

Światowy sukces polskiego projektu badawczego

Wyniki uzyskane przez eksperyment „Pi of the Sky” opublikowane w *Nature*

19 marca 2008 r. o godzinie 7.12 rano czasu polskiego satelita Swift monitorujący nieustannie niebo w poszukiwaniu źródeł promieniowania gamma zarejestrował niezwykle silny błysk gamma (z ang. GRB – Gamma Ray Burst), który oznaczony został jako GRB 080319B. Polska aparatura pomiarowa projektu "Pi of the Sky" umieszczona w obserwatorium Las Campanas na pustyni Atacama w Chile jako pierwsza, zanim na Ziemię dotarła informacja z satelity, zarejestrowała towarzyszący mu rozbłysk optyczny. Siła błysku była ogromna – jak się wkrótce okazało był to najjaśniejszy rozbłysk zaobserwowany kiedykolwiek przez człowieka. W ciągu kilkunastu sekund obserwację podjął także inny zrobotyzowany teleskop: TORTORA. Gdy satelita Swift przesyła na Ziemię alert informujący o przybliżonej lokalizacji błysku w jego kierunku dziesiątki, a potem setki teleskopów umieszczonych na całej Ziemi. Godzinę później Very Large Telescope w Chile wyznacza przesunięcie ku czerwieni dla tego błysku, dzięki czemu wiemy, że jego źródło było odległe aż o 7.5 miliarda lat świetlnych. Przez kolejne tygodnie szybko gasnące źródło GRB obserwowane było w bardzo szerokim zakresie widma: od fal radiowych, przez mikrofały, zakres optyczny, rentgenowski, aż do promieniowania gamma. Była to pierwsza tak dokładna i pełna obserwacja GRB w historii badań nad tym zjawiskiem. Zestawienie i łączna analiza wszystkich zebranych danych zmusiły nas do modyfikacji przyjętego dotychczas modelu powstawania GRB. Wyniki te mają ogromne znaczenie dla rozwoju dziedziny. Docenili je również wydawcy *Nature* przyjmując do publikacji artykuł opisujący tę obserwację. Wśród międzynarodowego grona autorów jest 10 Polaków, członków zespołu „Pi of the Sky”.

Błyski Gamma

Błyski gamma zostały odkryte w latach 60-tych XX wieku przez amerykańskie satelity szpiegowskie VELA poszukujące promieniowania towarzyszącego tajnym próbom jądrowym. Są to krótkie, trwające od ułamka sekundy do kilkuset sekund, i bardzo intensywne wybuchy promieniowania elektromagnetycznego. Wiemy już, że promieniowanie to nie ogranicza się do zakresu promieniowania gamma, ale dotyczy z różnym natężeniem wszystkich zakresów widma, od fal radiowych, aż do fotonów o energiach rzędu TeV. Choć od ich odkrycia minęło ponad 40 lat wciąż stanowią jedną z największych zagadek astrofizyki.

Jest wiele modeli, które próbują wyjaśnić jak dochodzi do wybuchów będących źródłem GRB, ale wciąż nie mamy wystarczających danych, żeby rozstrzygnąć o istocie tego zjawiska. Z powodu obserwowanej intensywności GRB bardzo długo uważano, że ich źródłem muszą być procesy zachodzące w naszej galaktyce, stosunkowo niedaleko od nas (obserwowana intensywność w pierwszym przybliżeniu maleje z kwadratem odległości). Dopiero po 30 latach, kolejna generacja dedykowanych satelitów badawczych pozwoliła na precyzyjne pomiary pozycji GRB, a dzięki temu na ich powiązanie z obserwacjami w

zakresie promieniowania rentgenowskiego, fal radiowych i paśmie optycznym. Pomiarów tzw. przesunięcia ku czerwieni w widmie poświaty optycznej obserwowanej po GRB pokazały ponad wszelką wątpliwość, że mamy do czynienia ze zjawiskami zachodzącymi bardzo daleko we wszechświecie, w odległościach mierzonych w miliardach lat świetlnych. Dzięki tej obserwacji wiemy, że błyski gamma należą do najbardziej energetycznych zjawisk we wszechświecie. W czasie ułamków sekund do pojedynczych minut swojego trwania wypromieniowują olbrzymie ilości energii, więcej niż Słońce wypromieniuje przez cały okres swojego istnienia.

