

**Badanie szybkozmiennych procesów
astrofizycznych w eksperymencie
“ π of the Sky”**

Marcin Sokołowski
Instytut Problemów Jądrowych

Obrona rozprawy doktorskiej, 1 lipca 2008

Plan prezentacji :

- Błyski gamma
- Projekt „Pi of the Sky”
- Algorytmy do wykrywania szybko-zmiennych zjawisk astrofizycznych
- Błysk gamma GRB080319b
- Ograniczenie na kolimację emisji optycznej z błysków gamma
- Przewidywania na liczbę obserwacji GRB dla pełnego systemu „Pi of the Sky”

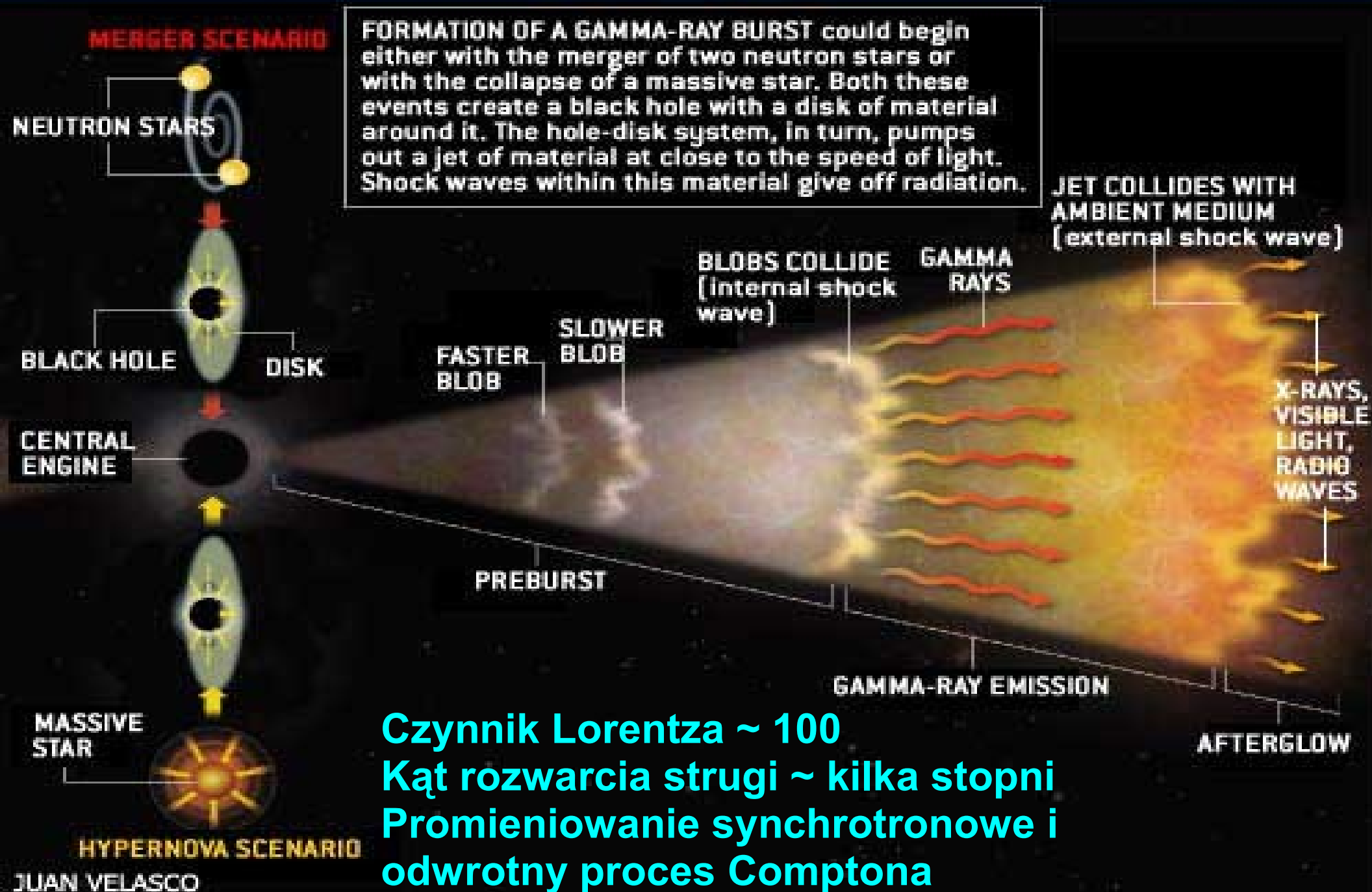
BŁYSKI GAMMA

Rozbłyśki gamma (ang. GRB)

- Krótkie impulsy ($0.1 - 100 \text{ s}$) 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, kilkanaście na miesiąc rejestrują satelity
- Pochodzą spoza Galaktyki, najgwałtowniejsze eksplozje we Wszechświecie po uwzględnieniu na kolimacji $E_{\text{LONG}} \sim 10^{51} \text{ erg}$ (co odpowiada 30 mld lat świecenia Słońca), $E_{\text{SHORT}} \sim 10^{49} \text{ erg}$
- W około połowie przypadków obserwuje się optyczne odpowiedniki

Aktualne modele rozbłysków gamma (Fireball Model)

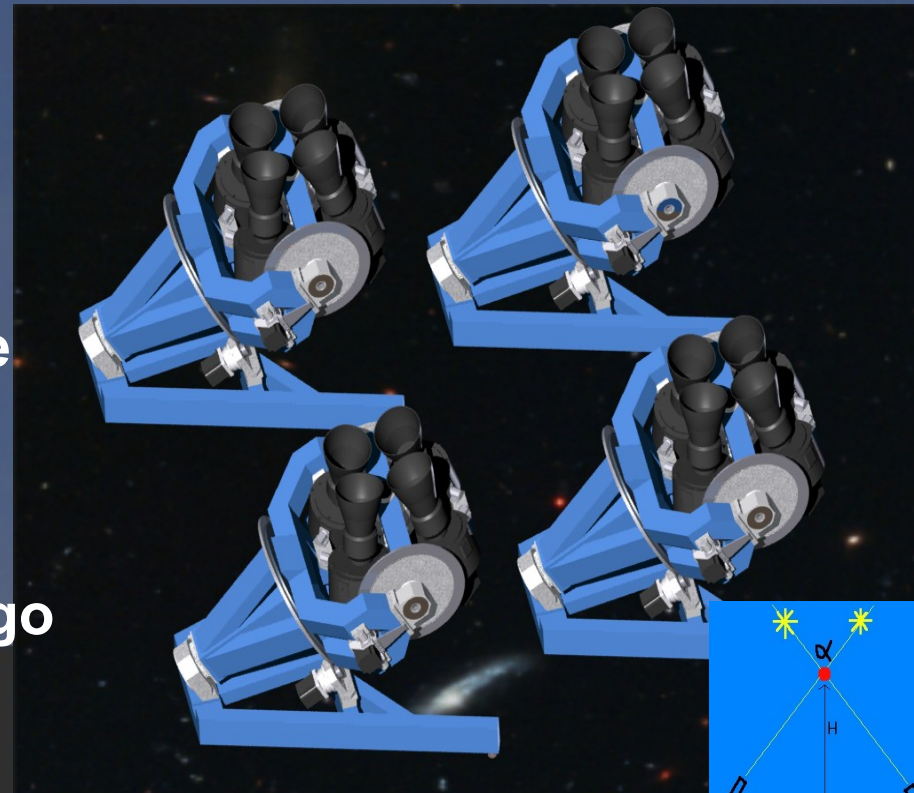
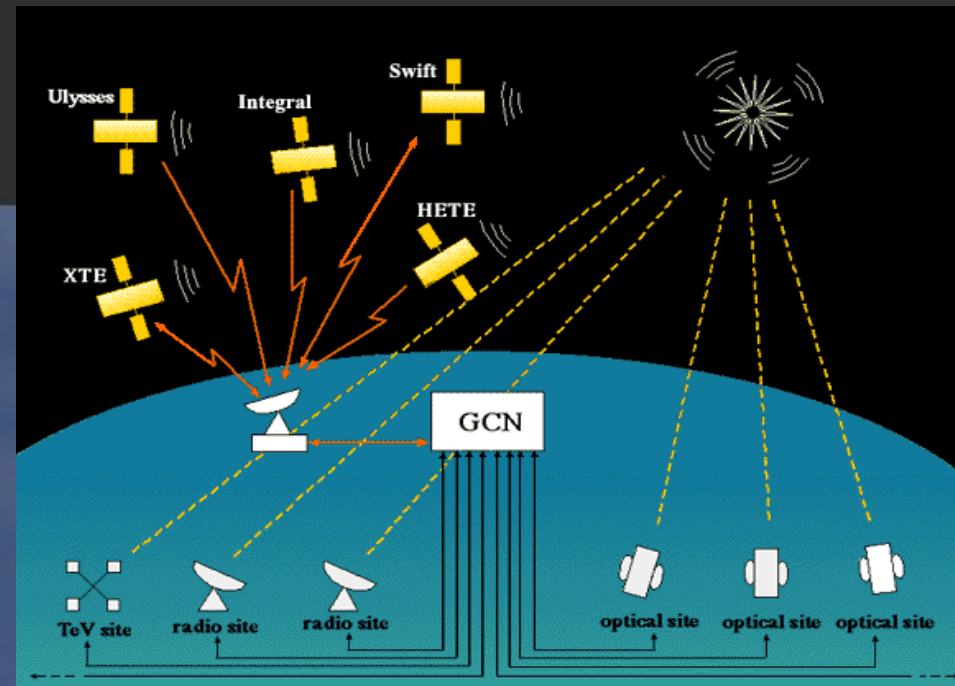
BURSTING OUT



