

Pomiar energii wiązania deuteronu

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie energii wiązania deuteronu

Przygotowanie:

- 1) Model deuteronu. Własności deuteronu jako źródło informacji o siłach jądrowych [4]
- 2) Oddziaływanie kwantów gamma z materią (przekroje czynne, rozkłady kątowe wtórnego promieniowania, zależność zdolności rozdzielczej oraz wydajność detektora od energii kwantów gamma) [1] 1.11, 1.113, 1.114, 1.143, [2]
 - a. efekt fotoelektryczny,
 - b. efekt Comptona,
 - c. tworzenie par, anihilacja pozytonów,
 - d. zależność przekroju czynnego na absorpcję promieniowania (współczynnika absorpcji) od energii promieniowania oraz liczby atomowej ośrodka.
- 3) Schematy rozpadów źródeł kalibracyjnych [2]
- 4) Detekcja promieniowania jądrowego za pomocą detektora półprzewodnikowego [1]
- 5) Źródła neutronów termicznych, spowalnianie neutronów [1] 1.231, 1.232
- 6) Budowa i zasada działania podstawowych układów elektronicznych: oscyloskop, wzmacniacz, dyskryminator, analizator wielokanałowy amplitudy [1] 1.16, [5] 2.3
- 7) Statystyka pomiarów przy rejestracji promieniowania jądrowego. Teoria błędów przy rejestracji promieniowania jądrowego [1] 1.171, 1.172

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 γ
- 4) Pomiar widm promieniowania gamma i wyznaczenie energii wiązania deuteronu.
- 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
[4] T. Mayer-Kuckuk „Fizyka jądrowa” PWN 1987 rozdz. 5.1
[5] J.B. England „Metody doświadczalne w fizyce jądrowej” PWN 1980
[6] E. Skrzypczak, Z. Szepliński, Wstęp do fizyki jądra atomowego i cząstek elementarnych, PWN 1995

Załącznik

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 $E_B \ll E_\gamma$.

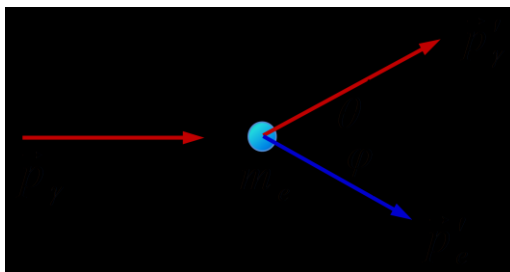
Efekt Comptona – w procesie tym kwant gamma ulega nieelastycznemu rozproszeniu na swobodnym (słabo związanym elektronie) i przekazuje mu część swojej energii. Energia kinetyczna przyspieszonego elektronu określona jest wzorem wynikającym z zasady zachowania energii i pędu:

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

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 ($\theta = 180^\circ$).



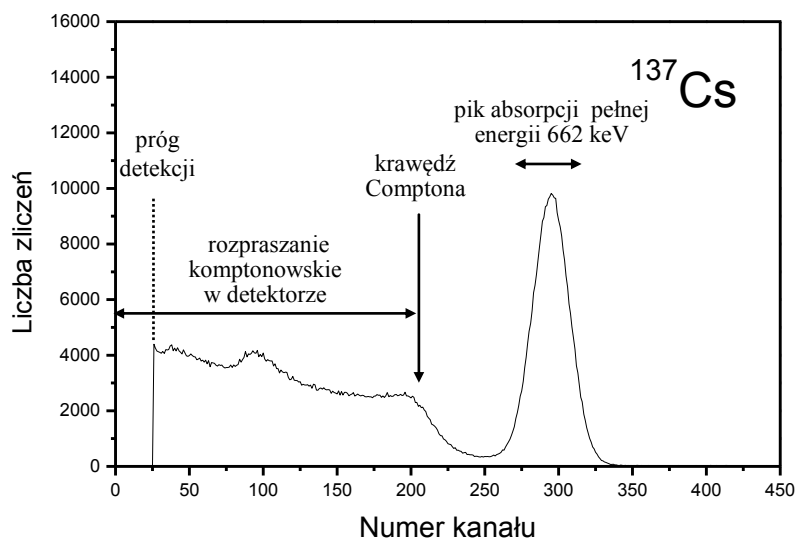
Zjawisko kreacji par – w procesie tym kwant gamma zamienia się na parę e^+e^- (elektron-pozyton). Proces ten może zachodzić jedynie dla kwantów gamma o energii większej niż $2m_e c^2 = 1022 \text{ keV}$. Łączna energia kinetyczna wytworzonej pary e^+e^- wynosi:

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

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.