O mechanizmach odpowiedzialnych za rozbłyski gamma wciąż wiadomo stosunkowo niewiele. Podstawowym problemem polega na tym, że istnieje stosunkowo niewiele obserwacji w innych obszarach widma niż promienie gamma. Wiadomo, że obserwowane błyski można podzielić na dwa rodzaje: krótkie, o czasie trwania rzędu ułamków sekund, i długie, o czasie trwania od kilku do kilkuset sekund. Od czasu odkrycia kilku przypadków koincydencji pomiędzy rozbłyskiem gamma a wybuchem supernowej, wiadomo że przynajmniej niektóre spośród długich rozbłysków związane są z supernowymi. W tym wypadku jedno z bardziej prawdopodobnych wyjaśnień mechanizmu długich rozbłysków oparte jest o model tzw. kolapsu, w którym źródłem energii rozbłysku jest zapadanie grawitacyjne masywnej gwiazdy do gwiazdy neutronowej, a następnie do czarnej dziury. Znacznie mniej wiadomo o błyskach krótkich, gdyż jak dotąd nie udało się zaobserwować optycznej poświaty towarzyszącej żadnemu z nich. Najpopularniejszą hipotezą jest fuzja dwóch masywnych obiektów, na przykład gwiazd neutronowych. Także w tym przypadku spodziewamy się powstania czarnej dziury i towarzyszącej temu erupcji promieniowania.

Podstawową barierą w badaniach błysków optycznych towarzyszących GRB stanowi skala czasowa tego zjawiska. Promieniowanie gamma pochłaniane jest w atmosferze ziemskiej, więc może być wykrywane jedynie przez dedykowane satelity badawcze. Informacja z satelity o zarejestrowaniu błysku gamma dociera do obserwatoriów na Ziemi z kilkunasto- lub kilkudziesięciosekundowym opóźnieniem. Jest to często dłużej niż sam czas trwania błysku. A nawet dedykowane teleskopy-roboty, które automatycznie zwracają się w kierunku, z którego dostrzeżono błysk potrzebują kolejnych kilkudziesięciu sekund na podjęcie obserwacji. Dlatego większość dotychczasowych pomiarów optycznych dotyczyła jedynie tzw. poświaty, czyli zanikającego promieniowania pochodzącego z miejsca, w którym wcześniej nastąpił wybuch. Istniejące dane nie pozwalały nawet na rozstrzygnięcie czy błysk optyczny jest równoczesny, czy też opóźniony w stosunku do błysku gamma.

Szybką wymianę informacji pomiędzy satelitami a instrumentami naziemnymi takimi jak „Pi of the Sky” zapewnia Gamma Ray Bursts Coordinate Network (GCN) przesyłający współrzędne błysków za pośrednictwem internetu prosto do komputerów kierujących teleskopami, automatycznie i bez konieczności ludzkiej interwencji. Głównym źródłem informacji o GRB jest obecnie wystrzelony w 2004 roku satelita SWIFT, który ma na pokładzie oprócz detektora gamma także teleskop rentgenowski i optyczny. Dzięki możliwości skierowania tych przyrządów w dowolny punkt nieba po dostarcza informacji o GRB w wielu zakresach widma. Ale 11 czerwca tego roku wystrzelony został GLAST, kolejny satelita dedykowany badaniom GRB. Oczekujemy, że po osiągnięciu pełnej

sprawności istotnie podniesie efektywność rejestracji błysków gamma, a także dostarczy dodatkowych informacji o promieniowaniu w najwyższym obszarze energii sięgającym 300 GeV.

Pi of the Sky

Jednym z inspiratorów projektu „Pi of the Sky” był nieżyjący już dziś prof. Bogdan Paczyński, wybitny polski astrofizyk, od początku lat 80-tych XX wieku pracujący w Institute for Advanced Study w Princeton w Stanach Zjednoczonych, który przez wiele lat interesował się błyskami gamma. Razem z dr Grzegorzem Pojmańskim z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego zaproponował on nowe podejście do badania rzadkich zjawisk astrofizycznych, takich jak rozbłyski gamma. Dotychczasowe obserwacje astronomiczne prowadzone przy użyciu ogromnych teleskopów polegały na ogół na obserwowaniu małego wycinka nieba przez wiele godzin. Takie podejście nie sprawdza się w poszukiwaniu błysków optycznych, towarzyszących błyskom gamma. Aby zwiększyć szanse na ich rejestrację musimy obserwować jak największy obszar nieba i robić zdjęcia bardzo często, żeby uchwycić to bardzo krótkie zjawisko.

