Czy można wytworzyć jeszcze cięższe pierwiastki?

2019-05-13

Wspólna informacja prasowa Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i Narodowego Centrum Badań Jądrowych

Naukowcy z Wydziału Fizyki UW oraz z Narodowego Centrum Badań Jądrowych wskazują na możliwość wytworzenia w laboratoriach w niedługim czasie dwóch nowych pierwiastków superciężkich oraz kilku nowych izotopów pierwiastków już odkrytych. W obliczeniach uwzględniających nie brane wcześniej pod uwagę procesy wykorzystano model teoretyczny stworzony w Warszawie.

Wolne miejsca w 7 rzędzie układu okresowego zostały niedawno wypełnione, a nowe pierwiastki uzyskały swoje nowe nazwy. Najcięższy (o liczbie protonów Z=118) nazwano oganesson na cześć akademika i odkrywcy Yuriego Oganessiana. Naukowców wciąż jednak nurtuje pytanie, czy uda się wytworzyć sztucznie jeszcze cięższe pierwiastki? Jeśli tak, to do której grupy układu okresowego będą one przynależeć? Ze względu na silne efekty relatywistyczne, które deformują rozkłady elektronów na powłokach atomowych, odpowiedź na to pytanie nie jest prosta i oczywista, a wpływ deformacji relatywistycznych na właściwości chemiczne trudny do przewidzenia.

Superciężkie pierwiastki otrzymuje się bombardując ciężkie tarcze jądrowe dużo lżejszymi rozpędzonymi jonami. Zarówno tarcze, pociski jak i energie bombardowania muszą być odpowiednio dobrane. Prawdopodobieństwo zajścia oczekiwanej reakcji jądrowej, uwieńczonej wytworzeniem na ułamek sekundy jądra o nowym składzie, jest ekstremalnie małe. Istniejące akceleratory służące do tego typu badań osiągnęły już granice swoich możliwości, ale buduje się nowe zderzacze, takie jak SHE-Factory w międzynarodowym instytucie w Dubnej w Rosji, które zwiększą „potencjał wytwórczy” nawet stukrotnie.

„W Warszawie dysponujemy prostym, ale wiarygodnym modelem pozwalającym oszacować prawdopodobieństwo wytworzenia nowych pierwiastków w powstających nowych instalacjach” – wyjaśnia profesor Krystyna Siwek-Wilczyńska z Wydziału Fizyki UW. „Model nazywany modelem *fuzji przez dyfuzję* (ang. *Fusion by Diffusion - FBD*), w którym proces prowadzący do powstania nowych jąder (syntezy jądrowej) dzielimy na trzy niezależne, następujące kolejno po sobie etapy. Pierwszy opisuje prawdopodobieństwo pokonania odpychającej bariery związanej z dużym dodatnim ładunkiem jąder w zainicjowanej reakcji. Ta faza w miarę łatwo poddaje się modelowaniu.”

„Dużo trudniejszy w opisie jest kolejny etap, określający prawdopodobieństwo takiego

przekonfigurowania układu dwóch składników, aby nowo powstała konfiguracja była na tyle stabilna, by można było traktować ją jako istniejący przez chwilę samodzielny niezależny układ jądrowy" – kontynuuje wyjaśnienia profesor Michał Kowal, kierownik Zakładu Fizyki Teoretycznej NCBJ, współautor pracy. „Prawdopodobieństwo zajścia takiego procesu jest zwykle niesłychanie małe. Jeśli proces zajdzie, to takie jądro nazywamy jądrem złożonym."

„Do obliczeń drugiego etapu wykorzystujemy równania Smoluchowskiego opisujące proces dyfuzji i stąd pochodzi nazwa naszego modelu" – opisuje prof. Wilczyńska. „Jednak analogia ze zwykłym procesem dyfuzji nie jest oczywista. Możemy w bardzo uproszczony sposób powiedzieć, że to układ jądrowy dyfunduje z konfiguracji początkowej do konfiguracji jądra złożonego. Przeszkodą dla tego procesu jest bariera potencjału oddzielająca obie konfiguracje. Proces dyfuzji jest możliwy dzięki termicznym fluktuacjom kształtu układu. Trzeci etap to rozpad utworzonego jądra złożonego. W naszych obliczeniach uwzględniamy kilka możliwych kanałów rozpadu. Najważniejsze to emisja neutronu i rozszczepienie. Nowością jest włączenie nieuwzględnionych wcześniej w modelu FBD możliwości emisji protonu lub nawet cząstki alfa. Prawdopodobieństwo emisji cząstki naładowanej jest mniejsze od prawdopodobieństwa dwóch konkurencyjnych procesów emisji neutronu lub rozszczepienia. Okazało się jednak, że wyznaczone wartości przekrojów czynnych dla tych nowych kanałów rozpadu wskazują na możliwość ich obserwacji w nowo budowanych zderzaczach. Proces emisji protonu lub cząstki alfa prowadzi do wytworzenia jąder superciężkich, które są względnie bogatsze w neutrony, a więc znajdują się bliżej hipotetycznej wyspy stabilności."

