



Nowe wyniki eksperymentów w CERN

Małgorzata Nowina-Konopka

IFJ PAN Kraków

I. Eksperyment AMS mierzy nadwyżkę antymaterii w przestrzeni

Promieniowanie kosmiczne to naładowane, wysokoenergetyczne cząstki poruszające się w przestrzeni kosmicznej. Eksperyment AMS, umieszczony na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, ma na celu badanie promieniowania kosmicznego, zanim wejdzie ono w oddziaływanie z atmosferą ziemską.

Eksperyment AMS – Alpha Magnetic Spectrometer – jest prowadzony przez międzynarodowy zespół pod kierunkiem prof. Samuela Tinga (laureata Nagrody Nobla w 1976 roku). Zespół współpracowników liczy około 600 osób z Chin, Danii, Finlandii, Francji, Niemiec, Włoch, Korei, Meksyku, Holandii, Portugalii, Hiszpanii, Szwajcarii, Tajwanu i Stanów Zjednoczonych. Detektor AMS został zmontowany w CERN, przetestowany w Holandii, a w maju 2011 roku na pokładzie Kosmicznego Wahadłowca Endeavour z NASA wysłany do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Tam rejestruje ślady padających cząstek naładowanych (protonów, elektronów) i cząstek antymaterii (np. pozytonów), tworząc z niezwykłą precyzją mapę strumienia promieni kosmicznych.

Wyniki wykazują nadwyżkę pozytonów w strumieniu promieniowania kosmicznego. Są one oparte na około 25 miliardach zdarzeń zarejestrowanych w czasie półtora roku. Zaobserwowano 400 000 pozytonów o energiach pomiędzy 0,5 a 350 GeV. To największa ilość antymaterii, jaką kiedykolwiek zarejestrowano w kosmosie. Widać wyraźny wzrost udziału pozytonów o energii pomiędzy 10 a 250 GeV. Dane nie wskazują, żeby jakikolwiek kierunek, z którego pozytony przylatują, był wyróżniony. Nie widać też żadnej zmiany w czasie. Te wyniki potwierdzają hipotezę, że pozytony kosmiczne pochodzą z anihilacji ciemnej materii w kosmosie, jednak nie wystarczają do wykluczenia innych hipotez.

Nadwyżka pozytonów w strumieniu promieni kosmicznych została po raz pierwszy zaobserwowana około 20 lat temu, jednak ich pochodzenie nadal pozostaje niewyjaśnione. Według przewidywań tzw. teorii supersymetrycznej pozytony powstają podczas zderzenia i anihilacji dwóch cząstek ciemnej materii. Zakładając izotropowy rozkład ciemnej materii w kosmosie, teoria ta tłumaczyłaby obserwację dokonaną przez AMS. Niemniej dotychczasowa obserwacja nie może wykluczyć innego wytłumaczenia: że pozytony pochodzą z pulsarów rozrzuconych wokół płaszczyzny galaktyki. Teorie supersymetryczne dodatkowo przewidują istnienie tzw. górnego obcięcia widma pozytonów związanego z zakresem masy cząstek ciemnej materii. Takie obcięcie nie zostało jak dotąd zaobserwowane. W ciągu nadchodzących lat eksperyment AMS planuje popra-

wić dokładność swoich pomiarów i wyjaśnić zachowanie się udziału pozytonów w zakresie energii powyżej 250 GeV.

Ciemna materia stanowi jedną z najważniejszych zagadek współczesnej fizyki. Odpowiada za ponad czwartą część masy Wszechświata i może być obserwowana pośrednio dzięki oddziaływaniu z widzialną materią, ale jak dotąd nie została bezpośrednio wykryta. Poszukiwania ciemnej materii są prowadzone zarówno w kosmosie, jak w przypadku eksperymentu AMS, jak i na Ziemi na Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) oraz innych eksperymentach mieszczących się głęboko w podziemnych laboratoriach. – „Wynik ogłoszony przez AMS jest wspaniałym przykładem uzupełniania się eksperymentów na Ziemi i w kosmosie – powiedział dyrektor naczelny CERN Rolf Heuer – myślę, że dzięki takiej współpracy możemy się spodziewać rozwiązania zagadki ciemnej materii w ciągu następnych kilku lat”.

II. Eksperyment LHCb zauważa nową różnicę pomiędzy materią i antymaterią

Uważa się, że materia i antymateria istniały w równych ilościach na początku Wszechświata. Dzisiaj wydaje się, że Wszechświat jest zbudowany głównie z materii. Przez badanie subtelnych różnic pomiędzy zachowaniem cząstek i antycząstek eksperymenty w LHC poszukują wyjaśnienia tej dominacji materii nad antymaterią.