Zbudowana dzięki dotacji otrzymanej z MNiSW i zestawiana aktualnie pełna aparatura pomiarowa projektu "Pi of the Sky" będzie składać się z dwóch zestawów zawierających po 12 małych teleskopów, przymocowanych do sześciu ruchomych montażu, po 4 na każdym montażu. Zasada działania teleskopów jest podobna do zwykłych kamer, czy cyfrowych aparatów fotograficznych, których używamy na co dzień. Są jednak wyposażone w wysokiej klasy obiektywy fotograficzne firmy Canon i specjalne sensory CCD o rozdzielczości 4 milionów pixeli. Są one tak czułe, że pozwalają rejestrować niemalże pojedyncze fotony. Od kamer stosowanych w dużych teleskopach astronomicznych różnią się z kolei szybkim czasem działania. Czas trwania błysków gamma mierzony jest w sekundach. Aby zwiększyć szanse ich wykrycia 24 teleskopy eksperymentu „Pi of the Sky” będą co 10 sekund robić zdjęcia obserwowanego obszaru nieba. Dla porównania, czasy ekspozycji w dużych teleskopach mierzy się w minutach, a nawet w godzinach. Kamery „Pi of the Sky” są unikatową konstrukcją, w całości opracowaną przez polskich fizyków, inżynierów i elektroników dla potrzeb tego eksperymentu. Jednym z kluczowych osiągnięć jest opracowanie specjalnej konstrukcji migawki, której żywotność pozwala na ponad milion otwarć, czyli kilkakrotnie więcej niż migawki komercyjne. Jest to przykład zaawansowanej mechaniki precyzyjnej na bardzo wysokim poziomie, podobnie jak budowa montażu, czyli obrotowej platformy pozwalającej na kierowanie teleskopu w zadanym kierunku. Wiele unikalnych rozwiązań technologicznych powstało przy okazji tego projektu. Także oprogramowanie do sterowania kamer i montażu oraz do analizy napływających danych, zawiera szereg nowatorskich rozwiązań. Stworzyli je młodzi naukowcy, doktoranci i studenci pracujący w zespole „Pi of the Sky”. Oprogramowanie to „ożywia” zbudowaną aparaturę tworząc z niej potężne narzędzie badawcze pozwalające zbierać i na bieżąco analizować ogromne strumienie danych.

Projekt „Pi of the Sky” nie mógłby jednak powstać bez przełomowej wręcz zmiany podejścia do obserwacji astronomicznych. Ciągła obserwacja dużego obszaru nieba z rozdzielczością czasową rzędu sekund oznacza ogromny strumień danych, każdej nocy wykonywane będą dziesiątki tysięcy zdjęć. Nie byłoby możliwe efektywne przeanalizowanie tych danych w klasycznym podejściu, w którym dane najpierw są zbierane a dopiero potem w całości analizowane. Aby rozwiązać ten problem wykorzystaliśmy podejście wypracowane wiele lat temu dla dużych eksperymentów fizyki cząstek elementarnych. Dane zbierane przez aparaturę są na bieżąco przetwarzane, zanim jeszcze zostaną zapisane na dysku. Specjalne algorytmy przeczesały dane w poszukiwaniu błysków. Pierwszy algorytm dokonuje tylko zgrubnej oceny, bo musi być bardzo szybki, żeby przeanalizować pełen zestaw danych. Kolejne algorytmy analizują już tylko wcześniej wybrane dane i mogą je analizować coraz dokładniej. W ciągu kilku minut osoba nadzorująca działanie systemu otrzymuje informacje, że zaobserwowano przypadek, który może być błyskiem optycznym. Ostatecznie dane zawsze weryfikuje człowiek. Najistotniejsze w tym podejściu jest to, że jesteśmy w stanie sami rozpoznawać błyski i nie jesteśmy uzależnieni od informacji pochodzących z satelitów lub innych teleskopów.