PROJEKT „Pi of The Sky”

Projekt "Pi of the Sky"

- Zastosowanie kamer CCD umożliwia monitorowanie nieba w krótkich skalach czasowych
- Celem projektu są ciągłe obserwacje nieba i badanie procesów astrofizycznych w krótkich skalach czasowych ($T \geq 10$ s)
- Główny cel : optyczne odpowiedniki rozbłysków gamma
- gwiazdy nowe, zmienne, monitorowanie aktywnych jąder galaktyk (AGN)
- Samodzielne wykrywanie błysków optycznych pochodzenia astrofizycznego



Prototyp w LCO

- 2 kamery CCD umieszczone na montażu paralaktycznym, działające w koincydencji
- $f=85\text{mm}$, $f/d=1.2$, pole widzenia $\sim 20^\circ \times 20^\circ$
- Ekspozycje 10 sekundowe
- Zasięg $\sim 11^m$ na zdjęciu 10s i do $\sim 13^m$ na 20 zsumowanych obrazkach
- System jest samodzielny, w razie problemów wysyła SMS-a
- Zdalna kontrola nad systemem przez Internet
- Algorytmy do analizy danych on-line i off-line

System prototypowy działający w Las Campanas Observatory (LCO) w Chile od czerwca 2004

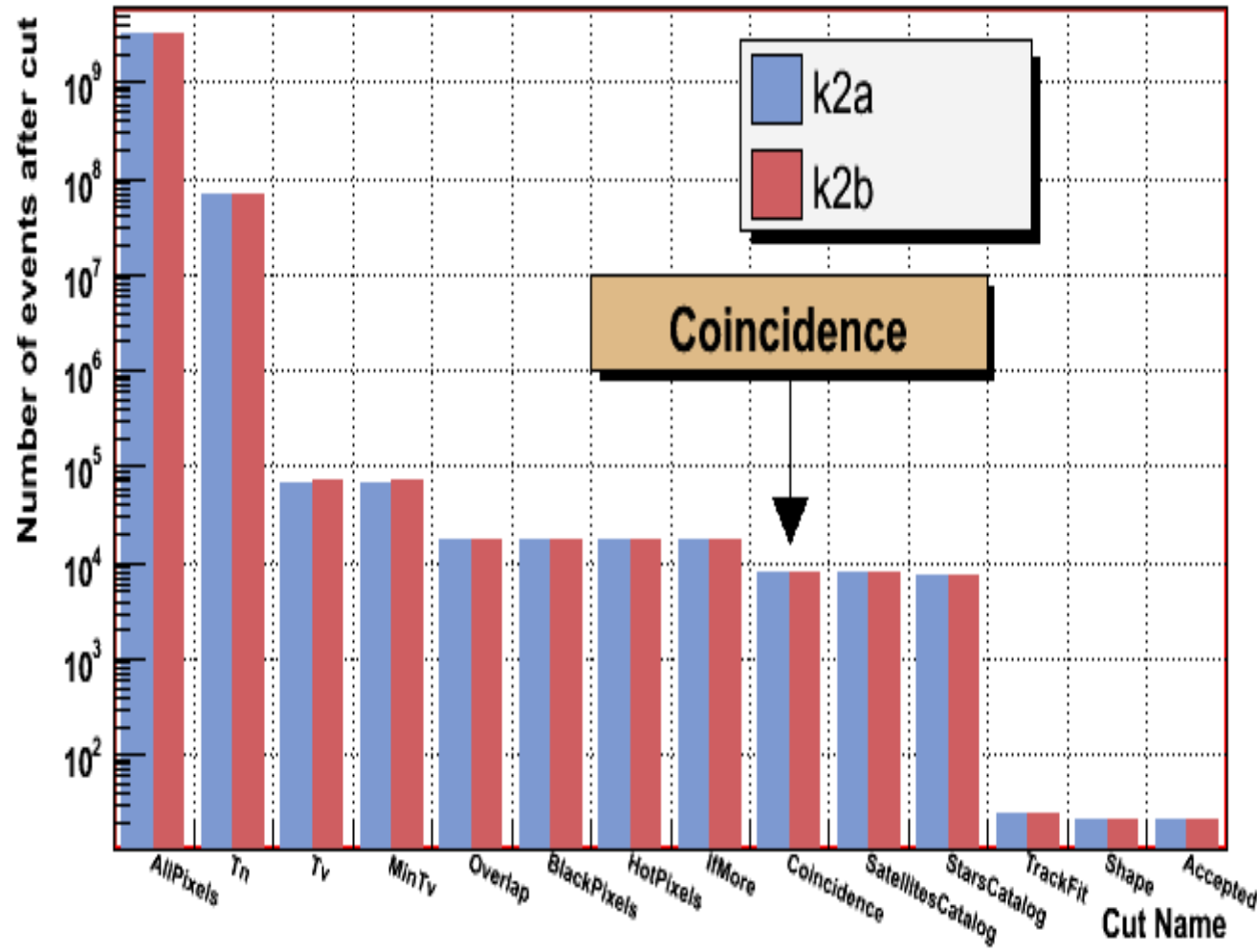


ALGORYTMY DO ANALIZY DANYCH

Algorytm on-line do wykrywania błysków optycznych

- Wielostopniowy system cięć eliminujący różne rodzaje tła wzorowany na metodach stosowanych w fizyce cząstek elementarnych
- Typowe rodzaje tła : prom. kosmiczne, błyskające sztuczne satelity, samoloty, fluktuacje gwiazd, meteory
- Algorytm ten działa w LCO i został przetestowany na danych pochodzących z prototypu

