



Wydział Fizyki

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Produkcja cienkich tarcz i pomiar ich grubości

Opracowanie zaliczeniowe z Metod i Technik Jądrowych wykonane na podstawie materiałów zebranych w ramach Warsztatów Akceleracji i Zastosowań Ciężkich Jonów w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów w dniach 23-28 października 2017 roku

Maciej Czarnynoga

Numer albumu:270034

Warszawa 2018

Spis treści

1.Wstęp

2.Metody produkcji tarcz

3.Pomiar grubości tarcz

4.Opracowanie wyników

5.Podsumowanie

1. Wstęp

Opracowanie to zostało wykonane na podstawie informacji oraz materiałów zdobytych podczas XIII Ogólnopolskich Warsztatów Akceleracji i Zastosowań Ciężkich Jonów które odbyły się w dniach 23-28 października 2017 roku, w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów. Tematami poruszonymi podczas warsztatów były:

- akceleracja ciężkich jonów i elementy optyki jonowej;
- detekcja cząstek naładowanych i promieniowania gamma;
- własności jąder atomowych i mechanizmy reakcji jądrowych;
- układy elektroniki pomiarowej i systemy zbierania danych;
- interdyscyplinarne zastosowania fizyki jądrowej.

Osoby biorące udział w warsztatach zostały podzielone w 3-4 osobowe zespoły, każdemu zespołowi został przydzielony jeden z tematów:

- A:** Optyka jonowa / akceleracja ciężkich jonów
- B:** Pomiar energii rozpraszonych ciężkich jonów (rozpraszanie Rutherforda)
- C:** Spektroskopia gamma przy użyciu wielodetektorowego układu EAGLE
- D:** Produkcja cienkich tarcz i pomiar ich grubości
- E:** Pomiar aktywności w próbce środowiskowej



Rysunek.1 Zdjęcie osób biorących udział w warsztatach

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów jest ośrodkiem eksperymentalnej fizyki jądrowej dysponującym cyklotronem izochronicznym oraz nowoczesnymi spektrometrami umożliwiającymi prowadzenie prac badawczych z dziedziny struktury jądra atomowego i reakcji jądrowych. Akcelerator daje możliwość przyspieszania ciężkich jonów (od helu do ksenonu) w zakresie energii do 2 do 10 MeV/A.

Poniższe opracowanie w większości bazuje na prezentacji Anny Stolarz „Tarcze do badań w fizyce jądrowej” oraz wiedzy przekazanej przez Panią Doktor Habilitowaną Annę Stolarz oraz Panią Magister Michalinę Komorowską.

2. Metody produkcji tarcz

Obecnie w fizyce eksperymentalnej stosowane są głównie tarcze wykonane z ciał stałych, tarcze takie mogą być wykonane na wiele sposobów i wieloma metodami. Wyróżniamy tarcze samopodtrzymujące oraz tarcze na podkładkach (materiał w którym docelowa ma zajść reakcja jądrowa znajduje się na strukturze nośnej wykonanej z innego materiału). Parametry konkretnej tarczy zależą od eksperymentu w którym ma być użyta.

Głównymi parametrami charakteryzującymi tarczę są:

-Pierwiastek oraz izotop z którego dana tarcza ma być wykonana

- Grubość (w fizyce jądrowej do określania „grubości” tarczy używa się jednostki $\frac{g}{cm^2}$ (masa na powierzchnię) wynika to z faktu, że liczba jąder mogących wziąć udział w reakcji jest proporcjonalna do masy jest to wygodniejsze od posługiwania się zwykłą grubością)

-forma mechaniczna (samopodtrzymująca na podkładce)

Podczas trwania warsztatów do produkcji tarcz korzystaliśmy z dwóch metod: walcowania oraz parowania w wysokiej próżni.

Walcowanie polega na kształtowaniu materiału między obracającymi się walcami, metoda ta pozwala na produkcje tarcz z materiałów kowalnych, metoda ta nie pozwala na wykonanie cienkich tarcz. Główną zaletą tej metody jest niski koszt oraz wysoki współczynnik wydajności wykorzystania materiału (praktycznie cały materiał który użyliśmy do procesu produkcyjnego stanowi tarczę), wadą jest długi czas produkcji (pracownik wielokrotnie musi przepuścić materiał przez walcarkę oraz nieprzerwanie nadzorować jakość powstającej tarczy). Aby nie dopuścić do zanieczyszczenia tarczy oraz zminimalizować ewentualne jej niejednorodności materiał jest umieszczany w ochronie („kanapce”). Materiał tarczowy obrobiony tą metodą następnie przycina się do wymiarów rami i przykleja do niej.



Rysunek2 ."Kanapka" w której walcowany jest materiał na tarczę



Rysunek3. Walcarka używana do produkcji tarcz



Rysunek4 .Przycięta i przyklejona do ramki tarcza

Parowanie w wysokiej próżni polega na osadzaniu par materiału na podkładce w wysokiej próżni (próżnia rzędu $10^{-6} hPa$). Technika ta wymaga zastosowania odpowiedniej komory, z której przez odpompowanie uzyskuje się odpowiednio niską koncentrację cząsteczek powietrza. Materiał odparowywany umieszczony jest w specjalnym tyglu, materiał z którego jest wykonany należy dobrać do odparowywanego materiału, tygiel nie może chemicznie reagować z odparowywaną substancją, musi być wykonany z materiału który nie tworzy stopów niskotopliwych z odparowywanym materiałem. Temperatura parowania materiału tygla powinna być znacznie wyższa od temperatury parowania materiału. Jako podkładki zostały użyte szkiełka laboratoryjne pokryte gliceryną która w naszym przypadku pełniła rolę „odklejacza” (materiały który po naparowaniu pozwala zdjąć tarczę z szkła). Po umieszczeniu wszystkich elementów układu na miejscu (tj. odparowywanego materiału w tyglu, podkładek w stojaku) układ został zamknięty pod kloszem i rozpoczęto odpompowywanie powietrza z wnętrza. Po osiągnięciu zadanego ciśnienia przystąpiono do nagrzewania materiału (regulacja temperatury odbywa się po przez przepuszczenie odpowiedniego prądu przez materiał oporowy w naszym przypadku sam tygiel był materiałem oporowym). W trakcie naparowywania dokonywany jest pomiar grubości naniesionej warstwy przy pomocy mikrowagi kwarcowej (pomiar ten jest jednak obciążony dużym błędem i nie daje żadnej informacji na temat jednolitości materiału). Po osiągnięciu zadanej grubości przerywa się grzanie a podkładki zasłaniane są przesłoną która uniemożliwia dalsze osadzanie materiału na podkładkach, po wystygnięciu całego układu rozpoczyna się stopniowe przywracanie ciśnienie normalnego wewnątrz komory. Po wyciągnięciu podkładek z komory można rozpocząć proces odklejania foli z podkładki który polega na stopniowym rozpuszczaniu w wodzie dejonizowanej „odklejacza”, proces ten jest bardzo powolny, należy zaznaczyć, że chcemy aby nasza folia utrzymała się na powierzchni wody. Gdy cała folia jest już odklejona rozpoczyna się „łowienie”, które polega na bezpośrednim nałożeniu foli znajdującej się w wodzie na ramkę. Tak przygotowaną tarczę pozostawia się do wyschnięcia.

