

## Badanie strumienia neutronów

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie strumienia neutronów w funkcji odległości od źródła

### Przygotowanie:

- 1) Oddziaływanie kwantów gamma z materią (efekt fotoelektryczny, efekt Comptona, kreacja par) [1] 1.11, 1.113, 1.114, 1.143, [2]
- 2) Schematy rozpadów źródeł kalibracyjnych [2]
- 3) Oddziaływanie neutronów z materią i ich detekcja [1] 1.134
- 4) Detekcja promieniowania jądrowego za pomocą spektrometru scyntylicyjnego (działanie scyntyлятора i fotopowielacza) [1] 1.133
- 5) Źródła neutronów termicznych, spowalnianie neutronów [1] 1.231, 1.232
- 6) Statystyka pomiarów przy rejestracji promieniowania jądrowego. Teoria błędów przy rejestracji promieniowania jądrowego [1] 1.171, 1.172
- 7) Biologiczne skutki promieniowania jądrowego i dozymetria [1] 1.15

### Wykonanie zadania:

- 1) Zapoznanie się z układem pomiarowym
- 2) Optymalizacja warunków pracy układu (napięcie); zdolność rozdzielcza
- 3) Kalibracja energetyczna układu przy wykorzystaniu standartowych źródeł promieniowania  $\gamma$
- 4) Pomiar widma neutronów
- 5) Analiza otrzymanych rezultatów

### Literatura:

- [1] A. Strzałkowski „Wstęp do fizyki jądra atomowego”, wyd. III  
[2] Załącznik do Instrukcji  
[3] Chart of Nuclides [www.nndc.bnl.gov/chart](http://www.nndc.bnl.gov/chart)

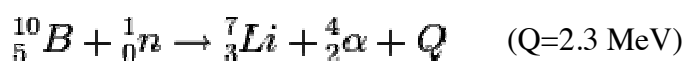
## Wprowadzenie:

Neutrony nie posiadają ładunku elektrycznego dlatego mierzymy je pośrednio wykorzystując m.in.

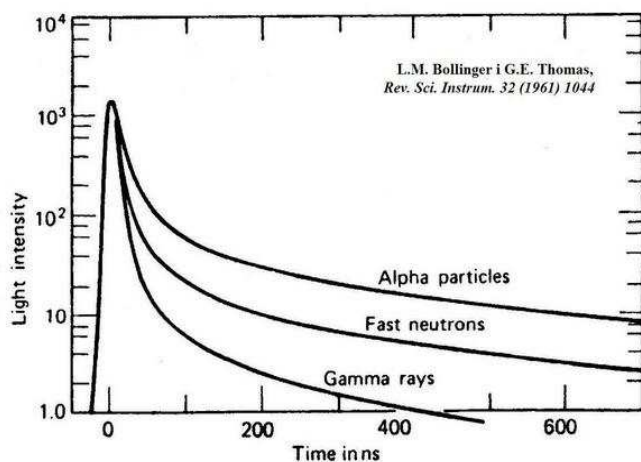
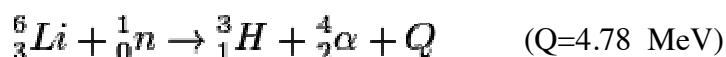
- reakcję jądrowe wywołane przez neutrony z emisją cząstek, które są wydzielane przez reakcje (n,p), (n,α).
- neutrony wywołują wzbudzenie atomów, które później emitują kwanty energii zwanych fotonami.

Wybór detekcji neutronów zależy od ich energii.

Neutrony możemy wykryć poprzez reakcję jądrową, w której wydzielają się promieniowanie α np:



lub



Uwaga! Wykonując kalibrację energetyczną dla promieniowania gamma musimy pamiętać, że jest inna intensywność światła w zależności jakie cząstki mierzymy co przedstawia powyższy rysunek (kalibracja dla kwantów  $\gamma$  jest inna niż dla  $\alpha$ )

## 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

$\theta$  - 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<sup>+</sup>e<sup>-</sup> (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<sup>+</sup>e<sup>-</sup> 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.