Montaż i testy pełnej aparatury eksperymentu „Pi of the Sky” powinny zakończyć się w najbliższych miesiącach. Mamy nadzieję, że w przyszłym roku będziemy mogli umieścić tą aparaturę w miejscu zapewniającym optymalne warunki obserwacji. Jednak już od 2004r. w Las Campanas Observatory w Chile pracuje prototypowa aparatura pomiarowa składająca się z dwóch kamer. Celem budowy prototypu była weryfikacja przyjętej koncepcji prowadzenia obserwacji, w tym przygotowanie i przetestowanie skomplikowanego oprogramowania służącego zbieraniu i analizie danych. Oprogramowanie to pozwala na całkowicie autonomiczną pracę aparatury bez konieczności zapewnienia ciągłego nadzoru człowieka. Jednocześnie daje możliwość pełnej diagnostyki i całkowitej kontroli nad wszystkimi funkcjami aparatury za pośrednictwem internetu. Po trzech latach działania system został dopracowany na tyle, że potrafi poradzić sobie samodzielnie z większością przytrafiających się od czasu do czasu błędów lub nieprawidłowości w działaniu aparatury. W przypadku poważniejszych kłopotów automatycznie informuje o nich dyżurnego operatora poprzez wysłanie SMS. Podobnie dzieje się w przypadku wykrycia przez satelitę błysku gamma. Prawie cztery lata działania systemu prototypowego w pełni potwierdziło słuszność przyjętej koncepcji i zastosowanych rozwiązań. W grudniu 2007 system automatycznie odkrył rozbłysk gwiazdy nowej karłowatej, ostatecznie potwierdzając możliwość rejestracji błysków optycznych.

Podkreślić należy fakt, że cały projekt powstaje od początku w Polsce, w instytucjach tworzących nasz zespół, dzięki ogromnemu zaangażowaniu i entuzjazmowi wielu, w przeważającej większości młodych ludzi. Kiedy rozpoczynał się ten projekt wielką niewiadomą nie było to jak zbudować taki detektor, ale czy uda się go zbudować w Polsce. Czy dysponujemy dostateczną wiedzą, zapleczem technicznym, wreszcie czy potrafimy to wszystko zorganizować i udźwignąć ciężar odpowiedzialności za tak skomplikowane przedsięwzięcie. Dzisiaj możemy powiedzieć że odpowiedź na te pytania jest twierdząca i jest to także bardzo poważne osiągnięcie.

GRB080319B

W środę 19 marca 2008, po prawie 4 latach działania aparatury prototypowej zobaczyliśmy wreszcie tak długo wyczekiwany błysk. O godzinie 7:13 satelita Swift przesłał sygnał o zarejestrowaniu silnego błysku gamma podając jego przybliżoną lokalizację. Błysk ten został oznaczony jako GRB 080319B (drugi spośród zarejestrowanych tej nocy). Mieliśmy dużo szczęścia, gdyż w tym czasie aparatura "Pi of the Sky" obserwowała właśnie ten fragment nieba! Wkrótce okazało się, że był to największy i najsilniejszy błysk gamma, jaki kiedykolwiek został zarejestrowany przez człowieka. Sygnał pochodził przy tym ze źródła odległego aż o 7.5 miliarda lat świetlnych. Mimo rekordowej odległości rozbłysk był tak silny, że jak wykazały pomiary wykonane przez nasz detektor, przez około 30 sekund widoczny był gołym okiem. Dla porównania, najbardziej odległym obiektem astronomicznym widocznym gołym okiem jest galaktyka M33, odległa od nas o "zaledwie" 2.9 miliona lat świetlnych

Aparatura „Pi of the Sky” dostarczyła niezwykle cennych informacji na temat GRB 080319B, gdyż zarejestrowała to co działo się w miejscu zdarzenia tuż przed i w pierwszych sekundach właściwego wybuchu. Tego typu dane są kluczowe dla zrozumienia mechanizmu zachodzącego zjawiska. Obserwacje optyczne "Pi of the Sky" w połączeniu z danymi w widmie gamma otrzymanymi przez satelitę "Swift" po raz pierwszy potwierdzają z dziesięciosekundową precyzją, że w czasie wybuchu takiego jak obserwowany, emisja optyczna zachodzi równocześnie z emisją promieniowania gamma. Na zarejestrowanych obrazach widać też, że faza wybuchu, w której jasność optyczna narastała trwała nie dłużej niż 20 sekund. Tak precyzyjne obrazy przebiegu GRB nie były do tej pory dostępne naukowcom. Dwie wcześniejsze obserwacje dokonane przez eksperymenty ROTSE w 1999 roku i RAPTOR w 2004 roku miały kilkudziesięciosekundowy czas ekspozycji. Dzięki aparaturze skonstruowanej specjalnie do tego celu w Warszawie i w Świerku astronomowie i astrofizycy zyskali nowy wgląd w przebieg tych fascynujących procesów. Jest to sukces tym większy, że pomiary zostały wykonane małym prototypem docelowego urządzenia. Mamy nadzieję, że pełen eksperyment "Pi of the Sky" dostarczy dużo więcej tego typu obserwacji.

