

# Egzotyczne wzbudzenia jąder i siły trójciałowe - badania podstawowe z fizyki jądrowej w CCB

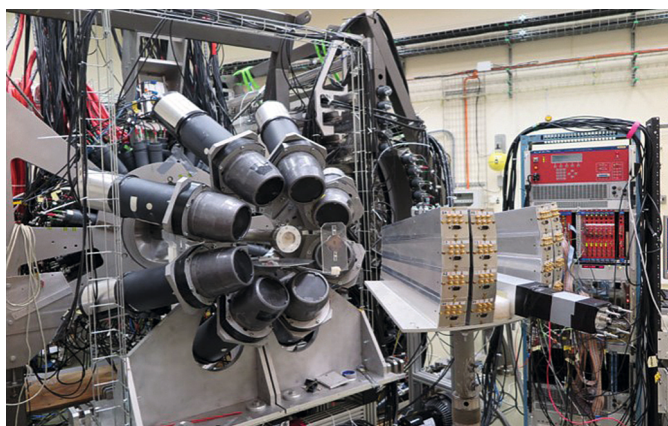
Oprócz zastosowań medycznych cyklotron Proteus C-235 w CCB jest doskonałym urządzeniem do prowadzenia badań podstawowych z zakresu fizyki jądrowej.

Jądra atomowe są obiektami wielociałowymi, których własności determinowane są poprzez współistnienie trzech podstawowych oddziaływań: silnego, elektromagnetycznego i słabego. Pomimo tej złożoności struktura jąder jest wysoko uporządkowana i może być opisywana za pomocą modeli teoretycznych. Charakterystyczną cechą w tym przypadku jest to, że do opisu stosuje się z powodzeniem dwa różne podejścia: mikroskopowe, oparte na obrazie indywidualnych nukleonów poruszających się w średnim potencjale jądrowym, co prowadzi do struktury powłokowej, oraz mezoskopowe, rozważające jądro jako system złożony, charakteryzujący się szczególnymi symetriami oraz własnościami kolektywnymi. Zrozumienie współistnienia w jądrze tych odmiennych struktur stanowi podstawowe wyzwanie współczesnej fizyki jądrowej. Program badawczy, który realizowany jest na wiązce cyklotronu Proteus C-235 w CCB, ma za zadanie dostarczyć wyjaśnienia niektórych aspektów wspomnianego zagadnienia.

Badania dotyczą głównie dwóch obszarów eksperymentalnej fizyki jądrowej: spektroskopii gamma egzotycznych wzbudzeń jądra atomowego oraz oddziaływań kilkuciałowych w jądrze atomowym. Pierwszy obszar badań obejmuje pomiary kwantów gamma emitowanych np. podczas rozpadu gigantycznego lub „pigmejskiego” rezonansu jądrowego. Gigantyczne rezonanse jądrowe to znane od dawna podstawowe wzbudzenia jąder atomowych o energiach 10-20 MeV, tzn. znacznie wyższych niż energia separacji neutronu, polegające na synchronicznej oscylacji wszystkich protonów względem neutronów. Wzbudzenia te niosą ważne informacje o strukturze jądra. Rezonanse pigmejskie z kolei to niedawno odkryte inne kolektywne stany jądra atomowego, o energiach z pobliża energii wiązania neutronu (7-10 MeV). Najczęściej interpretuje się te wzbudzenia jako oscylacje skóry neutronowej względem pozostałego rdzenia jądra, ale eksperymentalne potwierdzenie tej hipotezy jest dość nieprzekonywujące z powodu małej liczby precyzyjnych danych eksperymentalnych.

Rezonanse pigmejskie mogą być wzbudzane za pomocą rozprędzonych w cyklotronie Proteus C-235 protonów, uderzających w jądra ustawionej na ich drodze tarczy. Do rejestracji kwantów gamma o wysokich energiach emitowanych z tak wzbudzonych jąder użyty zostanie układ detektorów o nazwie HECTOR połączony z układem detekcyjnym o akronimie KRATTA, pozwalającym na identyfikację i pomiar energii lekkich cząstek naładowanych. Kwanty gamma będą mogły być też mierzone za pomocą detektorów scyntylacyjnych typu „phoswitch”, stanowiących elementy systemu detekcyjnego najnowszej generacji PARIS, którego budowa, skupiająca fizyków z 18 krajów, koordynowana jest przez IFJ PAN. Unikalność wspomnianych badań w CCB polega na powiązaniu specyficznych własności cyklotronu Proteus - dostarczanie protonów o energii do 230 MeV i możliwość szybkich (sekundy) zmian energii i intensywności wiązki tych protonów - z unikalną aparaturą badawczą do pomiaru wysokoenergetycznych kwantów gamma.

