



Kraków, 3 listopada 2022

## „Rozciągnięte” stany jądrowe pod lupą krakowskiego cyklotronu

*Wszystkie pierwiastki powstały w procesie ewolucji Wszechświata zdominowanym przez lekkie jądra atomowe. Właściwości tych jąder mają więc kluczowe znaczenie nie tylko w astrofizyce, ale również w odniesieniu do naszej codzienności. Wiedzę o lekkich jądrach atomowych udało się właśnie poszerzyć dzięki przeprowadzonym w Krakowie badaniom akceleratorowym nad specyficznymi stanami wzbudzonymi jąder węgla  $^{13}\text{C}$ .*

Precyzyjna obserwacja zjawisk zachodzących w jądrach atomowych, zwłaszcza stanów o wysokich energiach, to zadanie ekstremalnie trudne zarówno od strony technicznej, jak i teoretycznej. Istnieją jednak odmiany wysoko położonych w energii wzbudzeń jąder atomowych, które z uwagi na swoją specyficzną strukturę mogą być obserwowane i interpretowane z dużą dokładnością. Zespół fizyków z Polski, Włoch, Francji, Belgii, Holandii, Niemiec i Rumunii przeprowadził serię pomiarów takich stanów w Centrum Cyklotronowym Bronowice w Krakowie, gdzie wiązkę protonów z akceleratora skolimowano na tarczach węgla  $^{13}\text{C}$ . O wynikach naukowcy poinformowali w artykule opublikowanym w czasopiśmie „Physics Letters B”.

*„Nasz najnowszy rezultat dotyczy szczególnego rodzaju wzbudzeń jąder atomowych węgla  $^{13}\text{C}$ . Wzbudzenia te, fachowo nazywane rozciągniętymi stanami rezonansowymi, z wielu względów przyciągają zainteresowanie fizyków, zwłaszcza astrofizyków. Konsekwencją obecnego, udanego eksperymentu będzie seria dalszych pomiarów ukierunkowanych na pogłębienie wiedzy o własnościach jąder atomowych innych lekkich izotopów”,* mówi prof. dr hab. Bogdan Fornal, który razem z prof. Silvią Leoni z Università degli Studi di Milano i INFN Sezione di Milano we Włoszech zaproponował tę tematykę badań.

Zachowania jąder atomowych wzbudzonych do wysokich energii są wyjątkowo trudne do obserwacji, ponieważ cząstki tworzące jądra wchodzą w skomplikowane oddziaływania angażujące aż trzy z czterech rodzajów sił występujących w przyrodzie: silne, słabe i elektromagnetyczne. W tym kontekście do głównych zalet „rozciągniętych” stanów energetycznych w lekkich jądrach atomowych należy względna prostota ich opisu teoretycznego, umożliwiająca budowanie modeli dobrze opisujących wyniki pomiarowe. Znakomita zgodność teorii z doświadczeniem stanowi dowód, że wiedzę zdobytą dzięki obserwacjom rozciągniętych stanów jądrowych należy uznać za wiarygodną.

*„Jądro znajdujące się w stanie energetycznym nazywanym rozciągniętym można sobie wyobrazić jako układ, w którym pod wpływem zderzenia z protonem z zewnątrz tylko jeden proton lub jeden neutron jądra pokonuje szczylinę energetyczną i przenosi się do stanu energetycznego leżącego w tak zwanym kontinuum energetycznym”,* wyjaśnia dr Natalia Cieplicka-Oryńczak (IFJ PAN), po czym precyzuje: *„W kontinuum różne stany energetyczne jądra mogą na siebie nachodzić, co radykalnie utrudnia opis zachodzących zjawisk i ich zrozumienie, a w konsekwencji także interpretowanie danych z eksperymentów. Stany rozciągnięte są więc tak istotne, ponieważ na energetycznej drabince powłok energetycznych w jądrze atomowym to jedne z najwyższych miejsc, gdzie jeszcze można prowadzić względnie proste i jednocześnie precyzyjne obserwacje”.*

