

Polując na neutrino, czyli z pamiętnika fizyka

Dzień drugi

* Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Departament Badań Podstawowych,
Zakład Fizyki Wielkich Energii

Artykuł ten jest kontynuacją serii opisującej obserwacje wykonywane za pomocą detektora Kamiokande w Japonii. Pierwsza część ukazała się w numerze Δ_{25}^3 .

Joanna ZALIPSKA*

Zaczynam kolejny dzień w kopalni, w której znajduje się detektor Kamiokande. Jak na razie obchód zrobiony i nic się nie dzieje. Dane napływają, jest czas na pisanie.

Zacniemy od neutrino pochodzących ze Słońca. Oczywiście chcielibyśmy ich złapać jak najwięcej, żeby sprawdzić, czy liczba neutrino, które do nas docierają, jest zgodna z liczbą neutrino przewidzianą w standardowym modelu opisującym procesy zachodzące wewnątrz Słońca. Neutrino pochodzące ze Słońca mają różne energie. Nasz detektor niestety nie jest w stanie zaobserwować ich wszystkich. Jeśli neutrino elektronowe ma zbyt niską energię, to wybity w oddziaływaniu elektron ma za niski pęd, i nie emituje promieniowania Czerenkowa albo emituje go za mało, żebyśmy byli w stanie taki przypadek w detektorze zrekonstruować. Próg na rejestrację neutrino słonecznych wynosi obecnie około 4 MeV, czyli badamy tylko neutrino elektronowe, które mają energię powyżej tej wartości. Problem w tym, że aby mierzyć tak niskoenergetyczne neutrino, detektor musi być bardzo dokładnie dostrojony. Typowo tylko trzydzieści kilka fotopowielaczy spośród 11 tysięcy zarejestruje światło elektronu pochodzącego z neutrino o energii tak niskiej jak 4 MeV. Dlatego ważna jest precyzja pomiaru i rekonstrukcji. Tutaj z pomocą przychodzą pomiary kalibracyjne wykonywane przy użyciu akceleratora elektronów, które pozwalają nam dostroić detektor.

Jak dostrajany jest detektor Super-Kamiokande?

Rok temu brałam udział w takiej kalibracji. Z grupą około 10 osób, Japończyków, Amerykanów i Europejczyków, montowaliśmy system pomiarowy i zbieraliśmy dane. Jest to jedna z trudniejszych kalibracji, które wykonuje się przy detektorze Super-Kamiokande.



Zdjęcie z przygotowań do zbierania danych kalibracyjnych. Akcelerator znajduje się w bunkrze po prawej stronie. Na zdjęciu widać szarą rurę, którą przemieszczają elektrony. Zbiornik z wodą jest poniżej – naukowcy stoją na górnej pokrywie detektora Super-Kamiokande. Widoczna na zdjęciu zielona konstrukcja służy do przechowywania i wprowadzania pionowych rur do zbiornika

Do kalibracji wykorzystujemy akcelerator elektronów o energiach z przedziału od 4 MeV do 18 MeV. Takie elektrony wpuszczamy do rury, w której jest próżnia. Koniec rury umieszczony jest we wnętrzu zbiornika wodnego. W ten sposób elektrony dosłownie wstrzeliwane są do wnętrza detektora, co imituje oddziaływanie neutrino. Ponadto dokładnie znamy energię wstrzeliwanych elektronów (ponieważ sami je generujemy), co pozwala nam precyzyjnie przewidzieć, jakie elektrony powinny zostać zaobserwowane, a tym samym odpowiednio skalibrować detektor.

Wygenerowane przez nas elektrony emitują promieniowanie Czerenkowa, które rejestrowane jest przez fotopowielacze na ściankach zbiornika wody. Następnie programy rekonstrukcyjne znajdują pierścienie promieniowania pochodzące od elektronu oraz obliczają jego energię na podstawie ilości światła zarejestrowanego w detektorze. Dzięki temu, że znamy początkową energię elektronów, możemy dostroić nasze programy rekonstrukcyjne tak, aby uzyskać poprawny wynik.

Zaginione neutrino słoneczne...?

W wyniku wieloletnich badań wykazano, że neutrino mają pewną rzadką własność, a mianowicie oscylują, czyli zmieniają w czasie swoją tożsamość (na przykład z neutrino elektronowych na taonowe). Odkrycia tego dokonano przy użyciu detektora Super-Kamiokande. W czasie badań rejestrował on

Więcej o oscylacjach neutrino można przeczytać w Δ_{24}^{10} .

tylko około 46% słonecznych neutrin elektronowych z liczby przewidzianej przez standardowy model Słońca. Co oczywiście zaniepokoiło naukowców. W poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie, gdzie podziały się pozostałe neutrino elektronowe, przeprowadzono pomiary w innym detektorze: Sudbury Neutrino Observatory (SNO) znajdującym się w Kanadzie. Ten detektor jest w stanie rejestrować oddziaływania neutrin mionowych i taonowych ze Słońca. Okazało się, że brakujące neutrino elektronowe nie znikają, tylko zmieniają się w neutrino taonowe albo neutrino mionowe, zanim jeszcze opuszczą Słońce. Za to odkrycie w 2015 roku część Nagrody Nobla z fizyki przyznano Arthurowi McDonaladowi.