Przedział amplitud rozciągający się od kanału 0 do tzw. krawędzi Comptona odpowiada zdarzeniom, w których jedynie część energii kwantu gamma została zaabsorbowana w kryształach detektora. Główny wkład do tej części widma daje efekt Comptona, w którym kwant gamma przekazuje część swojej energii jednemu z elektronów materiału detektora, natomiast kwant rozproszony ucieka z detektora. 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)).



Rys. 1 Widmo amplitud sygnałów z detektora zarejestrowane podczas pomiaru promieniowania gamma emitowanego ze źródła ^{137}Cs .

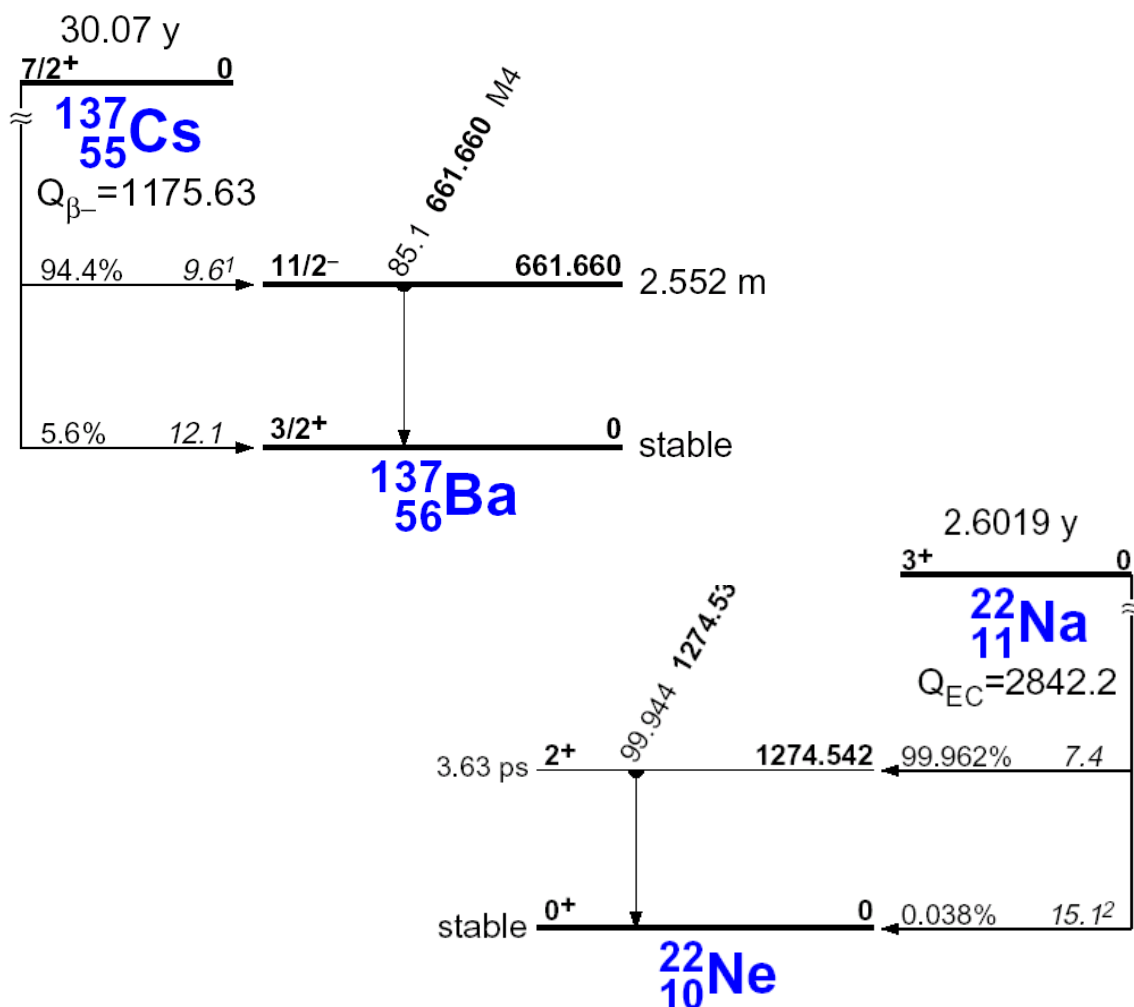
Podstawowe wielkości określające własności układu spektrometrycznego

