

Piękna kwantowa strzałka czasu

„Łatwiej kijek pocienkować, niż go pogrubasić” jest opinią ugruntowaną naszym codziennym doświadczeniem. Przebieg większości zdarzeń jest nieodwracalny. Rzeczy niszczą się same z siebie, bałagan sam się robi, jesteśmy coraz starsi. . .

Sprzeczność między degradacją materii a jej ciągłym odnawianiem się zaowocowała atomizmem (Leucyp z Miletu, Demokryt z Abdery). Żeby materia nie zużyła się na bezpostaciowy pył, istnieć muszą jej niepodzielne – *a tomos* – cząstki.

Choć to, co współcześnie nazywamy atomami, niepodzielne nie jest, to się nie starzeje – atomy same z siebie nie ulegają rozkładowi. W świecie kwantów zjawiska wyglądają na całkowicie odwracalne.

Od dawna spodziewano się jednak, że nie do końca. Wszystko przez oddziaływania słabe. Kiedy okazało się, że łamią one nie tylko parzystość P (odróżniają lewo- i prawoskrętność), ale również parzystość kombinowaną CP (złożenie operacji zmiany parzystości z zamianą cząstki na jej antycząstkę), naturalne stało się oczekiwanie, że naruszają również parzystość T, czyli wyróżniają kierunek upływu czasu. Bo tylko jeżeli naruszenie T równoważy naruszenie CP, możliwe jest zachowanie kombinacji CPT. A niezmienniczość złożenia CPT wynika z samej struktury czasoprzestrzeni (z faktu, że oddziaływania opisujemy za pomocą lorentzowsko niezmienniczej lokalnej symetrii cechowania). Jej złamanie byłoby naruszeniem najbardziej podstawowej tkanki naszego rozumienia rzeczywistości. To, oczywiście, byłoby bardzo ciekawe, bo nieoczekiwane.

Bezpośrednie udowodnienie naruszenia symetrii T jest jednak bardzo trudne. Kilka lat temu wykazano, co prawda, zachodzenie takiego naruszenia w systemie neutralnych mezonów K (cząstek będących parą kwark-antykwar d i s), ale wynik ten został uznany za niejednoznaczny, ponieważ nie udało się całkowicie odseparować symetrii T od symetrii CP.

Skoro sektor neutralnych mezonów dziwnych okazał się niewystarczający, nadzieja pozostała w sektorze neutralnych mezonów pięknych (zawierających kwark lub antykwark b), w którym również udało się wykazać łamanie CP. Niezbędny był tylko dobry pomysł, jak to zrobić [1]. Idea polega na wykorzystaniu danych dotyczących rozpadu stanu związanego kwarku i antykwarku b o nazwie Υ_{4S} . Jest to najlżejszy stan, który rozpada się na dwa mezony piękne, albo naładowane, albo neutralne. Nam chodzi o te neutralne, będące parą kwark-antykwar b i d . Para takich pięknych mezonów jest produkowana

w antysymetrycznym stanie splątanym. Nie wiadomo, w którą stronę jaki leci (w układzie środka masy Υ_{4S}). Są one jednak nietrwale. W momencie, gdy jeden się rozpada, wiadomo, że drugi jest – dokładnie w tym momencie – jego kwantowym dopełnieniem. Różne rozpady ujawniają różne cechy rozpadającego się mezonu. Rozpad półleptonowy ujawnia, czy mezon jest cząstką $B^0 \rightarrow \ell^+ X$, czy antycząstką $\bar{B}^0 \rightarrow \ell^- X$. Natomiast rozpad na czarmonium (stan związany kwarku i antykwarku c) o historycznej nazwie J/ψ oraz neutralny mezon dziwny K^0 wybiera jeden z dwóch ortogonalnych stanów $B_+ \rightarrow J/\psi K_S^0$ albo $B_- \rightarrow J/\psi K_L^0$ w zależności, czy powstający w wyniku rozpadu mezon dziwny jest krótkożyciowy (K_S^0) czy długożyciowy (K_L^0), bo są one jego stanami ortogonalnymi (jak widać, tak całkiem bez neutralnych mezonów dziwnych nie można się obejść).

Jeżeli ograniczymy się do wyżej wymienionych rozpadów i to tylko do sytuacji, w której jeden mezon rozpada się półleptonowo, a drugi na parę $J/\psi K^0$, to mamy cztery pary T-sprzężonych stanów końcowych.

W pracy [2] eksperymentu BABAR zrobiono jeszcze więcej, bo wzięto pod uwagę nie tylko stany T-sprzężone, ale również CP- oraz CPT-sprzężone oraz znacznie rozszerzono liczbę identyfikujących stanów końcowych. Wykazano bezpośrednio naruszenie symetrii T na bardzo dużym (jak na pierwszy pomiar) poziomie ufności odpowiadającym 14σ . Potwierdzono naruszenie symetrii CP na podobnym poziomie ufności oraz brak naruszenia symetrii CPT.

Jak widać, są piękniejsze od bałaganu sposoby wskazania strzałki czasu.

Piękno ogranicza Zuzię

Nie można pominąć informacji, że zespołowi eksperymentu LHCb udało się zaobserwować jeden z najbardziej poszukiwanych rozpadów $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$, który, zgodnie z Modelem Standardowym, zdarza się z częstością 3,5 ppb.

Obserwacja jest zgodna z tym przewidywaniem, co znacznie ogranicza swobodę modeli wykraczających poza Model Standardowy, np. popularnych scenariuszy SUSY, takich jak CMSSM. Jest to, między innymi, silne ograniczenie na minimalną masę supersymetrycznego partnera kwarku top.

Piotr ZALEWSKI

- [1] J. Bernabéu, F. Martínez-Vidal i P. Villanueva-Pérez, *Time reversal violation from the entangled $B^0 \bar{B}^0$ system*, arXiv:1203.0171v1.
- [2] BABAR Collaboration, *Observation of time reversal violation in the B^0 meson system*, arXiv:1207.5832v3.
- [3] LHCb Collaboration, *First evidence of the decay $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$* , CERN-PH-EP-2012-335.