

Pi of the Sky

Aleksander Filip Żarnecki
Warsztaty fizyki i astrofizyki cząstek

Warszawa, 16 października 2009

Plan seminarium

- Błyski gamma
 - krótka historia i podstawowe własności
- Projekt “Pi of the Sky”
 - założenia i konstrukcja
- Aparatura prototypowa
 - weryfikacja koncepcji
- GRB080319B
 - błysk na który czekaliśmy 4 lata...
- Nasz kawałek nieba
 - dlaczego fizycy częściej patrzą w niebo?
- Status projektu i plany na przyszłość

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

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 182:L85-L88, 1973 June 1
© 1973. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

OBSERVATIONS OF GAMMA-RAY BURSTS OF COSMIC ORIGIN

RAY W. KLEBESADEL, IAN B. STRONG, AND ROY A. OLSON

University of California, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico
Received 1973 March 16; revised 1973 April 2

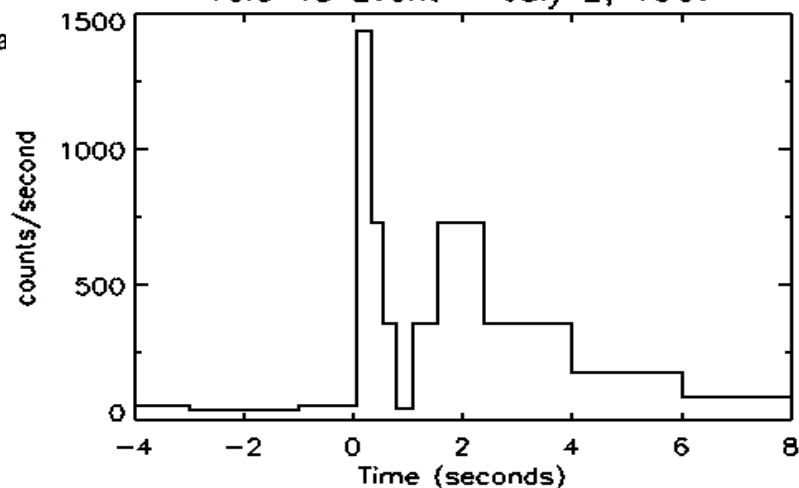
ABSTRACT

Sixteen short bursts of photons in the energy range 0.2–1.5 MeV have been observed between 1969 July and 1972 July using widely separated spacecraft. Burst durations ranged from less than 0.1 s to ~ 30 s, and time-integrated flux densities from $\sim 10^{-5}$ ergs cm^{-2} to $\sim 2 \times 10^{-4}$ ergs cm^{-2} in the energy range given. Significant time structure within bursts was observed. Directional information eliminates the Earth and Sun as sources.

Subject headings: gamma rays — X-rays — variable stars



Vela 4a Event — July 2, 1967

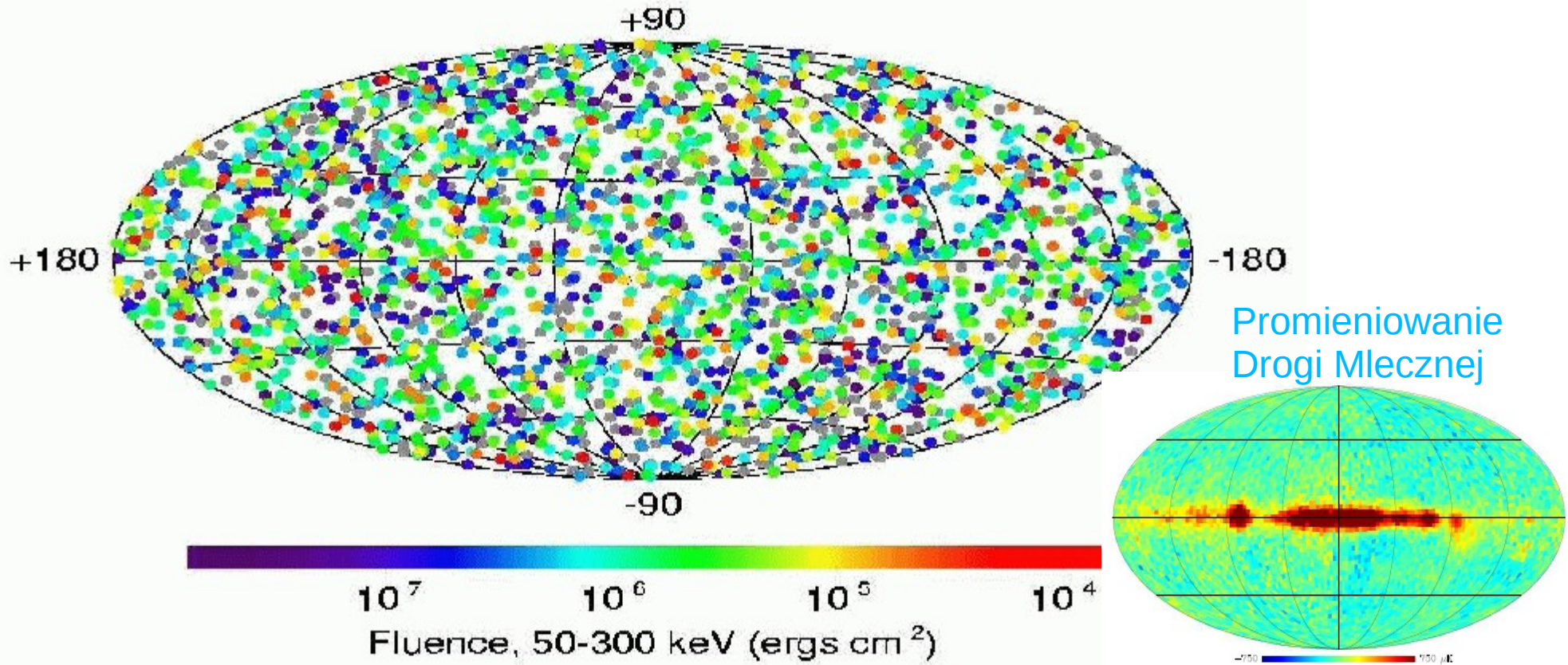


Błycki gamma



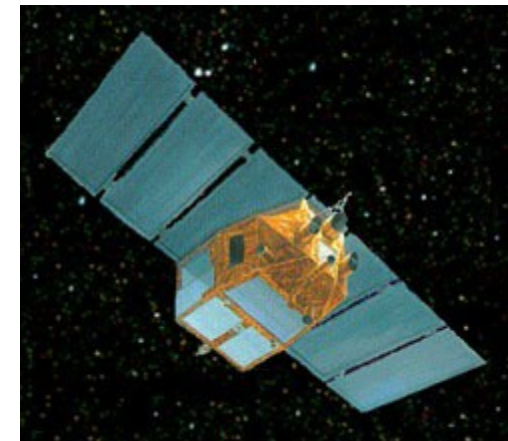
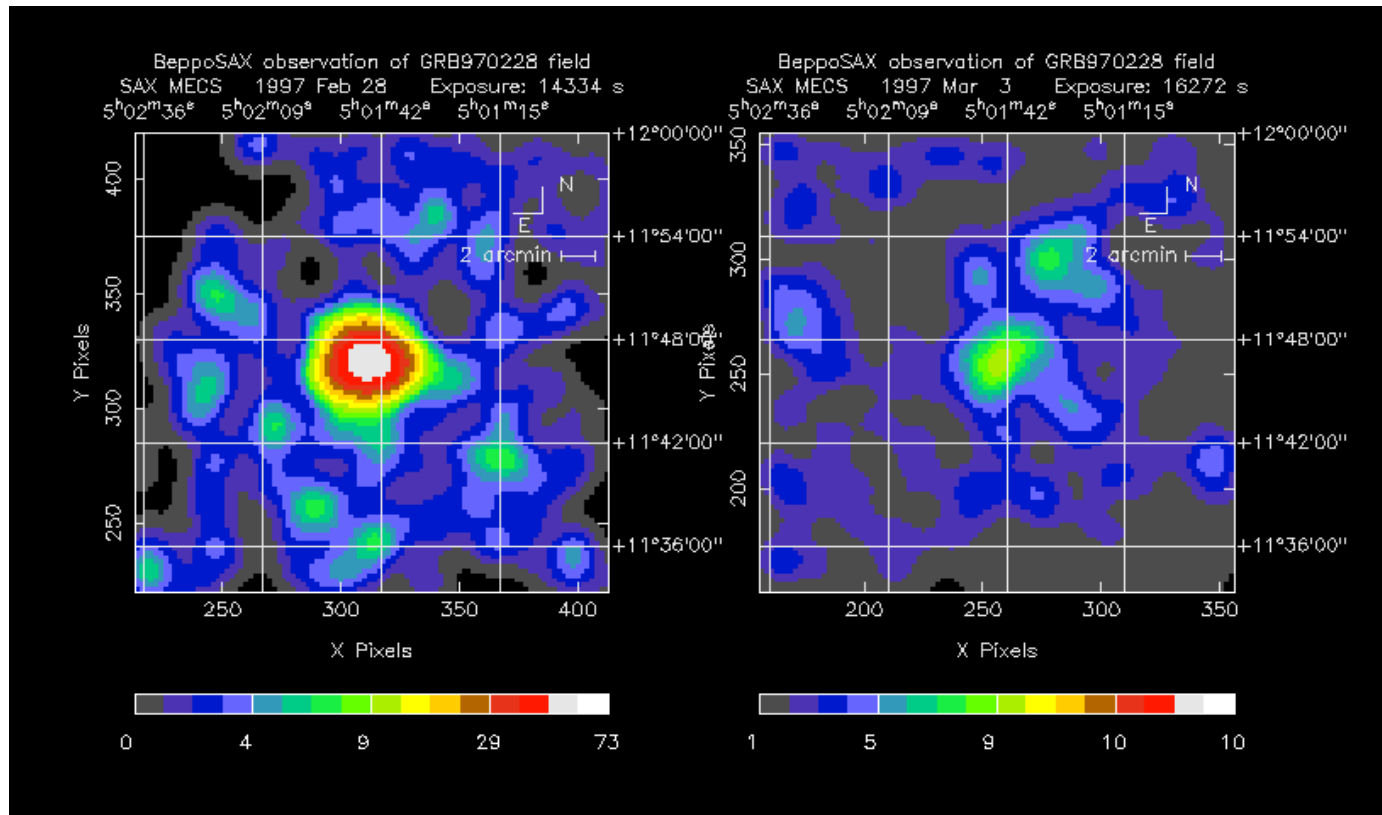
- W roku 1991 wystrzelono satelitę CGRO z instrumentem BATSE (Burst And Transient Source Experiment)

2704 BATSE Gamma-Ray Bursts



Błyski gamma

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

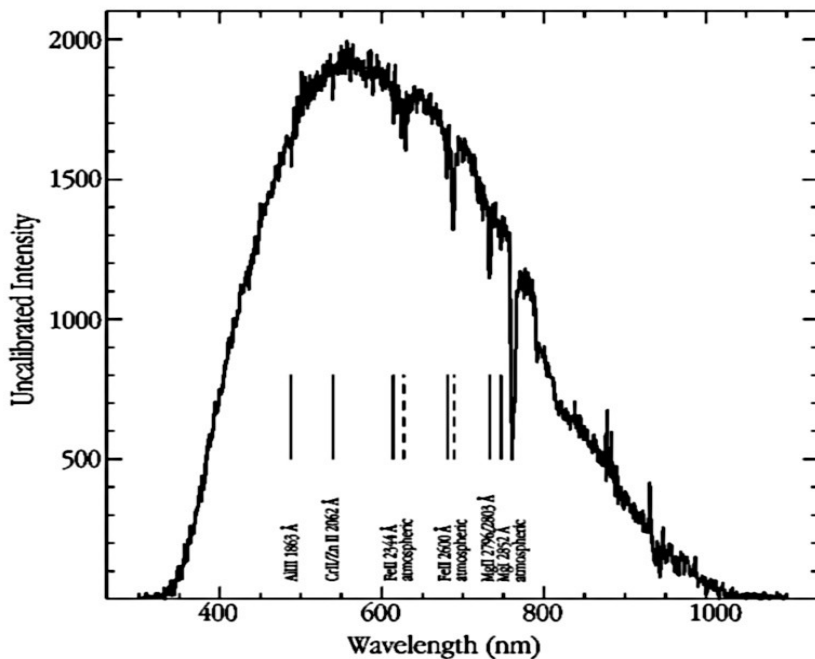


→ dokładna pozycja
umożliwiająca
pomiar optyczny

→ pomiar przesunięcia
ku czerwieni

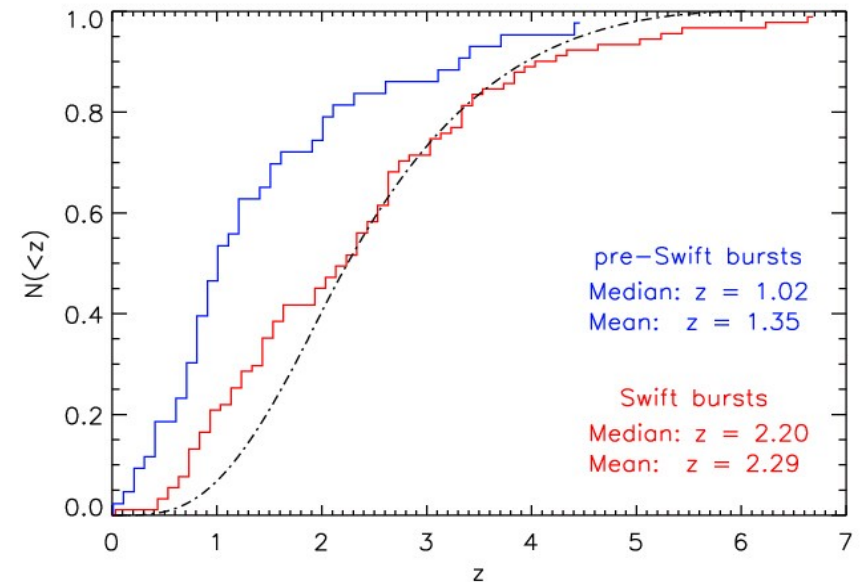
Błyski gamma

- Błyski gamma dochodzą z odległości kosmologicznych
 - Najdłuszy błysk: GRB080913 ($z=6.7$)



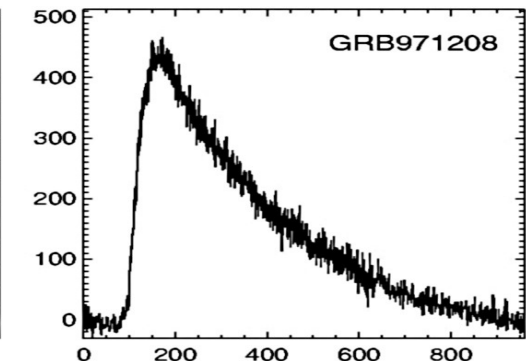
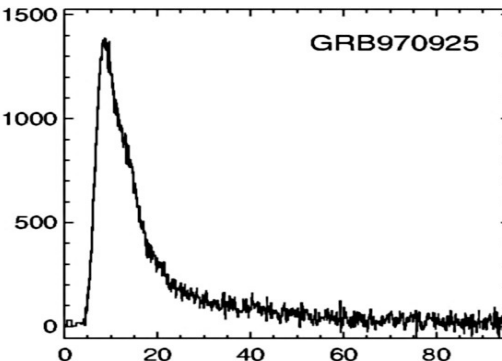
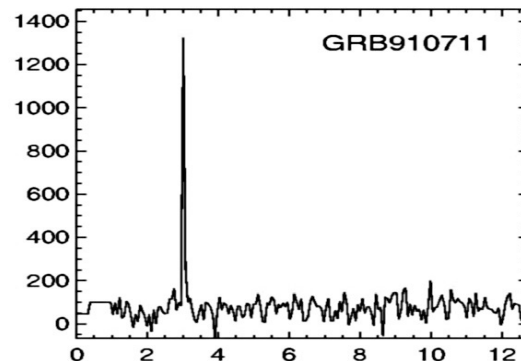
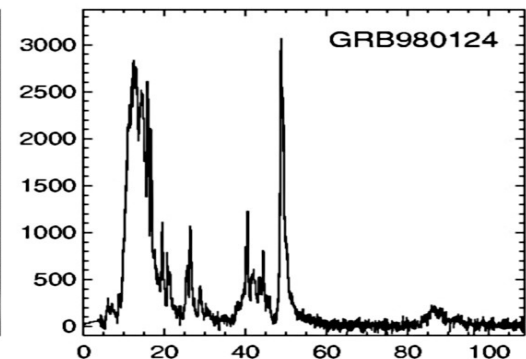
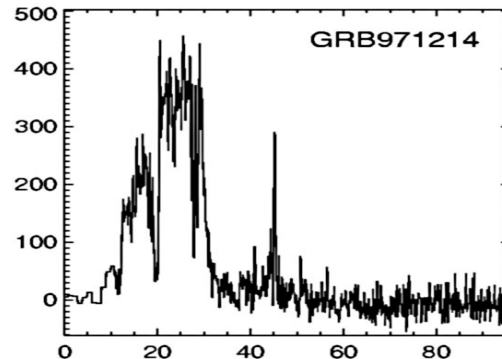
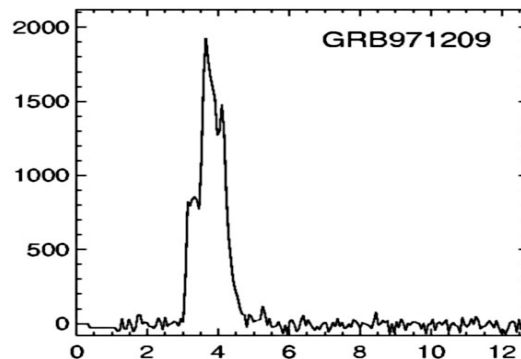
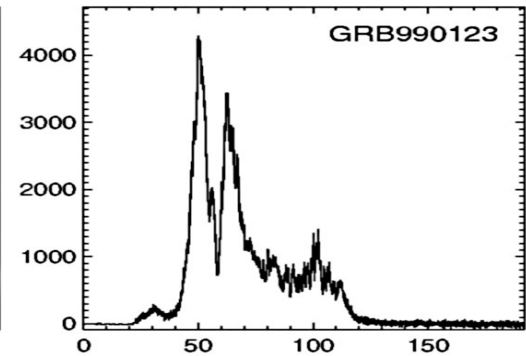
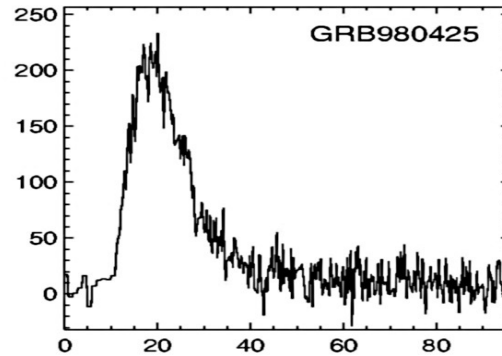
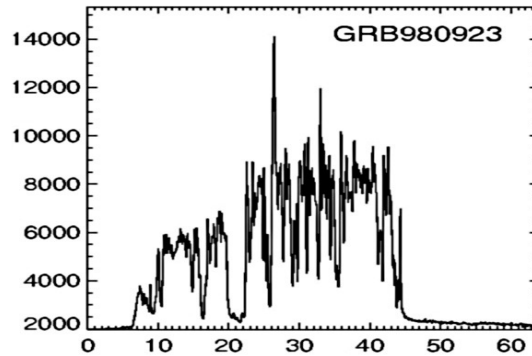
Spectrum of GRB 990510 Afterglow
(VLT/ANTU + FORS1)