Background rejection by subsequent cuts



Wyniki algorytmów on-line

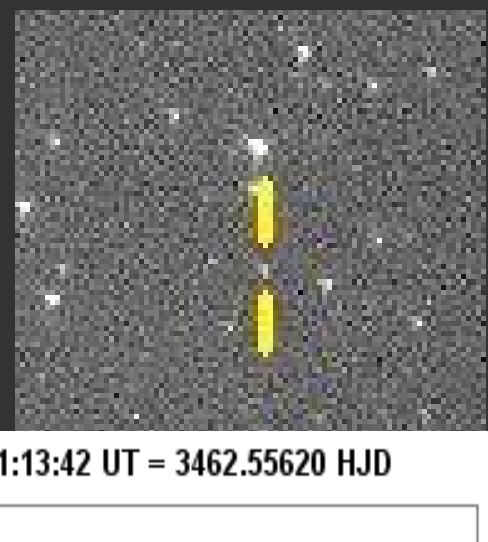
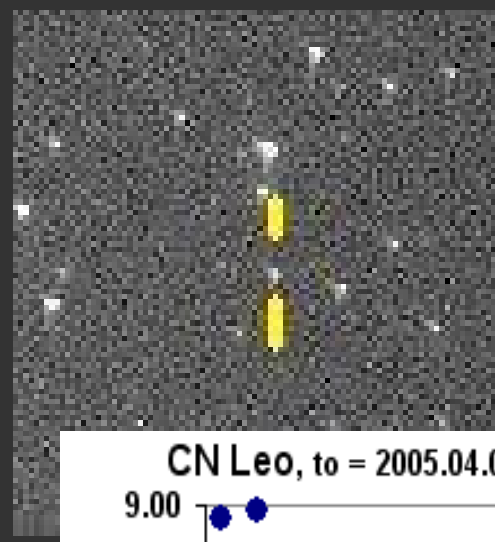
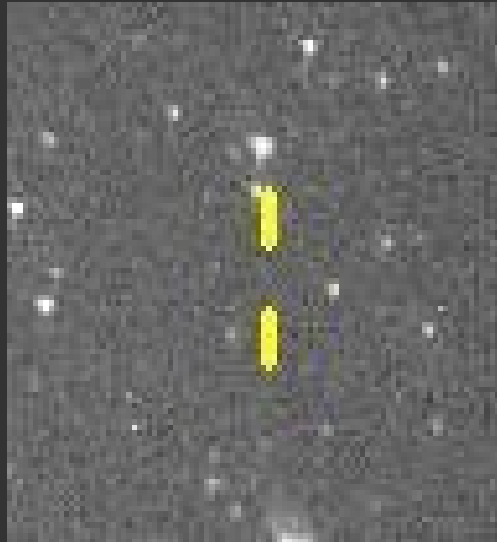
- 2 pewne – **GRB080319b** i rozbłysk gwiazdy rozblyskowej CN Leo
- 8 błysków widocznych na 2 kolejnych klatkach, ale 1 kamerze
- 150 błysków widocznych na 1 klatce, ale 2 kamerach

-1

0

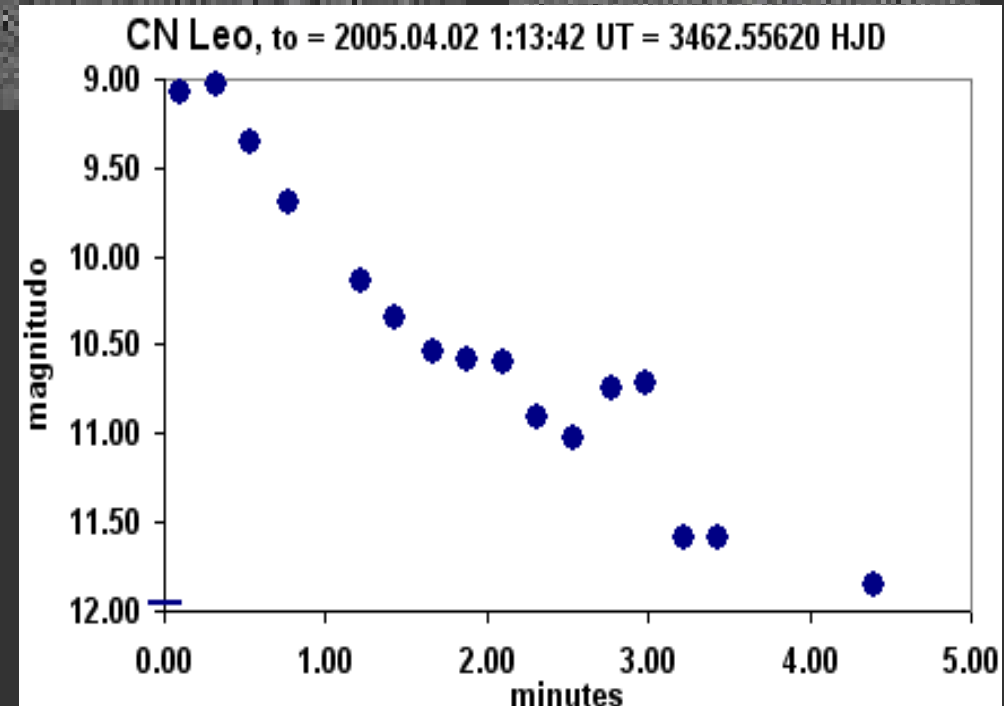
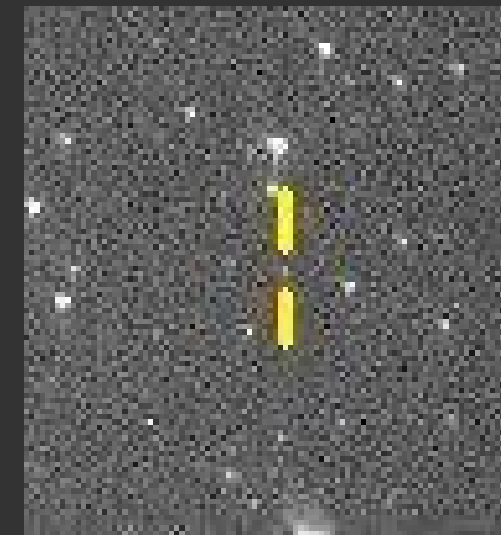
+1

+2



+3

+4



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

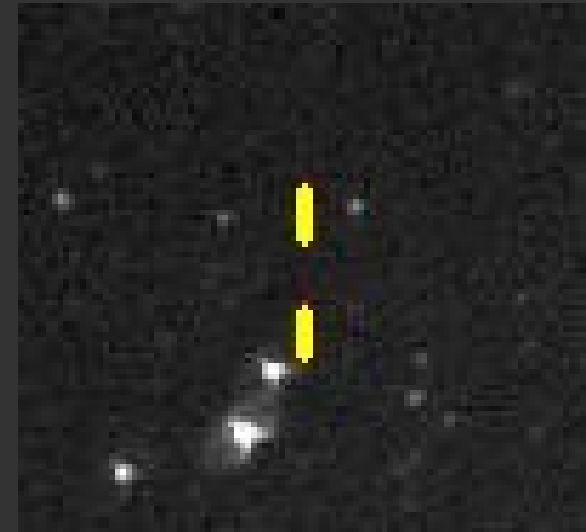
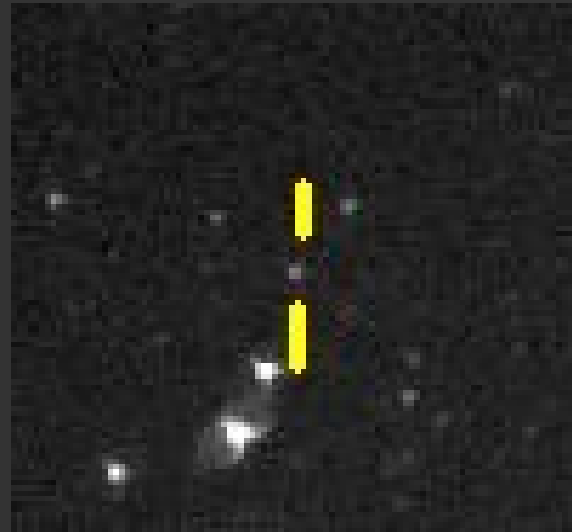
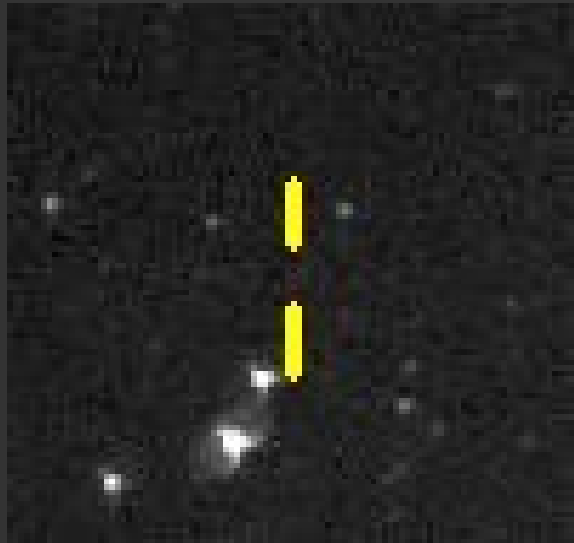
Wciąż mogą to być błyski spowodowane przez sztuczne satelity, których nie ma w używanym przez nas katalogu satelitów (w odległości $d < 70000$ km)

