

D. OPIS PROJEKTU BADAWCZEGO, METODYKA BADAŃ ORAZ CHARAKTERYSTYKA OCZEKIWANYCH WYNIKÓW

1. Cel naukowy projektu

- jaki problem wnioskodawca podejmuje się rozwiązać, co jest jego istotą, co uzasadnia podjęcie tego problemu w Polsce, jakie przesłanki skłaniają wnioskodawcę do podjęcia proponowanego tematu?

Celem projektu jest wykorzystanie aparatury „Pi of the Sky” do badania rzadkich zjawisk astrofizycznych z rozdzielczością czasową rzędu sięgającą od kilku sekund do kilku godzin. Aparatura składa się z dwóch kamer CCD zaopatrzonych w obiektywy fotograficzne $f = 50 \text{ mm}/1.4$ umieszczonych na ruchomej platformie (tzw. montażu), pozwalającej skierować kamery w dowolny widoczny punkt nieba i kompensującej ruch obrotowy Ziemi. Dwa komputery zajmują się zbieraniem i analizą danych on-line i off-line. Aparatura pracuje na terenie obserwatorium w Las Campanas w Chile od lipca 2004 roku (Rys. 1 i 2).



Rys. 1. Kamery „ π of the Sky” oraz montaż podczas testów w Polsce.



Rys. 2. Las Campanas. Od lewej do prawej: kontener ASAS z aparaturą „ π of the Sky”, kopuła teleskopu ASAS 10”, Control Room.

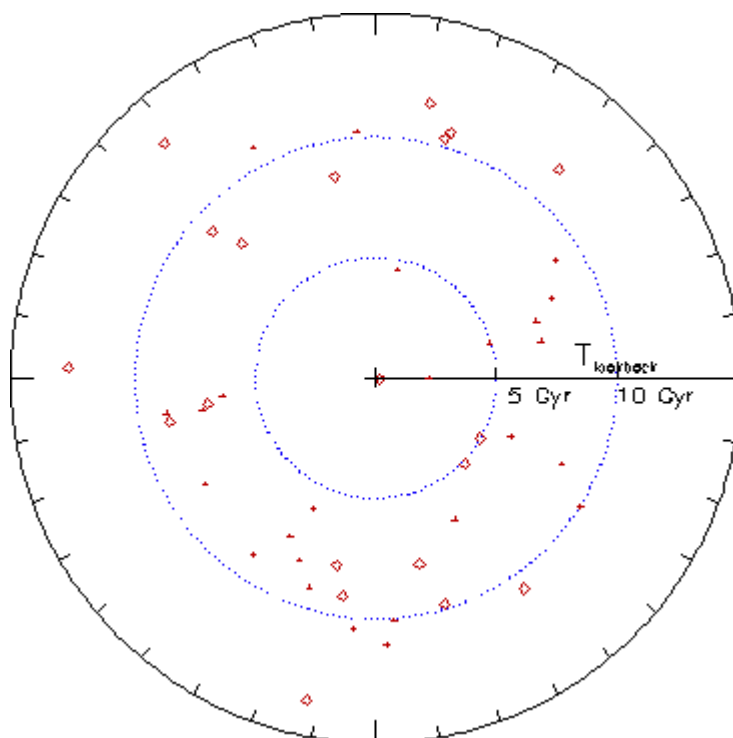
Najważniejszym zadaniem detektora jest śledzenie nieba w poszukiwaniu poświat optycznych związanych z rozbłyskami gamma (GRB). Te olbrzymie eksplozje kosmiczne są pomimo upływu ponad 30 lat od ich odkrycia jedną z najważniejszych, jeśli nie najważniejszą, zagadką astrofizyki. Zaobserwowano ich już ponad 3000. Na podstawie pomiarów przesunięcia ku czerwieni poświat optycznych kilkudziesięciu rozbłysków wiadomo że są to zjawiska pozagalaktyczne, pochodzące z odległych epok historii Wszechświata (rysunek 3).

O mechanizmach odpowiedzialnych za rozbłyski gamma wiadomo stosunkowo niewiele. Podstawowym problem polega na tym, że istnieje stosunkowo niewiele obserwacji w innych obszarach widma niż promienie gamma. Wiadomo (rysunek 4), 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.