P. Jakobsson *et al.*, updated March 2009



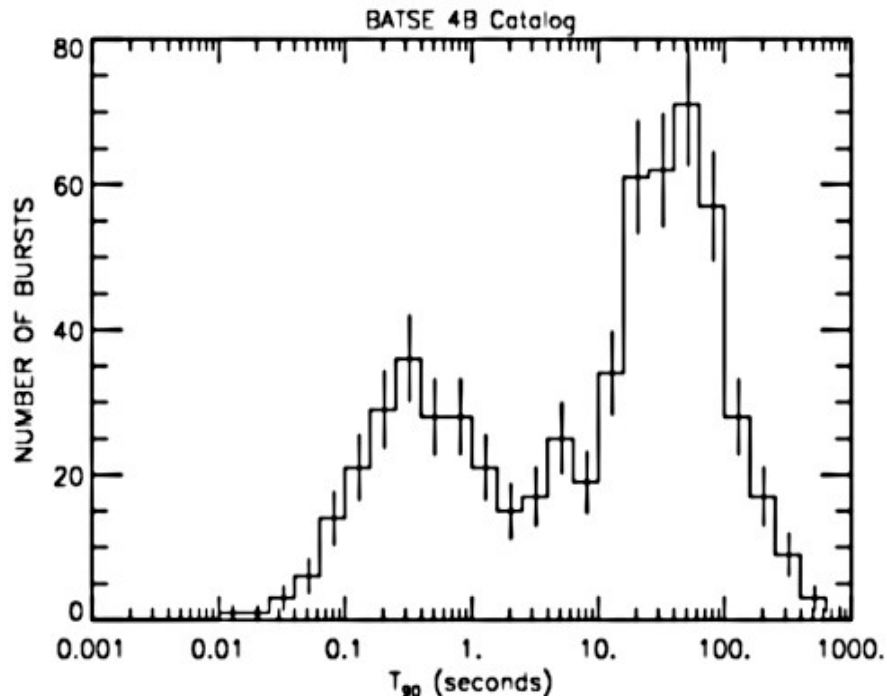
Błyski gamma

- Krzywe blasku



Błyski gamma

- Dwie klasy błysków



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

krótkie błyski: $< 2s$, twarde widmo
długie błyski: $> 2s$, miękkie widmo

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

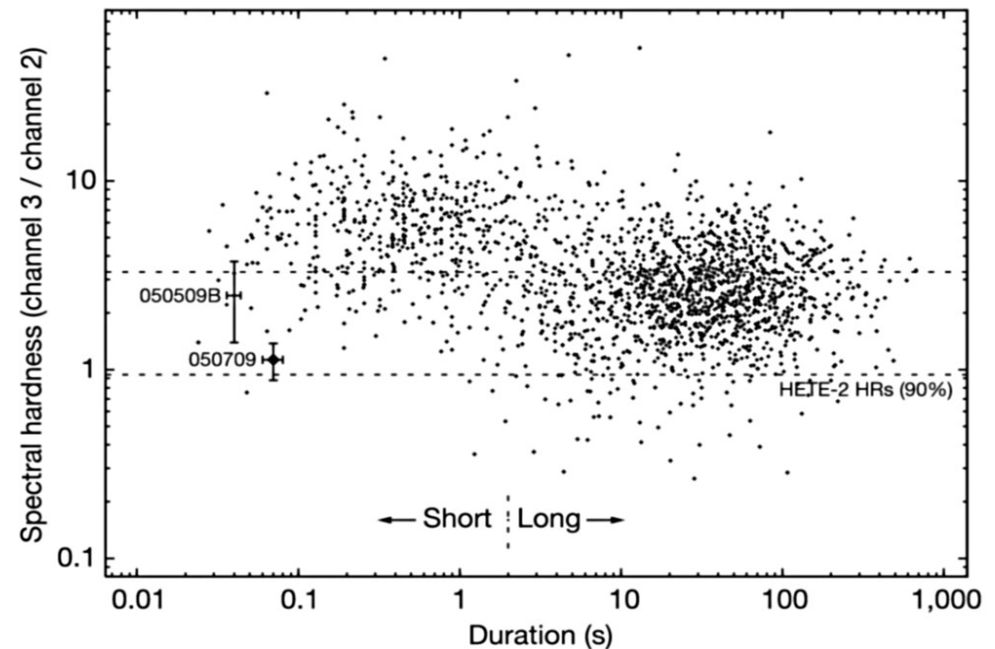


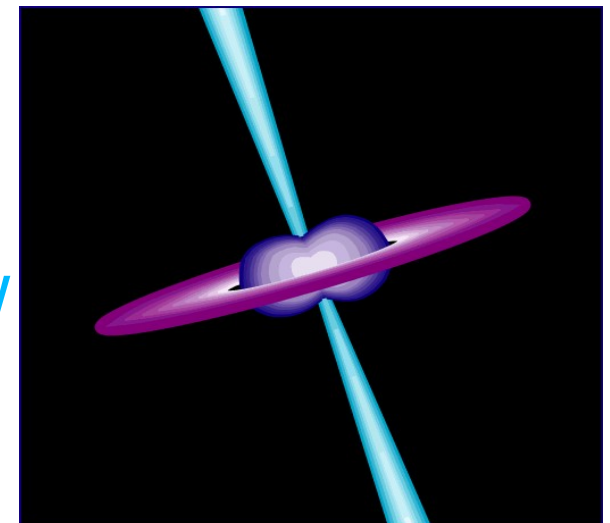
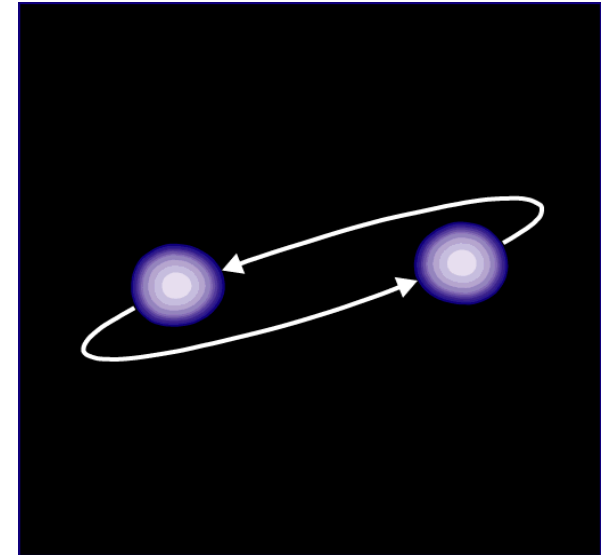
Figure 1 | The classic BATSE duration-spectral hardness diagram¹.

Błyski gamma

Przyjęte hipotezy

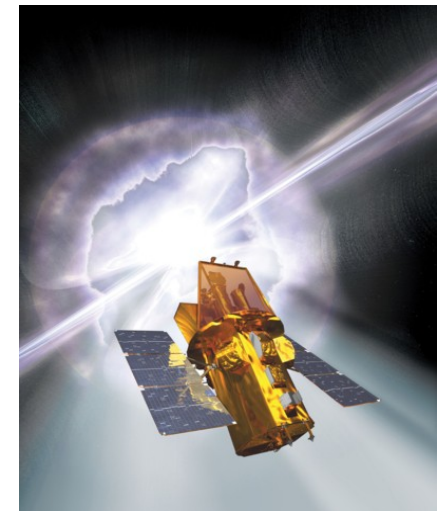
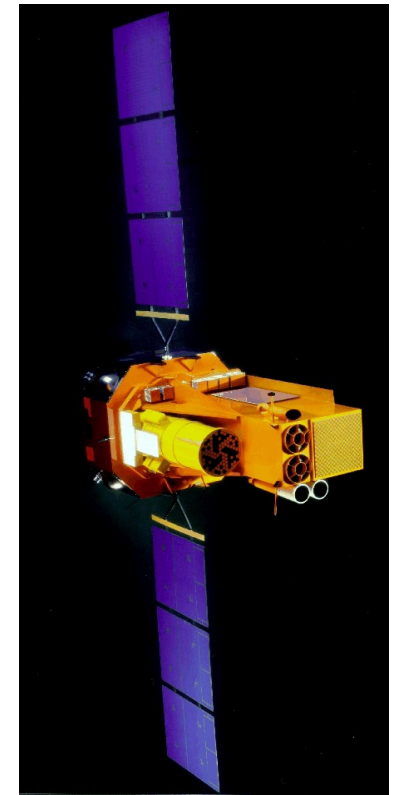
- Krótkie błyski
 - zderzenie dwóch zwartych obiektów: gwiazd neutronowych i/lub czarnych dziur
- Długie błyski
 - zapaść hipernowej do czarnej dziury

Ale wciąż możliwe wiele mechanizmów generacji promieniowania – zbyt mało precyzyjnych danych !



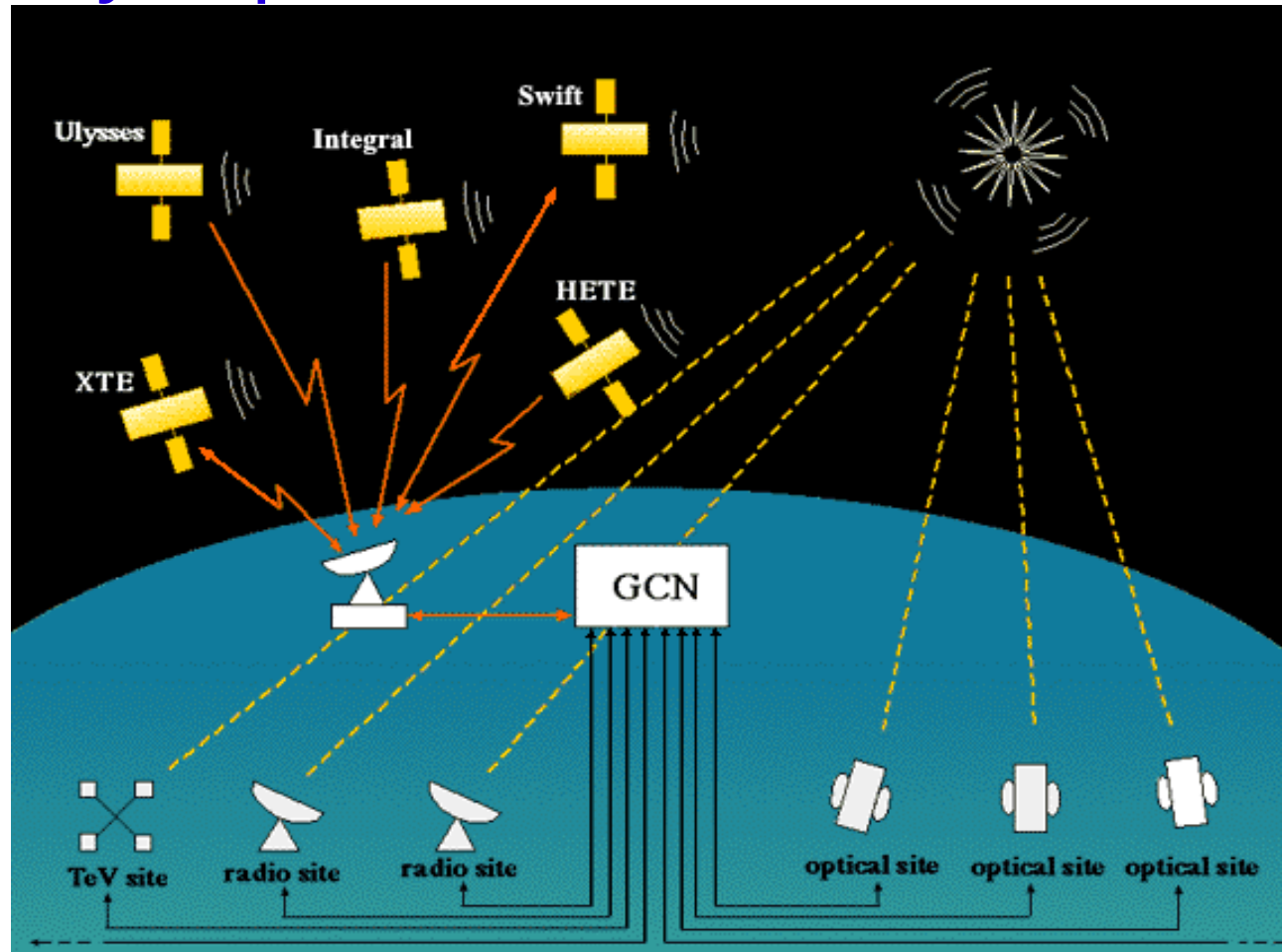
Pi of the Sky

- 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
 - GLAST (2008)
pole widzenia 2 sr, 10 keV-300 GeV



Pi of the Sky

- Informacja z satelitów rozsyłana do teleskopów naziemnych przez GRB Coordinate Network **GCN**

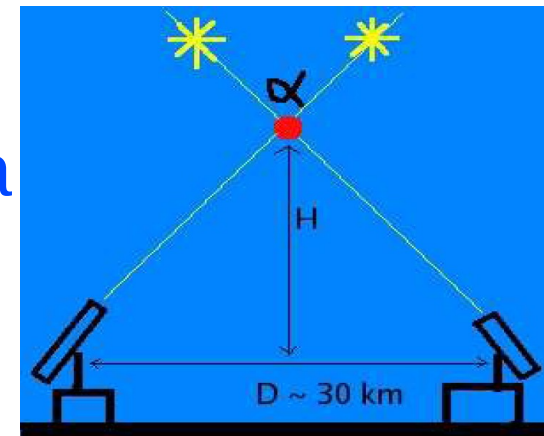


Pi of the Sky

- Problem optycznych obserwacji naziemnych
 - przetwarzanie i transmisja informacji z satelitów (~20s)
 - czas martwy związany z dojazdem do pozycji GRB
 - opóźnienie dłuższe niż czas trwania błysków
- Proponowana nowa strategia pomiarów
 - ciągła obserwacja optyczna dużego obszaru nieba
 - obserwacja miejsca błysku jeszcze przed błyskiem
 - duża rozdzielczość czasowa
 - własny algorytm rozpoznawania błysków “on-line”
 - identyfikacja niezależna od satelitów

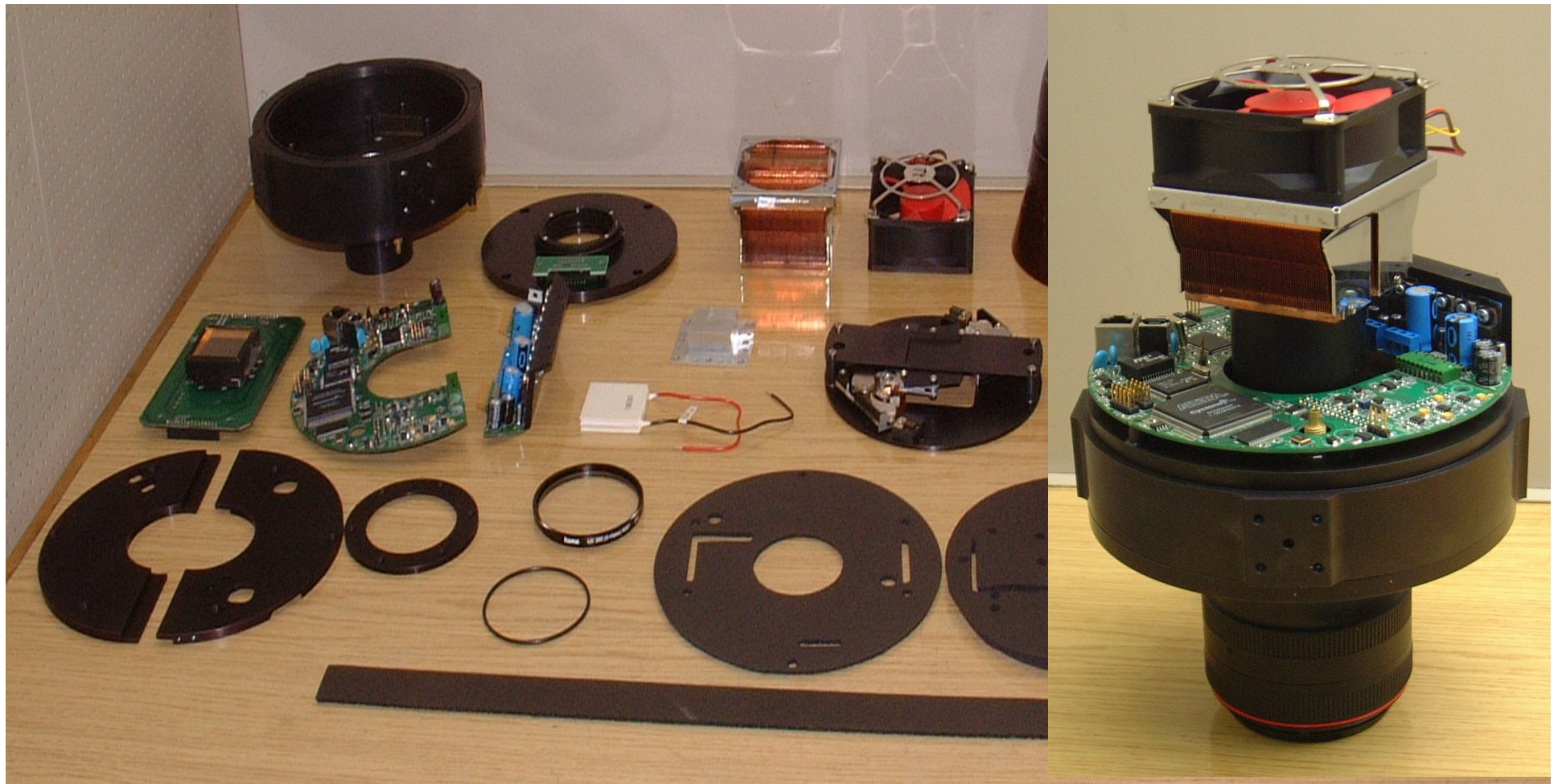
Pi of the Sky

- Koncepcja detektora
 - wykorzystanie komercyjnych obiektywów
⇒ 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



