



Kraków, 19 października 2016

## **Znaleziono najłżejsze superzdeformowane trójosiowo jądro atomowe**

*Jądra atomowe ciężkich pierwiastków nie muszą mieć kształtu kulistego: mogą być wyraźnie wydłużone lub spłaszczone wzdłuż jednej, dwóch, a nawet trzech osi. Międzynarodowa grupa fizyków, kierowana przez naukowców z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie i Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego, właśnie przedstawiła wyniki eksperymentów wskazujących, że do skomplikowanych superdeformacji jąder atomowych dochodzi także w pierwiastkach znacznie lżejszych.*

Większość ciężkich jąder atomowych wcale nie wygląda jak idealne kule: są nieznacznie spłaszczone lub wydłużone. Na łamach prestiżowego czasopisma „Physical Review Letters” zaprezentowano wyniki eksperymentów dowodzących, że bardzo wyraźne i skomplikowane deformacje, dotychczas obserwowane wyłącznie w ciężkich jądrach atomowych, pojawiają się nawet w tak lekkich pierwiastkach jak wapń. Badania przeprowadzili naukowcy Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie i Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego (ŚLCJ) przy szerokiej współpracy międzynarodowej.

„O tym, że jądra atomowe mogą być nieznacznie zdeformowane nawet w lekkich pierwiastkach, było wiadomo od kilku lat. W naszych eksperymentach wykazaliśmy jednak, że w przypadku jąder wapnia  $^{42}\text{Ca}$  dochodzi do szczególnie wyraźnej i złożonej deformacji, nazywanej superdeformacją trójosiową. Podobne efekty były dotychczas obserwowane tylko w jądrach ciężkich, zbudowanych z około 130-170 protonów i neutronów”, mówi prof. dr hab. Adam Maj (IFJ PAN), który wraz z prof. Faicalem Azaiezem z francuskiego Institut de Physique Nucléaire d’Orsay był jednym z głównych pomysłodawców poszukiwań.

Jądra atomowe liczą od jednego protonu do ponad 200 protonów i neutronów. Sklejone oddziaływaniami silnymi, przewyciężającymi potężne odpychanie elektrostatyczne między dodatnio naładowanymi protonami, jądra są strukturami kształtowanymi przez bardzo złożone zjawiska kwantowe. Dynamika zachodzących tu procesów jest taka szybka, że gdy w odpowiednio długim przedziale czasu (a w mikroświecie są nim nawet ułamki sekund) przyjrzymy się jądru atomowemu, zobaczymy tylko statystycznie uśredniony kształt jądra. W części przypadków jest nim po prostu kula. Od lat pięćdziesiątych XX wieku znane są jednak jądra wydłużone, niekiedy znacznie, np. do elipsoidy o jednej osi dwukrotnie dłuższej od pozostałych – mówimy wtedy o superdeformacji jądrowej (stosunkowo często spotyka się także jądra rozciągnięte w proporcji 3:2). Możliwe są przy tym zniekształcenia jeszcze bardziej wyrafinowane, gdy do dużych odstępstw od kulistości dochodzi nie względem jednej, lecz nawet wzdłuż trzech osi. Tak zniekształcone jądra są określane jako superzdeformowane trójosiowo i były dotychczas obserwowane wyłącznie w pierwiastkach ciężkich.

Jądra atomowe mają rozmiary kilku femtometrów, czyli milionowych części miliardowej części metra. Bezpośrednia obserwacja tak małych obiektów nie jest możliwa. Informację o ich strukturze zdobywa się więc metodami mniej lub bardziej pośrednimi, analizując promieniowanie gamma emitowane przez jądra przechodzące od stanów o większych energiach do stanów o energiach mniejszych. W zależności od budowy jąder i sposobu wzbudzenia, stany wzbudzone mogą mieć różną naturę: jądro może w różny sposób wibrować jako całość, ale może także np. zostać pobudzone do rotacji. Polskich fizyków interesowały zwłaszcza te ostatnie stany, rotacyjne.

Obecnie za najbardziej wiarygodne są uznawane obserwacje deformacji jąder atomowych dokonywane za pomocą wzbudzeń kulombowskich. Jądra wzbudzają się w ten sposób wskutek zderzeń zachodzących wyłącznie za pośrednictwem oddziaływań elektromagnetycznych. W efekcie opis teoretyczny zjawiska nie musi uwzględniać niezwykle złożonych oddziaływań silnych i w praktyce wystarczająco doskonale znane narzędzia elektrodynamiki klasycznej.

Doświadczenia nad superdeformacją lekkich jąder atomowych polegały na bardzo dokładnej obserwacji i analizie promieniowania gamma emitowanego przez jądra wapnia  $^{42}\text{Ca}$ , wzbudzone do stanów rotacyjnych w wyniku zderzenia z tarczami zbudowanymi z ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  lub złota  $^{197}\text{Au}$  (każde uderzające w tarczę jądro  $^{42}\text{Ca}$  miało energię kinetyczną 170 MeV, czyli milionów elektronowoltów). Pomiary przeprowadzono za pomocą detektora promieniowania gamma AGATA, znajdującego się we włoskim ośrodku INFN Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL). Detektor ten jest najnowocześniejszym z obecnie działających na świecie germanowych detektorów promieniowania gamma, skonstruowanym we współpracy międzynarodowej i charakteryzującym się ekstremalnie dużą zdolnością rozdzielczą. Eksperyment dotyczący superdeformacji jąder wapnia był pierwszym zrealizowanym za pomocą tego wyrafinowanego przyrządu.

