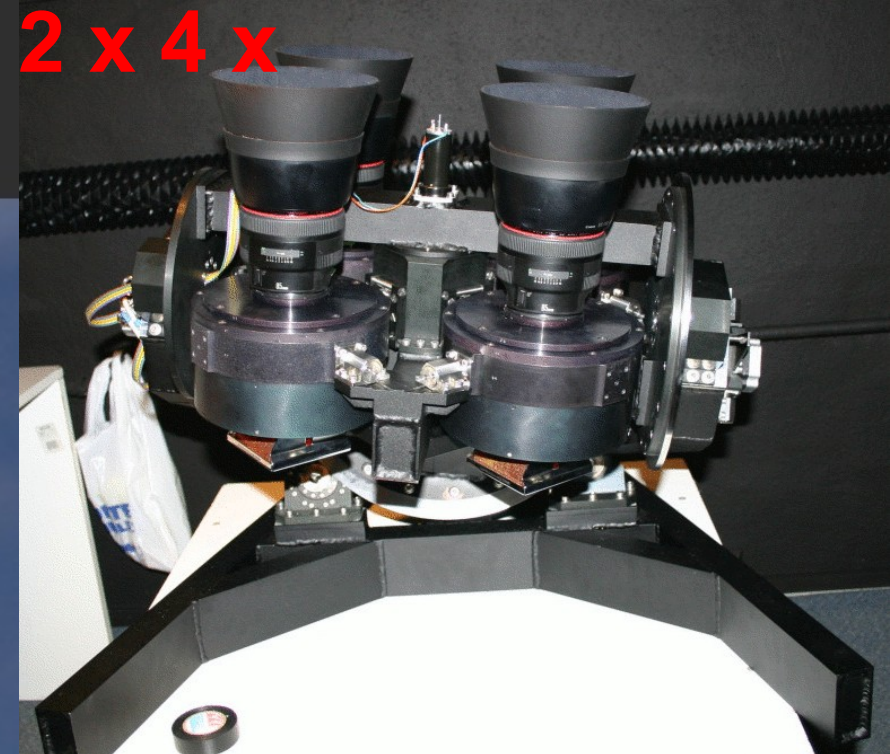


GRB080319b podsumowanie

- **Bardzo nietypowy błysk gamma**
- **Nieosiągane dotąd pokrycie optycznej krzywej blasku od samego początku**
- **Największe obserwowane strumienie gamma i optyczne**
- **W źródle najjaśniejszy kiedykolwiek optycznie obserwowany obiekt we wszechświecie**
- **Pośród rekordzistów także w zakresie gamma**

Przyszłość wygląda obiecująco ...

2 x 4 x



- Więcej obserwacji GRB przed, w trakcie i po. Pesymistyczne oszacowanie to około 2.5 / rok.
- Wiele limitów przed, w trakcie i po (również dla krótkich błysków !)
- Samodzielnie wykrywane błyski optyczne
- Mam nadzieje, że dostarczymy wielu interesujących danych
- Więcej wykrytych gwiazd nowych
- Katalog gwiazd zawierający miliony obiektów !

Podsumowanie

- Wczesna obserwacja optycznego odpowiednika błysku gamma grb080319b dowiodła skuteczności idei prof. B. Paczyńskiego użycia małych teleskopów w badaniach GRB
- Nasza obserwacja była mieszanka idei i szczęścia, bez którego ciężko o sukces
- Pełny system 2 x 16 kamer pokrywając pole widzenia satelity SWIFT (i/lub GLAST) pozwoli na skuteczniejsze obserwacje niż przy pomocy prototypu ($\sim 1/5$ GRB w FOV)
- Mamy nadzieję, że nasz eksperyment wniesie duży wkład do zrozumienia mechanizmów powstawania GRB
- Została także potwierdzona skuteczność własnego algorytmu do identyfikacji błysków optycznych (gdyby SWIFT nie wykrył tego GRB to my wykrylibyśmy błysk optyczny sami !!!)
- Mamy >150 krótkich błysków optycznych i może jakiś jest czymś bardzo ciekawym !

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Więcej na WWW :

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