

II Pracownia Fizyczna - część: Pracownia Jądrowa

Ćwiczenie nr 8

Pomiar i analiza widm monoenergetycznego promieniowania gamma za pomocą detektora scyntylicyjnego z oprogramowaniem Genie 2000.

1. Cel ćwiczenia:

- 1.1 Zapoznanie się z techniką wykonywania pomiarów spektrometrii promieniowania γ , w tym również poznanie podstawowych pojęć: „kalibracja energetyczna detektora” i „kalibracja wydajnościowa detekcji detektora”.
- 1.2 Wykonanie zależności kanał – energia i FWHM – energia oraz wydajność detekcji detektora – energia (energia-energia promieniowania γ).
- 1.3 Identyfikacja nieznanego izotopu promieniotwórczego i wyznaczenie jego aktywności.

2. Opis stanowiska pomiarowego

- a) Detektor scyntylicyjny NaJ(Tl) - model 802 firmy Canberra
- b) Uniwersalny cyfrowy analizator wielokanałowy - Osprey typ DTB firmy Canberra
- c) Oprogramowanie GENIE-2000 (Canberra)

Stanowisko do spektrometrii promienia gamma składa się z detektora scyntylicyjnego NaJ(Tl) i wielokanałowego spektrometru. Pomiary spektrometryczne wykonuje się po umieszczeniu źródła promieniotwórczego pod detektorem. Do obsługi urządzenia, akwizycji danych i ich analizy służy program GENIE-2000 – uruchamiany w systemie Windows.

3. Wstęp teoretyczny

(opracowanie dr Urszula Majewska i mgr inż. Daniel Sobota)

3.1 Promieniowanie γ

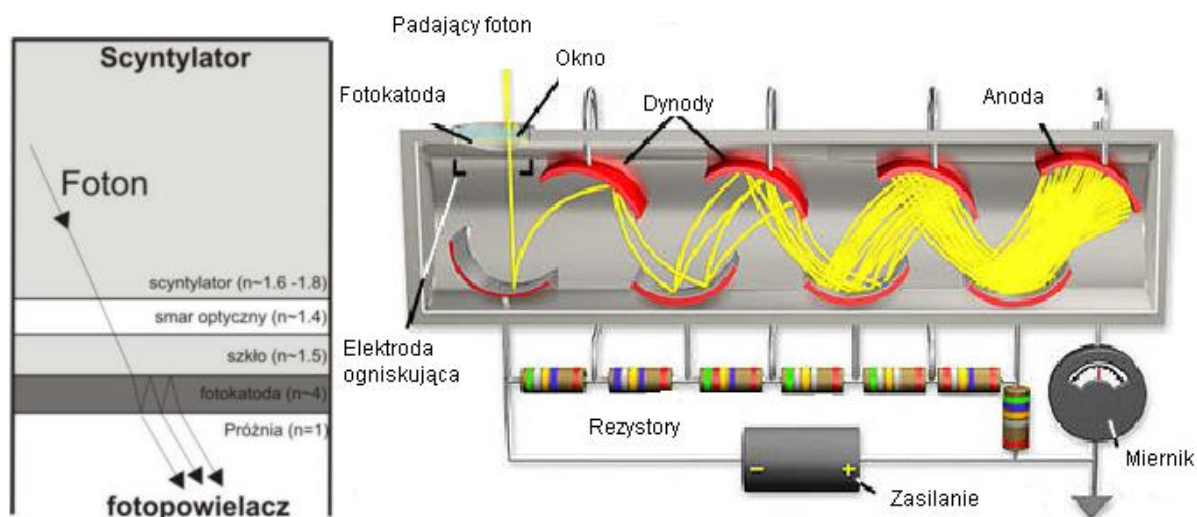
Promieniowanie γ jest wysokoenergetycznym promieniowaniem elektromagnetycznym o energii większej od ok. 20 keV. Pochodzenia jądrowego - powstaje w wyniku przemian jądrowych i zderzeń atomowych, co odróżnia je od promieniowania X. Promieniowanie to oddziałuje z materią pośrednio poprzez zjawisko Comptona, tworzenie par pozyton-elektron oraz zjawisko fotoelektryczne. Ze względu na dużą przenikliwość promieniowania γ należy zachowywać szczególną ostrożność w pracy z tymi źródłami i postępować zgodnie z przepisami regulaminu pracowni. Źródła (substancje) γ promieniotwórcze, tak jak wszystkie inne typy źródeł promieniotwórczych, podlegają procesowi przypadkowego rozpadu promieniotwórczego, opisanego przez prawo rozpadu promieniotwórczego.

Widmo promieniowania gamma jest charakterystyczne dla danego radionuklidu, dzięki czemu można go jednoznacznie rozpoznać, a także, po odpowiednim skalibrowaniu detektora (kalibracja wydajnościowa), wyznaczyć jego aktywność.