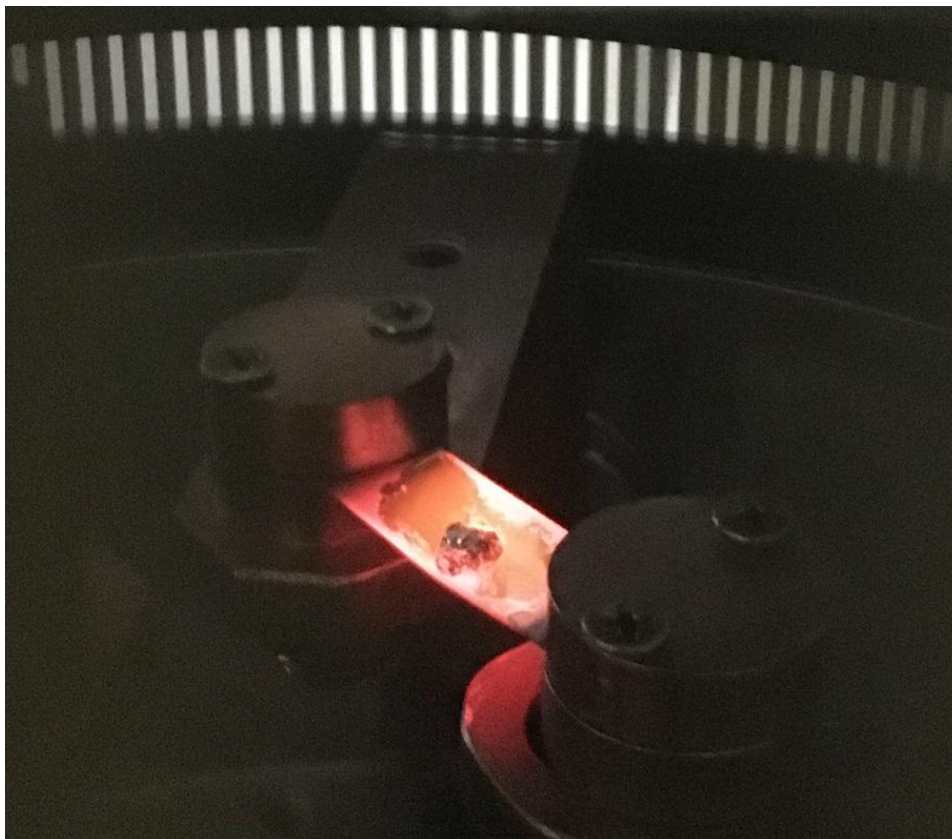


Rysunek5. Przygotowany układ do parowania

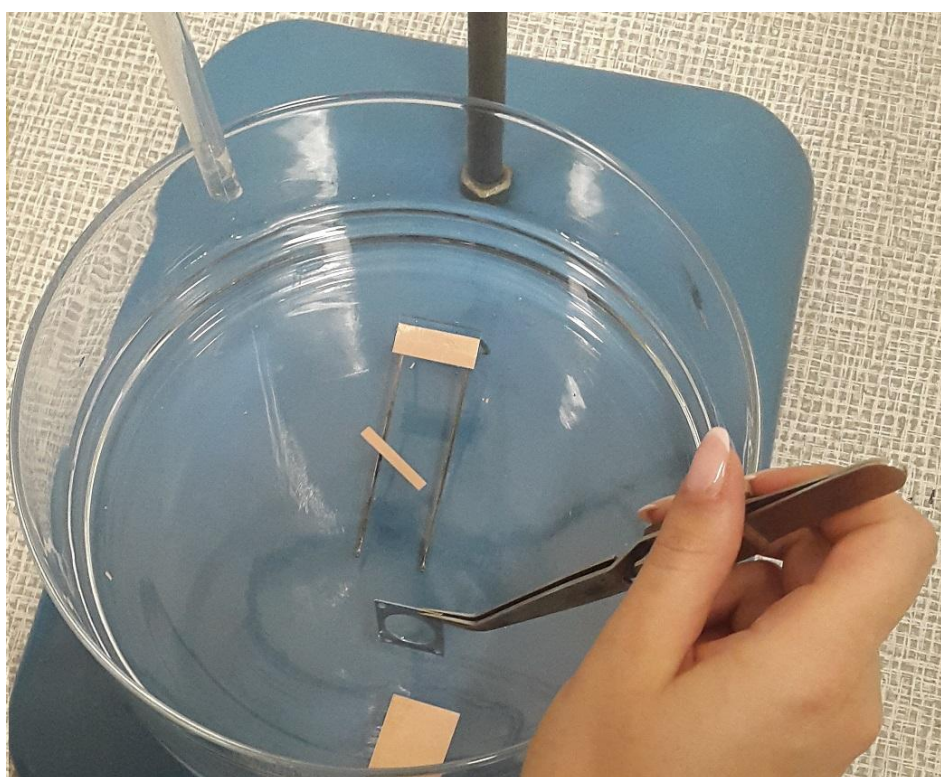
Element oznaczony na rysunku numerem 1 to tygiel grzewczy, numerem 2 przesłona chroniąca podkładki, numerem 3 podkładki.