-1

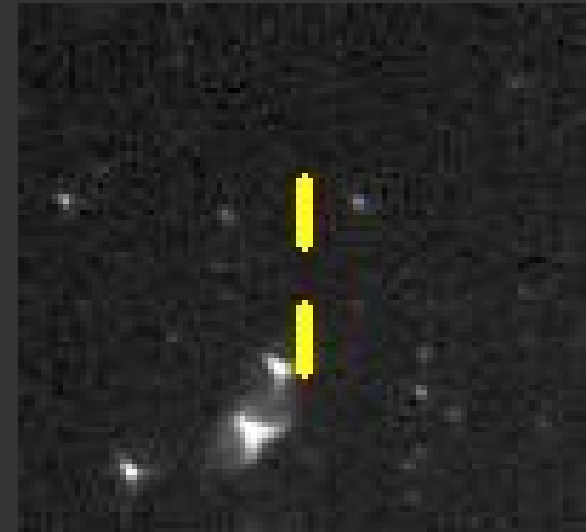
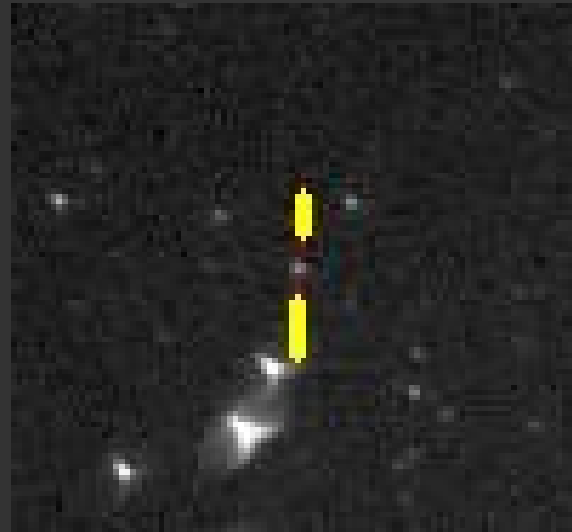
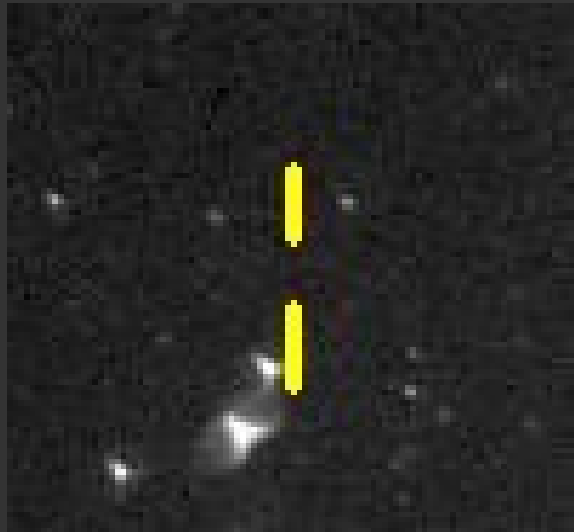
0