Wszystkie linie promieniowania gamma mają kształt gaussowski. Jednym z najważniejszych parametrów detektora jest jego zdolność rozdzielcza, która najczęściej jest definiowana jako szerokość połówkowa FWHM piku linii tego promieniowania. Kwanty promieniowania gamma można rejestrować za pomocą detektorów półprzewodnikowych o bardzo dużej zdolności rozdzielczej, np. HPGe (High Purity Germanium), jak również popularnymi detektorami scyntylicyjnymi o nieco gorszej zdolności rozdzielczej np. detektor scyntylicyjny z kryształkami jodku sodu NaJ(Tl), który zostanie wykorzystany w tym ćwiczeniu.

3.2 Licznik scyntylicyjny

Scyntylator – materiał który emituje światło (widzialne lub w zakresie bliskim widzialnemu) pod wpływem promieniowania jonizującego – zjawisko to nazywane jest luminescencją. Po komorach jonizacyjnych i licznikach GM, liczniki scyntylicyjne są najczęściej stosowanymi detektorami promieniowania. Budowa i zasada działania takiego licznika jest opisana poniżej:



Rysunek 1. Budowa typowego licznika scyntylacyjnego. Scyntylatorem wykorzystywanym do detekcji promieniowania gamma jest scyntylator NaJ(Tl).

Detektor scyntylacyjny składa się ze scyntylatora, który jest połączony z fotopowielaczem za pomocą kleju lub smaru optycznego zapewniającego przejście fotonów bez odbicia do wnętrza fotopowielacza, w stronę fotokatody. Scyntylator jest dołączony do fotopowielacza tak, aby w fotokatodę mogła trafiać maksymalna liczba fotonów. Fotokatoda wykonana jest najczęściej ze związków antymonu (np. SbKCs , SbNa_2K , SbCs_3) o bardzo dużym współczynniku załamania, większym niż powietrza i szkła (nie jest przezroczysta dla światła). W wyniku oddziaływania kwantów światła z fotokatodą emitowane są fotoelektrony, których liczba jest zwiększana w próżniowym fotopowielaczu (wzmocnienie 10^3 - 10^8 razy). Kwanty światła w scyntylatorze powstają na skutek rekombinacji (przejście elektronów z pasma przewodnictwa do walencyjnego w kryształach scyntylatora). Wcześniej przejścia do stanu przewodnictwa realizowane są poprzez efekt fotoelektryczny lub efekt Comptona.

Zakres widmowy emitowanych fotonów jest dostosowany do zakresu najlepszej wydajności fotokatody. Fotopowielacz jest najczęściej szklanym cylindrem zakończonym z jednej strony opisywaną już fotokatodą a z drugiej strony anodą. Wewnątrz fotopowielacza znajdują się elektrody anodowe, które nazywane są dynodami (zwykle od 10 do 14 sztuk – w detektorze NaJ(Tl) firmy Canberra zainstalowano 10 dynod). Do dynod doprowadzane jest napięcie poprzez oporowe dzielniki napięciowy (ok. 100 V). Fotoelektrony przyspieszane w polu elektrycznym pomiędzy elektrodami wybijają kolejne elektrony i w ten sposób do anody dociera impuls elektryczny mierzony jako spadek napięcia na ostatnim oporniku R umieszczonym za anodą fotopowielacza. Zmierzone krótkotrwały spadek

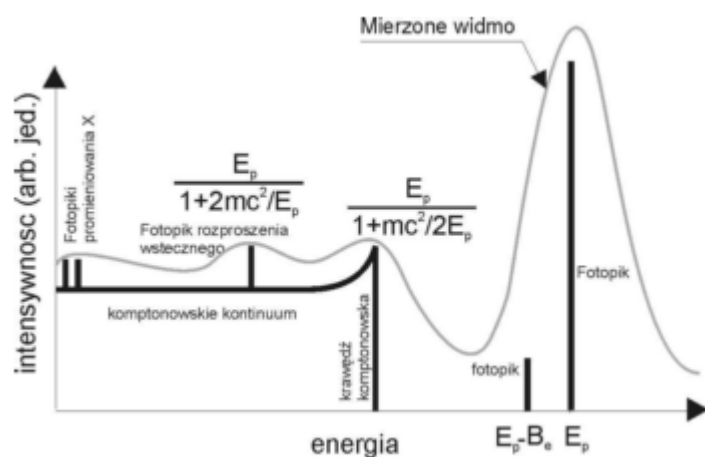
napięcia na tym oporniku przetwarzany jest na sygnał cyfrowy i portem komunikacji sieciowej rejestrowany przez system akwizycji oprogramowania Genie 2000.