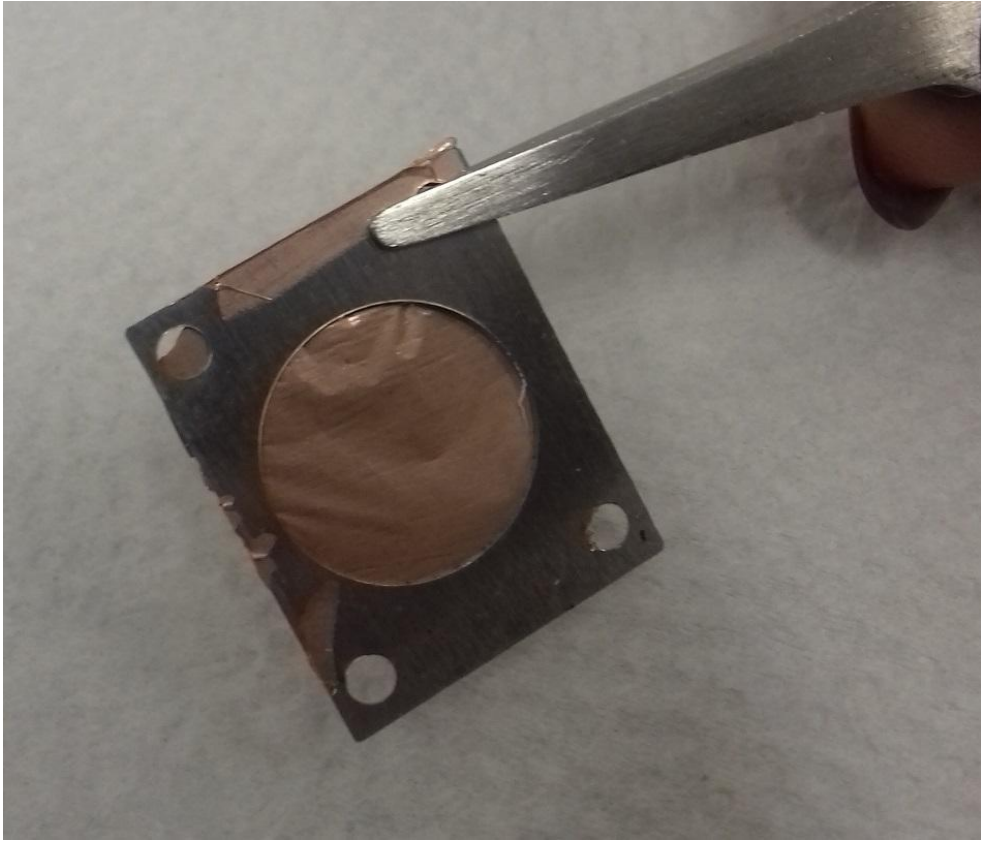
Rysunek6. Gotowy układ wraz z elementami zasilającymi, pompa próżniowa i aparatura pomiarową (mikrowagą kwarcową)



Rysunek7. Tygiel w trakcie nagrzewania



Rysunek8. Odklejona folia unosi się na wodzie, przygotowanie do łowienia



Rysunek9. Gotowa tarcza

3. Pomiar grubości tarcz.

Pomiaru grubości tarcz dokonano kilkoma metodami: grubościomierzem indukcyjnym, mikrowagą kwarcową oraz z wykorzystaniem spektroskopii alfa.



Rysunek10. Grubociomierz indukcyjny

Pomiar grubości z wykorzystaniem spektroskopii alfa

Cząstka alfa przechodząc przez absorbent oddziałuje swoim polem elektrycznym z elektronami atomów absorbentu jonizując te atomy. Do zatrzymania cząstki potrzebna jest ogromna ilość aktów jonizacji (w pojedynczym akcie jonizacji cząstka alfa traci niewielką część swojej energii kinetycznej) w związku z czym straty energii mają kwazi-ciągłą charakterystykę. Średnią stratę energii na jednostkę długości drogi cząstki w materiale podaje formuła Bethego-Blocha:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi N_A Z\rho}{Am_m m_e c^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{z^2}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2 T_{\max}}{(1-\beta^2) I^2} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right]$$

Gdzie:

$\frac{dE}{dx}$ - strata energii cząstki na jednostkę przebytej odległości

N_A - liczba Avogadro

Z, A - liczba atomowa i liczba masowa atomów absorbentu

m_m - jednostka masy molowej absorbentu

ρ - gęstość absorbentu

m_e, e - masa i ładunek elektronu

z - ładunek cząstki (jako wielokrotność ładunku elementarnego)

