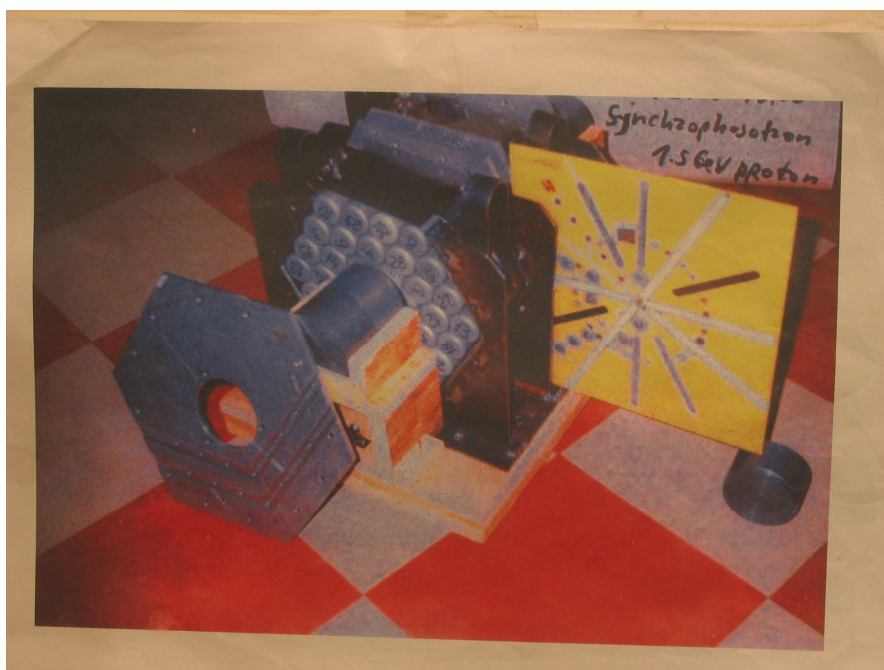


3.2 Rodzaje stosowanych detektorów

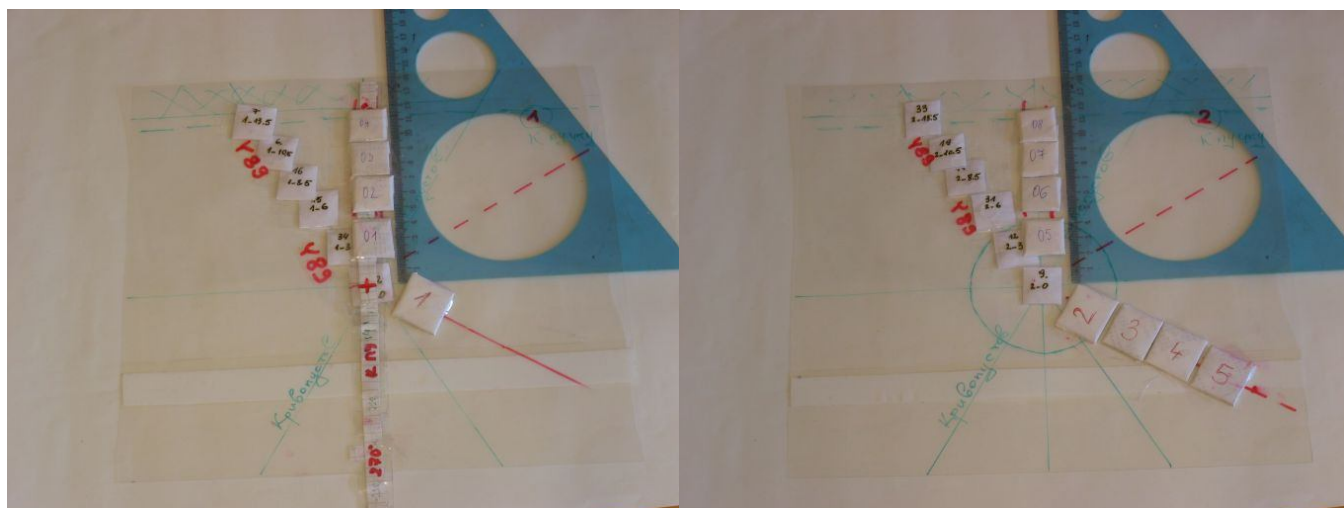
Ważną cechą eksperymentów z cyklu „Energia plus Transmutacja” było stosowanie, w jego trakcie, dużej liczby różnorodnych typów detektorów i technik pomiarowych - począwszy od detektorów aktywacyjnych, poprzez próbki odpadów promieniotwórczych i aktywności, detektorów śladowych, emulsji fotograficznych, detektora helowego, a kończąc na elektronicznych czujnikach temperatury. Dzięki temu dawało to możliwość porównywania rezultatów z kilku różnych źródeł. Poniżej przedstawione zostanie większość stosowanych detektorów i osiągniętych dzięki nim rezultatów.

