

Jądra atomowe to układy kwantowe, w których rządzą oddziaływania silne, najbardziej złożone, jakie do tej pory zaobserwowano w przyrodzie. Dlatego też budowa jąder atomowych w większości przypadków opisywana jest za pomocą modeli teoretycznych opartych na mechanice kwantowej. Niektóre własności jąder można również przedstawić za pomocą prostszych modeli klasycznych. Jest to możliwe dlatego, że oddziaływania silne mają bardzo krótki zasięg, co powoduje, że gęstość materii jądrowej jest dobrze zlokalizowana. To z kolei pozwala na wprowadzenie klasycznego pojęcia powierzchni jądrowej, a co za tym idzie kształtów jąder i ich deformacji. Klasycznymi własnościami, w których biorą udział (w sposób spójny) wszystkie nukleony są rotacja lub wibracja całego jądra. Dlatego też procesy te nazywamy „kolektywnymi”. Gorące jądra złożone (CN) tworzone w reakcji syntezy jądrowej charakteryzują się rozkładem energii wzbudzenia i momentu pędu. W procesie rozpadu CN energia wzbudzenia uwalniana jest w wyniku emisji lekkich cząstek (neutronów, protonów lub alfa) oraz fotonów (wysokoenergetyczne kwanty  $\gamma$ ). W wyniku takiego procesu powstają zimne (posiadające niskie energie) produkty – residua.

Jednymi z rodzajów wzbudzeń obserwowanymi w zimnych i gorących jądrach są tzw. to kolektywne rotacje lub kolektywne vibracje. Najczęściej spotykane są izowektorowe gigantyczne rezonanse dipolowe (IVGDR), interpretowane jako spójne (kolektywne) drgania protonów względem neutronów, oraz pigmejskie rezonanse dipolowe (PDR), które można przedstawić jako oscylacje nadmiarowych neutronów tworzących tzw. skórę neutronową względem protonowo-neutronowego rdzenia jądra. IVGDR był badany od wielu lat, zarówno w zimnych, jak i gorących jądrach i stał się bardzo dobrym narzędziem do pomiaru właściwości jąder, takich jak np. deformacja jądrowa. Natomiast PDR i jego rozpad gamma był dotychczas badany tylko dla zimnych jąder atomowych. Chociaż istnienie PDR w gorących jądrach jest przewidywane przez modele teoretyczne, rezonanse te są bardzo trudne do obserwacji eksperymentalnej, ponieważ ich energie pokrywają się z silnym tłem statystycznych kwantów gamma emitowanych z rozpadu gorących i obracających się jąder, a także z niskoenergetyczną częścią widma rozpadu gamma IVGDR. Oprócz IVGDR i PDR w jądrach atomowych mogą występować także inne rodzaje wzbudzeń, jednakże ich rozpad gamma zachodzi znacznie rzadziej, jest o kilka rzędów wielkości mniej prawdopodobny. Przykładem takiego wzbudzenia jest izoskalarny rezonans kwadrupolowy (ISGQR), który może być interpretowany jako vibracje powierzchni jądra. Wzbudzenie ISGQR było obserwowane dla wielu jąder, jednakże uzyskane do tej pory informacje na temat jego struktury i zależności od kształtu jądra są znikome. Pomiar widma gamma emitowanego z rozpadu ISGQR pozwoli na dokładniejsze zbadanie struktury jego funkcji nasilenia. Do tej pory zmierzono rozpad  $\gamma$  ISGQR tylko dla  $^{208}\text{Pb}$  i tylko do stanu podstawowego, w dwóch eksperymentach. Wynika to z faktu, że pomiar rozpadu  $\gamma$  ISGQR jest trudny, ponieważ rozpad gamma powyżej progu neutronowego jest procesem bardzo rzadkim. Jest on tłumiony przez konkurencyjny kanał emisji neutronów (co najmniej milion razy silniejszy). Współczynnik rozgałęzień (prawdopodobieństwo) rozpadu gamma ISGQR jest co najmniej 100 razy mniejszy niż dla rozpadu gamma IVGDR. Niemniej jednak zebranie większej ilości informacji na temat tak trudnych do zaobserwowania, „nieuchwytnych” rozpadów  $\gamma$  do stanu podstawowego i nisko położonych stanów wibracyjnych w różnych jądrach jest bardzo ważne. Na przykład niedawno przewidziano teoretycznie, że szerokość rozpadu  $\gamma$  gigantycznych rezonansów do stanów o niskich energiach jest unikalnym narzędziem do badania funkcji falowych gigantycznych rezonansów oraz testowania modeli struktury jądrowej. Ponadto przewidywania teoretyczne pokazują, że rozpad  $\gamma$  ISGQR powinien zależeć od deformacji jądra.

Celem tego projektu jest zbadanie tych „nieuchwytnych” procesów kolektywnych w zimnych i gorących jądrach atomowych o różnych masach, deformacji i izospinie (stosunek  $N/Z$ ). Proponowane badania obejmują rozpad gamma ISGQR zarówno do stanu podstawowego, jak i wzbudzonego, rozpad gamma PDR w gorących jądrach, a także możliwy proces zachowania lub ewolucji deformacji jądra podczas rozpadu. Zostaną one przeprowadzone w oparciu o pomiar fotonów (wysokoenergetycznych promieni gamma) emitowanych z rozpadu stanów wzbudzonych w gorących i zimnych jądrach. We wszystkich eksperymentach przeanalizowany zostanie również rozpad  $\gamma$  IVGDR, który posłuży do normalizacji, albo jako narzędzie do badania nieuchwytnych procesów. Wymienione własności jąder atomowych planujemy badać w eksperymentach przeprowadzonych z wykorzystaniem innowacyjnych, hybrydowych układów wielodetektorowych, umożliwiających pomiary pod różnymi warunkami, w kilku europejskich laboratoriach: JJCLab w Orsay we Francji; IFIN-HH w Magurele w Rumunii oraz CCB IFJ PAN w Krakowie.

Otrzymane wyniki, oprócz poszerzenia wiedzy o budowie jądra, mogą mieć wpływ także na inne dziedziny nauki. Pod tym względem najważniejsze wydają się badania nad PDR. Rezonanse te, o energiach bliskich lub niższych od energii wiązania cząstek, mogą odgrywać bardzo ważną rolę w procesie gwiazdnej nukleosyntezy, wpływając na wzrost przekroju czynnego na wychwyt neutronów. Badanie wzbudzeń kolektywnych może być ważne także dla zrozumienia wytwarzania ciepła w reaktorach, ponieważ przewiduje się, że w procesie rozszczepienia materiałów stosowanych w reaktorach (uran, pluton) powstaną fragmenty rozszczepienia (np. jądra kryptonu) charakteryzujące się stosunkowo dużymi energiami wzbudzenia i wysokimi spinami, a co za tym idzie możliwą dużą deformacją.