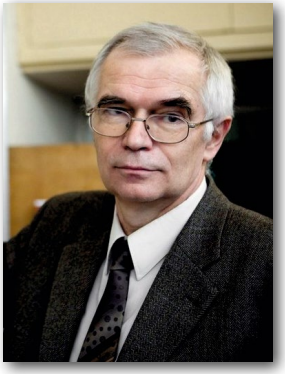
Fakty, mity i zagadki modelu standardowego



Prof. dr hab. Jacek Wosiek w Zakładzie Dyskretnej Teorii Pola specjalizuje się w nieperturbacyjnych aspektach kwantowych teorii pól i cząstek. Jego wychowankowie pracują w wielu ośrodkach w kraju i za granicą.

jacek.wosiek@uj.edu.pl

Odkrycie bozonu Higgsa zamyka ważny okres w historii fizyki. Potwierdza bowiem dobitnie, że tzw. model standardowy jest poszukiwaną od ponad pół wieku teorią oddziaływań cząstek elementarnych.

Istnienie bozonu Higgsa było najbardziej dramatycznym przewidywaniem teorii. Bez niego cała subtelna konstrukcja tłumacząca naturę słabych oddziaływań ległaby w gruzach. Chodzi o tzw. spontaniczne łamanie symetrii cechowania. Symetria ta jest jedną z najbardziej podstawowych właściwości mikroświata: faza funkcji falowej może być dowolnie zmieniona w każdym punkcie przestrzeni, jeśli tylko skompensujemy to modyfikacją potencjałów.

Symetrię taką mają oddziaływania elektromagnetyczne, silne, a także i grawitacyjne. Wymaga ona jednak, aby nośniki tych sił były bezmasowe. Rzeczywiście, fotony, gluony oraz, nieodkryty jeszcze grawiton, są pozbawione masy. Natomiast bozony W i Z – nośniki słabych oddziaływań – mają masę i to dużą w stosunku do wcześniej odkrytych cząstek. Jej wartość jest związana z dobrze znaną doświadczalnie stałą Fermiego.

Czyżby więc oddziaływania słabe nie miały tej podstawowej symetrii? Otóż nie, i właśnie za teoretyczne wytłumaczenie tej zagadki Peter Higgs i Francois Englert dostali nagrodę Nobla w 2013 roku.

Od czasów Goldstone'a i Nambu wiadomo, że symetryczne prawa ruchu mogą mieć niesymetryczne rozwiązania. Przykłady spontanicznego łamania symetrii są wszędzie: od ołówka postawionego na grafitowym ostrzu, do fredrowskiej „ośliny pośród jadła". Tak więc rozwiązanie Higgsa i innych polega, mówiąc popularnie, na spontanicznym złamaniu albo naruszeniu symetrii cechowania oddziaływań słabych.

I tutaj napotykamy pierwszy, dobrze znany specjalistom mit, który może jednak sprawić dociekliwemu studentowi pewien kłopot. Lokalnej symetrii cechowania nie można złamać spontanicznie. Udowodnił to ściśle Elitzur w 1975 roku. Symetria, której naruszenie nadaje masę bozonom W i Z, jest widoczna dopiero po ustaleniu konkretnego wycechowania. Jest to więc symetria ukryta (O'Raifeartaight) – ukryta w tle transformacji cechowania. Dlatego też podręcznikowe dowody mechanizmu Higgsa są konstruowane na ogół w ustalonym wycechowaniu.

Innym nieporozumieniem jest często powtarzane stwierdzenie, że bozon Higgsa jest źródłem całej masy w Naturze. Nieprawda, Twoja i moja masa, Czytelniku, pochodzą głównie od mas protonów i neutronów, które z kolei są wynikiem oddziaływań silnych (QCD) między kwarkami i gluonami. Rzeczywiście higgs „nadaje" masę kwarkom, ale jest to poniżej 3 promili masy z oddziaływań silnych. Z kolei masa elektronu w całości pochodzi z mechanizmu Higgsa i nie można nie docenić jej roli w fizyce atomów i molekuł.

Po trzecie, potoczne określenie bozonu Higgsa jako „boskiej cząstki" pochodzi z popularnonaukowej książki Ledermana i Teresiego o tym tytule. Sęk w tym, że jak twierdzi sam Peter Higgs, tytuł oryginalny brzmiał „The Goddamned Particle" (bo tak trudno było ją znaleźć), ale wydawca nie przyjął tego emocjonalnego określenia.

Czy model standardowy jest więc teorią ostateczną? Czy jego sukces oznacza koniec fizyki cząstek? Czy młodzi, zdolni ludzie nie mają już szans na odkrycie nowych, jeszcze bardziej fundamentalnych praw Natury?

Nie, nie i jeszcze raz nie! Wręcz przeciwnie, spektakularne odkrycie bozonu Higgsa nie tylko ugruntowało model standardowy, ale także jeszcze bardziej uświadomiło nam jego efektywną, a tym samym tymczasową, naturę.

Model standardowy zawiera 61 cząstek „elementarnych". Ich masy, sprzężenia i amplitudy mieszania są teoretycznie dowolne. Daje to co najmniej 19 swobodnych parametrów. Jest to najprostsza i najbardziej naturalna wskazówka, że hen, gdzieś tam na jeszcze mniejszych odległościach, istnieje bardziej fundamentalna, prostsza i piękniejsza teoria. I czeka na Einsteinów XXI wieku.