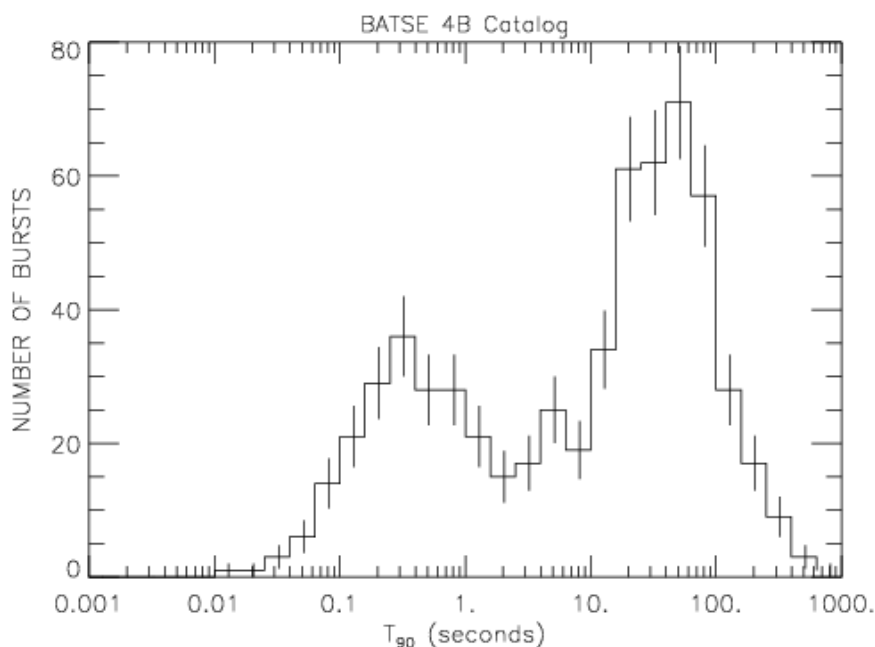
Od czasu odkrycia kilku przypadków koincydencji pomiędzy rozbłyskiem gamma a wybuchem supernowej, wiadomo że przynajmniej niektóre spośród długich rozbłysków związane są z supernowymi (rysunek 5). W tym wypadku jedno z bardziej prawdopodobnych wyjaśnień mechanizmu długich rozbłysków oparte jest o model kolapsara, w którym źródłem energii rozbłysku jest zapadanie grawitacyjne masywnej gwiazdy do gwiazdy neutronowej a następnie do czarnej dziury.

Jeśli chodzi o krótkie rozbłyski gamma, to do niedawna nie było wiadomo, jaki może być ich fizyczny mechanizm. M.in. wysunięto hipotezę, połączenia dwóch gwiazd neutronowych w czarną dziurę. 27 grudnia 2004 roku satelita Wind-Konus zarejestrował gigantyczny rozbłysk pochodzący ze źródła znanego jako Soft

Gamma Repeater (SGR) 1806-20¹. Okazało się że kształt impulsu rozbłysku SGR 1806-20 w połączeniu ze znaną odległością do tego źródła pokazuje, że mógłby być zarejestrowany także przez detektory gamma jako krótki GRB². Ta śmiała hipoteza do potwierdzenia wymaga większej liczby obserwacji podobnych obiektów.



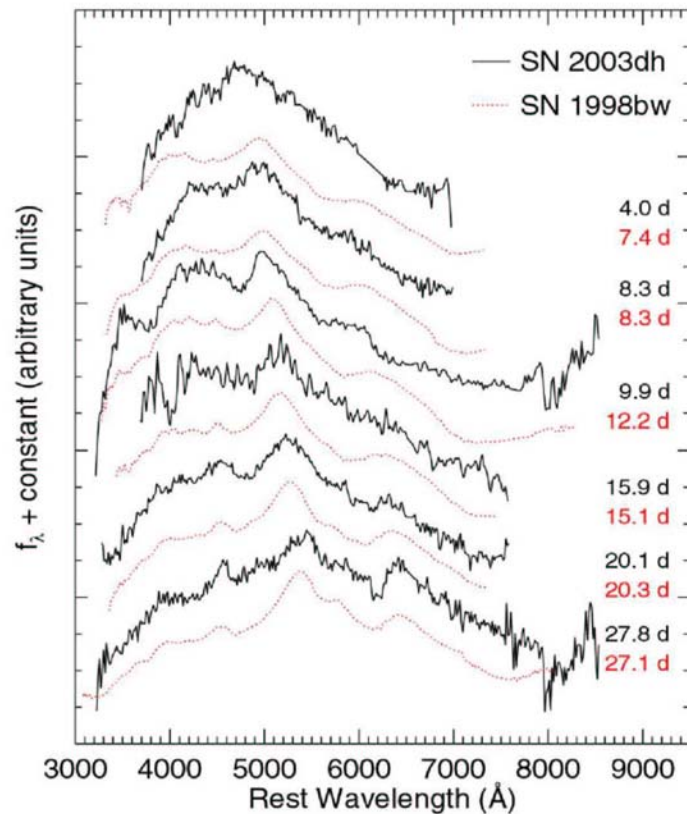
Rys. 3. Mierzona w miliardach lat odległość od rozbłysków gamma (romby) w supernowych (krzyżyki). Najdalszy znany GRB pochodzi z epoki $z = 4.6$ co odpowiada odległości ok 13 mld lat świetlnych..