3.2.1 Wady i zalety liczników scyntylacyjnych:

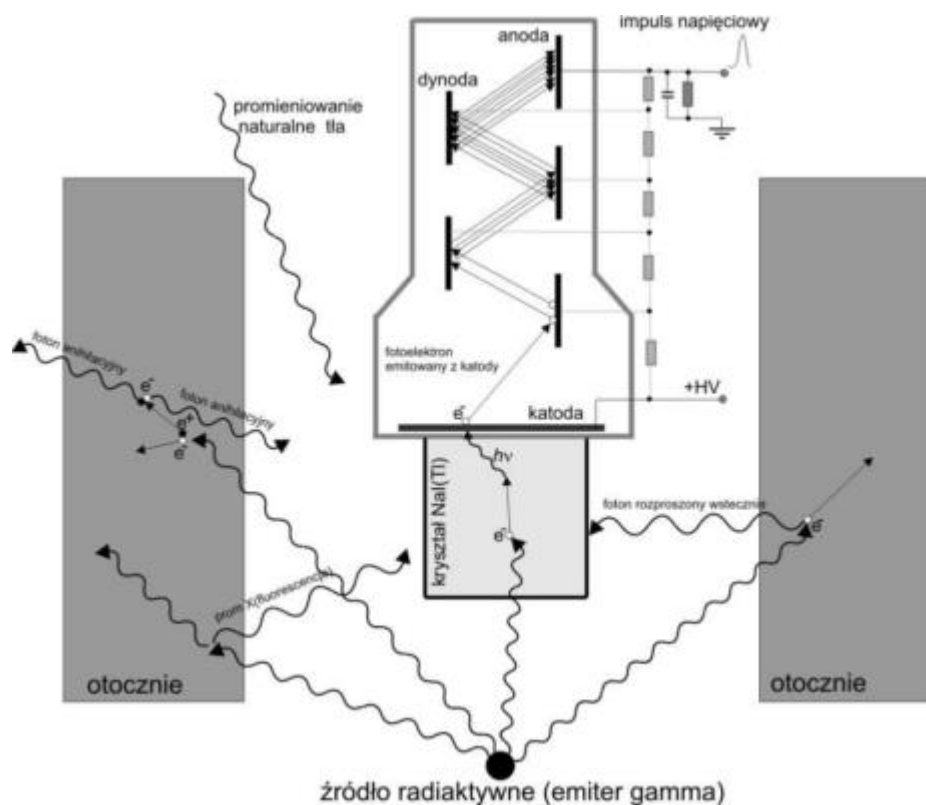
Zaletą liczników scyntylacyjnych jest proporcjonalność liczby luminescencyjnych fotonów, czyli natężenia błysków od energii padających kwantów gamma, dzięki czemu możliwy jest pomiar energii kwantów gamma w szerokim zakresie energetycznym. Zaletą jest również bardzo krótki czas narastania sygnału (ok. 2-3 ns), co pozwoliłoby osiągnąć bardzo wysoką zdolność rozdzielczą, gdyby nie straty energii (wydajność scyntylatora ok. 40%, straty na drodze do fotokatody ok. 65 %, wydajność fotokatody ok. 12%), które ją ograniczają. Jednak i tak zdolność rozdzielcza detektora scyntylacyjnego jest o wiele wyższa niż w przypadku licznika Geigera-Mullera, dla którego sama wydajność wynosi ok. 1% (dla licznika scyntylacyjnego ok. 40 %).

Wydajność scyntylatora definiowana jest jako stosunek energii wszystkich kwantów padających na scyntylator do energii zaabsorbowanej przez scyntylator w tym czasie. Ostatecznie zdolność rozdzielcza takiego licznika jest rzędu kilku procent i jest to 10 razy większa niż w najczulszych detektorach półprzewodnikowych typu HPGe (o najwyższej zdolności rozdzielczej rzędu 0.5 %).

3.2.2 Interpretacja widma promieniowania γ otrzymanego z licznika scyntylacyjnego NaJ(Tl)



Rysunek 2. Przykładowy wykres widma źródła kwantów gamma o określonej energii, mniejszej od 1 MeV .



Rysunek 3 Przykładowy schemat oddziaływania kwantów gamma pochodzących od źródła umieszczonego pod detektorem scyntylacyjnym.

Na rysunku 2 zaznaczone zostały najbardziej charakterystyczne fragmenty widma: 1. Pik całkowitej absorpcji – pik odpowiadający całkowitej energii fotonu, „zostawionej” w scyntylatorze w oddziaływaniach: efekt fotoelektryczny, rozpraszanie Comptona, powstawanie par.

2. krawędź komptonowska i komptonowskie kontinuum: kwant gamma padając na scyntylator oddziałuje z elektronami poprzez efekt Comptona. Przyspieszony elektron może mieć energię od 0 do wartości zaznaczonej na wykresie jako krawędź komptonowska – przypadek rozproszenia wstecznego, kiedy elektron „zabiera” maksymalną z możliwych energię (a foton rozproszony wstecz ma energię z możliwych najlepszą).

2. Fotopik o energii $E_p - B_e$: jest skutkiem utraty części energii kwantu γ na wybitcie elektronu z powierzchni scyntylatora poprzez efekt fotoelektryczny (B_e -praca wyjścia elektronu).

