

## Ćwiczenie 3+ Spektrometr promieniowania gamma z detektorem półprzewodnikowym HPGe (wersja B 2013)

### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawami metody spektrometrii promieniowania gamma, w szczególności poprzez:

- przeprowadzanie kalibracji energetycznej spektrometru,
- pomiar aktywności radionuklidów gamma promieniotwórczych z wykorzystaniem wzorców.

### Przygotowanie teoretyczne:

1. Aktywność, rozpad promieniotwórczy, promieniowanie gamma (DzK 1995 rozdz. 1.1, 1.2, tab. 1.2).
2. Radionuklidy promieniotwórcze w środowisku (wykład).
3. Spektrometria promieniowania gamma (dodatek poniżej).
4. Detektory półprzewodnikowe (DzK 1995 rozdz. 5.5); nieobowiązkowe.

### Program ćwiczenia

1. Uruchomić, w obecności prowadzącego, spektrometr gamma i program akwizycji i analizy danych Genie-2000 firmy Canberra.
2. Zapoznać się z działaniem programu Genie-2000.
3. Przeprowadzić kalibrację energetyczną spektrometru dla energii  $E$  powyżej 60 keV. Wykorzystać punktowe źródła spektrometryczne Am-241, Ba-133, Cs-137, Co-60.

W tym celu należy:

4. Wykonać pomiar widm dla tych źródeł. Czas pomiaru 200 s. Zapisać widma zarówno w formacie analizatora (\*.cnf) jak i w formacie tekstowym (\*.tka). Korzystając z programu Genie-2000 określić, dla każdego źródła, kanały analizatora odpowiadające głównym liniom w widmie, czyli głównym energiom promieniowania gamma, emitowanego przez źródło (por. DzK 1995 tab. 1.2, str. 12).

Energie te wynoszą odpowiednio:

Am-241 – 59,5 keV,

Ba-133 – m.in. 81,0 keV i 356 keV,

Cs-137 – 662 keV,

Co-60 – 1173 keV i 1332 keV.

5. a. Przeprowadzić „kalibrację energetyczną spektrometru”, tzn.

wyznaczyć graficznie zależność energii promieniowania gamma  $E$  od numeru kanału spektrometru  $ch$ . Oś OX numer kanału  $ch$ , oś OY energia  $E$  [keV] (można skorzystać np. z programu Excell).

Dopasować do punktów prostą  $E = a * ch + b$  (por. rys. 14.2 w [DzK 1995]).

b. Dla tych samych danych przeprowadzić kalibrację energetyczną spektrometru, korzystając z programu Genie-2000. Odczytać z programu i zapisać formułę opisującą zależność  $E(ch)$ .

6. Wykonać pomiar widma nieznannej próbki. Czas pomiaru 300 s. Zapisać widmo w obu formatach. Korzystając z programu Genie-2000, określić kanały analizatora odpowiadające głównym liniom widma.

Korzystając z zależności wyznaczonej w punkcie 5, wyznaczyć energie promieniowania gamma emitowanego przez próbkę.

Zidentyfikować radionuklid obecny w próbce – skorzystać z tabeli 1. 2 w skrypcie Pracowni (DzK 1995 str. 12).

7. Wykonać pomiar widma wzorca IAEA-154 o znanej zawartości potasu K-40 i cezu Cs-137 (mleko w proszku z okresu po awarii w Czarnobylu). Zapisać widmo w obu formatach. Zaznaczyć interesujące piki (Cs-137 -662 keV i 1461 keV – K-40) i odczytać ich wielkość, czyli tzw. pole pod pikiem wraz z niepewnością (wielkość „Area” w dolnym polu okna spektrometru). *Zaznaczanie piku (ROI – Region of Interest): ustawić kursor w środku piku i wybrać kombinację klawiszy Ctrl + Insert. Zaznaczony obszar zmieni kolor na czerwony.* Aktywność właściwa wspomnianych radionuklidów we wzorcu IAEA-154 wynosi, na 31.08.1987r., odpowiednio: K-40 – 1575 Bq/kg; Cs-137 1355 Bq/kg.