Pracujący w ramach projektu LHCb w CERN przekazali do publikacji w „Physical Review Letters” komunikat o pierwszej obserwacji asymetrii pomiędzy materią i antymaterią w rozpadzie cząstki znanej pod nazwą B_s^0 . Jest to czwarta subatomowa cząstka znana z takiego zachowania.

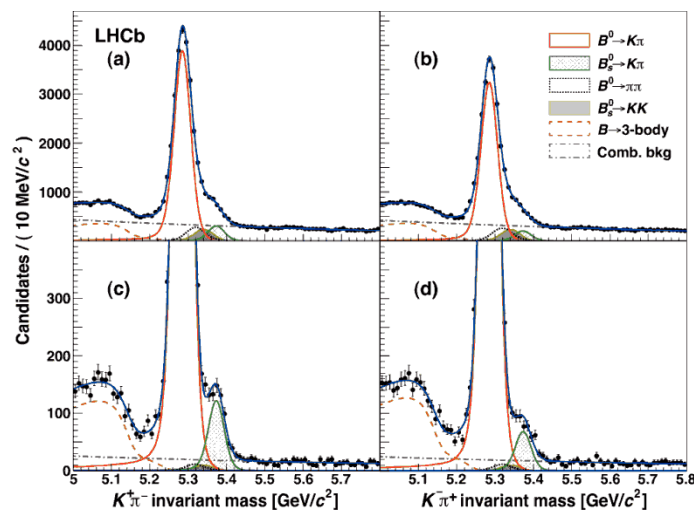
Ostatnio eksperyment LHCb zaobserwował przewagę materii nad antymaterią, znaną jako łamanie symetrii CP w rozpadzie neutralnych cząstek B_s^0 . Wyniki są oparte na analizie danych zebranych przez eksperyment w roku 2011. „Odkrycie asymetrycznego zachowania cząstki B_s^0 , z dokładnością większą niż 5 sigma – to wynik, który był możliwy jedynie dzięki dużej liczbie danych dostarczonych przez LHC i zdolnościom identyfikacji cząstek detektora LHCb – powiedziała Pierluigi Campana koordynatorka naukowców współpracujących w ramach eksperymentu LHCb – żadne inne eksperymenty nie miały możliwości zarejestrowania takiej liczby rozpadów B_s^0 ”.

W fizyce mówimy, że przekształcenie jest symetryczne, jeśli nie można rozróżnić czy obserwujemy układ przed tym przekształceniem, czy po jego dokonaniu. Takim przekształceniem jest np. zmiana ładunku C cząstki na przeciwny, albo odbicie lustrzane P w przestrzeni lub odwrócenie kierunku czasu T . Przez długie lata myślano, że wszystkie symetrie C , P oraz T są zachowane w przyrodzie. I rzeczywiście, oddziaływania elektromagnetyczne oraz silne są symetryczne względem tych przekształceń. Łamanie symetrii CP zaobserwowano pierwszy raz w USA w Brookhaven Laboratory w 1960 roku w rozpadach neu-

tralnych cząstek zwanych kaonami. Około 40 lat później w USA i Japonii zauważono podobne zachowanie cząstki o nazwie mezon B^0 . Ostatnio eksperymenty w tzw. B fabrykach i eksperyment LHCb w CERN wykazały, że symetria CP jest łamana również w rozpadzie mezonu B^+ .

Wszystkie zjawiska łamania symetrii CP mogą być opisane przez Model Standardowy, chociaż niektóre rozbieżności wymagają dokładniejszych badań. „Wiemy również, że całkowite efekty wywołane przez łamanie CP w Modelu Standardowym są za małe, aby wytłumaczyć dominację materii nad antymaterią we Wszechświecie – powiedziała Pierluigi Campana – jednakże przez badanie tych efektów szukamy kawałków brakujących puzzli, które stanowią test dla teorii i są istotną próbą dla wyjaśnienia czy istnieje fizyka poza Modelem Standardowym”.