3. Nałożenie fotopików (efekt niewidoczny na rysunku 2): W przypadku, gdy badane źródło wyemituje dwa kwanty gamma i detektor zarejestruje obydwa kwanty jednocześnie, wówczas na widmie może pojawić się pik o energii równej sumie obydwu fotonów.

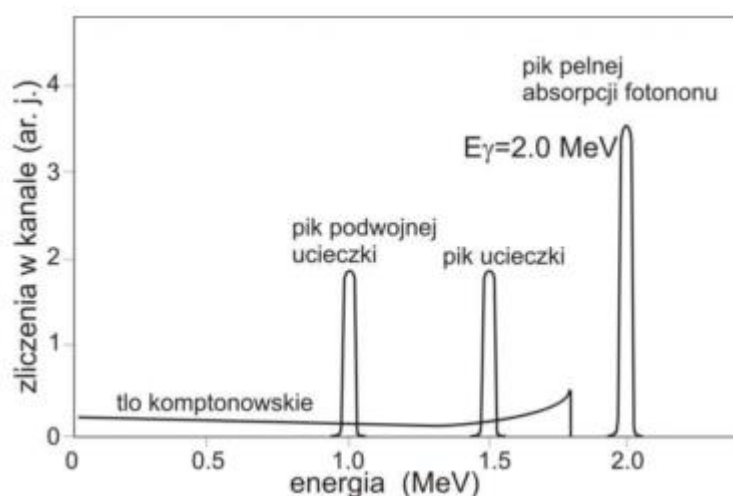
4. Pik rozproszenia wstecznego: kwant gamma może ulec rozproszeniu komptonowskiemu na elektronach z otoczenia scyntylatora (materiale domku osłonnego) o 180° i zostać zmierzonym po trafieniu w scyntylator. Ma wtedy energię z możliwych najmniejszą.

Fotopik od rozpraszania wstecznego jest zaznaczony na rysunku 2. Suma energii pików rozproszenia wstecznego i pików krawędzi Comptonowskiej dają energię pików absorpcji całkowitej.

5. Promieniowanie anihilacji (efekt niewidoczny na rysunku 2). Kwant gamma padając na scyntylator (o energii min. $1022 \text{ keV} = 2m_e c^2$) może doprowadzić do wykreowania pary pozyton - elektron. Gdy para elektron - pozyton zostanie wytworzona *poza* scyntylatorem, a jeden z powstałych w wyniku następującej później anihilacji kwantów γ wpadnie do scyntylatora, w widmie pojawia się pik o energii 511 keV.

6. Pik promieniowania X: to promieniowanie charakterystyczne pierwiastka, który powstał w wyniku rozpadu promieniotwórczego (efekt ten został również zaznaczony na rysunku 2).

7. Piki ucieczki (pierwszej i/lub drugiej) zaznaczone na rysunku 4. Są wynikiem procesu tworzenia pary elektron - pozyton i następującej potem anihilacji. Jeśli jeden z powstałych fotonów ucieknie ze scyntylatora, to w widmie obserwujemy tzw. pik pierwszej ucieczki lub pik pojedynczej ucieczki. Ma energię równą $h\nu - 0.511 \text{ MeV}$, gdzie $h\nu$ to energia pierwotnego kwantu γ . Jeśli oba fotony anihilacyjne uciekną ze scyntylatora, to powstaje pik drugiej ucieczki lub pik podwójnej ucieczki o energii $h\nu - 1.022 \text{ MeV}$.



Rysunek 4 Widmo promieniowania γ z zaznaczonymi pikami ucieczki. Na rysunku zaznaczone jest również tło komptonowskie, które szczegółowo zostało opisane na rysunku 2.

3.3 Spektrometria promieniowania γ – kalibracja energetyczna i krzywa wydajności detekcji detektora

W celu poprawnego zidentyfikowania izotopu, wykonania poprawnej analizy jakościowej, należy wykonać kalibrację energetyczną detektora.

Kalibracja energetyczna polega na przypisaniu poszczególnym kanałom odpowiednich wartości energii, co umożliwi rozpoznanie pików od różnych izotopów na skali energetycznej. Zwykle jest to zależność liniowa, odchylenie od liniowości nie przekracza 0.1 %. W celu osiągnięcia jeszcze większej dokładności kalibrację można opisać krzywą drugiego stopnia. Najczęściej kalibrację energetyczną opisuje prosta:

$$E = ax + b \quad (1)$$

gdzie: a i b – współczynniki kierunkowe prostej, x – nr kanału.

Krzywa wydajności detekcji detektora podaje zależność wydajności detekcji promieniowania η detektora od energii. Znajomość tej zależności umożliwia analizę ilościową, czyli wyznaczenie nieznanego aktywności znanego lub nieznanego izotopu.

