

Egzotyczne jądra atomowe coraz lepiej znane

Nowy model opisu jąder atomowych, przedstawiony przez fizyka z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, pozwala dokładniej przewidywać właściwości egzotycznych izotopów powstających w wybuchach supernowych oraz w nowoczesnych reaktorach 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 nieznaną. 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). O badaniach, które ukazały się w czasopiśmie "Physical Review Letters C", poinformował FUW w przesłanym PAP komunikacie.

Współczesne modele teoretyczne jąder atomowych można podzielić na dwie grupy. „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” - mówi 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. Jedną z głównych ścieżek produkcji nowych pierwiastków, odpowiedzialną 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: umożliwiła 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. 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.



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.

[PAP - Nauka w Polsce](#)