

## Aktualności (nie tylko) fizyczne

Trzy miesiące temu poznaliśmy przekonujące dowody istnienia nowego składnika masy Wszechświata. W dniu 5 czerwca, na konferencji Neutrino'98, odbywającej się w Takayamie w Japonii, zespół naukowców eksperymentu Super-Kamiokande ogłosił, że widzi oscylacje atmosferycznych neutrino mionowych. Implikuje to masywność przynajmniej jednego rodzaju neutrino. Odkrycie to może zostać uznane za najważniejsze wydarzenie w fizyce cząstek elementarnych od czasu odkrycia bozonów pośredniczących  $W^\pm$  i  $Z^0$ .

Neutrino wymyślił Wolfgang Pauli dla ratowania zasad zachowania energii, pędu i momentu pędu w jądrowych rozpadach  $\beta$ . Aby spełnić pokładane w nim nadzieje, neutrino musiało być neutralne, praktycznie nie oddziałujące z materią i bardzo lekkie lub wręcz bezmasowe. Ze względu na dwie pierwsze cechy wydawało się niemożliwe do zarejestrowania. Niels Bohr założył się nawet z Paulim, że nigdy nie dojdzie do odkrycia neutrino. A jednak udało się to Frederickowi Reinesowi i Clyde'owi Cowanowi w 1957 r., czyli po prawie 30 latach. Cztery dekady później Reines dostał za swoje odkrycie Nagrodę Nobla. Cowan, niestety, nie dożył tego momentu. Wcześniej, bo w 1988 roku, zaproszono do Sztokholmu Leona Ledermana, Melvina Schwartz'a i Jacka Steinbergera, którym udało się w 1962 roku wykazać, że neutrino elektronowe i mionowe to dwie różne cząstki. Trzeciego neutrino, taonowego, jak dotąd bezpośrednio nie zarejestrowano, ale precyzyjny pomiar szerokości bozonu pośredniczącego  $Z^0$ , przeprowadzony w LEP-ie na początku lat dziewięćdziesiątych, pozwolił stwierdzić, że są dokładnie 3 rodzaje lekkich (bezmasy) neutrino.

W międzyczasie rozpoczęto poszukiwania rozpadu protonu, przewidywanego przez tzw. teorie wielkiej unifikacji oddziaływań mikroświata. Tłem dla takich poszukiwań są oddziaływania neutrino z materią. Dwoma głównymi, naturalnymi źródłami neutrino prześwietlających Ziemię są: reakcje jądrowe wewnątrz Słońca produkujące neutrino elektronowe, tzw. *neutrino słoneczne*, oraz rozpady cząstek wtórnych powstających w wyniku oddziaływania promieniowania kosmicznego z naszą atmosferą, tzw. *neutrino atmosferyczne*.

Rozpadu protonu jeszcze nie udało się zoobserwować. Za to badanie neutrino tła okazało się niezwykle interesujące samo w sobie. Jego historia jest zdominowana przez doniesienia o niedoborze neutrino. Po pierwsze, obserwuje się tylko połowę spodziewanych neutrino słonecznych. Po drugie, wśród neutrino atmosferycznych powinno być dwa razy tyle neutrino mionowych co elektronowych (w rozpadach kaskadowych produkowane są najpierw miony wraz z neutrino mionowym, a następnie mion rozpada się na elektron, neutrino mionowe i elektronowe), lecz rejestruje się ich mniej więcej tyle samo.

Generalnie są dwa możliwe wyjaśnienia tych obserwacji. Albo nie w pełni rozumiemy procesy produkcji i detekcji neutrino, albo neutrino oscylują. Od dawna fizycy zajmujący się łapaniem neutrino skłaniają się ku tej drugiej możliwości, ale dopiero teraz udało im się na tyle poprawić możliwości detekcyjne, aby w przypadku neutrino atmosferycznych praktycznie wykluczyć rozwiązanie inne niż oscylacje.

Co to znaczy, że neutrino oscylują i dlaczego w ten sposób można wytłumaczyć ich niedobór? W minimalnym modelu standardowym cząstek elementarnych neutrino są bezmasowe, ale tylko dlatego, że wcześniej nie udało się stwierdzić, aby miały masę różną od zera. Jeżeli ją mają, to mogą się „mieszać”. Oznaczałoby to, że neutrino elektronowe, mionowe i taonowe nie mają określonej masy, ale są mieszkankami trzech różniących się masą stanów. Jeżeli ograniczymy się do dwóch rodzajów neutrino, to możemy przywołać analogię z polaryzacją światła. Rodzajowi neutrino za względu na oddziaływanie odpowiadałyby wtedy polaryzacje: pionowa i pozioma, a stanom własnym masy – polaryzacje: lewo i prawoskrętna. Różnicy mas natomiast odpowiadałby ośrodek optyczny czynny, w którym – ze względu na różnicę prędkości propagacji fal o polaryzacjach lewo i prawoskrętnej – następuje skręcenie płaszczyzny polaryzacji o kąt proporcjonalny do iloczynu przebytej w ośrodku drogi i różnicy prędkości propagacji. Tak jak dobierając odpowiednio grubość ośrodka, można zamienić światło spolaryzowane poziomo na spolaryzowane pionowo, tak po przebyciu pewnej drogi strumień neutrino mionowych może zamienić się np. na strumień neutrino taonowych.

Taka właśnie możliwość okazuje się najlepiej pasować do obserwowanego niedoboru atmosferycznych neutrino mionowych rejestrowanych przez Super-Kamiokande, najbardziej czuły detektor neutrinoowy. Jest to umieszczony kilometr pod powierzchnią Ziemi cylinder, wypełniony 50 tysiącami metrów sześciennych bardzo czystej wody i obłożony kilkunastoma tysiącami gigantycznych fotopowielaczy (większość o średnicy 50 cm), które rejestrują promieniowanie Czerenkowa, pochodzące od naładowanych cząstek, poruszających się z prędkością większą od prędkości światła w wodzie (efekt Czerenkowa jest analogiem fali ponaddzwiękowej). Super-Kamiokande potrafi odróżniać miony od elektronów, a więc przypadki oddziaływań neutrino mionowych od indukowanych przez neutrino elektronowe, szacować energię neutrino oraz kierunek, z którego nadleciały. Dzięki temu można było wykazać, 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 neutrino nie oddziałujące z materią detektora. Może to być neutrino taonowe, którego niechęć do oddziaływania wynika z dużej masy koniecznej do wyprodukowania taonu, albo postulowane przez niektóre modele tzw. *neutrino sterylne*.

Tak czy inaczej, fakt obserwowania oscylacji implikuje różnicę mas, wynoszącą około  $0,07 \text{ eV}/c^2$ , między neutrino mionowym a tym, z którym się ono miesza. W takim razie przynajmniej jedno neutrino ma masę rzędu zmierzonej różnicy lub większą, a ponieważ w początkach Wszechświata neutrino były bardzo intensywnie produkowane, więc stanowią obecnie znaczącą część jego masy.

Piotr ZALEWSKI

Więcej informacji na ten intrygujący temat nasi Czytelnicy będą mogli znaleźć w jednym z pierwszych, przyszłorocznych numerów *Delty* w artykule Danki Kielczewskiej, naszej (Uniwersytetu Warszawskiego) przedstawicielki w eksperymencie Super-Kamiokande.