

J8 - Badanie schematu rozpadu jodu ^{128}I

Celem doświadczenia jest wytworzenie izotopu ^{128}I poprzez aktywację w źródle neutronów próbki zawierającej ^{127}I , a następnie badanie schematu rozpadu tego nuklidu przez pomiar promieniowania γ przy użyciu detektora scyntylacyjnego. Należy zidentyfikować linie γ emitowane w rozpadzie ^{128}I oraz wyznaczyć czas połowicznego zaniku tego nuklidu. Wyznaczone wartości należy porównać z danymi tablicowymi.

Materiał, który należy opanować do kolokwium wstępnego

1. Oddziaływanie kwantów γ z materią:

- efekt fotoelektryczny,
- efekt Comptona,
- tworzenie par, anihilacja pozytonów,
- zależność przekrojów czynnych na oddziaływanie kwantów γ z materią od energii kwantów gamma i liczby atomowej ośrodka.

2. Przemiany β :

- rodzaje przemian β i warunki energetyczne ich zachodzenia,
- prawo rozpadu promieniotwórczego, okres połowicznego zaniku, $T_{1/2}$,
- schemat rozpadu przykładowych źródeł kalibracyjnych (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na , ^{133}Ba),
- schemat rozpadu izotopu jodu ^{128}I .

3. Detekcja promieniowania γ :

- budowa i działanie detektora scyntylacyjnego,
- kalibracja energetyczna spektrometru źródłami promieniowania γ ,
- widmo monoenergetycznej linii γ w spektrometrze scyntylacyjnym,
- podstawowe układy elektroniczne współpracujące ze spektrometrem: oscyloskop, zasilacz wysokiego napięcia, wzmacniacz, wielokanałowy analizator amplitudy.

4. Źródła neutronów termicznych, spowalnianie neutronów.

5. Metoda aktywacji. Jak aktywność próbki zależy od czasu przebywania w stałym strumieniu neutronów? Jaki jest optymalny czas naświetlania?

Przebieg pomiarów

- Zapoznanie się z układem pomiarowym i zrozumienie jego działania (warto zrobić rysunek!).
- Optymalizacja warunków pracy układu (napięcie detektora, zdolność rozdzielcza, itd.). **Uwaga!** Przed podaniem napięcia sprawdź instrukcje stanowiska i skonsultuj się z prowadzącym!
- Kalibracja energetyczna układu pomiarowego przy wykorzystaniu standardowych źródeł promieniowania gamma.
- Pomiar próbki NaI zawierającej ^{127}I przed naświetlaniem neutronami (pomiar tła).
- Aktywacja próbki w strumieniu neutronów termicznych.
- Pomiary widma gamma naświetlonej próbki. W celu wyznaczenia czasu połowicznego zaniku należy wykonać kilka pomiarów widma γ . Trzeba przy tym notować czas rozpoczęcia każdego pomiaru i długość jego trwania.

Uwaga: należy zapisywać na dysku komputera wszystkie mierzone widma!

Opis

Opis powinien zawierać następujące elementy:

- Streszczenie.
- Krótki wstęp prezentujący ideę oraz cel pomiarów.
- Schemat układu doświadczalnego.
- Opis warunków pomiarowych (ew. ich optymalizacji).
- Opis samych pomiarów oraz ich wyniki (w postaci tabel i wykresów).
- Analiza danych.
- Wyniki i ich dyskusja. Należy zidentyfikować zmierzone linie γ i skonfrontować je ze znanym schematem rozpadu ^{128}I . Trzeba też wyznaczyć czas połowicznego zaniku obserwowanego promieniowania i porównać go z wartością tablicową dla ^{128}I .
- Krótkie podsumowanie.

Należy unikać opisu zasad działania aparatury - znajomość ta będzie sprawdzana w trakcie kolokwium. Prosimy nie przepisywać informacji z instrukcji. Zbędne jest wyprowadzanie jakichkolwiek wzorów (z wyjątkiem ew. własnych).

