

Poszukiwanie ciemnej materii przy pomocy detektorów ciekło-argonowych

Zagadka ciemnej materii. Większość materii we Wszechświecie to tzw. ciemna materia, która stanowi 23% gęstości energii (podczas gdy zwykła materia stanowi zaledwie 4,6%, a pozostałą część przypisuje się ciemnej energii). Jednak natura ciemnej materii pozostaje wciąż nieznaną, a jej pochodzenie jest obecnie jednym z najważniejszych pytań w fizyce. Według faworyzowanej obecnie hipotezy ciemna materia składa się z WIMP-ów, słabo oddziałujących masywnych cząstek, które do tej pory nie zostały wykryte. Bezpośrednie wykrycie cząstki ciemnej materii byłoby wyraźnym dowodem nowej fizyki wykraczającej poza Model Standardowy fizyki cząstek elementarnych, znacznie przyczyniłoby się do naszego zrozumienia Wszechświata, podstawowych praw fizyki i poprowadziłoby społeczność naukową w kierunku pełniejszej teorii.

Bezpośrednie poszukiwania ciemnej materii. Poszukiwania oddziaływań WIMP ze zwykłą materią prowadzone są za pomocą dużych detektorów znajdujących się w podziemnych laboratoriach (takich jak SNOLAB w Kanadzie czy Gran Sasso we Włoszech), w celu stłumienia tła przed promieniowaniem kosmicznym. Najbardziej obiecująca obecnie technologia opiera się na wykorzystaniu dużej oprzyrządowanej masy ciekłego argonu lub ksenonu jako tarczy w detektorze. WIMPy można wykryć, ponieważ mogą wywoływać scyntylację (emisję światła) i jonizację (uwolnienie ładunku elektrycznego) podczas przechodzenia przez m.in. ciekły argon.

Biorąc pod uwagę zalety ciekłego argonu, cztery główne eksperymenty połączyły się w ramach globalnej współpracy, aby kontynuować pomiary przy pomocy detektora DEAP-3600 z 3,3 tonami ciekłego argonu (w laboratorium SNOLAB w Kanadzie) i zbudować detektor DarkSide-20k (w Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Włochy), do 2026 r. Ostatecznym celem jest następnie zbudowanie ARGO, 400-tonowego detektora Global Argon Dark Matter Collaboration (GADMC), który osiągnie najwyższą czułość na ciężkie cząstki WIMP, co będzie jednak wymagało kluczowych prac badawczo-rozwojowych.

Zdarzenia wywołane przez naturalne źródła radioaktywności stanowią główne wyzwanie w detektorach ciemnej materii, ponieważ mogą naśladować oczekiwany sygnał z WIMP. Tła są usuwane za pomocą różnych metod sprzętowych i analitycznych, między innymi poprzez dyskryminację ze względu na kształt impulsu, która w sposób krytyczny zależy od liczby wykrytych fotonów.

Użycie większej niż dotychczas masy ciekłego argonu jest niezbędne do osiągnięcia pożądanej czułości i zwiększenia szans na przełomowe odkrycie. Wydajne zbieranie i detekcja światła wpływa bezpośrednio na czułość sygnału WIMP, a także poprawia możliwości odrzucania tła. Dlatego wydajniejsze zbieranie/wykrywanie światła argonowego po przeskalowaniu do bardzo dużych mas docelowych jest kluczowym wyzwaniem dla detektorów ciemnej materii nowej generacji. Zwiększenie skali istniejących rozwiązań w zakresie zbierania i wykrywania światła do tych bardzo dużych rozmiarów jest nietrywialnym zadaniem i istotnym technologicznym wąskim gardłem oraz głównym celem proponowanego tutaj programu badawczo-rozwojowego.

Cele projektu. Projekt ma na celu wniesienie kluczowego wkładu do programu eksperymentalnego GADMC poprzez: (i) analizę danych, poprawienie czułości o rząd wielkości, i nowe wyniki fizyczne z DEAP-3600, obecnie najczulszego działającego detektora na bazie ciekłego argonu, działającego w SNOLAB w Kanadzie (ii) budowa i uruchomienie detektora nowej generacji, DarkSide-20k, szczególnie w kontekście instalacji systemu zbierania światła i analizy dyskryminacji ze względu na kształt impulsów, oraz (iii) utworzenie unikalnego stanowiska do reprezentatywnej charakteryzacji materiałów optycznych w warunkach kriogenicznych, dla detektorów ciemnej materii i neutrin.

W przypadku ostatniego zadania, planowany system będzie wyposażony w pulsacyjne nanosekundowe źródło próżniowego światła ultrafioletowego (VUV) bliskie długości fali scyntylacji ciekłego argonu i umożliwi pomiary w temperaturze zbliżonej do temperatury ciekłego argonu. Znajdzie ono zastosowanie w kontroli jakości materiałów dla detektora DarkSide-20k, jak również w przyszłych pracach nad skalowalnym materiałem do konwersji VUV na światło widzialne.