



Kraków, 17 września 2014

Jak biją neutronowe dzwony na powierzchni jądra atomowego?

Międzynarodowy zespół fizyków zaobserwował – po raz pierwszy z tak dużą dokładnością – drgania powierzchni ciężkiego jądra atomowego, ołowiu 208Pb. Pomiary wyjaśniają, jak wyglądają wspólne oscylacje neutronów w jądrach atomowych i ile neutronów na powierzchni jądra uczestniczy w wibracjach znanych jako rezonanse pigmejskie.

Gdy rozpędzony jon z dużą energią uderza w jądro atomowe ciężkiego pierwiastka, wprawia je w specyficzne drgania: wszystkie neutrony zaczynają wspólnie oscylować względem wszystkich protonów. Ale w pobliżu miejsca, w które trafił jon, cząstki na powierzchni jądra atomowego mogą wykonywać jeszcze dodatkowe wibracje, znane jako rezonanse pigmejskie. Było do tej pory zagadką, ile cząstek na powierzchni jądra uczestniczy w rezonansach pigmejskich – a więc ile szczególnie silnie odczuwa efekty zderzenia. Odpowiedź udało się znaleźć dopiero dzięki wyjątkowo precyzyjnym pomiarom, przeprowadzonym we włoskim ośrodku jądrowym w Legnaro w ramach międzynarodowego eksperymentu z użyciem spektrometru gamma najnowszej generacji AGATA.

„Rezonanse jądra atomowego można obrazowo porównać do tego, co się dzieje podczas typowych trzęsień ziemi. Wszystkie budynki drgają wtedy mniej więcej zgodnym rytmem, podobnie jak neutrony w zjawisku gigantycznego rezonansu. Ale w pobliżu epicentrum trzęsienie może dodatkowo wzbudzić także dzwony w wieżach kościelnych. Wibracje samych dzwonów, i to tylko w kościołach bliskich epicentrum, byłyby w tej analogii odpowiednikami rezonansów pigmejskich”, mówi prof. dr hab. Adam Maj z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie.

W badaniach nad rezonansami pigmejskimi ciężkie jądra atomowe ostrzeliwano dotychczas za pomocą lekkich cząstek, które wzbudzały jądra na wiele sposobów. To znacznie utrudniało zrozumienie zachodzących zjawisk. Tym razem do ostrzału jądra atomowego ołowiu 208Pb użyto ciężkich jonów tlenu 17O. Gdy taki jon trafia w jądro atomowe, wzbudza drgania niemal wyłącznie na jego powierzchni.

„Dokładność pomiarów przeprowadzonych z użyciem spektrometru AGATA okazała się tak duża, że po raz pierwszy mogliśmy 'zobaczyć', co się dzieje na powierzchni jądra atomowego. W rezultacie byliśmy w stanie wiarygodnie ocenić, jak naprawdę drgają neutrony tworzące powierzchnię jądra i ile z nich faktycznie uczestniczy w rezonansach pigmejskich wywołanych zderzeniem”, stwierdza prof. Angela Bracco z Uniwersytetu w Mediolanie.

AGATA (Advanced Gamma Tracking Array) to nowoczesny przyrząd do rejestrowania promieniowania gamma, działający od niedawna przy akceleratorach ALPI (Acceleratore Lineare Per Ioni) włoskiego laboratorium Legnaro National Laboratories (LNL), funkcjonującego w ramach

Italian Institute of Nuclear Physics (INFN). Badania z użyciem spektrometru AGATA prowadzi kilkudziesięcioosobowy zespół fizyków z Polski, Włoch, Niemiec, Francji, Hiszpanii, Szwecji, Norwegii i Wielkiej Brytanii. Grupę polską w Legnaro tworzą fizycy z krakowskiego IFJ PAN, od lat zajmujący się rezonansami jądrowymi.

Podstawowymi składnikami jąder atomowych są protony, charakteryzujące się dodatnim ładunkiem elektrycznym, równym co do wartości ujemnemu ładunkowi elektronu. Liczba protonów w jądrze określa, ile elektronów jest niezbędnych do zrównoważenia ładunku jądra. Ponieważ to elektrony odpowiadają za własności chemiczne, liczba protonów w jądrze decyduje, z jakim pierwiastkiem mamy do czynienia. W jądrach atomowych znajdują się także neutrony, cząstki równie masywne co protony, lecz pozbawione ładunku elektrycznego. Jeśli jądra atomowe mają tę samą liczbę protonów, ale różnią się liczbą neutronów, mówimy o izotopach tego samego pierwiastka.

