

System wykrywania i obserwacji szybkozmiennych zjawisk kosmicznych "π of the Sky"

Propozycja budowy - uzasadnienie

Opis koncepcji

Niniejszy tekst stanowi załącznik do wniosku o grant inwestycyjny na budowę aparatury wymienionej w tytule. Proponujemy budowę systemu złożonego z dwóch modułów po 16 kamer CCD nieustannie śledzących nocne niebo i zdolnego wykrywać błyski pochodzenie kosmicznego o czasie trwania rzędu sekund i jasności 11-12 magnitudo.

Poszukiwanie szybkozmiennych zjawisk kosmicznych narzuca wymagania niemożliwe do spełnienia dla klasycznych teleskopów. Systematyczne badanie takich zjawisk wymaga zupełnie nowego podejścia. Inicjatorem swoistej rewolucji w badaniach zjawisk optycznych na niebie jest polski astrofizyk profesor Bohdan Paczyński z Princeton University. Pomysł, który od lat propaguje, polega na tym by uzupełnić dotychczasowe badania przy pomocy teleskopów o bardzo dużej ogniskowej i małym polu widzenia systematycznymi przeglądami polegającymi na ciągłej obserwacji dużych obszarów nieba przy pomocy zespołów („farm”) teleskopów złożonych z kilkadziesiątu zlokalizowanych obok siebie urządzeń [1]. Olbrzymi strumień danych wymaga ich automatycznego przetwarzania w czasie rzeczywistym i przechowywania tylko ostatecznych wyników analizy.

Proponowana aparatura jest praktyczną realizacją tej koncepcji. Aparatura nazwana „π of the sky” pokrywa większą część widocznej półsfery nieba aż do około 20 stopni ponad horyzontem. Składa się z dwóch pracujących w koincydencji baterii 16 obiektywów fotograficznych o ogniskowej 50 mm. Każdy obiektyw wyposażony jest w kamerę CCD o rozdzielczości 2000 x 2000 pikseli. Standardowo, planuje się obserwacje z czasem ekspozycji 5s. Znacząca część analizy danych jest przeprowadzana w czasie rzeczywistym. Aby sprostać niespotykanym dotąd w astronomii wymaganiom, w projekcie wykorzystano techniki eksperymentalne fizyki cząstek elementarnych. Wielostopniowy system selekcji danych (*multilevel trigger*) wyszukuje w strumieniu danych rzędu 30 MB/sekundę przypadki błysków optycznych o jasności większej niż 11^m-12^m i czasie trwania rzędu sekund. Jednym z możliwych źródeł takich błysków są gigantyczne eksplozje kosmiczne obserwowane dotychczas jako rozbłyski gamma (Gamma Ray Bursts - GRB) [2], które są chyba najgorętszym tematem współczesnej astrofizyki.

Parametry systemu zostały starannie dobrane, aby jednocześnie spełnić trudne do pogodzenia wymagania. Z jednej strony, zasięg i czasowa zdolność rozdzielcza są adekwatne do badania takich błysków jakie powinny towarzyszyć GRB. Z drugiej strony, możliwa jest statyczna konstrukcja, pokrywająca praktycznie całe widoczne niebo. W ten sposób udało się wyeliminować podstawowe wady teleskopów automatycznych budowanych według klasycznej koncepcji. Ich małe pole widzenia uniemożliwiało samodzielne wykrywanie błysków. Po otrzymaniu informacji o błysku z zewnątrz (np. z satelitarnego detektora gamma) teleskop nakierowywał się na źródło i rozpoczynał obserwacje. Długi czas propagacji sygnału i duża bezwładność mechaniczna powodowały, że zanim można było rozpocząć obserwacje, źródło słabło na tyle, że przestawało być widoczne.

Koncepcja proponowana dla „π of the sky” pozbawiona jest tych wad. Problem bezwładności mechanicznej wyeliminowano stosując układ statyczny, jednocześnie obserwujący całe niebo. Problem czasu propagacji informacji o błysku został wyeliminowany przez samodzielne rozpoznawanie błysków. Dzięki przechowywaniu danych w pamięci, po wykryciu błysku można nawet prześledzić wstecz jego historię.

Ceną za duże pole widzenia jest ograniczony zasięg, który nie pozwala długo śledzić stopniowo słabnących obiektów. Problem ten planujemy rozwiązać wysyłając informację o błysku natychmiast po jego wykryciu do automatycznego teleskopu ASAS o średnicy 20 cm. ASAS (*All Sky Automatic Survey*), czyli „Automatyczny Przegląd Całego Nieba” to program badawczy prowadzony przez dr Grzegorza Pojmańskiego z Obserwatorium Astronomicznego UW [3]. Program ten polega na systematycznych, konocnych obserwacjach wybranych pól w poszukiwaniu gwiazd zmiennych. W ciągu 5 lat pracy ASAS odkrył ponad 10 000 nieznanych do tej pory gwiazd zmiennych. ASAS, to (obok polsko-amerykańskiego projektu OGLE) jeden z pierwszych systemów automatycznej obserwacji nieba. Zastosowano w nim klasyczną fotometrię i astrometrię obrazów zapisanych uprzednio na dysku, ale odbywała się ona bez bezpośredniego udziału człowieka. Projekt „ π of the sky” stanowi zatem naturalne rozwinięcie projektu ASAS. Przy jego projektowaniu obficie korzystano z doświadczeń dr Pojmańskiego zdobytych przy projekcie ASAS.