Publikacja w *Nature*

Artykuł, który będzie opublikowany w *Nature* podsumowuje obserwacje GRB080319B dokonane przy pomocy kilkunastu różnych instrumentów badawczych oraz teoretyczną analizę tych wyników. Zebrane dane, choć dotyczą tylko jednego błysku, powiedziały nam bardzo dużo o mechanizmie jego powstawania. Emisja wysokoenergetycznego promieniowania gamma wiązana jest z oddziaływaniami wewnątrz wąskiej, ultrarelatywistycznej strugi cząstek wyrzucanych ze źródła (np. gwiazdy zapadającej się do czarnej dziury). Dokładna korelacja czasowa obserwacji optycznych z obserwacjami w zakresie promieniowania gamma świadczy, że w podobny sposób musi powstawać także promieniowanie optyczne, a nie (jak dotychczas uważano) w wyniku późniejszego oddziaływania strugi cząstek z otaczającą materią. Przy czym mechanizm powstawania

błysku optycznego musi być inny niż błysku gamma, gdyż mierzone natężenie w widmie optycznym jest kilka rzędów wielkości większe niż by to wynikało z ekstrapolacji wyników uzyskanych dla promieniowania gamma i promieniowania rentgenowskiego. Aby opisać wyniki pomiaru zależności natężenia promieniowania od czasu w różnych zakresach widma konieczne jest też założenie, że głównej, ultrarelatywistyczna strudze cząstek, która jest bardzo wąska (kątem emisji cząstek do około 0.2° od osi strugi) towarzyszy druga, szersza struga wolniejszych cząstek (kątem emisji cząstek do około 4°). Tylko przy takim założeniu wszystkie szczegóły widma mogą być poprawnie opisane przez model teoretyczny.

Błysk GRB080319B był dla nas tak jasny, gdyż znaleźliśmy się prawie na osi bardzo silnie skolimowanego promieniowania. Prawdopodobieństwo takiego ustawienia jest rzędu 10^{-3} – tak silne błyski obserwujemy raz na kilka lat. Mamy nadzieję, że następnym razem będziemy gotowi na jego obserwację z pełną aparaturą „Pi of the Sky”.

W projekcie "Pi of the Sky", realizowanym przy wsparciu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, biorą udział naukowcy, doktoranci i studenci z Instytutu Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, Centrum Fizyki Teoretycznej PAN, Wydziału Fizyki UW, Centrum Badań Kosmicznych PAN, Instytutu Systemów Elektronicznych Politechniki Warszawskiej, Wydziału Fizyki PW, Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki UW, Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego UKSW oraz Akademii Pedagogicznej w Krakowie. Projektem kierują dr hab. Lech Mankiewicz z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN, dr hab. Grzegorz Wrochna z Instytutu Problemów Jądrowych i prof. dr hab. Aleksander Filip Żarnecki z Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW. Projekt realizowany jest też w bliskiej współpracy z projektem ASAS kierowanym przez dr. Grzegorza Pojmańskiego z Obserwatorium Astronomicznego UW.

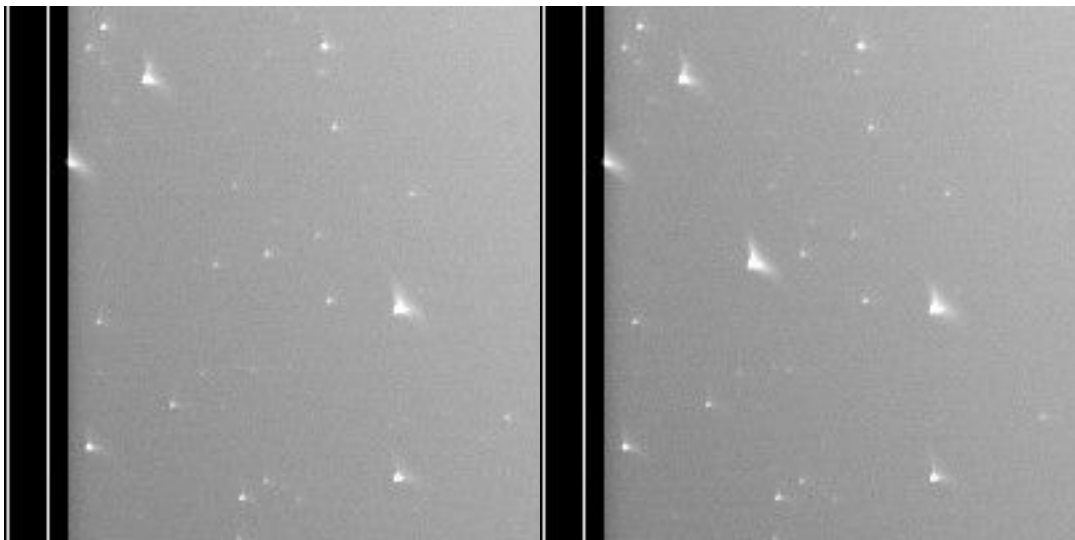
Więcej informacji na temat projektu na stronie <http://grb.fuw.edu.pl/>