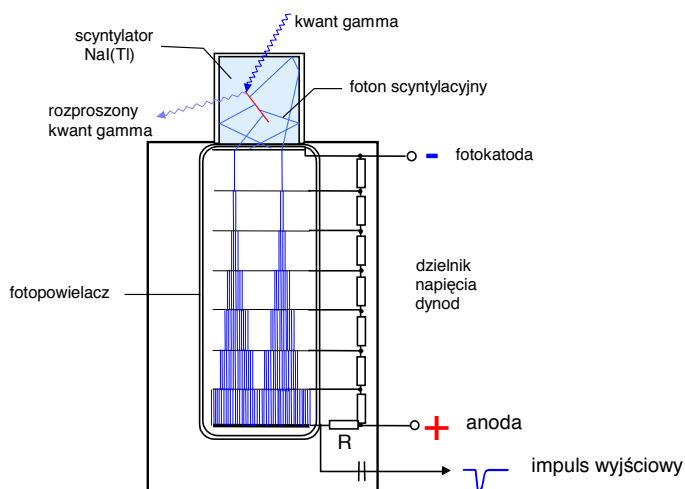
Prawdopodobieństwo zajścia każdego z wymienionych procesów silnie zależy od energii kwantu gamma oraz liczby atomowej materiału ośrodka.

## Detektor scyntylacyjny

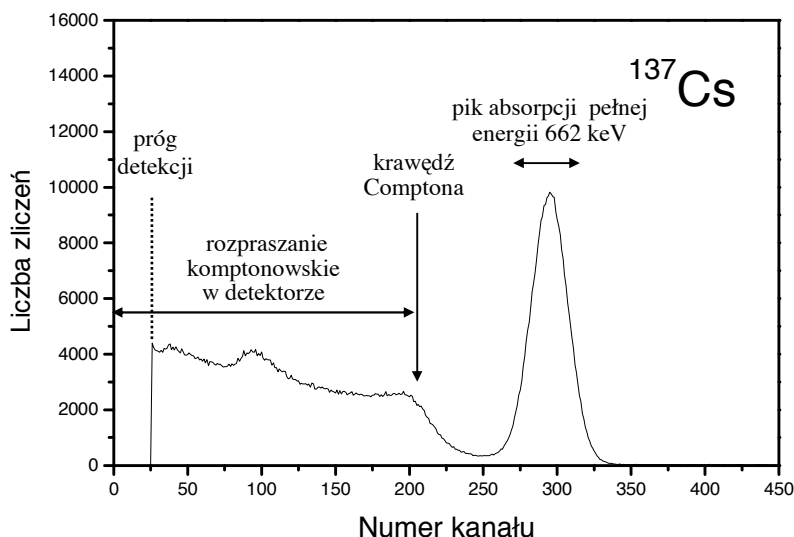
Rysunek 2 przedstawia schemat budowy detektora, w którym jako scyntylator zastosowano kryształ NaI(Tl) (jodek sodu aktywowany talem). Kryształ NaI(Tl) jest połączony optycznie z oknem wejściowym tzw. fotopowielaczem.

Promieniowanie gamma oddziałuje z kryształem NaI(Tl) poprzez proces fotoelektryczny, rozproszenie komptonowskie lub konwersją 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 wybitcie 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  $^{137}\text{Cs}$  emitującego kwanty gamma o energii 662 keV. Pik, którego środek leży w kanale  $\sim 300$  odpowiada pełnej absorpcji promieniowania gamma o energii 662 keV w kryształach 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 kryształach 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 kryształach scyntylatora maksymalną energię (rozproszenie pod kątem  $\theta=180^\circ$ , zobacz wzór (2)).

