



Kraków, 16 lipca 2026

Jeden eksperyment, cała mapa izotopów ze wzbudzeniami pigmejskimi

W pojedynczym eksperymencie fizykom udało się zmierzyć „nadmiarowe” emisje wysokoenergetycznego promieniowania gamma dla aż kilkunastu ciężkich, niestabilnych jąder atomowych. Zmapowanie emisji gamma tak wielu izotopów produkowanych podczas rozpadów jądrowych to istotny krok na drodze do lepszego zrozumienia kluczowego zjawiska współczesnej fizyki: procesu rozszczepiania jądra atomowego.

Dlaczego wzbudzone, ciężkie jądra atomowe, pojawiające się w procesach rozszczepiania, emitują pozornie nadmiarowe ilości promieniowania gamma o szczególnie wysokich energiach? Wskazówek pozwalających rozwikłać tę zagadkę dostarcza międzynarodowy eksperyment przeprowadzony w ośrodku akceleratorowym GANIL w Caen w północnej Francji. Tarczę z berylu ^9Be ostrzeżliwano tu jonami uranu ^{238}U . Na ogół powstawało wówczas niestabilne jądro kiuru ^{247}Cm , szybko rozszczepiające się na dwa mniejsze jądra. Zastosowane unikatowe metody pomiarowe pozwoliły badaczom – po raz pierwszy w ramach jednego eksperymentu – zebrać dane o wysokoenergetycznych emisjach gamma dla aż kilkunastu niestabilnych, ciężkich izotopów. Pierwsze wyniki doświadczenia, w którego realizację istotny wkład włożył Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie, właśnie opublikowano na łamach czasopisma *Physics Letters B*.

„Dla naszego projektu krytyczne znaczenie miała obserwacja wzbudzonych jąder atomowych formujących się w rozszczepieniu kiuru, ponieważ powstawały wówczas ciężkie jądra dotychczas podobnymi metodami niebadane”, mówi dr inż. Michał Ciemala (IFJ PAN) i wprowadza w szczegóły techniczne: *„W GANIL znajduje się znakomity stacjonarny spektrometr magnetyczny VAMOS++. Nasze kompleksowe pomiary były możliwe do przeprowadzenia dzięki połączeniu jego możliwości z możliwościami mobilnego spektrometru promieniowania gamma PARIS”.*

Spektrometr PARIS to zestaw zgrupowanych w klastry najnowocześniejszych detektorów scyntylacyjnych, potrafiący w bardzo krótkich przedziałach czasowych rejestrować promieniowanie gamma o dużych energiach. Przyrząd, pierwotnie zaproponowany przez prof. dr. hab. Adama Maja, jest rozwijany od kilkunastu lat przez międzynarodowe konsorcjum naukowe koordynowane przez IFJ PAN, w istotnej części z wykorzystaniem potencjału technicznego i badawczego Centrum Cyklotronowego Bronowice (będącego oddziałem IFJ PAN).

„Dzięki spektrometrowi VAMOS++ mogliśmy dokładnie określać masy i ładunki jąder atomowych formujących się po rozszczepieniu wzbudzonego kiuru, a dzięki spektrometrowi PARIS wiedzieliśmy, jakie promieniowanie gamma było wtedy emitowane. Ponieważ wzbudzony kiur może się rozszczepiać na różne izotopy, w trakcie trwającej dwa tygodnie sesji pomiarowej byliśmy w stanie jako pierwsi zarejestrować wysokoenergetyczne emisje gamma dla całej grupy izotopów znajdujących się daleko poza dobrze pod tym względem poznaną ścieżką stabilności”, wyjaśnia dr Ciemala.

Pod pojęciem ścieżki stabilności fizycy rozumieją jądra atomowe różnych pierwiastków nieulegające szybkim, spontanicznym rozpadom. Stabilne jądra mają energetycznie korzystną konfigurację protonów i neutronów. Dla lekkich jąder stabilnymi zwykle są te, w których liczba protonów jest zbliżona do liczby neutronów; w przypadku jąder ciężkich korzystniejszy jest nadmiar neutronów.

Na podstawie danych zgromadzonych dzięki spektrometrom PARIS i VAMOS++ eksperymenciści uczestniczący w projekcie przypisali konkretne emisje gamma do określonych, niestabilnych jąder powstałych z rozszczepienia kiuru. Następnie francuscy teoretycy wykonali obliczenia dla tych konkretnych izotopów, co pozwoliło wysunąć przypuszczenie, że przynajmniej za część obserwowanych emisji są odpowiedzialne rezonanse pigmejskie.