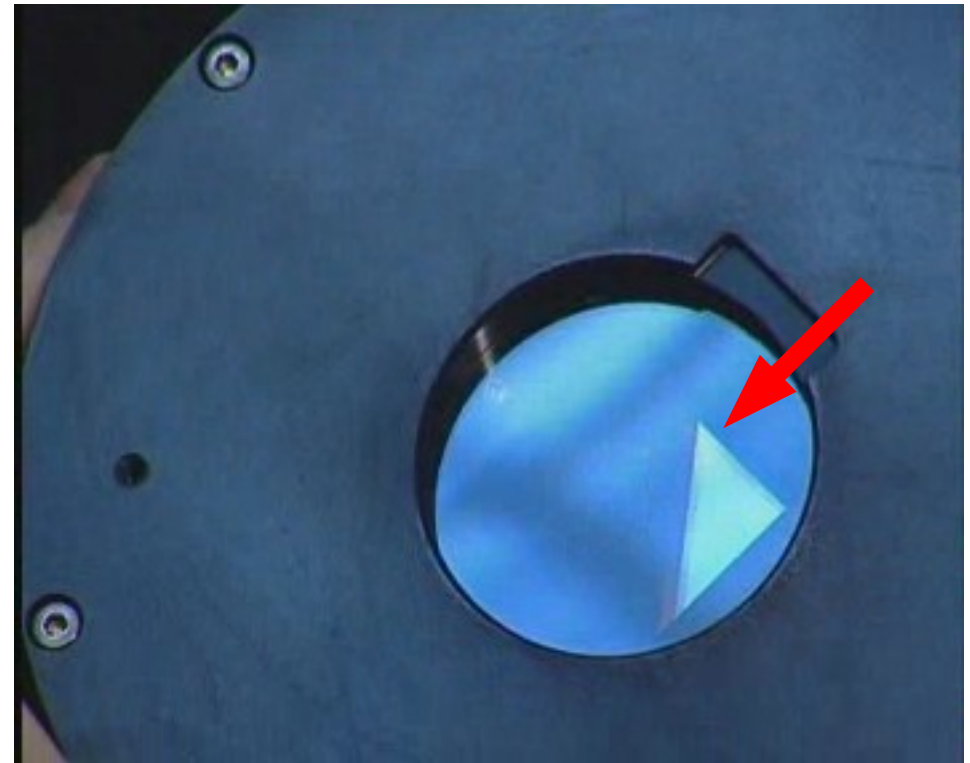
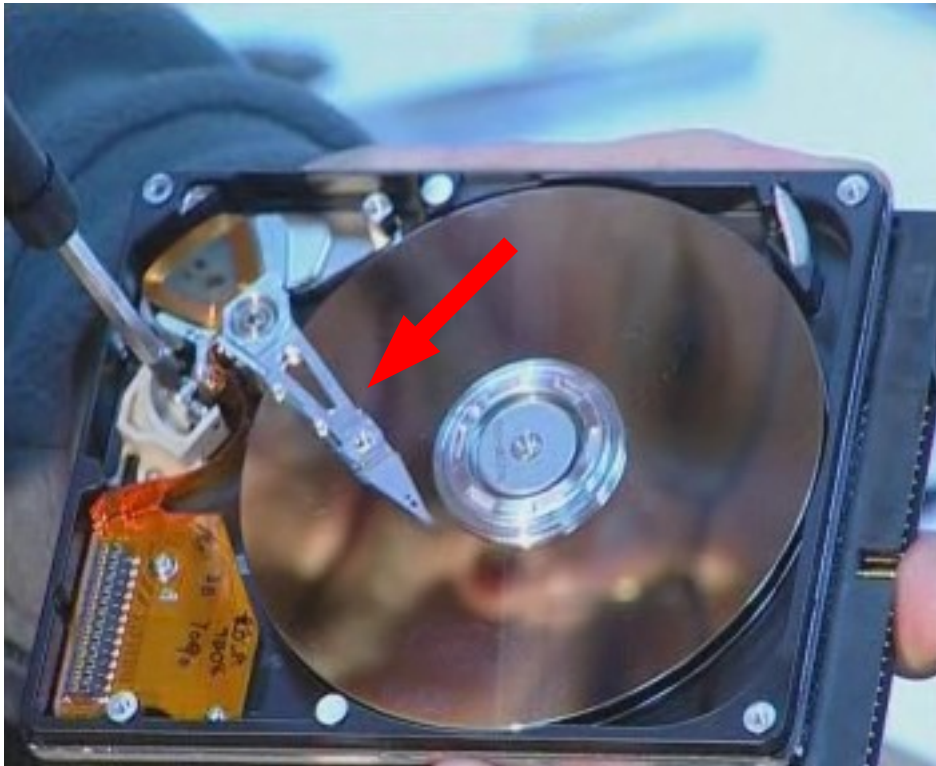
Pi of the Sky

- Kamery są autorską konstrukcją naszego zespołu
 - gotowymi elementami są tylko obiektyw i chip CCD



Pi of the Sky

- szczególnie istotna: migawka na $\sim 10^7$ otwarć
 - autorska koncepcja wykorzystania mechanizmów twardych dysków: listek migawki w miejsce głowicy



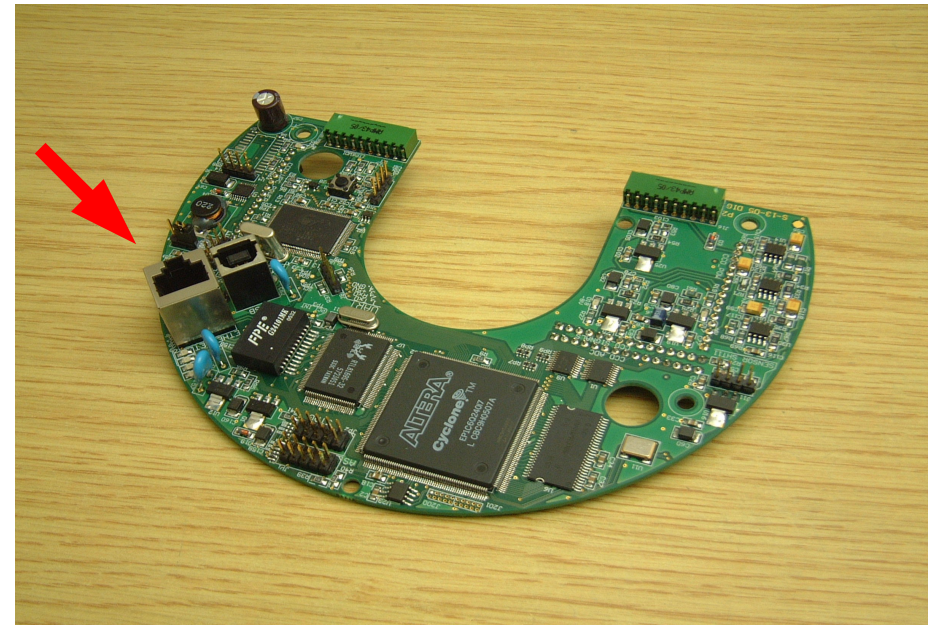
Pi of the Sky

- dedykowana elektronika
 - duże wzmocnienie przy ekstremalnie niskich szumach
 - pełna kontrola, sterowanie i odczyt przez ethernet
 - opcja na przyszłość: procesor ARM z systemem Linux

płytki analogowa



płytki cyfrowa



Pi of the Sky

- Koncepcja „inteligentnej” kamery-komputera
 - udana komercjalizacja przez firmę Creotech

K30



- rozpoznawanie błysków

Armcamera



Przetwarzanie obrazu bezpośrednio w kamerze:
- Monitoring i analiza online obrazu.
- Wykrywanie ruchu i rozpoznawanie kształtów.

Brak potrzeby zewnętrznego systemu komputerowego. Pełna autonomiczność układu.

Pi of the Sky & Creotech

Wyróżnienia na Targach „Technicon-Innowacje-2008”:

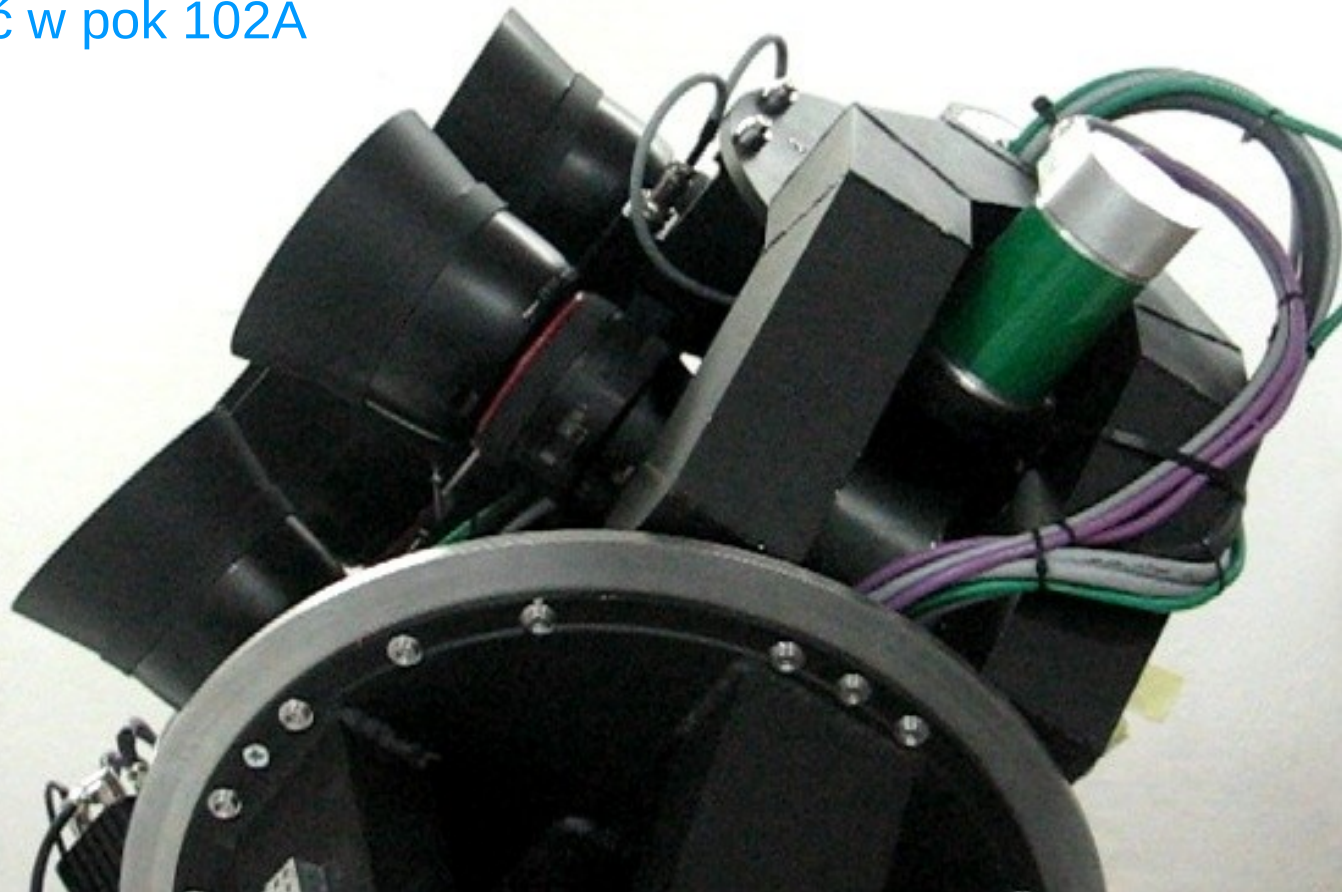
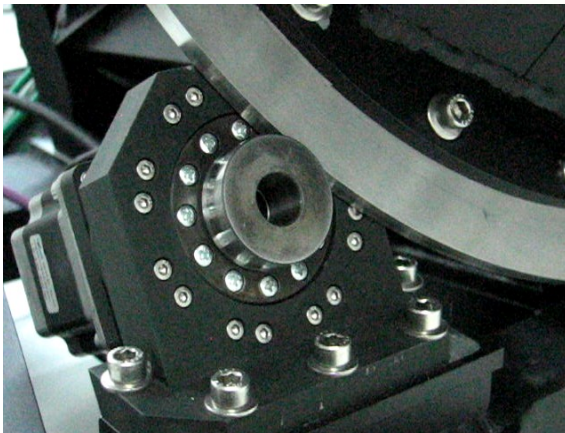
- Medal w konkursie Innowacje 2008
 - Puchar JM Rektora PG za najlepsze rozwiązanie techniczne
 - Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za innowacyjność opracowania
- ### Złoty Medal Międzynarodowych Targów Poznańskich
- w kategorii Transfer Technologii z Nauki do Praktyki Przemysłowej



Pi of the Sky

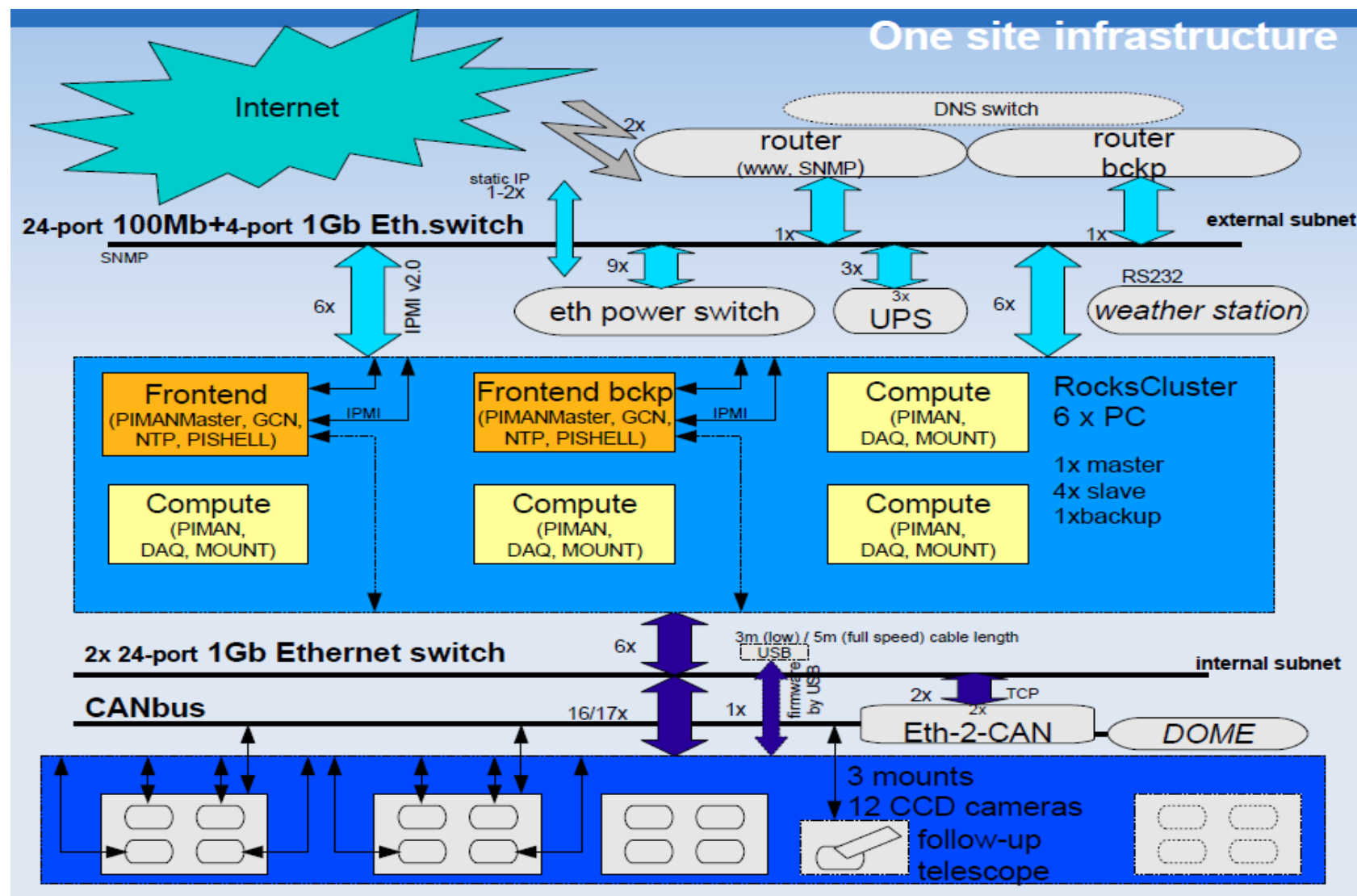
- Montaż paralaktyczny
 - dedykowana konstrukcja opracowana w CBK PAN
można oglądać w pok 102A

Przekładnia harmoniczna



Pi of the Sky

Modularność i redundancja: maksymalna niezawodność



Pi of the Sky

Program badawczy:

- Poszukiwanie błysków optycznych z GRB
oraz
- 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 zmiennych (blazary, AGN, itp.), powiadamianie o ich aktywności

