



Kraków, 17 lutego 2022

## Wyjątkowo rzadka obserwacja „tenisowych” drgań ołowiu

*Po zderzeniu z rakieta czy ścianą piłka tenisowa wykonuje kilka szybkich oscylacji, spłaszczając się i wydłużając wzdłuż kierunku ruchu. W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN poprzez pomiar kwantów gamma zarejestrowano ślady podobnych drgań zachodzących w jądrach ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  wzbudzonych zderzeniami z protonami. Jedyna wcześniejsza obserwacja analogicznego zjawiska liczy ponad trzydzieści lat.*

Wśród szumów i zakłóceń kwantowego świata fizycy w Krakowie wytropili zjawisko wcześniej zaobserwowane tylko raz, na dodatek ponad trzy dekady temu. W serii wyrafinowanych pomiarów zebrali dane potwierdzające występowanie w jądrach atomów ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  oscylacji polegających na spłaszczaniu się i wydłużaniu powierzchni jądra wzdłuż ustalonego kierunku. Unikatowy eksperyment, opisany na łamach czasopisma „Physical Review C”, przeprowadzono w Centrum Cyklotronowym Bronowice, będącym częścią krakowskiego Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN).

*„Możliwość obserwowania w naszym ośrodku subtelnych oscylacji jąder ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  wynika ze specyficznych cech tutejszego akceleratora Proteus C-235. Głównym zadaniem urządzenia jest bowiem napromieniowanie nowotworów, w tym nowotworów oka. Jedną z czterech linii akceleratora zaprojektowano jednak z myślą o badaniach fizycznych. Unikalność akceleratora wynika z zakresu energii dostarczanych przez niego protonów. Na świecie niemal wszystkie akceleratory dostępne dla fizyków nadają protonom energie albo wyraźnie mniejsze, albo wyraźnie większe niż nasz”,* wyjaśnia prof. dr hab. Adam Maj (IFJ PAN).

W cyklotronie Proteus protony mogą osiągać energie od 70 do 230 megaelektronowoltów (dla porównania: energia protonów w akceleratorze LHC bywa nawet setki tysięcy razy większa). Wzbudzone zderzeniem z protonem, jądro ołowiu może się rozpaść na cząstki wtórne lub przejść do niższego stanu energetycznego, co jest połączone z emisją kwantu promieniowania gamma. Oba przypadki zasadniczo się różnią: energie cząstek wtórnych mogą być praktycznie dowolne, podczas gdy energie kwantów gamma muszą odpowiadać różnicom między konkretnymi stanami energetycznymi jądra. Wszystko to oznacza, że to właśnie kwanty gamma niosą najcenniejszą informację o budowie jądra atomowego.

*„Nasz międzynarodowy zespół specjalizuje się w obserwacjach rozpadów z emisją kwantów gamma szczególnych wzbudzeń jądra, znanych jako gigantyczne rezonanse”,* mówi dr hab. Maria Kmiecik (IFJ PAN), po czym precyzuje: *„Dotychczas badaliśmy rozpady takich rezonansów w jądrach 'gorących', czyli wzbudzonych do wysokich energii. Jednak obecnie, dzięki odpowiedniemu doborowi warunków eksperymentu i układu pomiarowego, układowi detektorów gamma o wysokich energiach HECTOR z Uniwersytetu Mediolańskiego oraz zbudowanemu w Krakowie matrycowemu detektorowi rozproszonych protonów KRATTA, zdołaliśmy zobaczyć rozpady gamma rezonansów w jądrach 'zimnych', czyli wzbudzone na stanach podstawowych. Co jednak szczególnie istotne, udało się nam też zauważyć oscylacje jądra jako całości, będące efektem gigantycznego rezonansu kwadrupolowego”.*

Gdy pojedynczy proton o odpowiednio dobranej energii zderzy się z kulistym jądrem ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  w tarczy, może je pobudzić do różnych oscylacji, zwłaszcza tych powiązanych z gigantycznymi rezonansami. Fizycy używają przymiotnika „gigantyczny” by podkreślić, że rezonanse tego typu pojawiają się znacznie częściej od innych.

Gigantyczne rezonanse występują w dwóch podstawowych odmianach. W przypadku gigantycznego rezonansu dipolowego (GDR) protony i neutrony w jądrze oscylują względem siebie. Jako całość powierzchnia jądra nie zmienia wtedy kształtu, jedynie wpada w wibracje. Dla odmiany rezonans kwadrupolowy (GQR) przejawia się pod postacią deformacji całej powierzchni jądra, które zaczyna naprzemiennie się spłaszczać i wydłużać wzdłuż pewnego kierunku. Zjawisko przypomina zniekształcenia piłeczki tenisowej lub golfowej, tuż po odbiciu od rakiety bądź kija przez chwilę ścisnącej się i rozciągającej wzdłuż kierunku odbicia.

