

fizyka

CO ZOBACZYŁ SST-1M

Promieniowanie gamma najwyższych energii nie dociera do powierzchni Ziemi – zostaje zatrzymane w atmosferze. Ale właśnie atmosfera może stać się narzędziem umożliwiającym detekcję fotonów o energiach rzędu teraelektonowoltów. Dzięki wykorzystaniu instrumentów rejestrujących promieniowanie Czerenkowa można prowadzić obserwacje źródeł emitujących wysokoenergetyczne fotony za pomocą ziemskich teleskopów.

dr Alicja Wierzcholska

Instytut Fizyki Jądrowej,
Polska Akademia Nauk, Kraków

Wysokoenergetyczne fotony promieniowania gamma – o energiach powyżej kilkudziesięciu gigaelektonowoltów (GeV) – wdzierając się

do atmosfery ziemskiej, napotkają na swej drodze przeszkody głównie w postaci cząstek tlenu i azotu. W wyniku zderzeń z tymi cząstkami generowane są kaskady cząstek wtórnych, tzw. pęki atmosferyczne. Wiele z powstałych w takich kolizjach naładowanych cząstek wtórnych porusza się z prędkościami większymi od prędkości światła w atmosferze. To powoduje emisję tzw. promieniowania Czerenkowa – niebieskiego światła, obserwowanego w zakresie optycznym. Jego błyski trwają zbyt krótko, aby mogły



dr Alicja Wierzcholska

jest adiunktem w Zakładzie Astrofizyki Promieniowania Gamma w IFJ PAN. Zajmuje się obserwacjami blazarów, w szczególności w zakresie promieniowania gamma najwyższych energii. Jest też członkiem współpracy H.E.S.S. i CTA.

alicja.wierzcholska@ifj.edu.pl



Prototyp teleskopu SST-1M z zamontowaną kamerą w krakowskim Instytucie Fizyki Jądrowej PAN. Średnica czasy teleskopu wynosi 4 m. Składa się na nią 18 zwierciadeł sferycznych. Ogniskowa teleskopu wynosi 5,6 m, a pole widzenia kamery to aż 9,1 stopni.

Kto zbudował SST-1M

Stworzenie tej wyjątkowej kamery było możliwe dzięki połączeniu wysiłków wielu osób. Sama struktura mechaniczna teleskopu SST-1M wraz z napędem została zaprojektowana i wykonana w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Kamera jest wspólnym dziełem zespołów z Uniwersytetu Jagiellońskiego, Akademii Górniczo-Hutniczej i IFJ PAN w Krakowie, które opracowały w pełni cyfrową elektronikę do akwizycji sygnałów (DigiCam), oraz Uniwersytetem Genewskim, gdzie zbudowano płaszczyznę fotoczułą kamery oraz jej mechanikę wraz z układem chłodzenia. W Centrum Astronomii im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie i Toruniu powstały komputerowy system rejestracji danych oraz układ pozycjonujący teleskop, a w Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie opracowano układ pozycjonujący zwierciadła. Współpracownicy z Czech odpowiedzialni byli za budowę układu optycznego, w tym napylanie warstw refleksyjnych na szklane zwierciadła.

być zarejestrowane przez oko ludzkie. Ale teleskopy optyczne, wyposażone w czułe detektory, są w stanie je zarejestrować.

Troje oczu i jedno

Na świecie działają obecnie trzy obserwatoria prowadzące obserwacje promieniowania gamma najwyższych energii: H.E.S.S. (ang. High Energy Stereoscopic System) zlokalizowany na Wyżynie Khomas w Namibii, MAGIC (ang. Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov Telescopes) znajdujący się na La Palmie, jednej z Wysp Kanaryjskich, oraz VERITAS (ang. Very Energetic Radiation Imaging Telescope

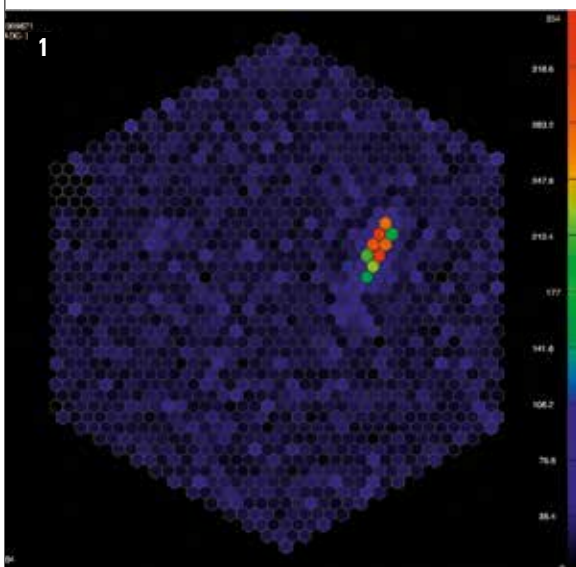
Array System) pracujący w stanie Arizona w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. W obserwatoriach tych wykorzystuje się od dwóch do pięciu teleskopów Czerenkowa.