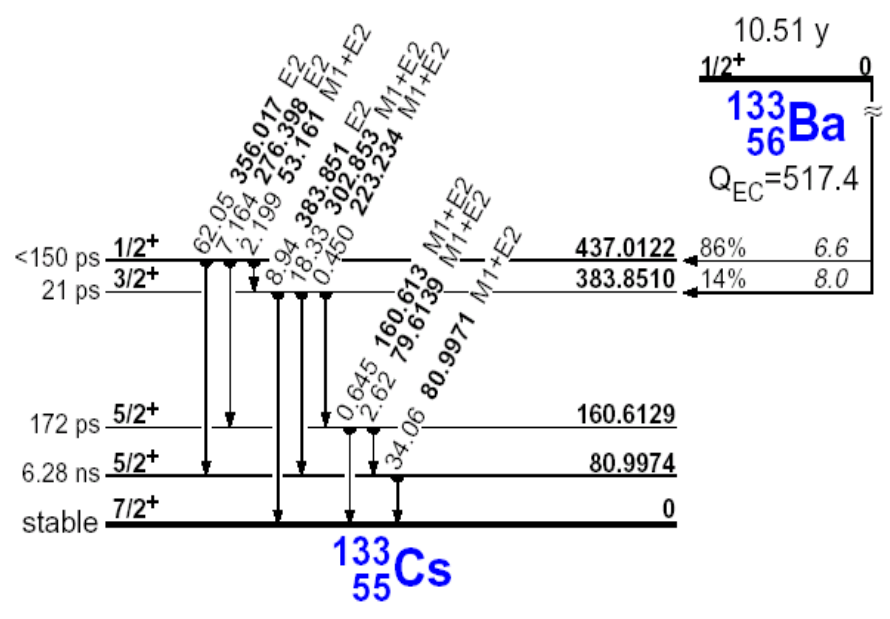
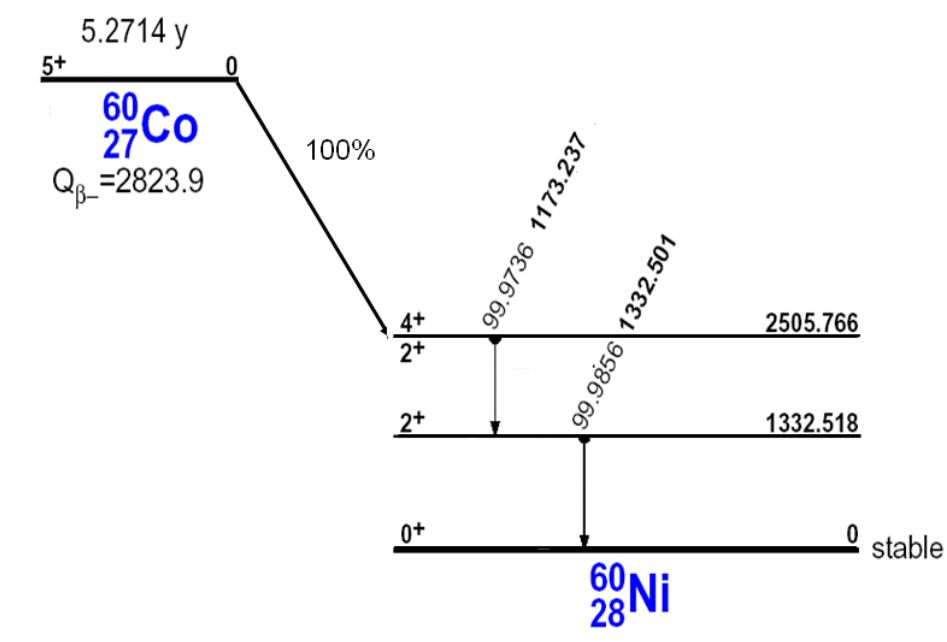
- 1) Energetyczna zdolność rozdzielcza określająca zdolność układu detekcyjnego do obserwacji przejść gamma o bardzo bliskich energiach. W przypadku detektorów Ge energetyczną zdolność rozdzielczą przyjęto określać mierząc, w połowie wysokości, całkowitą szerokość piku odpowiadającego rejestracji promieniowania gamma o energii 662 keV, emitowanego ze źródła ^{137}Cs . Dla detektorów Ge energetyczna zdolność rozdzielcza (procentowa), określona jest jako stosunek szerokości połówkowej piku do jego położenia.

- 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 układu 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.