



Kraków, 9 lipca 2014

Jak odsłonić prawdziwe oblicze jąder atomowych?

Podstawowymi składnikami jąder atomowych są protony i neutrony. Czy cząstki te są rozmieszczone w jądrach pojedynczo, czy może grupują się w czwórki, po dwa protony i dwa neutrony? Fizycy z Polski i Hiszpanii przedstawili niedawno pomysł, jak w przyszłych eksperymentach dostrzec prawdziwy wygląd jąder atomowych.

Indywidualiści czy raczej zwolennicy życia rodzinnego? Zgodnie z podręcznikowym obrazem, protony i neutrony w jądrach atomowych są rozmieszczone jednorodnie i poruszają się niezależnie od siebie. Jest jednak sporo przesłanek przemawiających za tym, że nukleony w jądrach wielu pierwiastków w rzeczywistości grupują się w niewielkie klastry, np. w jądra helu złożone z dwóch protonów i dwóch neutronów. Bezpośrednie pomiary tego efektu są jednak niezwykle trudne, a dotychczasowe wyniki niejednoznaczne. Jak więc zobaczyć prawdziwe oblicze jądra atomowego?

Na łamach prestiżowego czasopisma naukowego „Physical Review Letters”, w artykule wyróżnionym przez redakcję, fizycy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie i hiszpańskiego Universidad de Grenada (UG) opisali metodę, która w przyszłych eksperymentach pozwoli ustalić, czy protony i neutrony w jądrach rzeczywiście się grupują, czy też każdy z nich „żyje na własną rękę”. Badania były współfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki.

Sugestie dotyczące możliwości grupowania się nukleonów w klastry wewnątrz jąder atomowych pojawiły się już ponad 80 lat temu. W 1931 roku słynny fizyk George Gamow wysunął przypuszczenie, że jądra atomowe składają się z cząstek (klastrów) alfa, czyli zlepeków dwóch protonów i dwóch neutronów. Mimo upływu dekad wciąż nie ma jednoznacznych dowodów eksperymentalnych potwierdzających występowanie klastrów alfa w jądrach atomowych. Z zaawansowanych symulacji komputerowych wiadomo jednak, że np. jądro berylu ${}^9\text{Be}$ składa się z dwóch klastrów alfa i dodatkowego neutronu, ma więc kształt bardziej przypominający hantel niż kulę. Niektóre eksperymenty z użyciem akceleratorów wskazują na istnienie klastrów alfa w jądrach cięższych pierwiastków, np. trzech w jądrze węgla ${}^{12}\text{C}$, czterech w jądrze tlenu ${}^{16}\text{O}$, dziesięciu w wapniu ${}^{40}\text{Ca}$ i czternastu w niklu ${}^{56}\text{Ni}$.

„Uważamy, że jeśli jądra atomowe są zbudowane z klastrów alfa, to ślady po tej strukturze będzie można zobaczyć w ruchu cząstek powstających wskutek ultrarelatywistycznych zderzeń odpowiednio dobranych jąder atomowych”, mówi prof. dr hab. Wojciech Broniowski (IFJ PAN), jeden ze współautorów publikacji.

W zderzeniach ultrarelatywistycznych jądra atomowe poruszają się z prędkościami bardzo bliskimi prędkości światła. Z tego powodu ich konfiguracja przestrzenna w trakcie trwającego niezwykle krótko zderzenia jest „zamrożona”. W wyniku kolizji takich jąder powstaje plazma kwarkowo-gluonowa, która zachowuje się jak płyn: „rozlewa się” na wszystkie strony. Okazuje się jednak, że prędkość „rozlewania” nie jest jednakowa we wszystkich kierunkach: w jednych płynie ona nieco szybciej, w innych nieco wolniej. Te różnice okazują się mieć związek z pierwotnym kształtem zderzających się jąder atomowych.

„Po kilku femtosekundach od początku zderzenia, czyli milionowych części jednej miliardowej sekundy, dochodzimy do ciekawego momentu”, zauważa prof. Broniowski. „Rozlewająca się plazma zaczyna stygnąć i przekształcać w różne cząstki, które są rejestrowane w detektorach. Prędkości tych cząstek są nieco większe w tych kierunkach, w których plazma płynie szybciej. Wykazaliśmy, że bardzo uważnie mierząc prędkości cząstek wylatujących z obszaru zderzenia można w nich wykryć drobne różnice, które niosą ukrytą informację o pierwotnym kształcie jądra atomowego”.

Autorzy publikacji w „Physical Review Letters” modelowali zderzenia jąder węgla ^{12}C z jądrami ołowiu ^{208}Pb . Wybór węgla ^{12}C był nieprzypadkowy. Jeśli to jądro składa się z trzech klastrów alfa, powinno mieć kształt zbliżony do trójkąta. W takiej sytuacji różnice w prędkościach cząstek powstających przy zderzeniu powinny szczególnie wyraźnie zależeć od kierunku: cząstki będą poruszać się szybciej w kierunkach prostopadłych do boków trójkąta i wolniej w kierunkach wyznaczonych przez wierzchołki. Z kolei bardzo ciężkie jądro ołowiu jest potrzebne, by zagwarantować wytworzenie gęstej plazmy kwarkowo-gluonowej, zdolnej do przepływu.

„Nasza metoda powinna działać także w przypadku cięższych jąder atomowych, na przykład jądra tlenu ^{16}O , które prawdopodobnie ma kształt piramidy. Jednak im więcej klastrów, tym jądra stają się efektywnie bardziej kuliste i różnice w prędkościach cząstek w zależności od kierunku są wtedy trudniejsze do wykrycia”, wyjaśnia prof. Enrique Ruiz Arriola (UG).

Łączenie się obiektów w grupy to uniwersalny, potężny mechanizm obniżania energii układów fizycznych podlegających przyciąganiu. Występuje w przyrodzie powszechnie, we wszystkich skalach odległości. Kwarki dolne i górne grupują się po trzy tworząc protony i neutrony, nukleony tworzą jądra atomowe, atomy łączą się w mniej lub bardziej trwałe cząsteczki chemiczne, a drobiny wody zawarte w powietrzu zamarzają w płatki śniegu. W skalach kosmicznych gwiazdy formują galaktyki, a galaktyki gromady. W naszym życiu my, ludzie, by zimą uniknąć wychłodzenia na mrozie zbijamy się w grupki...

„Wciąż nie wiemy, czy nukleony tworzą w jądrach w klastry alfa. Jednak wiemy już, jak się tego dowiedzieć. Kolejny krok na drodze do poznania budowy jądra atomowego należy teraz do eksperymentatorów”, podsumowuje prof. Broniowski.

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 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. **Wojciech Broniowski**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel. +48 12 6628431
email: wojciech.broniowski@ifj.edu.pl

PRACE NAUKOWE:

„Signatures of Alfa Clustering in Light Nuclei from Relativistic Nuclear Collisions”; W. Broniowski, Enrique Arriola; Physical Review Letters, 112, 112501 (2014).

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:

IFJ140709b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2014/07/IFJ140709b_fot01.jpg

Dwa modele jądra atomowego węgla ^{12}C . Czy składa się ono z trzech klastrów alfa (czyli ciasno związanych grup zbudowanych z pary protonów i pary neutronów), jak po lewej, czy jest jednorodnym zlepkiem pojedynczych nukleonów, jak po prawej? (Źródło: IFJ PAN, Tentaris)