Prototyp

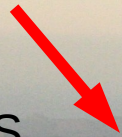
- Las Campanas Observatory w Chile



Prototyp

- Detektor Pi of the Sky
w Las Campanas Observatory

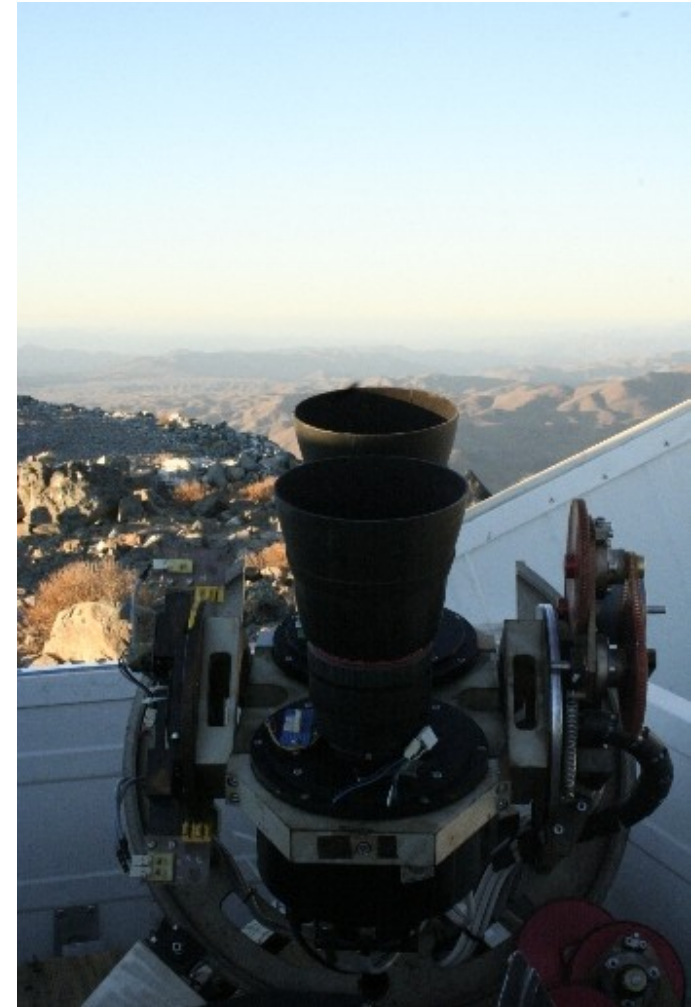
ASAS



Prototyp

Detektor 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°×20°
- 10 s ekspozycje, zasięg ~11^m
do 13^m na sumach po 20 zdjęć
- w pełni autonomiczna praca
także diagnostyka, wykrywanie i
naprawianie znanych problemów
- nadzór przez internet



Prototyp

- Przez ponad 5 lat działania prototypu satelity wykryły łącznie 439 GRB
 - w 416 przypadkach system był aktywny (95%)
 - 45 przypadków na półkuli północnej
 - 209 w dzień
 - 64 pod horyzontem
 - 16 zasłonięte przez chmury
 - 82 błysków mogło być obserwowanych (19%)
 - 78 poza polem obserwacji prototypu ($20^\circ \times 20^\circ \approx \frac{1}{8}$ sr)
 - 3 poniżej czułości aparatury
 - limity w chwili rozbłysku 11-12.6^m
- 1 błysk zaobserwowany !

GRB080319B

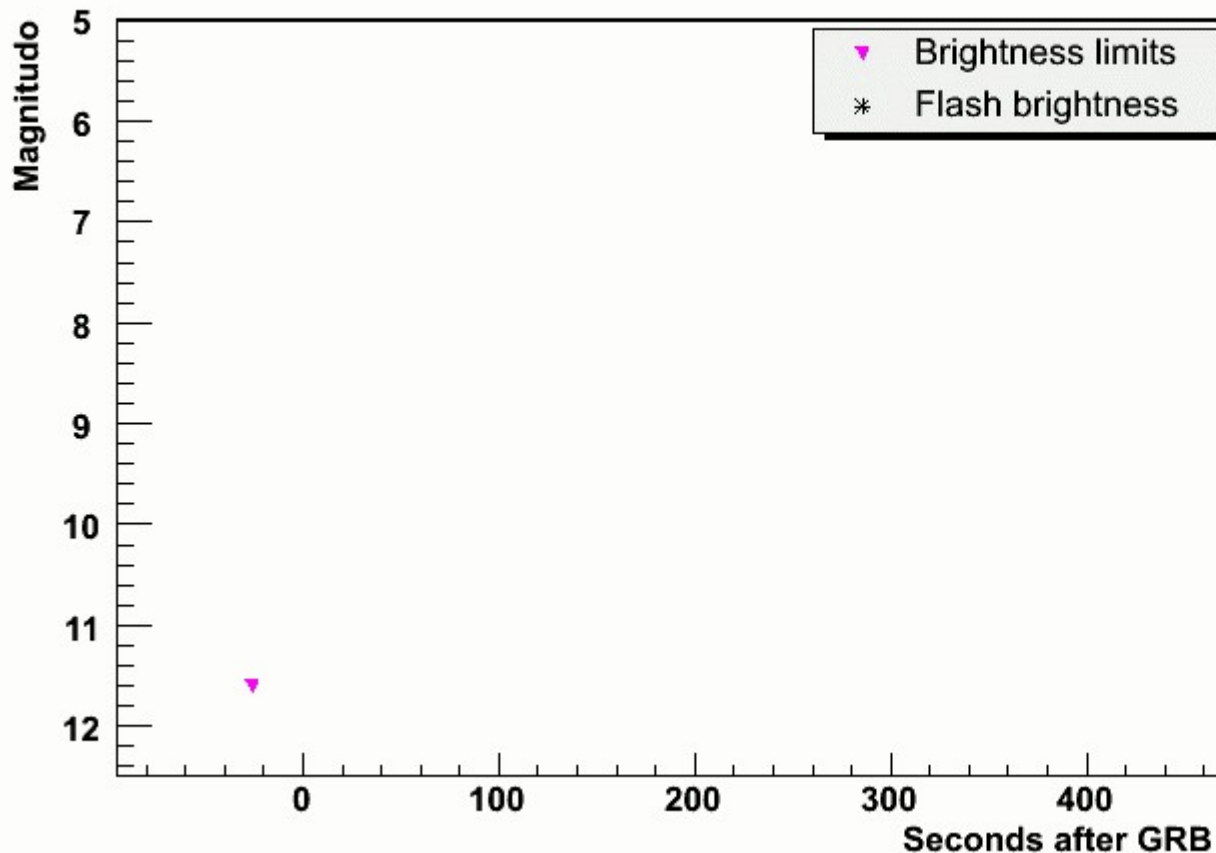
Noc 18/19 marca 2008:

- O 5:45 UT satelita Swift wykrywa GRB080319A
 - kamera Pi kieruje się do źródła błysku, ale nic nie widzi
 - o 6:12:47 UT w rogu FOV pojawia się nowy obiekt !
- $t_0 = 6:12:49$ UT Swift rejestruje pierwsze γ
 - t_0+2s – teleskop RAPTOR robi pierwsze zdjęcie
 - t_0+8s – obiekt staje się widoczny dla TORTORA
 - t_0+15s – błysk przekracza 6 magnitudo!
- t_0+17s – Swift wysyła alert GCN o GRB080319B
 - prototyp Pi of the Sky kończy drugie zdjęcie błysku (!)

GRB080319B

- System samodzielnie wykrył błysk !
 - choć informacja o tym dotarła do nas po GCN...

"Pi of the Sky" observation of GRB 080319B

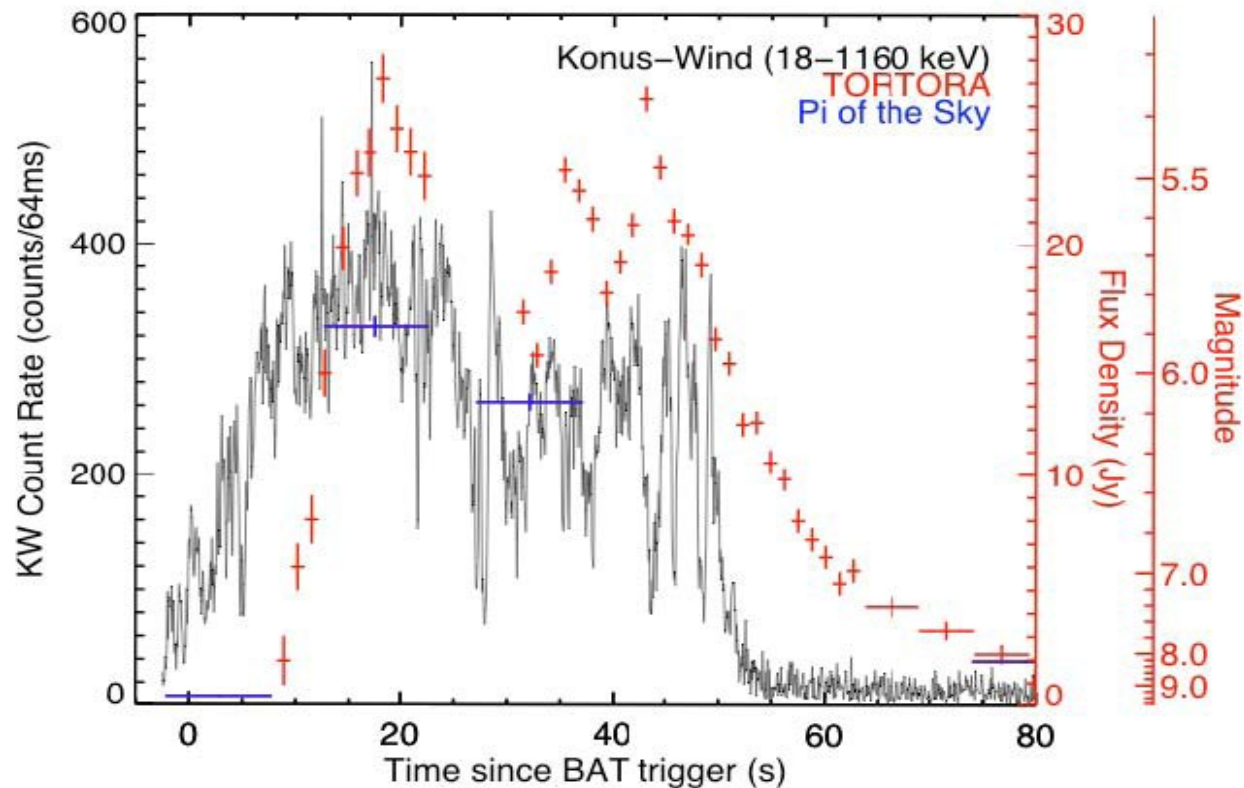


GRB080319B

- Najjaśniejszy optycznie zaobserwowany GRB
 - Szczytowa jasność optyczna $5.3^m - 5.7^m$
 - Widoczny gołym okiem przez 40 s!
- Odległość: $z = 0.937$ (7.5 mld lat św.)
 - Najjaśniejszy obserwowany obiekt w kosmosie, $2.5 \cdot 10^6$ jaśniejszy niż poprzedni rekordzista SN2005ap
- Pierwsza obserwacja optyczna: Pi of the Sky !
 - duże pole widzenia
 - dużo szczęścia (drugi błysk w polu obserwacji pierwszego), ale też ciężko na to pracowaliśmy...

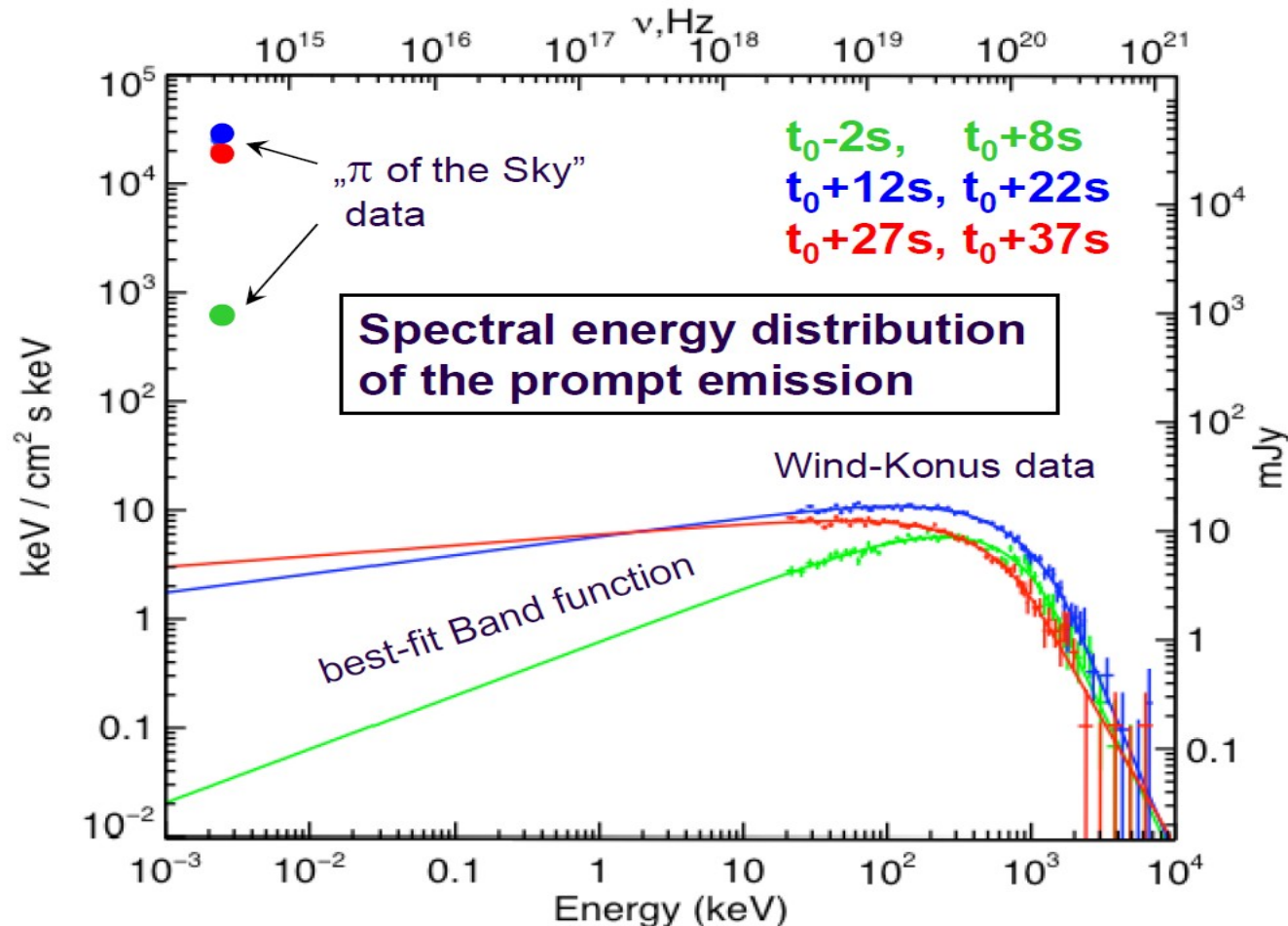
GRB080319B

- Obserwacje optyczne *Pi of the Sky* i TORTORA vs obserwacje gamma SWIFT i KONUS -WIND
→ emisja optyczna zachodzi równocześnie z γ

