

Nagroda Nobla w dziedzinie fizyki

w 2008 roku została przyznana trzem naukowcom zajmującym się teorią oddziaływań elementarnych. Są nimi: Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi i Toshihide Maskawa. Pierwszego uhonorowano za odkrycie mechanizmu spontanicznego naruszenia symetrii w fizyce subatomowej, pozostałych dwóch – za odkrycie źródła naruszenia symetrii między materią i antymaterią, możliwego wyłącznie dla trzech (lub więcej) rodzin kwarków.

Fizyki, słysząc, że jakiś układ ma symetrię, wie, iż chodzi o to, że można w tym układzie zmienić to i owo, a i tak uzyska się tę samą odpowiedź na dowolne, sensowne fizycznie pytanie, co przy badaniu układu przed zmianami. Nietrudno wyobrazić sobie przykład takiej zmiany – można badany układ przenieść wraz z całą aparaturą pomiarową w jakieś inne miejsce (zmiana współrzędnych przestrzennych) lub, jeśli potrafimy kontrolować stan badanego układu, wykonać pomiar w dowolnej chwili (zmiana współrzędnej czasowej). Inny, mniej oczywisty przykład stanowią symetrie wewnętrzne – zmiana wartości funkcji falowych cząstek układu czy wręcz zamiana jednych cząstek na inne.

Wymyślenie, jakie symetrie wyjaśniają wyniki ogromnej liczby doświadczeń badających własności cząstek elementarnych, doprowadziło do zbudowania współczesnej teorii oddziaływań noszącej skromne miano Modelu Standardowego. Teoria ta zakłada m.in., że każdy z kwarków, będących składnikami protonów, neutronów i innych hadronów, występuje w trzech stanach, umownie nazywanych kolorami. Symetria oddziaływań polega na tym, że możemy dowolnie zamieniać jedne kolory na inne, a nawet jedne kombinacje kolorów na inne. Co więcej, możemy to zrobić w każdym punkcie czasoprzestrzeni z osobna (tzw. symetria lokalna) – bez zmiany przewidywań teorii. Matematyczna spójność teorii wymaga jeszcze wprowadzenia cząstek o spinie 1 przenoszących oddziaływania, czyli gluonów, i model jest gotowy. (Badanie własności tego modelu przyniosło w 2004 r. Nagrodę Nobla D. Grossowi, D. Politzerowi i F. Wilczkowi.)

Podobnie opisywać można oddziaływania elektrosłabe, czyli rozważane łącznie oddziaływania elektromagnetyczne oraz rządzące m.in. jądrowymi rozpadami beta oddziaływania słabe. Tu symetria polega na dowolnej zamianie par cząstek, np. elektronu na odpowiednie neutrino i odwrotnie. Czytelnik Wnikliwy może w tym miejscu słusznie utyskiwać, że, o ile kwarka zielonego od czerwonego odróżnić się, być może, nie da (wokół nas kwarki występują wyłącznie w stanach związanych), to elektron od neutrino różni wiele własności: ma on przecież ładunek elektryczny oraz znacznie większą masę.

Powodem tych różnic jest właśnie owo spontaniczne naruszenie symetrii, którego prosty przypadek rozważał Nambu. Najkrócej mówiąc, polega ono na tym, że chociaż oddziaływania opisywane są w sposób ściśle symetryczny, to stan o najniższej energii, czyli próżnia, już tak symetryczny nie jest. Prosty przykładem układu posiadającego omawianą własność jest punkt materialny znajdujący się w dwuwymiarowym polu energii potencjalnej danej wzorem $V(x, y) = A(x^2 + y^2 - R^2)^2$. Najmniejsza wartość tej funkcji wynosi zero i osiągnięta jest dla każdego punktu (x, y) leżącego na okręgu o promieniu R . Pomimo tego, że energia potencjalna nie zmienia się przy obrocie wokół początku układu współrzędnych, obrót taki przekształca dany stan