Zespół składający wniosek wykonał już prototyp „ π of the Sky” składający się z dwóch pracujących w koincydencji kamer CCD [4]. Ruchomy montaż umożliwia śledzenie za polem widzenia satelity HETE, który poszukuje błysków w promieniach gamma. Prototypowy system przetwarza około 100 GB danych w ciągu nocy. Wstępna analiza prowadzona jest w czasie rzeczywistym. Wielostopniowy system selekcji poszukuje rozbłysków optycznych w polu widzenia urządzenia. Interesujące przypadki przechowywane są na dysku i analizowane dokładnie w ciągu dnia następującego po nocy obserwacji. System prowadzi też ciągły nasłuch informacji o błyskach gamma wykrytych przez satelity i w razie potrzeby automatycznie zwraca się w kierunku obszaru nieba na którym satelita zarejestrował błysk. Urządzenie zostało zbudowane całkowicie w Polsce, we współpracy z prof. B. Paczyńskim i dr G. Pojmańskim. Przeszło pomyślnie testy w kraju i obecnie jest instalowane jako rozszerzenie eksperymentu ASAS w obserwatorium Las Campanas Observatory w Chile. Jest to dowodem opanowania przez nasz zespół technologii koniecznej do budowy proponowanej aparatury.

Motywacja naukowa - poszukiwanie i badanie szybkozmiennych zjawisk kosmicznych

Zapewne najpotężniejszymi z dotychczas zaobserwowanych procesami kosmicznymi są wspomniane już rozbłyski gamma (GRB) [2]. Stanowią one jedną z najtrudniejszych i zarazem najciekawszych zagadek współczesnej astrofizyki. Są to krótkie (0.1 – 100 s) impulsy promieniowania gamma pochodzące ze źródeł pozagalaktycznych. Energię typowego impulsu ocenia się na 10^{51} ergów. Intensywność impulsu jest zwykle większa niż całkowite tło promieniowania gamma pochodzące od pozostałych źródeł na niebie.

Do tej pory nie zidentyfikowano jednoznacznie zjawiska (lub zjawisk) odpowiedzialnego za rozbłyski gamma. Wydaje się, że istnieją dwie odrębne klasy GRB o czasie trwania odpowiednio krótszym i dłuższym niż 2 s. Istnieją przesłanki świadczące o tym, że źródłem energii dłuższych rozbłysków mogą być pewnej klasy wybuchy supernowych. Lista zjawisk podejrzanych o produkcję krótszych GRB zawiera m.in. zderzenia gwiazd neutronowych prowadzące do powstania czarnej dziury i kolaps gwiazdy kwarkowej. Z pewnością w tego typu procesach wytwarzają się stany o olbrzymich gęstościach energii. Ich badanie może rzucić nowe światło na oddziaływania fundamentalne leżące u podstaw procesów będących źródłem energii dla rozbłysków gamma i ukierunkować dalszy rozwój fizyki cząstek elementarnych.

Aby zbadać mechanizm GRB należy obserwować to zjawisko także w innych niż ultra-
rentgenowskie obszarach widma. Można oczekiwać, że gwałtownej eksplozji, będącej

źródłem energii dla rozbłysku gamma towarzyszy także błysk optyczny [5]. Systematyczne obserwacje błysków optycznych towarzyszących rozbłyskom gamma dostarczą istotnych ograniczeń dla teorii tłumaczących mechanizm powstawania błysków i procesy dostarczające błyskom energii. Ponadto błyski gamma, emitujące więcej energii niż klasyczne supernowe, mogą nam dostarczyć informacji o bardzo odległym, a więc młodym Wszechświecie. Można mieć nadzieję, że ich badanie doprowadzi do odkrycia własności umożliwiających ich wykorzystanie jako „świec standardowych”. Podsumowując można stwierdzić, że badanie błysków pochodzenia kosmicznego ma wpływ na naszą wiedzę o oddziaływaniach fundamentalnych i o wczesnym Wszechświecie – tym najbardziej dramatycznym eksperymencie podlegającym podstawowym prawom przyrody.

Plon poszukiwań błysków optycznych jest jednak jak dotąd bardzo ubogi. Tylko około 30 rozbłysków gamma udało się skorelować z obiektami aktywnymi w optycznym zakresie widma. Prawie wszystkie zaobserwowano z pomocą dużych teleskopów po upływie wielu godzin od rozbłysku gamma. W tych skalach czasowych zaobserwowana *poświata* optyczna o jasności¹ rzędu 20^m słabnie w tempie 1^m na kilka godzin. Tylko raz udało się zaobserwować silny błysk optyczny w ciągu kilku sekund po rejestracji rozbłysku gamma. Odkrycia dokonała grupa ROTSE przy pomocy małego, automatycznego teleskopu [6]. Zarejestrowano silny błysk optyczny o jasności w maksimum wynoszącej 8,6^m. Obserwacja ta jest jednak dowodem na to, że takie błyski istnieją, a zatem poszukiwanie ich nie jest zadaniem beznadziejnym.