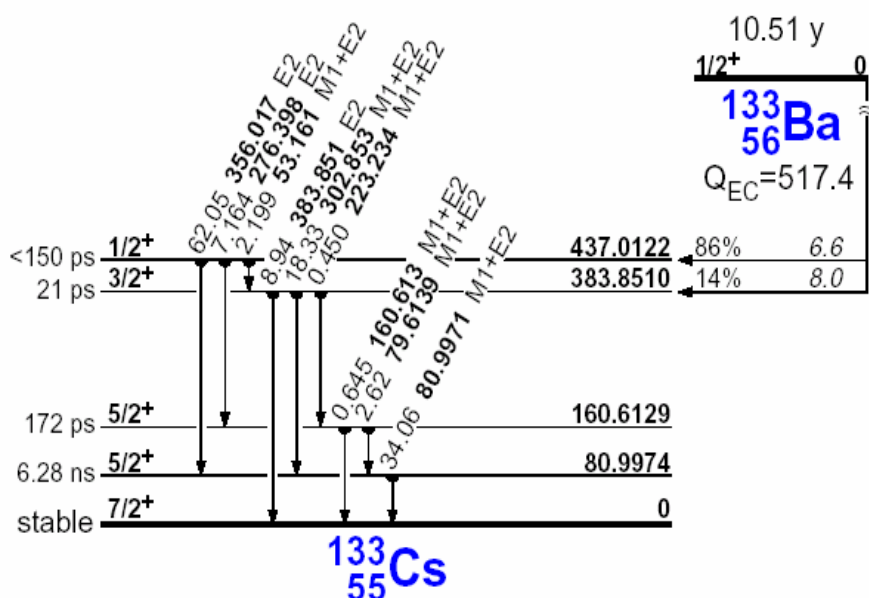
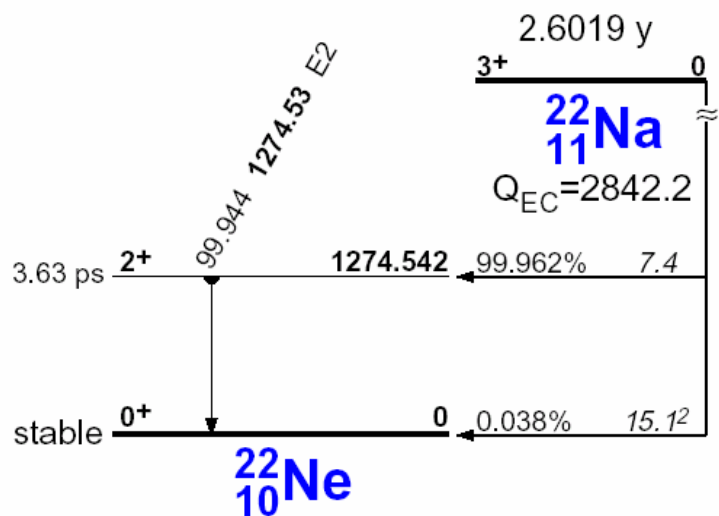
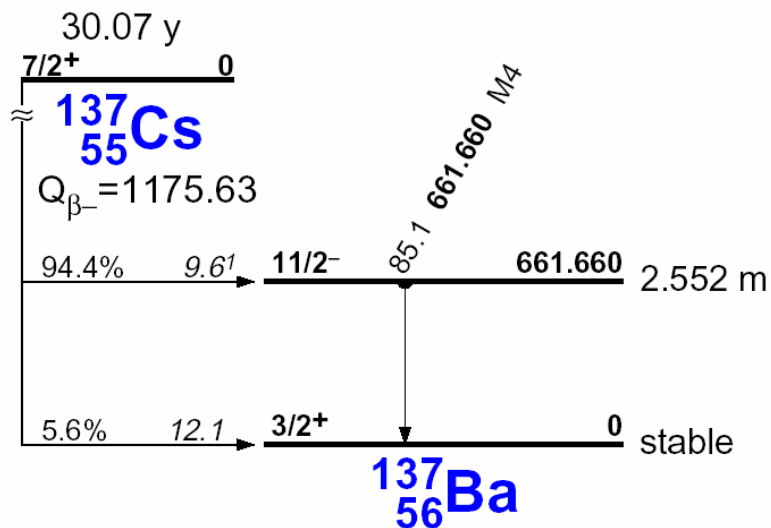
Podstawowe wielkości określające własności układu spektrometrycznego

- 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 piku odpowiadającego rejestracji promieniowania gamma o energii 662 keV, emitowanego ze źródła  $^{137}\text{Cs}$ . Dla spektrometrów NaI(Tl) energetyczna zdolność rozdzielcza, określona jako stosunek szerokości półwysokości piku 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 pikie 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.