

Streszczenie

Radioizotopy niektórych pierwiastków odgrywają istotną rolę w medycynie nuklearnej – między innymi w diagnostyce medycznej. Obecnie istnieje ryzyko kryzysu zaopatrzenia w izotop molibdenu ^{99}Mo , którego izotopem potomnym jest $^{99\text{m}}\text{Tc}$, będący jednym z najpowszechniej stosowanych izotopów do badań diagnostycznych. W świetle bardzo szybko zmieniających się warunków na świecie, ciągłość dostaw tego izotopu może być zagrożona z wielu powodów. Dlatego istotne jest zapewnienie alternatywnej drogi produkcji izotopu ^{99}Mo przy stosunkowo niskich kosztach eksploatacyjnych metody produkcji. Dotychczasowe kryzysy światowej produkcji radioizotopów, związane były w głównej mierze z eksploatacją reaktorów jądrowych o charakterze badawczym (np. reaktor w Kanadzie 2008). Inną przyczyną kryzysu mogą być zagrożone drogi transportu z powodu wojen. Odpowiedzią na potencjalne problemy z zapewnieniem dostępności ^{99}Mo może być alternatywny sposób wytwarzania $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dla medycyny nuklearnej. W niniejszej pracy badano metodę otrzymywania ^{99}Mo za pomocą akceleratora liniowego.

Eksperymenty przeprowadzono na autorskim układzie pomiarowym umożliwiającym manipulowanie energią wiązki elektronów. Przedmiotem badań były próby produkcji izotopu ^{99}Mo z tarczy z molibdenu naturalnego, które przede wszystkim miały na celu uniezależnienie produkcji $^{99\text{m}}\text{Tc}$ od reaktora jądrowego. Przeprowadzone eksperymenty mogą się przyczynić w przyszłości do wykorzystania przedstawionej wiedzy w celu komercyjnego wytwarzania najpopularniejszego w medycynie nuklearnej izotopu – $^{99\text{m}}\text{Tc}$. W ramach pracy doktorskiej zbadano możliwość wykorzystania do tego celu dostępnego liniowego akceleratora elektronowego. Za pomocą tarczy konwersji (np. odpowiedniej grubości wolfram lub tantal) uzyskuje się wysokoenergetyczne fotony, które wywołują reakcje fotojądrowe, prowadzące do powstawania izotopów promieniotwórczych. W celu detekcji oraz weryfikacji powstałych w wyniku naświetlania radioizotopów, stosowano dwa półprzewodnikowe spektrometry promieniowania – germanowy detektor HPGe oraz oprogramowanie Tukan8k. Badania bazowały na symulacjach prowadzonych metodą Monte Carlo. Obliczenia numeryczne przeprowadzono w programie FLUKA z interfejsem flair. Dodatkową weryfikację (porównanie oczekiwanych aktywności) przeprowadzono przy pomocy kodu GEANT4 w wersji 4.9.2 zainstalowanego na platformie systemu Linux. Ze względu na fakt, iż najpopularniejszym radionuklidem w medycynie nuklearnej jest $^{99\text{m}}\text{Tc}$, produkcja izotopu macierzystego, którym jest ^{99}Mo jest kluczowa z punktu widzenia zaopatrzenia ośrodków (szpitali, centrów medycznych). Technet-99m powszechnie używany do badań diagnostycznych (np. badania perfuzji serca, wykrywanie nowotworów) ma okres połowicznego zaniku około 6 h. Obecnie do produkcji izotopu ^{99}Mo wykorzystuje się przeważnie reaktory jądrowe, takie jak np. polski reaktor badawczy MARIA. Metoda produkcji izotopu potomnego wymaga pozyskania i oddzielenia izotopu molibdenu ^{99}Mo od innych produktów rozszczepienia uranu. Wymaga to specjalistycznej infrastruktury lub współpracy z laboratoriami posiadającymi dostęp do kosztownej technologii obróbki materiałów wysoce radioaktywnych. Próbkę naświetlaną w reaktorze Maria, aby zostały oczyszczone ze zbędnych

produktów rozszczepienia, muszą przebyć daleką drogę (do Holandii i z powrotem). Np. Ośrodek Radioizotopów POLATOM otrzymuje gotowy i czysty produkt ^{99}Mo , a następnie wykorzystuje go w celu przygotowania generatorów molibdenowo – technetowych. Proponowane w pracy metody nie generują wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych, jak w przypadku rozszczepienia uranu. Metoda produkcji ^{99}Mo stanowi ścieżkę produkcji konkurencyjną do reaktorowej, ze względu na stosunkowo wyższą dostępność materiałów jak i akceleratorów liniowych oraz relatywnie niskie koszty samej metody. Ponadto reaktor jądrowy jest dużo droższy pod względem utrzymania w przeciwieństwie do akceleratora, który w dowolnym momencie można włączyć lub wyłączyć.

Pierwsza część niniejszej rozprawy doktorskiej bazuje na literaturze oraz dostępnych artykułach naukowych. We wstępie zamieszczono zwięzłe nakreślenie problemu oraz skupiono się na pokazaniu charakterystyki zaproponowanej metody produkcji. W części opisowej przedstawiono zagadnienia związane ze znajomością obecnych metod produkcji radioizotopów. Przedstawiono także możliwe zastosowania układu do produkcji radionuklidów, metody ich produkcji oraz krótko scharakteryzowano ich podstawowe właściwości fizyczne. Opis przeprowadzonych prac oraz dokonywane pomiary i obliczenia zaprezentowano w drugiej części rozprawy. W części eksperymentalnej rozprawy przedstawiono widma promieniowania gamma (emitowanego przez powstałe izotopy promieniotwórcze) z naświetlanych tarcz, zmierzone za pomocą detektora półprzewodnikowego (HPGe), a także wyniki eksperymentów z naświetlań tarcz molibdenowych (molibden naturalny). Omówienie literatury specjalistycznej umożliwia zestawienie oraz porównanie wyników eksperymentów i odniesienie się odpowiednio do uzyskanych rezultatów. Pozwala to na ocenę możliwości wytwarzania izotopu ^{99}Mo .