

Najbardziej oczekiwana nagroda

Tegoroczną Nagrodę Nobla z fizyki otrzymali François Englert oraz Peter Higgs za „teoretyczne odkrycie mechanizmu, który przyczynia się do zrozumienia źródła mas cząstek subatomowych i który został ostatnio potwierdzony odkryciem przewidywanej fundamentalnej cząstki przez zespoły badawcze ATLAS i CMS, działające przy CERN-owskim Wielkim Zderzaczu Hadronów”.

Nagrodzeni byli zdecydowanymi faworytami. Jednak komitet przyznający nagrodę obradował godzinę dłużej niż zwykle (ostateczna decyzja jest podejmowana tuż przed ogłoszeniem werdyktu). Na czym polegały wątpliwości, można będzie się dowiedzieć dopiero za pół wieku, czyli sto lat po opublikowaniu (1964) nagrodzonych prac. Może rozważano wyróżnienie zupełnie innego osiągnięcia? Może zastanawiano się, kogo jeszcze docenić za wkład w odkrycie mechanizmu Brouta–Englerta–Higgsa (BEH, to nie jedyny zestaw nazwisk [1]; Robert Brout nie doczekał, zmarł dwa lata temu)? Raczej nie zastanawiano się nad precedensem nagrodzenia zespołów eksperymentalnych, ale niewykluczone, że dyskutowano nad sformułowaniem uzasadnienia. Chyba po raz pierwszy odpowiednia sentencja zawiera bezpośrednie odniesienie do osiągnięcia osób trzecich (których jest dobre kilka tysięcy, w tym kilkudziesięciu Polaków; patrz *Aktualności, Delta* 7/2013).

O historii sformułowania pomysłu można poczytać (np. [1]) lub posłuchać samego Petera Higgsa [2]. Mechanizm BEH jest omawiany w niezliczonych miejscach na różnych poziomach abstrakcji (np. [1,3]). Ciekawa jest prezentacja [4], w której symetria cechowania oraz jej naruszenie (mechanizm BEH) są wprowadzone za pomocą analogii ekonomicznej. Maldacena kilkukrotnie jednak uprzedza, że fizyka jest prostsza niż ekonomia. Ma rację. Choć liczba użytych w analogii pojęć jest mniejsza niż w ścisłym sformułowaniu, to bez jego (przynajmniej pobieżnej) znajomości, nie jest łatwo zrozumieć istotę oraz adekwatność wywodu.

Osobiście zachęcam do obejrzenia prelekcji [5]. Arkani-Hamed jest bardzo ekspresyjnym mówcą. Tym razem przekonuje, że z samego kwantowomechanicznego opisu zjawiska, rozgrywającego się w czasoprzestrzeni, wynika konieczność istnienia bozonu Higgsa. Nie jest gołosłowny. Był gotów założyć się o swoje roczne dochody, że bozon Higgsa zostanie odkryty (co prawda, gdy to ogłaszał, to jeszcze nie wiedział, że dostanie trzy miliony dolarów, jako jeden z laureatów *Fundamental Physics Prize*; Maldacena też został wtedy nagrodzony – patrz *Aktualności, Delta* 2/2013). W referacie, oprócz przedstawienia „o co tak naprawdę chodzi”, zdradza, że (aby to w pełni pojąć) należy przejść roczny kurs (kwantowej teorii pola) oraz że większość używanych analogii (do stosowania których sam się przyznaje) jest okropna, wprowadza w błąd lub jest po prostu błędna. W szczególności błędne jest przedstawianie pola BEH jako jakiegoś ośrodka spowalniającego cząstki – nadającego im masę.

Skoro istnienie bozonu Higgsa jest prostym wnioskiem z tego, co wiemy (o próżni), to spróbujmy tę wiedzę podsumować.

Z mariażu mechaniki kwantowej ze szczególną teorią względności urodziły się fermiony, czyli cząstki obdarzone spinem połowkowym, dla których istnieją antycząstki. To jest informacja o kolosalnym znaczeniu, bo fermiony nie mieszczą się w zwykłej czasoprzestrzeni. Spin im wystaje. Jeżeli jedynym oddziaływaniem (poza grawitacją, o której jest wspomniane w [5]) byłyby elektromagnetyzm, to nie byłoby problemu.