8. Wykonać pomiar nieznannej próbki ziemi. Zapisać widmo w obu formatach. Zaznaczyć interesujące piki (Cs-137 -662 keV i 1461 keV – K-40) i odczytać pole pod pikiem wraz z niepewnością.

### Opracowanie wyników

1. Przeprowadzić kalibrację energetyczną spektrometru - przedstawić tabelkę z wynikami i wykres  $E(ch)$ . Porównać formuły  $E(ch)$  otrzymane poprzez dopasowanie prostej do punktów doświadczalnych (punkt 5a) oraz z wykorzystaniem programu Genie-200 (punkt 5b).

2. Porównać w tabeli, wyznaczone doświadczalnie i tabelaryczne wartości energii promieniowania gamma radionuklidu zidentyfikowanego w punkcie 6; wyznaczyć względną różnicę (w procentach) między tymi wartościami.

3. Narysować widma wzorca IAEA-154 i próbki ziemi. Zaznaczyć analizowane piki. Skorzystać z zapisanych w czasie ćwiczeń widm w formacie tekstowym (\*.tka) – zawierają one, linia po linii, zliczenia w poszczególnych kanałach analizatora wielokanałowego.

4. Wyznaczyć zawartość (aktywność właściwą) potasu K-40 i cezu Cs-137 w badanej próbce ziemi i jej niepewność  
Skorzystać ze wzoru.

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

gdzie

$A$  – aktywność próbki (indeks p), wzorca (indeks w), [Bq/kg],

$N$  – powierzchnia pod pikiem („area”) o energii  $E$  próbki (p), wzorca (w),

$t$  – czas pomiaru próbki (p), wzorca (w), [s],

$m$  – masa próbki (p), wzorca (w), [g],

$C_s$  – poprawka na samoabsorpcję promieniowania w próbce względem wzorca– przyjąć wartość 1,0.

Niepewność oszacować z prawa przenoszenia niepewności; przyjąć, że wartości  $u(t_p)$ ,  $u(t_w)$ ,  $u(m_p)$ ,  $u(m_w)$ ,  $u(C_s)$  są pomijalne, a  $u(A_w) = 3\%$ .

### Literatura:

**DzK 1995** Dziunikowski B., Kalita S.J., – Ćwiczenia laboratoryjne z jądrowych metod pomiarowych, Wydawnictwa AGH, Kraków 1995.

dostępne na <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty3/0364/dziunikowski-kalita.pdf>

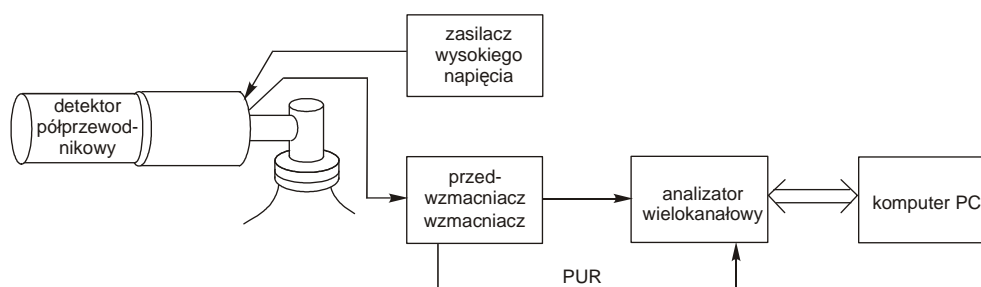
## Dodatek

### 1. Spektrometria promieniowania gamma [Jodłowski 2005]

#### 1.1 Układ spektrometryczny

Spektrometria promieniowania gamma jest metodą pomiaru, umożliwiającą wyznaczenie widma energetycznego promieniowania gamma, czyli rozkładu częstości występowania fotonów o danej energii. Znajomość tego rozkładu daje możliwość badania różnych substancji promieniotwórczych i zjawisk fizycznych.

