



Pi of the Sky

Roboty w poszukiwaniu błysków na niebie

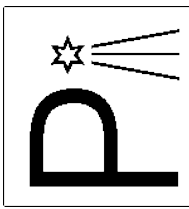
Aleksander Filip Żarnecki

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

XXXV Zjazd PTA

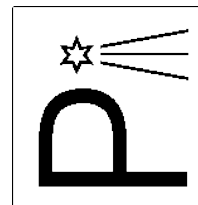
Gdańsk, 12 września 2011

Plan prezentacji



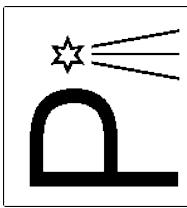
- Wprowadzenie
 - błyski gamma i strategie ich obserwacji
- Pi of the Sky
 - koncepcja projektu
 - aparatura prototypowa i najważniejsze wyniki
 - nowe obserwatoria w Chile i Hiszpanii
 - kierunki rozwoju
- Sieć teleskopów-robotów GLORIA

Błyski gamma

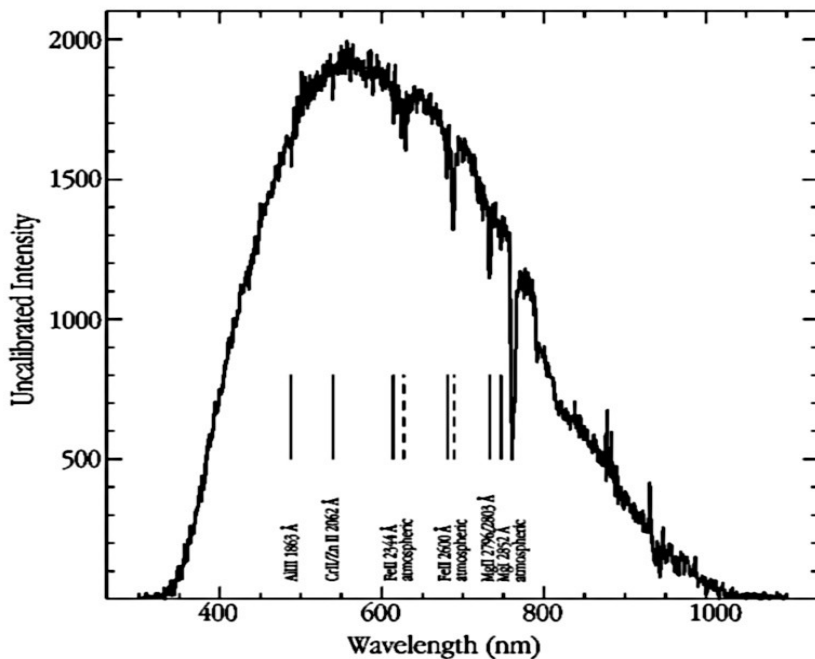


- Gamma Ray Bursts (GRB)
krótkie (<1000 s), silne, nie powtarzające się
rozbłyski promieniowania γ pochodzące z
punktowych źródeł na niebie
- Obserwowane w bardzo szerokim zakresie
widma, od fal radiowych do fotonów \sim GeV
- Odkryte w 1967 roku przez amerykańskie
satelity szpiegowskie Vela
 - pierwsza publikacja w roku 1973

Błyski gamma



- Błyski gamma dochodzą z odległości kosmologicznych
 - Najdalszy błysk: GRB090423 ($z=8.2$, $r=13.1\text{Gly}$)



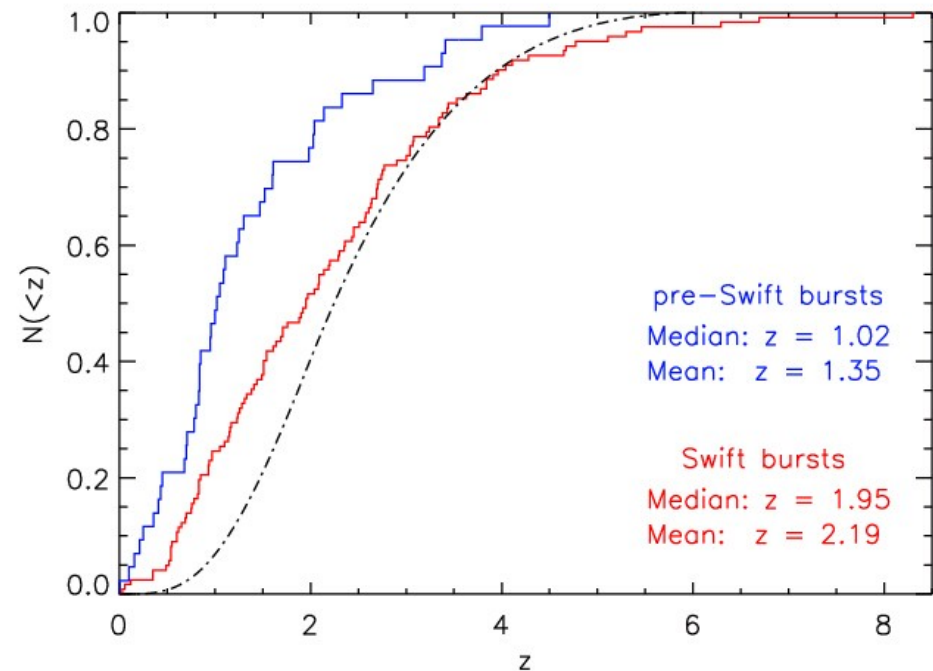
Spectrum of GRB 990510 Afterglow
(VLT/ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 22f/99 (18 May 1999)

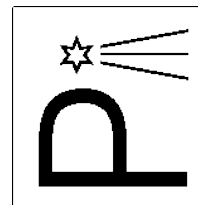
© European Southern Observatory



P. Jakobsson *et al.*, updated August 2010

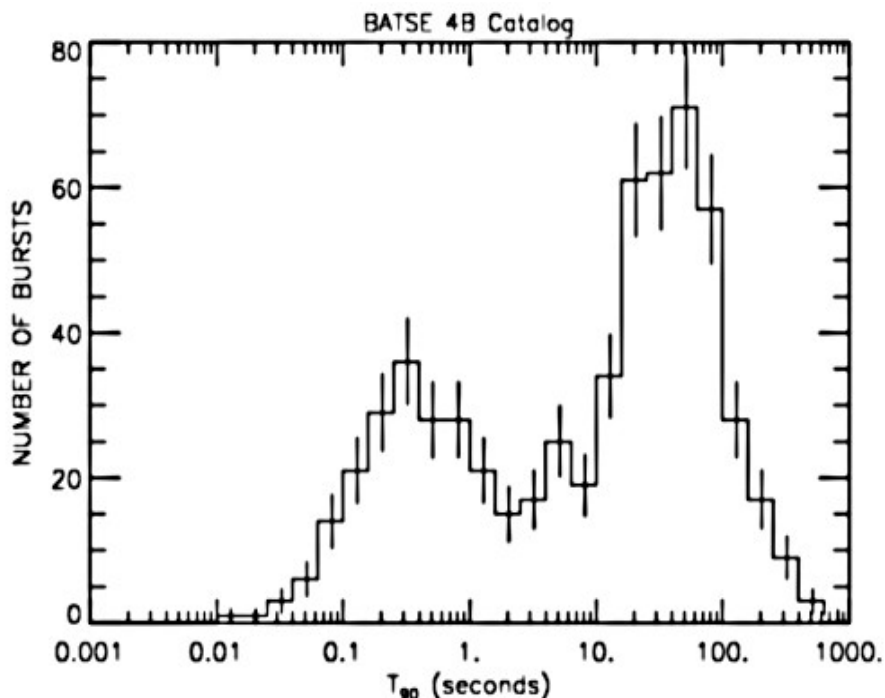


Błyski gamma



- Dwie klasy błysków

Twardość widma (stosunek liczby zliczeń w przedziale energii 300-100keV do liczby zliczeń w przedziale energii 25-100keV) vs czas błysku



T_{90} – czas w którym rejestrowane od 5% do 95% zliczeń

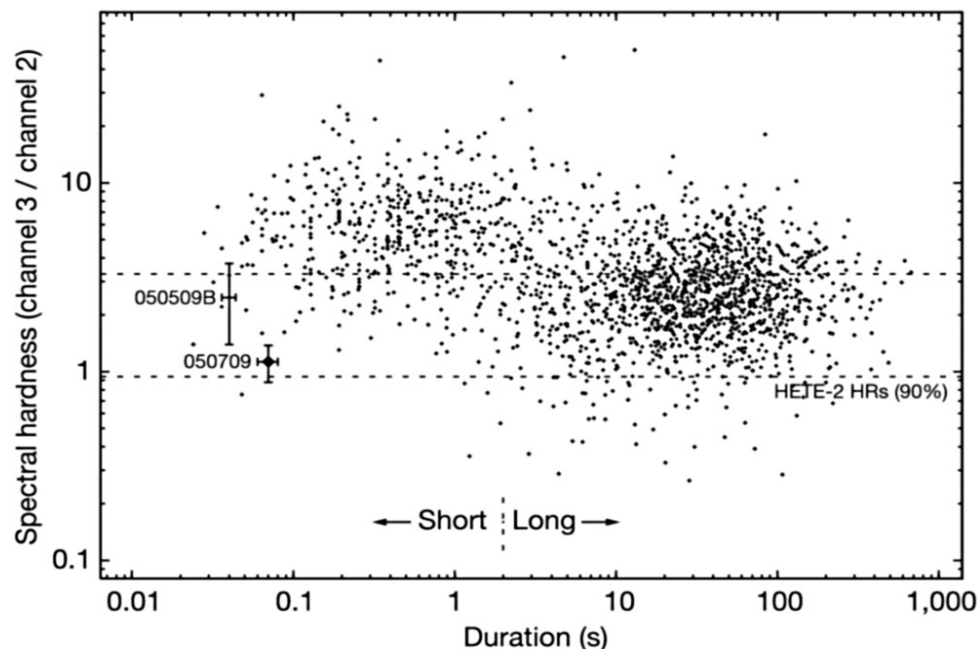
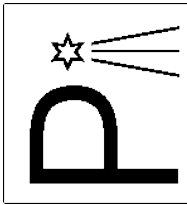


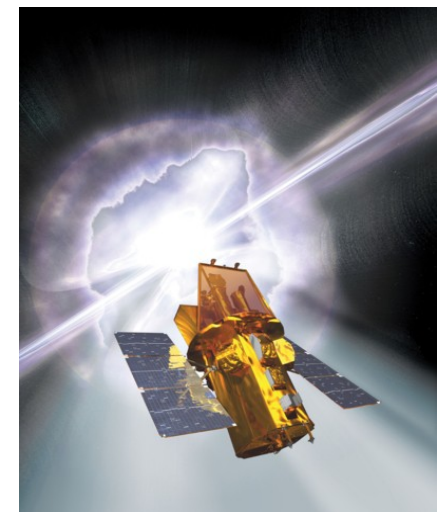
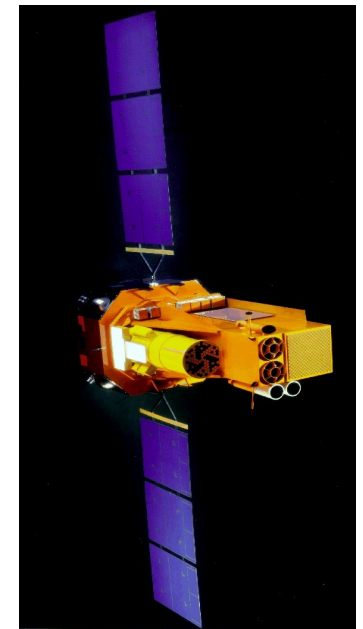
Figure 1 | The classic BATSE duration-spectral hardness diagram¹.

krótkie błyski: <2s, twarde widmo zderzenie dwóch gwiazd neutronowych
długie błyski: >2s, miękkie widmo zapaść hipernowej do czarnej dziury

