

Fizycy znaleźli podpowiedź, jak szukać „ogólnej teorii wszystkiego”

Długo po tańcach w Zurichu

Po przeszło 40 latach rozwikłano w końcu zagadkę słonecznych neutrin. Potwierdzono, że neutrino – ten najciekawszy okaz w menażerii cząstek elementarnych – zmienia swą tożsamość w drodze ze Słońca na Ziemię. By móc to zrobić, musi – wbrew obowiązującej teorii – być obdarzone choćby niewielką masą. To zaś oznacza, że neutrino wnoszą swój udział do globalnego bilansu energii i grają pierwsze skrzypce w kosmicznej harmonii sfer. Wszechświat jest bowiem oceanem neutrin.

Stanisław Mrówczyński

Neutrino wielokrotnie dostarczało fizykom kłopotów – wymykało się obserwacji, zmuszało do odrzucenia oczywistych zdawałoby się prawd. Paradoksalnie jednak nie ma ono genealogii rewolucyjnej. Wymyślono je w 1930 r., aby ratować jedno z kardynalnych praw fizyki – zasadę zachowania energii. Z badań tzw. rozpadu beta jąder atomowych wynikało, że łączna energia produktów jest mniejsza po niż przed rozpadem. Wiedzano, że energia może zmieniać swoją formę. Czyżby jednak mogła zanikać lub rodzić się z niczego?

Wielki Niels Bohr był już gotów zaakceptować taką kwantową nowość, jednak Wolfgang Pauli znalazł remedium na „energetyczny kryzys”. Doszedł mianowicie do wniosku, że brakującą energię unosi cząstka, której nie jesteśmy w stanie zaobserwować. Swój pomysł sformułował w słynnym liście do fizyków zebranych w Tybindze, dokąd nie przyjechał „ze względu na odbywające się w Zurichu tańce”.

Neutrino znikomo słabo oddziałują z materią, przelatują przez nią, nie zostawiając żadnych niemal śladów. Z tego powodu przez ćwierć wieku nie udawało się zarejestrować tej cząstki-widma. Dopiero reaktory jądrowe – pierwsze zbudowano w latach drugiej wojny światowej – umożliwiły obserwację neutrin. Reakcją dzielenia jąder atomowych, jakie zachodzą w reaktorach, towarzyszy niezwykle obfita produkcja tych cząstek. W ciągu sekundy rodzi się ich 1020, czyli jedynka z 20 zerami. Dysponując tak potężnym źródłem neutrin, dwaj fizycy z Los Alamos – Frederick Reines i Clyde Cowan – przeprowadzili w 1956 r. rozstrzygający eksperyment. Ogromny detektor ustawiony przy reaktorze zarejestrował sygnały świadczące o obecności neutrin. O sukcesie powiadomiono telegraficznie Pauliego, który miał powiedzieć: „cierpliwi wygrywają”. Od napisania słynnego listu upłynęło wszak ponad ćwierć wieku. Frederick Reines otrzymał Nagrodę Nobla dopiero jesienią 1995 r. – czekał więc na swój dzień prawie cztery dekady. Clyde Cowan nie dożył tej chwili.

W gorącym wnętrzu Słońca zachodzą reakcje jądrowe prowadzące do powolnej przemiany wodoru w hel i powstawania cięższych pierwiastków. Reakcjom tym, dzięki którym otrzymujemy życiodajne ciepło, towarzyszy, podobnie jak procesom w ziemskich reaktorach, emisja neutrin. Jednak Słońce jest miliard razy wydajniejszym źródłem. W każdej sekundzie biliony słonecznych neutrin przecinają nasze ciało, nie czyniąc nam najmniejszej szkody.

W latach pięćdziesiątych zbudowano ogromny detektor, który umieszczono w kopalni złota w Południowej Dakocie, 1,5 km pod ziemią. Chodziło o odizolowanie się od wszelkich źródeł promieniowania. Detektor stanowiło 15 tys. litrów cieczy zawierającej chlor. Neutrino oddziałując z jądrem chloru powoduje jego przemianę w radioaktywne jądro argonu, które po pewnym czasie znów się rozpada dając jądro chloru. Rozpad ten można zarejestrować i tym samym stwierdzić obecność neutrin. Ze względu na fantastycznie małe prawdopodobieństwo wspomnianego procesu, udawało się zaobserwować w wielotonowym detektorze zaledwie jeden atom argonu raz na kilka dni. Teoretyczne obliczenia przewidywały większą liczbę takich rozpadów. Nie bardzo przejmowano się jednak rozbieżnością – eksperyment był niezwykle trudny, więc łatwo o pomyłkę. W ciągu czterdziestu lat podobne pomiary wielokrotnie powtarzano w wielu laboratoriach i za każdym razem rejestrowano mniej neutrin niż oczekiwano.

Początkowo znano tylko jeden typ neutrina. Obecnie rozróżniamy trzy rodzaje: elektronowe, mionowe i taonowe. Aby rozwiązać zagadkę słonecznych neutrin, Władimir Gribow i Bruno Pontecorvo sformułowali w 1968 r. przypuszczenie, że różne typy neutrin mieszają się wzajemnie, tzn. na przykład neutrino elektronowe zamienia się z upływem czasu na mionowe, by po pewnym czasie stać się znów elektronowym. Takie zachowanie nie jest bynajmniej rzadkością w świecie rządzonego przez mechanikę kwantową. A zatem część neutrin elektronowych emitowanych ze Słońca przekształcałoby się w drodze na Ziemię w neutrino mionowe lub taonowe, które tutaj nie byłyby już rejestrowane przez aparaturę nastawioną na neutrino elektronowe. Należy jednak podkreślić, że zgodnie z Modelem Standardowym, stanowiącym obowiązującą teorię mikroświata, neutrino, podobnie jak kwanty światła – fotony, są całkowicie bezmasowe. Wyklucza to zmianę jednych neutrin w drugie; mieszanie bowiem wymaga masy.