Rys. 2.1 przedstawia schemat ideowy układu spektrometrycznego (spektrometru) promieniowania gamma. Składa się on z detektora oraz towarzyszącej mu elektroniki. Podstawowe moduły elektroniki występujące standardowo to: zasilacz wysokiego napięcia, przedwzmacniacz, wzmacniacz oraz analizator, zwykle wielokanałowy.

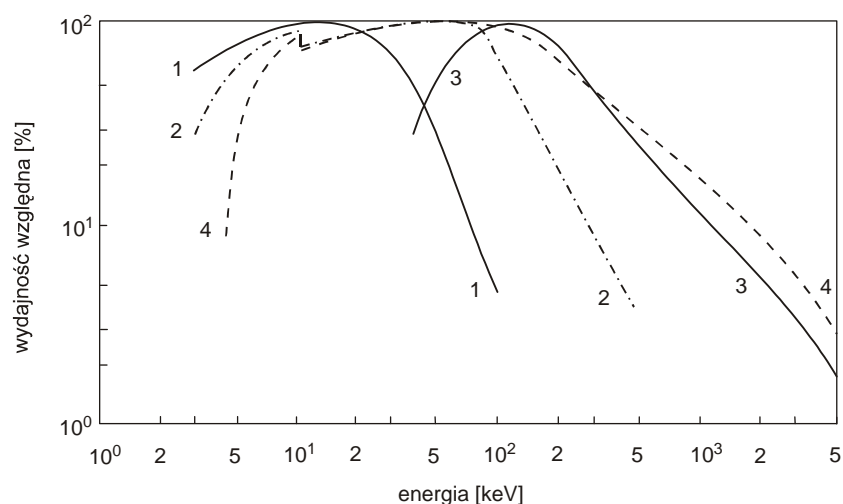


**Rys. 2.1.** Schemat ideowy spektrometru gamma z detektorem półprzewodnikowym (na podstawie materiałów EG&G Ortec)

Spektrometry promieniowania gamma są używane w różnych dziedzinach nauki i techniki. Przedstawiona poniżej charakterystyka odnosić się będzie przede wszystkim do układów przeznaczonych do pomiarów aktywności substancji promieniotwórczych.

W spektrometrach promieniowania gamma stosowane są najczęściej, z powodu bardzo dobrej zdolności rozdzielczej, detektory półprzewodnikowe. Kryształ półprzewodnika umieszczony jest w kriostacie zapewniającym próżnię i niezbędne dla prawidłowej pracy detektora chłodzenie, zwykle ciekłym azotem ( $LN_2$ ), znajdującym się w naczyniu Dewara.

Zakres energii promieniowania gamma, mierzonych przez detektory półprzewodnikowe zależy od typu detektora. Najniższe energie promieniowania fotonowego, mierzone ze znaczącą wydajnością, wynoszą kilkaset eV (specjalne konstrukcje do pomiaru niskich energii), zaś najwyższe to kilkanaście MeV (duże detektory cylindryczne). Zdolność rozdzielcza detektorów cylindrycznych, wyrażona jako szerokość połówkowa piku w keV (*FWHM*- *full width half maximum*), rośnie z rozmiarami detektora. Jej typowe wartości minimalne wynoszą: dla energii 5,9 keV - 0,15 keV, dla 122 keV - 0,5 keV, zaś dla 1332 keV - 1,8 keV. Rys. 2.2 przedstawia zależność wydajności od energii dla najbardziej rozpowszechnionych detektorów półprzewodnikowych (wydajność definiowana jest w tym przypadku, jako stosunek liczby fotonów gamma rejestrowanych przez detektor w tzw. fotopiku do liczby fotonów o tej energii emitowanych przez źródło).



