

W obliczeniach był błąd

Słabo. Bardzo, bardzo słabo. Tak najogólniej można opisać oddziaływanie neutrin z materią. I to nie tylko dlatego, że te niemające ładunku elektrycznego i kolorowego cząstki „czują” obecność innych form materii wyłącznie za pomocą oddziaływań, które fizycy nazywają słabymi. Nazwa ta jest bowiem uzasadniona – prawdopodobieństwo oddziaływania neutrina z innymi cząstkami jest po prostu niezwykle małe.

W ciągu kilkudziesięciu lat badań nad neutrinami udało się stwierdzić, że ulegają one tzw. oscylacjom, tzn. podczas ruchu zmienia się względne prawdopodobieństwo, że w wyniku oddziaływania z cząstkami materii wytworzą one jeden z określonych leptonów: elektron, mion lub taon. Na tej podstawie udało się wyznaczyć różnice kwadratów mas neutrin oraz wspomniane wyżej prawdopodobieństwa. Ciągłe nieznanie pozostają pewne inne parametry. Nie wiadomo na przykład, czy antyneutrina oddziałują z materią w taki sam sposób co neutrina. Dlatego wciąż budowane są nowe, doskonalsze detektory neutrin, takie jak DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment) w USA i Hyper-Kamiokande w Japonii.

Ponieważ oddziaływanie neutrin z materią jest bardzo słabe, detektory neutrin są bardzo duże (i kosztowne). Zasada ich działania polega, w największym uproszczeniu, na obserwacji cząstek elementarnych, które powstają, gdy neutрино zderzy się z jednym z jąder atomowych materiału wypełniającego detektor. (W przypadku wypełnionego wodą Hyper-Kamiokande są to jądra wodoru i tlenu; DUNE zawiera ciekły argon.) Mierząc własności cząstek powstałych w takich zderzeniach, można określić, w szczególności, parametry ruchu padającego neutrina – jego energię i pęd. Jest to ważne m.in. dlatego, że zjawisko oscylacji neutrin zależy od energii oscylującego neutrina.

Aby jednak wiedzieć, jak energia oddziałującego neutrina przekłada się na odczyty detektora, należy go skalibrować, czyli przeanalizować jego odpowiedzi na docierającą do niego wiązkę neutrin o znanej energii. I tu pojawia się pewien problem. Neutrina są bowiem produkowane w rozpadach innych cząstek elementarnych. Rozpady zaś są procesami w dużej mierze przypadkowymi, co oznacza, że uzyskanie wiązki neutrin o dobrze określonej energii jest niezwykle trudne.

Naukowcy z zespołów e4v (electrons for neutrinos) i CLAS (CEBAF Large Acceptance Spectrometer, gdzie zagnieżdżony akronim oznacza Continuous Electron Beam Accelerator Facility) zauważyli jednak, że oddziaływania neutrin z jądrami atomowymi są stosunkowo podobne do oddziaływań elektronów. W Modelu Standardowym cząstek elementarnych neutrina i leptony są bowiem bardzo bliskimi kuzynami i – na ile można pominąć efekty wynikające z różnicy mas i faktu, że leptony mają ładunki elektryczne – oddziałują w taki sam sposób. Elektrony mogą być jednak produkowane w kontrolowany sposób, pozwalający na uzyskanie praktycznie monoenergetycznych wiązek tych cząstek.

Badacze przeanalizowali zatem wyniki doświadczalne rozpraszania elektronów na jądrami helu, węgla i żelaza pochodzące sprzed ponad 20 lat, a następnie porównali je z wynikami symulacji oddziaływań neutrin w detektorach. Okazało się, że symulacje pozostawiają wiele do życzenia, jeśli chodzi o dokładność określenia energii padającego neutrina. W przypadku węgla tylko w jednej trzeciej przypadków udało się określić energię z dokładnością do 5%. W przypadku żelaza było jeszcze gorzej – sukces osiągnął w mniej niż jednej czwartej przypadków.

Wynik ten oznacza jedno. Jeśli chcemy odkrywać wielkie tajemnice przyrody, musimy mieć do tego porządne narzędzia. Postęp w fizyce neutrin zależy dziś zatem w dużej mierze od porządnego opisu teoretycznego oddziaływań między neutrinami a jądrami atomowymi – obszaru badawczego, który nawet w świadomości fizyków cząstek elementarnych zajmował dotąd niezbyt poczesne miejsce...

Krzysztof TURZYŃSKI