LITERATURA

1. A. Strzałkowski - „Wstęp do fizyki jądra atomowego”
2. T. Mayer-Kuckuk - „Fizyka jądrowa”
3. K.N. Muchin - „Doświadczalna fizyka jądrowa” cz. I „Fizyka jądra atomowego”
4. W.R. Leo, "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments".
5. G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement".
6. Chart of Nuclides, <http://www.nndc.bnl.gov/chart/>

Informacje dodatkowe

Detekcja promieniowanie gamma

Warunkiem zarejestrowania promieniowanie gamma jest jego oddziaływanie z materiałem detektora. Promieniowanie gamma może oddziaływać zarówno z elektronami jak i z jądrami i polami elektrycznymi elektronów i jąder atomowych. Oddziaływania te mogą prowadzić do całkowitej absorpcji lub też elastycznego bądź nieelastycznego rozpraszania kwantów promieniowania gamma. W praktyce znaczenie mają trzy zjawiska:

Zjawisko fotoelektryczne – w procesie tym kwant gamma oddziałuje z elektronem związanym w atomie ośrodka i przekazuje mu całą swoją energię. Kwant gamma zostaje całkowicie zaabsorbowany natomiast elektron uzyskuje energię równą:

$$E_e = E_\gamma - E_B \quad (1)$$

gdzie

E_B – energia wiązania elektronu na orbicie atomowej, z której został wybity,
zwykle $E_B \ll E_\gamma$.

Efekt Comptona – w procesie tym kwant gamma ulega nieelastycznemu rozproszeniu na swobodnym (słabo związanym elektronie) i przekazuje mu część swojej energii. Energia kinetyczna przyspieszonego elektronu określona jest wzorem wynikającym z zasady zachowania energii i pędu:

$$E'_e = E_\gamma \frac{\alpha(1 - \cos \theta)}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \quad (2)$$

gdzie

θ - kąt pod jakim nastąpiło rozproszenie kwantu gamma,

$$\alpha = E_\gamma / m_e c^2.$$

Jak wynika ze wzoru (2), energia elektronu zależy od kąta pod jakim nastąpiło rozproszenie kwantu gamma i przyjmuje wartości od 0 - dla kątów rozproszenia równych zero do wartości maksymalnej - dla kwantów gamma rozproszonych do tyłu ($\theta = 180^\circ$).

Zjawisko kreacji par – w procesie tym kwant gamma zamienia się na parę e^+e^- (elektron-pozyton). Proces ten może zachodzić jedynie dla kwantów gamma o energii większej niż $2m_e c^2 = 1022 \text{ keV}$. Łączna energia kinetyczna wytworzonej pary e^+e^- wynosi:

$$E_{e^+} + E_{e^-} = E_\gamma - 2m_e c^2 \quad (3)$$

Konwersja kwantu gamma na parę e^+e^- może zachodzić jedynie w polu jądra atomowego (rzadziej elektronu), gdyż tylko wtedy możliwe jest spełnienie zasady zachowania energii i pędu.

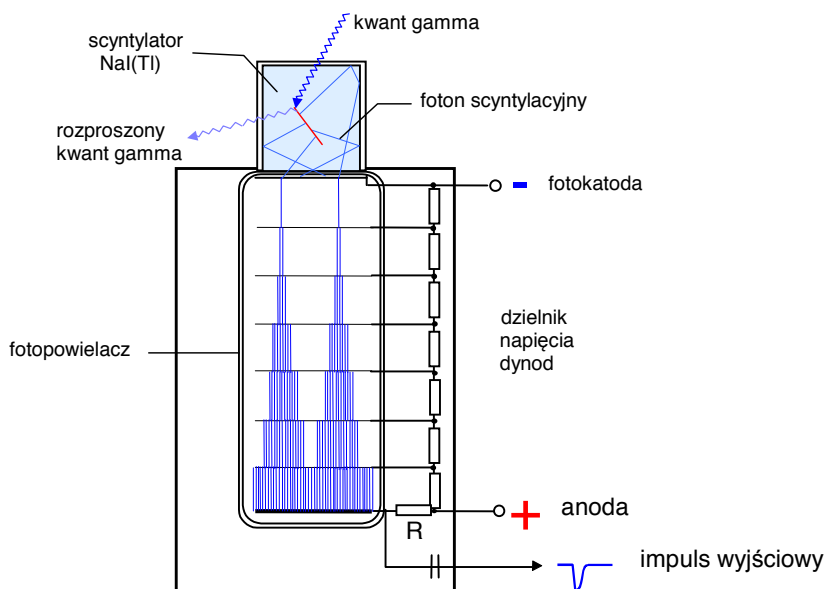
Prawdopodobieństwo zajścia każdego z wymienionych procesów silnie zależy od energii kwantu gamma oraz liczby atomowej materiału ośrodka.

