

Wyznaczenie energii promieniowania gamma metodą scyntylacyjną

Maksymilian Nguyen

CLF, Ćwiczenie 41, Maj 2023

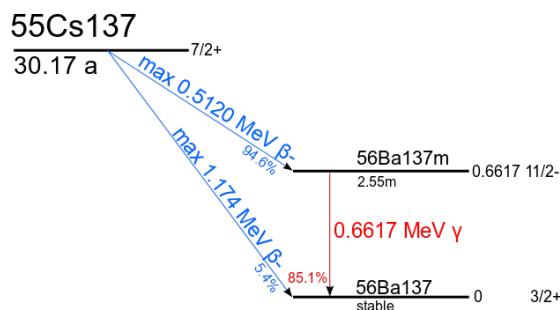
Streszczenie

W ćwiczeniu posługując się izotopem ^{137}Cs i ^{60}Co dla których energia promieniowania gamma jest znana nacechowano spektrometr scyntylacyjny, czyli dopasowano prostą kalibracji. Następnie wykorzystano spektrometr aby uzyskać widmo energetyczne dla pewnego nieznanego izotopu. Na podstawie prostej kalibracji i analizy tego widma stwierdzono że jest to izotop ^{22}Na i wyznaczono jego energię kwantów gamma.

1. Wstęp

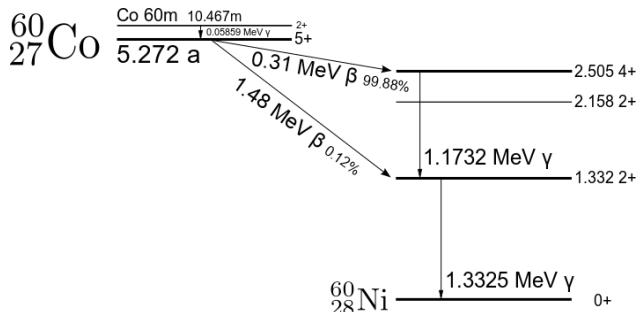
Celem ćwiczenia jest kalibracja spektrometru scyntylacyjnego za pomocą izotopów ^{137}Cs i ^{60}Co i uzyskanie prostej kalibracji. Następnie dzięki tej prostej zinterpretowane zostanie widmo energetyczne dla pewnego nieznanego izotopu promieniotwórczego co pozwoli na stwierdzenie jaki jest to izotop i wyznaczenie dla niego energii emitowanych kwantów gamma.

Pierwiastki promieniotwórcze ulegają zjawisku rozpadu promieniotwórczego. Dla izotopów ^{137}Cs i ^{60}Co będzie to rozpad β minus. Oprócz emisji cząstek charakterystycznych dla danego rodzaju rozpadu, ich cechą wspólną jest przemiana w nowe jądro które jest w stanie wbudzenia energetycznego. Energia ta jest emitowana z jądra w postaci kwantów γ o ścisłe określonych energiach. [1] Na Rysunku 1 przedstawiono schemat rozpadu dla Cezu-137.



Rysunek 1: Rozpad β minus dla ^{137}Cs . Izotop przemienia się w $^{137}_{56}\text{Ba}$ i te wzbudzone jądro Baru emituje kwant γ o energii równej 0.6617 MeV aby przejść w stan podstawowy. [2]

Na Rysunku 2 przedstawiono schemat rozpadu dla Kobaltu-60.

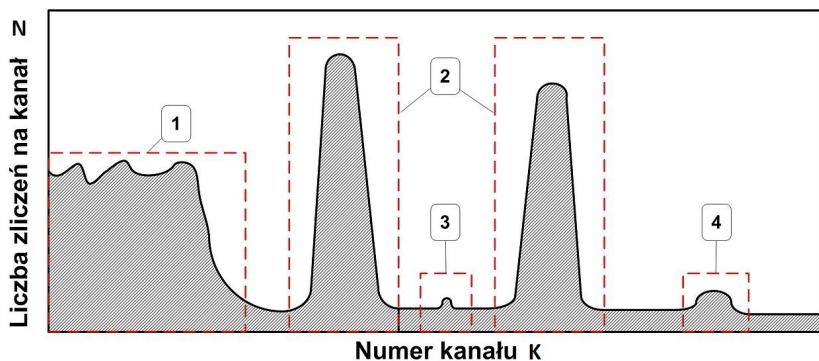


Rysunek 2: Rozpad β minus dla ^{60}Co . Izotop przemienia się w ^{60}Ni i te wzbudzone jądro Niklu emituje kaskadowo dwa kwanty γ o energiach równych 1.1732 MeV i 1.3325 MeV aby przejść w stan podstawowy. [3]