Do tej samej dziedziny zaliczyć należy projekt badania wzbudzeń jądra w reakcji (p,2p). W procesie takim może dojść do wybicia protonu znajdującego się na głęboko położonym stanie jednocząstkowym, prowadzącego do wysoko wzbudzonego stanu dziurowego w nuklidzie, który posiada o jeden proton mniej niż jądro tarczy. Rozpad takich wysoko wzbudzonych stanów jednocząstkowych nie był do tej pory wystarczająco dokładnie zbadany, pomimo że może dostarczyć kluczowych informacji o udziale procesów „wprost” w stosunku do procesów prowadzących do układu w równowadze termodynamicznej. W CCB możliwe będą pomiary rozpadów wysoko wzbudzonych stanów jednocząstkowych w wyniku połączenia techniki detekcji dwóch protonów emitowanych pod wzajemnym kątem bliskim 90 stopni (KRATTA), w koincydencji z kwantami gamma (HECTOR lub PARIS), których widma pozwolą określić przekrój czynny na końcowe produkty reakcji.



Główne układy eksperymentalne w CCB: HECTOR (po lewej) i KRATTA (po prawej), oraz BINA (z tyłu)

Drugi ze wspomnianych projektów badawczych dotyczy eksperymentalnego badania oddziaływań kilkuciałowych w jądrze atomowym. Dotychczas w teorii jądra atomowego dla prostoty zakładano, że układ wielu ciał, jakim jest jądro atomowe, może być dokładnie opisany przy założeniu tylko oddziaływań pomiędzy parami nukleonów. Wiadomo jednak, że w układach obiektów złożonych, a takimi są nukleony, pojawiają się siły trójciałowe. W ostatnich czasach rzeczywiście pokazano, że siły trójciałowe są niezbędne do opisu lekkich jąder atomowych w obliczeniach ab-initio, a ich użycie w opisie ciężkich jąder może znacząco poprawić jakość przewidywań takich wielkości jak np. energia wiązania. W tym kontekście eksperymentalne wyznaczenie parametrów określających siły trójciałowe ma decydujące znaczenie.

Siły trójciałowe można badać zderzając np. proton z układem dwóch nukleonów jakim jest jądro wodoru z jednym neutronem, czyli deuteron. Także i takie badania są i będą prowadzone na wiązce protonów z cyklotronu w CCB. Układem detekcyjnym jest tutaj detektor BINA służący do rejestracji kierunku lotu i energii dwóch protonów, które emitowane są po zderzeniu protonu z jądrem deuteru. Zakres energii protonów dostępnych z cyklotronu Proteus C-235 oraz możliwość szybkich zmian tej energii czyni laboratorium CCB idealnym i unikalnym w Europie miejscem badań nad siłami kilkuciałowymi, a możliwości jeszcze się zwiększą po zbudowaniu i zamontowaniu na wiązce spolaryzowanej tarczy.

Wiązka protonów w CCB wykorzystywana jest również do testowania elementów nowoczesnych systemów detekcyjnych, konstruowanych dla dużych międzynarodowych eksperymentów z fizyki jądrowej. Pierwsze pomiary odbyły się w marcu 2013 r. z udziałem zespołów z Francji, Hiszpanii, Japonii, Niemiec, Polski, Rumunii, Szwecji, Turcji, Węgier i Włoch.

Poszczególne programy badawcze koordynowane są przez wybitnych specjalistów polskich i zagranicznych, a naukowa wartość tych projektów oceniana jest przez międzynarodowy komitet doradczy IAC (International Advisory Committee), w skład którego wchodzi fizycy jądrowi o światowej renomie, w większości pełniący funkcje kierownicze w wiodących laboratoriach fizyki jądrowej w Europie, w USA oraz w Japonii).