W miejscowości Kamioka, nieopodal Tokio, jest kopalnia rud metali kolorowych. Tutaj, na głębokości 1,5 km, umieszczono ogromny zbiornik doskonałej czystej wody. Ze ścian tego naczynia wpatruje się w wodę ponad 11 tys. wielkich oczu – fotopowielacze zdolnych zaobserwować błyski pochodzące od neutrin. To całe urządzenie – zbudowane za 100 mln dolarów detektor Super-Kamiokande – może rejestrować zarówno neutrino przybywające do nas ze Słońca, jak i te powstające w górnych warstwach atmosfery,

gdy wdzierają się tam kosmiczne promienie – rozpędzone cząstki, głównie protony, bombardujące naszą planetę ze wszystkich stron.

Neutrino atmosferyczne mają średnio dużo większą energię niż słoneczne i łatwiej je zarejestrować. Ziemia nie stanowi dla neutrin niemal żadnej przeszkody, można więc obserwować zarówno neutrino atmosferyczne, powstałe kilkanaście kilometrów nad Kamioką, jak i te, które przybyły z antypodów, po przelecień 13 tys. km na wskroś naszego globu. Szczegółowa analiza każdego neutrinowego błysku, których występuje nie więcej niż kilkanaście w ciągu doby, pozwala stwierdzić, czy mamy do czynienia z neutrinem elektronowym czy mionowym, z jakiego kierunku neutrino przyleciało i jaką miało energię. Pozwoliło to stwierdzić, że do detektora dociera niemal dwukrotnie więcej neutrin mionowych z góry niż z dołu. Prowadzi to natychmiast do wniosku, że część neutrin mionowych, lecących wzdłuż średnicy Ziemi, zamienia się po drodze w neutrino taonowe. W ten sposób potwierdzono w 1998 r. hipotezę mieszania neutrin, tyle że nie słonecznych, lecz atmosferycznych.

Drugi wielki detektor neutrin, znany jako SNO (Sudbury Neutrino Observatory), jest również ulokowany głęboko pod ziemią. Znajduje się w kopalni niklu w pobliżu Sudbury, w kanadyjskiej prowincji Ontario. Poza wielkim, podobnym do tego z Kamioki, zbiornikiem krystalicznie czystej wody detektor SNO uzupełnia mniejsza kula wypełniona tysiącem ton też wody, lecz tzw. ciężkiej, w której atomy zwykłego wodoru zastępuje deuter. Dzięki zwykłej wodzie można było określić liczbę neutrin słonecznych, nie rozróżniając ich typu. Natomiast ciężka woda pozwala stwierdzić, ile do nas dociera neutrin elektronowych. Prowadząc nieprzerwane pomiary od listopada 1999 do stycznia 2001 r., wyznaczono strumień neutrin elektronowych. Dla określenia zaś łącznego strumienia neutrin wykorzystano wyniki uzyskane w Super-Kamiokande. Znając te dwie liczby oraz wiedząc, że Słońce jest niemal wyłącznie źródłem neutrin elektronowych, można było stwierdzić i ogłosić 19 czerwca tego roku, że dwie trzecie tych cząstek zmienia swoją tożsamość w drodze na Ziemię.

Doniesienia z Kamioki i Sudbury mają również kapitalne znaczenie dla kosmologii. Odpowiedź na pytanie, czy Wszechświat będzie rozszerzał się w nieskończoność, czy też od pewnego momentu zacznie się kurczyć, zależy od gęstości wypełniającej go energii. Jej wielkość wciąż słabo znamy. Obserwacja wielu układów galaktycznych, szczególnie ruchu gwiazd wokół środków ciężkości galaktyk, podobnego do ruchu Ziemi dookoła Słońca, wskazuje, że poza energią zawartą w materii tworzącej gwiazdy istnieją jej inne nieświejące, a więc niewidoczne formy. „Ciemną” materię mogą tworzyć właśnie obdarzone masą neutrino, które, choć bardzo lekkie, występują w wielkiej, trudno wyobrażalnej liczbie. Wyniki eksperymentów Super-Kamiokande i SNO sugerują, że znaczną część masy ogromnego Wszechświata niosą właśnie te widmowe cząstki.

Autor jest fizykiem, pracuje w Instytucie Problemów Jądrowych w Warszawie i Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach.

Model Standardowy

Model Standardowy stanowi teorię najmniejszych struktur Wszechświata. W ciągu ostatnich lat poddano go wielorakim testom, za każdym razem stwierdzając doskonałą zgodność teorii i doświadczenia. Dopiero fizyka neutrin ujawniła poważniejszą rozbieżność. Model Standardowy dzieli najmniejsze obiekty na dwie grupy: cząstki materii i nośniki oddziaływań. Pierwszą tworzą trzy pary kwarków i trzy pary leptonów. Drugą, cząstki odpowiedzialne za występowanie w przyrodzie sił: znanych powszechnie elektromagnetycznych oraz działających tylko w mikroświecie tzw. słabych i silnych. Listę najmniejszych cegiełek Wszechświata zamyka niezobserwowana jeszcze tzw. cząstka Higgsa, która gwarantuje matematyczną spójność całego modelu.