

Jądra atomowe to związane układy nukleonów, czyli protonów i neutronów, które przejawiają bogactwo zjawisk kwantowych. Do tej pory udało się odkryć około trzech tysięcy kombinacji, w których protony i neutrony tworzą związane układy. Jednak nawet po ponad 100 latach od odkrycia jądra atomowego, procesy w nim zachodzące wciąż skrywają wiele tajemnic. Do tej pory nie posiadamy spójnej teorii, która wyjaśniałaby różnorodne własności zbadanych nuklidów. Najlepszymi układami do testowania modeli opisujących strukturę jądrową, czyli weryfikowania naszego zrozumienia oddziaływań pomiędzy nukleonami, są jądra posiadające ekstremalne nadwyżki jednego ze składników. Niestety, eksperymentalna eksploracja jąder bardzo neutronowo-nadmiarowych lub protonowo-nadmiarowych jest utrudniona, gdyż są one wysoce niestabilne. Jednak to właśnie w badaniach takich nuklidów obserwuje się zdecydowanie najciekawsze efekty. Poznanie własności egzotycznych nuklidów jest kluczowe dla zrozumienia procesu nukleosyntezy, a więc wyjaśnienia w jaki sposób powstała otaczająca nas materia. Odtworzenie jego przebiegu i towarzyszących okoliczności astrofizycznych wymaga zaangażowania społeczności fizyków jądrowych, astrofizyków oraz astronomów.

Celem naszego projektu jest uzyskanie nowych eksperymentalnych informacji o rozpadach bardzo neutronowo-nadmiarowych izotopów indu, ^{134}In oraz ^{135}In ($Z = 49$), które posiadają odpowiednio aż 19 i 20 neutronów więcej niż najcięższy stabilny izotop tego pierwiastka. Te dwa jądra położone są na mapie nuklidów zaraz za powłoką $N = 82$, której szczególny charakter, nazywany magicznym, uwidoczniał się w dynamice astrofizycznego procesu syntezy pierwiastków na drodze szybkiego wychwytu neutronów (tzw. proces r). Proces ten odpowiada za powstanie około połowy jąder cięższych od żelaza podczas eksplozywnych zjawisk astrofizycznych – na przykład podczas połączenia się dwóch gwiazd neutronowych. Ścieżka procesu r przebiega przez sekwencję wielokrotnych wychwytyń neutronów, które są kontynuowane aż do momentu wystąpienia przemiany beta. Po jej zajściu zmienia się liczba atomowa jądra wychytującego neutrony i rozpoczyna się kolejna sekwencja wychwytyń dla następnego ciągu izotopów, ponownie przerwana przez rozpad beta itd. Poznanie własności przemian beta jąder neutronowo-nadmiarowych jest zatem niezbędne do modelowania przebiegu procesu r . W przypadku badanych izotopów indu, nadwyżka neutronów jest tak ekstremalna, że po przemianie beta mogą być emitowane neutrony opóźnione. Prawdopodobieństwo emisji jednego, dwóch lub większej liczby neutronów jest bardzo ważne dla ustalenia przebiegu astrofizycznego procesu r i zrozumienia jego konsekwencji. Ponadto, skłonność jądra do emisji kolejno kilku opóźnionych neutronów niesie cenną informację o jego strukturze.

Program badań zaproponowanych w projekcie jest ukierunkowany nie tylko na wyznaczenie istotnych astrofizycznie wielkości opisujących przemianę beta ^{135}In oraz ^{134}In , ale także na głębsze zrozumienie zjawisk kształtujących strukturę jąder zaangażowanych w te przemiany. Analiza promieniowania emitowanego w rozpadach badanych izotopów pozwoli nam zbadać stany wzbudzone w izotopach cyny ($Z = 50$), od ^{132}Sn do ^{135}Sn . Powłoki $Z = 50$ oraz $N = 82$ wykazują szczególne własności (są nazywane magicznymi), dzięki czemu badane nuklidy wyróżniają się prostą budową – adekwatną do opisu za pomocą modelu powłokowego jądra. Systematyczne badania izotopów cyny pozwolą wskazać czy, i jeśli tak to w jaki sposób, nadmiar neutronów prowadzi do zmiany efektywnych oddziaływań nukleon-nukleon. Zrozumienie struktury badanych jąder umożliwi przewidywanie własności izotopów, które są obecnie poza zasięgiem badań eksperymentalnych, a informacja o nich, choćby ekstrapolowana, jest istotna aby odtworzyć przebieg i zrozumieć konsekwencje astrofizycznego procesu r .

Dane eksperymentalne do realizacji projektu zostały zebrane w laboratorium CERN-ISOLDE, które jest jednym z wiodących ośrodków fizyki jądrowej w skali światowej. Badane izotopy indu zostały wyprodukowane w reakcji rozszczepienia jąder uranu. Wysokiej czystości wiązka jonów ^{135}In i ^{134}In została uzyskana dzięki zastosowaniu laserowego rezonansowego źródła jonów oraz separacji elektromagnetycznej.