



Bardzo długi antytaniec

Żyjemy w świecie materialnym. Z punktu widzenia fizyki cząstek elementarnych otaczająca nas materia jest stosunkowo uboga. Jądra atomowe zbudowane są z protonów i neutronów, te zaś mają po trzy kwarki walencyjne należące do typów górnego i dolnego. Wokół jądra znajdują się elektrony. I tylko od czasu do czasu w reakcjach jądrowych lub w oddziaływaniach zapoczątkowanych przez promieniowanie kosmiczne możemy spotkać się z cząstkami spoza pierwszej generacji cząstek Modelu Standardowego lub nawet z antymaterią. Spotkanie to ma zazwyczaj charakter ulotny: cząstki cięższe rozpadają się na lżejsze cząstki pierwszej generacji, zaś antycząstki, spotykając cząstki, anihilują i zostaje po nich tylko promieniowanie.

O innym eksperymencie przeprowadzonym w CERNie badającym własności antymaterii pisaliśmy w aktualnościach w Δ_{24}^6 . W tamtym doświadczeniu badano, czy antymateria oddziałuje z polem grawitacyjnym tak samo jak zwykła materia.

Fizyków zajmujących się teorią cząstek elementarnych antymateria specjalnie nie wzdusza, chyba że akurat próbują wyjaśnić, skąd we Wszechświecie wzięła się niewielka nadwyżka materii nad antymaterią. Choć dzisiaj, gdzie nie spojrzeć, wszędzie wokół jest materia, a nie antymateria – bardzo dawno temu, gdy Wszechświat był gęsty i gorący, ta różnica odpowiadała nadwyżce jednego kwarka na jakiś miliard kwarków i antykwarków.

Co innego myśli większość fizyków doświadczalnych, którzy nieufnie podchodzą do prawd objawionych przez teorię i uparcie chcą sprawdzać rzeczy dla teoretyków oczywiste. Na przykład to, że w znakomitej większości sytuacji antymateria zachowuje się dokładnie tak samo jak materia, nawet wówczas, gdy zachowanie to jest opisywane mechaniką kwantową. Ta różnica perspektyw bywa nawet zabawna przez swą wyrazistość, o czym miałem możliwość przekonać się podczas niedawnej wizyty w CERN-ie.

To właśnie tam prowadzony jest eksperyment BASE (ang. *Baryon Antibaryon Symmetry Experiment*), którego głównym celem jest porównanie właściwości antyprotonów i protonów z najwyższą możliwą precyzją. Pozwala to sprawdzić podstawy naszego rozumienia fizyki cząstek, tzn. czy jej właściwym opisem jest lokalna i przyczynowa kwantowa teoria pola. Ujawnienie różnic między antyprotonami i protonami oznaczałoby, że sam język, w którym wyrażamy nasze myśli i oczekiwania względem cząstek, jest wadliwy.

Protonów wokół nas jest dużo, ale skąd wziąć antyprotony? Wytwarzane są one w zderzeniach w akceleratorze, a następnie spowalniane i dostarczane do laboratorium BASE. Antyprotony przechowuje się w specjalnych pułapkach elektromagnetycznych Penninga, które są w stanie utrzymywać naładowane cząstki przez długi okres w niemal doskonałym odosobnieniu.

Zarówno proton, jak i antyproton mają moment magnetyczny, co oznacza, że oddziałują z zewnętrznym polem magnetycznym. Moment ten jest związany ze spinem cząstki i, tak jak spin, jest skwantowany – jeśliby sobie wyobrażać cząstkę jako malutki magnesik, to może on być ustawiony wzdłuż ustalonego kierunku tylko na dwa sposoby, różniące się obrotem o 180° . Jeśli taka cząstka znajdzie się w polu magnetycznym zmieniającym się z odpowiednio

dostrojoną częstotliwością, jej moment magnetyczny będzie „przeskakiwał” między takimi dwoma stanami w rytmie wymuszonym przez zewnętrzne pole.

W przeprowadzonym eksperymencie ten swoisty taniec trwał rekordowo długo, bo aż 50 sekund, i potwierdził, że moment magnetyczny antyprotonu nie różni się od momentu magnetycznego protonu.

Główną autorką tych badań, opublikowanych w czasopiśmie *Nature*, jest Barbara Latacz, fizyczka pracująca w CERN-ie i absolwentka Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego – oraz dawna studentka piszącego te słowa.

Są to badania podstawowe: mają one na celu pomóc nam zrozumieć, jak działa świat. Jednak zgodnie z panującą dziś modą, żądającą, by naukę robić „po coś”, komunikat prasowy CERN-u opisujący te wyniki bardzo stara się znaleźć dla nich jakieś daleko idące zastosowania. Wprawdzie przyznaje szczerze, że taki antykubit nie posłuży do budowy antykomputera kwantowego, posuwa się jednak do stwierdzenia, że symetria zamiany cząstek na antycząstki (i odwrotnie) połączona z odwróceniem czasu stoi w sprzeczności z obserwacją nadwyżki materii nad antymaterią. Nie jest to prawdą: aby wytworzyć obserwowaną różnicę, cząstki i antycząstki muszą się nieco różnić swoimi oddziaływaniami, gdy czas płynie tak samo dla jednych i dla drugich, co zauważył już Andrei Sakharov niemal 60 lat temu.

Ciekawie byłoby rozwikłać taką zagadkę Wszechświata. Czy jednak sama możliwość uzyskania wyniku doświadczalnego, który może wymusić kompletną zmianę sposobu, w jaki uprawiamy teorię, nie jest wystarczająco atrakcyjnym celem badawczym?

Krzysztof TURZYŃSKI

B. M. Latacz *et al.*, „Coherent spectroscopy with a single antiproton spin”, *Nature* **644**, 64–68 (2025). doi.org/10.1038/s41586-025-09323-1