Rys. 4. Rozkład czasu trwania rozbłysków gamma (T_{90} oznacza czas w którym do detektora dotarło 90% energii przypisanej rozbłyskowi). Wyraźne widoczne są dwa maksima, odpowiadające odpowiednio krótkim i długim rozbłyskom.

¹ <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/2922.gcn3>, <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/2936.gcn3>

² <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/2942.gcn3>



Rys. 5. Porównanie widma poświaty optycznej rozbłysku gamma GRB980425, którą zidentyfikowano jako supernową SN1988 bw, z widmem poświaty optycznej rozbłysku gamma GRB030329, którą zidentyfikowano jako supernową SN 2003 dh.

2. Istniejący stan wiedzy w zakresie tematu badań

jaki oryginalny wkład wniesie rozwiązanie postawionego problemu do dorobku danej dyscypliny naukowej w świecie i w Polsce, czy w kraju i w świecie jest to problem nowy czy kontynuowany i w jakim zakresie weryfikuje utarte poglądy i dotychczasowy stan wiedzy?

Współpraca detektorów satelitarnych i satelitów naziemnych

Z powyższej dyskusji jasno wynika że wyjaśnienie zagadki kosmicznych rozbłysków gamma wymaga systematycznych, równoczesnych obserwacji tych zjawisk w różnych zakresach widma, od częstotliwości radiowych poprzez optyczne do rentgenowskich i gamma. Wprowadzenie pomiarów promieniowania gamma wymagają detektorów umieszczonych na satelitach, ale do obserwacji w optycznym zakresie widma można wykorzystywać tańsze teleskopy naziemne. Podstawowym problemem jest jednak małe pole widzenia i bezwładność dużych teleskopów. Najlepiej do takich obserwacji nadają się więc niewielkie urządzenia, zdolne do bardzo szybkiej reakcji na sygnał z satelity. Szybką wymianę informacji pomiędzy satelitami a instrumentami naziemnymi zapewnia Gamma Ray Bursts Coordinate Network (GCN) przesyłający współrzędne błysków za pośrednictwem internetu prosto do komputerów kierujących teleskopami, automatycznie i bez konieczności ludzkiej interwencji. Satelity Wind-Konus³, HETE⁴, IINTEGRAL⁵ i SWIFT⁶ prowadzą obserwacje GRB z orbity okołoziemskiej. Najnowszy, wystrzelony 20 listopada 2004

³ http://gcn.gsfc.nasa.gov/konus_grbs.html

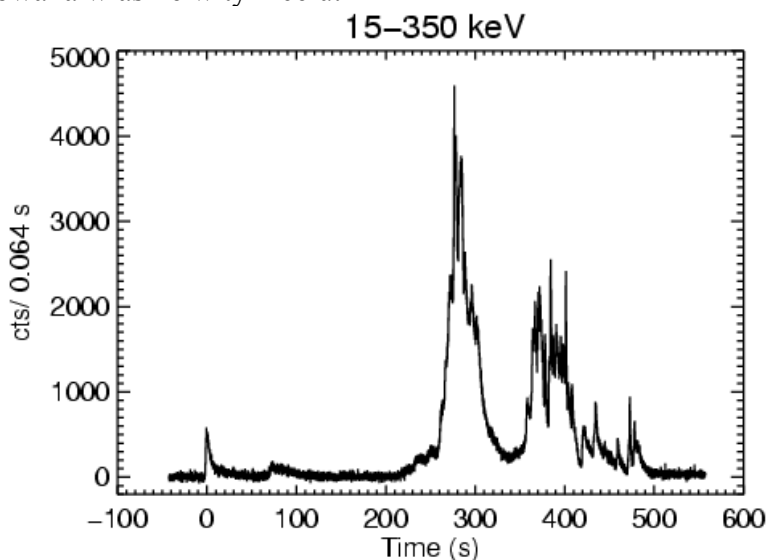
⁴ <http://space.mit.edu/HETE/>

⁵ <http://astro.esa.int/SA-general/Projects/Integral/integral.html>

⁶ <http://swift.gsfc.nasa.gov/docs/swift/swiftsc.html>

roku SWIFT ma na pokładzie oprócz detektora gamma teleskop rentgenowski i optyczny. Dzięki możliwości skierowania tych przyrządów w dowolny punkt nieba po osiągnięciu pełnej sprawności SWIFT może dostarczyć informacji o GRB w wielu zakresach widma. Przykładowy kształt impulsu promieniowania gamma zarejestrowanego przez satelitę SWIFT przedstawia rysunek 6.