β - stosunek prędkości cząstki do prędkości światła w próżni

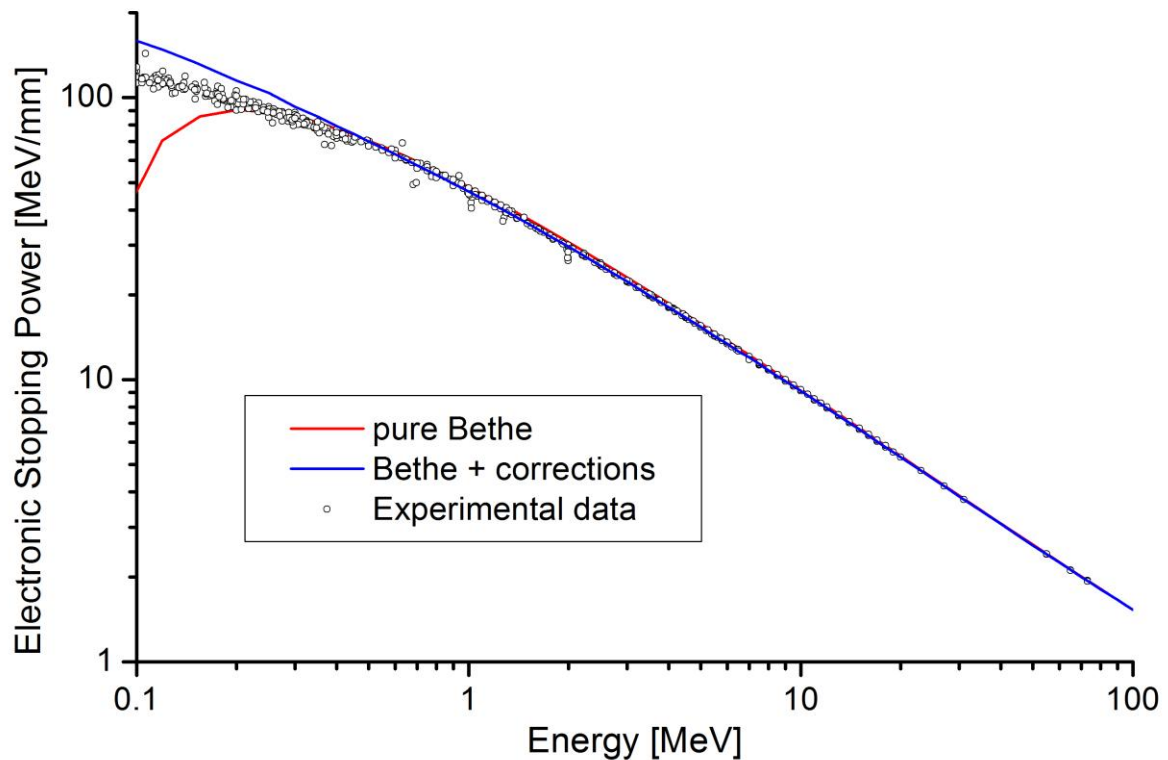
ϵ_0 - przenikalność elektryczna próżni

T_{max} - maksymalna energia kinetyczna jaką cząstka może przekazać elektronowi w pojedynczym akcie jonizacji

I - średnia energia jonizacji

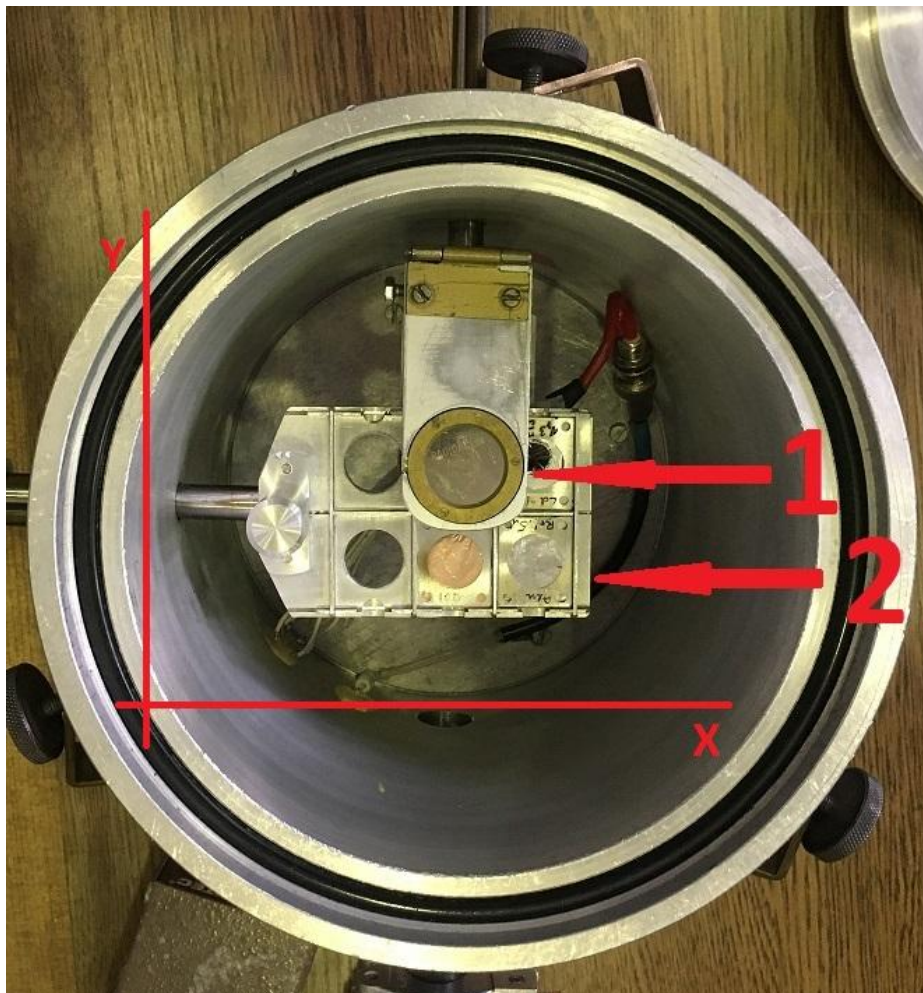
$\frac{\delta}{2}$ - poprawka na gęstość pola

Zależność ta jest dość niewygodna w stosowaniu ponadto dla wysokich energii nie uwzględnia efektów relatywistycznych a dla bardzo małych energii efektów przechwyty i oddawania elektronów przez cząstkę.