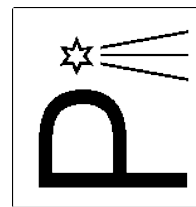
Błyski gamma



- Obecnie GRB wyszukiwane przez satelity
 - Integral (2002)
pole widzenia $30^\circ \times 30^\circ$, 3 keV – 10MeV
 - SWIFT (2004)
pole widzenia 1.5 sr, 0.1-150 keV
 - FERMI (2008)
pole widzenia 2 sr, 10 keV-300 GeV
- Informacja z satelitów automatycznie rozsyłana do obserwatoriów –
GRB Coordinate Network **GCN**

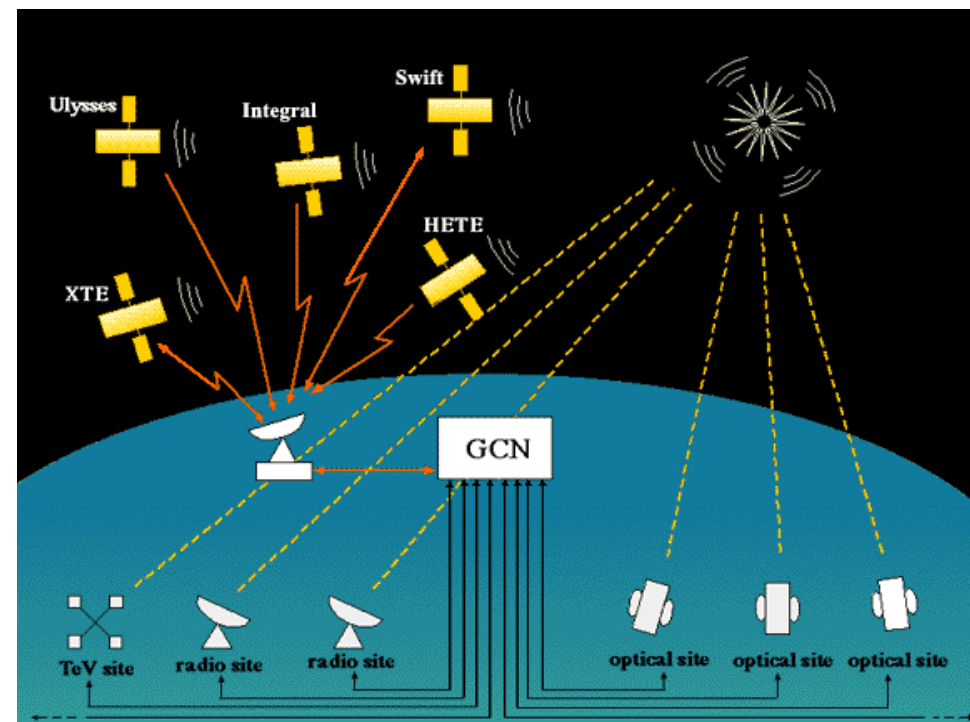


Błyski gamma

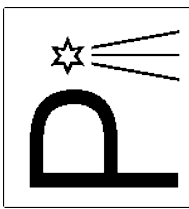


- Strategia pomiarów (w odpowiedzi na alert GCN)
 - szybkie zrobotyzowane teleskopy poszukują poświaty optycznej – dokładna pozycja
 - duże teleskopy dokonują dalszych pomiarów

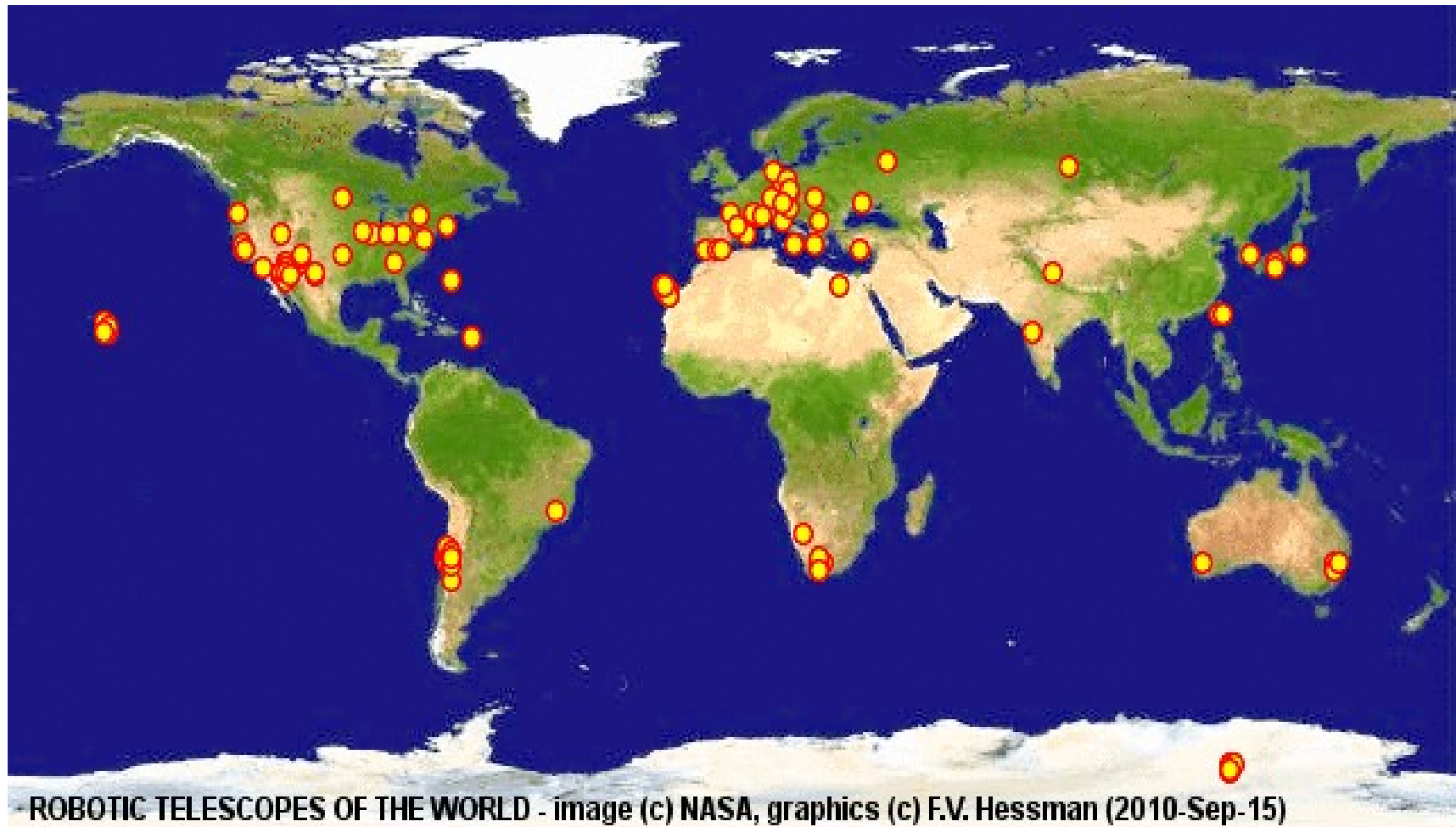
- Opóźnienie obserwacji
 - przetwarzanie i transmisja informacji z satelitów
 - czas dojazdu do pozycji GRB



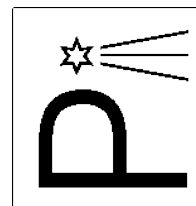
Błyski gamma



- Na świecie jest ponad 150 zrobotyzowanych teleskopów, ponad 30 reaguje na alerty GCN



Błyski gamma

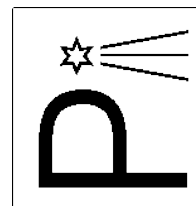


- Mimo to tylko w pojedynczych przypadkach udało się zaobserwować właściwy błysk w zakresie optycznym
 - czas dojazdu < czasu trwania błysku

| Telescope | GRB | T90 (s) | Δ Opt (s) | Peak mag. | Δ Peak (s) | Ref. |
|-------------|---------|---------|------------------|-----------|-------------------|----------|
| ROTSE-I | 990123 | 63 | 22 | 8.95 | 29 | GCN 205 |
| ROTSE-IIIb | 041219A | 520 | 74 | 14.9 | 2880 | GCN 2868 |
| Watcher | 060526 | 275.2 | 36 | 15.5 | 112 | GCN 5165 |
| PROMPT | 060607A | 100 | 40 | 14.5 | 140 | GCN 5236 |
| Watcher | 060904B | 172 | 62 | 17.1 | 507 | GCN 5510 |
| TORTORA, Pi | 080319B | 50 | 0 | 5.3 | 23 | GCN 7502 |
| Watcher | 080905B | 128 | 43 | 15.8 | 75 | GCN 8207 |

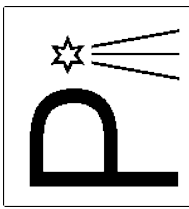
Highlight Results from the Watcher Robotic Telescope, S. Meehan et al.
Second Workshop on Robotic Autonomous Observatories, Malaga 2011

Pi of the Sky



- Projekt powstał z inspiracji prof. B. Paczyńskiego
 - Proponowana nowa strategia pomiarów
 - ciągła obserwacja optyczna dużego obszaru nieba
 - obserwacja miejsca błysku jeszcze przed błyskiem
 - duża rozdzielczość czasowa
 - porównywalna z czasem trwania błysku
 - własny algorytm rozpoznawania błysków “on-line”
 - identyfikacja niezależna od satelitów
- podjęcie wzorowane na fizyce cząstek elementarnych

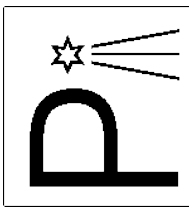
Pi of the Sky



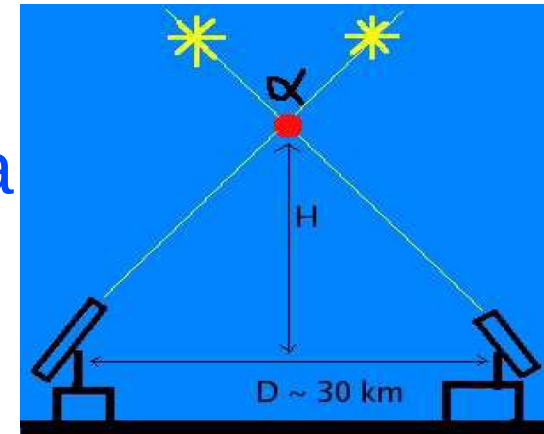
- Zespół:
 - Narodowe Centrum Badań Jądrowych
dawniej Instytut Problemów Jądrowych (G.Wrochna)
 - Centrum Fizyki Teoretycznej PAN (L.Mankiewicz)
 - Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego,
Instytut Fizyki Doświadczalnej (A.F.Żarnecki)
życzliwe wsparcie Obserwatorium Astronomicznego UW
 - Wydziały Fizyki i Elektroniki PW
 - Centrum Badań Kosmicznych PAN

Współpraca: firma Creotech

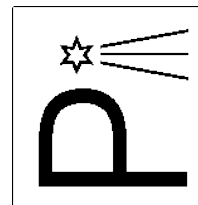
Pi of the Sky



- Koncepcja detektora
 - wykorzystanie komercyjnych obiektywów fotograficznych
⇒ duże pole widzenia, umiarkowane koszty
 - czułe CCD + niskoszumowa elektronika
⇒ zasięg + rozdzielczość czasowa $\sim 10s$
 - **2 zestawy** po 16 kamer monitorują $\sim 2sr$
⇒ duża szansa, że błysk w polu widzenia
⇒ **paralaksa**: odrzucanie tła od satelitów
 - dedykowany montaż paralaktyczny
⇒ szybki „dojazd” do błysku, precyzyjne śledzenie
 - niezawodność i w pełni autonomiczna praca
⇒ system powinien działać bez udziału człowieka