Charakterystyczną cechą pokazanego impulsu jest „prekursor” – słaby rozbłysk, który wystąpił 280s przed właściwym wybuchem. Podobne prekursory zostały zaobserwowane także w przypadku innych błysków. Ich natura pozostaje zupełnie nieznaną. Niezwykle istotne są więc próby obserwacji optycznych nie tylko możliwie wcześnie po rozbłysku gamma, ale także przed jego maksimum. Aparatura „ π of the Sky” została zoptymalizowana właśnie w tym celu.



Rys. 6. Krzywa blasku GRB 041219 odkrytego przez SWIFT w czasie prób detektora gamma.

Opis systemu „ π of the Sky”

Aparatura „Pi of the Sky” składa się z dwóch kamer CCD zaopatrzonych w obiektywy fotograficzne $f = 50 \text{ mm}/1.4$ umieszczonych na ruchomej platformie, montażu, pozwalającym skierować ją w dowolny widoczny punkt nieba i kompensującym ruch obrotowy Ziemi, oraz dwóch komputerów odpowiedzialnych za zbieranie i analizę danych on-line i off-line pracuje na terenie obserwatorium w Las Campanas w Chile. Budowę aparatury umożliwił zakończony właśnie grant KBN 2 P03B 038 25 i dotacja Fundacji Astronomii Polskiej imienia Mikołaja Kopernika. Detektor został zbudowany od początku do końca w Polsce dzięki współpracy naukowców z IPJ, IFD UW i inżynierów z Politechniki Warszawskiej. Zbudowane w Polsce detektory CCD charakteryzują się niezawodnością wyższą od dostępnych komercyjnie kamer CCD i bardzo dobrymi parametrami technicznymi - niskim poziomem szumu odczytu ($\sim 16 \text{ e}$) przy szybkości odczytu 2 Mpikseli/sekundę i czasem życia migawek rzędu 10^7 cykli. Modułowa konstrukcja kamer pozwala na łatwą integrację z systemem optycznym. Opracowana dokumentacja techniczna umożliwia rozwinięcie w Polsce produkcji laboratoryjnej jakości kamer CCD na potrzeby polskiej nauki.

Instalacja detektora na terenie należącego do Carnegie Institution obserwatorium Las Campanas w Chile⁷ była możliwe dzięki współpracy z projektem All Sky Automatic Survey (ASAS)⁸ dr Grzegorza Pojmańskiego z OA UW. Transport sprzętu do Chile sfinansowała subwencja interwencyjna Fundacji Nauki Polskiej a koszty instalacji w LCO pokrył profesor Bogdan Paczyński z Princeton University.

Detektor pozwala na systematyczne obserwacje fragmentu nieba o powierzchni $(33^\circ)^2$. Rozmiar pola widzenia instrumentu został dobrany tak by odpowiadał mniej więcej polu widzenia satelity HETE. Instrument pracuje całkowicie autonomicznie, tzn cały proces planowania obserwacji, akwizycji danych i

⁷ <http://www.lco.cl/lco/index.html>

⁸ <http://www.astrouw.edu.pl/~gp/asas/asas.html>

ich analizy odbywa się automatycznie. Rola fizyków w Warszawie ogranicza się do podpatrywania za pośrednictwem internetu pracy detektora i interweniowania w sytuacjach awaryjnych.

Aparatura śledzi pole widzenia satelity w oczekiwaniu na sygnał (alert) zawierający informację o współrzędnych zarejestrowanego rozbłysku. Czas ekspozycji CCD wynosi 10 sekund a czas martwy konieczny dla odczytania chipu z prędkością 2 Mpiksela na sekundę wynosi 2 sekundy. W czasie kolejnej ekspozycji dane przesyłane są z kamer do komputera i analizowane w czasie rzeczywistym. Specjalnie napisane oprogramowanie analizuje kolejną klatkę i porównując ją ze średnią z kilku poprzednich klatek sprawdza, czy na badanej klatce nie pojawił się rozbłysk optyczny. Podobną analizę system wykonuje także na obrazach będących sumą 8 klatek, co pozwala na poszukiwanie rozbłysków o charakterystycznym czasie zmienności rzędu 100 sekund.