Detektory aktywacyjne były używane we wszystkich naszych eksperymentach. Zmieniała się tylko ich liczba i różnorodność. W eksperymentach z zestawem dwusekcyjnym, umieszczane były na trzech sztywnych płaszczyznach o wymiarach 30x30 cm (Rys 3.6). W eksperymentach z zestawem czterosekcyjnym wykorzystywano 6 miękkich folii (jedna dodatkowa 30cm przed zestawem) o podobnych rozmiarach (Rys. 3.7 i 3.8)



Rys. 3.6 Zestaw „E+T” dwusekcyjny wraz z wysuniętą płaszczyzną, na której widać rozmieszczone detektory. Przednia metalowa osłona jest zdjęta i dobrze widać sposób rozmieszczenia uranowych cylindrów (fot. Autor)

Detektory były rozmieszczane w różnych odległościach od osi (środku) zestawu. Najwięcej detektorów umieszczane było zawsze na pierwszych dwóch płaszczyznach, blisko środka zestawu (osi) poszczególne detektory czasem nachodziły na siebie. Detektory zawsze były zapakowane w foliowe lub papierowe (często w obie) koperty (co zapobiegało kontaktowi napromieniowanych próbek z gołym ciałem) i przyklejone za pomocą przezroczystej taśmy klejącej.



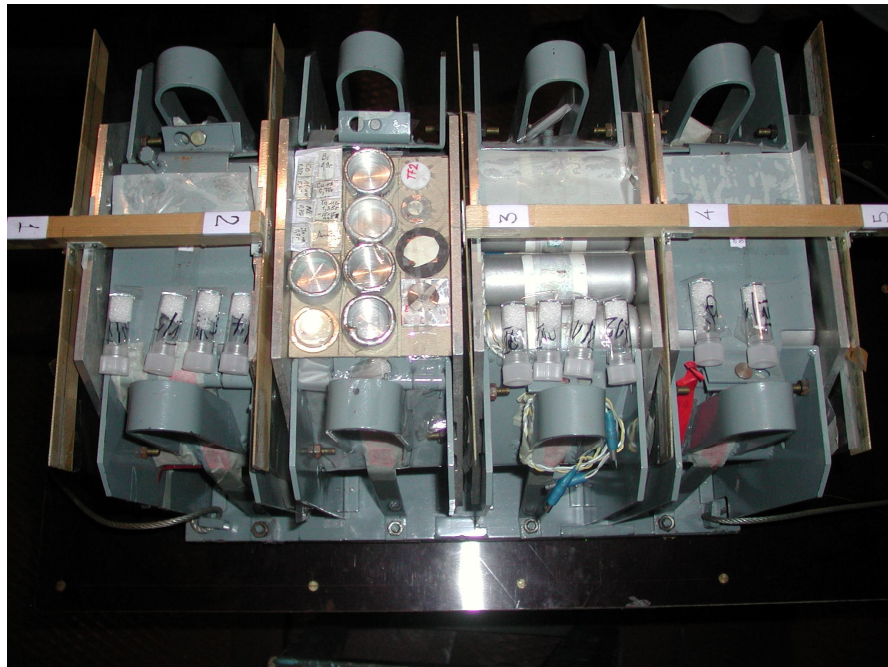
Rys. 3.7 Przykładowe dwie folie z eksperymentu w roku 2005. Na foliach nie rozmieszczono jeszcze wszystkich detektorów. Ukośna linia po lewej stronie, to detektory wykonane z Y-89. Pionowa górna i ukośna prawa to detektory zespołu naukowego z Czech (bizmut, złoto itp.). Pionowa dolna linia na lewym zdjęciu to detektor śladowy (w postaci paska) (fot. Autor).