W opisywanym doświadczeniu do rozpędzania protonów wykorzystano krakowski cyklotron Pro-teus C-235. Wyprowadzoną z niego wiązkę koncentrowano na tarczach węglowych przygotowa-nych w National Institute for Physics and Nuclear Engineering w Bukareszcie. Protony emitowane w trakcie zderzeń wiązki z tarczą rejestrowano za pomocą układu pomiarowego KRATTA, składa-jącego się z sześciu matryc detektorów teleskopowych. Detektory rozmieszczono koncentrycznie wokół osi wiązki protonowej, tak by rejestrowały przede wszystkim protony rozproszone pod ką-tem 36 stopni do wiązki. Z analiz teoretycznych wynikało bowiem, że właśnie w okolicach takiego kąta powinno być widoczne maksimum rozproszonych protonów związanych ze wzbudzeniem roz-ciągniętych stanów węgla  $^{13}\text{C}$ . Ponadto za pomocą układu 22 innych detektorów promieniowania gamma, wchodzących m.in. w skład nowoczesnego systemu detekcyjnego PARIS oraz detektora cząstek DSSSD, rejestrowano kwanty gamma i lekkie cząstki naładowane (protony, cząstki alfa) emitowane podczas rozpadów badanego rozonansu oraz powstałych jąder pochodnych.

Dzięki pomiarom w krakowskim akceleratorze, sfinansowanym ze środków Narodowego Centrum Nauki, udało się w bezpośredni sposób ustalić, że jądro węgla  $^{13}\text{C}$  z badanego stanu rozciągnięte-go rozpada się na dwa podstawowe sposoby, nazywane kanałami. W kanale występującym naj-częściej jądro emituje proton i przekształca się w bor  $^{12}\text{B}$ , który następnie emituje kwant gamma. W drugim kanale powstaje węgiel  $^{12}\text{C}$ , czemu towarzyszy emisja neutronu (którego w doświadczeniu jednak nie rejestrowano) oraz kwantu gamma.

Z uwagi na znaczenie badań dla rozumienia różnorodnych procesów jądrowych, seria ekspery-mentów w Centrum Cyklotronowym Bronowice IFJ PAN będzie kontynuowana. Obiektami zaintere-sowania fizyków staną się teraz jądra atomowe azotu  $^{14}\text{N}$  i węgla  $^{12}\text{C}$ . W niedalekiej przyszłości podjęta zostanie także próba znalezienia rozciągniętych stanów jądrowych w borze  $^{11}\text{B}$ , których ist-nienie nie było dotychczas jednoznacznie udokumentowane.

*Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę 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 600 artykułach publikowanych w recenzowanych wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Corocznie Instytut jest organizatorem lub współorganizatorem wielu międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych oraz szeregu seminariów i innych spotkań naukowych. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”, któremu, na lata 2012-2017, nadany został status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW). Wiele projektów i przedsięwzięć realizowanych przez Instytut jest wpisanych na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej (PMIB). Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W klasyfikacji MEIN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.*

#### **KONTAKT:**

dr **Natalia Cieplicka-Oryńczak**  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
tel.: +48 12 6628237  
email: [natalia.cieplicka@ifj.edu.pl](mailto:natalia.cieplicka@ifj.edu.pl)

#### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

„The decay of the 21.47-MeV stretched resonance in  $^{13}\text{C}$ : A precise probe of the open nuclear quantum system description”  
N. Cieplicka-Oryńczak, Y. Jaganathen, B. Fornal, S. Leoni, M. Płoszajczak, M. Ciemala, S. Ziliani, M. Kmiecik, A. Maj, J. Łukasik, P. Pawłowski, B. Sowicki, B. Wasilewska, M. Ziębliński, P. Bednarczyk, C. Boiano, S. Bottoni, A. Bracco, S. Brambilla, I. Burducea, F. Camera, I. Ciepał, C. Clisu, F. C. L. Crespi, K. Dhanmeher, N. Florea, E. Gamba, J. Grębosz, M. N. Harakeh, D. A. Iancu, Ł. W. Iskra, M. Krzysiek, P. Kullessa, N. Marginean, R. Marginean, I. Matea, M. Matejska-Minda, K. Mazurek, B. Million, W. Parol, M. Sferrazza, L. Stan, B. Włoch  
*Physics Letters B*, 834, 137398  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137398>

#### **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:**

**IFJ221103b\_fot01s.jpg**

**HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2022/11/03/IFJ221103b\\_fot01.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2022/11/03/IFJ221103b_fot01.jpg)

Przygotowania do eksperymentu z rozciągniętymi stanami jądrowymi w Centrum Cyklotronowym Bronowice IFJ PAN w Krakowie. W prawej części kadru widać okrągłe tarcze węglowe. Na zdjęciu Sara Ziliani z Uniwersytetu w Mediolanie, jedna ze współauterek badań. (Źródło: IFJ PAN)

**IFJ221103b\_fot02s.jpg**

**HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2022/11/03/IFJ221103b\\_fot02.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2022/11/03/IFJ221103b_fot02.jpg)

Kalibracja układu pomiarowego w Centrum Cyklotronowym Bronowice IFJ PAN w Krakowie. (Źródło: IFJ PAN)