Detektor scyntylacyjny

Rysunek 2 przedstawia schemat budowy detektora, w którym jako scyntylator zastosowano kryształ NaI(Tl) (jodek sodu aktywowany talem). Kryształ NaI(Tl) jest połączony optycznie z oknem wejściowym tzw. fotopowielacza.

Promieniowanie gamma oddziałuje z kryształem NaI(Tl) poprzez proces fotoelektryczny, rozproszenie komptonowskie lub konwersję na parę elektron-pozyton. Elektrony przyspieszone w wyniku zajścia któregoś z tych procesów poruszają się w kryształach i tracą swoją energię powodując jonizację i wzbudzenia atomów ośrodka. Procesom deekscytacji tych wzbudzeń towarzyszy emisja kwantów światła. W scyntylatorach używanych do celów spektrometrycznych (tzn. do pomiaru energii promieniowania) całkowita liczba wyemitowanych fotonów jest proporcjonalna do energii początkowej elektronu. Strumień fotonów scyntylacyjnych jest rejestrowany przez fotopowielacz.

Fotopowielacz jest to lampa elektronowa, której katoda wykonana jest z materiału światłoczułego. Między katodą i anodą fotopowielacza znajduje się układ kilku odpowiednio ukształtowanych elektrod zwanych dynodami. Między kolejnymi elektrodami przy pomocy odpowiednio skonstruowanego dzielnika napięcia wytwarzane jest pole elektryczne. Fotony docierające do fotokatody wybijają elektrony (efekt fotoelektryczny), które są przyspieszane w kierunku pierwszej dynody. Elektron uderzający w dynodę powoduje wybite 3-4 elektronów wtórnych, które są przyspieszane w kierunku kolejnej dynody itd. Proces ten prowadzi do szybkiego powielenia początkowej liczby elektronów i dzięki temu w fotopowielaczach osiąga się wzmocnienia rzędu 10^5 - 10^8 . Amplituda sygnału wyjściowego fotopowielacza jest proporcjonalna do energii zaabsorbowanej przez kryształ scyntylatora. Zwróćmy uwagę, że energia ta jest absorbowana za pośrednictwem elektronów przyspieszanych w wyniku oddziaływania kwantów gamma z materiałem scyntylatora.

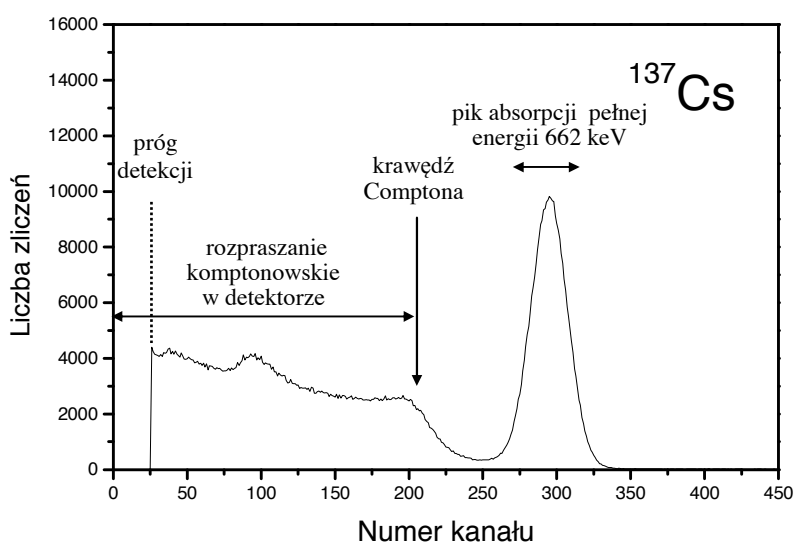


Rys.2 Schemat budowy detektora scyntylacyjnego.

Rysunek 3 przedstawia widmo (rozkład) amplitud sygnałów z detektora scyntylacyjnego zarejestrowane podczas pomiaru źródła ^{137}Cs emitującego kwanty gamma o energii 662 keV.

Pik, którego środek leży w kanale ~ 300 odpowiada pełnej absorpcji promieniowania gamma o energii 662 keV w kryształcie NaI(Tl). Jest to możliwe np. wskutek zajścia zjawiska fotoelektrycznego w materiale scyntylatora.

