

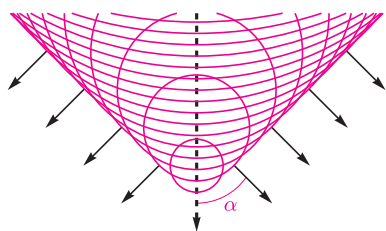
H.E.S.S. II – po co nam taki duży teleskop?

Anna BARNACKA*



Podróżując ze stolicy Namibii, Windhoek, do położonego na afrykańskim wybrzeżu Oceanu Atlantyckiego Walvis Bay, można podziwiać dzięki przyrodę prawie w ogóle nietkniętą ludzką działalnością. Nie zobaczymy tu dużych budynków, masztów telefonii komórkowej, z rzadka daje się dostrzec smugę kondensacyjną samolotu na niebie. Tym bardziej rzuca się w oczy olbrzymia, przypominająca rzeźby Caldera konstrukcja wznosząca się tajemniczo nad horyzontem. Ten gigant w kolorze namibijskiej ziemi to teleskop o rozmiarze lustra 28 metrów, co czyni go największym tego typu teleskopem na świecie. Powierzchnia zwierciadła głównego wynosi prawie 600 m², co w przybliżeniu odpowiada powierzchni dwóch kortów tenisowych. Urządzenie to stanowi część obserwatorium H.E.S.S. (ang. *High Energy Stereoscopic System*). Dotąd wyposażone było w cztery mniejsze teleskopy, każdy o średnicy zwierciadła 12 metrów, co daje powierzchnię zbierającą 113 m² (dwa korty do squasha). Piąty instrument rozpoczął pracę 26 lipca 2012 roku. Wraz z zarejestrowaniem przezeń pierwszego światła realizowany w obserwatorium projekt badawczy rozpoczął nowy etap, nazwany H.E.S.S. II. Nazwa projektu nie jest jedynie akronimem frazy opisującej techniczną stronę przedsięwzięcia, ale ma również uhonorować odkrywcę promieniowania kosmicznego, Victora Hessa, laureata Nagrody Nobla z fizyki w roku 1936. Rok rozpoczęcia projektu H.E.S.S. II jest także szczególny dla społeczności naukowej: obchodziliśmy wtedy setną rocznicę odkrycia promieniowania kosmicznego oraz dziesięciolecie działalności obserwatorium H.E.S.S.

H.E.S.S. rejestrował dotąd fotony w zakresie najwyższych obserwowanych energii, od 200 GeV aż do 10 TeV. Cząstki o tak wysokich energiach na pewno nie są pochodzenia termicznego, gdyż emitujący je rozgrzany obiekt musiałby mieć temperaturę powyżej 700 bilionów stopni – ponad milion razy większą niż temperatura w centrach najbardziej masywnych gwiazd! Inwestycja w piąty teleskop w centrum istniejącego już układu czterech mniejszych, umieszczonych w rogach kwadratu o boku 120 m, umożliwi poszerzenie zakresu czułości energetycznej do „niższych energii”, co dla naukowców związanych z projektem oznacza energie rzędu kilku GeV. Jest to ważne osiągnięcie, gdyż wypełniona zostaje luka pomiędzy zakresami dostępnymi dla obserwatoriów satelitarnych i naziemnych.