Wydajność detektora na zliczenia określonego typu promieniowania jest istotną cechą licznika. **Wydajność** definiujemy jako stosunek liczby zliczeń detektora N_z do liczby cząstek padających N_p na powierzchnię czynną detektora w tym samym odstępie czasu:

$\epsilon = N_z/N_p$. w liczbę zliczeń nie wchodzi zliczenia tła detektora. Wydajność licznika na promieniowanie γ zależy od energii kwantów γ , rozmiarów licznika, rodzaju licznika i ustawienia względem kierunku padania promieniowania [Araminowicz...].

Wiedząc, że pole pod pikiem (N [cps] – liczba zliczeń na sekundę (counts per second)) jest proporcjonalne do aktywności danego izotopu, aktywność A można obliczyć korzystając z zależności:

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

gdzie:

N [cps] - szybkość zliczania (liczba zliczeń na sekundę w pikie)

ω - wydajność emisji promieniowania o określonej energii przypadająca na jeden rozpad (wartość tabelaryczna) – patrz tabele na początku rozdziału 4.

η - wydajność detektora dla danej energii (wyznaczona w doświadczeniu).

A - aktywność znanego izotopu w dniu pomiaru (obliczona z prawa rozpadu promieniotwórczego) [Chibowski...].

Gdy wykonujemy pomiar próbki radioizotopu o nieznannej aktywności, a do kalibracji był wykorzystany wzorec zawierający taki sam radioizotop, to do wyznaczenia aktywności „nieznanego” radioizotopu wykorzystujemy wzór (3):

$$A_p = \frac{N_p(E)}{N_w(E)} \cdot \frac{t_w}{t_p} \cdot \frac{m_w}{m_p} \cdot A_w \cdot C_s$$

(3)

gdzie:

A_w - aktywność wzorca w dniu pomiaru, gdzie aktywność początkowa **A₀** z tabeli 4.2.3

N_w - pole piku izotopu wzorca

N_p - pole piku badanego izotopu

t_w - czas pomiaru wzorca

t_p - czas pomiaru próbki

m_w - masa wzorca

m_p - masa „nieznanego” izotopu

C_s - poprawka na samoabsorpcję promieniowania w próbce względem wzorca (w naszym przypadku przyjmujemy, że **C_s** jest równe 1).

W przypadku źródeł zamkniętych podanych przez prowadzącego masa jest znormalizowana i $m_w / m_p = 1$.

4. Obsługa aparatury i wykonanie pomiarów.

(opracowanie dr Urszula Majewska)

4.1 Przygotowanie układu pomiarowego do pracy.

- a) Włączyć komputer w systemie Windows 7.
- b) jeśli zachodzi taka potrzeba, podnosimy detektor przez obrót śrub. Zdejmujemy czerwoną osłonę z dolnej części detektora.
- c) Uruchomić program Gamma Acquisition&Analysis - ikona na pulpicie.
- d) Połączyć komputer z detektorem: File - Open Datasource – Source:Detector – NaI3CALE-Open.
- e) sprawdzić wartość wysokiego napięcia HVPS (High VoltagePower Supply) – funkcja w górnym Menu: MCA – Adjust. Otworzy się na dole okno Adjust. Wejść w zakładkę HVPS – i sprawdzić, czy wartość napięcia Voltage wynosi 611 V. Kliknąć OK. Sprawdzić Status – powinno być włączone On – jeśli nie jest - włączyć. Zamknąć okno komendą Exit lub krzyżykiem w prawym górnym rogu okna.

Układ jest gotowy do pracy.

4.2 Źródła wykorzystywane w trakcie przeprowadzenia eksperymentu...

4.2.1 do kalibracji energetycznej

Tabela 4.2.1

Nazwa i nr źródła	Aktywność początkowa [kBq] na dzień;	Energia kwantu/kwantów [keV]; wydajność emisji promieniowania ω	Okres połowicznego zaniku $T_{1/2}$ [lat]	Sugerowane czasy pomiaru
Am-241 Nr 14	80 23.11.1990	59.6; <i>1</i>	$4.47 \cdot 10^9$	10 sek
Co-57 8/10	42.9 15.04.2010	122; <i>0.8551</i>	271.8 dni	500 sek
Ba-133 9/10	39.4 14.04.2010	356; <i>0.621</i>	10.54	100 sek
Cs-137 18/10	191.1 kBq 15.04.2010	661.6; <i>0.85</i>	30	10 sek
Mn-54 10/10	42.3 14.04.2010	835; <i>0.9997</i>	312.13 dni	Ok. 1500 sek
Co-60 13/10	41.2 15.04.2010	1173; <i>0.9998</i> 1332; <i>0.9985</i>	5.27	350 sek

Uwaga: pomiary Cs są obciążone pewnym błędem ze względu na brak domku ołowianego, który pochłaniałby promieniowanie tła, w tym promieniowanie γ od Cs – pozostałości po wybuchach nuklearnych, szczególnie w czasie zimnej wojny i po awarii w Czarnobylu. Formalnie w doświadczeniu powinno uwzględnić się ten wkład, ale ze względu na ograniczenie czasowe zajęć student nie przeprowadza tej części ćwiczenia. Czasy pomiarów są tak dobrane, że wkład tła jest niewielki.