Dotychczasowe wyniki uzyskane przez H.E.S.S., MAGIC i VERITAS były tak przełomowe, że dały motywację do podjęcia budowy kolejnego, znacznie potężniejszego narzędzia do obserwacji wysokoenergetycznych fotonów gamma. Dzięki połączonym wysiłkom naukowców oraz inżynierów z całego świata powstanie olbrzymie międzynarodowe obserwatorium – CTA (ang. Cherenkov Telescope Array). Obserwatorium CTA będzie składało się z dwóch części, zlokalizowanych na południowej i północnej półkuli Ziemi, tak, aby obszar obserwacyjny obejmował całe niebo. Wiadomo już, że instrumenty staną w Chile i na La Palmie – w miejscach, gdzie warunki do obserwacji astronomicznych są najlepsze na świecie.

W ramach CTA planowana jest budowa ponad stu teleskopów Czerenkowa. Będą one podzielone na trzy typy, różniące się rozmiarami: tzw. małe teleskopy o średnicy zwierciadła 4 m (ang. *small-size telescopes*, SSTs), średnie o średnicy zwierciadła 12 m (ang. *medium-size telescopes*, MSTs) i duże o średnicy zwierciadła 23 m (ang. *large-size telescopes*, LSTs). Dzięki zróżnicowanym średnicom luster pozwolą one na obserwacje w szerokim zakresie energii od około 20 GeV do znacznie ponad 300 TeV. Obserwacje w najniższych energiach możliwe będą dzięki największym teleskopom, a w najwyższych – dzięki tym najmniejszym. Stereoskopowe obserwacje przy użyciu dużej liczby teleskopów pozwolą uzyskać bardzo dużą czułość detekcji. Możliwe będzie również bardzo dokładne wyeliminowanie zdarzeń tła, czyli detekcji pochodzących na przykład od cząstek promieniowania kosmicznego oraz precyzyjna rekonstrukcja kierunku nadejścia fotonu gamma i jego energii.

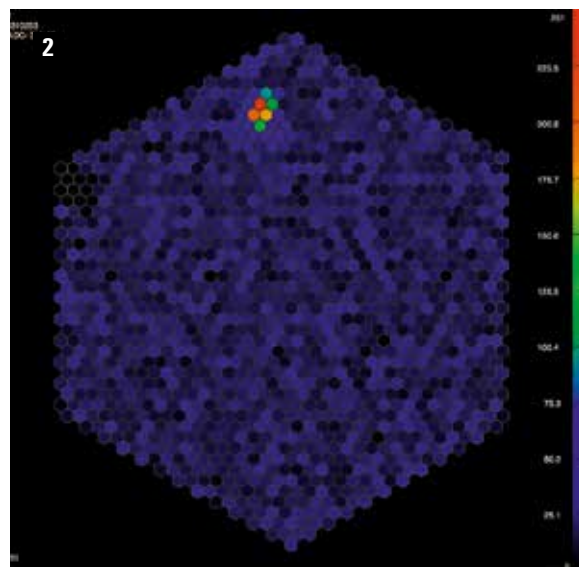
Fot. 1.

Typowy wydłużony obraz poświaty Czerenkowa pęku atmosferycznego, zainicjowanego prawdopodobnie przez promień gamma. Oś wydłużonego obrazu wskazuje na pozycję źródła.



Fot. 2.

Typowy rozmazany obraz kaskady wywołanej przez promień kosmiczny, najprawdopodobniej proton. Obraz ten jest mniej regularny od tego, jaki daje kaskada fotonowa. Copyright: Matthieu Heller



PIERWSZE OBSERWACJE PROMIENIOWANIA GAMMA NAJWYŻSZYCH ENERGII

Zadanie nie jest jednak proste, bo teleskopy, które sprostają tym wszystkim wymogom, muszą różnić się od wszystkich, które budowano dotychczas. Dlatego różni członkowie konsorcjum CTA na całym świecie pracują nad projektami i przygotowaniem prototypów teleskopów, które będą w stanie spełnić wszystkie techniczne wymagania, stawiane przez projekt.