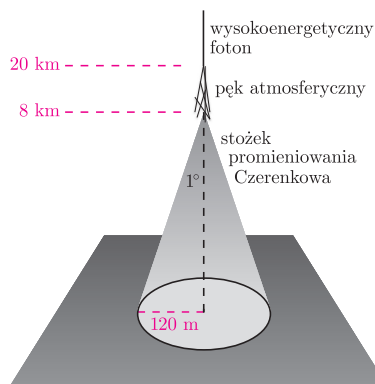
Rys. 1. Zjawisko Czerenkowa. Linia przerywaną zaznaczono tor cząstki naładowanej o prędkości v_{cz} , większej niż prędkość $v_{św}$ rozchodzenia się światła w ośrodku materialnym. Cząstka ta pobudza ośrodek do świecenia. Okręgi (w trzech wymiarach sfery) oznaczają możliwe położenia tych fotonów, wyemitowanych w chwili, gdy cząstka naładowana przechodzi przez środek każdego z okręgów. Obwiednia tych okręgów, gdzie występuje szczególnie duża koncentracja fotonów, jest stożkiem o kącie rozwarcia $\arcsin(v_{św}/v_{cz})$. Fotony Czerenkowa są więc emitowane pod kątem $\alpha = \arcsin(v_{św}/v_{cz})$ do kierunku ruchu cząstki naładowanej.

Obserwacje obiektów astrofizycznych emitujących fotony gamma stanowią nawet dziś duże wyzwanie. Detektor promieniowania gamma, mający średnicę 1 metra, dla typowego źródła obserwowanego w tym zakresie energii zarejestruje zaledwie 1 foton o energii 1 GeV dziennie. Dla wyższych energii fotonów jest jeszcze mniej: dla energii 1 TeV zarejestruje się już tylko 1 foton na rok! Co gorsza (dla badaczy, nie dla innych zamieszkujących Ziemię organizmów), w zasadzie wszystkie te wysokoenergetyczne fotony są pochłaniane przez atmosferę. Ich bezpośrednie wykrywanie wymagałoby więc wyniesienia detektora promieniowania gamma na orbitę okołoziemską. Aby zapewnić zarejestrowanie dostatecznie dużej, tj. nadającej się do dalszej obróbki statystycznej, liczby fotonów o najwyższej energii, detektor taki powinien dysponować efektywną powierzchnią zbierającą rzędu kilometra kwadratowego. O takim przyrządzie można w obecnych realiach technologicznych i finansowych jedynie pomarzyć.

Okazuje się jednak, że fakt oddziaływania wysokoenergetycznych cząstek w atmosferze można wykorzystać do badania tych cząstek – tyle że pośredniego. Wysokoenergetyczne fotony docierające do atmosfery Ziemi oddziałują z cząsteczkami azotu i tlenu, wywołując kaskady cząstek wtórnych, czyli tzw. pęki atmosferyczne. Wiele naładowanych cząstek wtórnych ma prędkości przekraczające prędkość światła w atmosferze i emituje tzw. promieniowanie Czerenkowa, które może być rejestrowane na powierzchni Ziemi. Fotony promieniowania Czerenkowa należą do zakresu optycznego z maksimum w kolorze niebieskim. Ludzkie oko nie jest jednak w stanie dostrzec emisji tego

*doktorantka, Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika w Warszawie

W tym przypadku słowo „kilopiksel” nabiera dosłownego znaczenia...



Rys. 2. Wyemitowane przez pęk atmosferyczny promieniowanie Czerenkowa zostanie zarejestrowane przez teleskop umieszczony w dowolnym punkcie wewnątrz stożka promieniowania Czerenkowa.



promieniowania przez pęki atmosferyczne, gdyż całe zjawisko trwa bardzo krótko – od kilku do kilkudziesięciu nanosekund. Światło Czerenkowa może być jednak rejestrowane przez teleskopy podobne w konstrukcji do teleskopów optycznych, wyposażone w czułe detektory i potrafiące dostatecznie szybko rejestrować dane. Taki jest właśnie piąty teleskop H.E.S.S. II, dysponujący dwutonową kamerą składającą się z 2048 fotopowielaczy.