Autorzy:

prof. dr hab. Aleksander Filip Żarnecki, Instytut Fizyki Doświadczalnej UW, zarnecki@fuw.edu.pl
dr hab. Lech Mankiewicz, Centrum Fizyki Teoretycznej PAN, lech@cft.edu.pl

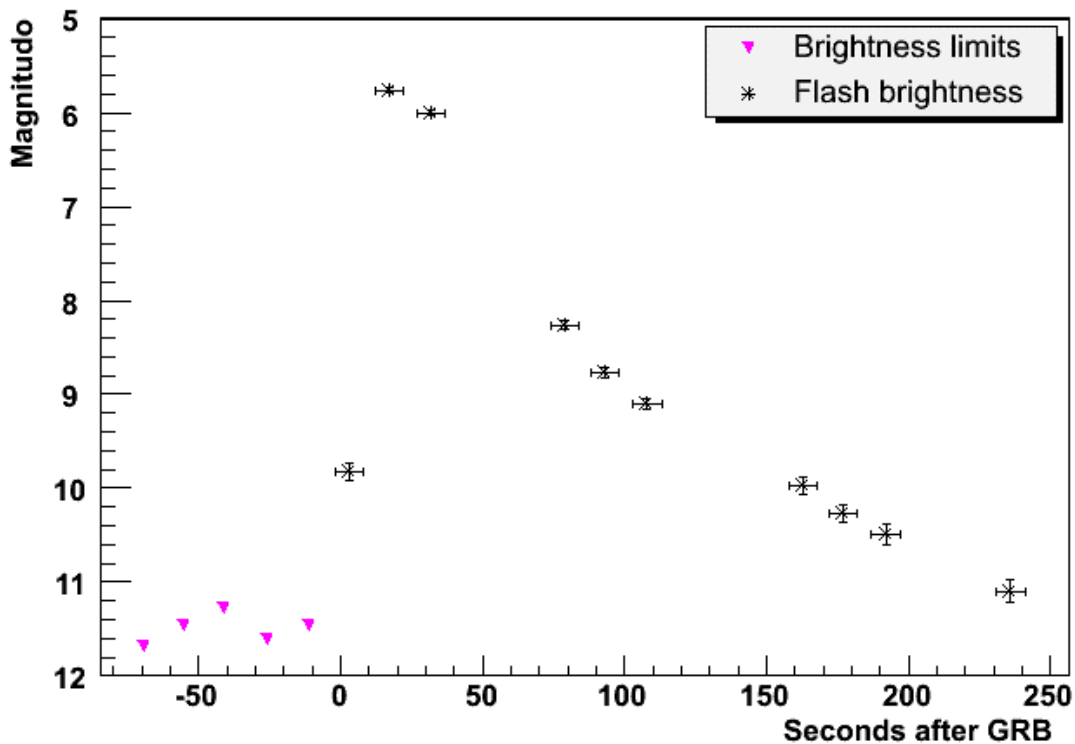


Prototypowa aparatura „Pi of the Sky”, umieszczona w obserwatorium Las Campanas na pustyni Atacama w Chile.



Dwa pierwsze zdjęcia błysku GRB 080319B. Na pierwszym zdjęciu (z lewej) błysk jest jeszcze słabo widoczny, na drugim (z prawej) jest już jaśniejszy od otaczających go gwiazd. Zniekształcenie obrazu błyski wynika z faktu, że obserwowany był na granicy pola widzenia teleskopu.

"Pi of the Sky" observation of GRB 080319B



Obserwowany przebieg zmian jasności optycznej GRB 080319B. Wyniki pomiarów przedstawiono w jednostkach jasności gwiazdowej (magnitudo). "Zero" odpowiada najjaśniejszym widocznym gwiazdom, a 6 jest granicą widzialności gołym okiem. Zaobserwowany przez "Pi of the Sky" rozbłysk był w chwili kulminacji wystarczająco jasny, by dostrzec go bez pomocy przyrządów optycznych.