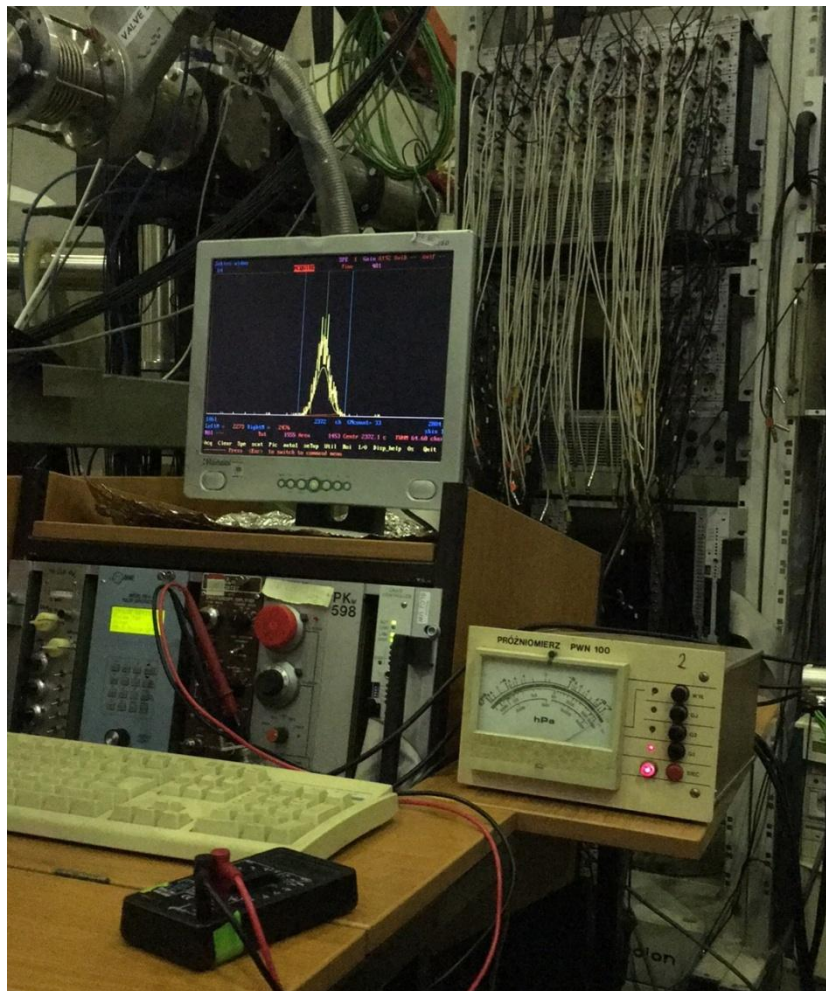
Wykres1* Przedstawia różnice w „Stopping Power” wynikające z zależności Bethego-Blocha, wynikające z zależności Bethego-Blocha z uwzględnieniem „Shell correction” oraz dane eksperymentalne.

Do pomiaru grubości tarcz metodą spektroskopii alfa wykorzystany został układ składający się z źródła emitującego promieniowanie alfa (w naszym przypadku był to Am-241), detektora, pulsera, wzmacniacza, analizatora wielkanałowego, komputera z oprogramowaniem przeznaczonym do akwizycji i analizy widm, pompy próżniowej oraz komory próżniowej. Mierzona jest energia cząstek alfa po przejściu przez absorbent (tarczę), znając energie początkową i końcową cząstki na podstawie wyżej omówionych zależności można obliczyć grubość tarczy.



Rysunek 11 Komora próżniowa oraz elementy układu pomiarowego

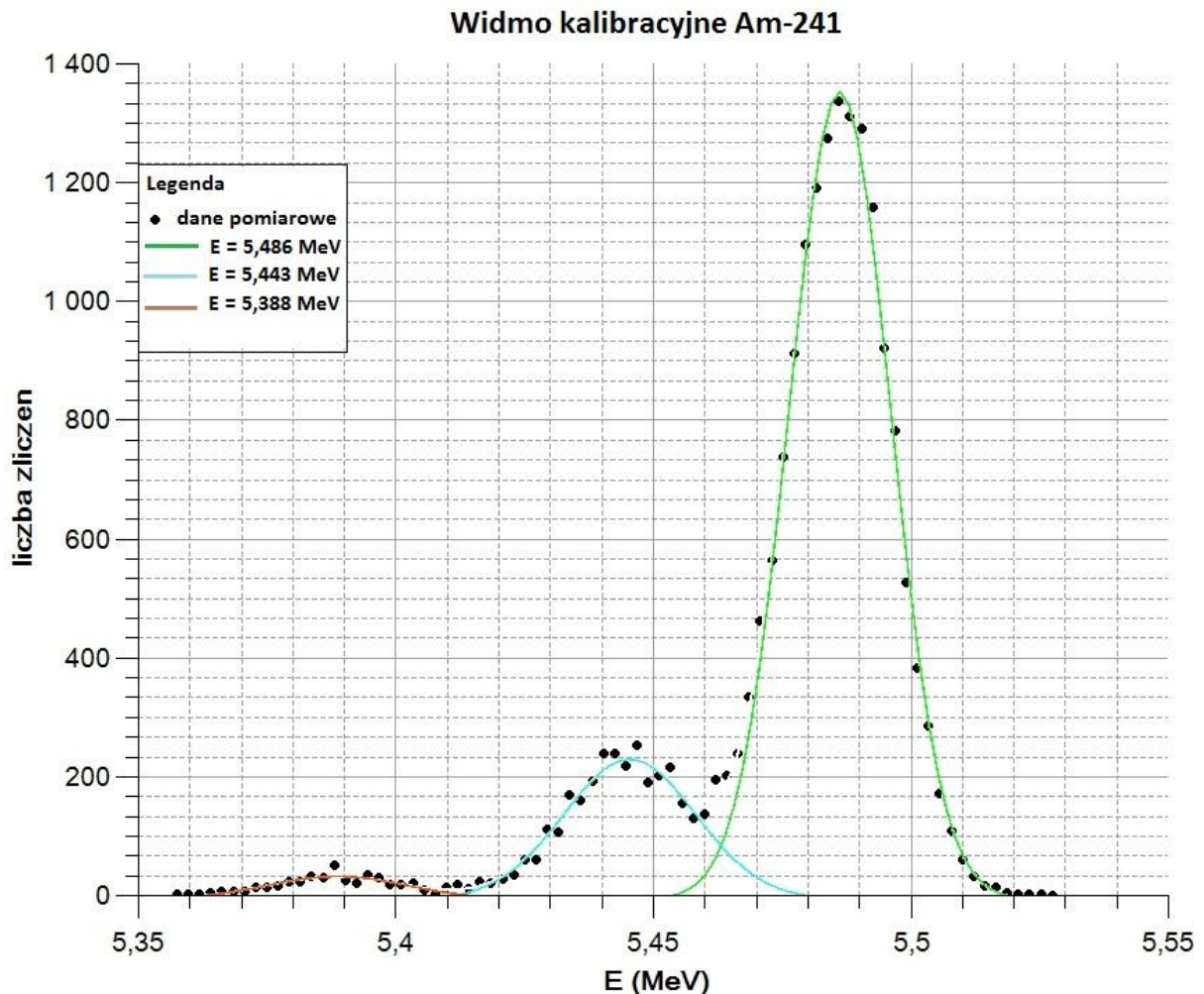
Na rysunku 11 numerem 1 zaznaczono element w którego górnej części (widocznej, znajdującej się nad stolikiem) znajduje się źródło emitujące cząstki alfa, a w dolnej detektor (niewidoczny na zdjęciu znajduje się pod stolikiem) element można poruszać się wzdłuż osi Y, numerem 2 stolik na którym znajdują się tarcze może on poruszać się wzdłuż osi X.