Wiadomo, że wpadająca do atmosfery cząstka zaczyna tworzyć kaskadę na wysokości około 20 km, a kaskada osiąga swoje maksimum na wysokości około 8 km. Maksymalne rozwarście stożka promieniowania Czerenkowa to $\alpha_{\max} = \arccos(1/n)$, gdzie n jest współczynnikiem załamania światła w atmosferze. Kąt α_{\max} rośnie w miarę zmniejszania się wysokości nad powierzchnią Ziemi. Dodatkowo cząstki pęku atmosferycznego nie muszą poruszać się dokładnie wzdłuż kierunku pierwotnego wysokoenergetycznego fotonu. Oznacza to, że dla fotonu, którego prędkość początkowa jest prostopadła do powierzchni Ziemi, podstawa stożka promieniowania Czerenkowa ma promień około 120 m i jest w miarę równomiernie oświetlona (rys. 2).

Teleskop umieszczony gdziekolwiek wewnątrz takiego okręgu będzie w stanie zarejestrować światło Czerenkowa pochodzące z pęku. Atmosfera działa tu jak olbrzymi detektor cząstek, którego powierzchnia efektywna jest równa powierzchni koła o promieniu równym maksymalnej odległości na powierzchni Ziemi między osią stożka a teleskopem. Oznacza to, że zastosowanie opisaną technikę pozwala uzyskać efektywną powierzchnię zbierającą rzędu kilkudziesięciu tysięcy metrów kwadratowych, czyli kilku boisk piłkarskich.

Należy jednak pamiętać, że możliwość badania promieniowania Czerenkowa jest uwarunkowana możliwością zebrania odpowiednio dużej liczby fotonów tego promieniowania. Liczba fotonów Czerenkowa produkowanych w pęku atmosferycznym zależy od energii pierwotnego fotonu. Jeśli energia ta wynosi 10 GeV, to do powierzchni Ziemi dociera od jednego do dwóch fotonów Czerenkowa na metr kwadratowy, a należy jeszcze uwzględnić straty związane z absorpcją na powierzchni lusterek (około 10%) oraz z efektywnością użytej kamery (strata ok. 90% fotonów). Zakładając, że do poprawnej interpretacji danych uzyskanych przez teleskop potrzeba około 50 fotonów Czerenkowa dla każdego pęku, możemy oszacować, że rejestracja promieniowania gamma o energii rzędu 10 GeV wymaga detektora o powierzchni zbierającej przekraczającej 600 m², czyli mniej więcej takiego, jak nowe urządzenie w obserwatorium H.E.S.S.

Promieniowanie w zakresie energetycznym od 10 do 200 GeV nie zostało, jak dotąd, zbyt dokładnie zbadane. Dzięki obserwacjom teleskopów H.E.S.S. II będziemy mogli śledzić poczynania supermasywnych czarnych dziur znajdujących się w centrach galaktyk, pulsarów czy pozostałości po supernowych. Nie jest również wykluczone, że H.E.S.S. II dostarczy informacji o własnościach ciemnej materii, która, jeśli składa się z masywnych i słabo oddziałujących cząstek, może anihilować w centrach galaktyk, tworząc promieniowanie gamma o energiach rzędu od kilkudziesięciu do kilkuset GeV. Pomimo olbrzymiego rozmiaru teleskopy H.E.S.S. II zostały zaprojektowane tak, aby można je było szybko skierować w dowolny punkt na niebie, jeśli tylko pojawi się informacja o ciekawym zjawisku. Może to być np. doniesienie o błysku gamma, wysłane przez któregoś satelitę. Do tej pory żadne z naziemnych obserwatoriów nie zarejestrowało takiego błysku. H.E.S.S. II będzie w stanie zrobić to jako pierwszy, przyczyniając się, miejmy nadzieję, do wyjaśnienia, co powoduje te eksplozje. Astronomowie oczekują także, że w rozważanym zakresie energetycznym uda się odkryć zupełnie nowe źródła promieniowania gamma, czyli nowe, niezbadane jeszcze ciała niebieskie. Namibijskie obserwatorium, w pracach którego biorą również udział naukowcy z ośrodków w Warszawie, Krakowie i Toruniu, jest zatem wręcz skazane na sukces, a doniesienia o nowych wynikach są z uwagą studiowane przez astronomów, astrofizyków i fizyków cząstek elementarnych.