

## II PRACOWNIA FIZYCZNA – część Pracownia Jądrowa

### Ćwiczenie nr 5

#### Spektrometria promieniowania $\alpha$ . Wyznaczenie wydajności detektora (oraz aktywności nieznanego izotopu promieniotwórczego).

##### 1. Cel ćwiczenia:

- zapoznanie się z techniką wykonywania pomiarów spektrometrii promieniowania  $\alpha$ , w tym poznanie/przypomnienie pojęć: „kalibracja energetyczna detektora” i „wydajność detekcji detektora”.
- wykonanie lub sprawdzenie kalibracji energetycznej i obliczenie wydajności detektora
- wyznaczenie aktywności izotopów standardu kalibracyjnego i porównanie ich z wartościami teoretycznymi.
- Wyznaczenie wydajności detektora dla linii „nieznanego” izotopu promieniotwórczego typu  $\alpha$ .

*Po zakupie przez IF odpowiedniego źródła: Rozpoznanie nieznanego izotopu promieniotwórczego typu  $\alpha$  i wyznaczenie jego aktywności. Parametry nieznanego izotopu muszą być identyczne lub bardzo bliskie parametrom źródła kalibracyjnego (gęstość, kształt, wymiary).*

##### 2. Wstęp teoretyczny pomocny w wykonaniu i opracowaniu ćwiczenia

Proces rozpadu jądra promieniotwórczego przez rozpad typu  $\alpha$  jest procesem dwuciałowym: z jądra macierzystego emitowana jest cząstka  $\alpha$  (czyli jądro He) – składające się z dwóch protonów i 2 neutronów. Jądro wtórne, powstałe po rozpadzie, ma więc 2 neutrony i 2 protony mniej. W rozpadzie uwalniana jest energia  $Q_\alpha$ , zwana energią rozpadu, która rozdzielona jest (zużyta) na nadanie cząstce  $\alpha$  i jądra wtórnemu (jądra odrzutu) energii kinetycznej.

Można więc zapisać:  $Q_\alpha = T_\alpha + T_{\text{jądro odrzutu}}$ . Rozpad dwuciałowy determinuje charakter widma cząstek  $\alpha$  (czyli zapisu linii (pików)), których energie odpowiadają energii emitowanych cząstek  $\alpha$ . Jest to widmo *liniowe* (pokazuje, jaką energię „wzięła” cząstka  $\alpha$  z energii rozpadu).

Energia cząstek  $\alpha$  jest charakterystyczna dla każdego izotopu  $\alpha$ -promieniotwórczego, więc określenie energii linii w widmie pozwala na analizę jakościową próbki, tzn. na identyfikację izotopów  $\alpha$ -promieniotwórczych w próbce.

Określenie intensywności danej linii w widmie (czyli pola piku) i znajomość wydajności detektora dla danej energii cząstki  $\alpha$  pozwala na obliczenie aktywności izotopu, który wyemitował tę cząstkę  $\alpha$  (analiza ilościowa).

Aby uzyskać poprawne wyniki analizy jakościowej i ilościowej, trzeba mieć pewność, że detektor jest poprawnie skalibrowany zarówno co do zależności kanał - energia, jak i co do zależności energia – wydajność detektora. Pierwsza zależność nosi nazwę kalibracji energetycznej, druga – kalibracji wydajnościowej.

Kalibracja energetyczna polega na przypisaniu poszczególnym kanałom układu rejestrującego odpowiednich wartości energii, co umożliwi rozpoznanie pików pochodzących od różnych izotopów na skali energetycznej. Zwykle jest to zależność liniowa:

$$E(keV) = a \cdot x + b \quad (1)$$

gdzie: a i b – współczynniki kierunkowe prostej, x – nr kanału. Zależność ta to zamiana wartości kanału na wartość energii.

Krzywa wydajności detekcji detektora podaje zależność wydajności detekcji promieniowania  $\eta$  detektora od energii (którą znamy na podstawie kalibracji energetycznej).