Stosowane detektory podzielono pod względem grupy (kraju), która pierwsza zaczęła stosować dany typ w tym cyklu eksperymentów. Niektóre z nich nie są już dalej używane.

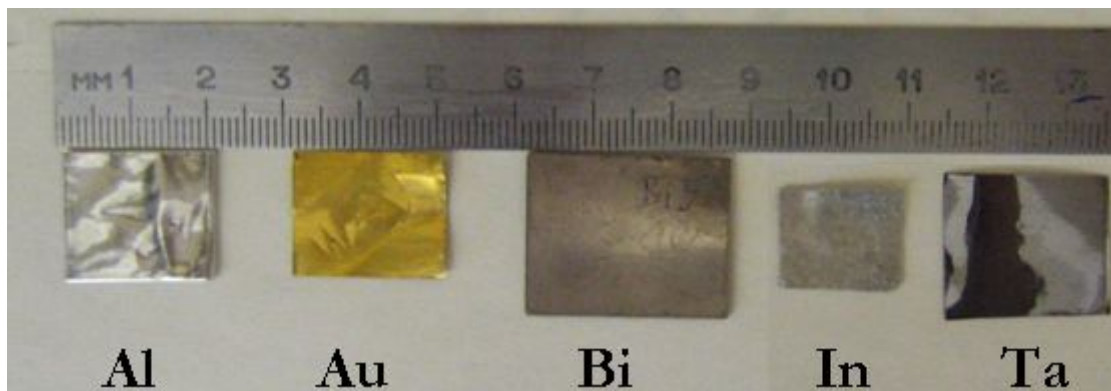
1. Rosja-Mongolia - Uran – wykonane z uranu naturalnego o średnicy 8 mm i grubości 1mm, masa około 0,9g. Stosowane w dużej ilości, tylko w pierwszych eksperymentach, przez grupę z Mongolii. Celem były badania za pomocą reakcji $(n,2n)$ i (n,γ) zachowań w paliwie jądrowym a w szczególności izotopów Np-239, U-237 i Zr-39. Część rezultatów opublikowano w pracy [19]. Po wycofaniu się osoby prowadzącej z dalszych eksperymentów, badań nie kontynuowano.
2. Białoruś - duża liczba materiałów aktywacyjnych rozmieszczonych na okręgu wokół osi Rys. 3.6. Próbkę wykonano z C, F, Mg, Si, S, Al, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Rh, Cd, In, Au, Hg, Pb, Bi i Np. miały posłużyć do analizy pola neutronów za pomocą reakcji progowych głównie (n,xn) . Z powodu zbyt dużej ilości materiału do obróbki i nie najlepszego rozmieszczenia próbek w modelu (przyjęto błędne założenie stałego strumienia neutronów w jednej odległości radialnej co może być spełnione tylko przy nie odchylonej wiązce) nie osiągnięto zadowalających rezultatów (część wyników w pracach [21], [22]). Przy dalszych doświadczeniach używano niektórych z tych materiałów ale w innej konfiguracji.
3. Rosja - detektory śladowe (SSNTD – Solid State Nuclear Track Detector) w postaci długich pasków folii plastikowej i uranowej, rozmieszczonych wzdłuż kilku promieni (Rys. 3.6). Badanie pola neutronów metodą wytrawiania śladów pozostawionych przez duże fragmenty rozszczepienia uranu w pasku folii plastikowej. Część rezultatów opublikowano w pracach [20], [21], [23], jednak z powodu dużych problemów (za duża liczba śladów i problemy z obróbką danych) w późniejszych eksperymentach w większości wycofano się z tej postaci detektorów śladowych.