Rezonanse pigmejskie mają związek z drganiami pojawiającymi się w ciężkich jądrach atomowych, gdzie liczba neutronów wyraźnie przewyższa liczbę protonów. Nadmiarowe neutrony zwykle rozmieszczają się na powierzchni jądra, tworząc wokół niego skorupę, nazywaną przez fizyków skórą. Jeśli w takie jądro uderzy inna cząstka, neutrony skorupy zaczynają wspólnie drgać względem protonów. Sytuacja nieco przypomina trzęsienie ziemi, w którego trakcie przesuwają się płyty tektoniczne, ale także wibrują dzwony na dzwonnicach. W neutronowo nadmiarowym jądrze atomowym również będziemy mieli dwa rodzaje drgań: skorupy neutronowej jako całości oraz wibracje samych neutronów. W tym drugim przypadku neutrony w końcu pozbywają się nadmiarowej energii poprzez emisję promieniowania gamma o szczególnie wysokich energiach. Jest ono jednak znacznie słabsze niż promieniowanie emitowane przez skorupę neutronową, dlatego odpowiedzialne za nie wibracje neutronów są nazywane pigmejskimi.

Grupa izotopów, których właściwości emisyjne w zakresie gamma opisano w obecnie opublikowanym artykule, obejmuje kilkanaście niestabilnych jąder atomowych leżących w pobliżu podwójnie magicznej cyny ^{132}Sn (liczby magiczne to takie, dla których powłoki energetyczne w jądrze atomowym są całkowicie wypełnione; podwójna magiczność oznacza, że magiczna jest zarówno liczba protonów, jak i neutronów).

„Wcześniej pomiary emisji wysokoenergetycznych kwantów gamma trzeba było prowadzić w żmudnych, długotrwałych eksperymentach zaprojektowanych specjalnie z myślą o tym czy innym izotopie. My w jednym eksperymencie zmapowaliśmy wiele dotychczas pod tym kątem niezbadanych jąder atomowych. Nie tylko lepiej poznaliśmy całą gamę izotopów, ale także zrobiliśmy to za każdym razem przy tych samych błędach systemowych. Nasze wyniki mają więc ogromną zaletę: pozwalają wykonywać wyjątkowo wiarygodne porównania emisji gamma między różnymi izotopami”, podkreśla dr Ciemała.

Zebrane dane przydadzą się teoretykom jądrowym do lepszego kalibrowania współczesnych modeli zjawisk zachodzących w procesach rozszczepiania, co powinno pomóc lepiej poznać ich dynamikę. Wiedza ta może mieć wymiar praktyczny, na przykład przy projektowaniu nowych elektrowni jądrowych, nie tylko wydajniejszych i bezpieczniejszych, ale także produkujących mniejsze ilości szkodliwych odpadów promieniotwórczych. Innym naukowo interesującym obszarem wykorzystania tych danych jest choćby astrofizyka. Dokładniejsze informacje o przebiegu rozszczepień i właściwościach ciężkich, wzbudzonych jąder atomowych wpłyną na badania nad powstawaniem pierwiastków we Wszechświecie, pomogą przewidywać procesy zachodzące podczas łączenia się gwiazd neutronowych czy precyzować szacunki dotyczące czasów życia czarnych dziur.

Omówiony projekt badawczy sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Nauki, Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej oraz polsko-francuskich programów współpracy naukowej LEA COPIGAL i IN2P3-COPIN.

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 klasyfikacji MEiN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.

KONTAKT:

dr inż. **Michał Ciemala**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628229
email: michal.ciemala@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„First experimental isotopic mapping of the fission “γ-bump” and its connection to the Pygmy dipole resonance”
N. Kumar, C. Schmitt, M. Ciemala, A. Maj, A. Lemasson, D. Ramos, M. Rejmund, S. Brambilla, Y. Cho, E. Clément, O. Dorvaux, J. Dudouet, G. de France, A. Goasduff, B. Jacquot, S. Kihel, M. Lewitowicz, O. Litaize, I. Matea, S. Péru, D. S. Ahn, A. N. Andreyev, P. Bednarczyk, C. Boiano, C. Borcea, A. Bracco, M. Caamano, S. Calinescu, D. Curien, F. Didierjean, G. Duchêne, S. Erturk, M. Filliger, M. Forge, B. Fornal, B. Gall, I. Harca, D. G. Jenkins, D. T. Kattikat Melcom, Y. H. Kim, M. Kmiecik, S. Leoni, K. Mazurek, V. Nanal, A. Navin, A. Oberstedt, S. Oberstedt, C. Petrone, J. Piot, B. Sowicki, M. Stanoiu, L. Stuttgé, A. Utepov, M. Ziębliński
Physics Letters B 2026, 878, 140506
DOI: [10.1016/j.physletb.2026.140506](https://doi.org/10.1016/j.physletb.2026.140506)

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:

IFJ260716b_fot01s.jpg HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/07/16/IFJ260716b_fot01.jpg
Artystyczna wizualizacja emisji promieniowania gamma przez rezonanse pigmejskie skóry neutronowej wzbudzonych jąder atomowych powstałych w rozszczepieniu kiuru. (Źródło: IFJ PAN)