Głównym źródłem tła są trafiające w chip CCD miony kosmiczne, które łatwo wyeliminować badając koincydencję obrazów z obu kamer. Kolejnym źródłem tła są satelity telekomunikacyjne i wojskowe. W celu wyeliminowania pochodzących od nich refleksów światła słonecznego program przeszukuje codziennie aktualizowane bazy danych zawierające w sumie około 10 000 orbit sztucznych satelitów Ziemi.

Pierwsze wyniki „ π of the Sky”

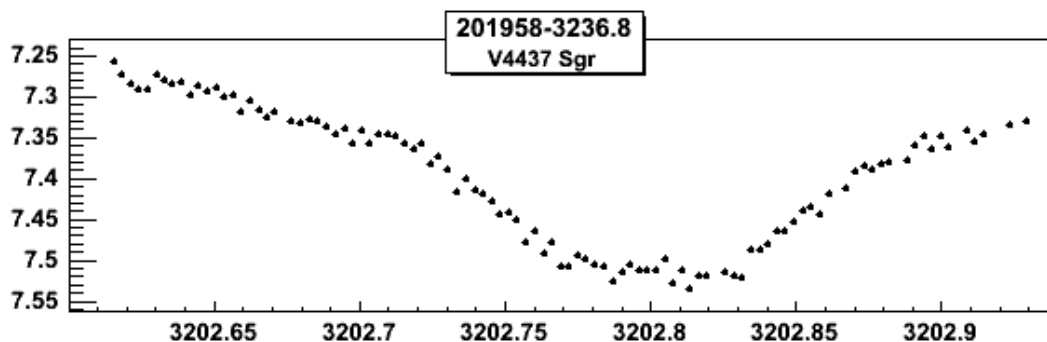
Od rozpoczęcia obserwacji 1 lipca 2004 roku detektory satelitarne zanotowały 32 GRB⁹, z czego 7 zarejestrowano na niewidocznej w Chile półkuli północnej, 18 w ciągu dnia w LCO, 5 poza polem obserwacji „Pi of the Sky” w momencie zarejestrowania GRB przez satelitę, w jednym przypadku instrument był wyłączony z powodu awarii. W 7 przypadkach spośród wyżej wymienionych poszukiwanie poświaty optycznej przed lub po rozbłysku gamma zaowocowało podaniem ograniczenia z góry na jasność. W jednym przypadku GRB wydarzył się dokładnie w polu widzenia aparatury co umożliwiło podanie pierwszego w historii ograniczenia na jasność hipotetycznego źródła *przed* zarejestrowaniem GRB. W tym samym czasie zarejestrowano około 50 krótkich rozbłysków nieznanego pochodzenia¹⁰, prawdopodobnie refleksów światła słonecznego od wojskowych satelitów manewrujących, których elementy orbitalne trzymane są w tajemnicy.

Oprócz poszukiwania rozbłysków optycznych stowarzyszonych z GRB, „Pi of the Sky” zbiera i analizuje pomiary jasności ponad 30 tysięcy gwiazd znajdujących się w polu widzenia detektora, poszukując zmienności blasku w skalach czasowych od 10 sekund do kilku godzin. Rezultaty analizy przechowywane są na dyskach, wymienianych raz na około trzy miesiące przez astronomów z Warszawy jeżdżących do LCO na obserwacje.