Zwykle liczba neutronów w jądrze jest równa lub zbliżona do liczby protonów. Jednak w jądrach ciężkich pierwiastków liczba neutronów może wyraźnie przewyższyć liczbę protonów. W eksperymencie w ośrodku w Legnaro badano zachowanie jąder ołowiu ^{208}Pb , zawierających 82 protony i aż 126 neutronów.

„Nadmiarowe neutrony w jądrze wykazują tendencję do rozmieszczania się na powierzchni jądra atomowego. Tworzy się skórka neutronowa, otaczająca protony i pozostałe neutrony”, wyjaśnia doktorant Mateusz Krzysiek z IFJ PAN.

Od kilku dziesięcioleci wiadomo, że gdy w jądro ciężkiego pierwiastka uderzy inna cząstka – na przykład elektron lub jądro helu (czyli zlepek dwóch protonów i dwóch neutronów) – neutrony w jądrze zaczynają razem drgać względem protonów. To wzajemne, kolektywne drganie protonów i neutronów odbywa się ze znaczną częstotliwością, a zatem i dużą energią. Fizycy nazywają je gigantycznym rezonansem dipolowym. Kwestią sporną pozostawało, jak przebiegają drgania skórki neutronowej: czy oscyluje ona przesuwając się na boki względem środka jądra, czy też „oddycha” drgając do i od środka jądra.

W jądrach atomowych ze skórka neutronową pojawia się jednak jeszcze jeden rodzaj drgań: neutrony skórki, znajdujące się w pobliżu miejsca zderzenia, nie tylko uczestniczą w zbiorowym ruchu względem protonów, ale także same mogą wibrować. Energia tych specyficznych wibracji jest tak duża, że pozbywając się jej, jądro atomowe emituje kwanty wysokoenergetycznego promieniowania gamma. W tego typu rezonansach uczestniczy znacznie mniej neutronów niż w gigantycznym rezonansie, sygnał jest więc znacznie słabszy (stąd przymiotnik: pigmejski) i w konsekwencji trudny do zarejestrowania.

„Precyzyjne pomiary energii kwantów gamma, przeprowadzone dzięki spektrometrowi AGATA, pozwoliły wyjaśnić dwie kwestie. Po pierwsze, wreszcie wiemy, jak drga skórka neutronowa: 'oddycha' pulsując, a nie oscyluje na boki. Po drugie, ustaliliśmy, że za rezonanse pigmejskie w ołowiu ^{208}Pb odpowiadają wibracje zaledwie 9% wszystkich neutronów, i to tych znajdujących się na powierzchni. Oznacza to, że w rezonansach pigmejskich wibruje zaledwie 11-12 neutronów na powierzchni jądra”, podsumowuje prof. Maj.

Na świecie badania rezonansów pigmejskich cieszą się coraz większym zainteresowaniem wśród fizyków. Wynika ono z przewidywań dotyczących roli tych rezonansów w zjawiskach zachodzących w gwiazdach neutronowych, a także w syntezie pierwiastków na wczesnych etapach ewolucji Wszechświata po Wielkim Wybuchu.

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 12 6628141
email: adam.maj@ifj.edu.pl

PRACE NAUKOWE:

„Isospin Character of Low-Lying Pygmy Dipole States in ^{208}Pb via Inelastic Scattering of ^{17}O Ions”; F. C. L. Crespi et al.; Physical Review Letters 113, 012501, 4 July 2014; DOI: 10.1103/PhysRevLett.113.012501

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:

IFJ140917b_fot01s.jpg

HR: http://ifj.edu.pl/press/2014/09/IFJ140917b_fot01.jpg

Pomiary z użyciem najnowszego spektrometru promieniowania gamma AGATA wyjaśniają, jak wyglądają wspólne oscylacje neutronów w jądrach atomowych i ile neutronów na powierzchni jądra uczestniczy w wibracjach znanych jako rezonanse pigmejskie. (Źródło: IFJ PAN)