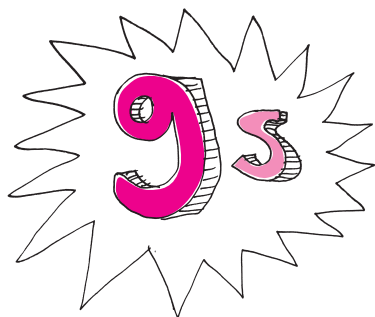


Dziewięć sekund

Swobodny neutron jest cząstką nietrwałą, rozpada się na proton, elektron i antyneutrino elektronowe. Jak zmierzyć jego średni czas życia? Spoczywające neutrony należy umieścić w naczyniu i sprawdzić, ile z nich pozostanie w naczyniu po pewnym czasie t . Porównując liczbę neutronów N_0 na początku pomiaru z liczbą neutronów N na końcu pomiaru i stosując prawo rozpadu promieniotwórczego $N = N_0 e^{-t/\tau}$, możemy wyznaczyć średni czas życia τ neutronu występujący w tym wzorze.



Wykonanie takiego eksperymentu niesie ze sobą wiele wyzwań. Po pierwsze, neutrony uzyskuje się zazwyczaj w formie szybkobieżnych wiązek powstających w akceleratorach i nie jest specjalnie łatwo spowolnić je do takiego stopnia, żeby można je było uznać za spoczywające. Po drugie, nawet powolne neutrony mogą opuścić naczynie, co doskonale wyobraża sobie każdy posiadacz ogródka, który kiedykolwiek wylapał niszczące go ślimaki do otwartego naczynia i pozostawił je na chwilę bez nadzoru. Po trzecie, neutronów nie widać – nie tylko gołym okiem, ale także w typowych detektorach cząstek naładowanych, trzeba więc zastosować specjalne techniki obrazowania.

Na szczęście trudności opisane wyżej udało się zupełnie niedawno pokonać na tyle, by zmierzyć czas życia neutronu z dokładnością najpierw do jednej sekundy [1], a później, po przeanalizowaniu większej próbki danych, nawet do ułamka sekundy [2]. Badacze z eksperymentu UCN τ – co jest skrótem od *Ultra Cold Neutrons* (ultrazimne neutrony) i greckiej litery ulubionej przez fizyków i stosowanej do oznaczania czasu życia cząstek elementarnych i jąder atomowych – stwierdzili, że neutron żyje średnio 14 minut i 38 sekund.

Średni czas życia neutronu można zmierzyć jeszcze w inny sposób. Polega on na przepuszczaniu wiązki powolnych neutronów przez pułapkę protonową. Gdy neutron rozpada się, powstający w wyniku rozpadu proton jest utrzymywany w pułapce przez kilkutesłowe pole magnetyczne oraz różnicę potencjałów elektrostatycznych na końcach pułapki. Pole elektryczne w pułapce jest okresowo zaburzane. Wtedy protony są wyrzucane z pułapki i wędrują wzdłuż linii pola magnetycznego do detektora krzemowego. Monitorując parametry wiązki neutronów oraz liczbę protonów wykrywanych w kolejnych segmentach pułapki, można oszacować tempo rozpadania się neutronów i wyznaczyć ich średni czas życia. Najdokładniejszy jak dotąd pomiar tego typu został wykonany przez badaczy z National Institute of Standards and Technology w USA, którzy stwierdzili, że neutron żyje średnio 14 minut i 47 sekund.

Dziewięć sekund różnicy to dość dużo jak na eksperymenty badające własności cząstek elementarnych. To również dość dużo w skali kosmologicznej, jeśli uświadomimy sobie, że ilość helu wytworzonego w procesie pierwotnej nukleosyntezy zależy silnie od czasu życia neutronu, a to z kolei wpływa na wyznaczanie nadwyżki materii nad antymaterią we wczesnym Wszechświecie. Pomiar czasu życia neutronu ma także wpływ na dyskusję o tym, czy prawdopodobieństwa reakcji ze zmianą zapachu kwarka u sumują się do jedności – odpowiedź przecząca sugerowałaby konieczność poprawienia Modelu Standardowego cząstek elementarnych.

Dziewięć sekund różnicy nie jest całkowicie nowym wynikiem doświadczalnym. Niezgodność tego rzędu pojawiła się już w eksperymentach w 2005 roku, jednak wówczas większa była niepewność wyznaczenia czasu życia neutronu każdą z dwóch metod. Zmniejszanie tej niepewności sprawiło, że tytułowe dziewięć sekund staje się coraz bardziej widocznym pęknięciem w zrozumieniu otaczającego nas świata. Czy będzie to, by przywołać metaforę Michelsona, chmurka na horyzoncie fizyki, która przyniesie oczyszczającą burzę?

Krzysztof TURZYŃSKI

[1] Pattie R. W. *et al.*, „Measurement of the neutron lifetime using an asymmetric magneto-gravitational trap and *in situ* detection”, *Science* **360**, 627 (2018)

[2] Gonzalez F. M. *et al.*, „Improved neutron lifetime measurement with UCN τ ”, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 162501 (2021).