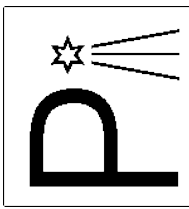
Pi of the Sky



Program badawczy:

- Poszukiwanie błysków optycznych z GRB
- Badanie innych zmiennych zjawisk na niebie:
 - poszukiwanie wybuchów nowych i supernowych, gwiazd rozbłyskowych
 - identyfikacja, pomiar parametrów i katalogowanie gwiazd zmiennych o krótkich okresach zmienności
 - monitorowanie interesujących obiektów, także wskazywanych przez inne grupy (obserwacje „na życzenie”)
 - wyszukiwanie i katalogowanie „śmieci kosmicznych”

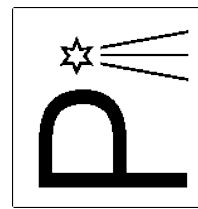
Prototyp



- Las Campanas Observatory w Chile 2004 - 2009



Pi of the Sky

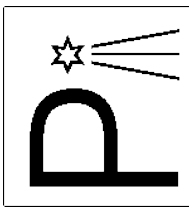


Prototyp zainstalowany w VI 2004
nowe obiektywy od VI 2006

- 2 kamery CCD 2000×2000 pikseli
- obiektywy Canon f=85mm, d=f /1.2
- wspólne pole widzenia $20^\circ \times 20^\circ$
- 10 s ekspozycje, zasięg $\sim 11^m$
do 13^m na sumach po 20 zdjęć
- w pełni autonomiczna praca
także diagnostyka, wykrywanie i
naprawianie znanych problemów
- nadzór przez internet

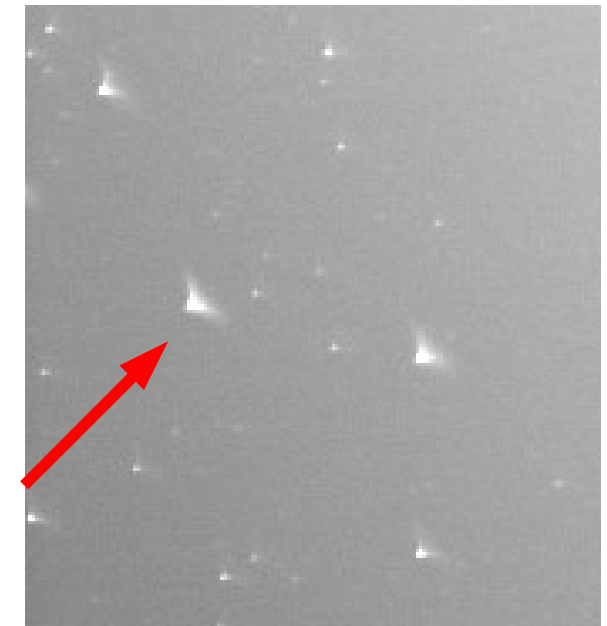
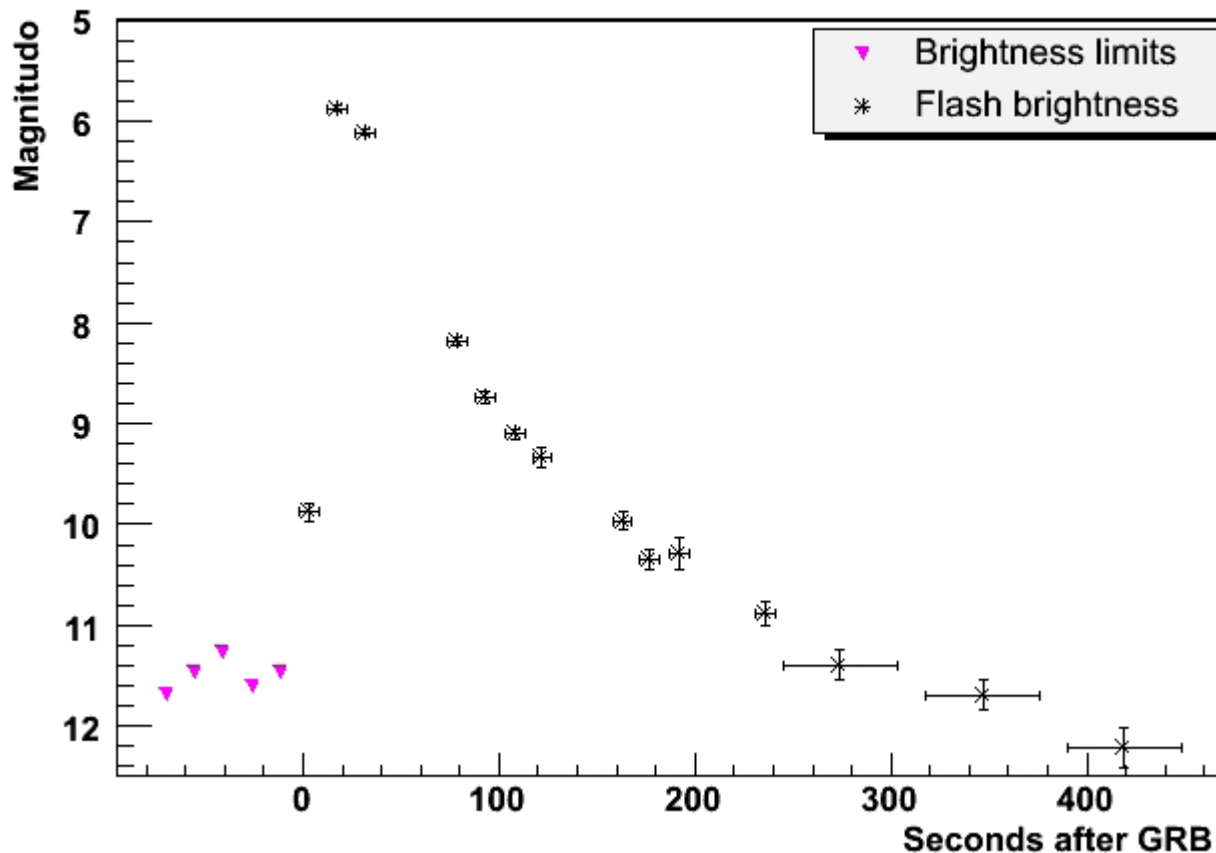


GRB080319B

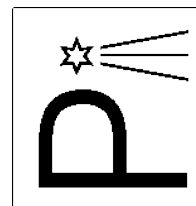


- Najjaśniejszy optycznie zaobserwowany GRB
 - najwcześniejsza obserwacja optyczna z „Pi of the Sky”

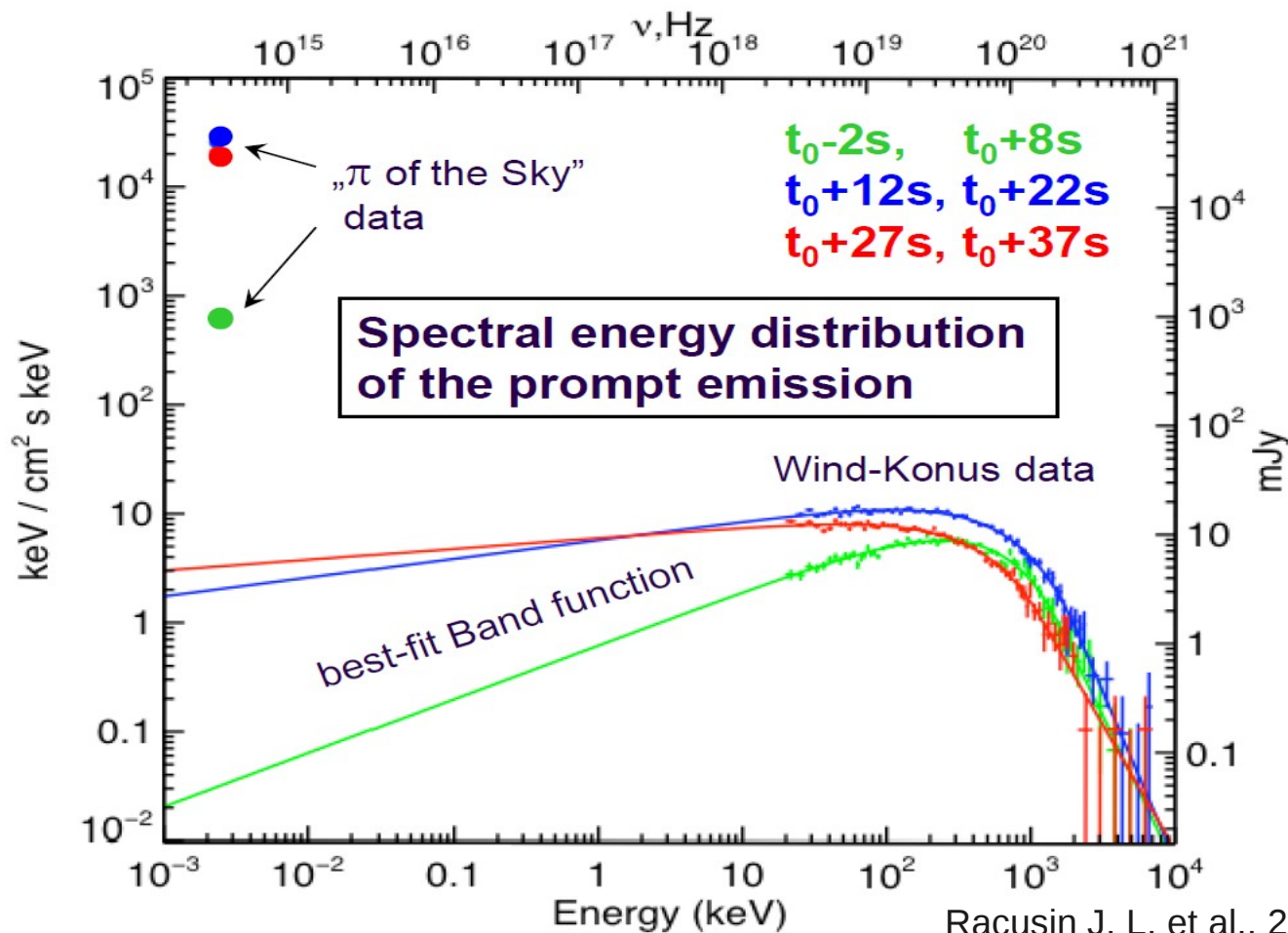
"Pi of the Sky" observation of GRB 080319B



GRB080319B

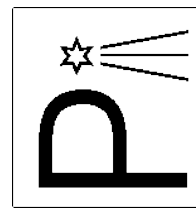


- Strumień optyczny $\sim 10^4$ powyżej oczekiwanego
→ dwa różne mechanizmy generacji promieniowania



