

EKSPERYMENT AMS

– POMIAR NADWYŻKI ANTYMATERII W PRZESTRZENI KOSMICZNEJ

Małgorzata Nowina Konopka

Eksperyment AMS – Alpha Magnetic Spectrometer – jest prowadzony przez międzynarodowy zespół pod kierunkiem prof. Samuela Tinga – (laureata nagrody Nobla z 1976 r.). Przy projekcie współpracuje ok. 600 osób z Chin, Danii, Finlandii, Francji, Niemiec, Włoch, Korei, Meksyku, Holandii, Portugalii, Hiszpanii, Szwajcarii, Tajwanu i Stanów Zjednoczonych. Właściwy detektor AMS po zmontowaniu w CERN został przetestowany w Holandii. Następnie w maju 2011 r., na pokładzie Wahadłowca Endeavour z NASA, wysłano aparaturę do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Detektor na orbicie okołozemskiej rejestruje ślady naładowanych cząstek materii (protony, elektrony) i cząstek antymaterii (np. pozytony) tworząc z niezwykłą precyzją mapę strumienia promieni kosmicznych.

Na seminarium w CERN w dniu 3 kwietnia 2013 r. prof. Samuel Ting ogłosił pierwsze wyniki dotyczące poszukiwania ciemnej materii (fot. 1). Analizując wyniki zauważono nadwyżkę pozytonów w strumieniu promieniowania kosmicznego. Szczegóły wkrótce zostaną opublikowane w *Physical Review Letters*.

W eksperymencie AMS zarejestrowano około 25 mld zdarzeń w okresie półtora roku. Zaobserwowano 400 000 pozytonów o energiach pomiędzy 0,5 GeV a 350 GeV. To największa ilość antymaterii, jaką kiedykolwiek zarejestrowano w kosmosie. Zauważono wzrost udziału pozytonów o energii pomiędzy 10 GeV a 250 GeV. Dane nie wskazują, żeby jakkolwiek 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.

– „Te wyniki są najdokładniejszym, jak dotąd, pomiarem strumienia pozytonów w promieniowaniu kosmicznym i jednoznacznie świadczą o ogromnych możliwościach detektora AMS,” – powiedział koordynator AMS Samuel Ting. – „W ciągu najbliższych miesięcy AMS da nam ostateczną odpowiedź na pytanie, czy pozytony potwierdzają istnienie ciemnej materii, czy też pochodzą z innego źródła.”

Promieniowanie kosmiczne to naładowane, wysokoenergetyczne cząstki poruszające się w przestrzeni kosmicznej. Cały Eksperyment, a w tym detektor AMS umieszczony na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, ma na celu badanie promieniowania kosmicznego zanim wejdzie ono w oddziaływanie z atmosferą ziemską. Nadwyżka pozytonów w strumieniu promieni kosmicznych została po raz pierwszy zaobserwowana ok. 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 górnego obcięcia widma pozytonów związanego z zakresem masy cząstek ciemnej materii. Takie obcięcie nie zostało jak dotąd zaobserwowane. W ciągu nadchodzących lat trwania eksperymentu AMS planuje się poprawić dokładność pomiarów i wyjaśnić zachowanie się udziału pozytonów w zakresie energii powyżej 250 GeV.

– „Kiedy zaczynamy korzystać z nowego, precyzyjnego urządzenia, spodziewamy się uzyskać wiele nowych wyników, więc ten będzie pierwszym z wielu” – powiedział prof. S. Ting. – „AMS jest pierwszym urządzeniem pomiarowym zdolnym do zmierzenia strumienia pozytonów w kosmosie z dokładnością 1%. Taka dokładność pozwoli nam stwierdzić, czy obserwowane pozytony pochodzą od ciemnej materii, czy też z pulsarów.”

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 oraz w innych miejscach 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.”

GRUPA EKSPERYMENTATORÓW LHCb ZAUWAŻA NOWĄ RÓŻNICĘ POMIĘDZY MATERIA I ANTYMATERIA

Genewa, 24 kwiecień 2013 r. Współpraca grupy użytkowników LHCb w CERN przekazała do publikacji w Physical Review Letters komunikat o pierwszej obserwacji asymetrii pomiędzy materią i antymaterią w rozpadzie cząstki znanej pod nazwą B^0_s . Jest to czwarta subatomowa cząstka, znana z takiego zachowania.

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 fizycy uczestniczący w eksperymentach na LHC poszukują wyjaśnienia tej dominacji materii nad antymaterią.