Wydajność detektora na zliczenia określonego typu promieniowania jest istotną cechą licznika.

**Wydajność** tę definiujemy jako stosunek liczby zliczeń detektora  $N_z$  do liczby cząstek padających  $N_p$  na powierzchnię czynną detektora w tym samym odstępie czasu:  $\eta = N_z/N_p$ .

W liczbę zliczeń nie wchodzi zliczenia tła detektora. Wydajność licznika na promieniowanie  $\alpha$  zależy od energii kwantów  $\alpha$ , rozmiarów licznika, rodzaju licznika i ustawienia względem kierunku padania promieniowania [Araminowicz...].

Wiedząc, że pole pod pikiem jest proporcjonalne do aktywności danego izotopu, aktywność A można obliczyć korzystając z zależności:

$$A(Bq) = \frac{N(cps)}{\eta \cdot \omega} \quad (2)$$

gdzie:

$N$  (cps) - szybkość zliczania (liczba zliczeń na sekundę w pikie – *counts per second*)

$\omega$  - wydajność emisji promieniowania o określonej energii przypadająca na jeden rozpad (wartość tabelaryczna). W przypadku, gdy izotop emituje cząstki  $\alpha$  o jednej wartości energii,

$\omega$  równa jest 1.

$\eta$  - wydajność detektora dla danej energii (w naszym przypadku będzie wyznaczona w doświadczeniu).

$A$  - aktywność znanego izotopu w dniu pomiaru. W naszym przypadku jest to aktywność znanych izotopów standardu kalibracyjnego podanych w Tabeli 1, wyznaczona (wyliczona) w dniu wykonywania pomiarów z prawa rozpadu promieniotwórczego. [Chibowski...].

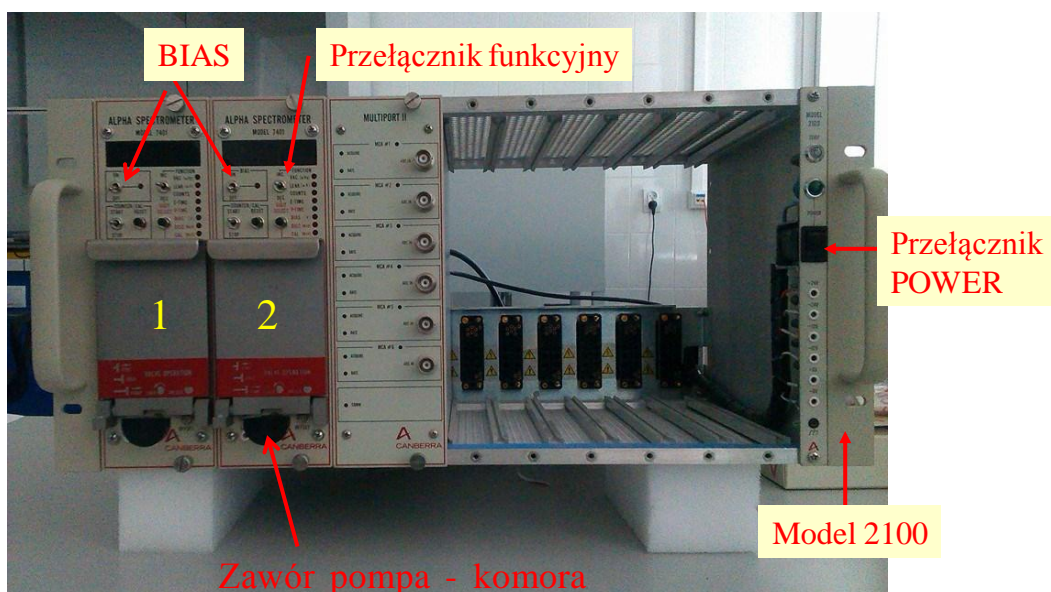
Znając wielkości  $N$ ,  $A$  i  $\omega$  możemy, na podstawie wzoru (2),  
obliczyć wartość wydajności detektora  $\eta$ .