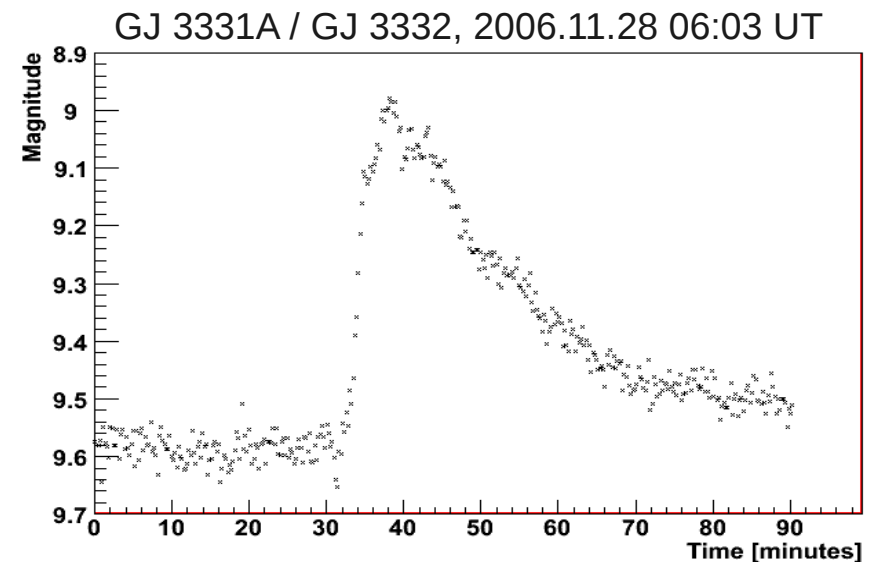
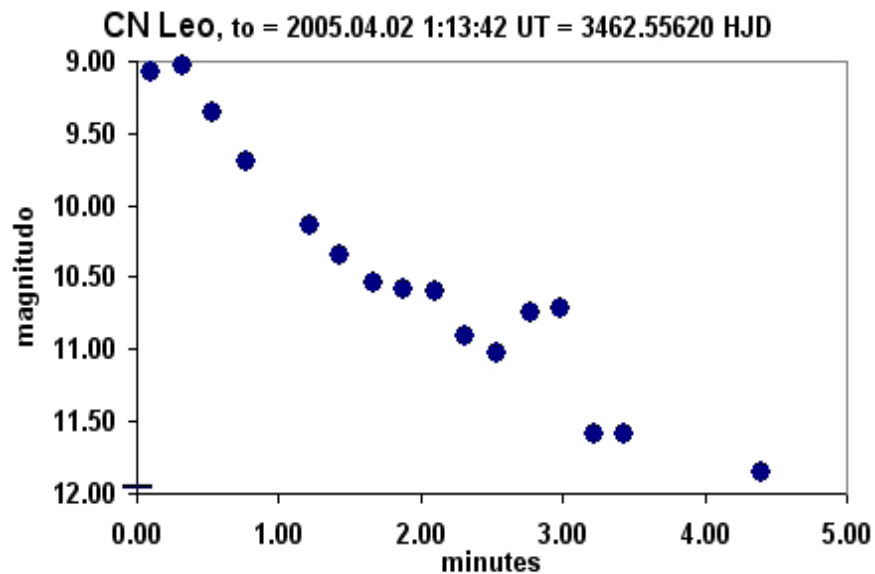
Racusin J. L. et al., 2008, Nature 455, 183

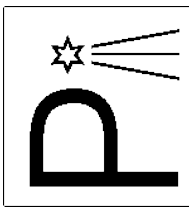
Pi of the Sky



Inne przykłady automatycznie wykrytych błysków

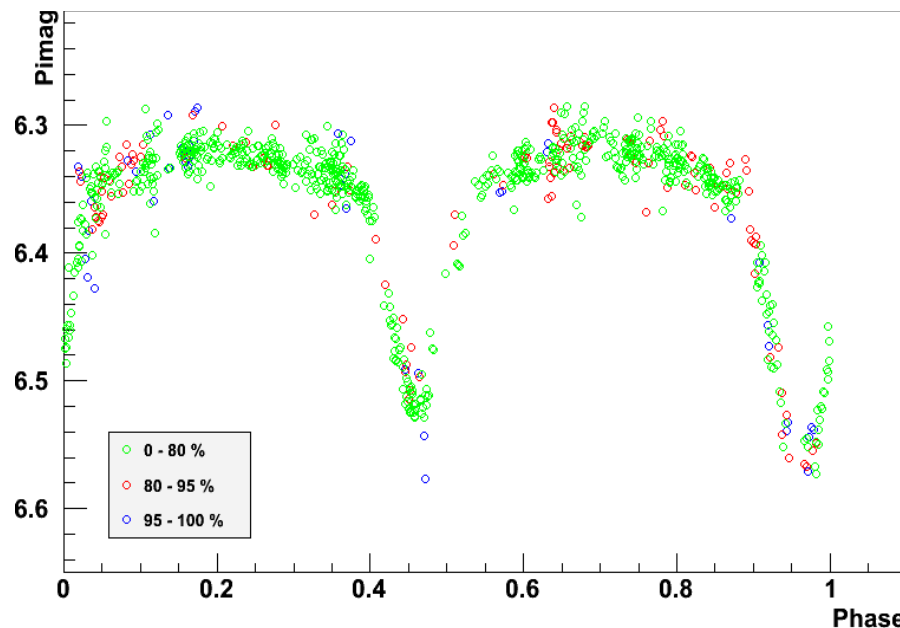
- rozbłysk gwiazdy rozbłyskowej V*CN Leo
 - pojaśnienie od 13.5m do 9m
- rozbłysk gwiazdy rozbłyskowej GJ3331A/GJ3332





Pi of the Sky

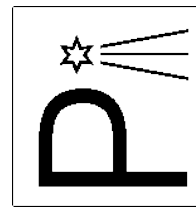
- Pomiar jasności gwiazd zgromadzone są w dedykowanej bazie danych (2 mld. pomiarów!)
- Specjalne algorytmy wyszukują gwiazdy zmienne i wyznaczają okresy zmienności
 - Klasyfikacja – tzw. sieci neuralne
- Poprawki i kryteria selekcji najlepszych pomiarów



krzywa blasku BG Ind

M. Rozycka et al. MNRAS 414 (2011) 2479

Pi of the Sky



- Wszystkie zebrane dane są publicznie dostępne
<http://grb.fuw.edu.pl/pi/databases>

- Baza 2006 - 2009
 - $16.7 \cdot 10^6$ obiektów
 - $2.16 \cdot 10^9$ pomiarów

Go to another database ▾ Pi Stars Browser Database: Full database 2006-2009 (# of objects > 10.0 mln)

Superstar id: Show

% - replaces any string
* - replaces one character
 search for superstar table
 search for stars table

Searching:

| | | | | | |
|---|-----------------|--|-----|---------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Ra | min | <input type="text" value="00:00:00"/> | max | <input type="text" value="24:00:00"/> | ? |
| <input type="checkbox"/> Dec | min | <input type="text" value="-90:00:00"/> | max | <input type="text" value="90:00:00"/> | ? |
| <input type="checkbox"/> Search around | Ra | <input type="text" value="12:00:00"/> | Dec | <input type="text" value="00:00:00"/> | ? |
| | radius [arcsec] | <input type="text" value="1"/> | | | ? |
| <input type="checkbox"/> Magnitude | min | <input type="text" value="0"/> | max | <input type="text" value="15"/> | ? |
| <input type="checkbox"/> Error [mag] | min | <input type="text" value="0"/> | max | <input type="text" value="1"/> | ? |
| <input type="checkbox"/> No. observations | min | <input type="text" value="80"/> | max | <input type="text" value="1000000"/> | ? |
| <input type="checkbox"/> Amplitude [mag] | min | <input type="text" value="0"/> | max | <input type="text" value="100"/> | ? |
| <input type="checkbox"/> Period [days] | min | <input type="text" value="0"/> | max | <input type="text" value="100"/> | ? |
| <input type="checkbox"/> + Advanced search options | | | | | ? |
| <input type="checkbox"/> + Advanced result pack options | | | | | ? |
| | | | | | ? |

List stars Show map Count stars Get Results Pack

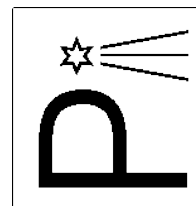
<< previous page Sort by: magnitude ▾ Stars per page: 100 ▾ next page >>

Nowe obserwatoria

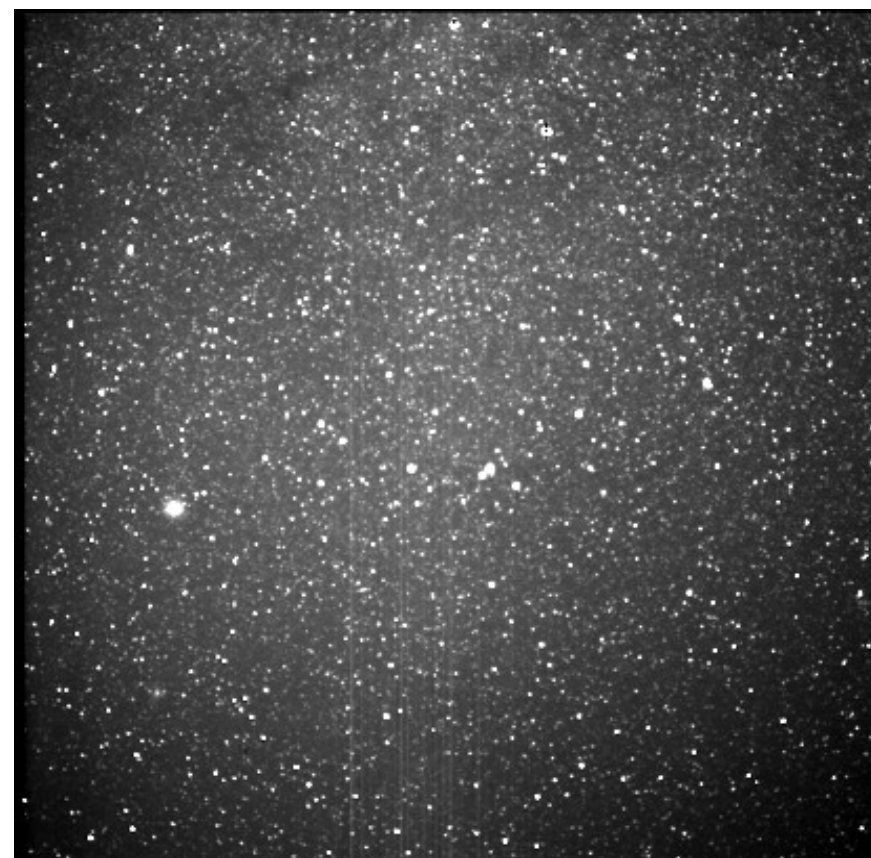
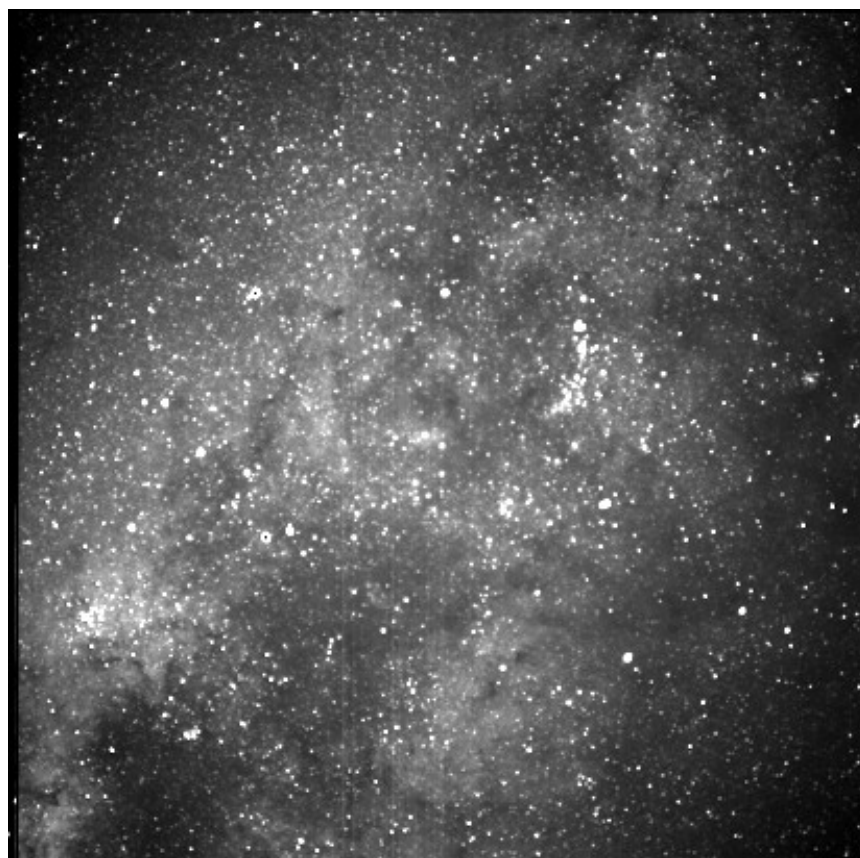
- San Pedro de Atacama, Chile
 - nowa lokalizacja prototypu
 - Instalacja: marzec 2011



