

Jedną z fundamentalnych pytań w fizyce jądrowej jest sposób samoorganizacji materii jądra oraz zjawisk, które temu towarzyszą. Takie zagadnienia stały u podstaw tej dziedziny od jej narodzin. Jednak ostatecznym celem badań struktury jąder atomowych jest zbudowanie spójnej teorii, która opisuje wszystkie ich własności jednocześnie.

Jednym z celów badań struktury jąder atomowych jest stworzenie jednolitego opisu różnorodnych własności nuklidów. Cel ten, chociaż bardzo ambitny, jest możliwy do osiągnięcia. Wymaga jednak zgromadzenia jak największej ilości informacji o własnościach jąder, w tym jąder egzotycznych charakteryzujących się znacznym nadmiarem lub niedoborem neutronów w stosunku do izotopów trwałych. Badania najbardziej egzotycznych jąder atomowych mogą być prowadzone w najlepszych światowych laboratoriach, w których systemy akceleratorów i separatorów elektromagnetycznych umożliwiają wyprodukowanie i wydzielenie poszczególnych nuklidów. Ponadto, konieczne jest stosowanie i rozwijanie układów do wiadczenia (detektorów, układów elektronicznych) umożliwiających badanie własności wyprodukowanych jąder. Wyzwania napotymane w badaniach jąder egzotycznych wymagają stosowania najnowszych rozwiązań technicznych, jednocześnie stymulując rozwój nowych, innowacyjnych technologii.

Wiosna niestabilnych jąder na mapie nuklidów rozpada się na drodze przemiany beta. Jedną z najbardziej efektywnych metod uzyskiwania informacji o strukturze tych jąder jest badanie promieniowania gamma emitowanego po rozpadzie beta do stanów wzbudzonych jąder końcowych. Metoda ta znakomicie nadaje się do badania nuklidów niezbyt odległych od linii trwałości beta. Na granicach istnienia jąder atomowych zaczynają dominować inne procesy rozpadu. W miarę oddalania się od linii trwałości energia potrzebna do oderwania z jądra jednej lub wielu cząstek (protonu, neutronu, wielu protonów...) maleje, wzrasta natomiast energia rozpadu beta. Jeśli w rozpadzie beta zasilane są stany o energii wzbudzenia przekraczającej wartość energii progowej na emisję danej cząstki zostanie ona wyemitowana wygrywając konkurencję z rozpadem poprzez emisję kwantu gamma. Proces ten znany jest jako zjawisko emisji cząstek opóźnionych, charakteryzuje go emisja jednego lub więcej protonu lub neutronu. Badanie emiterów cząstek opóźnionych metodami tradycyjnej spektroskopii promieniowania gamma przestaje być użyteczne, lepszym sposobem uzyskania informacji o własnościach stanów wzbudzonych najbardziej egzotycznych nuklidów daje spektroskopia cząstek opóźnionych.

Niniejszy projekt przewiduje poszukiwanie i zbadanie własności bardzo egzotycznych kanałów rozpadu takich jak opóźniona emisja trzech protonów ( $3p$ ), protonu i cząstki alfa ( $\alpha$ ) oraz trytu ( $t$ ) w przemianach beta jąder  $^{27}\text{S}$ ,  $^{23}\text{Si}$  i  $^8\text{He}$ . Dotychczas rozpady  $3p$  i  $t$  zostały zaobserwowane jedynie w pojedynczych przypadkach, rozpad  $\alpha$  nie został jeszcze zaobserwowany.

W rzadkich przypadkach skrajnie egzotycznych jąder zaobserwowano ich spontaniczny rozpad poprzez emisję dwóch protonów. Zjawisko to nosi nazwę promieniotwórczości dwuprotonowej i jest najnowsze (odkryte w 2002 r.) zaobserwowane form transformacji jądrowej. Ten rodzaj promieniotwórczości może występować w przypadku jąder o parzystej liczbie protonów, w których emisja dwóch protonów nie wymaga dostarczenia do jądra energii a spontaniczna emisja jednego protonu nie jest energetycznie możliwa. Promieniotwórczość dwuprotonowa zaobserwowano dotychczas jedynie dla trzech nuklidów:  $^{45}\text{Fe}$ ,  $^{48}\text{Ni}$  i  $^{54}\text{Zn}$ . W przypadku dwóch ostatnich izotopów zaobserwowano rozpad jedynie kilku jąder. Aby lepiej poznać mechanizm rozpadu oraz wyciągnąć wnioski dotyczące własności rozpadających się jąder konieczne są bardziej szczegółowe badania rozpadu  $2p$ . Interesujące informacje można uzyskać mierząc podział dostępną w rozpadzie energii pomiędzy emitowane cząstki oraz badając korelację kątową emitowanych protonów.

Celem niniejszego projektu jest zbadanie promieniotwórczości dwuprotonowej  $^{54}\text{Zn}$ . Postęp w możliwościach wytwarzania wiązek radioaktywnych pozwala obecnie na wyprodukowanie takiej ilości jąder  $^{54}\text{Zn}$ , która umożliwia zbadanie rozpadu  $2p$  tego izotopu ze statystyką umożliwiającą dokonywanie miarodajnych porównań z różnymi modelami teoretycznymi opisującymi przebieg tego procesu. W badaniach planowanych w niniejszym projekcie wykorzystany zostanie nowatorski detektor OTPC (z ang. *Optical Time Projection Chamber*) umożliwiający pomiar energii i trójwymiarową rekonstrukcję torów cząstek naładowanych emitowanych w przemianach jądrowych. Objętość czynnika detektora stanowi obszar wypełniony gazem, w którym wytworzono stałe, jednorodne pole elektryczne. Jądra egzotycznych nuklidów będą zatrzymywane w objętości czynnej detektora, gdzie ulegną przemianom promieniotwórczym. Emitowane w rozpadach cząstki naładowane jonizują gaz wzdłuż swoich torów. Uwolnione w procesie jonizacji elektrony dryfują wzdłuż linii pola elektrycznego w kierunku obszaru silnego pola elektrycznego, gdzie następuje wzmocnienie ładunku. Procesowi temu towarzyszy emisja światła, które będzie rejestrowane przez kamerę CCD i fotopowielacz. Obraz rejestrowany przez kamerę CCD stanowi rzut torów emitowanych w rozpadzie cząstek na płaszczyznę anody, rozkład czasowy światła rejestrowanego przez fotopowielacz (po uwzględnieniu znanej prędkości dryfu elektronów w polu elektrycznym) pozwala na wyznaczenie długości rzutu torów cząstek w kierunku prostopadłym do płaszczyzny anody. Jak pokazały pionierskie eksperymenty w których badano promieniotwórczość dwuprotonową  $^{45}\text{Fe}$  i  $^{48}\text{Ni}$ , zastosowanie detektora OTPC ma kluczowe znaczenie dla powodzenia planowanych badań.