Podczas oddziaływania kwantów gamma z materiałem scyntylacyjnym mają miejsce zjawiska Comptona, fotoelektryczne i tworzenia par elektron-pozyton.

Pod wpływem promieniowania gamma w scyntylatorze ma miejsce przejście w stan wzbudzenia atomów, które powracając do stanu podstawowego wydzielają energię w postaci światła widzialnego [1], a te z kolei wybija elektrony z fotokatody które po przejściu przez tunel dynodowy dają sygnał na wyjściu licznika. Dzięki proporcjonalności tego sygnału do energii kwantów gamma emitowanych przez izotop, można uzyskać charakterystyczne widmo energetyczne dla badanego izotopu.

Na Rysunku 3 przedstawiono przykładowe widmo uzyskane za pomocą detektora scyntylacyjnego.



Rysunek 3: Przykładowe widmo energetyczne które można uzyskać za pomocą wielokanałowego detektora scyntylacyjnego. Każdy kanał odpowiada pewnej energii promieniowania gamma. 1 - część widma związanego ze zjawiskiem Comptona (widmo comptonowskie); 2 - pik pełnej absorbcji (zjawisko fotoelektryczne); 3 - pik anihilacji i kreacji par; 4 - pik sumacyjny. [4]

W ćwiczeniu skupiono się na pikach pełnej absorbcji dla izotopów ^{137}Cs i ^{60}Co , których energia kwantów gamma jest znana, aby skalibrować (przypisać) do numerów kanałów energię kwantów w celu późniejszego wyznaczenia energii kwantów dla nieznanego izotopu.

Wyznaczając przynajmniej 2 punkty gdzie piki absorbcji osiągają największą wartość zliczeń N , o współrzędnych (K, N) dla widm izotopów ^{137}Cs , ^{60}Co , można wyznaczyć metodą najmniejszych kwadratów prostą postaci (1):

$$E_\gamma = aK + b, \quad (1)$$

Gdzie E_γ to energia kwantów pełnej absorbcji, K to numer kanału gdzie występuje pik, a i b to parametry prostej kalibracyjnej. Uzyskanie tej prostej jest możliwe ponieważ E_γ dla ^{137}Cs i ^{60}Co są znane. Za pomocą tak uzyskanej prostej można wyznaczyć energię kwantów dla nieznanego pierwiastka znając numer kanału gdzie występował pik absorbcji.

2. Metoda przeprowadzania pomiarów i aparatura

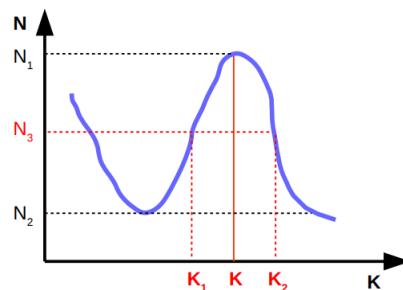
Po adczas pomiarów użyto następujących przedmiotów i przyrządów:

- Wielokanałowy spektrometr scyntylacyjny
- Domek pomiarowy
- Próbki izotopów ^{137}Cs i ^{60}Co
- Próbka 'nieznanego' izotopu
- Komputer z oprogramowaniem obsługującym spektrometr scyntylacyjny

Po umieszczeniu w domku pomiarowym izotopu ^{137}Cs uruchomiono pomiar w programie na czas 600 sekund. Program zaprezentował zebrane widmo. Graficznie wyznaczono i zanotowano numer kanału K dla piku absorbcji.

To samo zrobiono dla izotopu ^{60}Co , tym razem notując numery kanałów dla zaobserwowanych dwóch pików absorbcji.

