

Warszawa, 18 lutego 2015

Oswajanie egzotycznych jąder atomowych

Nowy model opisu jąder atomowych, przedstawiony przez fizyka z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, pozwala dokładniej przewidywać właściwości egzotycznych izotopów powstających w wybuchach supernowych oraz tworzących się w kontrolowanych reakcjach zachodzących we wnętrzach nowoczesnych reaktorów nuklearnych.

Współczesna aparatura badawczo-pomiarowa nie jest w stanie wytworzyć i zarejestrować wielu egzotycznych izotopów powstających w wybuchach supernowych i we wnętrzach reaktorów jądrowych. W efekcie znaczna liczba jąder atomowych wciąż pozostaje nieznana. Przewidywanie niektórych ich właściwości będzie teraz łatwiejsze – dzięki nowemu modelowi opisu jąder atomowych, zaprezentowanemu niedawno przez dr. Krzysztofa Miernika z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW).

„W czasach, gdy wykaz współtwórców publikacji z zakresu fizyki subatomowej bywa porównywalny do zasadniczej treści artykułu, praca pojedynczego autora to prawdziwa rzadkość. W tym przypadku to jeszcze większy rarytas, bo nowy model teoretyczny zaprezentował fizyk doświadczalny”, podkreśla prof. dr hab. Tomasz Matulewicz, dyrektor Instytutu Fizyki Doświadczalnej FUW.

Współczesne modele teoretyczne jąder atomowych można podzielić na dwie grupy: mikroskopowe i fenomenologiczne. Modele mikroskopowe próbują opisać jądra za pomocą równań mechaniki kwantowej, co udaje się tylko w przypadku jąder ze stosunkowo niewielką liczbą protonów i neutronów. Natomiast modele fenomenologiczne nie wnikają w naturę zjawisk fizycznych, lecz starają się znaleźć bardziej ogólne, statystyczne zależności między różnymi jądrami.

„Opisy wychodzące od najbardziej podstawowych zasad kwantowo-mechanicznych są możliwe do wyprowadzenia tylko dla prostych jąder, liczących nie więcej niż kilkanaście cząstek, natomiast modele statystyczne działają świetnie, tyle że na naprawdę dużych zbiorach danych. No i mamy problem, bo liczba protonów i neutronów w większości jąder atomowych jest pośrednia: dostatecznie duża, by praktycznie uniemożliwić dokładny opis, i jednocześnie tak mała, że opis statystyczny pozostaje nieprecyzyjny”, wyjaśnia dr Miernik.

Współczesna fizyka zna cztery oddziaływania fundamentalne: grawitacyjne, elektromagnetyczne, jądrowe silne i jądrowe słabe. Grawitacja działa między obiektami mającymi masę i kształtuje Wszechświat w skalach kosmicznych. Elektromagnetyzm wiąże ujemnie naładowane elektrony z dodatnimi jądrami atomowymi tworząc atomy, które możemy obserwować dzięki jego nośnikom: fotonom. Oddziaływania jądrowe silne „sklejają” kwarki w protony i neutrony, podstawowe składniki jąder atomowych. Na tym tle oddziaływania jądrowe słabe wydają się mało znaczące.

„Nic bardziej mylnego! Oddziaływania jądrowe słabe pełnią bardzo ważną rolę: to dzięki nim jedne cząstki jądrowe mogą się zmieniać w inne. Gdyby nie oddziaływania słabe, we Wszechświecie nie byłoby wielu pierwiastków”, stwierdza dr Miernik.

Podstawowymi fabrykami pierwiastków we Wszechświecie są gwiazdy. Zachodzące w nich reakcje termojądrowe nie są jednak w stanie wytworzyć jąder atomowych cięższych od żelaza. Na szczęście dzięki oddziaływaniom słabym w jądrach dochodzi niekiedy do przemiany beta minus: neutron zmienia się w proton i dwie inne cząstki, elektron i antyneutrino elektronowe, które szybko „uciekają” z jądra. Wskutek przemian beta minus liczba protonów w jądrze atomowym się zwiększa, co za każdym razem oznacza narodziny nowego pierwiastka.