*„Detekcja kwantów gamma emitowanych przez wzbudzone jądra ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  nie należy do zadań prostych. W przypadku dużo łatwiejszego do wzbudzenia gigantycznego rezonansu dipolowego, rozpad z emisją gamma zdarza się mniej więcej sto razy rzadziej niż standardowo obserwowane rozpady przez cząstki. W przypadku rezonansu kwadrupolowego prawdopodobieństwo emisji kwantu gamma spada kolejne sto razy, przy czym obserwacje utrudnia fakt, że zjawisko to występuje na tle swojego prostszego kuzyna”,* przedstawia skalę trudności dr Barbara Wasilewska, dla której omawiane badania były tematem rozprawy doktorskiej w IFJ PAN.

Rezultaty otrzymane przez fizyków w Krakowie za pomocą dokładniejszej aparatury znakomicie współgrają z wynikami eksperymentu sprzed kilkudziesięciu lat, a jednocześnie niosą nową, jakościowo istotną informację. Naukowcy, którzy dawniej zarejestrowali wzbudzenie i rozpad gamma gigantycznego rezonansu kwadrupolowego, przeprowadzali swoje pomiary bombardując ołowiane tarcze za pomocą ciężkich jonów. Tymczasem obecny wynik jednoznacznie wskazuje, że do wprawienia w oscylacje powierzchni ciężkich jąder atomowych można używać nawet znacznie lżejszych protonów.

Choć wymagająca od strony technicznej i teoretycznej, obserwacja drgań związanych z deformacjami powierzchni jąder ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  została zrealizowana jako swoista rozgrzewka, wstęp do długiego ciągu bardziej wyrafinowanych eksperymentów dotyczących podobnych zjawisk w innych jądrach atomowych. Zespół pracujący w ośrodku cyklotronowym w Bronowicach rozpoczął już kolejne pomiary, z jeszcze bardziej ulepszoną aparaturą: układ do pomiaru kwantów gamma zastąpił układem detektorów nowej generacji PARIS. Szczególne zainteresowanie naukowców budzą rezonanse znane jako pigmejskie oraz oscylacje jąder atomowych o kształtach niesferycznych, których oscylacje wciąż umykają przewidywaniom teoretyków.

Badania zrealizowano z europejskich grantów programu Horizon 2020 (IDEAAL i ENSAR2) przy wsparciu grantu Narodowego Centrum Nauki.

*Instytut 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 kategoryzacji MNiSW Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich*

#### **KONTAKT:**

dr hab. **Maria Kmieciak**  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
tel.: +48 12 6628297  
email: [maria.kmieciak@ifj.edu.pl](mailto:maria.kmieciak@ifj.edu.pl)

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

#### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

„*y decay to the ground state from the excitations above the neutron threshold in the  $^{208}\text{Pb}(\rho,p'\gamma)$  reaction at 85 MeV*”  
B. Wasilewska *et al.*  
*Physical Review C* 105, 014310, 2022  
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.105.014310>

#### **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:**

**IFJ220217b\_fot01s.jpg** **HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2022/02/17/IFJ220217b\\_fot01.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2022/02/17/IFJ220217b_fot01.jpg)  
W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie zaobserwowano drgania jąder ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  podobne do deformacji pojawiających się w piłce tenisowej tuż po odbiciu od ściany. (Źródło: IFJ PAN/San Diego State University/Matt Anderson)

**IFJ220217b\_fot02s.jpg** **HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2022/02/17/IFJ220217b\\_fot02.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2022/02/17/IFJ220217b_fot02.jpg)  
**IFJ220217b\_fot02\_anno\_PLs.jpg** **HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2022/02/17/IFJ220217b\\_fot02\\_anno\\_PL.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2022/02/17/IFJ220217b_fot02_anno_PL.jpg)  
Wnętrze komory próżniowej do obserwacji oscylacji jąder atomów ołowiu. Tarcza z ołowiu  $^{208}\text{Pb}$  jest umieszczona w centrum zdjęcia między dwoma walcowymi detektorami promieniowania gamma. Wiązka protonów z cyklotronu PROTEUS nadlatuje z lewego dolnego rogu i uderza w tarczę. W prawym górnym rogu widoczne detektory rozproszonych protonów. (Źródło: IFJ PAN)

**IFJ220217b\_fot03\_PLs.jpg** **HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2022/02/17/IFJ220217b\\_fot03\\_PL.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2022/02/17/IFJ220217b_fot03_PL.jpg)  
Zależność między liczbą zliczeń kwantów gamma, emitowanych przez wzbudzone protonami jądra ołowiu  $^{208}\text{Pb}$ , a energią tych kwantów. O istnieniu drgań wywołanych gigantycznym rezonansem kwadrupolowym świadczy obszar zaznaczony kolorem czerwonym, widoczny na tle obszaru zielonego, związanego z gigantycznym rezonansem dipolowym. (Źródło: IFJ PAN)