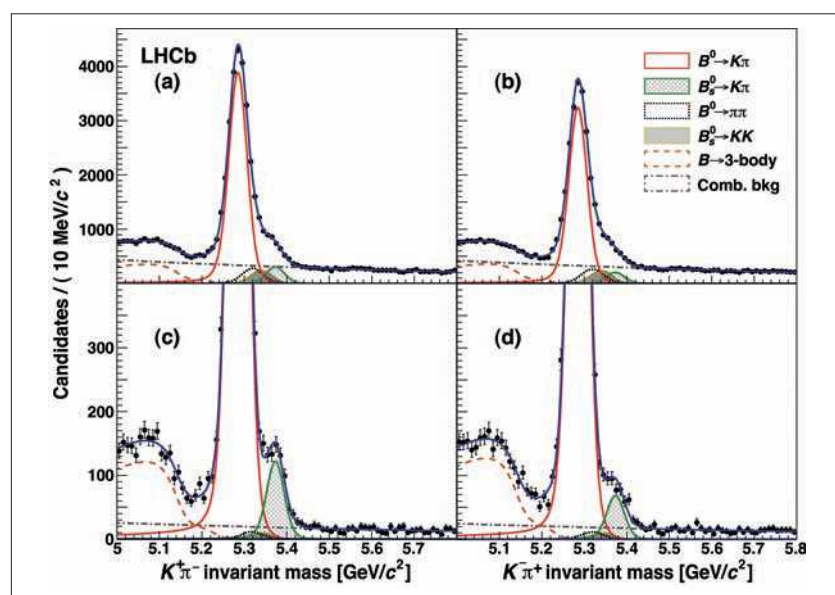
Ostatnio w eksperymencie LHCb zaobserwowano przewagę materii nad antymaterią, znaną jako łamanie symetrii CP w rozpadzie neutralnych cząstek B^0_s . Wyniki są oparte na analizie danych zebranych przez fizyków w roku 2011. „Odkrycie asymetrycznego zachowania cząstki B^0_s z dokładnością większą niż 5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

W fizyce mówimy, że przekształcenie jest symetryczne, jeśli nie można rozróżnić, czy obser-

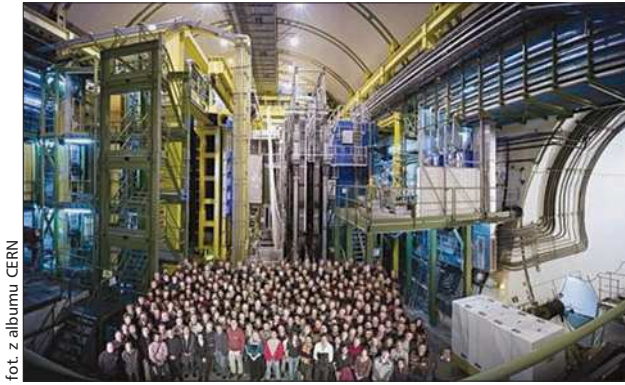


Fot. 1. Samuel Ting ogłasza wyniki eksperymentu AMS w auli CERN

wujemy 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 r. w rozpadach neutralnych 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-ie dowodzą, że symetria CP jest łamana również w rozpadzie mezonu B^+ .



Rys. 1. Wyniki LHCb



fot. z albumu CERN

Fot. 2. Współpraca LHCb

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 rozpadu niezmiennika masy $K\pi$ (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 szybkości rozpadu mezonów B^0 są różne, jak już ustalono w poprzednich eksperymentach. Powiększenie w dolnych dwóch 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 odchyleń 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.

We współpracy LHCb uczestniczy ok. 620 fizyków (fot. 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. Z Polski pracują tam zespoły: z Krakowa z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN oraz Akademii Górniczo-Hutniczej i z Warszawy z Narodowego Centrum Badań Jądrowych.

EKSPERYMENT ALPHA - NOWE BADANIA EFEKTU GRAWITACJI NA ANTYMATERII

Genewa, 30 kwiecień 2013. Wyniki współpracy ALPHA w CERN opublikowano w *Nature Communications*. Wykazują one pierwszą bezpośrednią analizę wpływu grawitacji na antymaterię. ALPHA był pierwszym eksperymentem, który wychwycił atomy antywodoru – neutralne atomy antymaterii i za pomocą silnego pola magnetycznego utrzymał je w miejscu przez 1,000 sekundy. Głównym celem obecnego eksperymentu nie było zbadanie grawitacji lecz analiza zebranych wcześniej danych, które mogą być istotne dla efektów grawitacyjnych.

– „Przyrząd ALPHA może zatrzymywać atomy antywodoru, które następnie zamierzamy uwalniać” – 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.”

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 antymaterii. Uczeni z eksperymentu ALPHA powtórnie przeanalizowali, jak się poruszają uwolnione atomy antywodoru, co im pozwoliło wstępnie oszacować efekty grawitacyjne.

– „To jest pierwsza propozycja eksperymentalnej bezpośredniej metody mającej na celu zbadanie grawitacyjnej natury antymaterii. Spodziewamy się jej ulepszenia po rozpoczęciu pomiarów w 2014 r. Jeśli uzyskamy więcej danych i być może atomów antywodoru o jeszcze mniejszych ruchach termicznych, które poddamy grawitacji, to możemy mieć nadzieję, że będziemy w stanie zbadać, czy antymateria rzeczywiście spada” – powiedziała Jeffrey Hangst.

– „W przeciwnym przypadku, tzn. gdyby antymateria spadała do góry, musielibyśmy zrewidować nasz pogląd na wyobrażenie, jak działa Wszechświat” – powiedział Joel Fajans członek współpracy ALPHA z Uniwersytetu California, Berkeley. – „Zrobiliśmy pierwszy krok w kierunku eksperymentalnego testu pytań, które nurtują fizyków i nie-fizyków od ponad 50 lat.”

W ciągu 2014 r. zostanie wznowiony eksperyment, jako ALPHA-2, z odnowionym i ulepszonym „pułapkowaniem” antymaterii. Program antymaterii w CERN się rozwija. Powstają dwa nowe eksperymenty AEGIS i GBAR skupione będą na pomiarze wpływu grawitacji na antywodor.

dr Małgorzata Nowina Konopka,
Instytut Fizyki Jądrowej,
Kraków