Przedział amplitud rozciągający się od kanału 0 do tzw. krawędzi Comptona odpowiada zdarzeniom, w których jedynie część energii kwantu gamma została zaabsorbowana w kryształcie scyntylatora. Główny wkład do tej części widma daje efekt Comptona, w którym kwant gamma przekazuje część swojej energii jednemu z elektronów materiału scyntylatora natomiast kwant rozproszony ucieka z kryształu. Energia jaką uzyskuje elektron zależy od wartości kąta pod jakim nastąpiło rozproszenie. Krawędź Comptona odpowiada przypadkom, w których w procesie rozpraszania kwant gamma przekazał elektronowi w kryształcie scyntylatora maksymalną energię (rozproszenie pod kątem $\theta = 180^\circ$, zobacz wzór (2)).



Rys. 3 Widmo amplitud sygnałów z detektora NaI(Tl) zarejestrowane podczas pomiaru promieniowania gamma emitowanego ze źródła ^{137}Cs .

Podstawowe wielkości określające własności układu spektrometrycznego

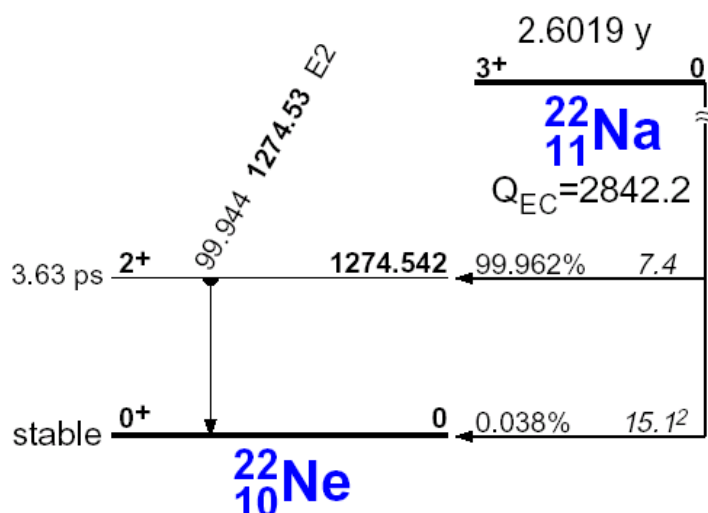
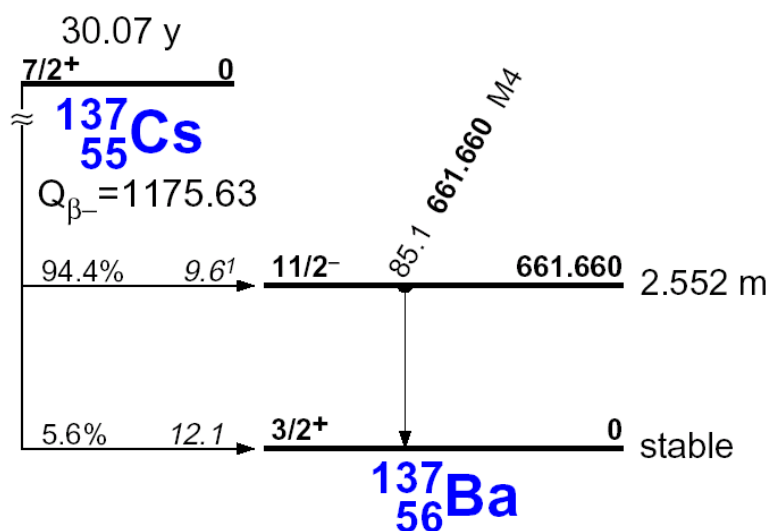
- 1) Energetyczna zdolność rozdzielcza określająca zdolność układu detekcyjnego do obserwacji przejść gamma o bardzo bliskich energiach. W przypadku detektorów z kryształem NaI(Tl) energetyczną zdolność rozdzielczą przyjęto określać mierząc, w połowie wysokości, całkowitą szerokość pików odpowiadających rejestracji promieniowania gamma o energii 662 keV, emitowanego ze źródła ^{137}Cs . Dla spektrometrów NaI(Tl) energetyczna zdolność rozdzielcza, określona jako stosunek szerokości połówkowej pików do jego położenia, wynosi 6-8 %.
- 2) Wydajność rejestracji promieniowania gamma. Z praktycznego punktu widzenia interesująca jest wydajność rejestracji pełnej energii emitowanych kwantów gamma. Wielkość tę definiuje się jako stosunek liczby zliczeń zarejestrowanych w pikcie odpowiadającym rejestracji pełnej energii kwantu gamma do całkowitej liczby kwantów gamma wyemitowanych ze źródła w czasie trwania pomiaru. Wydajność