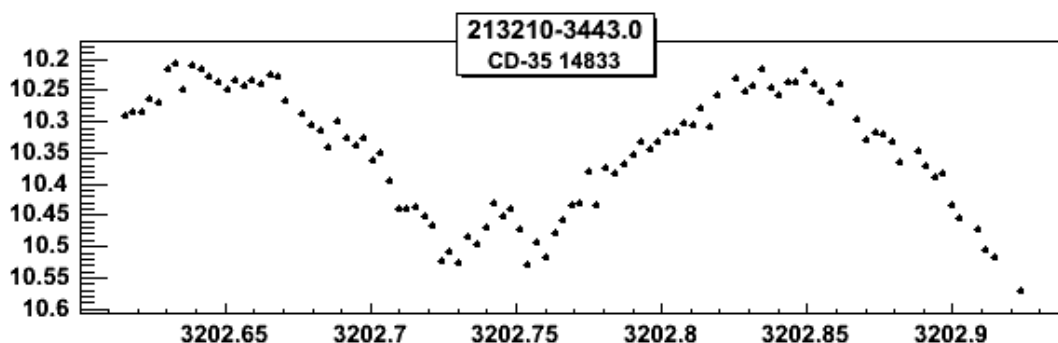
Ponieważ inne zespoły dysponują aparaturą o większym zasięgu, ale mniejszym polu widzenia, „Pi of the Sky”, ze swoim polem widzenia sięgającym 5% widzialnego nieba jest unikalnym przyrządem pozwalającym na jednoczesne śledzenie kilkudziesięciu tysięcy gwiazd. Obecnie analiza 20 wysumowanych klatek pozwala na stabilną fotometrię 30 – 40 tysięcy gwiazd z rozdzielczością czasową rzędu 4 minut, rysunki 5 i 6. Docelowo, dzięki zastosowaniu jaśniejszych obiektywów i rozwinięciu oprogramowania chcemy osiągnąć stabilność fotometrii w skalach rzędu długości pojedynczej ekspozycji, tzn 10 sekund. Technologie wypracowana w trakcie funkcjonowania detektora „Pi of the Sky” pozwolą na rozmieszczenie baterii detektorów umożliwiających ciągłą obserwacją całego nieba w różnych miejscach na kuli ziemskiej i włączenie ich we wspomnianą powstającą właśnie globalną sieć automatycznych obserwatoriów. Realizacja tego programu pozwoli na uzupełnienie obserwacji przy pomocy wielkich teleskopów o ograniczonych, bardzo małych polach widzenia i przyniesie informacje o morfologii zmienności optycznej gwiazd na podstawie jednoczesnej obserwacji milionów obiektów. Detektor „Pi of the Sky” został celowo zaprojektowany jako krok w tym kierunku. Oprócz gwiazd, dane zebrane przez detektor „Pi of the Sky” zawierają także informacje o krążących w Układzie Słonecznym planetoidach.

⁹ <http://grb.fuw.edu.pl/pi/grb.htm>

¹⁰ <http://grb.fuw.edu.pl/pi/events.php>



Rys. 7. Pomiar krzywej blasku (jasność w jednostkach magnitudo w funkcji czasu) znanej gwiazdy zmiennej V4437 Sgr typu β Lyrae z rozdzielczością czasową ~ 4 minut. Dane uzyskano z dodawania 20 dziesięciosekundowych ekspozycji.



Rys. 8. Odkrycie nowej gwiazdy zmiennej CD – 35 14833. Krzywa blasku (jasność w jednostkach magnitudo w funkcji czasu) gwiazdy z rozdzielczością czasową ~ 4 minut uzyskano z dodawania 20 dziesięciosekundowych ekspozycji. Widoczna zmienność z okresem około 9 godzin

Nowa strategia obserwacji – heterotyczne sieci rozproszone teleskopów automatycznych

Obecnie na świecie działa kilka instrumentów podobnych do „Pi of the Sky”. Na szczególną uwagę zasługuje ASAS. Detektory ASAS mające pole widzenia mniejsze niż „Pi of the Sky” i dokonują systematycznego przeglądu całego nieba z rozdzielczością czasową rzędu minut, powracając do tego samego pola obserwacji nie rzadziej niż raz na trzy dni. ROTSE III¹¹ posiada cztery detektory umieszczone w Australii, USA (Teksasie), Namibii i w Turcji; RAPTOR¹² dwa detektory w USA, rosyjski projekt MASTER zlokalizowany jest pod Moskwą. Wszystkie one, korzystają z informacji przesyłanych za pośrednictwem GCN i podobnie jak „Pi of the Sky” prowadzą równolegle własne poszukiwania zmienności w różnych skalach czasowych. Budżet tych projektów, oprócz ASASa i rosyjskiego MASTERa jest kilkadziesiąt razy wyższy od budżetu „Pi of the Sky”.

W ciągu ostatnich kilku lat stało się jasne że konieczne jest zastąpienie jednostronnej komunikacji satelita \rightarrow teleskopy protokołem umożliwiającym bezpośrednią, automatyczną wymianę informacji pomiędzy poszczególnymi instrumentami. W tej chwili trwają prace nad wypracowaniem standardowego protokołu komunikacyjnego który umożliwi połączenie automatycznych teleskopów w jedną sieć pozwalającą w razie potrzeby na szybką reakcję i obserwacje wybranego zjawiska, zaobserwowanego przez jeden z detektorów, przez wiele urządzeń na raz. Różnorodność instrumentów pozwala na jednoczesne obserwacje w różnych zakresach widma światła widzialnego (filtrach) i przy różnych czasach ekspozycji. Pomijając niejawnie systemy wojskowe, będzie to jeden z pierwszych automatycznych, rozproszonych systemów obserwacyjnych w skali całej planety i oprócz znaczenia naukowego niewątpliwie doprowadzi do rozwinięcia nowych technologii informatycznych i telekomunikacyjnych. Atutem naszego zespołu jest także bliska współpraca z projektem ASAS. Zanim powstanie globalna sieć instrumentów, w czasie składania tego wniosku dopracowujemy system pozwalający na automatyczne podjęcie obserwacji rozbłysków wykrytych przez detektor „Pi of the Sky” przez nowy teleskop ASAS o średnicy lustra 25 cm.

