

Młyny nauki

Mój kot był na diecie. Zmusiło mnie to do stałego przypominania – ponad ciągłym tłem muzycznym głodnego pomiaukiwania – moim domownikom o pojęciu niepewności pomiarowej. Konkretnie zaś o tym, że jeśli poprzedniego dnia zmierzona waga kota wynosiła 5,3 kg, a obecne wskazania to 5,2 kg, nie oznacza to, że kocia dieta-cud działa, gdyż niepewność wskazań przyrządu wynosi 0,1 kg, toteż oba wyniki powinny być interpretowane jako nieróżniące się od siebie.

Pojęcie niepewności jest dla fizyka szczególnie ważne, gdy próbuje porównać „teorię” z „doświadczeniem”. Za pomocą „teorii” można uzyskać przewidywania, które następnie są weryfikowane w „doświadczeniu”. Jeżeli wyniki teoretyczne i doświadczalne się zgadzają – świetnie, przechodzimy do dalszych zadań lub idziemy na kawę. Jeśli nie – świetnie, trzeba zaproponować nową, lepszą teorię lub udoskonalić sposób przeprowadzenia eksperymentu bądź metody opracowywania danych.

Od dwóch dekad pouczającego przykładu na ten temat dostarcza badanie momentu magnetycznego mionów.

Miony są cząstkami o spinie $\frac{1}{2}$. Jedną z wielu własności odróżniających te cząstki od ciał makroskopowych jest ich oddziaływanie z polem magnetycznym, dwukrotnie większe od oddziaływania, które wynikałoby z interpretacji spinu jako obrotu. No, prawie dokładnie dwukrotnie. W 1947 roku Polykarp Kusch i Henry Foley zmierzili tę proporcję bardziej dokładnie i otrzymali 2,00232, co świetnie zgadzało się z przewidywaniami elektrodynamiki kwantowej wyznaczonymi przez Juliana Schwingera. Obliczenia Schwingera opierały się na tym, że poruszająca się w próżni cząstka elementarna nie jest „naga”, lecz otacza ją „rój” fluktuacji próżni, który nieznacznie, ale zauważalnie zmienia jej własności.

W miarę postępującego zrozumienia struktury Modelu Standardowego cząstek elementarnych interesującą nas liczbę można było wyznaczać coraz dokładniej, jednak obliczenia stawały się także coraz bardziej skomplikowane. Obecnie przeprowadza się je w dużych, międzynarodowych zespołach. Dzięki temu można było stwierdzić, że przewidywanie teoretyczne to 2,00233183620, przy czym ze względu na to, że obliczenia odwołują się do wyników pomiarów innych wielkości fizycznych i wykorzystują pewne przybliżenia, wynik ten obarczony jest niepewnością, która może mieć wpływ na wartości ostatnich dwóch cyfr znaczących.

Podstawowy pomysł na doświadczenie pozwalające zmierzyć, jak mion oddziałuje z polem magnetycznym, nie zmienił się od kilkudziesięciu lat. Szybkie miony są podawane do pierścienia, w którym znajduje się silne pole magnetyczne. Gdy mion obiega pierścień, oś obrotu cząstki (którą można wyobrazić sobie jako małą strzałkę) stopniowo się obraca wskutek oddziaływania z polem magnetycznym. Kilka milionowych części sekundy później, co odpowiada kilkuset obiegom wokół pierścienia, mion rozpada się, tworząc elektron, który wlatuje do jednego z otaczających go detektorów. Zmieniające się energie elektronów wylatujących z pierścienia pozwalają ustalić, jak szybko obracają się miony.

Powyższy opis nie oddaje zupełnie niesamowitego postępu technicznego, który pozwala mierzyć własności

mionów z coraz większą dokładnością. Ogłoszone w kwietniu wyniki doświadczeń przeprowadzonych w Fermilabie w USA podają interesującą nas wielkość jako 2,00233184122, z niepewnością analogiczną do tej dla wyniku teoretycznego. Wyniki te zgadzają się ze starszymi o 20 lat rezultatami uzyskanymi w Brookhaven National Laboratory w USA.

Wygląda zatem na to, że przez ostatnie dwie dekady mamy niezgodność między „teorią” a „doświadczeniem”. Ponieważ eksperymenty zostały przeprowadzone w różnych laboratoriach, przez różne zespoły badaczy, należałoby się spodziewać, że przyczyna niezgodności leży po stronie teoretycznej. Czy jest nią jakaś „nowa fizyka” modyfikująca obraz fluktuacji próżni i w ten sposób wpływająca na wynik dla mionu? A może zaprzęgnięcie do pracy jeszcze wydajniejszych superkomputerów, pozwalających coraz dokładniej modelować fluktuacje próżni, wskaże na błąd w obecnych obliczeniach?

Kiedys się dowiemy. Jednak w miarę rosnącej złożoności obliczeń naukowych i postępującej komplikacji eksperymentów coraz bardziej aktualna staje się parafraza znanego powiedzenia. Młyny nauki miały powoli.

Krzysztof TURZYŃSKI

- [1] T. Aoyama *et al.*, *The anomalous magnetic moment of the muon in the Standard Model*, Physics Reports **887** (2020) 1
- [2] B. Abi *et al.*, *Measurement of the Positive Muon Anomalous Magnetic Moment to 0.46 ppm*, Phys. Rev. Lett. **126** (2021) 141801