+1

k2a



k2b



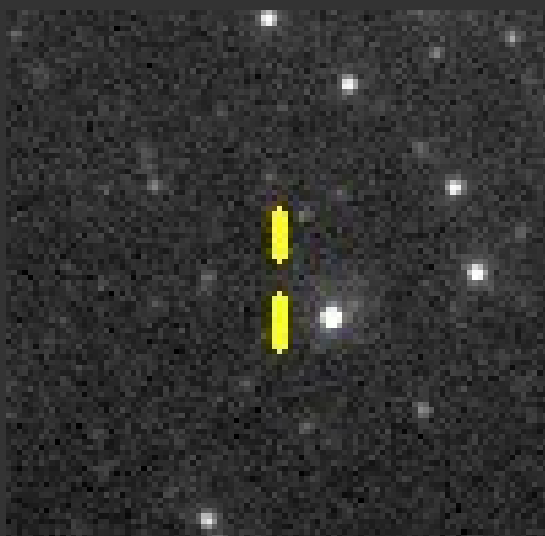
Błysk widoczny na 2 kolejnych zdjęciach

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

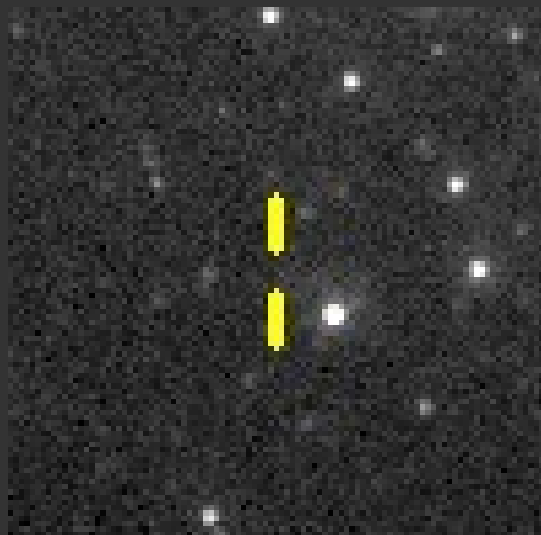
NIE ZNALEZIONO KOINCYDENCJI Z GRB ANI INNYM ZDARZENIEM ASTROFIZYCZNYM

KAMERA K2a

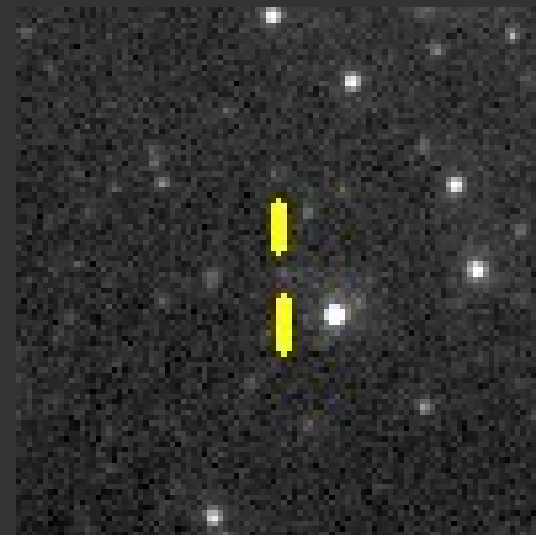
-2



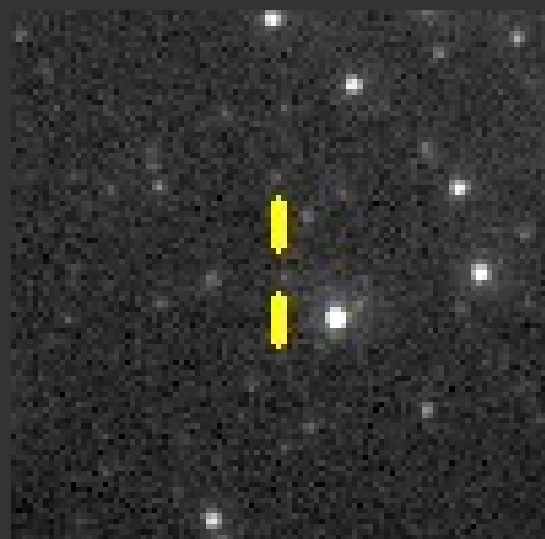
-1



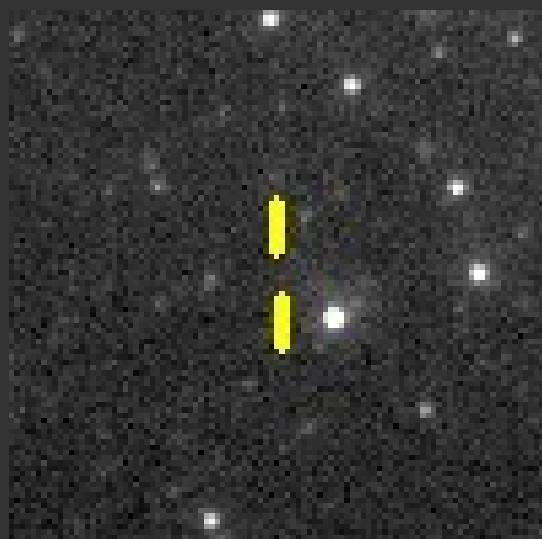
0



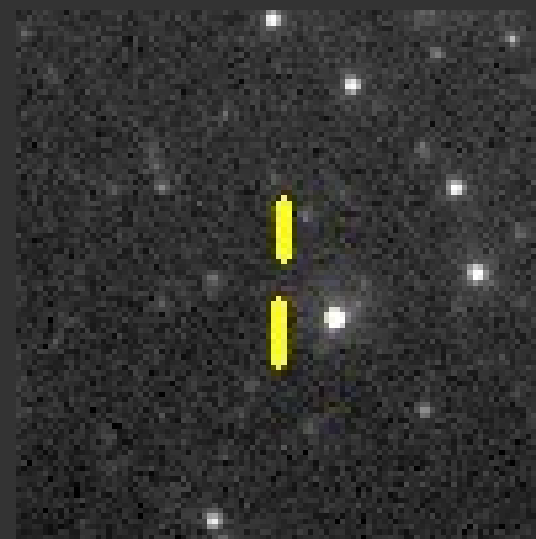
+1



+2



+3

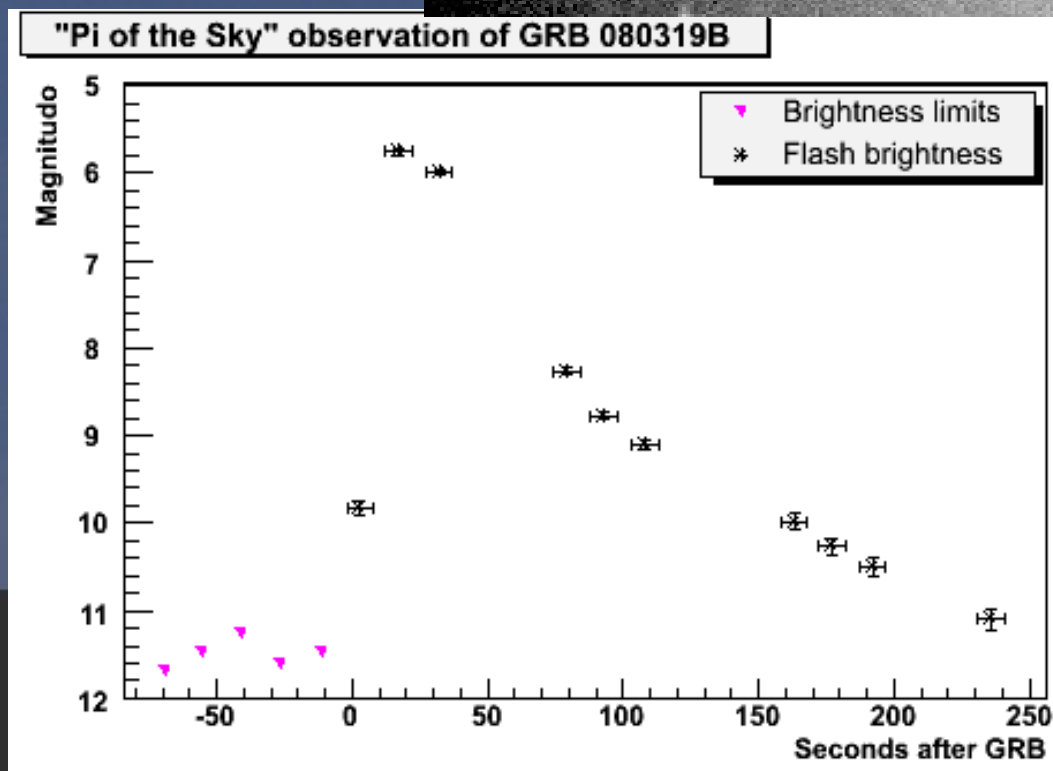


GRB080319B

GRB080319b – dodatek specjalny (zdarzył się już po ukończeniu pracy)

- Rozbłysk gamma **GRB080319b** zaobserwowany 2008-03-19, o 06:12:49 UT przez satelitę SWIFT zdarzył się w polu widzenia detektora „Pi of the Sky”
- Najwcześniejsza obserwacja optyczna została wykonana przez „Pi of the Sky”
- Został również wykryty automatycznie przez algorytm on-line
- Jeden z trzech GRB obserwowanych optycznie w trakcie emisji γ

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



GRB080319b – wyzwanie dla modeli rozbłysków gamma

● Długi błysk gamma ($\Delta T \approx 57s$)

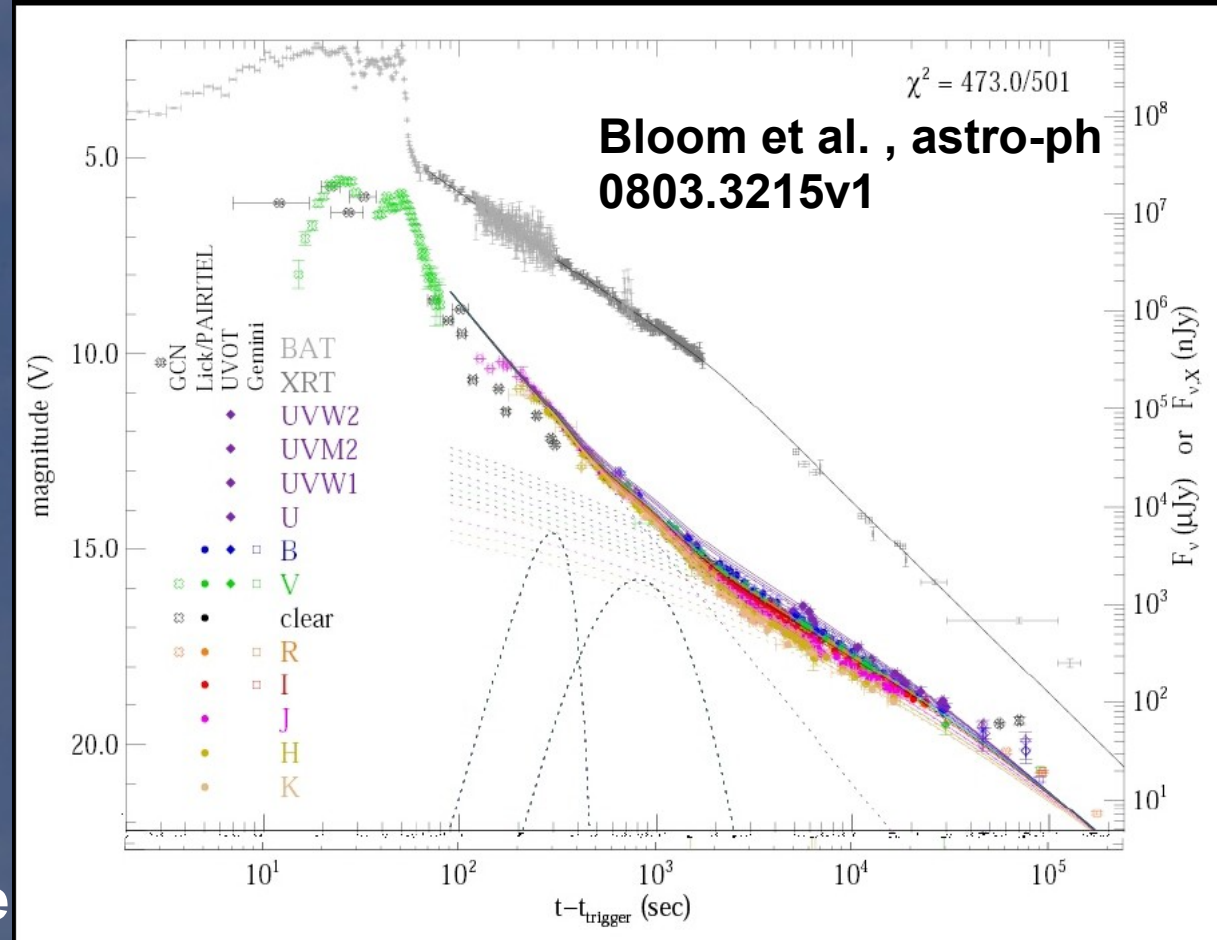
● $z = 0.937$ (7.5 mld lat)