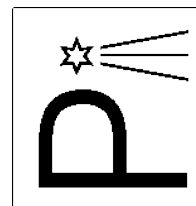
Nowe obserwatoria



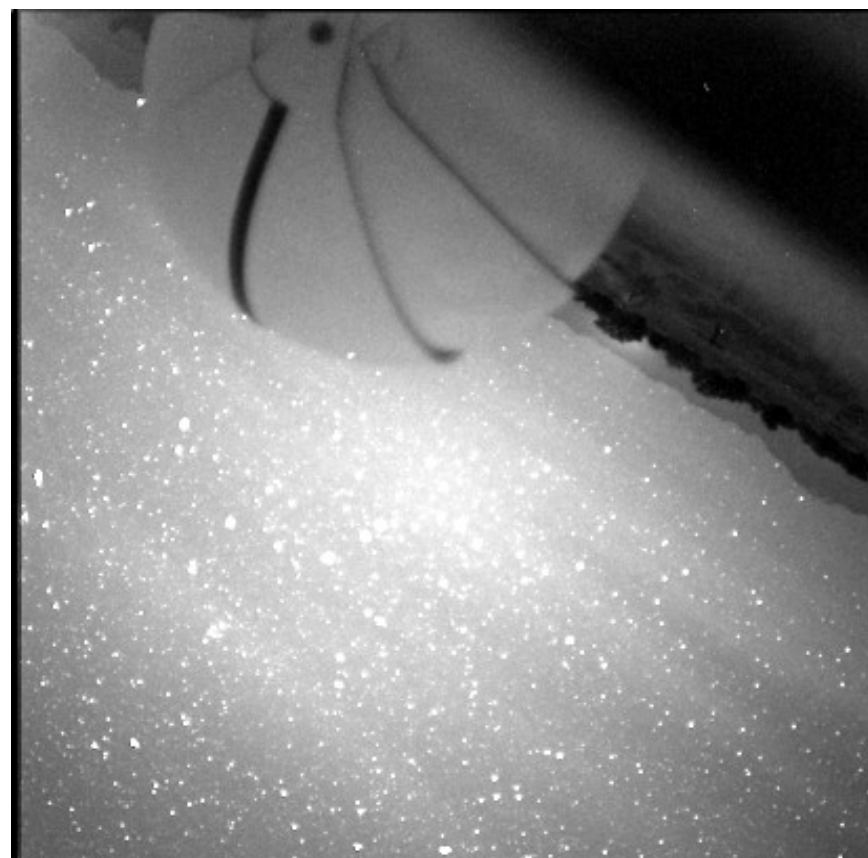
- San Pedro de Atacama (SPdA), Chile
 - pierwsze zdjęcia 25 marca 2011



Nowe obserwatoria



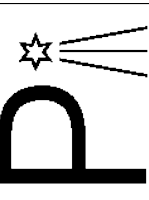
- San Pedro de Atacama (SPdA), Chile
 - pierwsze zdjęcia 25 marca 2011



Pi of the Sky i ISS



Nowe obserwatoria

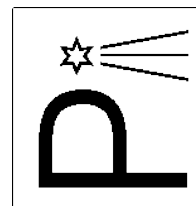


Stacja badawcza INTA koło Huelva, Hiszpania

- pierwszy detektor docelowego systemu
- Instalacja: październik 2010



Nowe obserwatoria

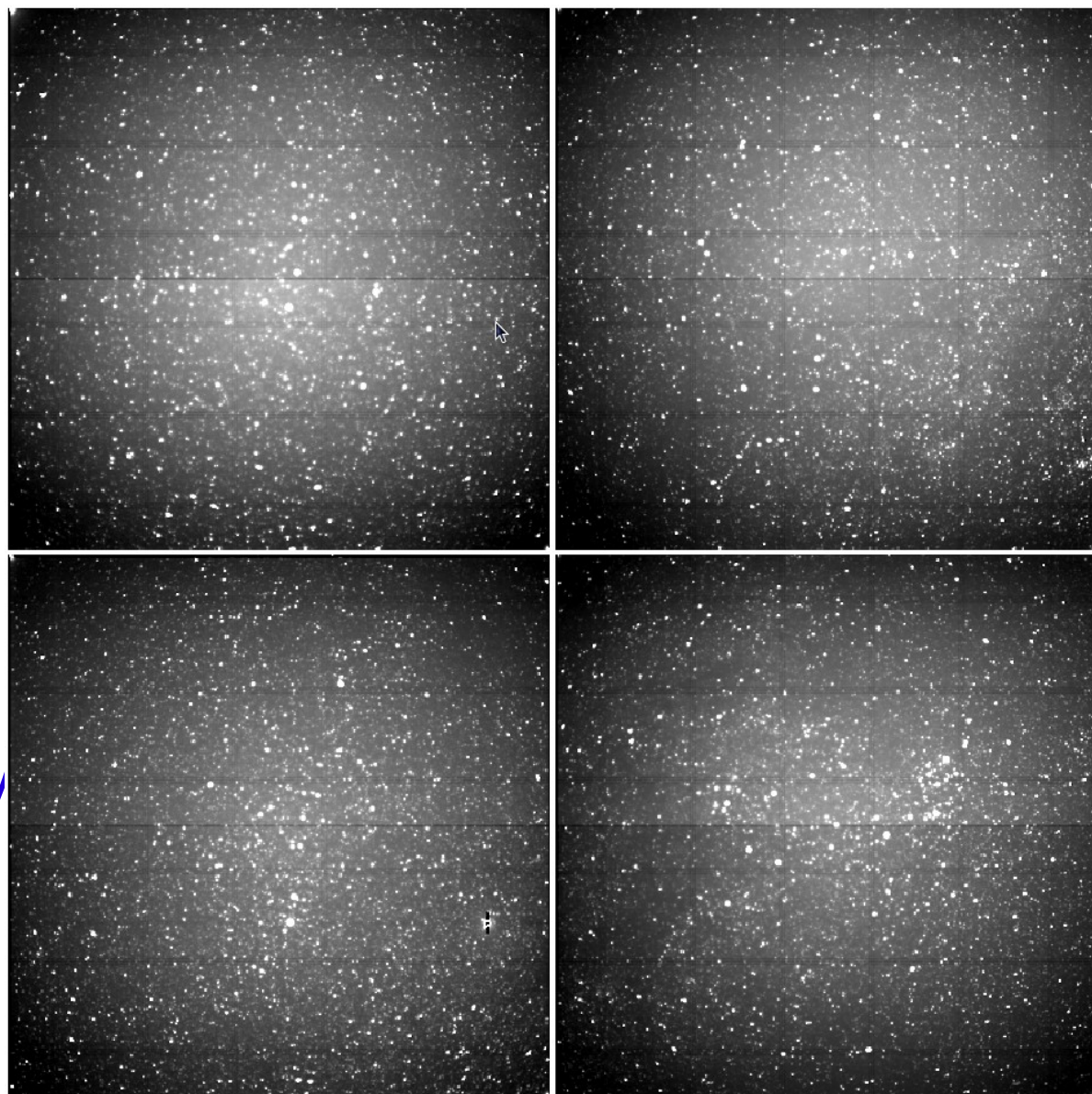


- INTA, Hiszpania

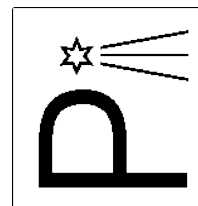
Każdy detektor to 4 kamery CCD, które obserwują sąsiednie obszary nieba, łącznie ok. $40^\circ \times 40^\circ$

Docelowo chcemy zainstalować 6 takich detektorów - 24 kamery

System w pełni autonomiczny



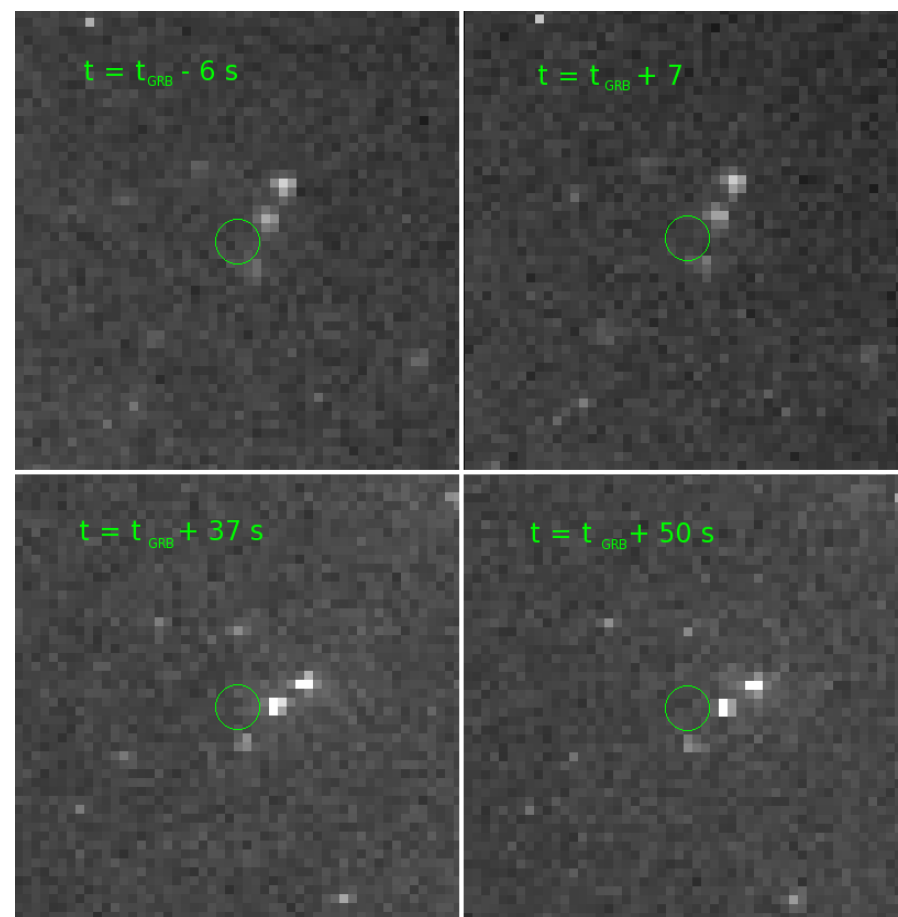
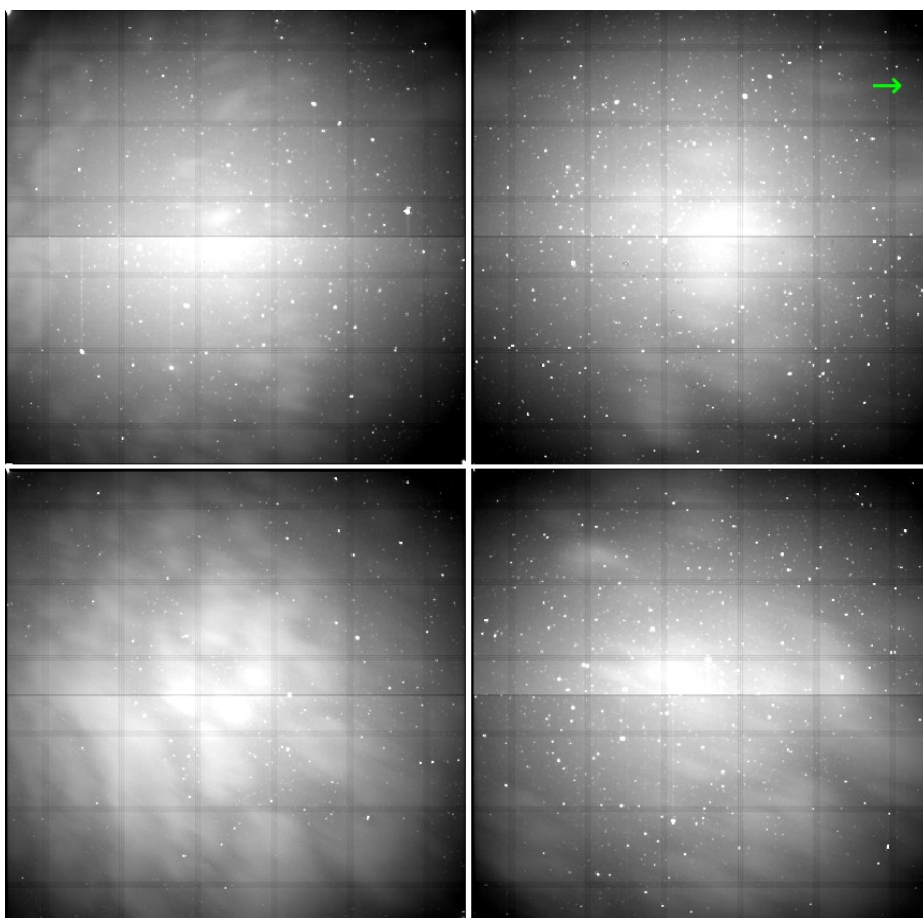
Nowe obserwatoria