4. Białoruś - detektory śladowe (SSNTD mica) z użyciem sztucznej miki i materiału rozszczepialnego (w postaci okrągłych pastylek). Z powodzeniem używane do wyznaczania pól neutronów i w dalszych latach do pomiarów przekrojów czynnych. Bardzo użyteczne do analizy zjawisk związanych z rozszczepianiem ciężkich jąder i neutronów spalacyjnymi. Wyniki eksperymentalne uzyskane za pomocą tych detektorów dobrze zgadzają się z wynikami uzyskanymi z symulacji teoretycznych za pomocą kodu MCMPX. Do dziś wykorzystywane przez grupę białoruską, nie tylko w tym cyklu eksperymentów (publikacje [19], [20], [24], [25]). Metoda rozwijana dalej z grupą grecką i rosyjską.
5. Mongolia – emulsje. Wykorzystane raz jako wypróbowanie i prezentacja starej metody badań w naszym zestawie. Wymagało to przeprowadzenia początkowej części jednego eksperymentu bez części osłony biologicznej. Grupa rosyjska rozpoczęła ponowne próby wykorzystania tej techniki, ale pod postacią 5-u spektrometrów bazujących na jądrowej emulsji [20], [26].
6. Mongolia – termorezystory (pomiar temperatury). Metoda wykorzystana tylko w jednym eksperymencie z dwusekcyjnym zestawie (w drugim eksperymencie, z powodu awarii przetwornika cyfrowo-analogowego pomiarów nie wykonano). Głównym problemem tej metody była mała czułość czujników. Błąd pomiarowy jest tego samego rzędu co zmiany temperatury czyli kilka dziesiątych stopnia. Dodatkowym problemem była wrażliwość przetwornika na promieniowanie (musiał być on umieszczony bezpośrednio koło zestawu, gdyż przewody do termistorów musiały być jak najkrótsze). Sam przetwornik umożliwiał pomiar tylko w kilku punktach. Rozważano zastosowanie lepszych czujników i przetwornika, ale nie kontynuowano tych pomiarów. Wyniki przedstawione są w pracach [19] i [21].
7. Rosja – termopary (pomiar temperatury za pomocą termopar). Długie, dość sztywne przewody mierzące temperaturę dzięki napięciu generującemu się na ich końcach zastosowano tylko w jednym eksperymencie. Metoda umożliwiała pomiar nawet w kilkudziesięciu punktach zestawu (pełny monitoring temperatury), nie było problemu z wrażliwością przetwornika ponieważ w tym przypadku długość przewodów nie miała znaczenia i można go było umieścić daleko za osłoną ołowianą. Niestety przetwornik i komputer okazał się za wolny (czas zbierania danych ze wszystkich termopar był za długi - ponad minutę) i wyłączono większość punktów z pomiarów, aby zwiększyć częstotliwość pomiarów w pozostałych punktach. Dokładność pomiarów była niewielka. Nie kontynuowano tych badań. Podsumowując wykonane pomiary temperatury, można powiedzieć, że stwierdzono wzrost temperatury wraz z upływem czasu naświetlania. W celu zaobserwowania subtelniejszych efektów należałoby mieć inne czujniki, które spełniałyby następujące wytyczne: mały rozmiar, brak wrażliwości metody na promieniowanie, bardzo szybki czas reakcji i szybka możliwość odczytu wyników i przede wszystkim dużo większa czułość na poziomie 0,01 stopnia. Rozważane było wykorzystanie metod światłowodowych.
8. Grecja - detektor helowy (mieszanina gazów He-3 64,7%, Kr 33,3% i CO₂ 2%, ciśnienie 6atm., rozmiar komory 15x5cm)- pomiary neutronów termicznych. W tym eksperymencie uzyskano bardzo dobre wyniki. Metoda rozwijana np.: poprzez automatyzację kąta widzenia i położenia detektora w trakcie trwania naświetlania. Wyniki uzyskuje się w formie bezpośrednich wartości. Metoda używana tylko w eksperymentach z czterosekcyjnym zestawem i wiązką deuterionów [26], [27].