¹¹ <http://www.rotse.net/>

¹² <http://www.raptor.lanl.gov/>

3. Metodyka badań

Co stanowi podstawę naukowego warsztatu wnioskodawcy i jak zamierza rozwiązać postawiony problem, na czym będzie polegać analiza i opracowanie wyników badań, jakie urządzenia (aparatura) zostaną wykorzystane w badaniach, czy wnioskodawca ma do nich bezpośredni dostęp i umiejętność obsługi?

Obecny etap stanowi, po budowie aparatury i jej rozruchu, to znaczy optymalizacji procedur służących do kierowania detektorem, akwizycji danych oraz ich analizy on-line, kolejny, trzeci etap rozwoju eksperymentu. Ponieważ wszystkie elementy, zarówno mechaniczne jak i elektroniczne, teleskopu-roboty „Pi of the Sky” działają niezawodnie, kolejnym zadaniem jest optymalizacja analizy danych tak by maksymalnie wykorzystać możliwości detektora. Dalszy rozwój detektora wymaga następujących ulepszeń:

W dziedzinie aparatury:

Planujemy zwiększenie zasięgu detektora poprzez optymalizację optyki, zapewnienie jego bezawaryjnej pracy dzięki odpowiedniej konserwacji oraz zwiększenie zainstalowanej mocy obliczeniowej, tzn:

- zastosowanie profesjonalnych obiektywów fotograficznych. W dotychczasowej wersji polegaliśmy na pół-profesjonalnych obiektywach o aperturze $f/1.4$, które stanowiły rozsądny punkt wyjścia wobec niepewności związanych z funkcjonowaniem innych elementów detektora. W tej chwili zasadnym wydaje się zastąpienie ich obiektywami o jasności 1, co stosunkowo niewielkim kosztem i przy niewielkim wkładzie pracy zwiększy zasięg aparatury do 13m i poprawi dokładność pomiaru jasności gwiazd. Koszt obiektywu o jasności 1 wynosi 3000 \$ a koszt wykonania wymiennego elementu kamery CCD na którym osadzony jest obiektyw wynosi 1000 zł. Dzięki modułowej konstrukcji kamer CCD można łatwo wymienić obiektyw na miejscu, bez konieczności przywożenia kamer do Warszawy.
- doświadczenia eksperymentu ASAS wskazują że po rocznym okresie eksploatacji należy dokonać wymiany krytycznych elementów mechanicznego montażu. Co najmniej raz na rok należy także skontrolować na miejscu stan techniczny detektora i kierujących nim komputerów.
- rozwój oprogramowania wymaga zwiększenia mocy obliczeniowej zainstalowanej w Warszawie.

W dziedzinie oprogramowania:

Dalszy rozwój systemu pomiarowego „Pi of the Sky” wymaga poważnego wysiłku w kierunku rozbudowy i optymalizacji oprogramowania, tzn:

- opracowania optymalnej procedury eliminacji źródeł systematycznego błędu pomiaru sygnału pochodzącego od gwiazd co umożliwi wykrywanie jak najmniejszych zmian jasności. Procedura taka musi łączyć w sobie odpowiednie sterowanie procesem pomiaru, pozwalające itp. na umieszczenie danej gwiazdy w tym samym rejonie obiektywu i chipu CCD (w idealnej sytuacji na tym samym pikselu) w ciągu kolejnych nocy. Docelowo chcemy osiągnąć stabilność fotometrii na poziomie $\sigma \sim 0.01$ magnitudo aż do gwiazd o jasności rzędu 12-13 magnitudo.
- pracowania metody kalibracji danych pochodzących z różnych nocy tak żeby można było używać ich do badania zmienności gwiazd. Śledząc za polem widzenia satelity detektor „Pi of the Sky” obserwuje różne pola tak że kolejne obserwacje tej samej gwiazdy następują w zupełnie innych warunkach atmosferycznych, przy różnych fazach księżyca itp. Opracowanie procedury korygującej obserwacje i pozwalającej na „zszycie” danych pochodzących z różnych nocy jest w tej chwili nierozwiązanym problemem dla małych teleskopów z dużym polem widzenia.
- opracowania bazy danych pomiarów charakteryzującej się szybkim dostępem na etapie zapisywania i odczytywania informacji. W tej chwili w ciągu jednej nocy system dokonuje około 10 milionów pomiarów jasności gwiazd.
- udział w pracach nad standardowym protokołem wymiany informacji pomiędzy autonomicznymi teleskopami i adaptacja systemu wykrywania rozbłysków i sterowania detektorem do tego

standardu. Włączenie eksperymentu „Pi of the Sky” w globalną sieć automatycznych detektorów szybkozmiennych zjawisk optycznych.