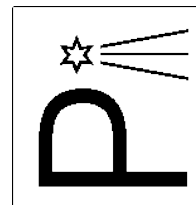
- GRB110402A w polu widzenia teleskopu w INTA

Pełne pole obserwacji

Wycinki kolejnych zdjęć



Nowe obserwatoria

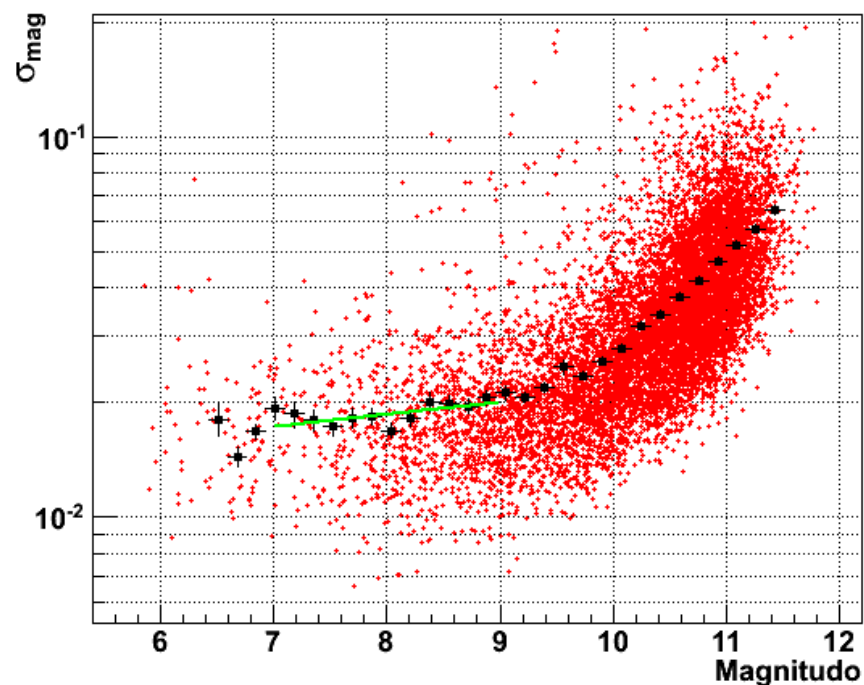


- Porównanie dokładności fotometrii (20x10s)

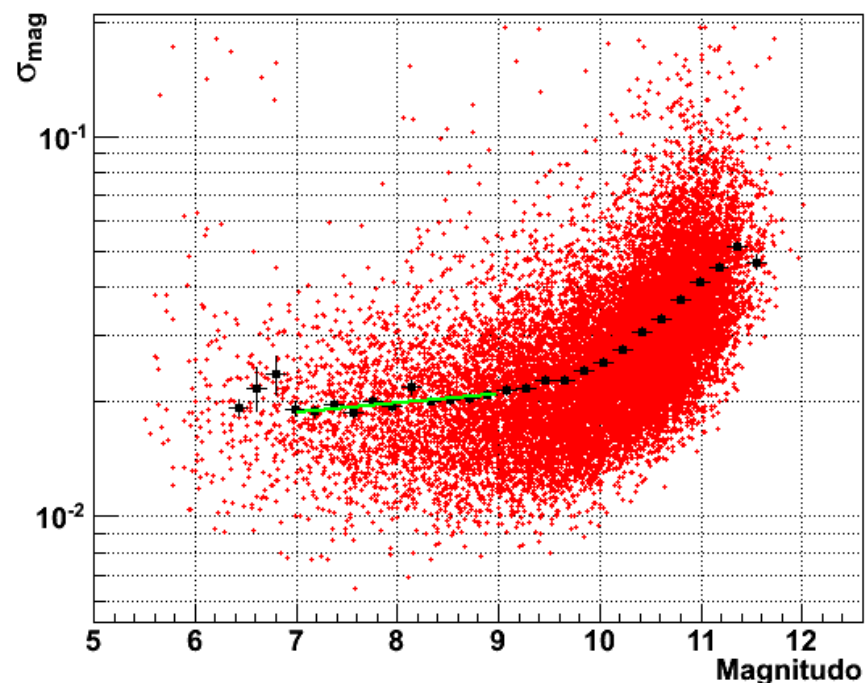
Prototyp w LCO (2009)

Nowy detektor w INTA (2011)

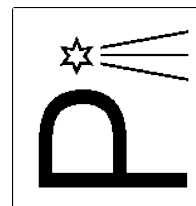
LCO



INTA



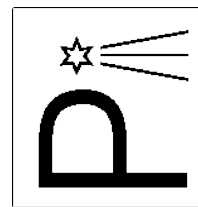
Nowe obserwatoria



- Kolejne sześć detektorów czeka na instalację
- Zamierzamy zainstalować dodatkowe detektory w INTA (A) konieczna budowa platformy
- Kolejne detektory będą umieszczone w stacji badawczej CSIC koło Malagi (B)

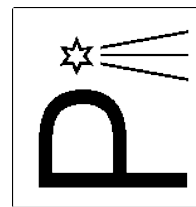


Plany na przyszłość



- Dalszy rozwój kamer CCD konsorcjum z firmą Creotech
 - sensory z szybkim odczytem (frame transfer CCD)
 - rozważamy też układy EMCCD umożliwiające wykonywanie bardzo krótkich ekspozycji
 - “inteligentne” kamery wyposażone w procesor, pamięć i pracujące pod systemem Linux
 - dodatkowa pamięć i procesory DSP umożliwiają wstępną obróbkę danych w kamerze
 - szybki transfer danych
 - precyzyjny pomiar czasu (1ms)

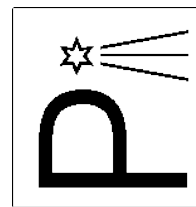
Plany na przyszłość



- Budowa nowego detektora, prawdopodobnie w Chile
 - nowa optyka ($d=20$ cm) → zwiększenie zasięgu
 - szybkie kamery (minimum 3 fps)
 - szybki montaż (dojazd do błysku w ok. 10 s)
- umożliwi to m.in.
- szybką reakcję na alerty GCN oraz błyski wykrywane przez Pi of the Sky
 - lepsze wykrywanie i śledzenie satelitów oraz „śmieci kosmicznych”

Środki przyznane w ramach projektu „IDEAS Plus” MNiSW

Plany na przyszłość



- Udział w projekcie FP7

<http://robtel.eu>



GLObal **R**obotic telescopes **I**ntelligent **A**rray for e-Science

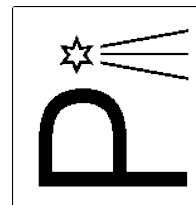
TYPE OF FUNDING SCHEME:

COMBINATION OF COLLABORATIVE PROJECTS AND COORDINATION AND SUPPORT ACTIONS (CP-CSA)

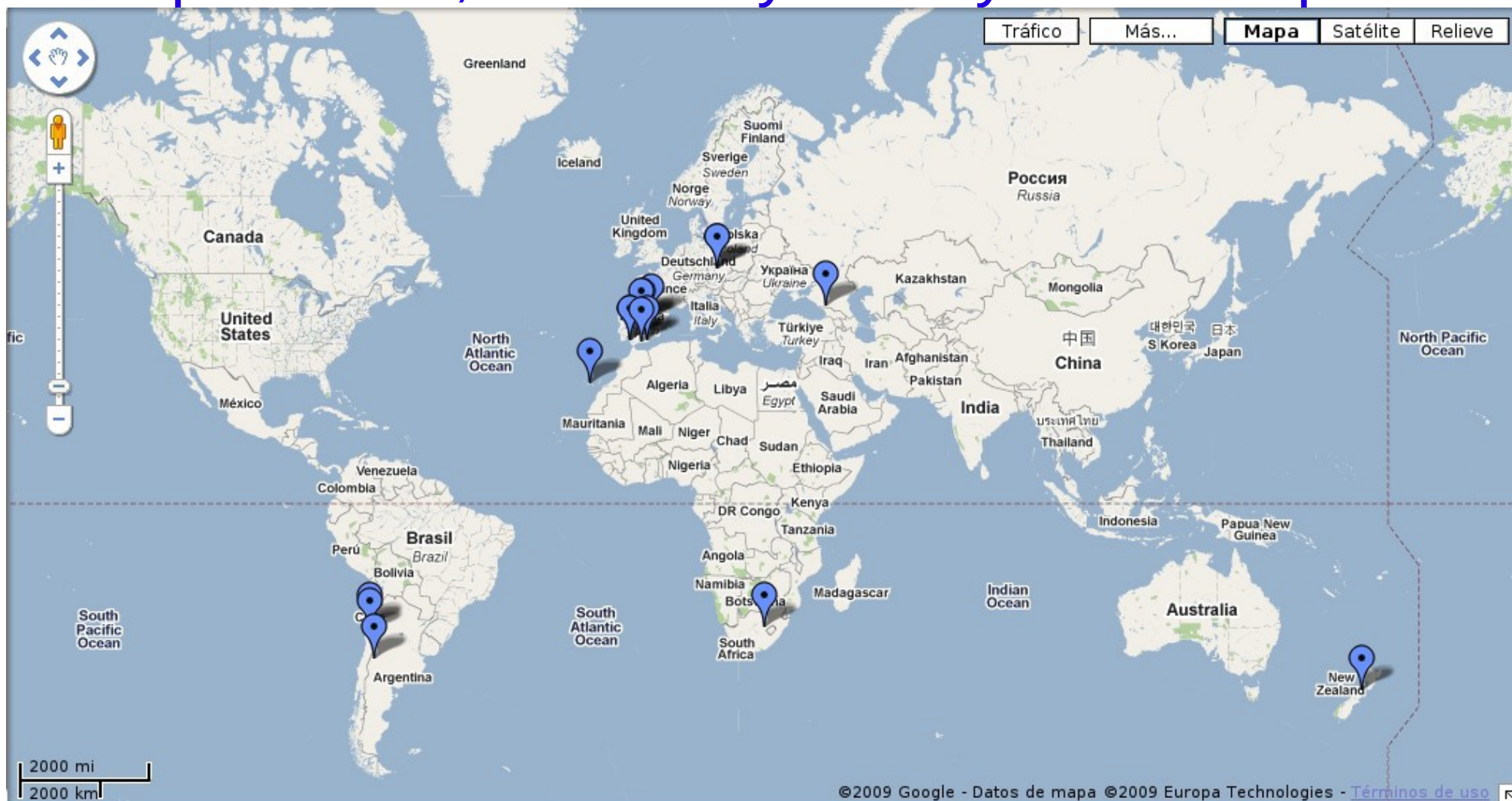
WORK PROGRAMME TOPICS ADDRESSED:

INFRA-2011-1.2.1: e-Science environments

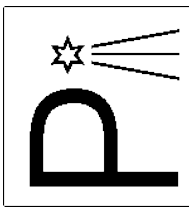
GLORIA



- 13 partnerów, 17 zrobotyzowanych teleskopów

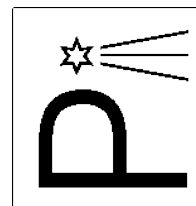


GLORIA



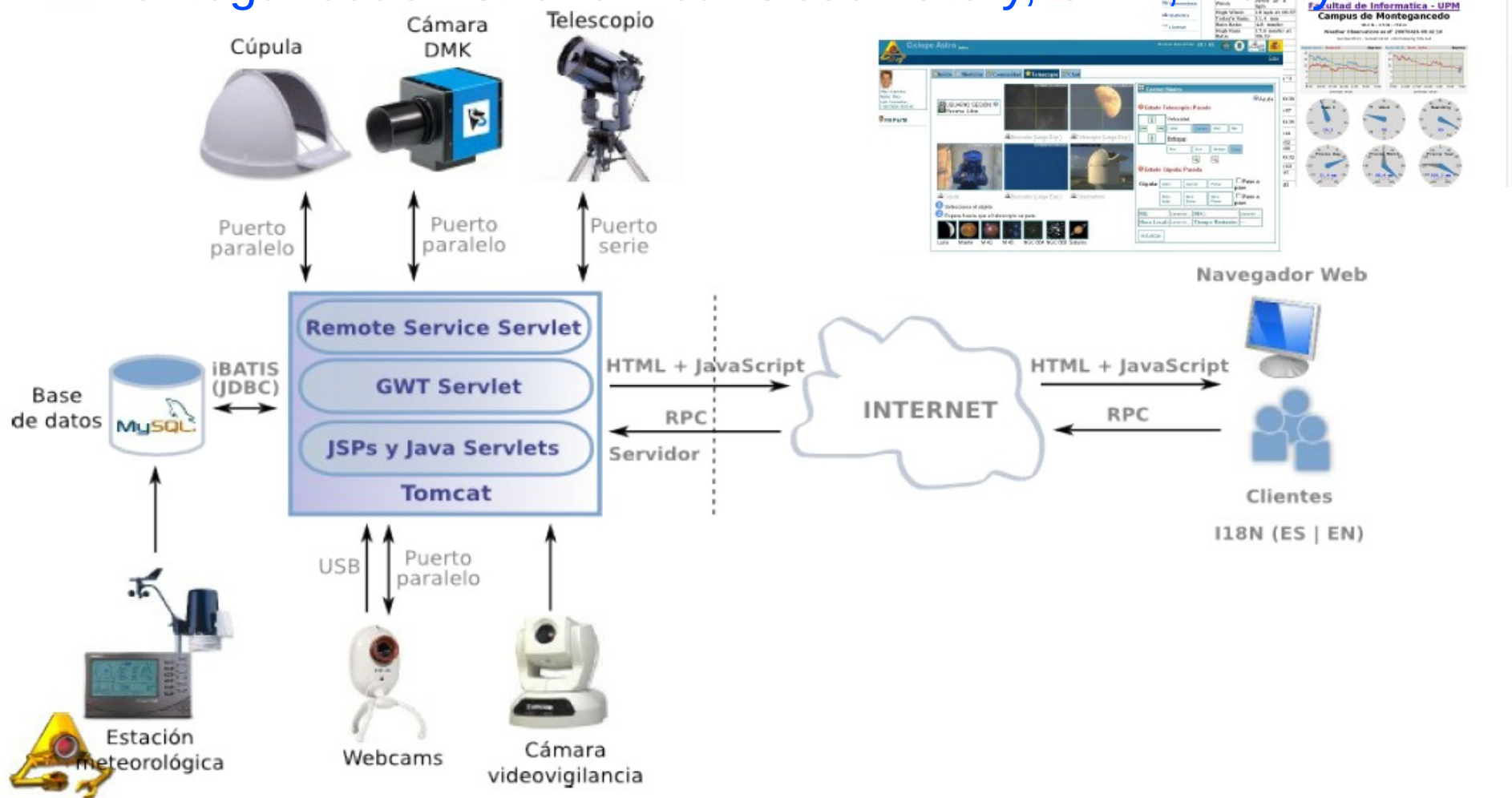
- Cele projektu:
 - stworzenie „społecznościowej”, publicznie dostępnej sieci teleskopów
 - opracowanie standardów i narzędzi (Web 2.0) umożliwiających łatwy dostęp do zasobów sieci (teleskopów i danych)

GLORIA

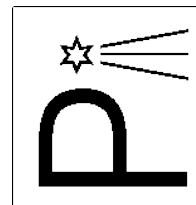


- Podejście wzorowane na projekcie Ciclope

Montegancedo Astronomical Observatory, UPM, Madrid

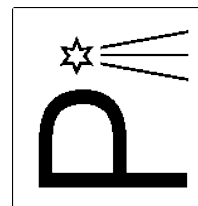


GLORIA

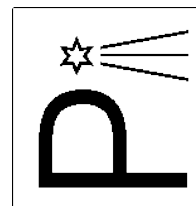


- Cele projektu:
 - stworzenie „społecznościowej”, publicznie dostępnej sieci teleskopów
 - opracowanie standardów i narzędzi (Web 2.0) umożliwiających łatwy dostęp do zasobów sieci (teleskopów i danych)
 - stworzenie platformy do prowadzenia badań: obserwacji „on-line” i analizy „off-line”
nowa jakość: możliwość obserwacji 24/24
 - przygotowanie oprogramowania do pełnej obsługi teleskopów, umożliwiającego ich
włączenie do sieci GLORIA
 - popularyzacja astronomii

Podsumowanie

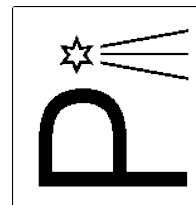


- Po 40 latach od odkrycia GRB wciąż są zagadką
 - roboty „polują” na wczesne błyski optyczne
- Nowe podejście w Pi of the Sky
 - monitorowanie nieba i samodzielne wykrywanie
 - GRB080319B potwierdziło słuszność koncepcji
 - dalszy rozwój infrastruktury w najbliższych latach
- Europejska sieć GLORIA tworzona w ramach FP7
 - inteligentna sieć zrobotyzowanych obserwatoriów
 - otwarty dostęp do danych i czasu obserwacyjnego



Dziękuję za uwagę

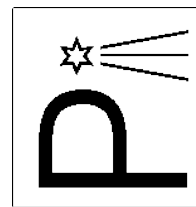
Pi of the Sky



- Statystyka obserwacji błysków GRB

| Obserwatorium | Alerty GRB z sieci GCN | | | | | | |
|--------------------------|------------------------|--------|-------------|------------|--------|----------|-----|
| | w dzień | awaria | zła półkula | pod horyz. | chmury | poza FOV | FOV |
| LCO (2006-2009) | 224 | 65 | 28 | 56 | 12 | 65 | 2 |
| SPdA (od marca 2011) | 20 | 4 | 1 | 2 | 0 | 5 | 0 |
| INTA (od listopada 2010) | 32 | 12 | 2 | 5 | 0 | 10 | 1 |

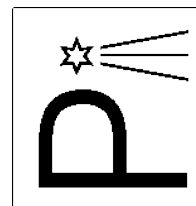
Pi of the Sky



- Kamery są autorską konstrukcją naszego zespołu
 - gotowymi elementami są tylko obiektyw i chip CCD
 - szczególnie istotna: migawka na $\sim 10^7$ otwarć
 - pełna kontrola i transfer danych przez internet