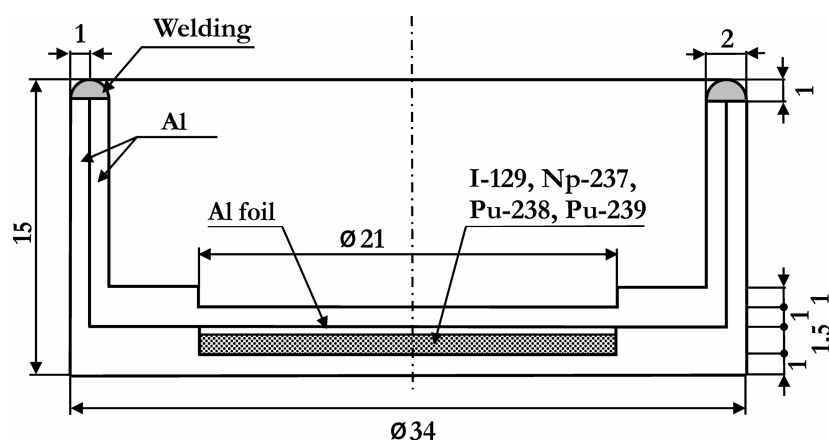
9. Grecja - Uran i Złoto. Uran naturalny U-238 i Au-197 używane do pomiarów neutronów w szerokim spektrum od termicznych do super szybkich z pomocą wyliczeń teoretycznych. Metoda wykorzystywana w innych, dalszych eksperymentach. Prace nad transmutacją Uranu i produktów z niego pochodzących dały dobre rezultaty. Wyniki np. w [28].
10. Czesi, Rosjanie, Niemcy - Aktynowce (I-129, Np.-237, Pu-238 i Pu-239, Am-241), próbki wykonane z aktynowców. Bardzo interesująca część badań. Z przyczyn dużych rozmiarów próbek, możliwe było umieszczenie ich tylko na górze zestawu „E+T” (Rys. 3.8). Próbki były zamknięte w specjalnych pojemnikach wykonanych z aluminium mających za zadanie odizolować groźny materiał od środowiska (Rys.3.10). Badania możliwości transmutacji odpadów promieniotwórczych, przyciągały do tych badań licznych uczestników. Materiał do próbek drogi i trudny do uzyskania. Publikacje: [15], [20], [26].
11. Czesi - Aktywacyjne (Złoto, Bizmut, Kobalt, Aluminium oraz w późniejszym czasie Ind, i Tantal). Najbardziej obszerna część prac związanych z projektem „Energia plus Transmutacja”. Badania dotyczyły wydajności produkcji licznych izotopów na podstawie - przede wszystkim - reakcji (n,xn), poprzez wyznaczanie pól neutronów. Analizowano również zjawiska jądrowe zachodzące w naszym modelu. Wykonany został duży wkład w symulacje komputerowe, poprzez rozwój i kontrolę kodów do wyznaczania pól neutronów i wydajności reakcji takich jak MCNPX. Pomiary kontynuowane były przez wiele lat, co dało możliwość porównywania rezultatów przy wielu energiach i rodzajach wiązki z akceleratora. Bardzo bogaty materiał eksperymentalny i z symulacji [20], [29], [30], [31], [32]. Na rysunku 3.9 zaprezentowany został wygląd niektórych detektorów i ich rozmiar.



Rys. 3.8 Widok na górną pokrywę zestawu „Energia plus Transmutacja”. Widać na niej fiolki i okrągłe duże pojemniki z aktynowcami, położone na górze zestawu. Widać drewniane drążki z przymocowanymi do nich foliami z detektorami aktywacyjnymi (widać numery folii 1-5) (fot. Autor).



Rys. 3.9 Realny wygląd kilku rodzajów detektorów stosowanych przez czeską grupę [32].



Rys. 3.10 Schemat hermetycznego aluminiowego pojemnika na próbki materiałów promieniotwórczych. Wymiary powyżej podane w [mm] [26].

Ostatni typ detektorów:

12. Polacy-Aktywacyjne Itr-89 (Y-89). Rozszerzenie i kontynuowanie badań czeskich. Pełny opis detektora i jego porównanie z innymi znajduje się w podrozdziale 3.3.