Wynikiem wykonania zadań wg harmonogramu przedstawionego w składanym wniosku będzie:

- w dziedzinie wykrywania poświat optycznych stowarzyszonych z rozbłyskami gamma zwiększenie zasięgu aparatury i związanego z tym prawdopodobieństwa wykrycia poświaty i zmierzenia zmian jej jasności w czasie; system satelitów gamma, a przede wszystkim SWIFT, powinien wykryć kilkaset rozbłysków gamma w ciągu roku i z tej liczby co najmniej kilkadziesiąt powinno zostać zarejestrowanych w na południowej półkuli w czasie obserwacji nieba przez detektor „Pi of the Sky”
- w dziedzinie samodzielnego wykrywania rozbłysków optycznych optymalizacja wielostopniowego systemu eliminacji fałszywych alertów (multilevel trigger system) tak aby zredukować ich liczbę poniżej 1/tydzień.
- w dziedzinie fotometrii gwiazd zmiennych uruchomienie i kalibracja automatycznego potoku analizy danych co przyniesie odkrycie od kilkuset do kilku tysięcy gwiazd zmiennych w skalach czasowych krótszych od rozdzielczości obserwacji prowadzonych przez ASAS.
- w dziedzinie wykrywania szybkozmiennych zjawisk optycznych stabilizacja fotometrii wynikająca z zwiększenia jasności i zmniejszenia odkształceń poprzez zastosowanie obiektywów o profesjonalnych parametrach i rozwoju oprogramowania do analizy danych pozwoli na gruntowne zbadanie zmian jasności gwiazd w skalach czasowych od kilku sekund do kilkunastu minut, to znaczy w praktycznie niezbadanym do tej pory zakresie zmienności.
- obserwacje, wyznaczenie krzywych blasku i wyznaczenie okresów rotacji planetoid
- w dziedzinie rozwoju technologii informatycznych udział w opracowaniu standardowego protokołu komunikacyjnego i integracja systemu „Pi of the Sky” w globalną sieć automatycznych detektorów szybkozmiennych zjawisk optycznych; uruchomienie bazy danych obserwacji pozwalającej na udostępnienie za pośrednictwem internetu danych zebranych przez detektor praktycznie w czasie rzeczywistym.
- w dziedzinie niezawodności sprzętowej i stabilności systemów informatycznych opracowanie systemu umożliwiającego praktycznie bezawaryjną pracę przez okres rzędu dwóch lat. Ze względu na wysoki koszt tzw. komputerów przemysłowych objętych gwarancją niezawodności, konieczne jest znalezienie we własnym zakresie optymalnej architektury sprzętu pracującego w LCO.

4. Co będzie wymiernym, udokumentowanym efektem podjętego problemu

Zakładany sposób przekazu i upowszechnienia wyników (publikacje naukowe oraz referaty na konferencjach w kraju i za granicą, monografie naukowe, rozprawy doktorskie i habilitacyjne, nowe patenty i “know-how”, nowe metody i urządzenia badawcze)?

Oprócz upowszechnienia pomiarów w formie bazy danych, dostępnej przez internet, opracowane wyniki pomiarów będą publikowane w recenzowanych czasopismach astronomicznych oraz przedstawiane na konferencjach międzynarodowych. Część danych zostanie specjalnie opracowana i włączona w formie ćwiczenia do programów kształcenia na Wydziale Fizyki UW i Wydziale Nauk Przyrodniczych UKSW. Wyniki uzyskane w czasie trwania projektu będą podstawą co najmniej jednej rozprawy doktorskiej (Marcin Sokołowski).

Opracowane w trakcie trwania eksperymentu rozwiązania sprzętowe i informatyczne zostaną udostępnione środowisku fizycznemu i astronomicznemu w Polsce a elementy, na które pojawi się konkretne zapotrzebowanie będą rozpowszechniane na zasadach komercyjnych za pośrednictwem Instytutu Problemów Jądrowych im Andrzeja Sołtana. Doświadczenie zdobyte w czasie budowy i eksploatacji „Pi of the Sky” zaowocowało ofertą wybudowania zdalnie sterowanego teleskopu edukacyjnego dla powstającego w Warszawie Centrum Nauki „Kopernik”.