„Ciekawe rzeczy dzieją się nie tylko w trakcie przemiany beta, ale także po niej. Nowe jądro może być wzbudzone energetycznie. Jeśli ma zbliżone liczby neutronów i protonów, prawdopodobnie pozbędzie się nadmiaru energii po prostu emitując promieniowanie gamma. Jeśli jednak w jądrze jest duży nadmiar neutronów, może pozbyć się energii emitując neutron. Mamy więc najpierw przemianę beta, a po niej opóźnioną emisję neutronu”, wyjaśnia dr Miernik.

Opóźniona emisja neutronów z jąder atomowych to proces o istotnym znaczeniu w astrofizyce. Podczas wybuchów supernowych uwalniane są ogromne ilości neutronów, z których część jest wychwytywana przez jądra atomowe. Jedna z głównych ścieżek produkcji nowych pierwiastków, odpowiedzialna za powstanie mniej więcej połowy izotopów cięższych od żelaza, prowadzi wówczas właśnie przez przemianę beta minus połączoną z emisją neutronów opóźnionych.

„Brak wiedzy o egzotycznych jądrach atomowych, tworzących się w wybuchach supernowych, to prawdziwa przeszkoda w pełnym zrozumieniu zachodzących wówczas zjawisk”, mówi dr Miernik.

Opóźniona emisja neutronów ma znaczenie także na Ziemi: umożliwia relatywnie łatwą kontrolę przebiegu reakcji jądrowych w reaktorach atomowych. Gdyby podczas rozpadu uranu wszystkie neutrony uwalniały się natychmiast, każda reakcja byłaby łańcuchowa i prowadziła do eksplozji nuklearnej. Na szczęście świat działa inaczej i choć w rozpadach uranu tylko jeden neutron na kilkadziesiąt jest emitowany z opóźnieniem, ta niewielka liczba wystarcza do kontrolowania reakcji.

Wskutek rozpadu uranu może powstać ok. 270 jąder atomowych emitujących neutrony opóźnione. Pomiar ich własności są jednak trudne. Z uwagi na krótki czas życia, większość tych jąder atomowych trzeba wytwarzać sztucznie. Co więcej, detekcja neutronów, niosących informację o przebiegu rozpadu, wymaga użycia drogich i mało wydajnych detektorów. W efekcie współczesna fizyka zna własności niewiele ponad 1/3 rodzajów jąder atomowych z tej grupy.

„Spójrzmy okiem konstruktora. Jeśli w reaktorze tworzą się jakieś jądra atomowe, warto przecież wiedzieć, jakie – i jak się zachowują. Nowym jądrem może być na przykład izotop kryptonu, czyli gaz szlachetny, ale równie dobrze może to być rubid, metal alkaliczny, który będzie zachowywał się zupełnie inaczej wewnątrz reaktora.”, mówi dr Miernik.

Model emisji neutronów opóźnionych, zaproponowany przez dr. Miernika, jest rozwinięciem modeli bazujących na statystyce. Kluczowym pomysłem było stworzenie systematyki na podstawie jednego z parametrów, nazywanego gęstością poziomów jądrowych, w taki sposób, aby przewidywania modelu jak najlepiej zgadzały się z pomiarami. Opis skonstruowany wokół tej idei pozwala usystematyzować dotychczas znane jądra atomowe i przewidywać własności egzotycznych, jeszcze niebadanych jąder atomowych.

Jak każdy nowy model, także i ten będzie wymagał ciągłej weryfikacji eksperymentalnej. Na razie model z powodzeniem przeszedł wstępny test, w którym sztucznie ograniczono liczbę dotychczas znanych jąder atomowych i porównano przewidywania, dokonane na podstawie ograniczonego zestawu danych, ze znanymi wartościami parametrów zmierzonych dla odrzuconych jąder. Pierwsze pomiary właściwości nowych jąder atomowych, pozwalające zweryfikować poprawność modelu, dr Miernik spodziewa się otrzymać dzięki eksperymentom, które niedługo rozpoczną się w japońskim instytucie badawczym RIKEN Nishina Center.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„ β -delayed multiple-neutron emission in the effective density model”; K. Miernik; Physical Review C 90, 054306 (2014); DOI: 10.1103/PhysRevC.90.054306

KONTAKTY:

dr Krzysztof Miernik
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532665
email: krzysztof.miernik@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW150218b_fot01s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150218b_fot01.jpg
Przyszłe eksperymenty w japońskim ośrodku RIKEN Nishina Center pozwolą zweryfikować model jąder atomowych zaproponowany przez dr. Krzysztofa Miernika z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.
(Źródło: Wikimedia Commons)