### 3. Opis stanowiska pomiarowego

- ALPHA SPECTROMETER (wyprodukowany przez firmę Canberra)
- Pompa próżniowa WELCH 1400C-02
- Oprogramowanie GENIE-2000 (Canberra)

Stanowisko do spektrometrii promieniowania  $\alpha$  składa się z detektora półprzewodnikowego umieszczonego w komorze próżniowej wielokanałowego spektrometru. Pomiary wykonuje się po umieszczeniu źródła w komorze próżniowej zgodnie z opisem wykonania ćwiczenia zamieszczonym poniżej. Do obsługi urządzenia, akwizycji danych i ich analizy służy program GENIE-2000 – uruchamiany w systemie Windows XP MODE, który uruchamia się automatycznie po włączeniu komputera i zalogowaniu (*hasło-Canberra*).

### 4. Obsługa aparatury i wykonanie pomiarów.





#### 4.1 Przygotowanie układu pomiarowego do pracy. (opracowanie dr Urszula Majewska)

- Włączyć komputer - uruchamia się w systemie Windows 7 w trybie XP MODE – pojawia się okno XPM User – wpisać hasło Canberra. Otwiera się okno XPM User – wpisać hasło Canberra. Otwiera się okno Windows XP Mode – Windows Virtual PC. Dać widok – „pełen ekran”.
- Upewnić się, że przełącznik BIAS w obu kasetach ALPHA SPECTROMETER Model 7401 jest w pozycji OFF !
- Upewnić się, że przełącznik VACUUM BIAS INTER LOCK - z tyłu bloku pomiarowego u góry - jest w pozycji ON.
- Włączyć kasetę Model 2100 – prawa część bloku pomiarowego- przyciskiem POWER.
- „Przechodzimy” do komputera: podłączamy dwa porty USB (Canberra Multiport II i USB Ultra Pro) – zakładka USB w górnej środkowej części monitora – wybieramy opcję Dołącz (napis zmieni się na Zwolnij).
- Restartujemy Genie 2000: VDM Service Manager – ikona z symbolem A w pasku szybkiego uruchamiania (dół ekranu po prawej stronie) – klikamy na ikonkę A i wybieramy polecenie Restart service.

## 4.2 Instrukcja **odpompowania** komory pomiarowej w ALPHA SPECTROMETER

i **włączenia** napięcia na detektorze. (opracowanie dr Urszula Majewska)

- Wkładamy próbkę podaną przez Pracownika do komory pomiarowej – na poziom nr 1 – w **OBECNOŚCI PROWADZĄCEGO ZAJĘCIA** lub mgr. Soboty. Komora pomiarowa znajduje się za srebrnymi drzwiczkami nr 2.
- Po włożeniu próbki do komory spektrometru zamknąć drzwiczki, włączyć pompę próżniową:
  - Wyciągnąć zawór łączący pompę próżniową z komorą pomiarową - VALVE OPERATION, czyli wysuwamy go do pozycji PUMP i blokujemy w pozycji LOCK – obrót w lewo o 90 stopni – **PATRZ rysunek na panelu urządzenia.**
  - Włączamy pompę pod stołem – przełącznik z prawej strony do pozycji ON.
- Przełączamy przełącznik funkcyjny do pozycji VAC – 1sza od góry – zapala się czerwona dioda i na wyświetlaczu będzie możliwy podgląd wartości ciśnienia .
- Gdy ciśnienie p w komorze osiągnie wartość mniejszą niż 500μHg ( $p < 500 \mu\text{Hg}$ ), można włączyć napięcie na detektorze przełącznikiem BIAS, przełączając go w pozycję ON. Napięcie podnosi się, miga czerwona dioda, a po dojściu wartości U do 40 V dioda przestaje migać.