„W trakcie przetwarzania danych z detektora AGATA używaliśmy wielu metod i narzędzi, m.in. znanego w środowisku fizyków jądrowych programu GOSIA do analizy wzbudzeń kulombowskich, rozwijanego od kilkunastu lat w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów. Okazało się, że wzbudzone jądra wapnia  $^{42}\text{Ca}$  są superzdeformowane i jednocześnie trójosiowe, co znajduje potwierdzenie w obliczeniach wykorzystujących zaawansowane teorie budowy jądra atomowego”, mówi dr Katarzyna Hadyńska-Klęk (ŚLCJ), która przeprowadziła analizę danych.

Wzbudzenie jądra wapnia  $^{42}\text{Ca}$  do stanu superzdeformowanego trójosiowo wymaga dostarczenia stosunkowo niewielkiej ilości energii (ok. 2 MeV). Energetycznie stan superzdeformowany leży więc bardzo blisko niemal kulistego stanu podstawowego. Z tego powodu fizycy mówią o pewnej koegzystencji kształtów obu stanów.

„Pełna analiza danych zebranych w Legnaro zajęła nam trzy lata. Po drodze musieliśmy jeszcze wykonać inny, uzupełniający eksperyment, na warszawskim cyklotronie. Jego wyniki pozwoliły wykluczyć jeden z alternatywnych wariantów interpretacji danych z detektora AGATA”, mówi dr Paweł Napiorkowski, kierujący projektem w ŚLCJ.

Odkrycie trójosiowej superdeformacji w wapniu  $^{42}\text{Ca}$  pomoże lepiej zrozumieć zjawiska w jądrach atomowych. Współczesne narzędzia teoretyczne nie pozwalają bowiem na dokładne modelowanie jąder o liczbie atomowej znacznie przekraczającej 40, co ograniczało rozwój badań nad superdeformacjami. Tymczasem w przypadku wapnia wiele przeszkód teoretycznych znika. Jest też prawdopodobne, że pomiary i analizy będzie można w przyszłości użyć do poszukiwań innych superzdeformowanych stanów o niskiej energii wzbudzenia, w tym o dłuższych czasach życia niż typowe milionowe miliardowych części sekundy. Znalezienie takich stanów pozwoliłoby myśleć o wytworzeniu inwersji obsadzeń, czyli sytuacji, w której większość jąder atomowych przebywałaby nie w stanie podstawowym, a w tym samym stanie wzbudzonym. Byłby to ważny krok w kierunku budowy lasera jądrowego, zdolnego emitować spójne jądrowe promieniowanie gamma.

Współpraca między ośrodkami krakowskim i warszawskim odbywa się w ramach konsorcjum Narodowe Laboratorium Cyklotronowe (NLC). W badaniach ważną rolę odegrali uczeni z wielu

krajów, w szczególności dr Jose Javier Valiente Dobon (INFN LNL, Włochy) i dr Magda Zielińska (ŚLCJ, Polska; CEA, Francja). Po stronie polskiej badania sfinansowano z grantów Narodowego Centrum Nauki i Unii Europejskiej.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 450 artykułach publikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W klasyfikacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

#### **KONTAKT:**

prof. dr hab. **Adam Maj**  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
tel. +48 606 291860, +48 12 6628141  
email: [adam.maj@ifj.edu.pl](mailto:adam.maj@ifj.edu.pl)

dr **Paweł Napiorkowski**  
Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego  
tel. +48 604 226689  
email: [pnj@slcj.uw.edu.pl](mailto:pjn@slcj.uw.edu.pl)

#### **PRACE NAUKOWE:**

„Superdeformed and Triaxial States in  $^{42}\text{Ca}$ ”; K. Hadyńska-Klęk, P. J. Napiorkowski, M. Zielińska, J. Srebrny, A. Maj, F. Azaiez et al.; Physical Review Letters 117, 062501 (2016); DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.062501

#### **POWIĄZANE STRONY WWW:**

<http://www.ifj.edu.pl/>  
Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>  
Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

#### **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

IFJ161019b\_fot01s.jpg

HR: [http://press.ifj.edu.pl/news/2016/10/19/IFJ161019b\\_fot01.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2016/10/19/IFJ161019b_fot01.jpg)

IFJ161019b\_fot02s.jpg

HR: [http://press.ifj.edu.pl/news/2016/10/19/IFJ161019b\\_fot02.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2016/10/19/IFJ161019b_fot02.jpg)

Jądra atomowe pierwiastków nie zawsze są kuliste, jak na górnym rysunku. Przy większej liczbie protonów i neutronów jądro może być w różnym stopniu wydłużone lub skrócone wzdłuż jednej, dwóch, a nawet trzech osi. Ten ostatni przypadek, pokazany w prawym dolnym rogu, jest nazywany superdeformacją trójosiową. (Źródło: IFJ PAN)