

Skąd pochodzą cząstki o największej energii?

Krzysztof Fiałkowski

Instytut Fizyki UJ

Jak co roku, autorzy biuletynu Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego wytypowali dziesięć najważniejszych odkryć fizycznych, o których donosili w tym roku. Znalazło się wśród nich odkrycie ogłoszone zaledwie miesiąc temu: identyfikacja prawdopodobnych źródeł cząstek o najwyższej energii, które docierają na Ziemię.

Przypomnijmy, że już od ponad stu lat fizycy rejestrują naładowane cząstki, które docierają do nas z Kosmosu. Jest ich niemało: w każdej sekundzie przez powierzchnię jednego metra kwadratowego przelatuje około dwustu takich cząstek o energii rzędu kilku MeV, czyli takiej, do jakiej przyspieszyłoby je pole elektryczne z różnicą potencjałów rzędu kilku milionów voltów. Jednak strumień tych cząstek maleje szybko z energią (w przybliżeniu jak E^{-3}) i cząstki o energii ponad 1 EeV, czyli 10^{18} eV, przelatują przez powierzchnię 1 km² tylko raz na tydzień, a o energii ponad 100 EeV zaledwie raz na stulecie. Aby takie cząstki rejestrować, musimy więc budować olbrzymie detektory.

Dlaczego detekcja takich cząstek jest ważna? Okazuje się, że jest to przedział energii, w którym obserwacje mogą mieć kluczowe znaczenie dla dalszego rozwoju astronomii i kosmologii. Wiemy, że cząstki te przylatują do nas spoza naszej Galaktyki, bo nie ma żadnej korelacji między kierunkami, z których nadlatują, a płaszczyzną „Drogi Mlecznej”. Nie znamy też żadnych mechanizmów przyspieszania cząstek do takich energii w obrębie Galaktyki. Jednak poszukiwanie pozagalaktycznych źródeł tego promieniowania prowadzi też do zaskakujących trudności.

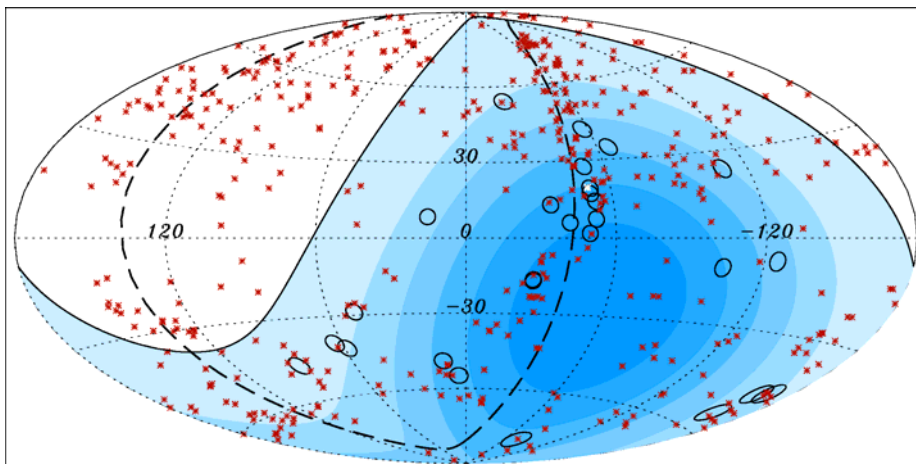
Jak wiemy, przestrzeń kosmiczna jest wypełniona tzw. promieniowaniem relikowym, stanowiącym „pamiątkę” po wczesnej fazie rozwoju Wszechświata. Fotony składające się na to promieniowanie mają znikomą energię, poniżej meV, ale przy zderzeniach z nimi naładowane cząstki promieniowania kosmicznego (głównie protony) o energiach ponad 100 EeV mogą produkować nowe cząstki i tracić znaczną część energii. Efekt ten, przepowiedziany przed czterdziestu laty przez amerykańskiego fizyka Kennetha Greisena i niezależnie przez dwóch fizyków rosyjskich, Wadima Kuzmina i Gieorgija Zacepina, nosi nazwę „obcięcia GZK” widma energii promieniowania kosmicznego. W jego wyniku strumień docierających do Ziemi cząstek o energii ponad 50 EeV powinien maleć z energią znacznie szybciej niż potęgowo, a cząstki o energii kilkuset EeV mogą dotrzeć do Ziemi tylko z odległości mniejszych niż kilkadziesiąt megaparse-

ków (1 Mpc, czyli megaparsek, to odległość, z której światło biegnie do nas ponad 3 miliony lat).