**UKŁAD JEST GOTOWY DO PRACY.**

**Napięcie na detektorze można podnieść tylko wtedy,**

**gdy wewnątrz komory pomiarowej panuje PRÓŻNIA !!!**

## 4.3 Szczegółowy opis ćwiczenia (opracowanie dr Urszula Majewska)

4.3.1 Źródła wykorzystywane w trakcie przeprowadzenia eksperymentu:

Źródło Mixed Alpha nr SRS 84115-121 zawierające 4 izotopy:  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ .

Tabela 1 zawiera informacje o izotopach znajdujących się w próbce używanej w ćwiczeniu do kalibracji energetycznej oraz ew. wyznaczenia aktywności tych radioizotopów (źródło kalibracyjne). Aktywności źródeł zostały określone przez producenta na dzień 04.08.2010, godzinę 12:00.

Tabela 1. Skład próbki złożonej z 4 izotopów, używanej do kalibracji detektora.

Nazwa próbki	Nazwa izotopu	Aktywność (Bq)	Wartość energii zakresu i centrum piku widocznego w widmie dla danego izotopu (keV)	Okres połowicznego zaniku $T_{1/2}$ (lat)
Mixed ALPHA Nr SRS 84115- 121	<i>U-238</i>	1.774	3900-4270 centrum piku: ~4085	$4.47 \cdot 10^9$
	<i>U-234</i>	1.777	4580-4860 centrum piku: ~4720	$2.46 \cdot 10^5$
	<i>Pu-239</i>	1.560	4950-5240 centrum piku: ~5095	$2.41 \cdot 10^4$
	<i>Am-241</i> <i>Będzie traktowany jako próbka nieznana</i>	1.724	5280-5600 centrum piku: ~5440	$4.326 \cdot 10^2$

#### 4.3.2 Zebranie widma promieniowania $\alpha$

1. Uruchomić program Apha Acquisition Analysis – ikona na pulpicie. Wejść w zakładkę w górnym pasku: File – Open Datasource – Detector – MP2\_MCA2 – Open. Jeśli na ekranie będzie widoczne widmo ostatnio zbierane, należy je „wyczyścić”: Clear na panelu po lewej stronie. „Wyczyścić” też czerwone linie występujące w miejscach, gdzie były zaznaczone na czerwono piki – zakładka w górnym pasku: Display – ROIs – Clear All.
2. Zebrać widmo cząstek  $\alpha$  emitowanych przez próbkę umieszczoną w komorze pomiarowej na pozycji nr 1:
  - Sprawdzić/ ustawić czas pomiaru na 900 sekund: zakładka w górnym pasku: MCA – Acquire Setup –Time Preset – wstawić 900, zaznaczona ma być jednostka Sec.
  - Uruchomić pomiar: START – lewa część ekranu.
  - Pomiar zakończy się automatycznie po upływie zadanego czasu.
  - Zapisać zebrane widmo pod nazwą „poz 1\_widmo\_data\_nazwisko”.
  - Zaznaczyć obszary pików i ich centrum:

określamy rozciągłość ROI-a (ROI – region of interest), czyli obszaru definiującego pole danego piku. Włączamy: Expand On (lewy panel ) lub wciskamy przycisk F8. Pod oknem, w którym zbiera się widmo, pojawi się drugie okno w innej skali. Jest na nim biały prostokąt (znaleźć białą pionową kreskę – to prawy bok tego prostokąta; pozostałe boki najczęściej „zlewają” się z osiami i są w tym momencie niewidoczne). Najedź tym prostokątem na obszar, który Cię interesuje (czyli obszar piku, na którym chcesz określić ROI). W oknie górnym pojawi się powiększenie tego obszaru – teraz dokładniej można określić granice ROI-a. Kliknij myszką w miejscu, gdzie zakładasz początek ROI-a i wciśnij CTRL i L (można też przeciągać znaczniki). Kliknij myszką w miejscu,

gdzie zakładasz koniec ROI-a i wciśnij CTRL i R. Litery L i R oznaczają odpowiednio Left (lewy) i Right (prawy). Wciśnij przycisk Insert z klawiatury. Obszar ROI-a zrobi się czerwony. Kształt pików jest gaussowski plus „ogon” z lewej strony. Najedź kursorem możliwie najdokładniej szczyt pików. Na dole ekranu jest panel, który zwykle ma tytuł: Time Info. Przyciskiem Prev przejdź do okna Marker Info.