● Najjaśniejszy obserwowany optycznie obiekt we Wszechświecie

● **Bezprecedensowe pokrycie optycznej krzywej blasku**

● Podważa aktualne modele błysków gamma

● Publikacja przyjęta do Nature (arXiv:0805.1557v1)

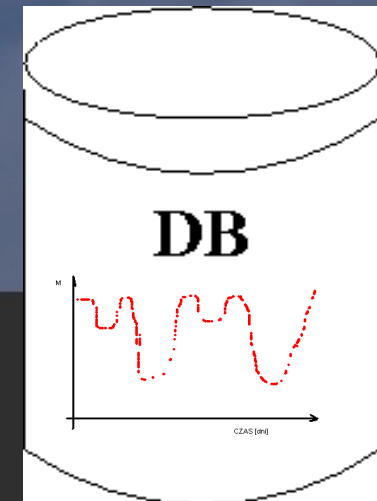


Algorytmy off-line działające na bazie danych

- Surowe dane są redukowane do postaci pomiarów jasności gwiazd i katalogowane do bazy danych
- Algorytmy off-line wykrywają zjawiska zachodzące w skali czasowej 240 sekund
- Analizuje obiekty nowo dodane do bazy danych, mogące być wybuchami gwiazd nowych lub innymi błyskami astrofizycznymi
- Inny algorytm poszukuje wyjaśnień obiektów wcześniej obserwowanych
- Kolejne kryteria algorytmów off-line odrzucają przypadki tła pozostawiając większość interesujących przypadków