o najniższej energii na inny, naruszając symetrię wyjściowej teorii (zauważmy w szczególności, że przesunięcie punktu z jednego minimum (x_1, y_1) do innego minimum (x_2, y_2) nie wymaga dostarczenia energii do układu). Tym samym, jeśli nasz punkt materialny będzie spoczywał w punkcie $(R, 0)$, stan ten wyróżni w oczywisty sposób współrzędną x , mimo że wyjściowy potencjał traktował obie współrzędne na równych zasadach. A w teorii oddziaływań elektrosłabych – skoro sama próżnia narusza ich symetrię – nic dziwnego, że np. elektron i neutrino wykazują w takiej próżni zupełnie inne, „niesymetryczne” własności. W języku kwantowej teorii pola, opisującej oddziaływania elementarne, istnienie nieskończenie wielu stanów o tej samej, najniższej energii interpretujemy jako istnienie bezmasowej cząstki o zerowym spinie, zwanej bozonem Nambu–Goldstone’a. Jeśli symetria jest lokalna, musimy do teorii dołączyć cząstki przenoszące oddziaływania (dla oddziaływań elektrosłabych są nimi foton oraz bozony W i Z); naruszenie takiej symetrii sprawia, że przynajmniej niektóre z tych cząstek stają się masywne i bozon Nambu–Goldstone’a „ukrywa się” jako dodatkowy stan takiej cząstki. (Za propozycję, że oddziaływania elektromagnetyczne i słabe opisywane są jedną teorią ze spontanicznie naruszoną symetrią, S. Glashow, A. Salam i S. Weinberg otrzymali Nagrodę Nobla w 1979 roku.)

Inny rodzaj naruszenia symetrii rozważali Kobayashi i Maskawa. Znali oni dane doświadczalne pokazujące, że oddziaływania słabe cząstek i antycząstek nie są takie same, a zatem przekształcenie zamieniające wszystkie cząstki na ich odpowiednie antycząstki nie jest symetrią. Co więcej, mamy tu do czynienia z jawnym, a nie spontanicznym, naruszeniem symetrii, tzn. przekształcenie to nie jest w ogóle symetrią oddziaływań fundamentalnych. Po co więc mówić tu o symetrii i jej naruszeniu? Otóż różne własności cząstek i antycząstek przejawiają się w bardzo ograniczonej liczbie procesów z udziałem cząstek przenoszących oddziaływania słabe. Kobayashi i Maskawa opisali naruszenie symetrii między cząstkami i antycząstkami w oddziaływaniach słabych i wykazali, że koniecznym tego warunkiem jest istnienie co najmniej sześciu rodzajów kwarków (trzech tzw. generacji po dwa kwarki o różnych ładunkach). W 1973 roku, kiedy ta ich praca została opublikowana, był to postulat dość śmiały, jako że liczba znanych kwarków była o połowę mniejsza, a ostatni, najcięższy z tej szóstki, kwark top, został odkryty dopiero ponad dwadzieścia lat później.

Dziś każdy teoretyk próbujący napisać teorię uogólniającą Model Standardowy (a są ku temu ważne powody) musi przede wszystkim odpowiedzieć na pytanie, jakie symetrie ma owa teoria mieć oraz czy i jak są one naruszone – idąc drogą, przy wyznaczaniu której tak ważną rolę odegrali laureaci ostatniej nagrody. A w fazie uruchamiania Wielkiego Zderzacza Hadronów (*Large Hadron Collider*, LHC) w CERN-ie, bezprecedensowego w swej skali przedsięwzięcia naukowego, którego jednym z celów jest doświadczalne badanie, jak naruszona jest symetria elektrosłaba Modelu Standardowego, wybór Komitetu Noblowskiego dostarcza pouczającej wskazówki. Pokazuje on, że fizyka teoretyczna nie tylko stanowi narzędzie opisywania i porządkowania istniejących danych doświadczalnych, ale potrafi także rzucić snop światła w mrok niewiedzy, wiodąc do spektakularnych odkryć. Tych zarówno Czytelnikom *Delty*, jak i zaangażowanym w LHC naukowcom życzę jak najwięcej w nadchodzącym roku.

Krzysztof TURZYŃSKI