- Spisać położenie centrum pików i położenia znaczników (markerów) lewego i prawego, pole pików z wartością błędów (Left marker, Right Marker, Centroid, Area) z zakładki Marker Info (dół ekranu). Można zrobić zrzuty ekranu, by wkleić je do sprawozdania - sprawdzić, czy dane są czytelne.

### 3. Wykonać kalibrację energetyczną:

- Wejść w zakładkę u góry ekranu: Calibrate -- Energy Full -- By Entry – wpisać energię szczytu pików - Energy (wartość z tabeli) oraz kanał - Channel położenia Centroid spisany przed chwilą -- i wciśnij Add.
- Powtarzamy te czynności dla wszystkich pików -- i wciśnij OK.
- Wyświetlić uzyskany wynik – kliknąć polecenie: Show.

Jeśli punkty są bardzo rozbieżne, próbujemy powtórzyć czynności po staranniejszym określeniu położenia centralnego markera w centrum pików określeniu. Wcześniej oczywiście trzeba usunąć wpisane poprzednio dane: *opcja Clear lub Delete* (proszę poszukać).

*Można zrobić zrzut widoku, który ukaże się po opcji Show, by mieć dane do sprawdzenia, czy Państwa obliczenia są poprawne. Zrzut **nie jest traktowany** jako element opracowania ćwiczenia !!*

## ZMIANA PRÓBKII

### Instrukcja **zapowietrzenia** komory pomiarowej i **obniżenia napięcia** w ALPHA SPECTROMETER.

#### Zmiana próbki:

Po wykonaniu pomiaru, gdy chcemy otworzyć komorę pomiarową, by zmienić próbkę, należy:

- wyłączyć napięcie na detektorze przełącznikiem BIAS – w pozycję OFF – napięcie prawie natychmiast schodzi do wartości bliskiej 0.

***Przed zapowietrzeniem komory zdjąć napięcie z detektora!***

- zapowietrzyć komorę **bez wyłączania** pompy:
  - ✓ wykonać czynności UNLOCK i VENT (patrz ilustracja na przedniej części komory próżniowej).
  - ✓ otworzyć drzwiczki komory próżniowej.
  - ✓ wyjąć próbkę kalibracyjną z pozycji nr 1

**Napięcie na detektorze można podnieść tylko wtedy,**

**gdy wewnątrz komory pomiarowej panuje PRÓŻNIA !!!**

**Nie wolno wyłączać pompy, gdy w komorze panuje próżnia !**

- włożyć próbkę na pozycję 13 lub wskazaną przez Prowadzącego.
- **Wykonać odpowiednie czynności zapowietrzenia komory i podniesienia napięcia – punkt 4.2.**
- Wyczyścić widmo – polecenie Clear w lewej części ekranu.
- Uruchomić pomiar: START – lewa część ekranu.
- Zapisać zebrane widmo pod nazwą „poz 13\_widmo\_data\_nazwisko”.
- Spisać położenie centrum pików i położenia markerów, pole pików z wartością błędów z zakładki Marker Info (dół ekranu). Można zrobić zrzuty ekranu, sprawdzić, czy dane są czytelne.

Pomiary powtarzamy dla wszystkich pozycji próbki podanych przez Prowadzącego.

