

Detection techniques for the H.E.S.S. II  
telescope, data modeling of gravitational  
lensing and emission of blazars in HE-VHE  
astronomy

Anna Barnacka

22 February 2012

Ostatnie dziesięciolecie przyniosło niezwykle postęp w dziedzinie astronomii wysokich i bardzo wysokich energii. Postęp ten został osiągnięty głównie dzięki nowej generacji instrumentów, które umożliwiły obserwacje z nieosiągalną dotychczas precyzją i czułością. W niniejszej rozprawie przedstawiam cztery problemy z zakresu astronomii wysokich energii, w których wyniki zostały uzyskane dzięki nowej generacji instrumentów prowadzących obserwacje gamma w szerokim zakresie.

Pierwsza część pracy doktorskiej dotyczy rozwoju i budowy teleskopów Czerenkowskich, a w szczególności systemu wyzwalania kamery zwanego "Level 2 trigger" dla największego teleskopu Czerenkowa w Wysokoenergetycznym Systemie Stereoskopowym (High Energy Stereoscopic System - H.E.S.S.). H.E.S.S. jest układem teleskopów dedykowanych do obserwacji bardzo wysokoenergetycznego promieniowania gamma. Sieć teleskopów pracuje w systemie stereoskopowym od 2004 roku. Przez pierwszą dekadę układ składał się z czterech 12 metrowych teleskopów. W roku 2012 układ został uzupełniony o piąty 28 metrowy teleskop, tym samym obserwatorium H.E.S.S. weszło w kolejną fazę swojej działalności nazwaną H.E.S.S. II. Sieć składająca się z pięciu teleskopów została zaprojektowana, aby móc prowadzić obserwację zarówno w trybie stereoskopowym jak i w systemie monoskopowym (jednoteleskopowym). Piąty teleskop został wyposażony w system wyzwalania kamery wyższego poziomu, w celu zredukowania liczby rejestrowanych zdarzeń tła, gdy teleskop pracuje w trybie monoskopowym.

W pracy doktorskiej przedstawiam motywację i zasady działania systemu wyzwalania kamery wyższego poziomu teleskopu H.E.S.S. II. Znaczna część badań w tym zakresie została wykonana w IRFU/CEA we Francji - w jednostce naukowej odpowiedzialnej za zaprojektowanie i budowę tego systemu. W skład układu Level 2 trigger wchodzi zarówno rozwiązania sprzętowe (hardware) jak i programistyczne (software). W prezentowanej rozprawie doktorskiej opisuję również zastosowane rozwiązanie sprzętowe wraz z implementacją opracowanego algorytmu, oraz wyniki symulacji Monte Carlo przedstawiające wydajność zaimplementowanego rozwiązania (Moudden, Barnacka, Glicenstein et al. 2011a; Moudden, Venault, Barnacka et al. 2011b).

W roku 2009 w obserwatorium H.E.S.S. przeprowadzono obserwacje blazara PKS 1510-089. Druga część rozprawy doktorskiej przedstawia analizę danych jak i wyniki modelowania widma tego blazara. Blazar PKS 1510-089 jest przykładem tak zwanego radio-kwazara o płaskim widmie (Flat Spectrum Radio Quasar - FSRQ). Z powodu efektu Klein-Nishiny oraz silnej absorpcji w obszarze szerokich linii emisyjnych, nie spodziewano się rejestracji emisji

bardzo wysokoenergetycznego promieniowania gamma z tego typu obiektów (Moderski et al. 2005). Detekcja co najmniej trzech obiektów tego typu w zakresie VHE spowodowała konieczność rewizji dotychczasowej interpretacji wysokoenergetycznego składnika widmowego obiektów typu FSRQs.

