

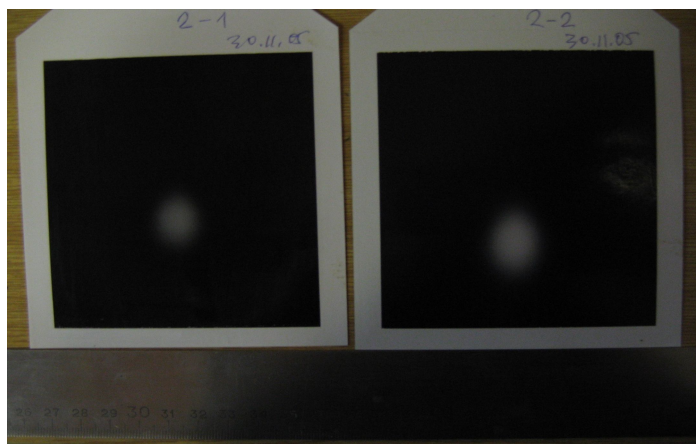
3.4 Eksperymenty , pomiary i aparatura pomiarowa

Wszystkie opisane eksperymenty były przeprowadzane w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych Dubna (ZIBJ) w Rosji. Z przygotowanymi wcześniej detektorami (patrz rozdział 3.3) przyjeżdżaliśmy do Dubnej na okres około dwu tygodni. 2-3 dni przeznaczone były na przygotowania do eksperymentu (pomiary kalibracyjne detektora, przygotowanie detektorów), około 1 dzień zajmował eksperyment i reszta czyli około 10 dni zajmowały pomiary na detektorze gamma (rozdział 3.5). Kilka razy z powodów technicznych (problemy z akceleratorem) termin eksperymentu zmieniał się. Z tego też powodu niektóre sesje pomiarów były zbyt krótkie (konkretny termin wyjazdu) i co za tym idzie mniej dokładne.

Cały zestaw eksperymentalny nazywany „Energia plus Transmutacja” można podzielić na następujące elementy:

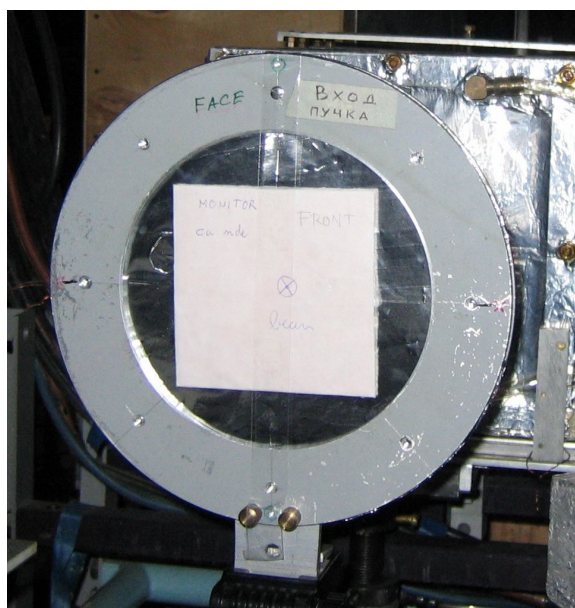
- Tarcza ołowiana podzielona na 4 identyczne sekcje
- Otoczka uranowa
- Monitory wiązki z akceleratora
- Detektor helowy
- Zestaw próbek wykonanych z materiałów radioaktywnych
- Detektory aktywacyjne (w tym itr)
- Spektrometry bazujące na emulsji
- Osłona biologiczna

Przed rozpoczęciem, właściwego naświetlania wiązką z akceleratora naszego zestawu, wykonuje się zawsze kontrolę zbieżności i ostrości wiązki protonów (deuteronów). W tym celu używamy kliszy fotograficznych (Polaroid 545i) o rozmiarze 9x12cm które ustawia się w miejscu gdzie będzie stał nasz zestaw eksperymentalny. Wykonuje się 1-2 próbne impulsy z akceleratora na 2-4 klisze ustawione wzdłuż osi wiązki. Po naświetleniu otrzymujemy gotowe zdjęcia na których wiązka widoczna jest jako biała rozmyta plama w kształcie elipsy zbliżonej do koła. Położenie elipsy, na kolejnych kliszach, względem krzyża obrazującego naszą oś, pokazuje skale odchylenia wiązki, a także rozmiar elipsy i jej kształt - ostrość i zbieżność wiązki (Rys. 3.14).