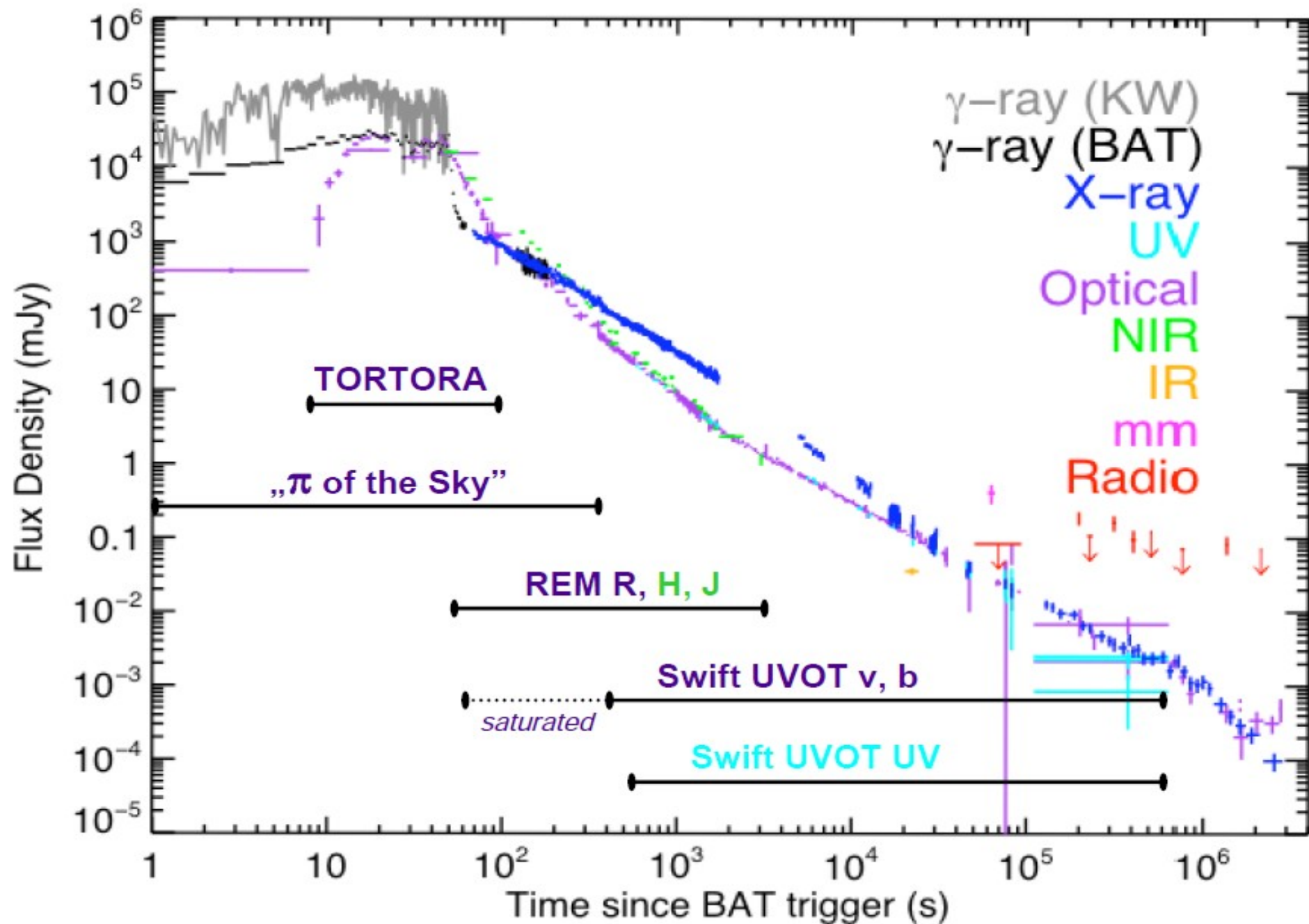


GRB080319B

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

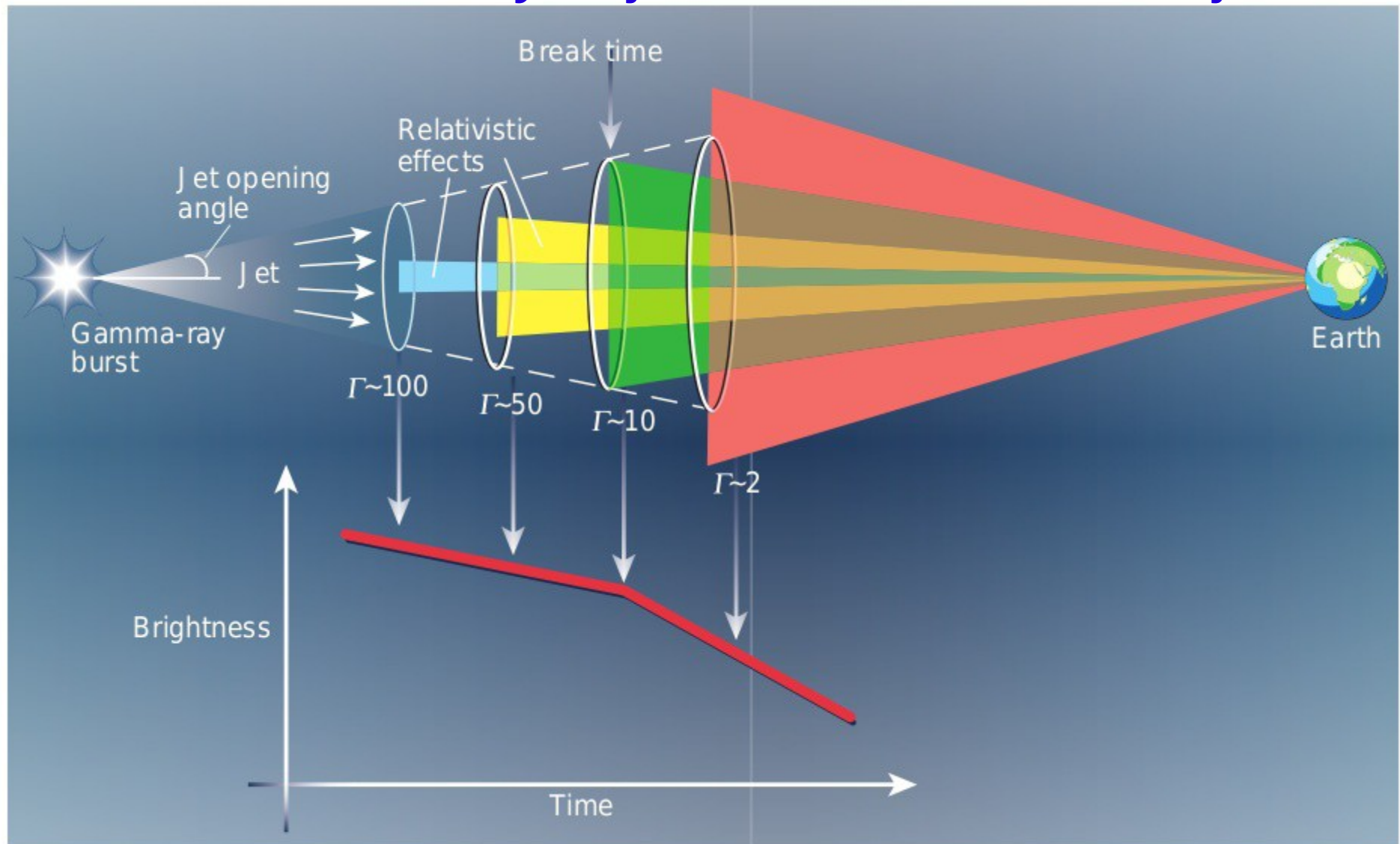


GRB080319B



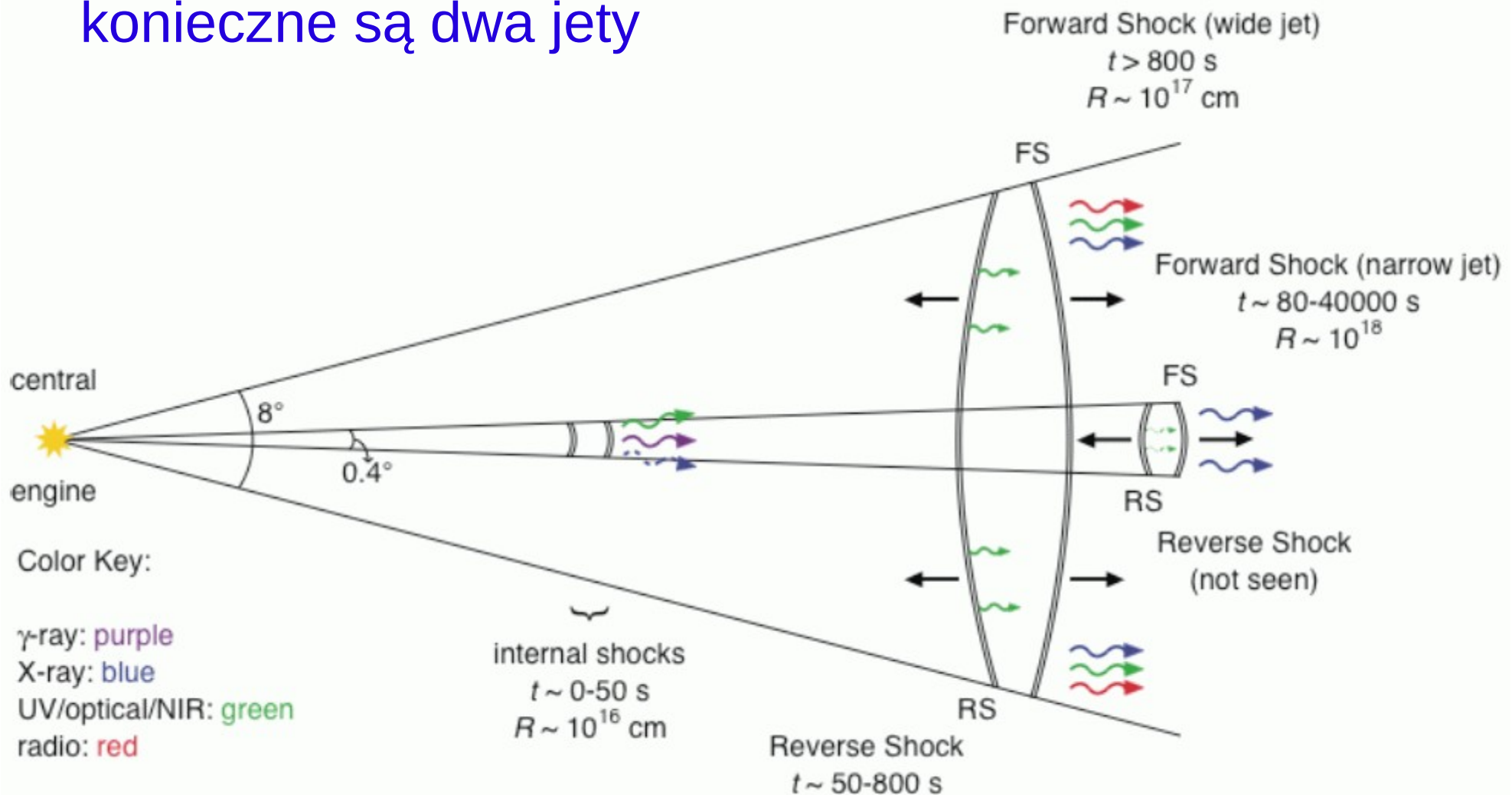
GRB080319B

- Załamania w krzywej blasku → struktura jetowa



GRB080319B

- Aby opisać załamania krzywej blasku GRB080319B konieczne są dwa jety



Broadband observations of the naked-eye γ -ray burst GRB 080319B

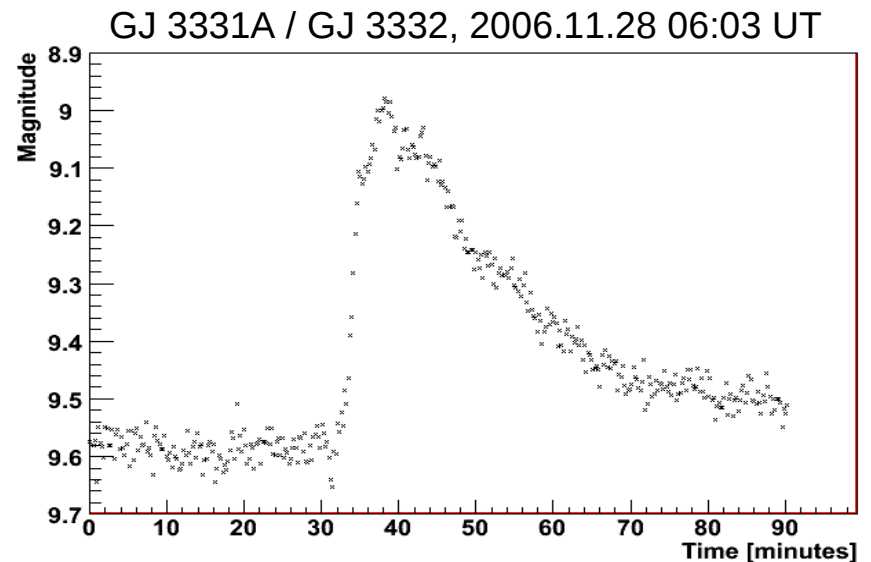
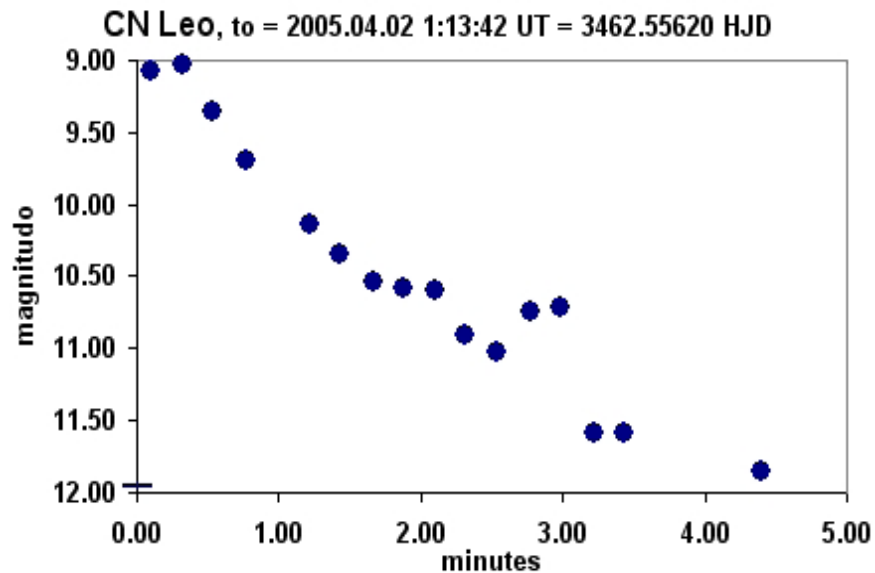
J. L. Racusin¹, S. V. Karpov², M. Sokolowski³, J. Granot⁴, X. F. Wu^{1,5}, V. Pal'shin⁶, S. Covino⁷, A. J. van der Horst⁸, S. R. Oates⁹, P. Schady⁹, R. J. Smith¹⁰, J. Cummings¹¹, R. L. C. Starling¹², L. W. Piotrowski³, B. Zhang¹⁴, P. A. Evans¹², S. T. Holland^{15,16,17}, K. Malek¹⁸, M. T. Page⁹, L. Vetere¹, R. Margutti¹⁹, C. Guidorzi^{7,10}, A. P. Kamble²⁰, P. A. Curran²⁰, A. Beardmore¹², C. Kouveliotou²¹, L. Mankiewicz³, A. Melandri¹⁰, P. T. O'Brien¹², K. L. Page¹², T. Piran²², N. R. Tanvir¹², G. Wrochna²³, R. L. Apte²⁴, S. Barthelmy¹¹, C. Bartolini²³, G. M. Beskin², S. Bondar²⁴, M. Bremer²⁵, S. Campana⁷, A. Castro-Tirado²⁶, A. Cucchiara¹, M. Cwiok³, P. D'Avanzo⁷, V. D'Elia²⁷, M. Della Valle^{28,29}, A. de Ugarte Postigo³⁰, W. Dominik³, A. Falcone¹, F. Fiore²⁷, D. B. Fox¹, D. D. Frederiks⁶, A. S. Fruchter³¹, D. Fugazza⁷, M. A. Garrett^{32,33,34}, N. Gehrels¹¹, S. Golenetskii⁶, A. Gomboc³⁵, J. Gorosabel²⁶, G. Greco²³, A. Guarnieri²³, S. Immler^{15,17}, M. Jelinek²⁶, G. Kasprovicz³⁵, V. La Parola³⁷, A. J. Levan³⁸, V. Mangano³⁷, E. P. Mazets⁶, E. Molinari⁷, A. Moretti⁷, K. Nawrocki³, P. P. Oleynik³, J. P. Osborne¹², C. Pagani¹, S. B. Pandey³⁹, Z. Paragi⁴⁰, M. Perri⁴¹, A. Piccioni²³, E. Ramirez-Ruiz⁴², P. W. A. Roming¹, I. A. Steele¹⁰, R. G. Strom^{20,32}, V. Testa²⁷, G. Tosti⁴³, M. V. Ulanov⁶, K. Wiersema¹², R. A. M. J. Wijers²⁰, J. M. Winters²⁵, A. F. Zarnecki³, F. Zerbi⁷, P. Mészáros^{1,44}, G. Chincarini^{7,19} & D. N. Burrows¹

Long-duration γ -ray bursts (GRBs) release copious amounts of energy across the entire electromagnetic spectrum, and so provide a window into the process of black hole formation from the collapse of massive stars. Previous early optical observations of even the most exceptional GRBs (990123 and 030329) lacked both the temporal resolution to probe the optical flash in detail and the accuracy needed to trace the transition from the prompt emission within the outflow to external shocks caused by interaction with the progenitor environment. Here we report observations of the extraordinarily bright prompt optical and γ -ray emission of GRB 080319B that provide diagnostics within seconds of its formation, followed by broadband observations of the afterglow decay that continued for weeks. We show that the prompt emission stems from a single physical region, implying an extremely relativistic outflow that propagates within the narrow inner core of a two-component jet.

Prototyp

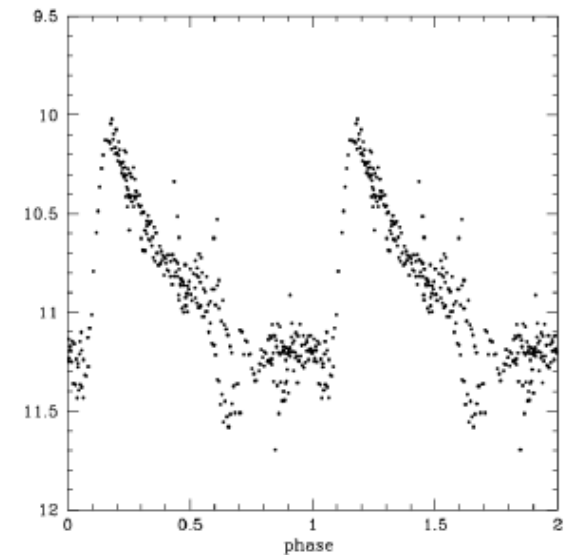
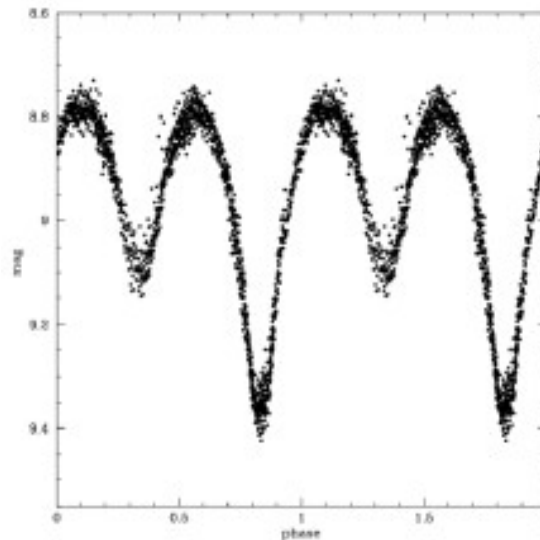
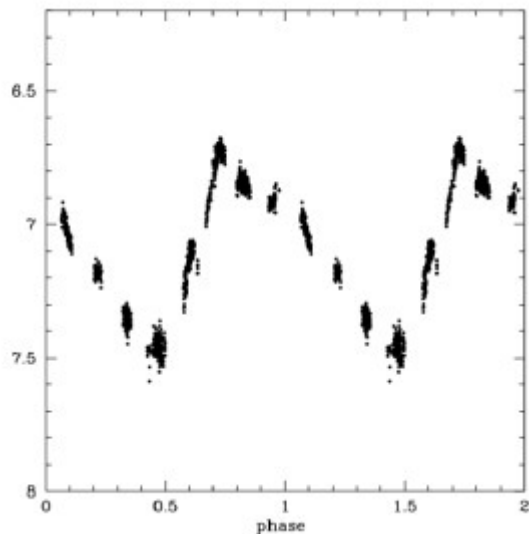
Przykłady innych automatycznie wykrytych błysków