4.2.2 do kalibracji wydajnościowej

Tabela 4.2.2

Nazwa i nr źródła	Aktywność początkowa kBq na dzień;	Energia kwantu/kwantów [keV]; wydajność emisji promieniowania ω	Okres połowicznego zaniku $T_{1/2}$ [lat]	Sugerowane czasy pomiaru
Na-22 7/10	40.3 15.04.2010	511; 0.018 1275; 0.994	2.603	100 sek
Cs-137 18/10	191.1 15.04.2010	661.6; 0.85	30	10 sek
Mn-54 10/10	42.3 14.04.2010	835; 0.9997	312.13 dni	1500 sek
Zn-65 15/10	41.3 15.04.2010	1116; 0.5022	244.01 dni	Przy 2000sek błąd 3% Przy 3100sek błąd ~2.4%
Co-60 13/10	41.2 15.04.2010	1173.2; 0.9985 1332.5; 0.9998	5.3	350 sek

4.2.3 do identyfikacji nuklidu i określenia jego aktywności w dniu pomiaru

Tabela 4.2.3

Nazwa i nr źródła	Aktywność początkowa na dzień;	Energia kwantu/kwantów [keV]; wydajność emisji promieniowania ω	Okres połowicznego zaniku $T_{1/2}$ [lat]	Sugerowane czasy pomiaru
Cs-137 19/10	403.8 kBq 15.04.2010	661.6; 0.85	30	10 sek
Ba-133 10	122.9 23.11.1990	356; 0.621	10.54	100 sek
Co-60 82	41.1 kBq 14.02.1996	1173.2; 0.999 1332.5; 0.9998	5.3	600 sek

4.3 Kalibracja energetyczna.

4.3.1 Pomiar

- a) Podać czas pomiaru jako nieskończony nieskończony: MCA - Acquire Setup - Live Time – wstawiamy 0 i OK.
- b) Umieścić radioizotop pod detektorem - 1szy z Tabeli 5.2.1. (Am)
- c) Włączyć pomiar - czyli komenda START na lewym panelu obok okna pomiaru.
- d) Obserwować, jak „rosną” piki:

Uwaga, w poszczególnych widmach interesują nas piki (położenie oszacowane na potrzeby ćwiczenia w momencie zbierania widm):

- Am –244 - drugi wyraźny pik w widmie od lewej,
- Co-57 – pik, który „wyrośnie” po prawej stronie od piku Am (trzeci spiczasty pik na widmie od lewej),
- Ba-133 – szósty od lewej strony widma i drugi wyraźny pik od prawej strony widma.
- Cs – 137 - wyraźny pik z prawej strony widma,
- Mn – 54 – pik pomiędzy pikami Co i Cs, teraz trzeci od lewej,
- Co-60 – dwa blisko siebie leżące piki z prawej strony widma.

Kiedy piki są wystarczająco wyraźne (uwaga-dla Am i Cs są to pojedyncze sekundy!!!), by określić ich granice (zakres), wyłączamy pomiar – komenda STOP na lewym panelu. Następnie określamy rozciągłość ROI-a (ROI – region of interest), czyli obszaru definiującego pole danego pik. 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 „zlewają” się z osiami i są w tym momencie niewidoczne). Najedź tym prostokątem na obszar, który Cię interesuje (czyli obszar pik, 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). Pamiętaj, że kształt pik jest ~gaussowski i ROI-e prawy i lewy powinny leżeć symetrycznie względem szczytu pik (centrum). Wciśnij przycisk Insert z klawiatury. Obszar ROI-a zrobi się czerwony.

Na dole ekranu jest panel, który zwykle ma tytuł Time Info. Przyciskiem Prev przejść do okna Marker Info. Obserwować wartość pola pik – Area. Pomiar kończymy, gdy błąd pola powierzchni jest **mniej niż 0.5% dla radionuklidów: Mn-54, Co-60 i Cs-137** (te, które są używane i do

kalibracji energetycznej i kalibracji wydajnościowej) oraz **mniejszy od 1% dla Am-241, Co-57, Ba-133.**

Aby obserwować, jak te piki narastają, tzn. czytać wartości ich pól w paneli Marker Info, „skaczemy” między ROI-ami używamy przycisków + i – pod napisem ROI index na panelu po lewej stronie okna pomiarowego.

Kontynuuj pomiar – START.

Do zatrzymania pomiaru służy komenda STOP.