Ostatecznie dla nieznanego izotopu pomiar uruchomiono na czas 800 sekund. Zaobserwowało dwa piki - anihilacji i absorbcji. Na Rysunku 4 przedstawiono przykładowy pik dla przejrzystego wyjaśnienia co zostało wyznaczone. Oszacowując graficznie, dla pików anihilacji oraz absorbcji: zanotowano K , znaleziono N_1 i N_2 , obliczono $N_3 = (N_1 - N_2)/2 + N_2$, zaznaczono linię na wysokości N_3 , wyznaczono linie K_1 i K_2 , obliczono szerokość połówkową FWHM = $K_2 - K_1$.



Rysunek 4: Przykładowy pik wraz z oznaczeniami pomocniczymi. [1]

3. Wyniki pomiarów

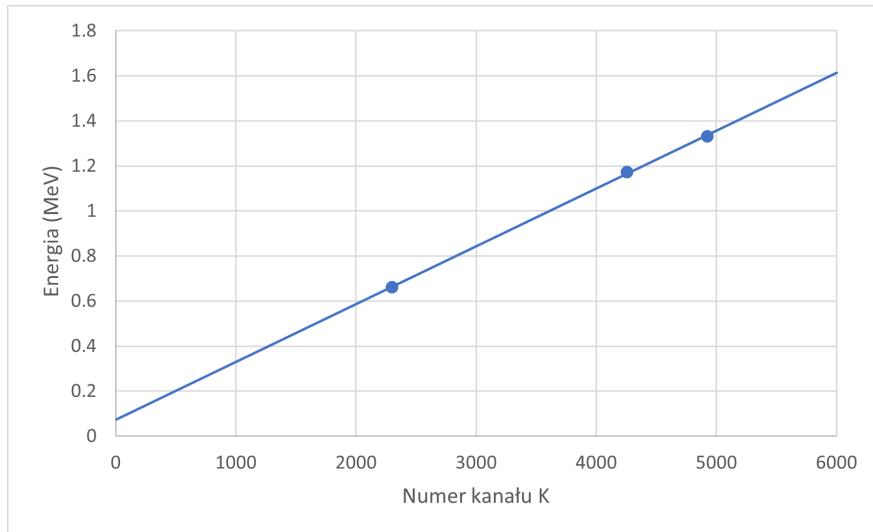
W Tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów wraz ze znymi energiami E_γ kwantów dla izotopów ^{137}Cs i ^{60}Co . Zapisano także niepewność K dla nieznanego izotopu.

	E_γ	K
Cez-137	0.6617	2300.43
Kobalt-60 pik 1	1.1732	4254.72
Kobalt-60 pik 2	1.3325	4924.53

	K	FWHM	u_K	N_1	N_2	N_3	K_1	K_2
Izotop pik 1	1711.84	123.5	61.75	2652.41	2342.25	2497.33	1642.37	1765.87
Izotop pik 2	4691	209	105	377	233	305	4582	4791

Tabela 1: Wyniki pomiarów z niepewnością K dla nieznanego izotopu i znane energie kwantów dla izotopów Kobaltu oraz Cezu.

Na Rysunku 5 przedstawiono zależność E_γ od K dla Cezu i Kobaltu na podstawie danych z Tabeli 1.



Rysunek 5: Wykres zależności E_γ od K dla Cezu i Kobaltu na podstawie danych z Tabeli 1. Parametry i ich niepewności dla prostej postaci $E_\gamma = aK + b$ na wykresie zostały uzyskane za pomocą funkcji LINEST w programie Microsoft Excel. Wynoszą one $a = 0.0002570$ (0.0000049); $b = 0.072$ (0.019).

3.1. Opracowanie wyników

Na podstawie parametrów prostej z Rysunku 5 i ich niepewności, wraz z wartością K i jej niepewnością dla nieznanego izotopu, można wyznaczyć energię kwantów E_γ absorpcji i anihilacji z (1). Wynoszą one odpowiednio:

- E_γ (absorbcji) = 1.278 (0.040) MeV
- E_γ (anihiliacji) = 0.512 (0.026) MeV

Z tych energii wynika, że jest to izotop ^{22}Na . Wartości tablicowe dla tych energii to dla anihilacji $E_\gamma = 0.511$ MeV i dla absorbcji $E_\gamma = 1.27453$ [5].

