



Kraków, 14 grudnia 2016

Nuklearny surfing: Zaobserwowano, jak protony „łapią fale” na powierzchni jąder atomowych

Nie wystarczy wyczekać na dobrą falę, trzeba jeszcze umieć na nią „wskoczyć”. Problemy tak dobrze znane surferom okazują się być nieobce nawet... protonom. Niedawno zakończony eksperyment, zrealizowany przez fizyków z Polski, Włoch i Francji, dostarcza nowych informacji o surfingu absolutnie ekstremalnym: o protonach synchronizujących swój ruch z wibracjami jądra atomowego.

O jądrach atomowych można powiedzieć wiele rzeczy mniej lub bardziej pewnych, ale co do jednej nie ma żadnych wątpliwości: wcale nie są tworam tak nudnymi, jak je nam przedstawiano na zajęciach w szkole. Dowodem może być najnowszy eksperyment fizyków jądrowych, w którym badano skłonność protonów w jądrach atomowych do... wyrafinowanych form rozrywki. Zespół naukowców z włoskiego Università degli Studi di Milano (UniMi) oraz Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie w szerokiej współpracy międzynarodowej po raz pierwszy zmierzył czasy potrzebne pojedynczym protonom w jądrze atomowym do synchronizowania się z oscylacjami jądra. Osiągnięcie można zobrazować za pomocą przemawiającej do wyobraźni analogii: niektóre protony potrafią surfować po powierzchni jądra atomowego, a my wreszcie wiemy, jak długo muszą czekać nim „złapią falę”.

Jądra atomowe zawierają od jednego protonu do ponad 200 protonów i neutronów i – podobnie jak atomy – mogą pochłaniać i emitować pewne porcje energii. W atomach procesom tym towarzyszą przejścia elektronów na (odpowiednio) dalsze lub bliższe jądra orbitale, grupujące się w powłoki elektronowe. Jak elektrony wokół jądra, tak protony i neutrony w samych jądrach znajdują się w ciągłym ruchu. Choć nie krążą wokół wyróżnionego punktu, okazuje się, że i tu można mówić o istnieniu w jądrach pewnych powłok o dobrze określonych energiach. Na ogół miejsca w tych powłokach mogą być zajmowane zarówno przez protony, jak i przez neutrony. Niektóre powłoki są jednak zarezerwowane wyłącznie dla protonów, a inne wyłącznie dla neutronów.

Przeskok na sąsiednią powłokę może niekiedy wymagać wchłonięcia lub wyemitowania dużej porcji energii (taka sytuacja pojawia się zwłaszcza wtedy, gdy powłoki są zapełnione). Jeśli dostępnej energii jest mniej, jądro nadal może zmienić swój stan energetyczny, tyle że w bardziej wyrafinowany sposób: zaczyna wibrować. Wiadomo, że może wtedy dojść do sprzężenia się ruchu protonu czy neutronu z oscylacjami jądra. Na pierwszy rzut oka zjawisko wydaje się bardzo abstrakcyjne. Tymczasem podobny mechanizm odgrywa główną rolę w jednym z kultowych, masowo uprawianych sportów świata. Mowa, naturalnie, o surfingu.

„Surferzy potrafią długo czekać na odpowiednią falę. Ale jej pojawienie się wcale nie gwarantuje dobrej zabawy! Jeśli surfer się zagapi, fala go minie, a on jedynie podskoczy na jej powierzchni jak korek czy spławik. Niezapomnianą frajdę będzie miał tylko ten surfer, który ze swą deską zdąży 'wskoczyć na falę'. Surfing polega więc właśnie na sprzęganiu się surfera z falą. Coś podobnego w

odpowiednich warunkach robią protony: 'wskakują' na oscylacje powierzchni jądra atomowego i podróżują wraz z nimi. I chyba surfują profesjonalniej niż ludzie, bo przecież w ekstremalnych warunkach, no i bez deski...”, tłumaczy z uśmiechem prof. Bogdan Fornal (IFJ PAN).

Sprzęganie się protonu z wibracjami jądra jest trudne do badania, gdyż potrzebny jest układ, w którym samotny proton znajduje się na zewnątrz powłok w pełni wypełnionych wieloma protonami i neutronami. Aby zaobserwować „protonowych surferów”, włosko-polski zespół zrealizował w laboratorium Institut Laue-Langevin w Grenoble eksperyment, w którym milimetrowych rozmiarów grudki uranu ^{235}U i plutonu ^{241}Pu poddano naświetlaniu neutronami. W celu zwiększenia szansy na wychwycenie przez jądra atomowe, neutrony znacznie spowolniono. Gdy neutron przyłączał się do jądra w tarczy, stawało się ono niestabilne i rozpadało się na różne sposoby. Wśród produktów rozpadu znajdowały się wzbudzone jądra antymonu ^{133}Sb .

„Jądro antymonu ^{133}Sb to w zasadzie jądro cyny ^{132}Sn z dodatkowym protonem. A cyna ^{132}Sn jest szczególna: zawiera 50 protonów i 82 neutrony, dokładnie tyle, żeby całkowicie wypełnić i powłokę neutronową, i protonową. W takim jądrze – nazywamy je podwójnie magicznym – przeskok między powłokami wymaga emisji lub absorpcji dużej ilości energii. Antymon ^{133}Sb był więc dla nas tak interesujący, bo mamy tu skłonny do wpadania w wibracje kompaktowy rdzeń oraz jeden luźniej związany proton, czyli układ wręcz idealny do badania sprzężeń”, wyjaśnia prof. Fornal.

