



Najważniejsze osiągnięcie fizyki roku 2006

Krzysztof Fiałkowski

Instytut Fizyki UJ

Biuletyn nowości American Institute of Physics *Physics News Update* (PNU) to tygodniowy przegląd najciekawszych artykułów i referatów prezentowanych ze wszystkich działów fizyki, który można przeczytać na stronie internetowej www.aip.org/pnu, albo po zamówieniu otrzymywać pocztą elektroniczną. Ukazuje się on już od kilkunastu lat, a co roku w grudniu prezentuje „The physics story of the year”, czyli osiągnięcie uznane za najważniejsze w mijającym roku, oraz listę kilkunastu dalszych najciekawszych wyników prezentowanych w PNU w tym roku.

W tym roku za najważniejszy wynik uznano nowy pomiar momentu magnetycznego elektronu i związane z nim nowe wyznaczenie wartości stałej struktury subtelnej. Pomiar został wykonany w Uniwersytecie Harvarda przez grupę profesora Geralda Gabrielse, która ma już na koncie wiele znakomych osiągnięć związanych z pułapkowaniem cząstek i antycząstek. W szczególności, kilka lat temu uzyskano tam antyprotony o najniższej temperaturze (ok. 4 K), które posłużyły do stworzenia atomów antywodoru i badania ich struktury. Pozwoliło to na najdokładniejsze jak dotąd testy podstawowej symetrii natury: symetrii między stanami cząstek i antycząstek.

Eksperyment przedstawiony w dwu publikacjach w *Physical Review Letters* i w referacie wygłoszonym na konferencji ICAP 2006 dotyczy ruchu elektronu w polach elektrycznych i magnetycznych. Starannie przygotowana pułapka pozwalała na obserwację pojedynczego elektronu przez kilka miesięcy. Był to bardzo szczególny eksperyment: pole magnetyczne wymuszało ruch po płaskiej orbicie „cyklotronowej” przypominający ruch w podstawowym stanie atomu, a pole elektryczne było zmieniane przez wzmacniane impulsy pochodzące od oscylacji elektronu nad- i pod płaszczyznę tego ruchu. Można więc powiedzieć, że badano zjawiska na pograniczu fizyki kwantowej i klasycznej. Wartości energii ruchu w polu magnetycznym są skwantowane, a reakcja układu na zmiany pola elektrycznego wynikłe z oscylacji elektronu pozwala na tłumienie lub wzmacnianie tych oscylacji.

Nie wchodząc w szczegóły techniczne można łatwo przewidzieć, że precyzyjne pomiary oscylacji elektronu pozwalają na wyznaczenie wielkości decydujących o sile jego oddziaływania z polem elektromagnetycznym: ładunku i momentu magnetycznego. W relatywistycznym opisie elektronu jako punktowej cząstki naładowanej o wartości spinu s (wewnętrznego momentu pędu) równej połowie stałej Plancka $\hbar/2$, wartość momentu magnetycznego μ jest

związana z wartością spinu prostym wzorem $\mu = ges/2mc$, gdzie e jest ładunkiem elementarnym, c wartością prędkości światła, m masą elektronu, a $g = 2$. Jednak w kwantowej teorii pola opisującej oddziaływania elektromagnetyczne, czyli tzw. elektrodynamice kwantowej (QED), oddziaływanie elektronu z fluktuacjami próżni, czyli wirtualnymi fotonami i parami elektron-pozyton, powodują, że g ma wartość różną od 2, którą można obliczyć.

Precyzyjne wyniki obliczeń zależą od tego, czy elektron jest naprawdę elementarny i czy oprócz znanych dziś cząstek elementarnych istnieją inne. Zatem wyznaczenie stopnia zgodności pomiarów z przewidywaniami teorii pozwala zarówno na ograniczenie wartości mas ewentualnych nowych cząstek, jak i na stwierdzenie, do jakiego stopnia elektron można uważać za cząstkę punktową. Względna niepewność wartości g wyznaczonej w obecnym eksperymencie jest sześciokrotnie mniejsza niż osiągnięta wcześniej: poniżej 10^{-12} . Pozwala to na oszacowanie maksymalnych dopuszczalnych rozmiarów elektronu na ok. 10^{-18} m (1 attometr), czyli minimalnej dopuszczalnej masy hipotetycznych nowych cząstek – składników elektronu – na ok. $130 \text{ GeV}/c^2$. Są to ograniczenia niewiele słabsze od tych, jakie uzyskujemy z analizy eksperymentów, w których zderzamy elektrony i pozytony przy najwyższych osiągniętych obecnie energiach (a więc przy użyciu wielkich akceleratorów, nieporównanie droższych w budowie i eksploatacji niż skromna aparatura eksperymentu harwardzkiego).

Obliczenia oparte na rachunku zaburzeń w QED wyrażają g przez tzw. stałą struktury subtelnej $\alpha = e^2/\hbar c$, zatem pomiar g umożliwi wyznaczenie wartości α z niespotykaną dotąd dokładnością rzędu 10^{-9} tej wartości. Jest to ważny krok na drodze do przyjęcia nowego układu podstawowych jednostek fizycznych, uniezależnionego od wzorców makroskopowych. Przypomnijmy, że obecnie jako jednostki masy (1 kg) używamy ciągle masy wzorca trzymanego pod kloszem w laboratorium w Sevres pod Paryżem, malejącej nieuchronnie w wyniku ścierania przy każdym czyszczeniu...