

Produkcja antymaterii

Antymaterię wymyślił Paul Dirac ponad siedemdziesiąt lat temu. Dostrzegł ją we własnym równaniu opisującym relatywistyczny elektron. W tym samym równaniu, nazywanym obecnie równaniem Diraca, dostrzegł również spin elektronu. Dwa lata później Carl Anderson odkrył antyelektron. Nigdy wcześniej moc przewidywania zapisanej wzorami kartki papieru nie została w tak spektakularny sposób potwierdzona. Antymaterialny świat stanął przed nami otworem.

Z najbardziej podstawowych praw mikroświata wynika, że świat antymaterialny powinien być idealną kopią świata materialnego. Sprawdzenie tego przewidywania jest więc fundamentalnym testem teorii. Jest tylko jeden problem. Antymaterii nie ma. W początkach Wszechświata materia i antymateria wzajemnie zanihilowały, zostawiając małą nadwyżkę materii. Dlaczego tak się stało, jest osobnym pytaniem (zobacz obok). Konsekwencją tego faktu jest jednak konieczność wytworzenia antymaterii za każdym razem, gdy chcemy ją badać.

Okazuje się, że bardzo precyzyjne testy można przeprowadzić za pomocą badania widma promieniowania elektromagnetycznego antyatomów. Tylko skąd je wziąć? Potrafimy wytwarzać antyprotony, potrafimy wytwarzać antyelektrony (pozytony), ale otrzymanie antyatomów wodoru wymaga połączenia pozytonów z antyprotonami. Żeby to zrobić, należy umieć zatrzymać rozpędzone antycząstki, chroniąc je jednocześnie przed anihilacją. Dopiero wtedy można spodziewać się utworzenia antywodoru – stanu związanego pozytonu i antyprotonu.

Pojedyncze atomy udało się uzyskać już kilka lat temu. Wszystkie anihilowały natychmiast po powstaniu. Obecnie celem jest otrzymanie tzw. zimnych antyatomów, które będzie można zamknąć w pułapce i spokojnie zbadać. Pierwszy krok w tym kierunku zrobiła grupa badawcza ATHENA działająca w CERNie [1]. Układ eksperymentalny ATHENY składa się z czterech zasadniczych części przyłączonych do CERNowskiego spowalniacza antyprotonów (rodzaj antyakseleratora): pułapki antyprotonowej, akumulatora pozytonów, mieszacza i detektora anihilacji antywodoru. Całość utrzymywana jest w temperaturze 15° K. Sygnałem otrzymania antywodoru jest czasowa koincydencja rejestracji anihilacji antyprotonu i anihilacji pozytonu. Charakterystyczną cechą tej ostatniej są dwa fotony, o energii odpowiadającej masie elektronu, emitowane w przeciwnych kierunkach.

Żeby przeprowadzić precyzyjne testy antywodoru, należy detektor anihilacji zastąpić pułapką mogącą uwięzić antyatomy. Są one oczywiście neutralne, ale mają moment magnetyczny, który pozwala na ich oddziaływanie z polem elektromagnetycznym. Na tę najciekawszą część eksperymentu trzeba jednak jeszcze trochę poczekać.

Dlaczego istnieje materia?

Bo, jak widać, uzyskała przewagę nad antymaterią. Czy to w ogóle jest możliwe, skoro materia i antymateria mają być identyczne? Okazuje się, że taka możliwość istnieje, o ile spełnione są trzy warunki sformułowane przez Andrieja Sacharowa w 1966 roku. Jednym z nich jest różnica w rozpadach cząstek i antycząstek, czyli tzw. łamanie parzystości kombinowanej CP. Inaczej mówiąc, złożenie operacji zmiany parzystości (P) i sprzężenia ładunkowego (C) nie może być dokładną symetrią oddziaływań mikroświata. Od ponad 30 lat wiemy, że symetria CP jest łamana w rozpadach neutralnych mezonów K, zawierających kwark dziwny. Efekt ten jest jednak bardzo subtelny. Dużo większy spodziewaliśmy się zaobserwować w rozpadach najcięższych mezonów neutralnych, zawierających kwark piękny. Oczekiwanie to jest związane ze sposobem włączenia łamania CP do teorii elektrosłabej. Jest ono możliwe dzięki temu, że istnieją trzy rodziny cząstek, co powoduje pojawienie się zespolonej fazy w amplitudach opisujących prawdopodobieństwo rozpadów cięższych kwarków na lżejsze. Ze struktury macierzy tych amplitud wynika, że efekt powinien być najsilniejszy właśnie dla mezonów zawierających kwark piękny.

Łamanie parzystości CP daje się zaobserwować na kilka sposobów. Nie wdając się w szczegóły, możemy niezależnie zmierzyć kąty i boki tzw. trójkąta unitarności. Jeżeli precyzyjnie wyznaczymy przynajmniej cztery z sześciu wielkości opisujących taki trójkąt, to może okazać się, że każde trzy pomiary wskazują na trochę inny trójkąt. Oznaczałoby to, że jest jakieś dodatkowe źródło łamania parzystości CP. I odwrotnie, jeżeli wszystkie pomiary będą się zgadzały, to nie będzie powodu postulować istnienia wychodzącego poza standardową teorię źródła różnicy rozpadów materii i antymaterii.

Niestety, pomiar już trzeciej z minimalnego zestawu czterech wielkości jest niezwykle trudny. Chodzi o wyznaczenie tzw. kąta (dokładniej sinusa kąta) 2β . Wielkość tego kąta jest miarą stopnia łamania CP. Gdyby kąt był równy zeru, to łamanie CP by nie było.

Tak jednak nie jest. Na tegorocznych letnich konferencjach fizyki cząstek oba zespoły badawcze zajmujące się tymi pomiarami zgodnie doniosły, że $\sin 2\beta \approx 0,74$ z dokładnością do 10%.

Niestety, szczegóły bardzo ciekawych analiz wykonanych przez eksperymenty BABAR (Stany Zjednoczone) i BELLE (Japonia) już się tu nie zmieszczą.

Piotr ZALEWSKI

[1] Grupa badawcza ATHENA, *Production and detection of cold antihydrogen atoms*, Nature 18/09/2002