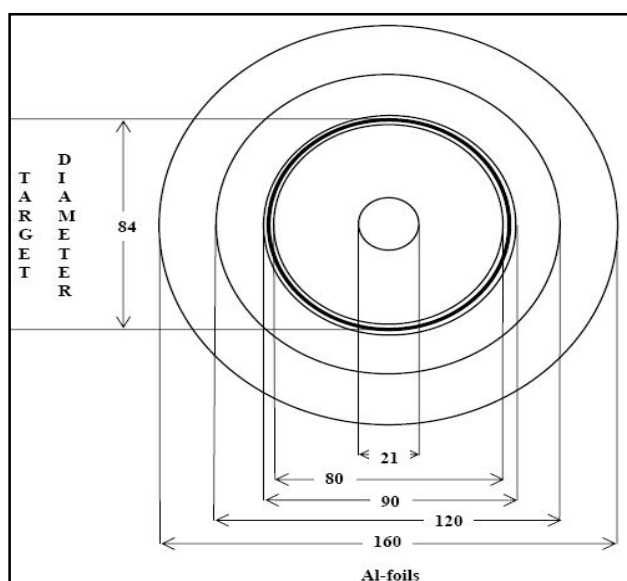


Rys. 3.14 Zdjęcie wywołanych klisz (polaroidów) pokazujących kształt, ostrość i zbieżność wiązki z akceleratora (foto autor).

Analizując otrzymane zdjęcia przekazujemy nasze uwagi do operatora akceleratora który zmienia parametry wiązki. Taką operację wykonuje się 3-4 razy (czasami więcej), aż do osiągnięcia wymaganych parametrów wiązki. Z naszego punktu widzenia znacznie istotniejsza jest jak najlepsza orientacja wiązki (by szła dokładnie wzdłuż osi) niż jej ostrość (zbieżność). Ewentualne odchyłki od osi mogą mieć duże znaczenie dla dokładności późniejszych pomiarów. Z tego względu przy każdym eksperymencie umieszczamy kilka detektorów - monitorów zbieżności wiązki. Monitory umieszczamy na foliach zawierających detektory, jak i na specjalnych stojakach umieszczonym około 0,3-1 m przed naszym modelem E+T (Rys. 3.15 i 3.16).



Rys. 3.15 Zdjęcia pokazujące 2 monitory zbieżności wiązki. Pierwszy to aluminiowe kręgi o coraz mniejszej średnicy, drugi nałożony na pierwszy to kwadrat (złożony z 9-u mniejszych) wykonany z folii aluminiowej i miedzianej [31].



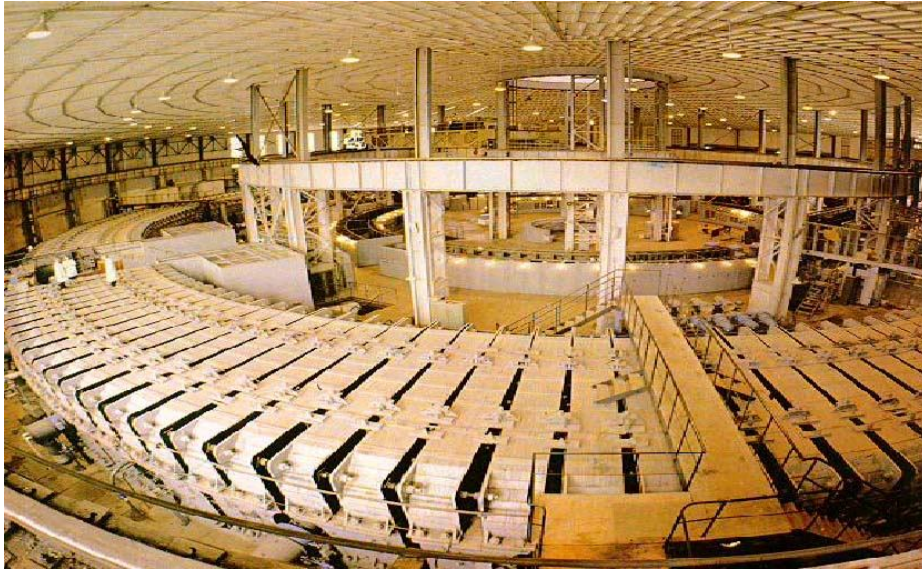
Rys. 3.16 Monitor wiązki wykonany z kręgów, z aluminiowej folii [31].

Stosowanych jest kilka rodzajów monitorów wiązki o różnych kształtach i materiałach – dodatkowy opis znajduje się w rozdziale 4.3 (Rys. 4.22, 4.23, 4.24). Podstawowy monitor wykonany jest z okręgów aluminiowych o coraz mniejszej średnicy (Rys. 3.15 i 3.16). Aluminium jest materiałem lekkim o małej gęstości, oraz posiada tylko jedną znaczącą reakcję o konkretnej (mniejszej niż dla innych detektorów aktywacyjnych) energii 5,5 MeV. Z tych powodów mamy pewność, że monitory wykonane z aluminium nie wpływają na wyniki z innych detektorów i przede wszystkim wpływają w minimalnym stopniu na samą wiązkę z akceleratora. Ta jedna reakcja progowa jest bardzo użyteczna, gdyż dokładnie znany jest jej przekrój czynny ($15,25 \pm 1,50$ mbarn) [39] i korzystając z wyznaczonej z pomiaru wielkości jedynej i silnej linii widmowej (2330 MeV), możemy za pomocą prostej zależności wyznaczyć rzeczywistą liczbę reakcji czyli liczbę protonów jakie przeleciały przez tą folię. Wartość ta jest nam niezbędna do prawidłowej kalibracji wyników z detektorów aktywacyjnych, do postaci parametru B (patrz rozdział 3.6) [40].