Rysunek 12 Sztanowisko pomiarowe do spektroskopii alfa

4. Opracowanie wyników

W celu dokonania kalibracji energetycznej detektora jedno stanowisko na stoliku zostało puste, zakładając zerowe straty energetyczne cząstek podczas przechodzenia przez próżnię wewnątrz komory i znajdując na widmie piki możemy przypisać im konkretne energie które dla radioizotopu Am-241 wynoszą: 5486keV (prawdopodobieństwo emisji 85%), 5443keV (prawdopodobieństwo emisji 13%), 5388keV (prawdopodobieństwo emisji 1%).

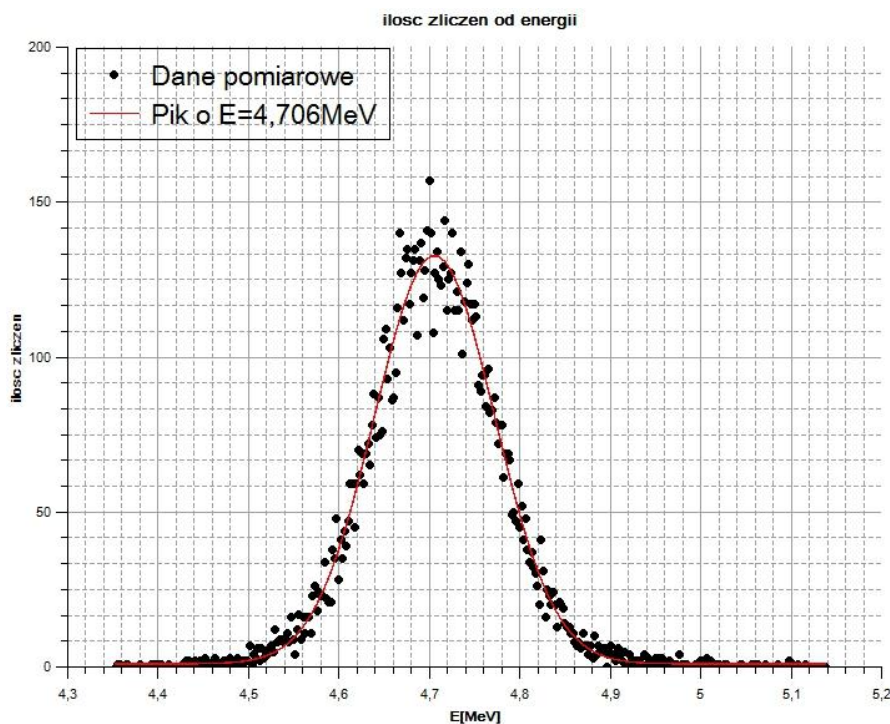


Wykres 2. Widmo kalibracyjne dla detektora

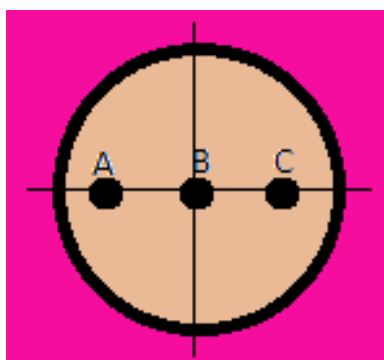
Wszystkie dopasowania gaussowskie zostały wykonane przy pomocy programu QtiPlot, na wykresie 2 wyraźnie widać dwa piki, trzeci jest właściwie nie widoczny i nie może być wykorzystany do kalibracji detektora. W celu dokonania dokładniejszej kalibracji użyto pulsera.

Po dokonaniu kalibracji przystąpiono do właściwych pomiarów każdy z nich trwał około 20 minut w celu uzyskania dużej ilości zliczeń (poprawienie statystyki). W sumie dokonano 11 pomiarów. Poniżej zostaną omówione tylko wybrane.

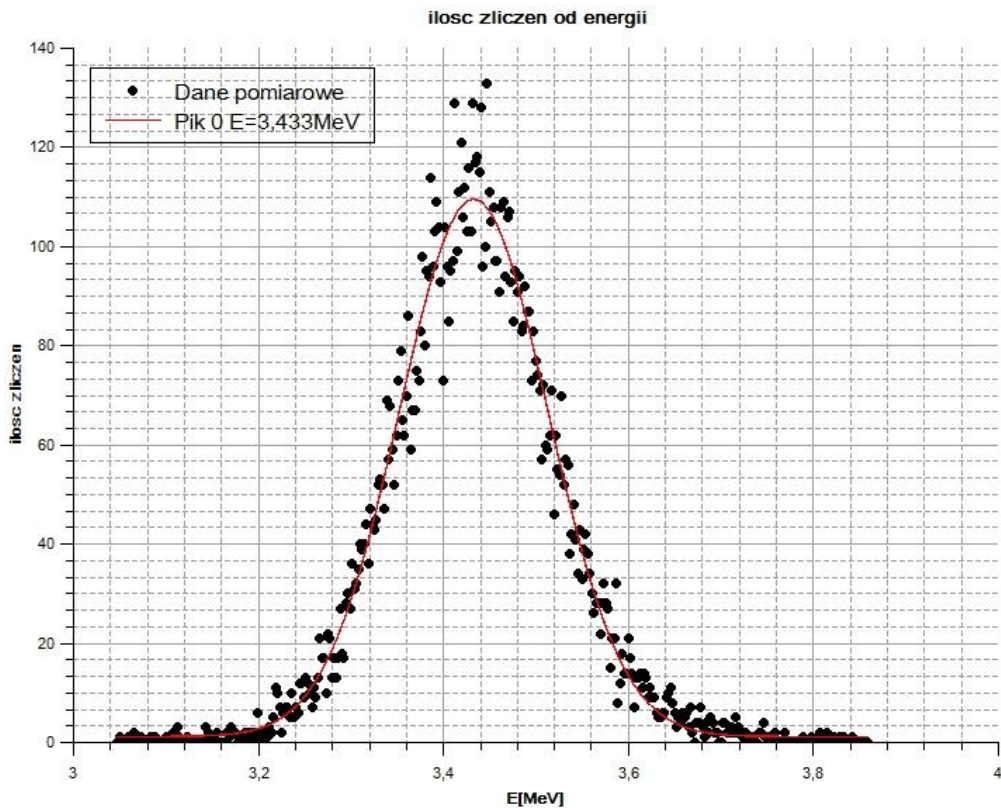
Dla tarczy miedzianych wykonanej metodą walcowania pomiaru dokonano w trzech punktach celem sprawdzenia jej jednorodności. W celu sprawdzenia rzetelności pomiarów dokonano również pomiaru referencyjnej tarczy aluminiowej.