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



Prototyp

- Pomiar jasności gwiazd gromadzone są w dedykowanej bazie danych
 - Specjalne algorytmy wyszukują gwiazdy zmienne i wyznaczają okresy zmienności
- zfazowane krzywe blasku gwiazd zmiennych



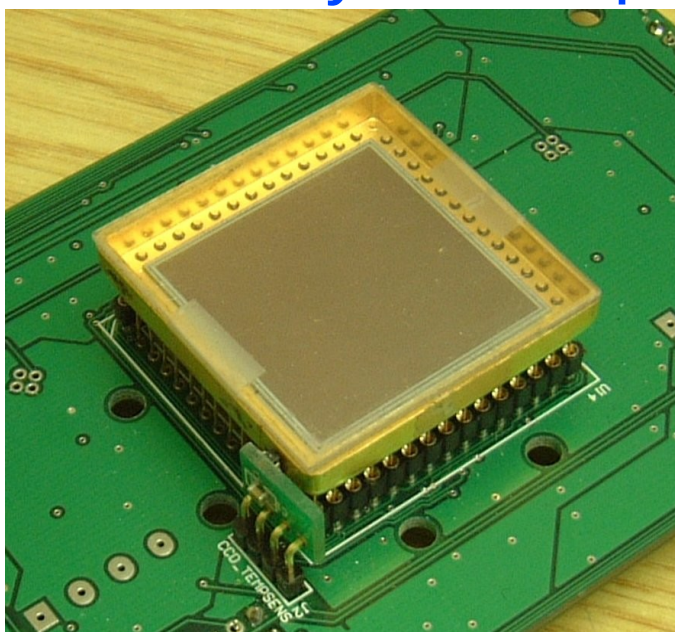
Nasz kawałek nieba

- Filarami projektu “Pi of the Sky” są fizycy, którzy swoje doświadczenie zdobywali w eksperymentach HEP
- Co nas skłoniło do zajęcia się tą tematyką?
 - ciekawość świata
 - poszukiwanie nowych wyzwań
 - posiadane doświadczenie
 - w budowie prototypowych detektorów i elektroniki
 - w przetwarzaniu dużych strumieni danych i wielostopniowych algorytmach selekcji
 - w budowie i obsłudze złożonych układów pomiarowych

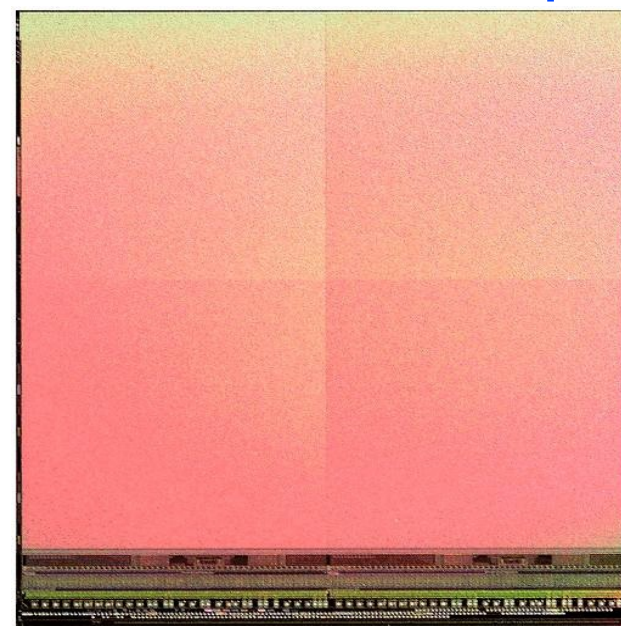
Nasz kawałek nieba

- Problemy w analizie danych CCD podobne do znanych z krzemowych detektorów pikslowych
 - możemy próbować podobnych rozwiązań

Pi of the Sky $15 \times 15 \mu\text{m}^2$



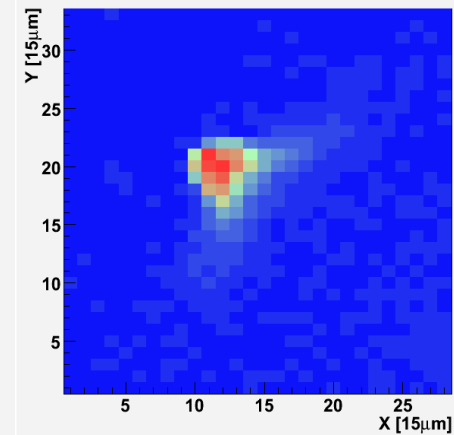
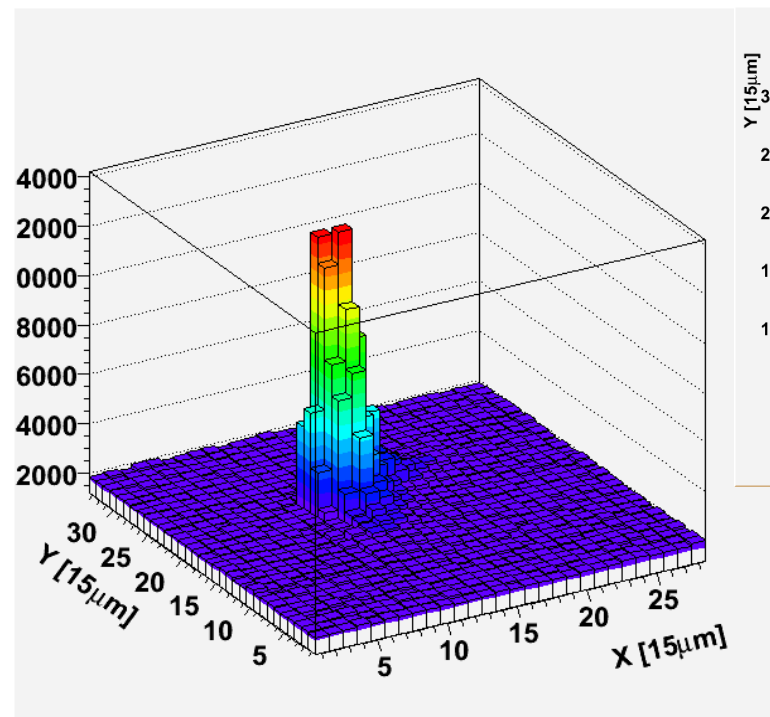
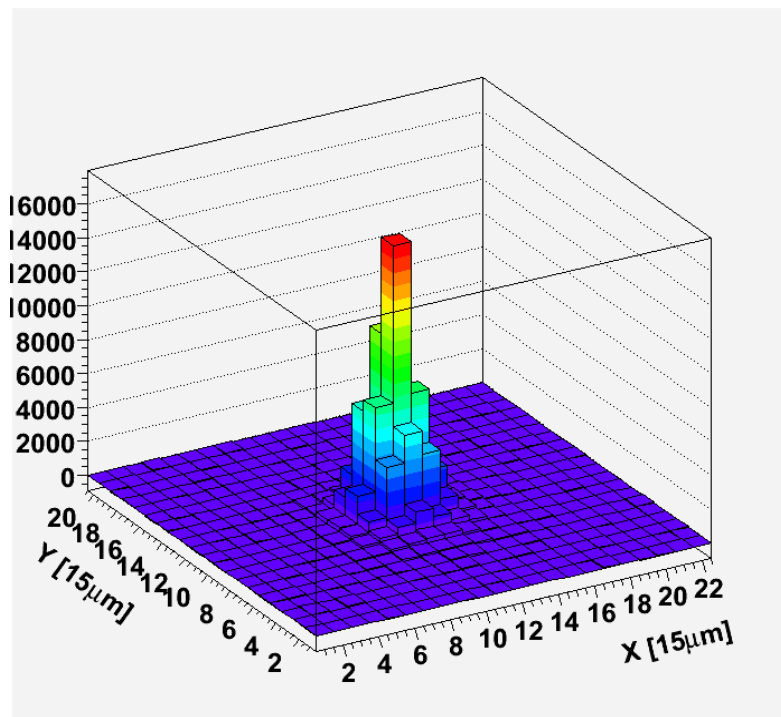
Mimosa-5 $17 \times 17 \mu\text{m}^2$



Precyzja pomiaru pozycji $\sim 2 \mu\text{m}$

Nasz kawałek nieba

- Kształt obrazu gwiazdy
 - wąski i symetryczny w środku pola widzenia
 - szeroki, z wyraźnymi “wąsami” przy brzegach



Nasz kawałek nieba

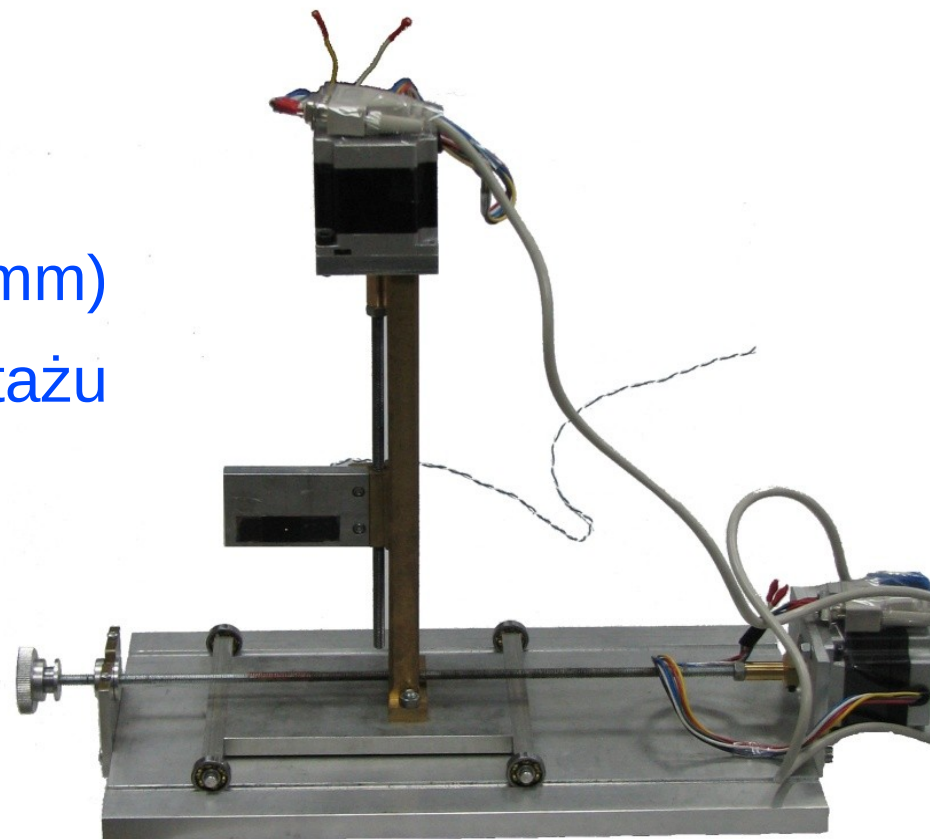
- Aby w pełni zrozumieć i móc modelować działanie detektora zdecydowaliśmy się na przeprowadzenie testów “na wiązce”

“sztuczna gwiazda”

(dioda LED z przesłoną 0.1 mm)

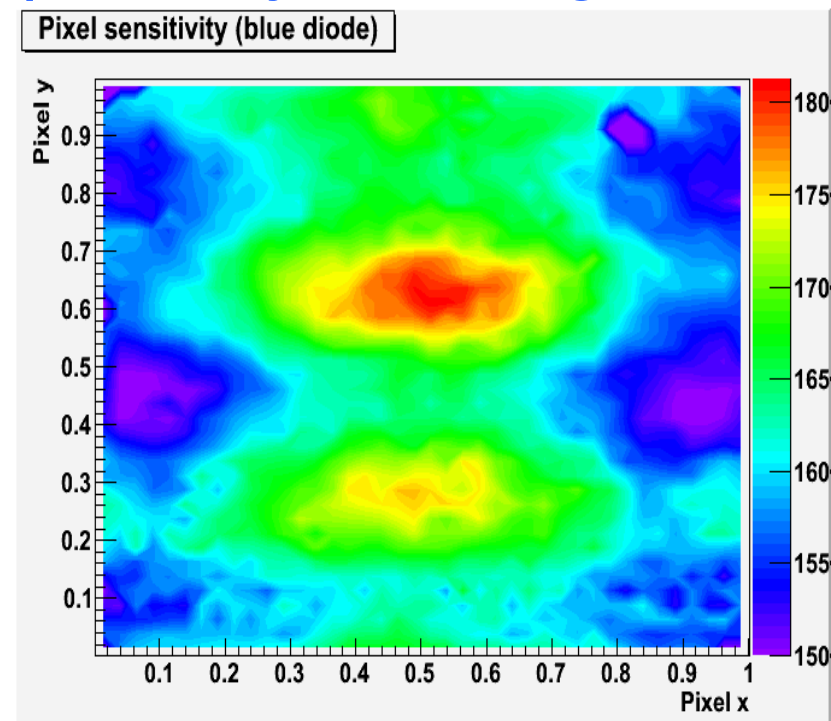
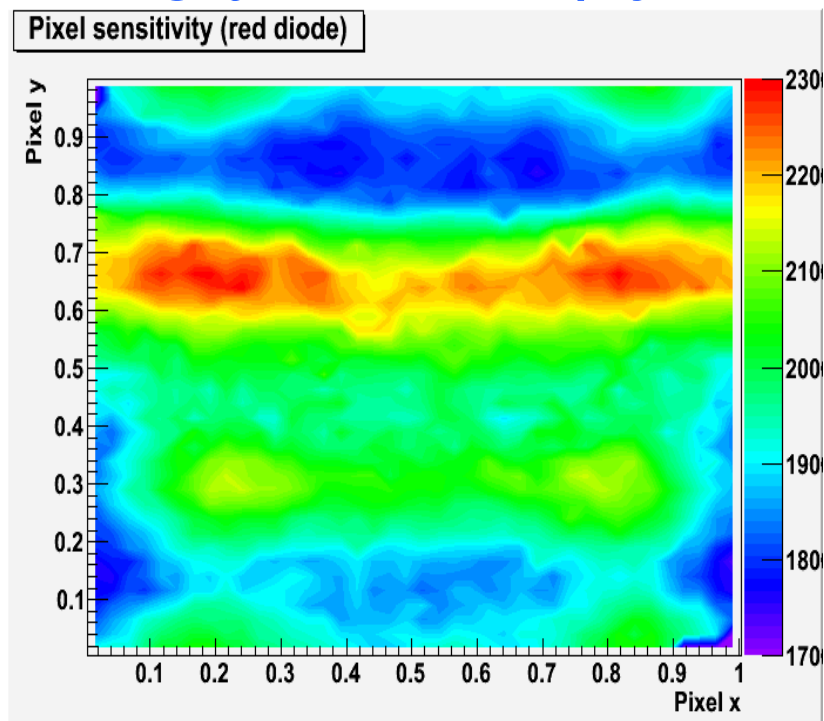
na zdalnie sterowanym montażu

obserwowana z 25 m



Nasz kawałek nieba

- Zależność odpowiedzi CCD od pozycji środka gwiazdy względem krawędzi piksela
 - obserwowane różnice do 20-30%
 - mogą istotnie wpływać na pomiar jasności gwiazd



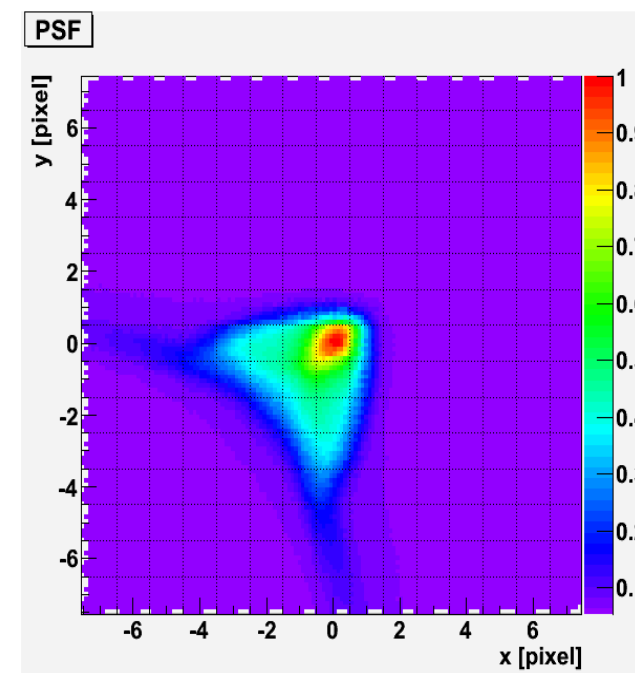
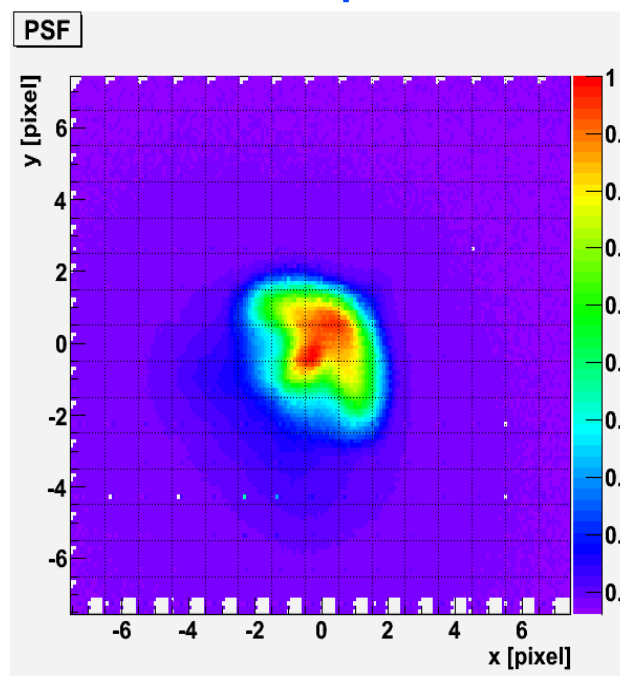
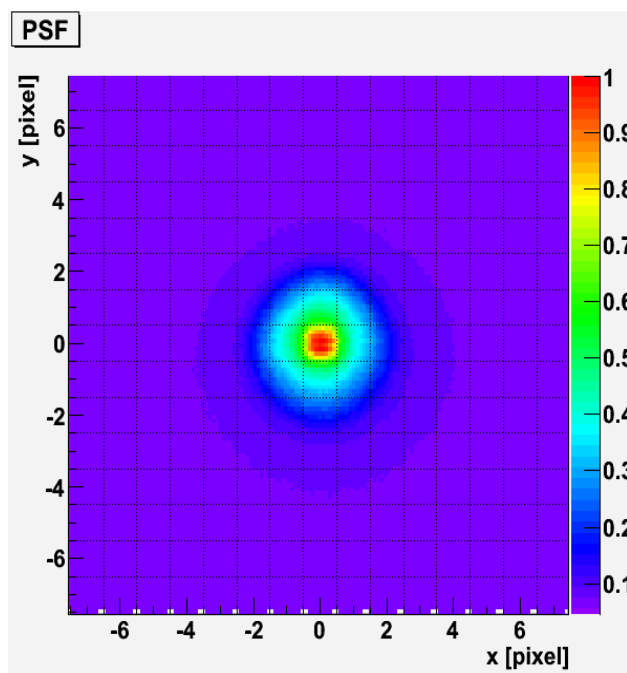
Nasz kawałek nieba