Widzenie po rosie

Jeden z prototypów małego teleskopu dla CTA, o nazwie SST-1M (ang. Single-mirror Small-Size Telescope), powstał w krakowskim Instytucie Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk. 1 września instrument zarejestrował swoje pierwsze światło – czyli po raz pierwszy „spojrzał” w niebo. Aby ta pierwsza obserwacja była możliwa, potrzebnych było pięć lat wyłożonych prac nad konstrukcją teleskopu oraz budową poszczególnych podzespołów, w tym struktury mechanicznej teleskopu, zwierciadeł oraz nowatorskiej kamery z fotopowielaczami krzemowymi i w pełni cyfrową elektroniką do rejestracji i przetwarzania danych. Krakowski prototyp powstał w ramach prac konsorcjum skupiającego naukowców i inżynierów głównie z Polski, Szwajcarii oraz Czech. Koordynatorem projektu SST-1M jest profesor Teresa Montaruli z Uniwersytetu w Genewie, koordynatorem zaś prac prowadzonych w Polsce jest dr hab. Jacek Niemiec z IFJ PAN.

Pierwszą obserwację poprzedziły cztery dni intensywnej pracy polsko-szwajcarskiego zespołu, który musiał zamontować kamerę na strukturze krakowskiego teleskopu. Na noc z 31 sierpnia na 1 września czekano od dawna.

Najpierw badacze sprawdzili warunki atmosferyczne. Potem dopiero padła komenda, pozwalająca na otwarcie pokrywy kamery. Wielkie niebieskie krzemowe „oko” po raz pierwszy spojrzęło na świat. Tymczasem zespół genewski zdalnie zaprogramował instrument, by ten śledził znane od prawie 20 lat źródło promieniowania gamma najwyższych energii – blazar 1ES 1959+650.

Zaledwie kilka sekund wystarczyło, aby teleskop obrócił się w kierunku 1ES 1959+650 i rozpoczął obserwacje. Na ekranach monitorów wyświetlały się kolejne zdarzenia. W ciągu 90 minut na dyskach zapisało się 342 GB danych. Nie wszystkie zdarzenia to błyski pochodzące od fotonów gamma; wiele z zarejestrowanych sygnałów pochodzi niestety od rozproszonego światła miasta. Zostaną one odfiltrowane podczas analizy danych.

Kilka dni po zarejestrowaniu pierwszych fotonów gamma sprawdzono szczelność kamery, która była przez kilka dni poddana działaniu silnego deszczu. To wszystko stanowi jednak zaledwie początek prac prowadzących do stworzenia w pełni funkcjonującego instrumentu. W najbliższym czasie oprogramowanie



serwera teleskopu zostanie zmodyfikowane tak, by możliwe było odróżnienie fotonów promieniowania gamma od tła pochodzącego od promieni kosmicznych. Tych ostatnich rejestruje się około 100 000 razy więcej.

Okazało się, że warunki atmosferyczne w Krakowie utrudniają uruchamianie i testowanie kamery teleskopu. Są one zupełnie inne od tych, jakich spodziewać się można w Chile, na pustyni Atacama, gdzie prawdopodobnie będzie pracował instrument. Tereny w Chile należą do najsuchszych na świecie, a w Krakowie podczas testów teleskopu wilgotność zmieniała się od 30% w ciągu dnia do 95% w nocy, osiągając bardzo wysoko (około 10°C) punkt rosy. Dlatego warunki pracy kamery monitorowano bardzo skrupulatnie, wpompowując do urządzenia suche powietrze, co pozwoliło zapobiec uszkodzeniom skomplikowanych podzespołów elektronicznych.

Pierwsze światło w kamerze teleskopu SST-1M to ważny etap w budowie prototypu. W ciągu zaledwie kilku dni udało się zamontować kamerę na strukturze teleskopu. Było to możliwe dzięki innowacyjnej metodzie instalacji kamery – sama struktura teleskopu posłużyła jako dźwig, który wydobyl kamerę z pudła transportowego i umieścił ją na wózku montażowym. Procedura ta zostanie powtórzona również podczas docelowej instalacji w obserwatorium CTA.

ALICJA WIERZCHOLSKA
 ZDJĘCIA JACEK NIEMIEC

Kamera prototypu teleskopu SST-1M przed wschodem słońca i zamknięciem pokrywy.

Chcesz wiedzieć więcej?

Niemiec J. (2014). Polowanie na najwyższe energie, *Academia nr 1 (37)* – <http://www.naukaonline.pl/nasze-teksty/nauki-scisle/item/601-polowanie-na-najwyzsze-energie> <http://www.naukaonline.pl/news/item/197-testy-malego-teleskopu-cta> http://www.isdc.unige.ch/~lyard/FirstLight/FirstLight_slowHD.mp4