Gdy wszystko jest przygotowane wraz z monitorami, rozpoczynamy właściwy eksperyment, naświetlając przez kilka godzin zestaw „Energia plus Transmutacja” wiązką protonów/deuteronów tak długo aby uzyskać zaplanowaną łączną intensywność wiązki (wiązka jest w rzeczywistości zbiorem impulsów trwających 0,3 sekundy złożonych z określonej ilości cząstek (ok. $1,5 \cdot 10^{10}$) pojawiających się co ok. 9 sekund [20]. Używając do naszego eksperymentu nuklotronu w Dubnej, musimy najczęściej naświetlać zestaw przez około 6 godzin. W optymalnych warunkach częstość i intensywność impulsów jest stała. W praktyce trudno jest utrzymać stałość pracy nuklotronu, to znaczy pojawiają się przerwy w impulsach (Rys. 4.14 rozdział 4.3). Jednak gdy nie są zbyt długie nie ma to większego znaczenia na efekt naświetlania trwający kilka godzin.

Wszystkie eksperymenty wykonywaliśmy w Laboratorium Wysokich Energii (Dubna, Rosja). Do produkcji wysokoenergetycznych cząstek używaliśmy dwu akceleratorów. Na początku był to stary akcelerator (SYNCHROFAZOTRON Rys. 3.17), w późniejszych latach używano nowego nadprzewodzącego akceleratora (NUKLOTRON Rys. 3.18). Poza rozmiarem (Synchrofazotron mieści się w olbrzymiej hali a Nuklotron w wąskim tunelu pod nią), oba urządzenia w założeniach mają podobne parametry. Szerokie przedziały możliwych energii od 500 MeV do 7 GeV. Jednak Nuklotron osiągał maksymalnie 5 GeV przy intensywności wiązki 10^{12} - 10^{13} nukleonów na godzin. W praktyce, jako że, Synchrofazotron był już bardzo starym urządzeniem i miał kłopoty z utrzymaniem próżni w kanale, intensywność w jego przypadku była mniejsza i co za tym idzie czas potrzebny na eksperyment dłuższy (ponad 24 godziny). Nuklotron ma teoretycznie lepszą zbieżność wiązki ale gorzej trzyma jej kierunek co w praktyce oznaczać może gorsze jej parametry.

Ostatnim z urządzeń wykorzystywanym podczas naszych eksperymentów jest detektor helowy. Przywiozła go grupa z Grecji i był on używany w ostatnich dwu eksperymentach z wiązką deuteronów [26], [27]. Komora pomiarowa ma rozmiary 5x15 cm i jest wypełniona mieszaniną trzech gazów: He-3 64,7%, Kr 33,3% i CO₂ 2%. Jako, że ma on spore rozmiary może wykonywać tylko pomiary poza modelem (termiczne tło). I wraz ze spektrometrami służy do pomiarów strumienia neutronów termicznych. Dodatkowo, jako że nie może on mierzyć zbyt wielkich strumieni, specjalnie na potrzeby tego pomiaru w początkowej fazie eksperymentu wiązka z Nuklotronu ma mniejszą intensywność (Rys. 4.14). Pełny zestaw takiego detektora wyposażony jest jeszcze w układy wzmacniaczy, zasilacza wysokiego napięcia i układu do automatycznej zmiany położenia detektora (Rys. 3.19).



Rys. 3.17 Hala w której usytuowany jest Synchrofazotron – Dubna. Widzimy ułożone w okrąg elementy magnesów i postacie ludzi po lewej (foto. autor).



Rys. 3.18 Tunel wraz z rurą Nuklotronu (foto. autor).

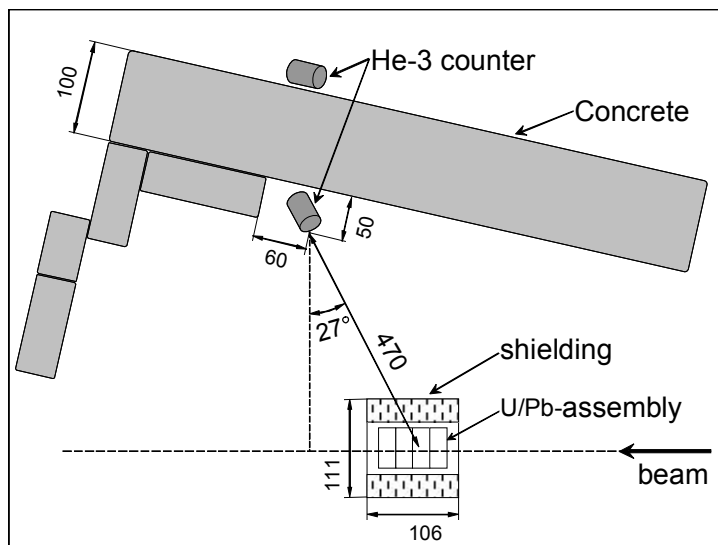


Fig. 3.19 Układ dwu detektorów helowych, które wykonują pomiar porównawczy pola neutronów termicznych koło modelu „Energia plus Transmutacja”. Wszystkie wymiary podano w [cm] [26], [27].