W procesie analizy danych blazara PKS 1510-089 wykorzystałam dane uzyskane za pomocą obserwatorium H.E.S.S. wraz z danymi uzyskanymi dzięki satelicie FERMI uzupełnionych o zbiór archiwalnych obserwacji w szerokim zakresie widma elektromagnetycznego. Obserwacje te umożliwiły rekonstrukcję widma PKS 1510-089 w zakresie od fal radiowych po najwyższe obserwowane energie ze szczególnym uwzględnieniem rozbłysku zaobserwowanego w marcu 2009 roku. W rozprawie doktorskiej przedstawiam również interpretację emisji PKS 1510-089 podczas wyżej wspomnianego rozbłysku. Dyskutowana przeze mnie interpretacja bazuje na modelu jednostrefowym, w którym elektrony są przyspieszane do relatywistycznych prędkości w procesie Fermiego zachodzącym w wewnętrznych szokach.

Trzecia część rozprawy doktorskiej również dotyczy blazarów obserwowanych przez satelitę FERMI, jednak przedstawiane wyniki odnoszą się do innego zjawiska - silnego soczewkowania grawitacyjnego. W tej części przedstawiam pierwszy przypadek soczewkowania grawitacyjnego zarejestrowanego za pomocą obserwacji gamma blazara PKS 1830-211.

Tradycyjne metody analizy zjawiska soczewkowania grawitacyjnego polegają na badaniu wzajemnej korelacji krzywych zmian blasku obrazów powstałych na skutek soczewkowania grawitacyjnego w celu wyznaczenia opóźnienia czasowego obserwowanych sygnałów. W przedstawionej w pracy analizie wykorzystano obserwacje fotonów gamma o energii z zakresu od 300 MeV do 30 GeV zarejestrowanych detektorem znajdującym się na pokładzie satelity FERMI. Instrument ten nie dysponuje wystarczającą rozdzielczością kątową, aby móc zarejestrować krzywe zmiany blasku bezpośrednio dla każdego powstałego obrazu. Obserwowana krzywa zmiany blasku soczewkowanego grawitacyjnie źródła jest więc sumą powstałych obrazów. Satelita FERMI dostarcza bardzo długą próbkę danych równomiernie obserwowanego nieba z bardzo niskim poziomem szumu dzięki czemu dane te są niezwykle atrakcyjne dla metod bazujących na transformacji Fouriera.

Opóźnienie czasowe pomiędzy obrazami PKS 1830-211 zostało wyznaczone zarówno metodą auto-korelacji, jak również opracowaną metodą podwójnego widma mocy. Metoda podwójnego widma mocy pozwoliła na wyznaczenie opóźnienia czasowego o wartości  $27 \pm 0.6$  dnia z istotnością detekcji  $4.2 \sigma$  (Barnacka i in. 2011). Wynik ten jest zgodny z wynikami uzyskanymi

przez Lovell i in. (1998) oraz przez Wiklund i Combes (2001), z obserwacji radiowych, jednak zastosowanie danych w zakresie HE pozwoliło zmniejszyć niepewność pomiarową o rząd wielkości.

W ostatniej części rozprawy doktorskiej przedstawiam wyniki badań szczególnego zjawiska soczewkowania grawitacyjnego zwanego femtosoczewkowaniem. Efekt femtosoczewkowania grawitacyjnego został wykorzystany do wyznaczenia ograniczeń na gęstość pierwotnych czarnych dziur. W badaniach wykorzystano błyski gamma o znanym przesunięciu ku czerwieni zarejestrowane przez detektor błysków gamma znajdujący się na pokładzie satelity FERMI (FERMI Gamma-ray Burst Monitor - GBM). Brak zarejestrowanego efektu femtosoczewkowania w tych błyskach pozwolił stwierdzić, że pierwotne czarne dziury w zakresie mas od  $10^{17}$  do  $10^{20}$  g stanowią mniej niż 3% gęstości krytycznej (Barnacka i in. 2012).

Zaprezentowane w pracy wyniki zostały osiągnięte w trakcie badań prowadzonych w IRFU/CEA Saclay oraz w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika Polskiej Akademii Nauk w Warszawie.