

## Znowu neutrino, czyli kto się myli?

W sierpniu zeszłego roku światowe media obiegrała informacja o „pokonaniu bariery prędkości światła”. Dowiedzieliśmy się, że teoria Einsteina została obalona, że podróże w czasie to tylko... kwestia czasu *etc.*

Wszystko za sprawą eksperymentu OPERA, który postanowił podzielić się ze światem naukowym (a przy okazji z mediami) zaobserwowaną anomalią. Według wstępnej analizy danych, zebranych w ciągu ostatnich trzech lat, neutrino mionowe wysyłane z CERN-u do odległego o 730 km (lotem kreta) LNGS (Laboratori Nazionali del Gran Sasso) przybywają o około 60 ns (z dokładnością do około 10 ns) wcześniej, niż gdyby poruszały się z prędkością światła w próżni. (Światło w ciągu 60 nanosekund przebywa 20 metrów).

Sam eksperyment OPERA oraz wiązka neutrin zostały zaprojektowane tak, by umożliwić bezpośrednią obserwację oscylacji neutrina mionowego w neutrino taonowe, czyli zaobserwowanie pojawienia się leptonu tau w detektorze OPERA, co się zresztą udało.

Choć o neutrinach wiemy coraz więcej, to nadal bardzo wiele pytań pozostaje bez odpowiedzi. W szczególności nadal nie wiadomo, jakie są masy neutrin. Znane są górne granice oraz różnice kwadratów mas (z oscylacji). Najbardziej obiecującym bezpośrednim sposobem na pomiar masy neutrina elektronowego jest obserwacja końca widma elektronowego z rozpadu trytu. Na podstawie pomiarów estymowany jest kwadrat masy neutrina i od wielu lat otrzymuje się wartości nieznacznie ujemne (nowy eksperyment, KATRIN, ma zacząć zbierać dane w 2012 roku), co z jednej strony stymuluje dyskusję na temat statystycznej interpretacji danych, a z drugiej strony pozwala na spekulacje o tachionowej naturze neutrin.

Pozornie OPERA właśnie potwierdziła, że neutrino mionowe są tachionami, czyli cząstkami poruszającymi się z nadświatłymi prędkościami. Zanim jednak przejdziemy do możliwych interpretacji wyniku, kilka zdań na temat samego pomiaru.

Pojęciowo jest on niezwykle prosty. Wystarczy zmierzyć odległość i czas. Kalibracja czasowa, z dokładnością do 1 ns, jest dokonywana w precyzyjnym trybie GPS, tzw. *common view* i oparta na uzgodnieniu wskazań dwóch zegarów atomowych: jednego znajdującego się w CERN-ie, a drugiego w Gran Sasso. Dokładny pomiar odległości wiązał się z kolei ze specjalnym programem geodezyjnym, który pozwolił na określenie względnego położenia z dokładnością do 2 cm. Przy okazji możliwe było zmierzenie pływu kontynentalnego masywu Gran Sasso oraz stwierdzenie jego przemieszczenia o kilka centymetrów podczas trzęsienia ziemi w okolicach miasta L'Aquila w 2009 roku. Amplituda zmian wywołanych płytami skorupy ziemskiej została oceniona na około centymetr.

Oba pomiary, odległości i synchronizacji, musiały jeszcze zostać przeniesione z powierzchni ziemi do, odpowiednio, tunelu wiązki w CERN-ie oraz kawerny znajdującej się obok tunelu autostradowego o długości 10 km. Ostatecznie dokładność pomiaru odległości wyniosła 20 metrów, a kalibracja czasowa dała dokładność kilku nanosekund.

To jednak jeszcze nie wszystko.

Wiązka neutrinowa jest produkowana przez przekierowanie wiązki protonowej z pierścienia SPS-u (który jest ostatnim stopniem przyspieszania protonów przed wstrzyknięciem do LHC) na kilkumetrowej długości tarczę grafitową, gdzie powstają, między innymi, miony, które są kierowane do kilkusetmetrowej rury rozpadowej i tam z nich powstaje wiązka neutrin. Ze względu na maksymalizację intensywności strumienia neutrin wybrano tryb pracy, w którym wiązka protonowa ma maksymalną długość, porównywalną z obwodem SPS-u. Jej przejście przez tarczę trwa 10  $\mu$ s i tyle samo trwa impuls neutrinowy. Za pomocą tak długiego impulsu OPER-ze udało się zmierzyć czas z dokładnością do nanosekund.

Oficjalne stanowisko OPER-y było takie, że wszystko, co udało się wymyślić, zostało sprawdzone, więc wynik powinien zostać przedstawiony społeczności naukowej do krytycznej oceny. Nie trzeba było na nią czekać. W ciągu trzech miesięcy pojawiło się ponad 1000 prac lub pisemnych opinii. Większość wskazywała na jakies potencjalne błędy lub pominięcia. W szczególności poddawana w wątpliwość była poprawność analizy statystycznej. Ten problem OPERA, wspólnie z CERN-em, postanowiła rozwiązać doświadczalnie. Została przygotowana specjalna wiązka z impulsami trwającymi tylko 3 ns, przy której zbierano dane przez dwa tygodnie. W listopadzie ukazała się uaktualniona analiza [1] (uwzględniająca nowe dane), która została wysłana do recenzowanego czasopisma (czyli zespół badawczy uznał ją za ostateczną). Wyniki uzyskane z wiązką impulsową okazały się zgodne, zarówno jeżeli chodzi o sam wynik, jak i jego dokładność (nawet lepszą pomimo tysiąckrotnie mniejszej liczby przypadków). Jednocześnie ewidentna stała się przyczyna limitująca dokładność statystyczną. Jest nią częstość taktowania elektroniki OPER-y wynosząca 20 MHz (czyli z krokiem 50 ns – właśnie taka jest długość prostokąta wyników z wiązki impulsowej).

Jak na razie, żadnego ewidentnego błędu analizy OPER-y nie znaleziono. Dlaczego więc społeczności naukowej trudno w nią uwierzyć? Po prostu zaskakujący wynik powinien zgadzać się z dostępnymi ograniczeniami. Wbrew opinii mediów istnienie tachionów wcale nie falsyfikuje rachunków prowadzonych w ramach teorii względności [2]. Spójność teorii z tachionami wymaga jednak istnienia wyróżnionego układu (co jest w sprzeczności z samą zasadą względności), ale nie da się tego stwierdzić doświadczalnie, dopóki posługujemy się obiektami o normalnej, a nie urojonej masie, które nigdy nie poruszają się z prędkościami nadświatłymi. A anomalia zmierzona przez OPER-ę jest zbyt duża, żeby takie tachiony mogły być neutrinami. Wynik nie zgadza się ze znanymi ograniczeniami na kwadrat masy neutrina mionowego [2].

Albo myli się OPERA, albo naprawdę czegoś nie rozumiemy.

Piotr ZALEWSKI

[1] T. Adam i inni, *Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam*, preprint wysłany do JHEP 17 listopada 2011 roku.

[2] J. Ciborowski, J. Rembieliński, *Comments on the recent velocity measurement of the muon neutrinos by the OPERA Collaboration*, arXiv:1109.5599.