- Kształt obrazu gwiazdy (PSF)
 - zmienia się bardzo z odległością od środka klatki

środek

800 px

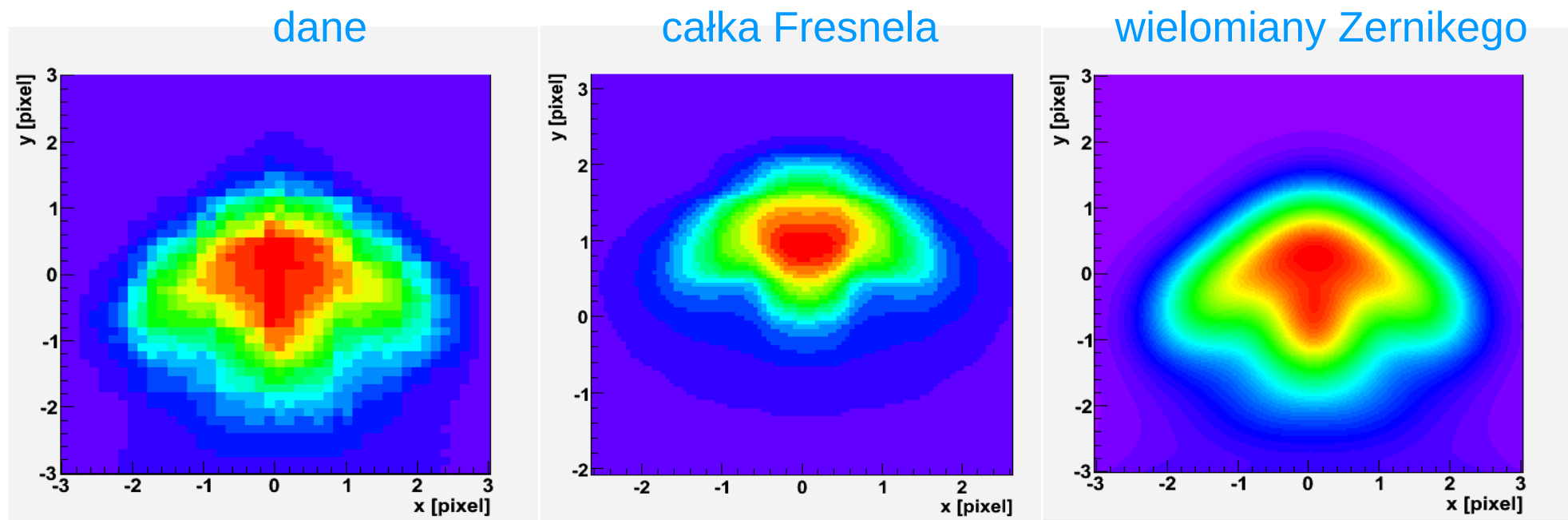
1400 px



dobra parametryzacja kształtu obrazu kluczowa dla
dokładnych pomiarów pozycji i jasności obiektów

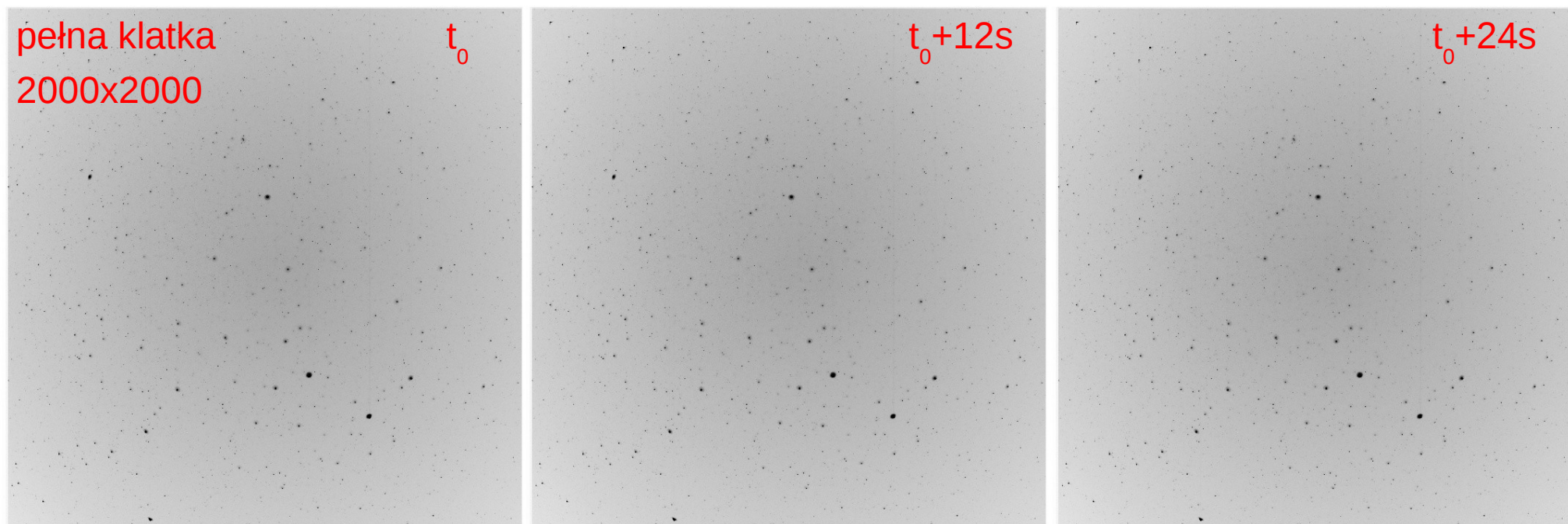
Nasz kawałek nieba

- Kształt gwiazdy można parametryzować
 - modelując przejście światła przez obiektyw
 - dyfrakcja Fresnela – numeryczne całkowanie bardzo wolne
 - rozkładając obraz w odpowiedniej bazie
 - obejujące wykorzystanie tzw. wielomianów Zernikego



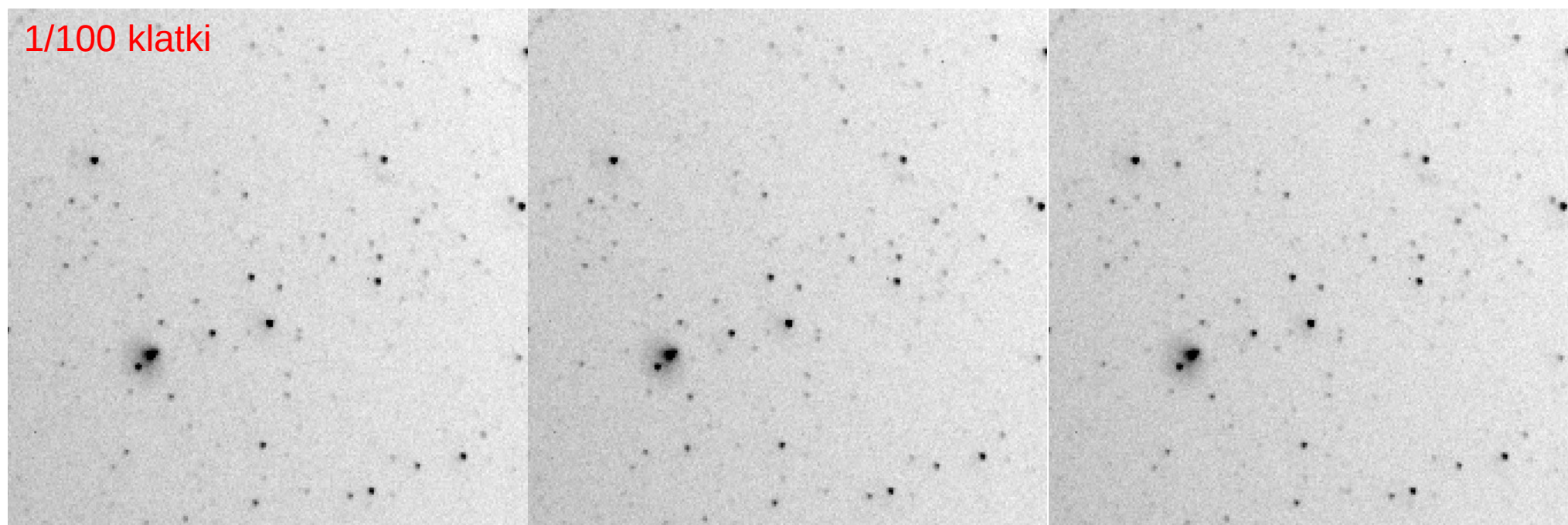
Nasz kawałek nieba

- Wyteż wzrok i znajdź różnice między zdjęciami
 - zdjęcie co 10 s, na każdym do 20 tys. gwiazd
 - pełna analiza pomiarów: kilka godzin
 - potrzebujemy szybkiego algorytmu “on-line”



Nasz kawałek nieba

- Wyteż wzrok i znajdź różnice między zdjęciami
 - zdjęcie co 10 s, na każdym do 20 tys. gwiazd
 - pełna analiza pomiarów: kilka godzin
 - potrzebujemy szybkiego algorytmu “on-line”

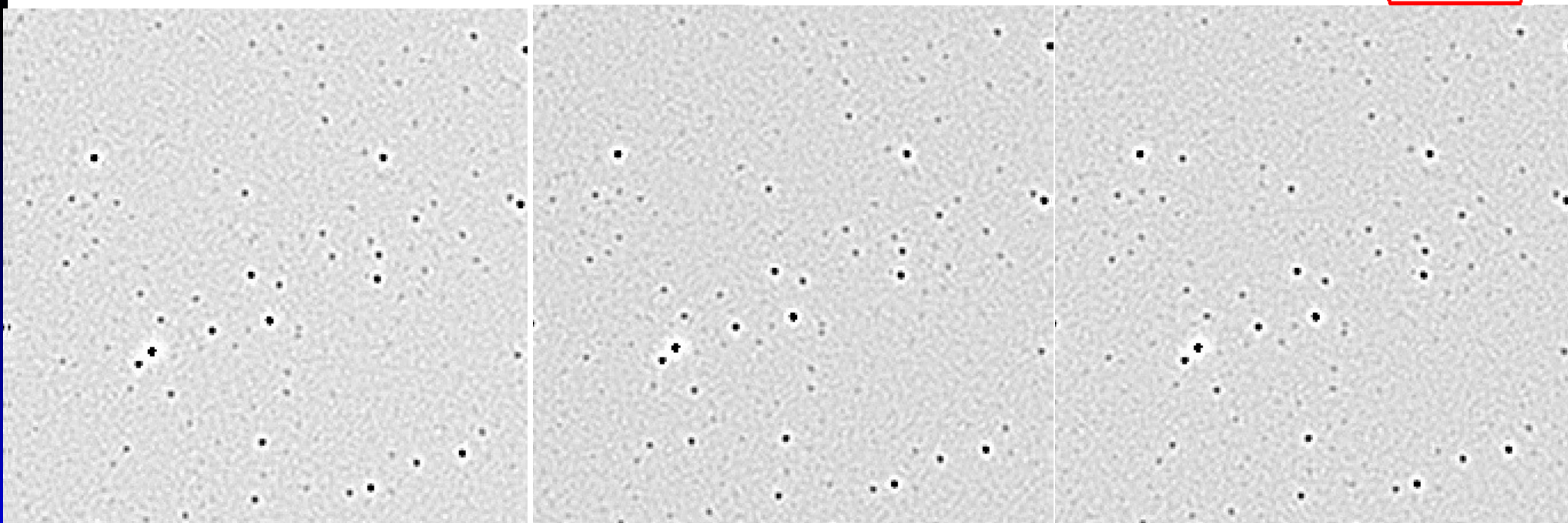
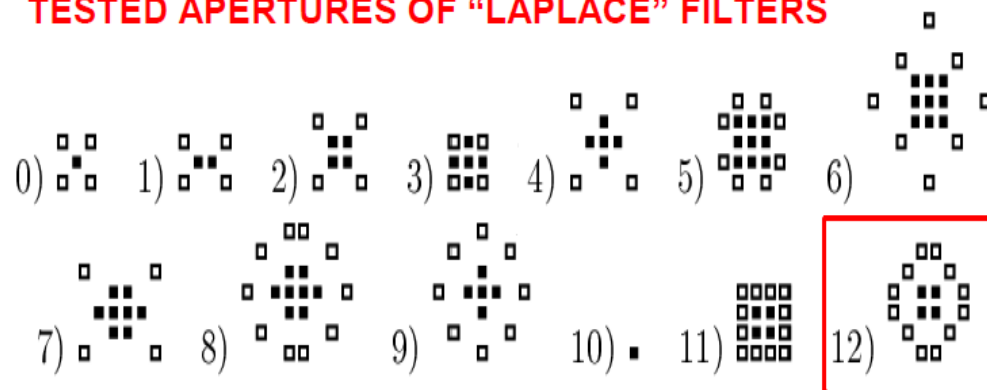


Nasz kawałek nieba

- Krok 1: tzw. filtr Laplace'a

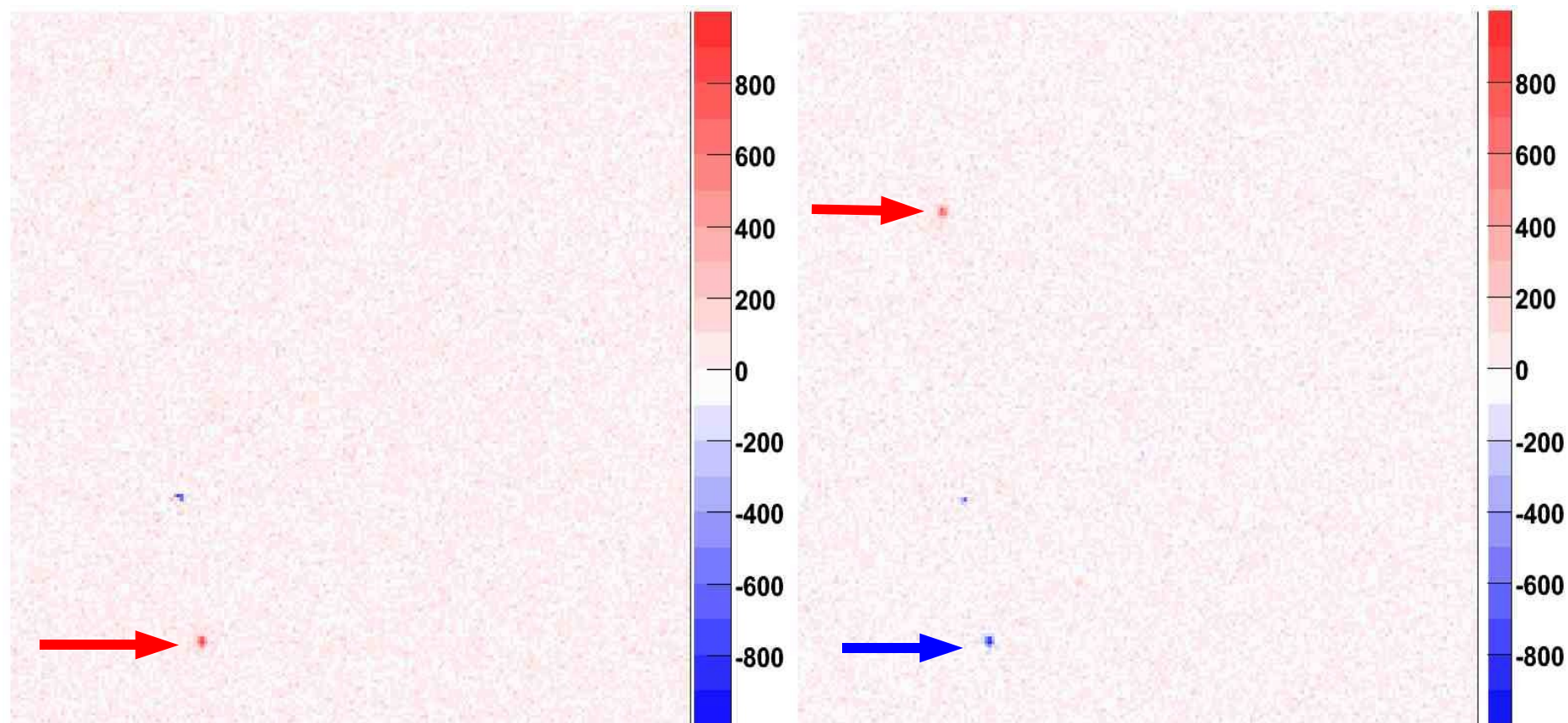
- odjęcie tła nieba
i wyostwienie obrazu

TESTED APERTURES OF "LAPLACE" FILTERS



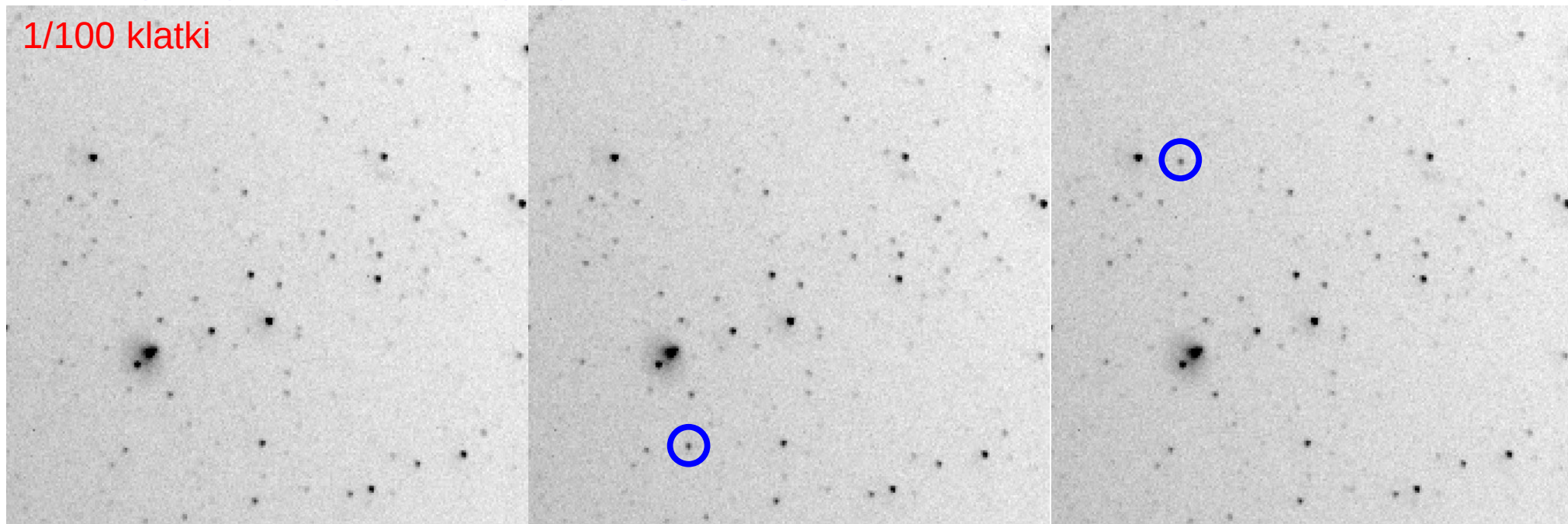
Nasz kawałek nieba

- Krok 2: odjęcie kolejnych klatek
 - różnice uwidaczniają się jako wyraźne **maksima** (pojawiająca się “gwiazda”) lub **minima** (znikająca)



Nasz kawałek nieba

- W ten sposób wyszukujemy błyski “on-line”
 - w tym przypadku był to jednak satelita widoczny łącznie na 6 kolejnych zdjęciach
- Błyski od satelitów i inne tło odrzucane przez algorytmy kolejnych poziomów...