#### 4.3.3. ZAKOŃCZENIE ĆWICZENIA:

**Instrukcja zapowietrzenia układu pomiarowego ALPHA SPECTROMETER i wyłączenia napięcia na detektorze.**

#### Wyjęcie próbki:

Po wykonaniu pomiaru, gdy chcemy otworzyć komorę pomiarową, by wyjąć próbkę, należy:

- wyłączyć napięcie na detektorze przełącznikiem BIAS – w pozycji OFF – napięcie prawie natychmiast schodzi do wartości bliskiej 0.
- zapowietrzyć komorę **bez wyłączania** pompy:
  - ✓ wykonać czynności UNLOCK i VENT (patrz ilustracja na przedniej części komory próżniowej).
  - ✓ otworzyć drzwiczki komory próżniowej, wyjąć próbkę, umieścić w opakowaniu i oddać Prowadzącemu lub mgr. Sobocie.



### Koniec pomiaru:

- „Czyścimy” ekran – polecenie Clear po lewej stronie ekranu. „Czyścimy” czerwone paski na ekranie (gdzie były zaznaczone piki) – Display – ROIs –Clear All.
- Zamknąć program – File -- Exit
- Rozłączyć komputer z panelem pomiarowym: zakładka USB góra ekranu – kliknij na Zwolnij.
- Wyjść z XP Mode -- Akcja – Zamknij
- Wyłączyć komputer
  
- zapowietrzyć pompę przy otwartych drzwiczkach: wyciągnąć dźwignię VALVE OPERATION do pozycji PUMP.
- wyłączyć pompę – przełącznik do pozycji OFF
- wyłączyć blok pomiarowy -- przycisk POWER na panelu MODEL 2100 do pozycji 0

**Przed zapowietrzeniem komory trzeba zdjąć napięcie z detektora!**

**Nie wolno wyłączać pompy, gdy w komorze panuje próżnia !**

## 5. Opracowanie ćwiczenia (opracowanie dr Urszula Majewska)

### 5.1 Kalibracja energetyczna.

- a) Dane eksperymentalne przedstawić w tabeli. Wymagane informacje: pozycja próbki, nazwa pierwiastka, położenie lewego i prawego markera w kanałach, położenie centrum pików w kanałach, pole pików z błędem (czyli liczba zliczeń w pikach) spisane z okien Marker Info i czas pomiaru.
- b) Na podstawie spisanych danych zrobić wykres  $E_{\text{teor}} = f(k)$  – kalibracja energetyczna. Określić równanie prostej  $E_{\text{teor}} = a \cdot k + b$  oraz błędy współczynników  $a$  i  $b$  (wzory na  $a$ ,  $b$ ,  $S_a$  i  $S_b$  na regresję klasyczną znane są Państwu z 1 Pracowni fizycznej, ew. patrz „Pracownia fizyczna” H. Szydłowski). Dane z programu mogą służyć do sprawdzenia, czy nie popełnili Państwo błędu. Na wykresie ma być prosta o równaniu  $E_{\text{teor}} = a \cdot k + b$  oraz proste uwzględniające błędy  $\pm S_a$  i  $\pm S_b$ . Równanie prostej i błędy  $S_a$  i  $S_b$  poda program Excell i Origin.

**5.2 Wyznaczenie wartości  $\eta$**  (na podstawie wzoru 2) dla plutonu i obu uranów. Zrobić wykres zależności  $\eta = f(E)$ , gdzie  $E$  to energia szczytu pików. Znaleźć równanie tej prostej (teoretycznie powinna być to prosta równoległa do osi energii dla danej pozycji mierzonego źródła kalibracyjnego).

### 5.3 „Nieznane” źródło

Na podstawie spisanych danych dla 4 pików ( $A_m$ ) – pole pików  $N$ , czasu pomiaru i obliczonej aktywności na dzień pomiaru obliczyć wartość  $\eta$  ze wzoru 2 oraz z równania prostej  $\eta = f(E)$  z punktu 5.2 i porównać te wielkości, tj. obliczyć różnicę między nimi w %:

$$\Delta\eta = \frac{\eta_{wzor} - \eta_{prosta}}{\eta_{prosta}} * 100\%$$

### 5.4 Podsumowanie ćwiczenia / Wnioski.