

Elektron kontra historia i terażniejszość Wszechświata

Każdy, kto zgłębiał tajniki elektryczności i magnetyzmu, wie, że pętla z przewodnika, w której płynie prąd elektryczny, oddziałuje z polem magnetycznym. Miarą tego oddziaływania jest wielkość wektorowa zwana momentem magnetycznym. Mogąc wytracić energię, pętla „najchętniej” ustawia się tak, by moment magnetyczny był skierowany tak jak pole magnetyczne; jeśli energia jest zachowana moment magnetyczny krąży wokół kierunku pola.

Fizyka kwantowa dopuszcza możliwość, że nie tylko pętla z prądem mają moment magnetyczny – może on też być wewnętrzną własnością cząstek elementarnych. Już w 1928 roku Paul Dirac zauważył, że elektron opisywany równaniem, które później nazwano jego nazwiskiem, oddziałuje z polem magnetycznym podobnie do pętli z prądem, a opisujący „siłę” tego oddziaływania moment magnetyczny jest dwukrotnością podstawowej wielkości zwanej magnetonem Bohra. Sformułowaławszy elektrodynamikę kwantową, Julian Schwinger był w stanie obliczyć moment magnetyczny elektronu jeszcze dokładniej. Z obliczeń Schwingera wynikało, że jego wartość jest o około promil większa niż ta przewidywana przez Diraca. Dziś potrafimy obliczyć teoretycznie moment magnetyczny elektronu z dokładnością do 10 cyfr znaczących, a wyznaczyć go doświadczalnie z dokładnością do 12 cyfr znaczących. Jest to wielki triumf pomysłowości teoretyków i zręczności eksperymentatorów, a także najdokładniejsza we współczesnej fizyce weryfikacja przewidywań teoretycznych i wyników doświadczalnych.

Czytelnik Uważny bez wątpienia dostrzeże tu problem i zawoła: „Teoretycy! Do roboty! Ulepszcie przewidywania o czynnik 100”. Nie jest to jednak takie proste. Obecna dokładność wymaga zsumowania ponad dwunastu tysięcy osobno wyznaczanych składników, a odpowiednie zwiększenie dokładności może zwiększyć ich liczbę do setek tysięcy czy nawet milionów. A jeśli elektron jest dodatkowo związany z jądrem atomowym, do głosu mogą dojść trudne do obliczenia czynniki związane z rozmiarami jądra oraz z oddziaływaniami elektronu z nukleonami. Tymczasem to właśnie takie układy pozwalają na bardzo dokładne sprawdzenie przewidywań Modelu Standardowego cząstek elementarnych dla elektronu znajdującego się w ultrasłabym polu elektrycznym jądra atomowego.

W takiej sytuacji przydają się pomiary różnicowe. Czym one są, wie z grubsza każdy, kto jechał na autostradzie za dwiema wyprzedzającymi się ciężarówkami. Zakładając, że taki pojazd z naczepą zrównuje się z drugim po minucie jazdy i wysforowuje się naprzód po kolejnej minucie, możemy łatwo wyznaczyć, że dla standardowych ciężarówek o długości 16,5 metra różnica prędkości między pojazdami wynosi kilometr na godzinę. Aby dojść do tego wniosku, nie musimy mierzyć prędkości każdej ciężarówki z osobna – wystarczy wiedzieć, jak poruszają się one względem siebie.

Podobny pomysł dla elektronów związanych z izotopami jąder neonu 20 i 22 został zastosowany w pracy niedawno opublikowanej w „Nature”. Tim Sailer i współpracownicy unieruchomili takie jony w pułapkach Penninga i badali różnice tempa obrotu momentów magnetycznych elektronów w polu magnetycznym. Drugi użyty przez nich izotop ma o dwa neutrony więcej od pierwszego. Sprawia to, że jądro atomowe jest większe. Jeżeli zaś elektrony oddziałują z neutronami silniej, niż przewiduje to Model Standardowy cząstek elementarnych, to różnica w liczbie neutronów pozwalałaby na uchwycenie tego efektu.

Jakie są wyniki tego eksperymentu? Fani nowej fizyki będą z pewnością zawiedzeni. Oszacowanie promieni jąder zgadza się z istniejącymi wcześniej pomiarami i wiedzą teoretyczną – jest po prostu o rząd wielkości dokładniejsze. Śladów anomalnych oddziaływań elektron-neutron nie stwierdzono.

W pracy Sailera i współpracowników największą uwagę przykuwa jednak coś innego. Po pierwsze, bardzo pomysłowy schemat doświadczalny. Po drugie, niesamowita dokładność pomiarów umożliwiona przez ten schemat. Po co nam aż taka dokładność? Otóż pozwala ona sprawdzić, czy wymyślone cztery lata wcześniej koncepcje teoretyczne dotyczące kosmologicznej historii pola Higgsa i jego oddziaływania z nowo zaproponowanym polem zwanym *relaksjonem* (prawda, że bardzo ładna nazwa?) mogą być poprawne. W pracy Sailera i współpracowników udało się właśnie dość mocno ograniczyć takie teorie. Jest to jeden z wielu przykładów bardzo szybkiego oddziaływania na linii teoretycy–doświadczalnicy.

Krzysztof TURZYŃSKI

T. Sailer, V. Debierre, Z. Harman et al. “Measurement of the bound-electron g-factor difference in coupled ions”, *Nature* 606, 479–483 (2022)