Jeśli spełniona jest nierówność, zwana testem "δ" (2):

$$\frac{|E_{\gamma dosw} - E_{\gamma tab}|}{u_{E_{\gamma dosw}}} < 1, \quad (2)$$

gdzie $E_{\gamma dosw}$ to otrzymana w ćwiczeniu wartość energii kwantów, $E_{\gamma tab}$ to wartość tablicowa, $u_{E_{\gamma dosw}}$ to niepewność wyznaczonej energii w ćwiczeniu, to uzyskane doświadczalnie wartości są zgodne z tablicowymi w granicach 1 standardowego odchylenia.

Po podstawieniu wyznaczonych wartości lewa strona nierówności (2) wynosi w przybliżeniu 0.087 i 0.038 odpowiednio dla energii absorbcji i anihilacji, więc jest ona spełniona. Oznacza to że wyniki są zgodne z tablicowymi.

3.2. Analiza niepewności

Niepewność wartości K dla nieznanego izotopu obliczono ze wzoru (3):

$$u_K = \frac{\text{FWHM}}{2}, \quad (3)$$

Czyli przyjęto ją jako połowę szerokości połówkowej.

Niepewność wartości energii absorbcji i anihilacji u_{E_γ} wyznaczono na podstawie prawa propagacji niepewności (4):

$$u_{E_\gamma} = \sqrt{(K u_a)^2 + u_b^2 + (a u_K)^2}, \quad (4)$$

Gdzie K to numer kanału dla pików absorbcji lub anihilacji, u_a i u_b to niepewności parametrów prostej z Rysunku 5, a to parametr kierunkowy tej prostej, u_K to niepewność wartości K .

Nie przyjęto żadnej niepewności dla wyznaczanych wartości K dla izotopów Kobaltu oraz Cezu gdyż stwierdzono że nie wpłynie to znacząco na wynik końcowy. Zgodnie z otrzymanymi wynikami, przyjęta niepewność K tylko dla 'nieznanego' izotopu wystarczyła aby wyniki otrzymano zgodne z tablicowymi w granicy 1 standardowego odchylenia.

4. Podsumowanie i wnioski

W ćwiczeniu wyznaczono prostą kalibracji dla spektrometru scyntylacyjnego używając uzyskanych widm energetycznych izotopów ^{137}Cs i ^{60}Co o znanych energiach kwantów gamma i funkcji LINEST w programie Microsoft Excel. Następnie wyznaczono numery kanałów dla pików w widmie pewnego nieznanego izotopu i podstawiając do równania prostej kalibracji uzyskano energie: E_γ (absorbcji) = 1.278 (0.040) MeV i E_γ (anihiliacji) = 0.512 (0.026) MeV. Jest to więc izotop ^{22}Na . Wyniki są

zgodne z wartościami tablicowymi w granicy 1 standardowego odchylenia.

Aby zmniejszyć niepewność należy użyć innego detektora scyntylacyjnego lub innego oprogramowania. Piki na uzyskanych widmach energetycznych były bardzo szerokie lub mało rozróżnialne co spowodowało że niepewność numeru kanału K była relatywnie duża.

5. Bibliografia

- [1] Katarzyna Grebieszek “Ćwiczenie 41 Wyznaczanie energii promieniowania gamma metodą scyntylacyjną” https://pti.fizyka.pw.edu.pl/prezentacja_41.pdf [Dostęp 05.09.2023]
- [2] Wikipedia, Artykuł “Caesium-137” <https://en.wikipedia.org/wiki/Caesium-137> [Dostęp 05.10.2023]
- [3] Wikipedia, Artykuł “Cobalt-60” <https://en.wikipedia.org/wiki/Cobalt-60> [Dostęp 05.10.2023]
- [4] Wikipedia, https://pl.wikipedia.org/wiki/Licznik_scyntylacyjny#/media/Plik:Licznik_scyntylacyjny-widmo.jpg [Dostęp 05.10.2023]
- [5] Live Chart of Nuclides, <https://nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html> [Dostęp 05.12.2023]