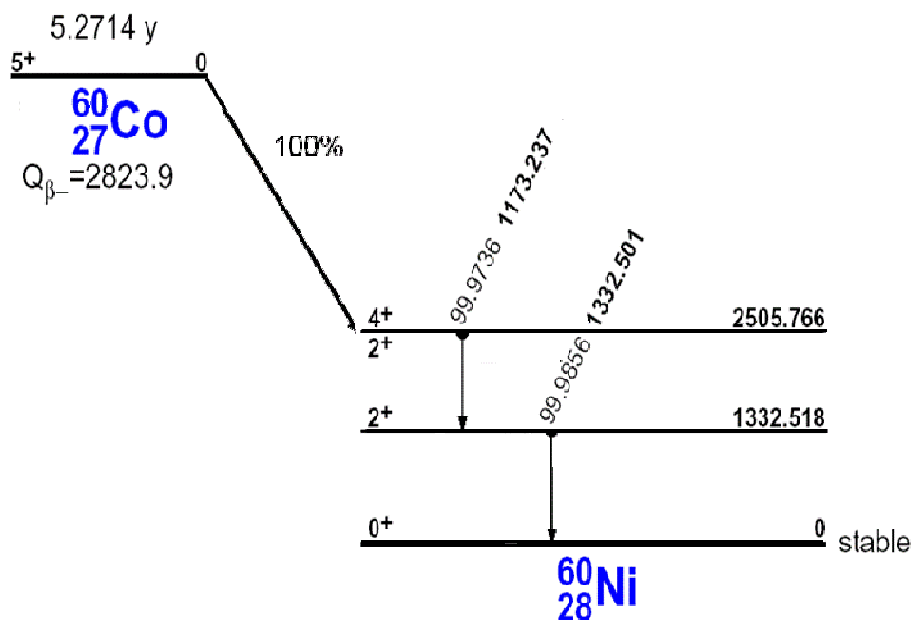
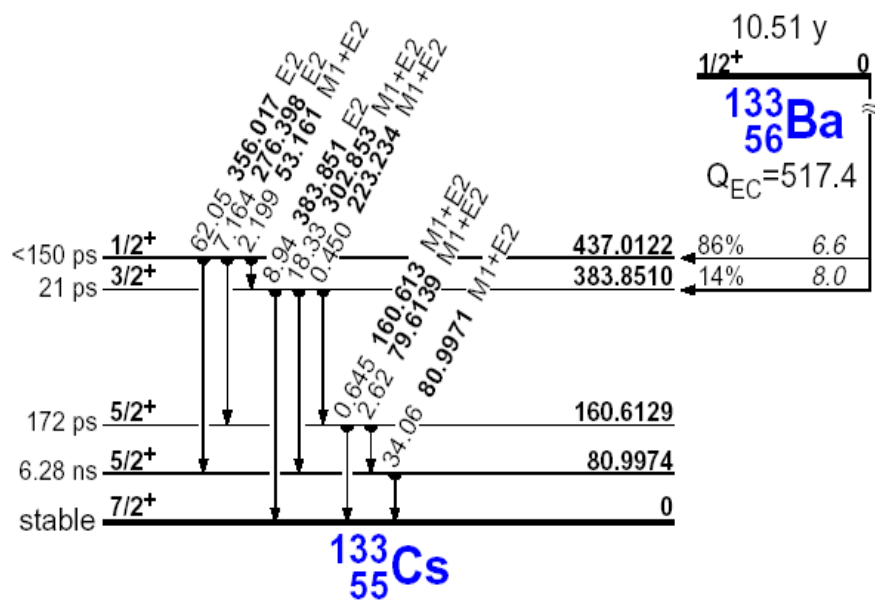
spektrometru silnie zależy od energii rejestrowanych kwantów oraz od geometrii pomiaru (kształtu i położenia źródła względem kryształu detektora).

- 3) Kalibracja energetyczna określa związek pomiędzy energią kwantów gamma a amplitudą rejestrowanych sygnałów. W przypadku kalibracji liniowej zależność tę opisuje się jako $E_\gamma = a + bk$, gdzie k – numer kanału, a, b – współczynniki kalibracyjne.

Kalibrację energetyczną oraz kalibrację wydajnościową spektrometru wykonuje się wykorzystując źródła kalibracyjne o bardzo dobrze znanych energiach kwantów gamma i aktywnościach.

Schematy rozpadu źródeł kalibracyjnych





Energie wzbudzenia poziomów i energie przejść gamma podano w keV.