Wykrywanie i śledzenie rozbłysków optycznych stowarzyszonych z rozbłyskami gamma stanowi wiodącą motywację do budowy wnioskowanej aparatury. Aparatura ta ma jednak znacznie bardziej uniwersalny charakter. Może być wykorzystana do jednoczesnego prowadzenia wielu projektów badawczych. Wspomnimy tu jedynie kilka przykładów ilustrujących jej możliwości.

Konstrukcja detektora pozwala równolegle do analizy *on-line* na zapamiętywanie zdjęć całego nieba w odstępach rzędu od kilkunastu minut do godzin. Fotometria tak zgromadzonych danych pozwoli na zbadanie zmienności nieba w krótkich skalach czasowych. Możliwość akwizycji bocznego strumienia danych do celów fotometrii gwiazd ograniczone są jedynie przez pojemność dostępnej pamięci stałej. Programowalna elektronika kamer CCD pozwala na wydłużenie czasu odczytu i zmniejszenie poziomu szumów. Zdalne wydłużenie czasu ekspozycji na potrzeby obserwacji astronomicznych do około 1 minuty powinno pozwolić na fotometrię gwiazd o jasności rzędu 12^m z dokładnością do 0.05^m. Pozwoli to na poszukiwanie i systematyczne badanie gwiazd zmiennych, w szczególności słabo poznanych gwiazd krótkookresowych.

Poza tym system umożliwia wczesne wykrywanie jasnych gwiazd nowych i supernowych, wykrywanie asteroid i badanie ich rotacji poprzez śledzenie zmian blasku oraz śledzenie sztucznych satelitów i ich szczątków.

Perspektywy rozwoju

Budowa systemu tej wielkości odpowiedzialnego za w pełni automatyczne obserwacje wymaga rozwiązania problemów związanych z wyborem optymalnej architektury sprzętu (*hardware*), czyli kamer CCD, komputerów i magistrali transportu danych oraz oprogramowania (*software*) czyli algorytmów wykrywania błysków i systemu

¹ Jasności gwiazd wyraża się w tzw. wielkościach gwiazdowych (*magnitudo*). $m = -2.5 \log_{10} E + b$, gdzie E jest oświetleniem dawanym przez gwiazdę w luksach a $b = -14.05$

odpowiedzialnego za współdziałanie dwóch baterii złożonych z 16 kamer CCD i 8 komputerów każda. Znalezienie optymalnego rozwiązania umożliwi w przyszłości budowę zespołów teleskopów („farm”) opartych o optykę o dłuższej ogniskowej, mniejszym jednostkowym polu widzenia a zatem wymagających większej liczbie jednostek. Bez wątpienia farmy teleskopów stanowią jeden z najciekawszych kierunków rozwoju astronomii i trudno przecenić korzyści jakie polska nauka odniesie w tej dziedzinie z połączenia doświadczeń fizyki cząstek elementarnych i astronomii.

Obiecującą propozycję współpracy otrzymaliśmy od projektu ASTRAL [7]. Projekt ten przewiduje umieszczenie podobnej aparatury na orbicie okołoziemskiej. Proponowany projekt „ π of the sky” może więc pełnić rolę naziemnego prototypu projektu ASTRAL, zaś projekt ASTRAL rysuje się jako naturalna kontynuacja „ π of the sky”.

W przyszłości interesujące wyniki może przynieść koincydencja pomiarów w optycznym zakresie widma z pomiarami prowadzonymi za pomocą detektorów cząstek elementarnych, na przykład neutrin.

Związany z realizacją projektu w Polsce postęp technologiczny w zakresie budowy czułych detektorów optycznych oraz akwizycji, przesyłania i analizy on-line dużego strumienia danych może być zastosowany innych dziedzinach wiedzy, na przykład w biologii i medycynie, oraz w urządzeniach o charakterze komercyjnym.

Literatura

- [1] B. Paczyński, *PASP*, **112**, 1281, 2000.
- [2] R. Klebesadel, I. Strong and R. Olson, *Ap.J.Lett.* **182:L85**, 1973.
- [3] G. Pojmanski, *Acta Astronomica* **50**, 177, 2000.
<http://www.astro.uw.edu.pl/~gp/asas/>
- [4] <http://www.cft.edu.pl/~lech/pi/pi.WMV>
plik w formacie Microsoft Windows Movie Maker
- [5] B. Paczyński, „Optical Flashes Preceding GRBs”, *astro-ph/0108522*, 2001.
- [6] K. Akerlof et al., *Nature* **398:400**, 1999.
- [7] G. Tsarevsky, The ASTRAL project,
<http://www.atnf.csiro.au/people/gtsarevs/ASTRAL.ppt>