„Wcześniej już zauważyliśmy, że bardzo istotne jest prawidłowe uwzględnienie zależności wyznaczanych przekrojów czynnych od momentu pędu jaki układ uzyskuje na początku procesu" – dodaje dr Tomasz Cap z Zakładu Fizyki Jądrowej w NCBJ, współautor pracy. „Tę zależność włączaliśmy do opisu na każdym etapie reakcji. Bardzo ważne było też wykorzystanie konsystentnego zestawu wejściowych danych takich jak masy jąder, bariery na rozszczepienie, poprawki powłokowe, deformacje jądrowe. Nasz zespół pracujący w NCBJ specjalizuje się w wykonywaniu takich obliczeń dla pierwiastków superciężkich, a wiarygodność uzyskiwanych w NCBJ wyników została potwierdzona wielokrotnie w sytuacjach, gdy możliwe jest porównanie z istniejącymi danymi doświadczalnymi. Można więc zakładać z dużym prawdopodobieństwem, że wyniki tych obliczeń, które są wiarygodne w obszarze jąder znanych, można stosować również dla nowych, niezbadanych jeszcze jąder, których prawdopodobieństwo wytworzenia chcieliśmy właśnie oszacować."

Wyniki uzyskane przez autorów są intrygujące i spektakularne. Przewidują oni, że istnieje pewna wcale nieznikoma szansa wytworzenia w nowych eksperymentach dwóch nowych pierwiastków o Z=119 i Z=120. „Szczególnie obiecująca wydaje się reakcja prowadzona na tarczy ^{249}Bk (berkelium) z użyciem pocisku ^{50}Ti (tytanium)" - przekonuje prof. Kowal. „Tylko o rząd wielkości mniej prawdopodobne powinno być wytworzenie pierwiastka Z=119 na tarczy ^{248}Cm (kiur) z wanadem (^{51}V) jako pociskiem. Ta reakcja jest właśnie testowana w laboratorium RIKEN w Japonii. Istnieje też ciekawa możliwość wytworzenia pierwiastka Z=120 w wyniku bombardowania kiuru-248 jądrami chromu-54."

„Oprócz perspektywy wytworzenia nowych pierwiastków bardzo optymistycznie wygląda sprawa wytworzenia nowych izotopów pierwiastków już znanych" - uzupełnia dr Cap. „Przewidujemy możliwość wytworzenia około dwudziestu takich nowych superciężkich nuklidów! Są to nowe izotopy copernicium (Z=112), nihonium (Z=113), flerovium (Z=114), moscovium (Z=115), livermorium (Z=116), a także tennessin (Z=117). To bardzo ekscytująca perspektywa."

„Pomimo sporego optymizmu co do perspektyw wytwarzania nowych pierwiastków oraz ich nowych izotopów, zawsze należy zachować pewną dozę ostrożności ze względu na skalę skomplikowania opisywanego zjawiska" - podkreśla profesor Siwek-Wilczyńska. „Po raz pierwszy w tego typu rachunkach udało się nam prostą acz sprytną metodą oszacować błąd teoretyczny podanych przewidywań. Pokazaliśmy, że przekroje czynne, a co za tym idzie prawdopodobieństwa wytworzenia

nowych superciężkich jąder, nie mogą być wyznaczone z dokładnością większą niż rząd wielkości.”

Praca zatytułowana „Exploring the production of new superheavy nuclei with proton and α-particle evaporation channels” została opublikowana na początku maja tego roku w wiodącym czasopiśmie Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego Physical Review C. Można ją przeczytać pod poniższym adresem:
https://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.99.054603

Adres uzupełniający: Strona budowanego laboratorium SHE Factory:
http://flerovlab.jinr.ru/flnr/she_factory_no.html

Nadawcy informacji:
Marek Pawłowski
Rzecznik NCBJ

Agata Meissner
Wydział Fizyki UW