Z okna Marker Info SPISAC dane:

- ✓ Położenie lewego znacznika Left Marker
 - ✓ Położenie prawego znacznika Right Marker
 - ✓ Położenie środka piku Centroid
 - ✓ Pole piku z błędem Area \pm błąd %
 - ✓ Czas, który upłynął od włączenia pomiaru - nad oknem pomiarowym wartość Preset lub z panelu Time Info (przejdźcie za pomocą komendy Next). **PAMIĘTAĆ**, że dla pomiarów od drugiego trzeba będzie czas pomiaru dla danego nuklidu policzyć przez odjęcie wskazania bieżącego i poprzedniego.
- e) Zostawiamy w oknie pomiarowym widmo Am. Wyjmujemy ten radioizotop i chowamy do opakowania. Wciskamy przycisk Expand off na panelu po lewej stronie.
- f) Wkładamy pod detektor kolejno wszystkie wskazane w Tabeli 5.2.1 źródła promieniotwórcze i dla wszystkich powtarzamy czynności c) – e).

4.3.2 Wykonanie kalibracji energetycznej (energia w funkcji kanału) i zależności FWHM od energii.

- a) Wchodzimy w zakładkę Calibrate - Energy_Full - By Nuclide List. Z biblioteki Library (STDLIB.NLB) wybieramy nuklidy, które chcemy wykorzystać do kalibracji – czyli wszystkie, które były użyte w części 5.3.1. Są podane wg wzrastającej liczby masowej. Potwierdzić klikając OK. Pokaże się okno Energy Calibr Full. W kolumnie Energy keV powinny być energie linii występujących w widmach, które były zmierzone i nadal są widoczne na ekranie. Sprawdź te wartości z danymi z Tabeli 5.2.1. Jeśli są poprawne, zaznacz ROI odpowiadający temu pikowi, którego energia jest w tym spisie pierwsza i jest podświetlona na niebiesko. Kliknij na słowo Markers. W podświetlonym wierszu

- wypełnione zostaną pozostałe wartości, które dotąd miały wartość 0. Podświetlenie przeskoczy na następny wiersz.
- zaznacz ROI odpowiadający temu pikowi, którego jest w spisie druga i podświetlona na niebiesko. Kliknij na słowo Markers. W podświetlonym wierszu wypełnione zostaną pozostałe wartości, które dotąd miały wartość 0.
 - Powtórz te czynności dla wszystkich rozważanych pików i energii.
 - SPISZ wszystkie wartości z tabeli. Będą potrzebne do wykonania wykresów $E=f(\text{kanał})$ i $\text{FWHM}=f(\text{energia})$ oraz do obliczeń w punkcie 5.4.
 - Po wypełnieniu się tabeli danymi kliknij na przycisk Show. Pojawi się wykres przedstawiający prostą opisującą kalibrację energetyczną (gdy zaznaczona jest w polu Curve opcja Energy). Gdy użyjesz opcji Shape w polu Curve, wyświetli się wykres przedstawiający krzywą opisującą zdolność rozdzielczą detektora w funkcji energii. SPISZ równania opisujące te dwie zależności.
 - Wciśnij OK - kalibracja zostaje zastosowana do otwartego widma. Zapisz widmo pod nazwą nazwa „widmo_kal_nazwisko_dzmr”.cnf (File – Save as). Razem z nim zostanie zapisana kalibracja. Zapisz kalibrację osobno w zbiorze kalibracji: Calibrate – Store pod nazwą „kal_nazwisko_dzmrok”.cal.

4.4 Wyznaczenie wydajności detekcji η detektora.

Pomiar

- Umieścić radioizotop pod detektorem - pierwszy z Tabeli 4.2.2 (Na-22)
- Włączyć pomiar – START.
- Obserwować, jak „rosną” piki (w sposób przedstawiony w punkcie Kalibracja energetyczna). Pomiar można zakończyć, gdy błąd wyznaczenia pola piku jest mniejszy od 0.5 % (oprócz Zn-65 – można skończyć pomiar wcześniej w zależności od ilości czasu zajęć). Spisać kanał, w którym leży centrum piku i pole piku z błędem oraz czas pomiaru.
- Wyczyścić okno pomiarowe – Clear na panelu po lewej.
- Pomiar powtórzyć dla Zn-65.
- Spisać kanał, w którym leży centrum piku i pole piku z błędem oraz czas pomiaru.
- Dane dla Co, Cs i Mn zostały wyznaczone w punkcie Kalibracja energetyczna.

5. Identyfikacja źródła promieniotwórczego i wyznaczenie jego aktywności.

Pomiar

- a) Zebrać widma radionuklidów z tabeli 4.2.3. Pomiar należy przeprowadzić z dokładnością wyznaczenia pola piku większą niż 99% (czyli błąd mniejszy niż 1%).
- b) Spisać kanał, w którym leży centrum piku i pole piku z błędem oraz czas pomiaru.

