

## Nobel za oscylacje neutrin

Takaaki Kajita i Arthur B. McDonald podzielili się tegoroczną Nagrodą Nobla z fizyki przyznaną im „za odkrycie oscylacji neutrin, wskazujących na niezerową masę tych cząstek”.

Nagrodzone prace zostały opublikowane w lecie 1998 roku (zespół Super-Kamiokande [1], udokumentowanie oscylacji tzw. neutrin atmosferycznych; *Delta* 9/1998 i 2/1999) oraz na wiosnę roku 2002 (zespół SNO [2], rozstrzygający dowód istnienia oscylacji tzw. neutrin słonecznych; *Delta* 7/2002). W tym samym 2002 roku przyznano pół Nagrody Nobla z fizyki właśnie fizyce neutrin; *Delta* 1/2003, co sugerowało, że praca [2] nie była bez wpływu na decyzję Komitetu Noblowskiego, choć akurat zespół SNO był jednym z „wielkich pominiętych”. Oficjalnie ta połówka nagrody została przyznana jedynie za „pionierski wkład w astrofizykę, w szczególności za odkrycie neutrin pochodzących z kosmosu”. W rezultacie samo brzmienie tego werdyktu można było uznać za „wzięte z kosmosu”. Chociażby dlatego, że nie nagrodzono wtedy Johna N. Bahcalla, który był głównym autorem rozwijanego przez lata modelu Słońca, nieustannie wskazującego na deficyt neutrin słonecznych, a tym samym wniósł coś istotnego nie tylko do fizyki neutrin, ale również do astrofizyki.

Neutrino są najslabiej oddziałującą formą znanej materii. Od ponad pół wieku zbierane są doświadczalne dowody ich oscylacji, które zachodzą dzięki temu, że stany własne oddziaływania (czyli rodzaje: elektronowy, mionowy oraz taonowy) mogą być (i są) różne od stanów masowych (numerowanych 1, 2 i 3). Powstając, neutrino ma określony rodzaj, ale jest mieszkanką stanów masowych, z których każdy ma inną prędkość fazową, więc neutrino zmieniają swój skład rodzajowy w trakcie lotu.

Jako pierwsza przekonująco udokumentowana została oscylacja tzw. neutrin atmosferycznych, powstających w wyniku oddziaływania promieniowania kosmicznego z atmosferą Ziemi. Produkowanych powinno być dwa razy tyle neutrin mionowych co elektronowych (w rozpadach kaskadowych produkowane są najpierw miony wraz z neutrinem mionowym, a następnie mion rozpada się na elektron, neutrino mionowe i elektronowe), a rejestrowano ich mniej więcej tyle samo.

Decydującego dowodu dostarczyło Super-Kamiokande [1], umieszczony kilometr pod ziemią cylinder wypełniony 50 tysiącami metrów sześciennych bardzo czystej wody i obłożony kilkunastoma tysiącami gigantycznych fotopowielaczy, które rejestrują promieniowanie Czerenkowa pochodzące od naładowanych cząstek poruszających się z prędkością większą od prędkości światła w wodzie. Super-Kamiokande potrafi odróżnić miony od elektronów, a więc przypadki oddziaływań neutrin mionowych od indukowanych przez neutrino elektronowe, szacować energię neutrin oraz w przybliżeniu określać kierunek, z którego nadleciały. Dzięki temu można było pokazać, że cały niedobór przypada na te atmosferyczne neutrino mionowe, które przylatują

od spodu, a produkowane są po drugiej stronie Ziemi. W porównaniu do tych nadlatujących z góry mają wystarczająco dużo czasu, żeby w wyniku oscylacji zamienić się (w znacznej mierze) w neutrino taonowe, które nie może oddziaływać z materią detektora, produkując obserwowalny taon, bo jego masa jest zbyt duża.

Drugą część tegorocznej nagrody przyznano za rozwiązanie zagadki tzw. neutrin słonecznych. Ostatecznego dowodu na rzecz oscylacji dostarczył eksperyment SNO (Sudbury Neutrino Observatory), który działał (1999–2006) dwa kilometry pod ziemią w zarządzanej przez firmę INCO kopalni Creighton niedaleko Sudbury w Ontario (obecnie jest to ośrodek SNOLAB). Detektor wykorzystywał okrągły zbiornik o średnicy 12 metrów napełniony ultraczystą ciężką wodą D<sub>2</sub>O. Zbiornik ten był obłożony prawie tysiącem fotopowielaczy, a całość zamurzona w ultraczystej zwykłej wodzie H<sub>2</sub>O. Fotopowielacze rejestrowały promieniowanie Czerenkowa tak jak w Super-Kamiokande. Wykorzystanie wypożyczonej przez Kanadę ciężkiej wody pozwalało jednak na rejestrację reakcji  $\nu_x + d \rightarrow p + n + \nu_x$ , inicjowanej przez neutrino słoneczne pochodzące z przejścia  ${}^8\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be} + e^+ + \nu_e$ , która równie skutecznie wykrywa wszystkie trzy rodzaje neutrin, w odróżnieniu od wcześniejszych eksperymentów wrażliwych (przy tak małych energiach neutrin) prawie wyłącznie na neutrino elektronowe. Dlatego SNO mogło zmierzyć [2] całkowity strumień neutrin pochodzących z rozpadu boru, a nie tylko strumień docierający w postaci neutrin elektronowych. Okazało się, że brakujące od lat neutrino elektronowe odnalazły się (w zmienionej postaci) wśród pozostałych typów neutrin.

Nagrodzony Artur McDonald kierował SNO od 1990 roku, natomiast Takaaki Kajita był odpowiedzialny za analizę opublikowaną jako [1]. Wśród 121 jej autorów jest jedna (i tylko jedna) osoba z europejską afiliacją – Danuta Kielczewska z Uniwersytetu Warszawskiego. Jej zaangażowanie w eksperymenty neutrinowe z czasem zaowocowało powstaniem prężnie działającej grupy kilkudziesięciu polskich fizyków pracujących w kilku naszych ośrodkach naukowych i uczestniczących w większości współczesnych eksperymentów neutrinowych.

W samej publikacji [1] nie ma wzmianki o roli pełnionej przez laureata tegorocznej nagrody. Komitet Noblowski przytacza jego referat z 1998 roku, w którym wyniki tej analizy zostały przedstawione po raz pierwszy. Ten precedens może się nam (eksperymentatorom fizyki cząstek) przydać. Już nikt nie będzie mógł twierdzić, że publikacja w materiałach konferencyjnych (praktycznie jedyny dla nas sposób na prezentację wyników doświadczalnych bez litanii współautorów) nie ma żadnego znaczenia.

Piotr ZALEWSKI

[1] Y. Fukuda *et al.*, *Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos*, Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 1562.

[2] Q.R. Ahmad *et al.*, *Direct evidence for neutrino flavor transformation from neutral current interactions in the Sudbury Neutrino Observatory*, Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 011301.