

Struktura jądra ^{210}Bi badana w wychwycie zimnych neutronów - do czego to się może przydać?

N. Cieplicka-Oryńczak¹, S. Leoni², B. Fornal¹, S. Bottoni²,
M. Jentschel³, U. Köster³, P. Mutti³, T. Soldner³

¹*Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN, Kraków, Polska*

²*INFN Sezione di Milano oraz Università degli Studi di Milano, Mediolan, Włochy*

³*Institut Laue-Langevin, Grenoble, Francja*

Pomimo zgromadzenia obszernego materiału eksperymentalnego dotyczącego struktury jądra atomowego, nie udało się dotychczas opracować jednej pełnej teorii, która tłumaczyłaby wszystkie fakty doświadczalne. Jest to spowodowane skomplikowaną formą oddziaływania jądrowego w układzie złożonym z wielu silnie oddziałujących ze sobą nukleonów. Stąd konieczność używania uproszczonych modeli. Jednym z nich jest model powłokowy, wyjaśniający m.in. występowanie magicznych liczb nukleonów, dla których jądro jest szczególnie silnie związane ze względu na duże przerwy energetyczne powyżej tych liczb. Model ten pracuje dobrze dla jąder z okolic nuklidów podwójnie magicznych, położonych blisko ścieżki stabilności, natomiast w rejonach od niej oddalonych mogą powstawać nowe przerwy energetyczne, a dotychczasowe zniknąć. Sposobem na prześledzenie tych zmian jest systematyczne badanie wzbudzonych struktur jądrowych, do opisu których model powłokowy może być zastosowany.

Jądra z obszaru ^{208}Pb stanowią doskonałe pole do testowania obliczeń modelu powłokowego ze względu na szerokie szczeliny energetyczne przy $Z=82$ oraz $N=126$. Podczas prezentowanych badań przeprowadzono identyfikację struktur wzbudzonych w jądrze ^{210}Bi , posiadającym jeden walencyjny proton i jeden walencyjny neutron względem zamkniętych powłok w ^{208}Pb . W celu dotarcia do nuklidu ^{210}Bi w Institut Laue-Langevin w Grenoble (Francja) przeprowadzony został eksperyment z wykorzystaniem reakcji wychwyty zimnych neutronów $^{209}\text{Bi}(n,\gamma)^{210}\text{Bi}$, z którego dane stanowią źródło informacji spektroskopowych na temat ^{210}Bi w zakresie niskich spinów i energii. Kwanty γ emitowane przez produkt reakcji, mierzone przy pomocy wielolicznikowego układu detektorów germanowych EXILL, były widoczne w widmach w postaci wyraźnych, ostrych pików. Koincydencyjna analiza kwantów γ pozwoliła na identyfikację poszczególnych przejść. Struktura ^{210}Bi została następnie porównana z obliczeniami modelu powłokowego.

Istotnym wynikiem badań było wyznaczenie multipolowości głównego przejścia do stanu podstawowego w ^{210}Bi , to jest linii o energii 320 keV. Rozpad produktu reakcji $^{209}\text{Bi}(n,\gamma)^{210}\text{Bi}$ może prowadzić do stanu podstawowego w ^{210}Bi ($T_{1/2} = 5$ dni), a następnie do ^{210}Po ($T_{1/2} = 138$ dni), lub do długożyciowego stanu izomerycznego ($T_{1/2} = 3 \times 10^6$ lat) rozpadającego się, tak jak ^{210}Po , przez emisję cząstek α . Przekroje czynne na produkcję tych dwóch stanów są przedmiotem zainteresowania ze względu na konieczność oszacowania ilości krótko- oraz długożyciowych odpadów radioaktywnych w przypadku zastosowania stopu ołów-bismut w systemie chłodzenia reaktorów prędkich. Pomiar przekroju czynnego na produkcję stanu podstawowego przyczyniającego się do krótkożyciowej aktywności są obarczone znaczną niepewnością. Wynika to z faktu, że wartość ta zależy silnie od współczynnika zmieszania multipolowości $M1/E2$ linii 320 keV nie wyznaczonego dotychczas z odpowiednią dokładnością. Metodą zastosowaną w celu precyzyjnego wyznaczenia tej wartości była minimalizacja funkcji χ^2 wielu zmiennych skonstruowanej dla współczynników korelacji kątowych kilku par silnych przejść γ . Stwierdzono, że domieszka multipolowości $E2$ wynosi mniej niż 0.6% – pozwala to na znaczne zredukowanie niepewności wartości przekroju czynnego na produkcję stanu podstawowego w ^{210}Bi .