Nasz kawałek nieba

Przykłady
tła

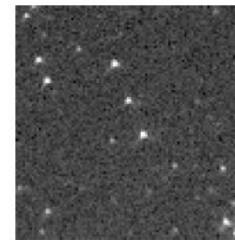
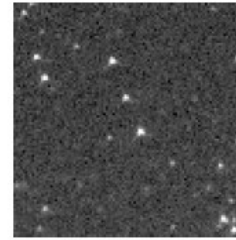
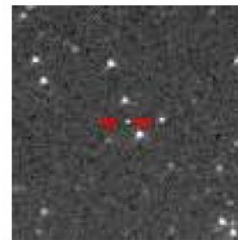
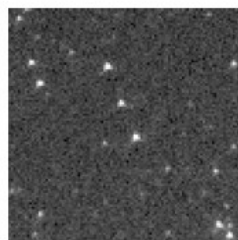
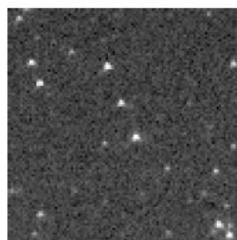
-2

-1

0

1

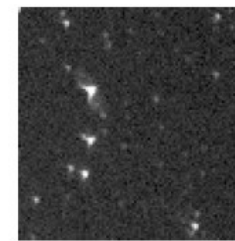
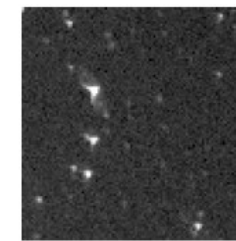
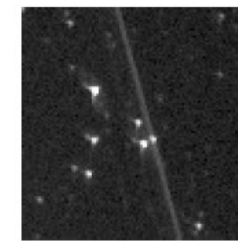
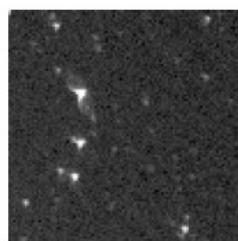
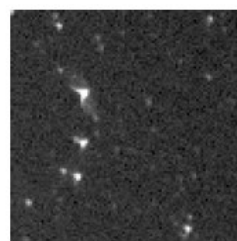
2



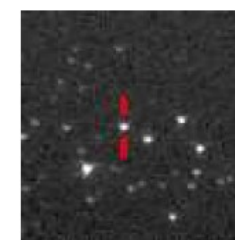
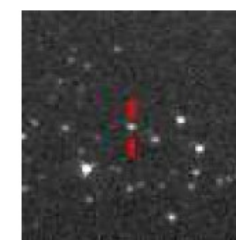
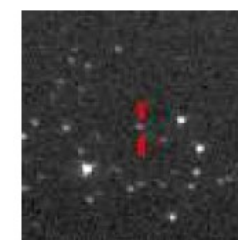
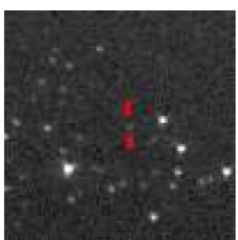
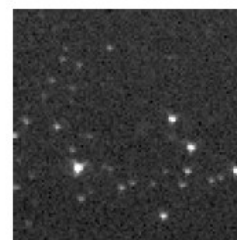
Cosmic



Meteor



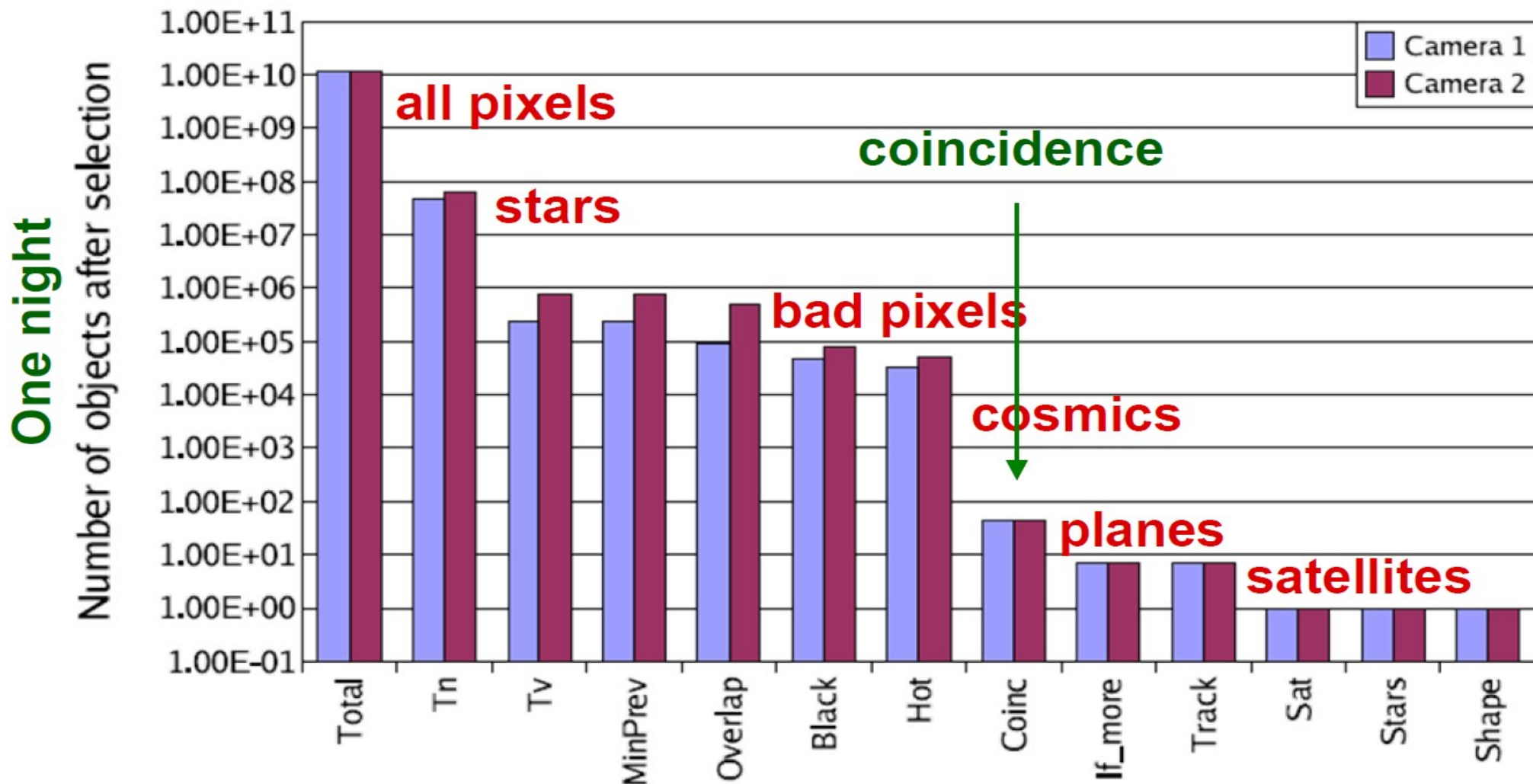
Plane



Satellite

Nasz kawałek nieba

- Wielopoziomowy algorytm redukcji tła



Status projektu

- Do końca 2009 zestawienie pełnego układu
 - 2 zestawy po 12 kamer (docelowo 2×16)
 - kompletny system zasilania i sterowania



Status projektu

- 2010: instalacja pełnego systemu (grant MNiSW)
 - dwa obserwatoria odległe o ≥ 100 km (paralaksa)

Wyspy Kanaryjskie



Status projektu

- 2010: instalacja pełnego systemu (grant MNiSW)
 - dwa obserwatoria odległe o ~ 100 km (paralaksa)

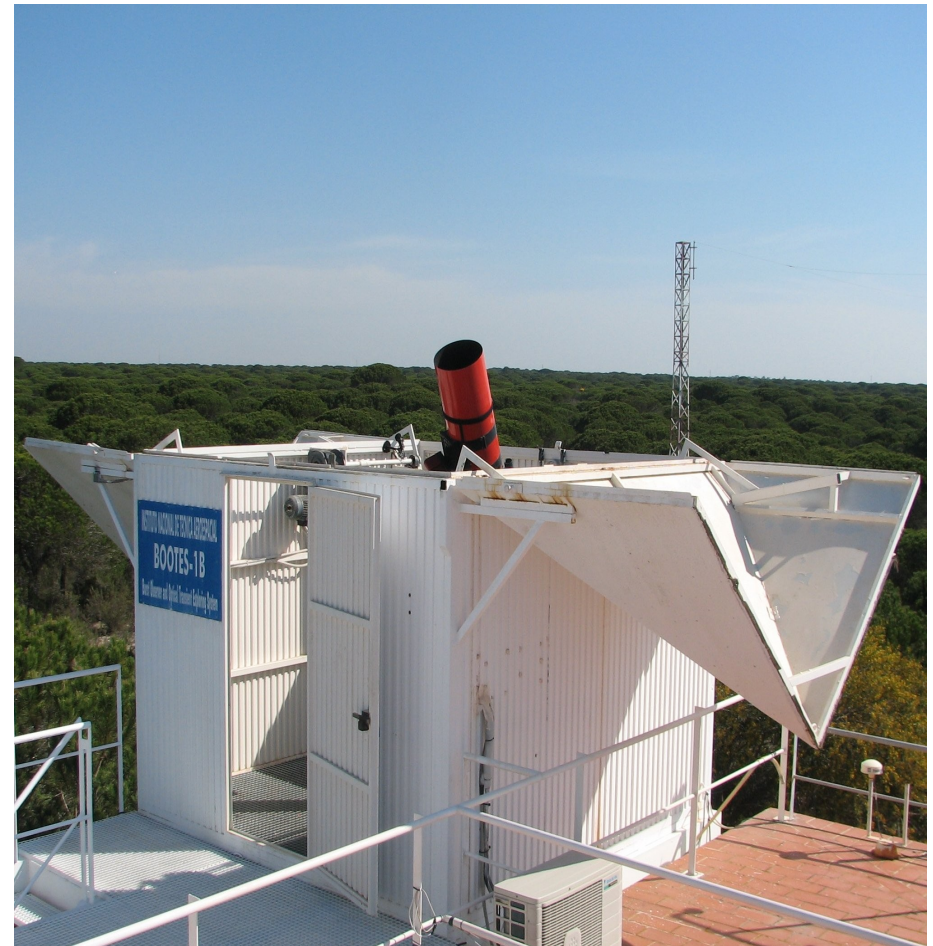
Wyspy Kanaryjskie
i / lub
południe Hiszpanii



Status projektu

- Możliwa współpraca z eksperymentem BOOTES
 - szybki “follow-up” błysków wykrytych przez Pi
 - infrastruktura

teleskop BOOTES-1
w ośrodku INTA koło Huelvy



Status projektu

- Możliwa współpraca z eksperymentem BOOTES
 - szybki “follow-up” błysków wykrytych przez Pi
 - infrastruktura

stacja BOOTES-1
w ośrodku INTA koło Huelvy
2009



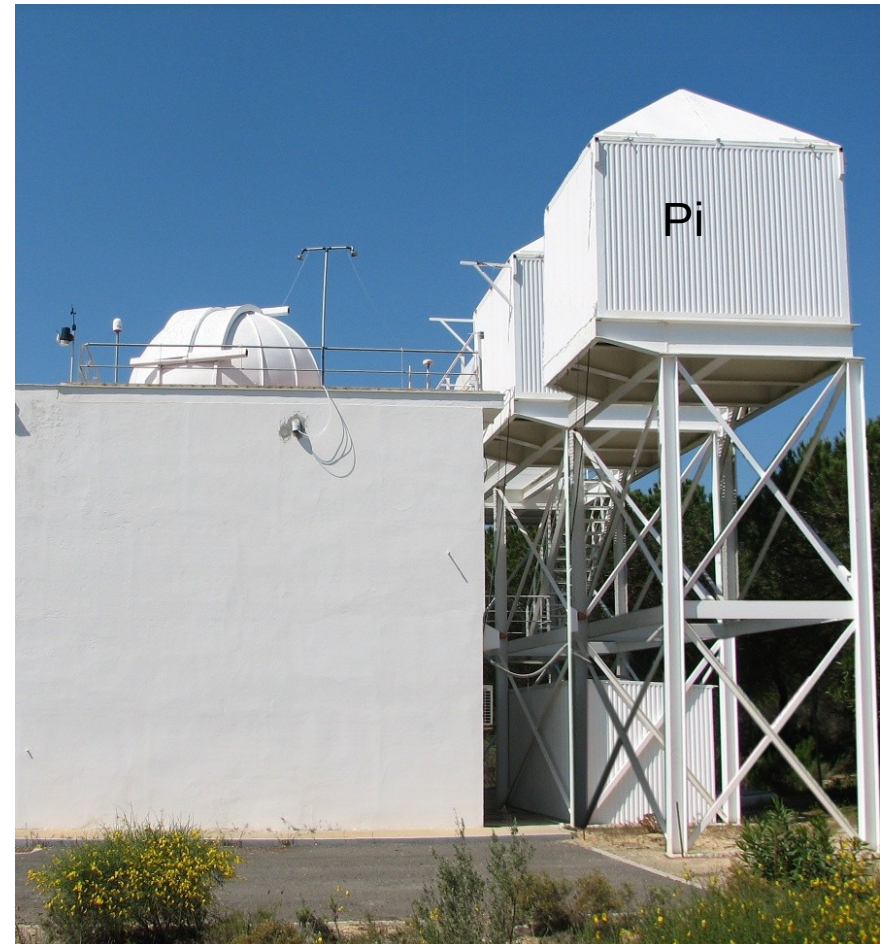
Status projektu

- Możliwa współpraca z eksperymentem BOOTES
 - szybki “follow-up” błysków wykrytych przez Pi
 - infrastruktura

stacja BOOTES-1 / Pi
w ośrodku INTA koło Huelvy

2010 ?

próbna instalacja 1 montażu
planowana na wiosnę 2010



Plany na przyszłość

- Dalszy rozwój kamer CCD
 - “inteligentne” kamery wyposażone w procesor, pamięć i pracujące pod systemem Linux
 - kamery z szybkim odczytem (frame transfer CCD)
 - kamery z układami EMCCD umożliwiające wykonywanie bardzo krótkich ekspozycji
- Zwiększenie zasięgu (nowa optyka)
 - mniejsze pole widzenia jednej kamery
 - więcej kamer dla pokrycia całego nieba
“las teleskopów” (“Telesfor”: telescope forest)

Pi of the Sky

- Zespół:
 - Instytut Problemów Jądrowych (G.Wrochna)
 - Centrum Fizyki Teoretycznej PAN (L.Mankiewicz)
 - Instytut Fizyki Doświadczalnej UW (A.F.Żarnecki)
 - Wydziały Fizyki i Elektroniki PW
 - Centrum Badań Kosmicznych PAN
 - Wydział Matematyki UW
 - Uniwersytet Kard. Stefana Wyszyńskiego
 - Akademia Pedagogiczna w Krakowie

Współpraca: G.Pojmański / ASAS, firma Creotech

Podsumowanie

- Po 40 latach od odkrycia GRB wciąż są zagadką
 - weryfikację modeli utrudnia mała liczba wczesnych obserwacji w innych obszarach widma, w tym optycznych
- “Pi of the Sky” to nowe podejście do wczesnych pomiarów optycznych
 - eliminacja “czasu martwego”
 - samodzielne wykrywanie błysków
- GRB080319B potwierdziło słuszność koncepcji
 - oraz dojrzałość zaproponowanych rozwiązań

Podsumowanie

- “Pi of the Sky” jest całkowicie polskim projektem
- Realizowany przy skromnych środkach dzięki
 - wykorzystaniu istniejących zasobów i doświadczenia
 - współpracy specjalistów z różnych dziedzin
 - pomysłowości i entuzjazmowi młodych ludzi
- Dotychczasowe wyniki pozwalają wierzyć w sukces projektu
 - ale czeka nas jeszcze bardzo dużo pracy

Dziękujemy za uwagę



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