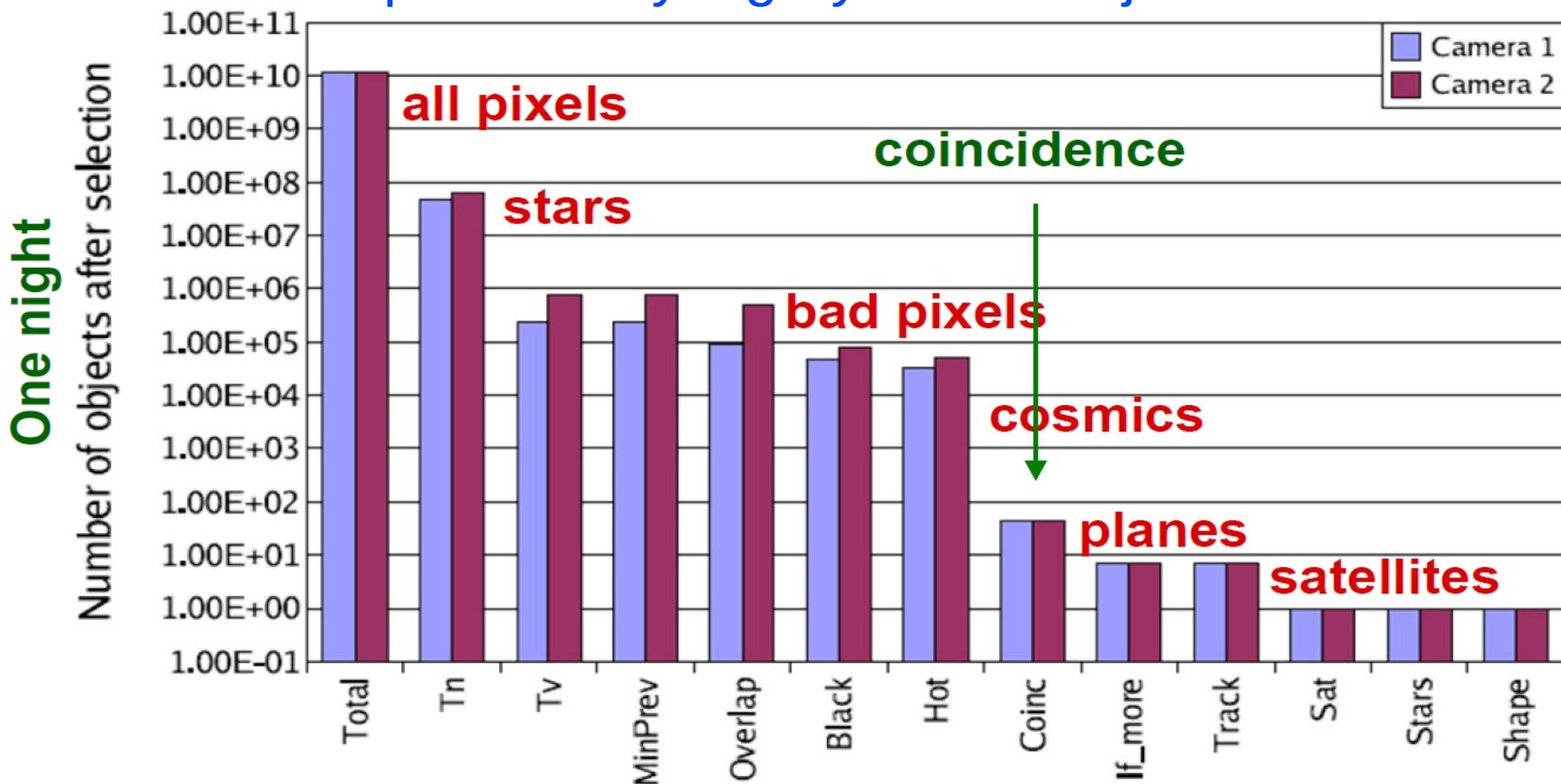


Pi of the Sky

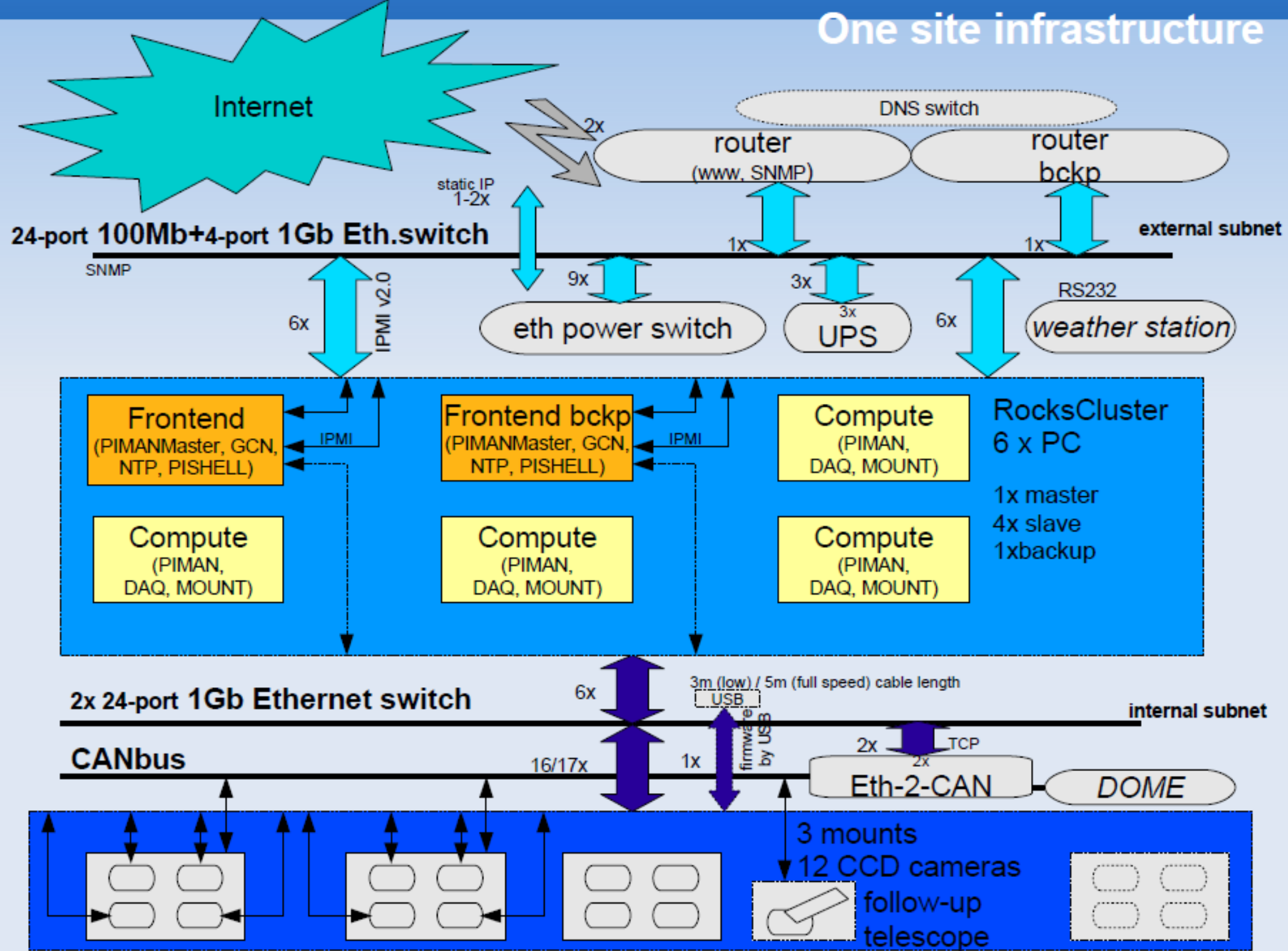


- Identyfikacja błysków:

wielopoziomowy algorytm redukcji tła



One site infrastructure

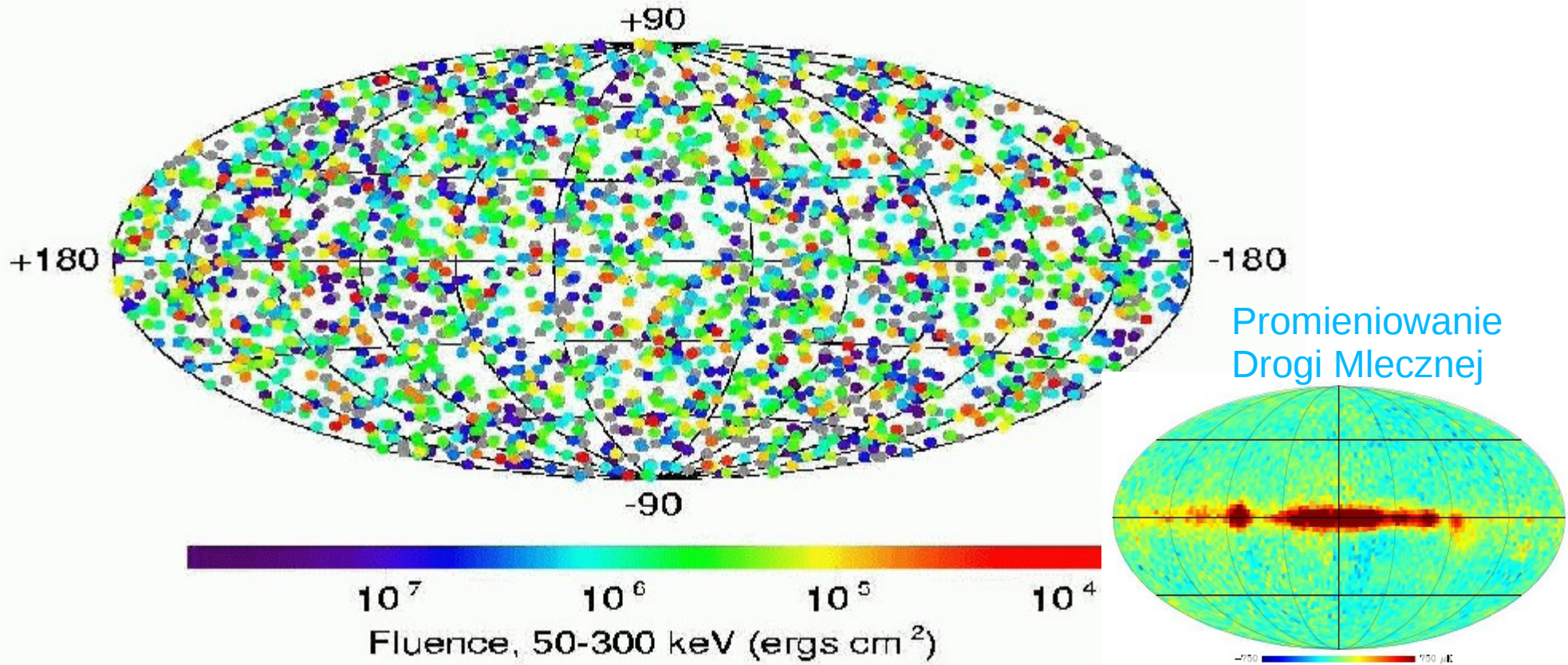


Błyski gamma

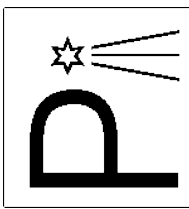


- W roku 1991 wystrzelono satelitę CGRO z instrumentem BATSE (Burst And Transient Source Experiment)

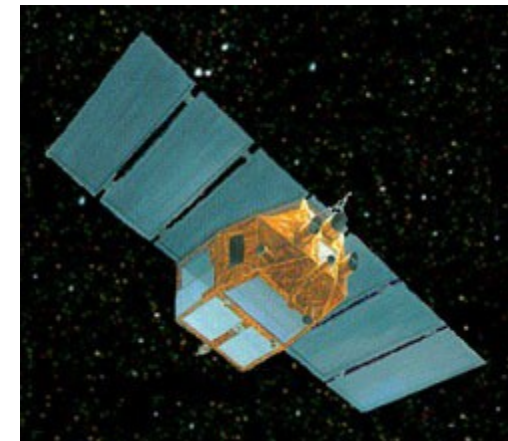
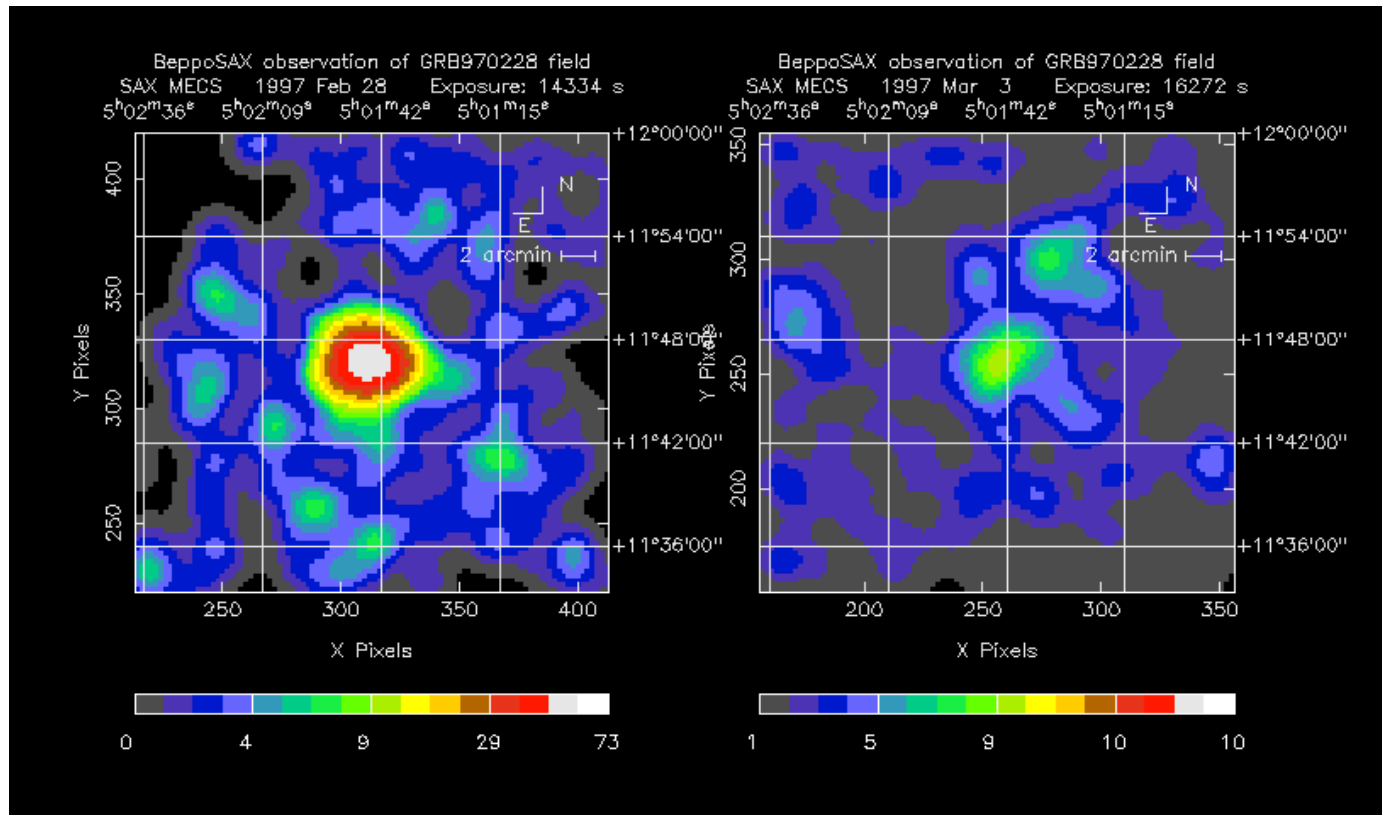
2704 BATSE Gamma-Ray Bursts



Błyski gamma



- W 1997 roku włoski satelita BeppoSAX zarejestrował gasnące źródło promieniowania rentgenowskiego w miejscu GRB970228



→ dokładna pozycja
umożliwiająca
pomiar optyczny

→ pomiar przesunięcia
ku czerwieni