Neutrino atmosferyczne i ich przemiany

Drugą część Nagrody Nobla w 2015 roku otrzymał Takaaki Kajita za odkrycie oscylacji neutrin atmosferycznych w eksperymencie Super-Kamiokande. W atmosferze ziemskiej w wyniku oddziaływania promieniowania kosmicznego z atomami tlenu i azotu powstają neutrino mionowe i elektronowe. Te neutrino są również rejestrowane przez eksperyment Super-Kamiokande. Łatwo jest je odróżnić od neutrin słonecznych, ponieważ mają znacznie wyższą energię – od kilkunastu GeV do TeV. W detektorze rejestrujemy neutrino atmosferyczne przychodzące zarówno z nad detektora – po przejściu przez 1 kilometr góry, jak i te, które powstały po drugiej stronie kuli ziemskiej i przeniknęły przez całą średnicę Ziemi (oraz oczywiście neutrino pochodzące ze wszystkich innych stron wokół kuli ziemskiej). Zaobserwowano, że część neutrin mionowych, które przeszły przez kulę ziemską, znikają po drodze.

Po tym odkryciu przeprowadzono pierwszy eksperyment wykorzystujący wiązkę neutrin mionowych (K2K)

wyprodukowanych przy użyciu akceleratora (w laboratorium KEK w Japonii). Wiązkę tę wysyłano w kierunku odległego o 250 km detektora Super-Kamiokande. Okazało się, że neutrino mionowe po drodze przemieniały się w neutrino taonowe (oscylacje $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$).

Do odkrycia pozostała jeszcze jedna transformacja – neutrin mionowych w neutrino elektronowe. Zadanie to udało się zrealizować w ramach eksperymentu akceleratorowego T2K, prowadzonego obecnie dzięki współpracy dwóch laboratoriów. Intensywna wiązka neutrin mionowych jest produkowana w akceleratorze JPARC w Japonii i wysyłana do oddalonego o 295 km detektora Super-Kamiokande. W eksperymencie T2K potwierdzono pojawianie się neutrin elektronowych w wiązce neutrin mionowych, czyli oscylacje $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$.

Na tym jeszcze nie koniec, ale... zbliża się koniec dniówki w kopalni. Dzisiaj nie było tak spokojnie, jak się można było spodziewać na początku szychty. W pewnym momencie uruchomił się alarm wybuchu supernowej. Kiedy gwiazda umiera, zapada się grawitacyjnie i wybucha. Wtedy emitowane jest zarówno światło, jak i strumień niskoenergetycznych neutrin. Jak do tej pory, w detektorze neutrin zaobserwowano takie zdarzenie tylko raz, w 1987 roku. Jak łatwo się domyślić, po uruchomieniu się alarmu nasza ekscytacja sięgnęła zenitu. Czyżbyśmy mieli szczęście i w trakcie dzisiejszej szychty wybuchła kolejna supernowa w naszej Galaktyce?

Niestety... tym razem to tylko test. Poddano próbie naszą czujność, wywołując sztucznie alarm supernowej i sprawdzając, czy zareagujemy zgodnie z procedurami. Udało się, zaliczyliśmy test. I pozostaje nam nadal oczekiwać – na wybuch prawdziwej supernowej.



Szczęście z jelita

Nie od dziś wiadomo, że ćwiczenia fizyczne budują formę i poprawiają nastrój, zalecane są osobom narażonym na stres. Wiadomo także, że w ciągłym ruchu są (lub chcą być) dzieci. W zeszłym roku naukowcy z Szanghaju, Jing, Jia i Yang, w publikacji w „Neuroscience” sformułowali hipotezę, że aktywność fizyczna wspomaga prawidłowy rozwój mózgu we wczesnym dzieciństwie, a dzieje się tak dzięki serotoninie. Obserwując grupkę kilkulatków w parku, zastanawiam się, ilu z opiekunów zdaje sobie sprawę, że oto radosne brykanie jest tak naprawdę kształtowaniem funkcji poznawczych, rozwojem pamięci i tworzeniem społeczno-emocjonalnej podstawy rozwijającego się człowieka. W jaki sposób maleńka cząsteczka zwana „hormonem szczęścia” bierze w tym udział?

Autorzy publikacji zebrali wyniki z wielu artykułów naukowych i przedstawili kilka najważniejszych informacji wyjściowych. Po pierwsze aktywność fizyczna u dzieci korzystnie wpływa na ich rozwój: wzmacnia siłę mięśni, gęstość kości, poprawia wydolność krążeniowo-oddechową. Ale nie tylko. Ruch służy prawidłowemu rozwojowi kontroli emocji i procesów poznawczych: myślenia, uczenia się, pamięci i tzw. „funkcji wykonawczych”, czyli tego, jak na podstawie dostępnych informacji i wiedzy podejmować decyzje i określone działania. Nic zatem dziwnego, że WHO w 2019 roku wydało rekomendację, w której zaleca się, żeby dzieci między 3 a 4 rokiem życia minimum 3 godziny dziennie spędzały aktywnie fizycznie, w tym godzinę intensywnie.