Wyniki LHCb przedstawiono w postaci czterech wykresów (rys. 1). Są wydzielone różne składowe, jak opisuje legenda w górnym prawym rogu rysunku. Różna kombinacja ładunku K i π pokazuje czy rozpadająca się cząstka B^0 lub B_s^0 jest cząstką materii, czy antymaterii. Z dwóch górnych wykresów widać, że rozpady mezonów B^0 są różne, jak już ustalono w poprzednich eksperymentach. Powiększenie na dwóch dolnych wykresach pokazuje, że różnica jest też widoczna wokół masy mezonu B_s^0 , jak wskazano przez dwa zielone rozkłady Gaussa. Matematycznie ta różnica jest opisana przez asymetrię $A_{CP}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+) = +0,27 \pm 0,04 \pm 0,01$, która jest różna od zera z dokładnością przewyższającą pięć odchyłeń standardowych. Ten wynik oznacza pierwszą obserwację łamania symetrii CP dla mezonu B_s^0 . Odpowiednia asymetria dla rozpadu mezonu B^0 przedstawionego na dwóch górnych rysunkach wynosi $A_{CP}(B^0 \rightarrow K^+ \pi^-) = -0,080 \pm 0,007 \pm 0,003$ i jest obecnie najdokładniejszym pomiarem tej wielkości.



Rys. 1. Wyniki eksperymentu LHCb

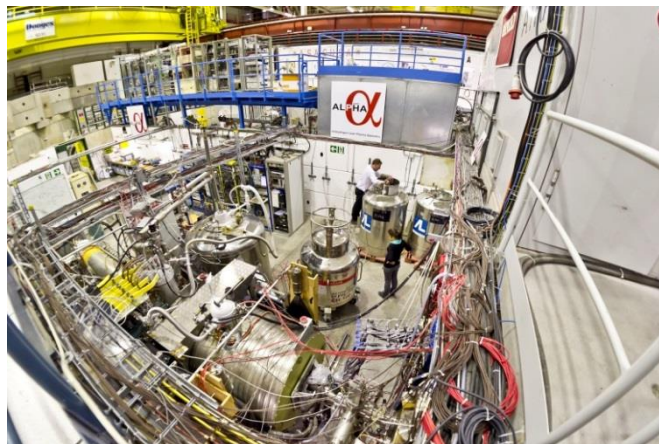
W zespole współpracującym w eksperymencie LHCb uczestniczy około 620 fizyków (rys. 2), reprezentujących 63 różne uniwersytety i laboratoria (włącznie z pięcioma instytucjami stowarzyszonymi) z 17 krajów, a także 250 techników i inżynierów, którzy utrzymują aparaturę w sprawności eksperymentalnej. Pracują tam też zespoły z Polski: z Krakowa z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN oraz Akademii Górniczo-Hutniczej i z Warszawy z Narodowego Centrum Badań Jądrowych.



Rys. 2. Zespół współpracujący w eksperymencie LHCb

III. Eksperyment ALPHA przedstawia nowe badania efektu grawitacji na antimaterii

Geneva, 30 kwietnia 2013 r. Naukowcy pracujący w eksperymencie ALPHA w CERN opublikowali w „Nature Communications” wyniki opisujące pierwszą bezpośrednią analizę wpływu grawitacji na antimaterię. ALPHA był pierwszym eksperymentem, który wychwycił atomy antywodoru – neutralne atomy antimaterii i za pomocą silnego pola magnetycznego utrzymał je w miejscu przez 1000 sekund. Głównym celem obecnego eksperymentu nie było zbadanie grawitacji, lecz analiza zebranych wcześniej danych, które mogą być istotne dla efektów grawitacyjnych (rys. 3).



Rys. 3. Aparatura eksperymentu ALPHA

„Przyrząd ALPHA może zatrzymywać atomy antywodoru, które następnie zamierzamy uwolnić” – powiedziała Jeffrey Hangst z Uniwersytetu w Aarhus, koordynatorka eksperymentu ALPHA – użyliśmy naszego detektora, czułego na lokalną anihilację, aby zbadać, czy możliwe jest zaobserwowanie wpływu grawitacji na uwalniane atomy” (rys. 4).

Badania teoretyczne przewidują, że atomy wodoru i antywodoru mają taką samą masę, więc powinny podlegać grawitacji w identyczny sposób. Na uwolniony atom działa siła skierowana w dół bez względu na to, czy jest on zbudowany z materii czy antimaterii. Uczni z eksperymentu ALPHA powtórnie przeanalizowali, jak się poruszają uwolnione atomy antywodoru, co im pozwoliło wstępnie oszacować efekty grawitacyjne.

W ciągu roku 2014 zostanie wznowiony eksperyment, jako ALPHA-2, z odnowionym i ulepszonym pułapkowaniem antimaterii. Program antimaterii w CERN się rozwija. Powstają dwa nowe eksperymenty AEgIS i GBAR skupione na pomiarze wpływu grawitacji na antywodór.



Rys. 4. Elektrody (złote) do pułapkowania ALPHA wprowadzone do komory próżniowej układu kriostatu. Jest to pułapka używana do połączenia pozytonów i antyprotonów w celu utworzenia antywodoru