Przez następne lata różne eksperymenty donosiły o obserwacjach pojedynczych cząstek o energii kilkuset EeV. Cząstki o energii powyżej 30 EeV są zakrzywiane w międzygalaktycznym polu magnetycznym na tyle słabo, że z obserwacji kierunku, z którego nadlatują, można wnioskować o położeniu ich źródła. Nie udało się jednak zidentyfikować żadnego znanego obiektu kosmicznego jako możliwego źródła cząstek o tak wielkiej energii. Sugerowało to, że nasza wiedza o promieniowaniu reliktowym i/lub astrofizyce wymaga istotnych uzupełnień.

Dodajmy, że cząstki wielkich energii nie docierają na powierzchnię Ziemi, bo już w górnych warstwach atmosfery zderzają się z jądrami atomów materii, a produkty tych zderzeń oddziałują z kolejnymi atomami produkując tzw. wielkie pęki atmosferyczne, zawierające w sumie tysiące cząstek. Używane dotąd wielkie detektory promieniowania kosmicznego należały zwykle do jednego z dwu typów. W jednych wykrywano w detektorach rozmieszczonych szeroko na powierzchni Ziemi (zwykle w wysokich górach) te cząstki naładowane z pędu, które tam doszły, a w drugich rejestrowano w specjalnych teleskopach światło produkowane w oddziaływaniu cząstek pędu z atmosferą (przez efekt Czerenkowa albo przez fluorescencję azotu). Trudności w wiarygodnym oszacowaniu energii pierwotnej cząstki i jej kierunku były pobudką do budowy nowej aparatury, w której oba sygnały miały być równocześnie odbierane i analizowane. Tak powstał eksperyment „Pierre Auger”, nazwany tak na cześć wielkiego fizyka francuskiego, który był jednym z pionierów badań promieniowania kosmicznego.

Pierwsza część detektora „Pierre Auger” działała i była stopniowo rozbudowywana przez ostatnie dwa lata w Argentynie, w pobliżu miasteczka Malargue. Składa się z 1600 detektorów cząstek naładowanych (wodnych detektorów Czerenkowa o pojemności 12 m³ każdy) rozmieszczonych regularnie na powierzchni 3000 km², oraz kilku teleskopów rejestrujących światło fluorescencyjne (oczywiście tylko w bezchmurnej nocy). Uczni z 17 krajów, w tym z Polski, zebrali już dość danych, aby opublikować pierwsze wyniki. Są one zebrane na poniższym rysunku, na którym zestawiono kierunki nadejścia 27 cząstek o najwyższych energiach (ponad 57 EeV) z położeniami na niebie 472 tzw. „aktywnych jąder galaktyk” (AGN) odległych od Ziemi o mniej niż 75 Mpc. Zaciemniony obszar obejmuje część nieba widoczną w eksperymencie Auger, przy czym najciemniejsze są obszary widoczne najdłużej. Przerywana linia wyznacza płaszczyznę naszej Galaktyki.



Widać jasno, że niemal wszystkie cząstki można skojarzyć z położeniem znanych AGN. Prawdopodobieństwo przypadkowej koincydencji na tym poziomie jest znikome. Możemy więc stwierdzić, że ustalono, skąd pochodzą te cząstki, chociaż mechanizm ich przyspieszania nie jest nadal dobrze znany. Rozkład energii wydaje się zgodny z tym, czego oczekiwano w wyniku obcięcia GZK. Oczywiście należy zebrać jeszcze wiele danych, aby sprawdzić wszystkie fakty, ale w ciągu najbliższych kilku lat liczba zarejestrowanych przypadków wzrośnie o rząd wielkości. Potem zapewne powstanie w Teksasie druga część detektora i obserwacje pokryją całe niebo. Niemniej już te pierwsze wyniki eksperymentu Auger stanowią początek nowego działu nauki: astronomii cząstek naładowanych. Można mieć nadzieję, że doprowadzi ona do wielu ważnych odkryć.

Prof. dr hab. Krzysztof Fiałkowski jest kierownikiem Zespołu Zakładów Fizyki Teoretycznej w Instytucie Fizyki UJ. Uprawia fizykę cząstek elementarnych, jest członkiem Komisji do Oceny Podręczników Szkolnych PAU, sam jest współautorem kilku podręczników z fizyki dla szkół ponadgimnazjalnych.