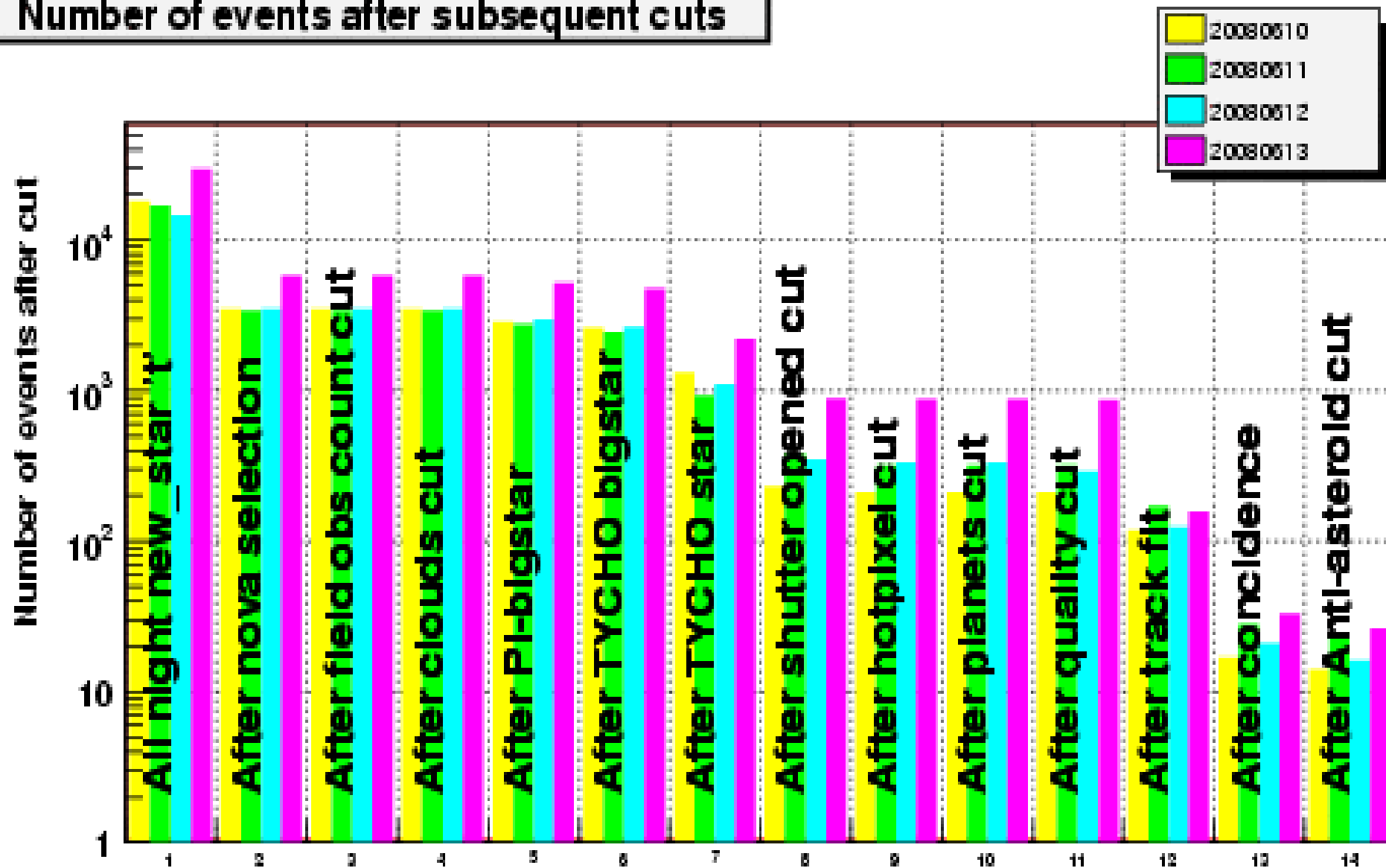


**FOTOMETRIA
ASTROMETRIA
NORMALIZACJA**



Kryteria użyte w algorytmach off-line

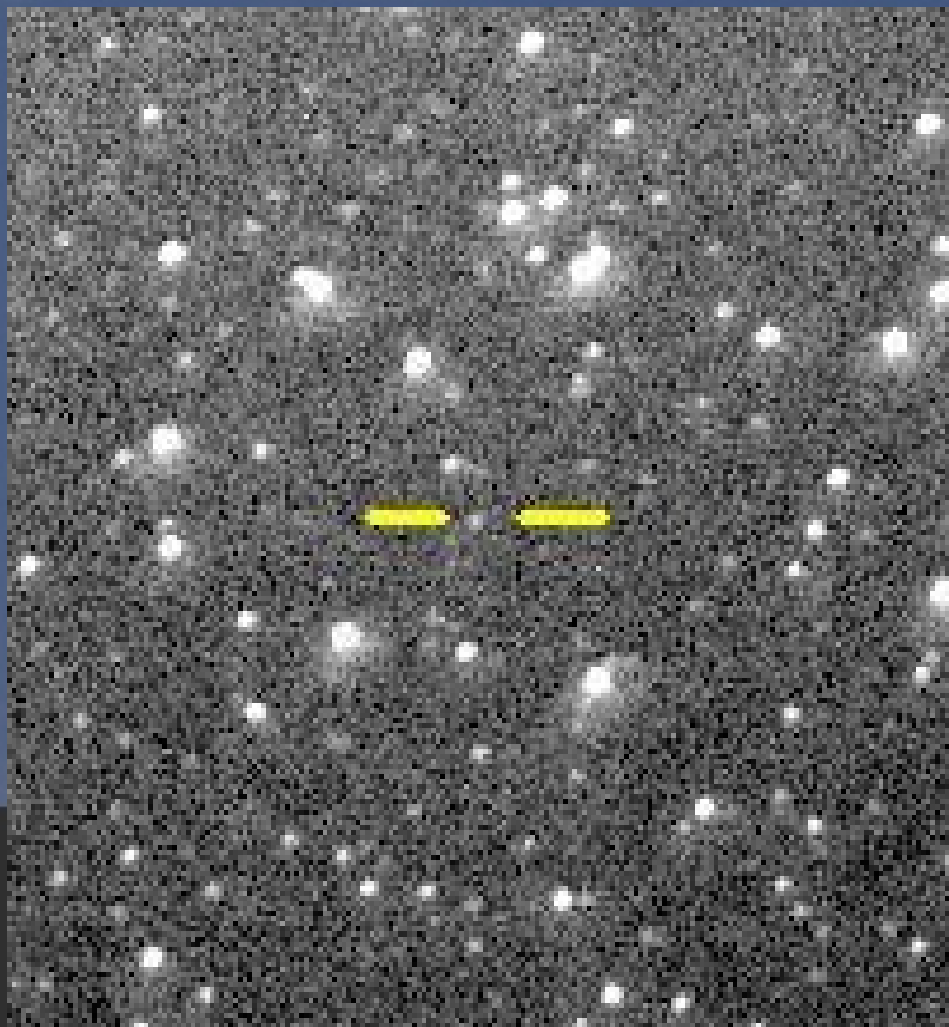
Number of events after subsequent cuts



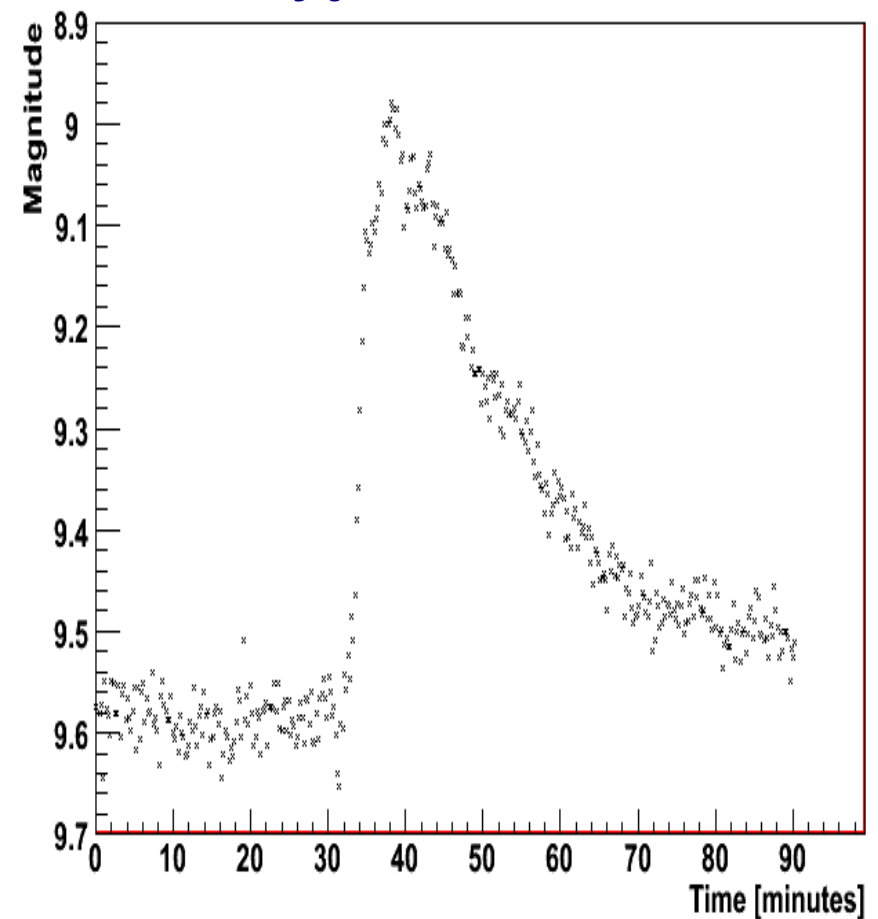
Wyniki algorytmów off-line

Automatyczne wykrycie
wybuchu nowej karłowatej
WW Cet (4 maja 2008)

Automatyczne wykrycie
wybuchu gwiazdy rozbłyskowej
GJ 3331A / GJ 3332
2006.11.28 06:03 UT



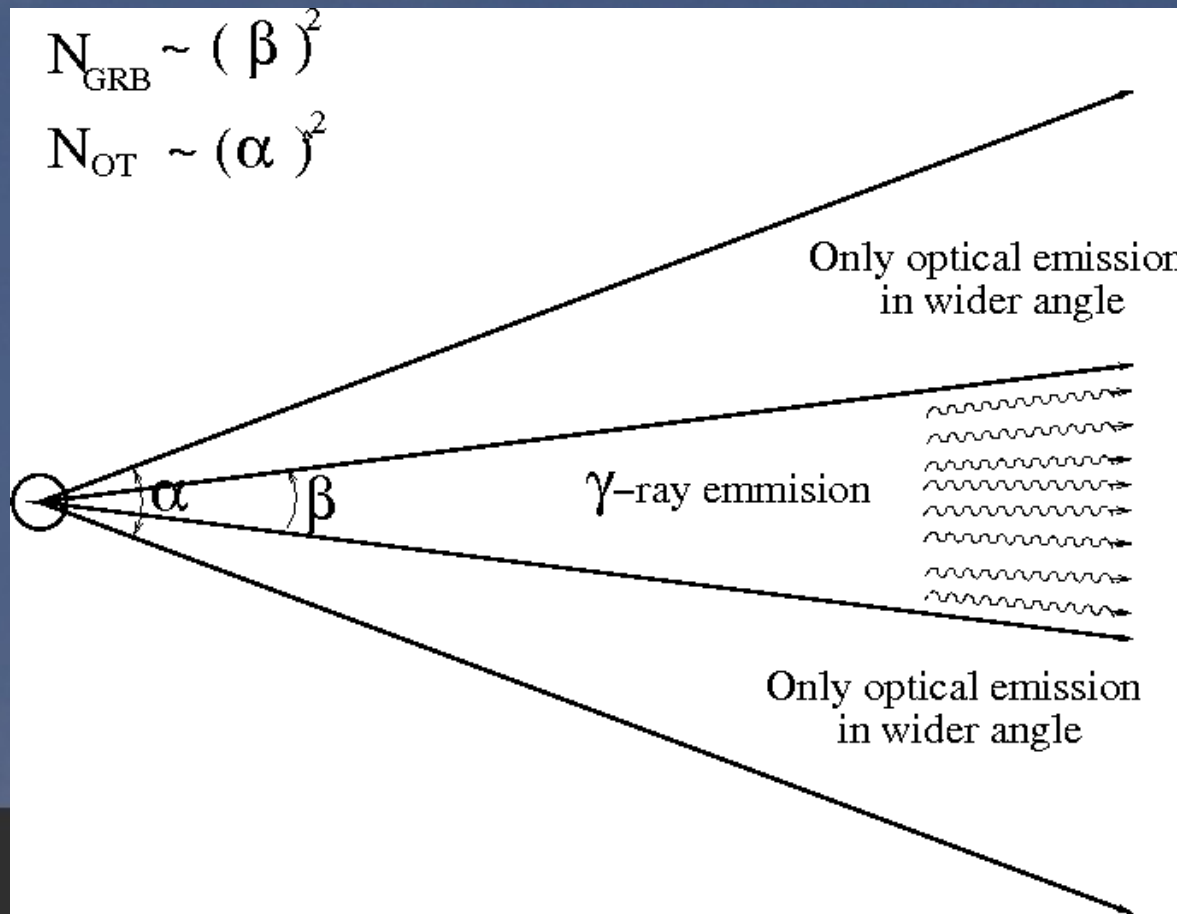
Pomiary jasności co 10 sekund



TESTY MODELI BŁYSKÓW GAMMA

Ograniczenie na kolimację emisji optycznej z GRB

Jeśli kolimacje w pasmach gamma (β) i optycznym (α) są różne, to liczby błysków optycznych (N_{OT}) i gamma (N_{GRB}) obserwowanych z Ziemi powinny się różnić



$$f_c = (\alpha / \beta)^2 = N_{OT} / N_{GRB}$$
$$N_{GRB} \approx 2.5$$

Z obserwacji krótkich błysków optycznych możemy wyznaczyć wartość N_{OT}

Ograniczenie na kolimację emisji optycznej z GRB

N_{OT} można wyznaczyć z liczby krótkich błysków optycznych zaobserwowanych przez detektor „Pi of the Sky”

