

Wieści z ciekłych pułapek na ciemną materię

Poszukiwanie cząstek ciemnej materii to chyba najlepiej doświadczalnie umotywowana droga wyjścia poza ramy Modelu Standardowego. Grawitacyjny wpływ ciemnej materii jest udokumentowany dla galaktyk, ich gromad, olbrzymich struktur kosmicznych i całego Wszechświata. Nie wiadomo, z czego ciemna materia się składa, ale możliwość, że są to słabo (lub bardzo słabo) oddziałujące cząstki jest na tyle atrakcyjna, że liczba eksperymentów służących ich poszukiwaniu stale rośnie.

Metody poszukiwania takich słabo oddziałujących cząstek są generalnie trzy: pośrednie, bezpośrednie i akceleratorowe. Wszystkie wykorzystują fakt, że oddziaływanie tych cząstek z materią, choć słabe, jest porównywalne do oddziaływania neutrin. W każdym przypadku rozpatruje się ten sam diagram Feynmana z dwiema cząstkami w stanie początkowym i dwiema w stanie końcowym. Za każdym razem inny jest tylko podział na pary.

Pośrednio poszukuje się produktów anihilacji dwóch cząstek ciemnej materii w dwie znane cząstki. Potencjalnymi źródłami są obszary o dużej gęstości ciemnej materii: centra Galaktyki oraz galaktyk satelitarnych. W akceleratorach postępujemy jakby na odwrót: zderzamy znane cząstki w nadziei wytworzenia pary cząstek ciemnej materii. Natomiast poszukiwania bezpośrednie to cierpliwe czekanie na rozproszenie cząstek ciemnej materii z galaktycznego halo na jakimś jądrze materii detektora. Tę możliwość zawdzięczamy ruchowi Układu Słonecznego względem tego halo.

W tej ostatniej odmianie polowania nastąpił kolejny skok jakościowy. Pierwsze wyniki [1] opublikował zespół XENON 1T, dysponujący największym detektorem ksenonowym. Konkretnie wykorzystywane są 3,2 tony tego skroplonego gazu zamkniętego w cylindrze, który jest zanurzony w dużo większym pojemniku wypełnionym wodą, a wszystko ukryto w jednej z jaskiń *Laboratori nazionali del Gran Sasso* wydrążonych obok autostradowego tunelu pod górą Gran Sasso właśnie.

Wykorzystywana do bezpośrednich poszukiwań jest tylko tona ksenonu tzw. objętości czynnej w samym środku, a reszta jest osłoną lub aktywnym obszarem wietującym np. promieniowanie kosmiczne. Jeszcze trudniej wyeliminować tło pochodzące od śladowej radioaktywności. Dlatego używane materiały muszą należeć do najbardziej czystych, co powoduje, że i tak bardzo drogi ksenon jest w tym przypadku jeszcze bardziej unikatowy.

W poszukiwaniach bezpośrednich powszechnie jest stosowanie dwóch niezależnych metod detekcji działających w koincydencji. W przypadku detektorów ksenonowych jest to pomiar scyntytacji wywołanych ruchem szturchniętego jądra oraz scyntytacji wywołane wzmocnieniem gazowym sygnału elektronowego. Sygnał powstaje dzięki temu, że cylinder jest jednocześnie tzw. komorą projekcji czasowej, czyli obszarem, w którym (pionowo skierowane) pole elektryczne kieruje elektrony jonizacji ku górze, gdzie warstwa ksenonu jest w postaci gazowej. Różnica czasu między sygnałami pozwala na ocenę głębokości, na jakiej zaszło oddziaływanie.

Opublikowane zostały wyniki 34 dni pracy detektora [1], czasowo przerwanej przez trzęsienie ziemi 18 stycznia tego roku. Wobec braku sygnału oddziaływania ciemnej materii minimalnie poprawiono ograniczenia na ich zaobserwowanie, co przekonuje o zdolności do istotnego ich poprawienia za pomocą danych, które już na nowo są zbierane.

Okazuje się jednak, że w wyścigu liczy się nie tylko gigantomania, ale również spryt. Ciekawym detektorem jest PICO-60, w którym używa się mniej niż 60 kg C_3F_8 . Jest to eksperyment zlokalizowany w podziemnym laboratorium SNOLAB w Sudbury (Ontario, Kanada), a wykorzystujący na nowo odkrytą technikę komory pęcherzykowej, zarzuconej jakieś 30 lat temu na rzecz elektronicznie odczytywanych detektorów.

Technikę tę w ciągu kilkunastu lat doprowadzono do stanu pozwalającego na rejestracje pojedynczych pęcherzyków, które nie tylko się fotografuje, ale również wsłuchuje w dźwięk towarzyszący ich powstawaniu. Zaawansowane metody statystyczne pozwalają na odróżnienie sygnału od tła. Wszystko razem powoduje, że detektor jest zadziwiająco czuły. Dodatkowo dzięki obecności fluoru o dużej wartości spinu jest szczególnie wrażliwy na tzw. zależne od spinu oddziaływanie cząstek materii i w tej dziedzinie ustanawia najlepsze ograniczenia [2].

Piotr ZALEWSKI

[1] XENON Collaboration, *First Dark Matter Search Results from the XENON1T Experiment*, arXiv:1705.06655v2

[2] PICO Collaboration, *Dark Matter Search Results from the PICO-60 C_3F_8 Bubble Chamber*, arXiv:1702.07666v2