Jądra antymonu ^{133}Sb pozbywały się nadmiaru energii przez emisję kilku kwantów gamma o ściśle określonych energiach. W eksperymencie rejestrowano to promieniowanie, a wyniki porównywano z przewidywaniami teoretyków. Tak ustalono, przez które stany energetyczne jądra ^{133}Sb wracały do stanu podstawowego. Okazało się, że ścieżka rozpadu składa się z dwóch części: jednej z protonem niesprężonym oraz drugiej, z protonem sprzężonym z oscylacjami jądra. Z zebranych danych wynika, że gdy już dojdzie do sprzężenia, jądro traci energię szybciej, a samo sprzężenie zostaje zachowane na wszystkich kolejnych stopniach drabiny energetycznej.

„Po raz pierwszy zmierzaliśmy czas potrzebny protonowi na sprzęgnięcie się z oscylacjami jądra. Dzięki temu wiemy już, że gdy proton wskoczy na falę, zachowuje się jak rasowy surfer: pozostaje na niej do końca, czyli do momentu, gdy jądro osiągnie stan podstawowy. Tym, co sprawia protonowi największą trudność, okazuje się samo przechodzenie między stanami niesprężonymi a sprzężonymi, czyli wsiadanie na falę”, mówi prof. Fornal.

Co ciekawe, z oscylacjami powłok może być jednocześnie sprzężonych kilka protonów. Uprawiają one wtedy coś w rodzaju surfingu grupowego, na dodatek w bardzo wyrafinowanej formie: sprzęgają się nie tylko z falami, ale także między sobą.

Wyniki eksperymentu, po stronie polskiej finansowanego z grantów Narodowego Centrum Nauki, mają znaczenie m.in. w kontekście poszukiwań kolejnych, bogatych w neutrony jąder atomowych. Nauka zna obecnie 258 stabilnych jąder atomowych i ok. 3000 niestabilnych – mniej więcej tyle, ile jest aktualnie odkrytych planet pozasłonecznych. Przewiduje się, że wszystkich jąder atomowych może być 7-9 tys. Na odkrycie i zbadanie czeka więc przynajmniej drugie tyle jąder atomowych, ile udało się poznać w całej historii fizyki jądrowej. W poszukiwaniach niezwykle pomocny byłby jednolity, spójny model jądra atomowego. Oddziaływania w jądrach atomowych są jednak tak skomplikowane, że mimo trwających od dekad wysiłków, na razie nie udało się go stworzyć.

Gdy w szkole rozważa się np. oddziaływanie elektrostatyczne między dwoma ciałami z ładunkami elektrycznymi, jest ono dość łatwe do opisania, ponieważ ładunki są dwa, a siła między nimi zależy tylko od ich wzajemnej odległości. Protony i neutrony w jądrze spaja jednak oddziaływanie silne, zależące nie tylko od odległości między każdą oddziałującą parą cząstek jądrowych, ale także od wzajemnej i ciągle się zmieniającej orientacji ich spinów (momentów obrotowych). Na dodatek jądra ciężkich pierwiastków są układami zawierającymi nie dwie cząstki, lecz wiele protonów i neutronów – wszystkie oddziałują ze sobą, a każdy porusza się w polu wytwarzanym przez pozostałe. Cały układ jest tak skomplikowany, że dotychczas zbudowano tylko jego przybliżone modele, z których każdy w miarę dobrze opisuje jedynie pewne aspekty jądrowej rzeczywistości. W tej sytuacji wszelkie jakościowo nowe pomiary doświadczalne są niezwykle ważne.

„Nasz wspólny eksperyment w ILL dostarczył danych, które umożliwiły mojej grupie skonstruowanie nowego modelu, lepiej opisującego sprzężenie się protonów z oscylacjami jądra. Po raz pierwszy możemy tu np. wyliczyć prawdopodobieństwa, z jakimi rozpadną się poszczególne stany energetyczne w tak wzbudzonych jądrach. W efekcie potrafimy lepiej przewidywać właściwości kolejnych jąder z nadmiarem neutronów, w tym tych, które dopiero czekają na odkrycie”, podsumowuje prof. Silvia Leoni (UniMi).

Model zbudowany na podstawie doświadczenia zaprojektowanego przez fizyków z UniMi i IFJ PAN ma znaczenie m.in. dla lepszego zrozumienia mechanizmów odpowiedzialnych za powstanie we Wszechświecie pierwiastków cięższych od żelaza (co wynika z faktu, że jądra takich pierwiastków tworzyły się w procesach inicjowanych przez szybkie wyłapywanie neutronów emitowanych w dużych ilościach w trakcie wybuchów supernowych). Innym potencjalnym obszarem zastosowań modelu jest energetyka jądrowa. Jego użycie pozwoli tu lepiej przewidywać, jak rozpadają się jądra utworzone w wyniku reakcji zachodzących w reaktorach, a zatem przyczyni się do dalszego podnoszenia poziomu ich bezpieczeństwa.

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 czasopiśmie 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. **Bogdan Fornal**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel. +48 12 6628207
email: bogdan.fornal@ifj.edu.pl

PRACE NAUKOWE:

„The mutable nature of particle-core excitations with spin in the one-valence-proton nucleus ^{133}Sb ”;
G. Bocchi, S. Leoni, B. Fornal et al.; Physics Letters B 760 (2016) 273–278; <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2016.06.065>

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:

IFJ161214b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2016/12/14/IFJ161214b_fot01.jpg

Jak surfer z falą, tak proton może się sprzęgać z wibracjami jądra atomowego. Na zdjęciu w roli protonu pęcherzyk powietrza graficznie wyciągnięty spod powierzchni wody. (Źródło: IFJ PAN, jch)