

Dane dotyczące neutronowych przekrojów czynnych mają ważne znaczenie dla szerokiej gammy badań podstawowych i stosowanych fizyki jądrowej. W obszarze struktury jąder atomowych pomiary te pozwalają na badanie stanów wzbudzonych w pobliżu energii wiązania neutronu oraz na uzyskanie informacji na temat gęstości poziomów jądrowych, jądrowej energii separacji itp. W szczególności, dane neutronowe dotyczące reakcji jądrowych indukowanych przez neutrony mają istotne znaczenie w astrofizyce jądrowej dla zrozumienia szybkości produkcji ciężkich pierwiastków chemicznych we wszechświecie, która zachodzi głównie poprzez powolny i szybki proces wychwytu neutronów (następowany przez rozpad β) podczas różnych faz ewolucji gwiazdy. W obszarze technologii jądrowej, wznowione zainteresowanie produkcją energii jądrowej uruchomiło nowe badania skierowane na rozwój przyszłościowej generacji systemów zapewniających bezpieczne, czyste i możliwie oszczędne źródła energii. Motywacje te stanowiły podstawę dla budowy w CERN urządzenia n_TOF wykorzystującego metodę czasu przelotu neutronów.

Urządzenie n_TOF jest impulsowanym źródłem neutronów o widmie ciągłym, bazującym na reakcji spalacji. Neutrony są produkowane przez 20 GeV/c protony z Protonowego Synchrotronu (PS) CERN, uderzające w ołowiowy blok, otoczony warstwą wody pełniącą jednocześnie rolę chłodziwa i moderatora neutronów. Urządzenie n_TOF było uruchomione i oddane do użytku w 2001 roku osiągając założone parametry. PS w CERN może wygenerować wysoko intensywną wiązkę protonów, aż do $7 \cdot 10^{12}$ ppp (protonów na impuls) w kształcie krótkich (7 ns) impulsów, z małą częstotliwością (0,4 Hz). Duży strumień neutronów (ok. $2,1 \cdot 10^{15}$ n/impuls), niska częstotliwość impulsów i znakomita energetyczna rozdzielczość neutronów otwiera nowe możliwości dla pomiaru przekrojów czynnych z dużą dokładnością w zakresie energii neutronów od cieplnych do GeV, dla stabilnych i w szczególności dla radioaktywnych targetów. Od 2014 roku dostępna jest druga baza pomiarowa (EAR2) w odległości 20 m od spalacyjnej tarczy z pionowym kanałem. Nowe stanowisko pomiarowe z dużo wyższym strumieniem neutronów pozwala podjąć wyzwania dotyczące pomiarów z względnie krótko żyjącymi nuklidami, oferując unikalną możliwość nakierowaną na niektóre otwarte problemy w jądrowej astrofizyce. Współpraca n_TOF wykorzystuje kilka systemów detekcyjnych, specjalnie zaprojektowanych dla pomiarów przekrojów czynnych na reakcje (n,γ) , (n,f) i $(n, \text{cząstka naładowana})$. Przykładowo, w testowym pomiarze reakcji ${}^7\text{Be}(n,p)$ użyto teleskopu Si (z detektorami stripowymi) i elektronikę, zaprojektowanych i zbudowanych w Uniwersytecie Łódzkim.

Planujemy przeprowadzić kilka eksperymentów ważnych dla celów astrofizyki jądrowej. Proponujemy zmierzyć w kanale EAR2@n_TOF reakcję ${}^7\text{Be}(n,p){}^7\text{Li}$, która dotychczas była badana w ograniczonym przedziale energii neutronów i przy niskiej energetycznej rozdzielczości. Zaletą badania reakcji ${}^7\text{Be}(n,p)$ jest jej duży przekrój czynny, zaś wadą niska energia emitowanych protonów (Q reakcji wynosi 1,64 MeV), co powoduje trudności z oddzieleniem tła. Kłopot związany jest także z dostępnością próbki ${}^7\text{Be}$ o wysokiej czystości. Przewidywania teorii Pierwotnej Nukleosyntezy (PN) z powodzeniem odtwarzają obserwacje pierwotnej obfitości pierwiastków z wyjątkiem ${}^7\text{Li}$. Nuklid ten określony jest nadmiarowo o czynnik wyższy niż 3 – zwany „Kosmologicznym problemem ${}^7\text{Li}$ ”. W standardowej teorii PN, 95% pierwotnego ${}^7\text{Li}$ powstaje w wyniku rozpadu ${}^7\text{Be}$ poprzez wychwytywanie elektronu ($T_{1/2} = 53,2$ d) względnie późno po Wielkim Wybuchu, kiedy elektrony i jądra uległy rekombinacji tworząc atomy. Dlatego obfitość ${}^7\text{Li}$ jest zasadniczo określona przez produkcję i rozpad ${}^7\text{Li}$. W scenariuszu PN reakcje wywoływane przez neutrony na ${}^7\text{Be}$ również odgrywają rolę. Jednakże pomimo ich ważności w kontekście PN, niewiele jest eksperymentalnych danych dotyczących tych reakcji i są one niepewne.

Drugim przykładem jest reakcja ${}^{70}\text{Ge}(n,\gamma)$. Szczególna waga tej reakcji wynika z faktu, że ${}^{70}\text{Ge}$ jest „s-tylko” nuklidem, który nie może być wytworzony w procesie- r , ponieważ jest ekranowany po serii rozpadów β przebiegających z kierunku neutrono-nadmiarowego przez stabilny izobar ${}^{70}\text{Zn}$. „s-tylko” nuklidy ${}^{70}\text{Ge}$ produkowane w słabym procesie- s można wykorzystać do wydzielenia ważnych jego parametrów, takich między innymi jak średnia ekspozycja na neutrony (scałkowany strumień neutronów). Dane dotyczące ${}^{70}\text{Ge}$ rozciągają się do energii neutronów rzędu 200 keV, ale powyżej 10 keV nie ma informacji dotyczącej rezonansów neutronowych i dostępne są tylko uśrednione przekroje. Odległość między rezonansami w ${}^{70}\text{Ge}$ jest większa niż rozdzielczość energetyczna dla bazy EAR1, dlatego po raz pierwszy istnieje możliwość rozdzielenia rezonansów aż do energii kilkuset keV.

Proponujemy także przeprowadzić pomiary przekroju czynnego na reakcję (n,α) na lekkich jądrach. Dane dotyczące tej reakcji dla lekkich izotopów C, O, Ni F i B mają wielkie znaczenie praktyczne. Pierwiastki te w dużych ilościach znajdują się w rdzeniu reaktora jądrowego. Wspomniana reakcja wpływa na reaktywność reaktora i produkuje gaz, który może znacząco zmienić mechaniczną wytrzymałość materiałów konstrukcyjnych. Reakcja ta ma istotny wpływ na pochłanianą dawkę w tkankach biologicznych napromieniowanych szybkimi neutronami. Reakcja ${}^{10}\text{B}(n,\alpha)$ jest stosowana jako standardowa i dlatego każde jej uściślenie może prowadzić do przewartościowania danych pochodzących z wielu prac, w których była użyta jako standard. Poza tym, reakcja (n,α) dla wymienionych nuklidów, szczególnie dla energii neutronów większej niż 5 MeV, była niewystarczająco badana, co skutkuje dużą rozbieżnością istniejących danych doświadczalnych.