Po pierwsze, nas by nie było. Po drugie, sprawa fermionów byłaby rozwiązana za pomocą elektrodynamiki kwantowej, czyli teorii, którą można wyprowadzić, dopuszczając swobodny wybór fazy zespolonej w każdym punkcie czasoprzestrzeni (właśnie o tym jest analogia ekonomiczna w [4]).

Ponieważ jednak odkryliśmy oddziaływania słabe (odkryliśmy również silne, ale one nic nowego, z punktu widzenia mechanizmu BEH, nie wnoszą), więc możemy istnieć, ale teoretyczna konstrukcja się sypie (pozornie) i to z dwóch powodów. Po pierwsze, słabość oddziaływania jest związana z dużą masą nośników, które powinny być i są cząstkami o spinie jeden, czyli takimi jak foton. Mają one jednak dodatkowy stan polaryzacyjny (bo mają masę), który wywołuje nieograniczony wzrost prawdopodobieństwa oddziaływania z rosnącą energią zderzenia. Opis się załamuje. Po drugie, okazuje się, że oddziaływania słabe rozróżniają fermiony lewochiralne i prawochiralne (to dlatego parzystość nie jest obowiązującą symetrią; popularne wyjaśnienie różnicy między chiralnością i skrętnością można znaleźć w [3]). Pierwsze oddziałują słabo, a drugie nie. W elektrodynamice kwantowej masa jest wynikiem „superpozycji” obu stanów chiralnych fermionu (a przewidywania teorii zgadzają się z dokładnością do jednej bilionowej). Ze względu na oddziaływania słabe są to jednak zupełnie inne cząstki (choć większość erudyków nie ma o tym pojęcia)! Nie mogłyby „interferować”, gdyby symetria oddziaływań słabych była zachowana.

Mechanizm BEH to konsekwencja uznania, że próżnia ma wyróżniony kierunek fazy elektroslabej (to jest równoważne wyborowi punktu na jednostkowej sferze, znów wystającej poza czasoprzestrzeń, ale ze względu na dodatkową swobodę sprowadza się do wyboru jednej liczby rzeczywistej). Fakt ten narusza symetrię elektroslabą, dopuszczając mieszanie fermionów o przeciwnych chiralnościach (czyli pozwalając im na posiadanie masy), a jego najprostszą implementacją dostarcza cztery cząstki skalarne (niewyróżniające żadnego kierunku w przestrzeni). Trzy stają się brakującymi stanami polaryzacyjnymi (wcześniej bezmasowymi) bozonów pośredniczących, przez co problem z rosnącym prawdopodobieństwem oddziaływania znika (to tu, między innymi, potrzebny jest ten roczny kurs), a czwarty jest odkrytą w zeszłym roku skalarną cząstką Higgsa, której masa jest dodatkowym parametrem wyznaczanym doświadczalnie.

Pomysł był bardzo śmiały, bo postulował istnienie fundamentalnej cząstki skalarniej. Natura nigdzie indziej takiego obiektu nie wykorzystuje. Jeżeli masa tej cząstki jest taka, jak ją zmierzaliśmy, to (teoretyczne) problemy z nią związane mogą być tylko natury estetycznej. Inaczej mówiąc, mamy teorię, która może działać aż do skali energii, przy której efekty grawitacyjne zaczną być istotne, kłamrę spinającą fizykę XX wieku. Czas zająć się wyzwaniem trzeciego tysiąclecia.

Piotr ZALEWSKI

- [1] Tom W.B. Kibble, *Englert–Brout–Higgs–Guralnik–Hagen–Kibble mechanism*, Scholarpedia, 2009, 4(1):6441.
- [2] Peter Higgs, *Ancestry of a New Boson*, Referat na konferencji EPS w Sztokholmie w lipcu 2013, <http://video.physto.se/AULAN20130722A/video.wmv>.
- [3] Flip Tanedo, <http://www.quantumdiaries.org/2011/06/19/helicity-chirality-mass-and-the-higgs>.
- [4] Juan Maldacena, *The Symmetry and Simplicity of the Laws of Nature and the Higgs Boson*, <http://video.ias.edu/maldacena-lecture-10-12>, Institute for Advanced Study Video Lectures, 3/10/2012.
- [5] Nima Arkani-Hamed, *The Inevitability of Physical Laws: Why the Higgs Has to Exist*, <http://video.ias.edu/arkani-hamed-lecture-10-12>, Institute for Advanced Study Video Lectures, 26/10/2012.