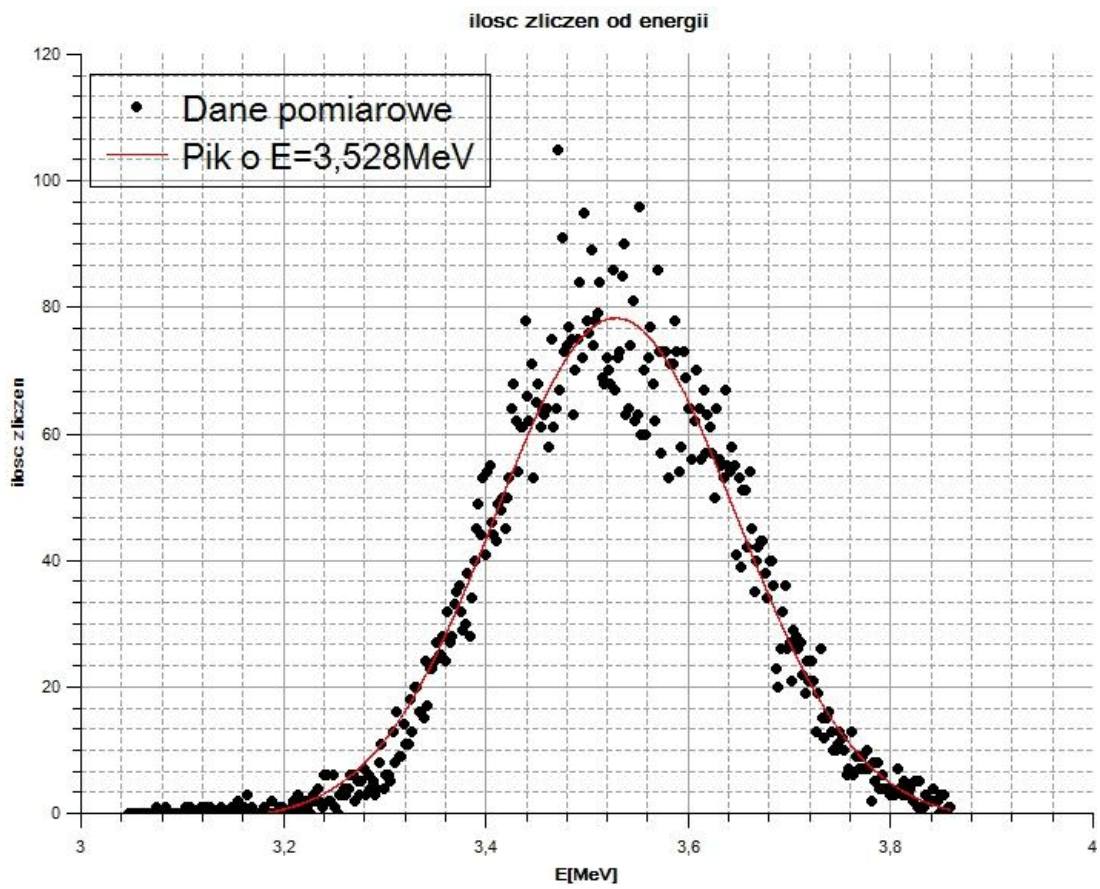
Wykres 3. Widmo dla referencyjnej tarczy aluminiowej



Rysunek 13. Punkty pomiarowe na tarczy.



Wykres 4. Widmo dla punktu pomiarowego A



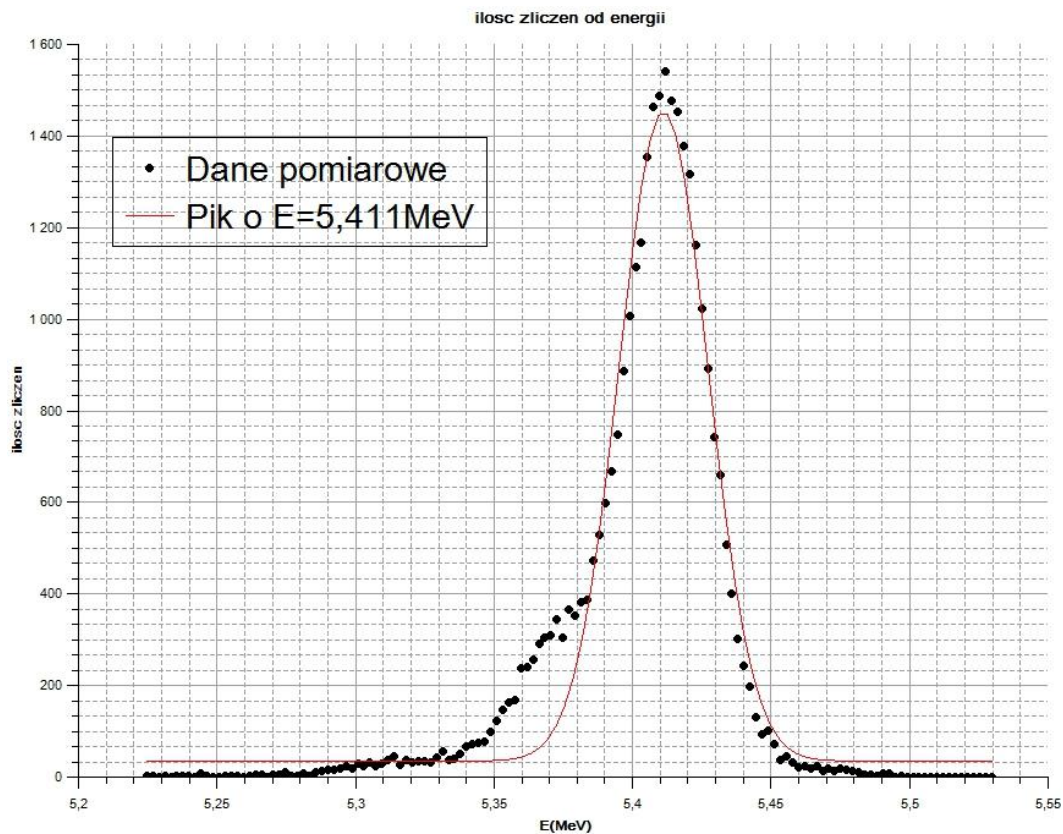
Wykres 5. Widmo dla punktu pomiarowego C

