

Ślepa precyzja

W naukach społecznych, medycynie, wszędzie tam, gdzie obiektem badań są ludzie, pojawia się problem rzetelności zbieranych informacji. Przy czym nie chodzi tu o nierzetelność samych badaczy, czy też niewłaściwe użycie instrumentów. Taka aberracja zdarza się wszędzie. Chodzi natomiast o trudność w wyeliminowaniu autosugestii, naturalnej skłonności do postrzegania świata nie takim, jakim on jest, tylko takim, jakim nam się wydaje, że jest.

Wydawać by się mogło, że nauki ścisłe wolne są od tego typu problemów. Okazuje się, że nie do końca. Dziedziną, w której „ludzkie chciejstwo” może całkowicie zniszczyć wysiłki eksperymentatora, są precyzyjne pomiary stałych fizycznych, zwłaszcza wtedy, gdy odpowiada im równie precyzyjne przewidywanie, kluczowe dla podstawowych teorii. Jeżeli prześledzi się historyczne zapisy takich pomiarów, to często daje się zaobserwować ich „płynięcie” w czasie, wykraczające poza publikowany margines błędu. Bierze się to stąd, że końcowy wynik można nieświadomie przesunąć w granicach błędu w „poprawniejszą” stronę. W związku z tym niektórzy stosują nawet (oczywiście nieoficjalnie) tzw. regułę π , według której publikowany błąd należy najpierw pomnożyć przez π , a dopiero potem (ewentualnie) zacząć się przejmować (lub cieszyć) niezgodnością pomiaru z przewidywaniami.

Sytuacja dojrzała wreszcie do zmiany. Stopniowo standardem w dziedzinie precyzyjnych pomiarów staje się takie prowadzenie analizy zbieranych danych, aby do końca nie było wiadomo, jaki jest wynik. Sposobów na osiągnięcie takiego masochistycznego samozadowolenia wymyślono już całkiem sporo.

Według jednego z takich schematów działa zespół badawczy *Muon ($g - 2$) Collaboration* związany z eksperymentem oznaczonym mało mówiącym symbolem E821, a działającym w Brookhaven (USA) przy synchrotronie AGS (Alternating Gradient Synchrotron).

Głównym celem eksperymentu jest precyzyjny pomiar anomalnego momentu magnetycznego mionu. Choć brzmi to strasznie, to sama idea pomiaru jest dość prosta, a i sens fizyczny mierzonej wielkości nie taki trudny do zrozumienia.

Przypomnijmy sobie najpierw, że mion jest nietrwałą cząstką elementarną różniącą się od elektronu w zasadzie jedynie masą: jest około 200 razy masywniejszy. Dodajmy jeszcze dla porządku, że jak każda punktowa cząstka o połówkowym wewnętrznym momencie pędu (spinie) mion opisywany jest przez kwantowo-mechaniczne równanie Diraca. Z równania tego (dla cząstki naładowanej elektrycznie) wynika, że powinna ona mieć moment magnetyczny $\mu_s = g \frac{e\hbar}{2mc} \frac{\hbar}{2}$, gdzie m jest masą cząstki, a $g = 2$ stosunkiem żyromagnetycznym. Wyjaśnienie empirycznego faktu, że stosunek żyromagnetyczny dla spinu ($g = 2$) jest 2 razy większy niż dla orbitalnego momentu pędu ($g_L = 1$), było jednym z pierwszych sukcesów relatywistycznej mechaniki kwantowej.

Dla nas jednak ważniejsze jest, że przewidywanie $g = 2$ jest tylko pierwszym przybliżeniem. Wartość momentu magnetycznego należy poprawić, uwzględniając samooddziaływanie. Teorią, która pozwala na wyznaczenie takiej poprawki, jest kwantowa teoria pola.

W rachunkach samooddziaływanie przejawia się chmurą wirtualnych cząstek otaczających każdą cząstkę rzeczywistą. Porównanie wyliczonej wartości takiej poprawki z wartością zmierzoną pozwala na sprawdzenie, czy w wirtualnej chmurze nie brakuje przypadkiem jakiegoś wkładu. Wskazywałoby to na istnienie czegoś wykraczającego poza udokumentowany obraz mikroświata. Warto dodać, że wkład od wirtualnych ciężkich cząstek jest w pierwszym przybliżeniu proporcjonalny do kwadratu masy badanej cząstki. Dlatego warto „męczyć się” z nietrwałym i trudnym do wytworzenia mionem, bo jest on dużo masywniejszy od elektronu.

Sama (standardowa już) metoda pomiaru jest bardzo pomysłowa. Intensywna wiązka mionów jest wstrzykiwana do kołowego pierścienia akumulacyjnego o bardzo jednorodnym, prostopadłym do płaszczyzny pierścienia polu magnetycznym B . Ze względu na sposób produkcji miony są w naturalny sposób spolaryzowane: kierunek spinu jest zgodny z ich kierunkiem poruszania. Gdyby anomalny moment magnetyczny mionu $a_\mu = (g - 2)/2$ był zerowy, to pole magnetyczne nie zmieniłoby początkowej polaryzacji. Ponieważ tak nie jest, więc spin wykonuje precesję wokół kierunku pędu z częstością $\omega_a = \frac{e}{mc} a_\mu B$. Jeżeli jeszcze mionom nada się tzw. magiczną wartość pędu $p = \frac{mc}{\sqrt{a_\mu}}$, to eliminuje się wkład do precesji od pola elektrycznego, które jest używane do ogniskowania wiązki. Prędkość ta przy okazji powoduje istotne relatywistyczne wydłużenie czasu życia mionu.

Teraz pozostaje „tylko” odpowiednio precyzyjnie zmierzyć częstość precesji ω_a i natężenie pola magnetycznego B .

Częstość precesji wyznacza się, rejestrując elektrony pochodzące z rozpadu mionów. Ze względu na maksymalne łamanie parzystości w tym rozpadzie kierunek, w którym elektrony są wysyłane, jest maksymalnie skorelowany z kierunkiem spinu. Pole magnetyczne jest natomiast precyzyjnie monitorowane za pomocą czujników wykorzystujących jądrowy rezonans magnetyczny atomów wodoru.

Najważniejsze jest to, że te dwa pomiary są prowadzone przez dwa niezależne zespoły. Dopiero po zakończeniu całej wyrafinowanej analizy wyznacza się końcową wartość a_μ . Nie ma sposobu, żeby niechący wynik „poprawić”.

Ostatnio opublikowana [1] wartość anomalnego momentu magnetycznego (anty)mionu wynosi

$$a_\mu = (11659202 \pm 16) \cdot 10^{-10}.$$

Różnica w stosunku do przewidywania teoretycznego

$$\Delta a_\mu = (43 \pm 16) \cdot 10^{-10}$$

pozwała na odrzucenie modelu standardowego oddziaływań fundamentalnych na poziomie ufności 99%!

Niezgodność ta może być powodem do radości. Wskazuje na rosnącą szansę bezpośredniego zaobserwowania czegoś nowego w przygotowywanych eksperymentach akceleratorowych. Sceptycy wołają jednak trochę poczekać. Eksperyment E821 ma niedługo zwiększyć dokładność jeszcze o czynnik π .

Piotr ZALEWSKI

[1] preprint hep-ex/0102017, z 8 lutego 2001 roku.