

Obok fotonów neutrino są najbardziej rozpowszechnionymi cząstkami we Wszechświecie. Ze względu na niezwykle słabe oddziaływanie z materią często określa się je mianem „cząstek-duchów”. Znikoma masa neutrin ma też bardzo ważne konsekwencje dla struktury Wszechświata oraz wybuchów Supernowych. Jednakże najważniejszą i najbardziej zadziwiającą tezę na ich temat wysunął w latach trzydziestych ubiegłego wieku włoski fizyk Ettore Majorana, który twierdził, że w przeciwieństwie do wszystkich innych cząstek elementarnych, neutrino może być swoją własną antycząstką.

To czy neutrino jest cząstką Majorany czy Diraca rozstrzygnąć można poprzez badanie podwójnego rozpadu beta. Zachodzić on może z emisją neutrin ($2\nu\beta\beta$), co jest zgodne z Modelem Standardowym, ale rozważa się także rozpad bezneutrinowy ($0\nu\beta\beta$). W tym drugim przypadku neutrino musiałoby być cząstką Majorany. W klasycznym rozpadzie beta neutron znajdujący się w jądrze atomowym rozpada się na proton, któremu towarzyszy elektron i antyneutrino elektronowe. Jednak dla niektórych izotopów rozpad beta jądra nie może zajść ze względu na zasadę zachowania energii. Mimo to równoczesna konwersja dwóch neutronów jest możliwa i proces taki został zarejestrowany dla dziesięciu izotopów: ^{48}Ca , ^{76}Ge , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{128}Te , ^{130}Te , ^{136}Xe i ^{150}Nd . Pomiary wykonano z bardzo dużą precyzją, wyznaczając czasy połowicznego zaniku ze względu na rozpad z emisją dwóch neutrin, na poziomie 10^{21} lat (dla ^{128}Te szacunki dają 10^{24} lat). Jest to okres czasu ponad 100 miliardów razy dłuższy od wieku Wszechświata. Jest to więc jeden z najrzadszych rozpadów, jaki kiedykolwiek zaobserwowano. Jeżeli neutrino byłoby cząstką Majorany, powinien zachodzić także podwójny rozpad bezneutrinowy, z jeszcze mniejszym prawdopodobieństwem. Jest on możliwy tylko wtedy, gdy neutrino i antyneutrino są cząstkami identycznymi. Poszukiwanie igły w stogu siana jest dziecinną zabawą w porównaniu z detekcją podwójnego rozpadu beta, głównie ze względu na wszechobecną naturalną promieniotwórczość – rozpady naturalnych radioizotopów są ponad miliard razy częstsze. Dlatego też stosowane detektory wraz z otaczającymi je materiałami konstrukcyjnymi muszą być bardzo starannie wyselekcjonowane. Rejestracja niezwykle rzadkich procesów wymaga ponadto zastosowania wyrafinowanych technik analizy danych, które pozwalają na wyeliminowanie zaburzających pomiar sygnałów pochodzących np. od promieniowania kosmicznego czy też pochodzących od lokalnego promieniowania.

Przykładowo, w przypadku czasu połowicznego zaniku izotopu ^{76}Ge dla rozpadu bezneutrinowego na poziomie 10^{27} lat w detektorze o masie 100 kg oczekiwalibyśmy jednego rozpadu na rok. Biorąc pod uwagę naturalną promieniotwórczość np. wody mineralnej, która wynosi ok 1 Bq/kg, dla 100 kg otrzymujemy około 3×10^9 rozpadów na rok. Wynika stąd od razu, że detektor musi być wykonany z materiału o niezwykle wysokiej radio-czystości (o 10 rzędów wielkości mniejszej w stosunku do normalnej materii). Uzyskanie odpowiednio niskiej radioaktywności materiałów, które wykorzystywane są do budowy detektorów podwójnego bezneutrinowego rozpadu beta, jest jednym z najtrudniejszych zadań. W przypadku eksperymentu LEGEND, przynajmniej w jego pierwszej fazie realizacji z 200 kg ^{enr}Ge , detektory germanowe umieszczone zostaną w ogromnym zbiorniku wypełnionym ultra-czystym ciekłym argonem, który służyć będzie jako osłona pasywna oraz aktywna. Kriostat z detektorami będzie z kolei zanurzony w zbiorniku wypełnionym ultra-czystą wodą. Taka konstrukcja, plus podziemna lokalizacja (laboratorium podziemne narodowego Instytutu Badań Jądrowych w Gran Sasso we Włoszech), powinna przyczynić się do zminimalizowania liczby sygnałów, które generować może promieniowanie kosmiczne lub lokalna radioaktywność.

Prezentowany projekt dotyczy realizacji szeregu zadań badawczych mających na celu zwiększenie czułości poszukiwań podwójnego bezneutrinowego rozpadu beta dla izotopu ^{76}Ge . Rejestracja $0\nu\beta\beta$ jest głównym celem eksperymentu nowej generacji LEGEND. W projekcie tym masa wzbogaconego germanu wysokiej czystości, w postaci detektorów HPGe, wynosić będzie od kilkuset kg do jednej tony. Ultra-niskie tło pozwoli mierzyć czasy połowicznego zaniku ^{76}Ge rzędu 10^{28} lat.

Zespół LEGEND rozpoczął swoje oficjalne działanie w październiku 2016. Jest to projekt międzynarodowy, zrzeszający naukowców z instytutów badawczych i uniwersytetów z Europy, Ameryki Północnej i Chin. Grupa z Uniwersytetu Jagiellońskiego, która bierze udział w tym przedsięwzięciu, jest jedyną polską grupą zajmującą się doświadczalnym poszukiwaniem podwójnego bezneutrinowego rozpadu beta (partycypując także w eksperymencie GERDA).