

## Abstrakt

Celem pracy było zaprojektowanie i optymalizacja zespołu kolimatorów i moderatorów wiązki neutronów (BSA), które pozwolą na adaptację strumieni neutronów wytwarzanych przez generatory neutronów typu Deuter-Deuter (DD) i Deuter-Tryt (DT) oraz przez Cyklotron C18/18 do zastosowań w terapii borowo-neutronowej (BNCT). Przeprowadzono serię symulacji za pomocą pakietu GEANT4 w celu zaprojektowania BSA umożliwiającego formowanie strumienia neutronów zgodnego z zaleceniami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) dla BNCT. Energie neutronów wytwarzanych przez generatory i przez protony z cyklotronów są zbyt wysokie, a strumień neutronów jest zbyt mocno rozproszony do bezpośrednich zastosowań w BNCT. W związku z tym przed zabiegiem należy przeprowadzić zarówno moderowanie, jak i ogniskowanie wiązki. Projekt BSA obejmował optymalizację kształtów i materiałów dla multiplikatorów, moderatorów, reflektorów oraz osłon dla generatora neutronów DT i DD z wykorzystaniem symulacji komputerowych przeprowadzonych w programie GEANT4. Głównym kryterium optymalizacji projektu BSA była maksymalizacja epitermicznego strumienia neutronów w odniesieniu do strumienia neutronów termicznych i prędkich oraz w odniesieniu do dawki promieniowania kwantów gamma. Symulacje przeprowadzono biorąc pod uwagę energię początkową 2,5 MeV i wydajność emisji kompaktowych generatorów neutronów DD od  $10^{11}$  n/s do  $10^{13}$  n/s, a także 14,1 MeV i wydajność emisji generatorów neutronów DT do  $10^{14}$  n/s. Przeprowadzono również symulację projektu i optymalizacji BSA opartego na cyklotronie C18/18, wybierając dokładną grubość i rodzaj materiału dla wiązki protonów cyklotronu C18/18 zainstalowanego w Narodowym Laboratorium Armenii A. Alikhanian. W wyżej wymienionych celach jako pierwsza część moderatora rozważano naturalny uran, naturalny wolfram i ich izotopy  $^{182}\text{W}$ ,  $^{184}\text{W}$ ,  $^{186}\text{W}$ . Jest powszechnie znane, że materiały zmieszane z fluorem, takie jak mieszaniny  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{MgF}_3$ ,  $\text{AlF}_3$ , naturalne aluminium i innymi materiałami, mogą być przydatne do zwiększenia liczby neutronów w epitermicznym obszarze energetycznym pomiędzy 1 eV i 10 keV i mogą być umieszczone za pierwszą częścią moderatora jako druga warstwa systemu termalizacji. Przed kolimacją strumienia, filtry takie jak boran wodorowy (kwas borowy), kadm, ołów i inne materiały zostały umieszczone jako filtry w celu zmniejszenia ilości neutronów termicznych. Optymalna wersja BSA opartego na DD zawiera moderator składający się z izotopu  $^{186}\text{W}$  o grubości 8 cm, mieszaniny o grubości 45 cm składającej się z 5% Fe i 95%  $\text{AlF}_3$ , LiF o grubości 1,25 cm, ołowiu o grubości 0,5 mm i 1 mm oraz ołowiu o grubości 20 cm. Tylne i boczne reflektory ołowiane o grubości 15 cm z kolimatorem ołowianym o grubości 15 cm. Jeśli chodzi o BSA z generatorem neutronów DT, najlepszy projekt zakładał 27 cm Bi, 53 cm  $\text{FeAlF}_3$ , 3 cm Al i 1 cm moderatora LiF z tylnymi i bocznymi reflektorami o grubości 25 cm i 10 cm kolimatorem ołowianym. Osiągnięty stosunek liczby neutronów epitermicznych do liczby neutronów termicznych był większy niż 100 i zarejestrowano porównywalnie niższy strumień prędkich neutronów otrzymanych z  $10^6$  początkowo symulowanych neutronów. Optymalny strumień termicznych/epitermicznych neutronów dla BSA opartego na cyklotronie C18/18 otrzymany w wyniku przeprowadzonych symulacji wyniósł około  $5 \cdot 10^8$  n / (s · cm<sup>2</sup>), dla którego większość cząstek to neutrony epitermiczne w zakresie energii od 1 eV do 10 keV, podczas gdy BSA oparte na wykorzystaniu generatora DD wymaga dodatkowych badań aby mogły być one wykorzystane w BNCT, ponieważ najwyższa wydajność neutronów dla tych generatorów jest wciąż mniejsza niż wymagane  $10^{13}$  n/s. Obecnie

trwają prace nad BSA, dla którego stosunek strumienia neutronów epitermicznych do całkowitej liczby emitowanych przez generator neutronów wynosi co najmniej 0,7.