6. Opracowanie ćwiczenia.

6.1 Kalibracja energetyczna.

- 6.1.1 Podać charakterystykę źródeł użytych w tej części ćwiczenia. Wymagane informacje: nazwa i nr źródła, energia kwantu/kwantów.
- 6.1.2 Dane eksperymentalne przedstawić w tabeli. Wymagane informacje: Nazwa źródła, położenie lewego i prawego markera w kanałach, położenie centrum piku w kanałach, pole piku z błędem (czyli liczba zliczeń w piku), czas pomiaru, wartość szerokości połówkowej FWHM spisane z okien Marker Info i Energy Calibr Full.
- 6.1.3 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 $\pm S_b$.
- 6.1.4 Na podstawie spisanych danych zrobić wykres $\text{FWHM} = f(E_{\text{teor}})$ dla wszystkich badanych radioizotopów.

6.2 Wyznaczenie wydajności detektora.

- 6.2.1 Dane eksperymentalne przedstawić w tabeli. Wymagane informacje: nazwa i nr źródła, kanał centrum piku, wydajność emisji promieniowania ω , czas pomiaru, pole piku (czyli całkowita liczba zliczeń), liczba zliczeń na sekundę, czas połowicznego zaniku $T_{1/2}$ lub stała rozpadu λ , aktywność początkowa A_0 na dzień...., aktywność A_{pomiar} w dniu pomiaru.
- 6.2.2 Wyznaczyć energię kwantów E_{pomiar} w oparciu o prostą kalibracji energetycznej, wydajność detekcji η detektora na podstawie danych z tabeli opisanej powyżej, odpowiednich przeliczeń i ostatecznie przekształconego odpowiednio wzoru 2. Obliczyć błąd tej wartości (błąd A_0 i ω przyjąć równy 0). Wyniki pokazać w tabeli (pierwiastek, energia kwantu, η , $\Delta\eta$) oraz na wykresie $\eta = f(E_{\text{pomiar}})$ z zaznaczonym błędem względnym. Spróbuj znaleźć równanie opisujące tę krzywą.

Pracownia Jądrowa Ćwiczenie nr 8, Opracowanie dr U. Majewska, mgr inż. D. Sobota

6.3 Identyfikacja źródła promieniotwórczego i wyznaczenie jego aktywności.

- 6.3.1 Dane eksperymentalne przedstawić w tabeli. Wymagane informacje: nazwa i nr źródła, kanał centrum pików, A_w - aktywność wzorca w dniu pomiaru, gdzie aktywność początkowa A_0 z tabeli 4.2.3, N_w - pole pików izotopu wzorca, N_p - pole pików badanego izotopu, t_w - czas pomiaru wzorca, t_p - czas pomiaru próbki,
- 6.3.2 korzystając z kalibracji energetycznej, na podstawie znajomości kanałów, w których „leżą” pików, wyznaczyć energie fotonów emitowanych przez te „nieznane” radioizotopy. Pamiętać, że w punkcie 6.1.3 zostały wyznaczone 3 równania! Określić, jaki nuklid jest źródłem takich fotonów. Sprawdzić, czy wielkości są zgodne, tj. czy zachodzi: patrz punkt 6.3.4. Sprawdzić, o ile różnią się w % z danymi teoretycznymi:
$$\Delta E = \frac{E_{dosw} - E_{teor}}{E_{teor}}$$
- 6.3.3 mając wyznaczoną energię, korzystając z krzywej obrazującej zależność wydajności detekcji η detektora od energii, znaleźć dla Cs nr 19/10 i Co nr 82 wartość $\eta \pm$ błąd. (dla Ba nr 10 nie można tego zrobić, bo źródło ma inną budowę i nie jest zachowana ta sama geometria pomiaru przy pomiarach źródeł ba nr 9/10 i nr 10).
- 6.3.4 korzystając z danych zebranych w tabeli opisanej w punkcie 6.3.1 i wzoru 3, wyliczyć aktywność „nieznanych” źródeł promieniotwórczych. Obliczyć błąd z różniczki zwykłej lub logarymicznej tej aktywności (różniczkujemy po N_w , N_p , t_w , t_p). Sprawdzić, o ile różnią się w % te wartości od wartości wyliczonych z prawa rozpadu promieniotwórczego (wzór analogiczny jak w punkcie 6.3.1). Obliczyć teoretyczną aktywność z prawa połowicznego zaniku na dzień pomiaru i sprawdzić, czy wielkości są zgodne, tj. czy zachodzi:

$$A_{teor} \in < A_{dosw} - A_{teor}; A_{dosw} + A_{teor} >$$

6.4 Podsumowanie/ Wnioski.

PAMIĘTAĆ O CZĘŚCI TEORETYCZNEJ SPRAWOZDANIA I KARTCE – BRUDNOPISIE Z DANymi Z PODPISEM PROWADZĄCEGO.

Literatura:

1. Laboratorium Fizyki Jądrowej, Janusz Araminowicz, Krystyna Małuszyńska, Marian Przytuła.
2. Metody doświadczalne fizyki jądrowej, J.B. England.
3. Instrukcja do programu Genie 2000.
4. Ćwiczenia laboratoryjne z chemii jądrowej i radiometrii, St. Chibowski i In., Wyd. Uniwersytetu MC-S, Lublin 2010.