**Rys. 2.2.** Typowe krzywe zależności wydajności od energii dla detektorów: (1) Si(Li), (2) HPGe planarny, (3) HPGe cylindryczny z grubą warstwą martwą na przedniej powierzchni kryształu, (4) HPGe cylindryczny z cienką warstwą martwą na przedniej powierzchni kryształu (Debertin i Helmer 1988)

Rodzaj i rozmiary stosowanego detektora, kształt kriostatu oraz materiał i grubość okienka dobiera się w zależności od charakteru planowanego eksperymentu. W szczególności bierze się pod uwagę geometrię eksperymentu oraz oczekiwane wartości: zakresu mierzonych energii, wydajności detektora dla mierzonych energii i jego zdolności rozdzielczej. Charakter planowanego eksperymentu determinuje również geometrię próbki. Na przykład przy pomiarze aktywności materiałów środowiskowych, stosuje się zwykle próbki cylindryczne, usytuowane bezpośrednio na detektorze lub próbki w tzw. geometrii Marinelli.

Czynnikiem mającym znaczący wpływ na dokładność pomiarów jest poziom tła promieniowania. Jego wielokrotną redukcję zapewnia stosowanie różnego rodzaju osłon, w tym osłon biernych (ścianki z ołowiu) lub czynnych (detektory pomocnicze i elektroniczna eliminacja tła).

Wynikiem pomiaru spektrometrycznego jest rozkład liczby impulsów w poszczególnych przedziałach ich amplitudy („kanałach”), czyli tzw. widmo promieniowania. Charakterystycznym elementem widma są tzw. piki, czyli maksima zliczeń, a zwłaszcza fotopiki, czyli maksima, odpowiadające całkowitej absorpcji promieniowania gamma w detektorze w efekcie fotoelektrycznym. Do analizy widma promieniowania służą programy komputerowe, które identyfikują piki, a następnie określają ich parametry (położenie, pole pod pikiem, szerokość połówkowa, wielkości opisujące jego kształt itp.). Parametry te można wyznaczyć bądź przez bezpośrednią analizę liczby zliczeń w poszczególnych kanałach bądź przez dopasowanie do piku funkcji analitycznej, zwykle funkcji Gaussa. Obecnie dostępne są pakiety programów zapewniających pełną obsługę eksperymentu spektrometrycznego. Dostępne są komercyjne wersje takich programów; najbardziej rozpowszechnione to Genie 2000 firmy Canberra i Gamma Vision firmy EG&G Ortec.

### 2.1.3. Kalibracja energetyczna spektrometru, wyznaczanie aktywności

Identyfikacja nuklidów obecnych w próbce wymaga przeprowadzenia kalibracji energetycznej spektrometru. Bazuje ona na pomiarze widma jednego lub kilku nuklidów o dobrze określonych energiach promieniowania gamma. Na podstawie analizy tych widm

otrzymuje się, dla każdego z wybranych pików, jego położenie, określone przez numer kanału analizatora  $x$ , oraz odpowiadającą mu energię promieniowania  $E$ . Do tych danych dopasowuje się ciągłą zależność  $E(x)$ . Mimo, że jest to w praktyce zależność liniowa - dla współczesnych spektrometrów odchylenia od liniowości nie przekraczają 0,1% - zwykle, dla osiągnięcia jeszcze większej dokładności kalibracji, opisuje się  $E(x)$  funkcją kwadratową.

W przypadku, gdy dysponujemy wzorcem zawierającym radionuklid, będący przedmiotem pomiaru (np. Cs-137), aktywność tego nuklidu w próbce wyznacza się porównując wielkość pików (pochodzących od badanego nuklidu) dla wzorca  $N_w$  i próbki  $N_p$ . Korzysta się ze wzoru:

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

gdzie:

$A$  – aktywność próbki (indeks p), wzorca (indeks w) [Bq/kg],

$N$  – powierzchnia pod pikiem („area”) o energii  $E$  próbki (p), wzorca (w),

$t$  – czas pomiaru próbki (p), wzorca (w) [s],

$m$  – masa próbki (p), wzorca (w) [g],

$C_s$  – poprawka na samoabsorpcję promieniowania w próbce względem wzorca.

### **Literatura:**

Jodłowski 2005 – Jodłowski Paweł, Spektrometria promieniowania gamma prób środowiskowych; nuklidy promieniotwórcze w środowisku przyrodniczym Gorców, Praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2005.