Rodzaj tarczy		Energia [MeV]	Grubość wg miernika indukcyjnego		Grubość wg programu ELO		Grubość wg programu SRIM	
			mg/cm ²	μm	mg/cm ²	μm	mg/cm ²	μm
Referencyjna (aluminium)		4,706	1,36	5,0	1,3	4,78	1,37	5,04
Miedziana	A	3,433	4,46	5,0	4,35	4,88	4,72	5,23
	B	3,477			4,32	4,84	4,73	5,31
	C	3,528			4,16	4,66	4,20	4,71

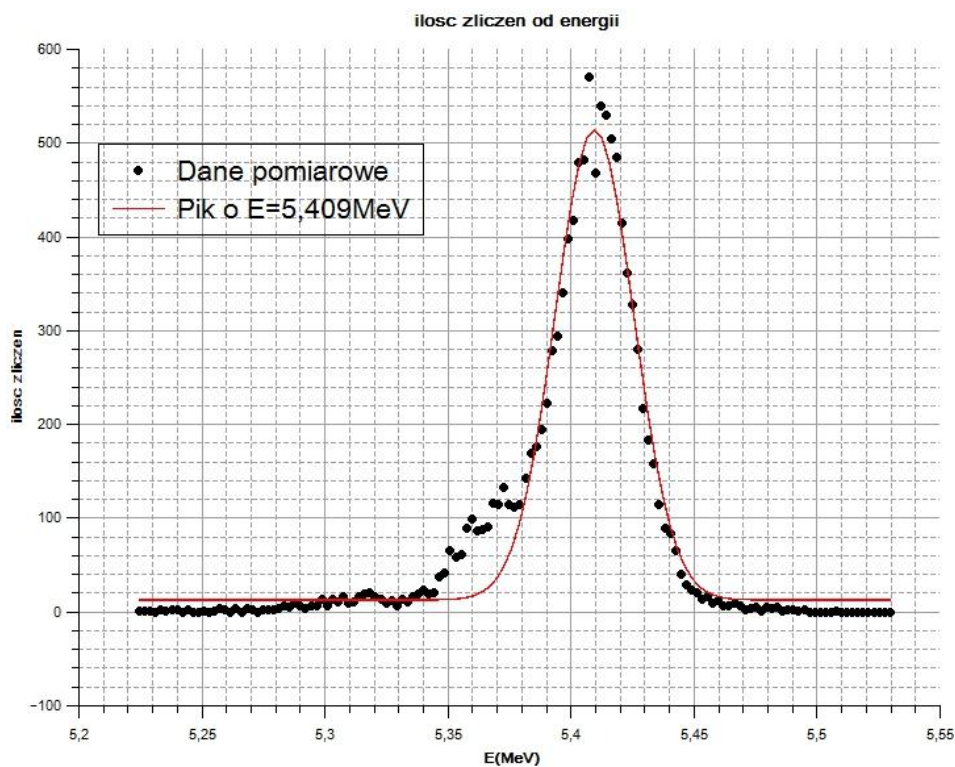
Tabela 1 Wyniki pomiarów dla tarczy miedzianej walcowanej

W tabeli 1 przedstawione zostały wyniki dla tarczy miedzianej walcowanej analizy dokonano z użyciem dwóch programów: Elo i SRIM. Wyniki otrzymane z tych programów różnią się między sobą różnica ta wynika z zastosowania innych wartości tablicowych stopping Power w każdym z nich. Na podstawie analizy wyniku otrzymanego dla referencyjnej tarczy aluminiowej można stwierdzić że w tym przypadku bardziej rzetelne są wyniki otrzymane przy pomocy programu SRIM (grubość referencyjna $5\mu m$). Jest to jednak dość ryzykowne twierdzenie, należało by dokonać pomiaru dała kilku tarcz referencyjnych i na podstawie otrzymanych wyników dokona oceny jakościowej programów.

Dla tarczy miedzianej wykonanej metoda parowania w wysokiej próżni dokonano trzech pomiarów. Ich rozmieszczenie na tarczy było takie samo jak w wyżej omówionym przypadku.



Wykres 6. Widmo dla tarczy parowanej w punkcie A



Wykres 7. Widmo dla tarczy parowanej w punkcie B

Rodzaj tarczy		Energia [MeV]	Grubość wg programu ELO		Grubość wg programu SRIM	
			mg/cm ²	nm	mg/cm ²	nm
Miedziana	A	5,411	0,174	19,5	0,186	20,8
	B	5,409	0,18	20,2	0,191	21,4
	C	5,409	0,18	20,2	0,191	21,4

Tabela 2 Wyniki Pomiarów dla tarczy miedzianej parowanej

W tabeli 2 przedstawione są wyniki pomiarów i analizy otrzymanych wyników dla tarczy miedzianej wykonanej metodą parowania w wysokie próżni, można zauważyć że tarcza ta charakteryzuje się wysoka jednorodnością.

5.Podsumowanie

Podczas warsztatów w ŚLCJ niestety nasze tracze nie zostały wykorzystane w żadnym eksperymencie z użyciem akceleratora. W trakcie warsztatów 3 osobowy zespół studentów :

- poprawnie wykonał tarcze miedziane dwiema technikami
- przy użyciu trzech metod badał ich grubość (w tym z wykorzystaniem spektroskopii alfa)
- dokonał analizy otrzymanych danych
- przedstawił wyniki swojej pracy innym studentom oraz prowadzącym

*-wykres pochodzi z

strony:<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/StoppingHinAlBethe.png>