- Zaobserwowano jeden przypadek widoczny na 2 kolejnych zdjęciach
- Znormalizowany do 4π czas obserwacji $T_{obs} \approx 0.78$ dnia
co daje $N_{\pi-OT} = 1.28 / \text{dzień} / 4\pi$

Wyznaczanie liczby błysków optycznych

- Algorytm może wykrywać tylko błyski optyczne jaśniejsze niż $\sim 12^m$ co oznacza, że tylko $f_{\text{bright}} \sim 8\%$ wszystkich GRB mogłyby być wykryte
- Średnia efektywność wykrywania takich błysków wynosi $\epsilon_{\pi} \approx 35\%$
- Po uwzględnieniu tych czynników liczba błysków optycznych wynosi :

$$N_{\text{OT}} = \frac{N_{\pi-\text{OT}}}{f_{\text{bright}} \cdot \epsilon_{\pi}} \approx 45.8 / \text{dzień} / 4\pi$$

Górny limit na stosunki kątów kolimacji

- Ostatecznie otrzymujemy :

$$f_c = (\alpha / \beta)^2 = N_{OT} / N_{GRB} \leq 48.3 / 2.5 \approx 19.3$$

- Co daje :

$$\alpha \leq 4.4 \beta$$

- Kolimacja emisji gamma jest mierzona i wynosi $\beta \approx 5-20^\circ$
- Ograniczenie nie jest bardzo silne, użycie dłuższego czasu zbierania danych i 16 kamer znacznie je poprawi

PRZEWIDYWANIA DLA PEŁNEGO SYSTEMU

Przewidywania liczby obserwacji optycznych GRB przy pomocy pełnego systemu

- Na podstawie obserwowanych do tej pory optycznych odpowiedników błysków gamma oszacowałem liczbę możliwych obserwacji przy pomocy detektora "Pi of the Sky"
- Okolo **18 %** wszystkich błysków w chwili **T=0** zbliża się do granicy zasięgu detektora

Observation prediction for "Pi of the Sky"	Number of GRB (2005-2007)	%
Guaranteed	6	2.3
Marginal	20	7.7
Extrapolated	20	7.7
Beyond Limit	183	70.1
No early observations	32	12.3
Total GRB#	261	100.0

Przewidywania liczby obserwacji optycznych GRB przy pomocy pełnego systemu

Po uwzględnieniu czasu martwego (dzień / noc, pozycja satelity SWIFT, pogoda) uzyskałem :

LOKALIZACJA	EFEKTYWNY CZAS OBSERWACJI POLA WIDZENIA SATELITY SWIFT	DOBRA POGODA	CAŁKOWITA AKCEPTANCJA
LCO	15%	91%	14%
La Palma	23%	75%	17%

Okolo **15%** wszystkich GRB będzie można zaobserwować pełnym systemem "Pi of the Sky"

Dolne ograniczenie na przewidywana liczbę wartościowych obserwacji GRB przy pomocy pełnego systemu

OT Class	Site	# of OT in 2005-2007	Expected # of observations / year
Guaranteed	LCO	6	0.28
Marginal	LCO	20	0.9
Extrapolated	LCO	20	0.9
Total LCO	LCO	46	2.08
Guaranteed	La Palma	6	0.34
Marginal	La Palma	20	1.1
Extrapolated	La Palma	20	1.1
Total La Palma	La Palma	46	2.54

Liczba przypadków może być większa, ponieważ :

- Wystartował satelita GLAST (11 czerwca 2008)
- Jest szansa na obserwacje krótkich błysków gamma

PODSUMOWANIE

- Aparatura „Pi of the Sky” poszukuje optycznych odpowiedników GRB i innych szybko-zmiennych procesów astrofizycznych
- Opracowano i przetestowano algorytmy do automatycznego wykrywania tego typu zjawisk
- Zaobserwowano najjaśniejszy optycznie GRB 080319b
- Na podstawie liczby krótkich błysków optycznych wyznaczono ograniczenie na kolimację emisji optycznej GRB
- Pełny system pozwoli wykonać więcej interesujących obserwacji

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Recenzja Prof. dr hab. J. Zabierowski

- **Błędy redakcyjne** – zgadzam się z przykrością potwierdzam, że nie unikałem tego rodzaju uchybień (jak kolejność cytowań czy rozmiar czcionki)
- **Rodzajniki „a” i „the”** - niestety również, zamierzam nad tym solidnie popracować na przyszłość
- **Autorstwo procedur triggera**, jest w większości moje własne, dlatego nie pisałem tego wprost.
W przypadku procedury do wyliczania torów satelitów skorzystałem z gotowego kawałka kodu.
Również część procedur została zaadoptowana z eksperymentu ASAS (to zwykle było jasno opisane)

Recenzja Prof. dr hab. H. Wilczyński

- **Błędy redakcyjne / „a” i „the” – jak wyżej**
- **Podrozdział 4.4 : „GRB Observation Results”**

Chodziło mi o pokazanie naszych wyników dotyczących obserwacji wczesnych optycznych odpowiedników błysków gamma (a dokładnie limitów) na tle innych eksperymentów. Również o uwypuklenie faktu, że wczesnych obserwacji optycznych GRB jest bardzo niewiele i jest to trudne. Zwłaszcza jeśli chodzi o obserwacje przed

Recenzja Prof. dr hab. H. Wilczyński

● Podrozdział 4.5.3 : „Limits on the optical luminosity of the GRB source”

Ponieważ analizowałem krzywe blasku optycznych odpowiedników błysków gamma, to zainteresowało mnie jakie są jasności błysków w źródle. Porównywanie obserwowanych jasności dla błysków jest wystarczające jeśli chodzi o przewidywania dotyczące liczby obserwacji przez pełny system "Pi of the Sky". Natomiast chciałem zobaczyć jak wygląda porównanie jasności w samym Wynik wydaje mi się dość interesujący, ponieważ jasność optyczna źródła dla różnych błysków dość dobrze się koreluje. Wykracza to być może poza potrzeby pracy ale wydało mi się dość interesującym wynikiem.

Recenzja Prof. dr hab. H. Wilczyński

- **Niezrozumiałe i niezręczne zdania, na przykład**
„it must be stressed that period at $T=0$ moment is almost unknown”

W tym konkretnym wypadku chodziło o to, że ze względu na bardzo małą liczbę obserwacji optycznych GRB w momencie samego błysku (kilkanaście). Nie wiadomo dokładnie jakie są typowe jasności optyczne w trakcie samego błysku gamma. Więc liczba bardzo jasnych optycznie przypadków może być większa niż wynikałoby to z dotychczasowych obserwacji (w czasach $T>0$) i ekstrapolacji z czasów późniejszych.

Recenzja Prof. dr hab. H. Wilczyński

- **Rozdział 3 : „Data Analysis”**

Rzeczywiście w wielu miejscach pojawiało się zbyt wiele informacji technicznych, które powinny być częścią appendixu lub oddzielnych podrozdziałów.

DZIĘKUJĘ ZA POZYTYWNE RECENZJE !

Skale czasowe we wszechświecie

