

Fizyka jądrowa bada świat w skali femto, a mianowicie jądro atomowe, które jest około milion milionów razy mniejsze od piłeczki do ping-ponga, miliard razy mniejsze od czerwonej krwinki i od dziesięciu do stu tysięcy razy mniejsze od atomu. I nie jest to nawet najmniejsza skala “widoczna” dla naukowców.

W tym projekcie koncentrujemy się na jądrach atomowych i ich fascynujących kształtach. Z badań doświadczalnych wiemy, że jądra atomowe mogą przyjmować różne formy: kuliste jak piłka nożna lub pomarańcza; wydłużone elipsoidalne jak piłka do rugby lub cukinia; spłaszczone jak frisbee lub dynia; a nawet znacznie bardziej egzotyczne, przypominające gruszkę. Kształt jądra atomowego jest determinowany przez liczbę ich podstawowych składników zwanych nukleonami (czyli protonów i neutronów) oraz siły jądrowe działające pomiędzy nimi.

Niestety, nie dysponujemy wystarczająco silną lupą ani nawet mikroskopem, aby dostrzec jądro atomowe. Jak więc możemy coś powiedzieć o jego kształcie? Możemy go wywnioskować pośrednio z badań prowadzonych przy użyciu różnych sond, począwszy od poziomów energetycznych i czasów życia mierzonych poprzez obserwację rozpadu z emisją promieniowania elektromagnetycznego, aż po momenty kwadrupolowe stanów podstawowych, które można uzyskać dzięki spektroskopii laserowej. Stały postęp w technikach eksperymentalnych, w tym wykorzystanie coraz bardziej wydajnych systemów wielodetektorowych, umożliwia uzyskanie bogatych i precyzyjnych informacji o właściwościach spektroskopowych jąder atomowych. Preferowaną metodą w badaniach kształtów jąder pozostaje jednak wzbudzenie kulombowskie przy niskich energiach. W tym procesie dwa zderzające się jądra atomowe oddziałują wyłącznie za pomocą sił elektromagnetycznych, bez bezpośredniego kontaktu. W wyniku tego ulegają wzbudzeniu, a następnie deekscytacji poprzez emisję promieniowania elektromagnetycznego znanego jako promieniowanie gamma, które może być mierzone z dużą precyzją. Analizując energie i rozkłady kątowe emitowanego promieniowania gamma, a także sposób rozpraszania się jąder podczas oddziaływania, możemy określić kształt jądra – czy jest ono kuliste, wydłużone, spłaszczone, czy bardziej egzotyczne.

Co więcej, niektóre jądra wykazują fascynujące zjawisko zwane współlistnieniem kształtów, w którym ich kształty zmieniają się znacząco w wąskim zakresie energii wzbudzenia. W większości przypadków współlistnienie kształtów obejmuje tylko dwa różne kształty. Występowanie wielokrotnego współlistnienia kształtów jest znacznie rzadszym zjawiskiem, a najlepiej dotychczasowo poznane przykłady znaleziono w jądrach neutronodeficytowych, w ołowiu (Pb) i rtęci (Hg). Ostatnio uzyskano wskazania jego obecności w innych jądrach atomowych, szczególnie w izotopach niklu (Ni) i kadmu (Cd).

Izotopy kadmu (Cd) odgrywają kluczową rolę w badaniach zachowań zbiorowych w jądrach atomowych od ponad 40 lat. Początkowo stabilne parzysto-parzyste izotopy kadmu były uznawane za jądra, których struktury przy niskiej energii wzbudzenia można opisać w ramach kolektywnego modelu wibracyjnego, gdzie kształt jądra interpretowany jest jako niewielkie oscylacje (drgania) wokół kulistego kształtu równowagi. Jednak najnowsze szczegółowe badania z wykorzystaniem spektroskopii promieniowania gamma oraz niektóre zaawansowane modele teoretyczne struktury jądra atomowego wyraźnie nie zgadzają się z tym modelem, zamiast tego sugerując obecność wielu różnych kształtów w jądrach atomowych ^{110}Cd i ^{112}Cd . Niemniej jednak istniejące dane eksperymentalne nadal mogą wskazywać na oscylacje tych jąder atomowych wokół kształtu kulistego, co sugeruje inny nowoczesny model struktury jądra atomowego.

Dlatego istnieje wyraźna potrzeba uzyskania precyzyjnych danych eksperymentalnych, dotyczących kształtów stanów niskowzbudzonych w stabilnych izotopach kadmu, aby rozstrzygnąć pomiędzy tymi dwoma zasadniczo różnymi interpretacjami.

W ramach tego, szeroko zakrojonego zadania eksperymentalnego, nasza grupa badawcza zainicjowała program eksperymentalny, mający na celu określenie kształtów niskowzbudzonych stanów 0^+ w parzysto-parzystych jądrach Cd, począwszy od ^{110}Cd . Program ten obejmuje cztery eksperymenty wzbudzenia kulombowskiego, mające na celu zbadanie ^{110}Cd przy użyciu różnych partnerów reakcji: ^{14}N , ^{32}S , ^{60}Ni i ^{208}Pb , oraz uzupełniające badania rozpadów beta.

W ramach niniejszego projektu analizowane będą dane z eksperymentu wzbudzenia kulombowskiego jądra ^{110}Cd z użyciem wiązki ^{60}Ni , przeprowadzonego z użyciem głównego europejskiego spektrometru promieniowania gamma AGATA, w celu określenia kształtu poszczególnych stanów jądrowych. Informacje te posłużą do rozstrzygnięcia pomiędzy dwiema sprzecznymi interpretacjami struktury jądra ^{110}Cd , proponowanymi na podstawie różnych podejść teoretycznych. Co więcej, należy podkreślić, że rozwój współczesnych teorii i modeli jądrowych w dużej mierze opiera się na dostępności bogatych i precyzyjnych danych eksperymentalnych, takich jak te, które zostaną uzyskane w ramach tego projektu.