

POCHŁANIANIE PROMIENIOWANIA GAMMA

WSTĘP

Natężenie promieniowania gamma ulega osłabieniu przy przechodzeniu przez materię. Pochłanianie promieniowania gamma w danej substancji podlega (w przybliżeniu) prawu wykładniczemu:

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

gdzie poszczególne symbole oznaczają:

- I_0, I - natężenie wiązki przed i po absorpcji,
 μ - współczynnik pochłaniania,
 d - grubość warstwy pochłaniającej

Pochłanianie kwantów gamma przez ośrodki materialne zachodzi na drodze trzech elementarnych procesów:

- Zjawiska fotoelektrycznego;
- Zjawiska rozpraszania Comptona;
- Tworzenia się par elektron-pozyton;

Współczynnik μ można więc wyrazić jako:

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (\text{mi} = \text{tau} + \text{sigma} + \text{kappa})$$

W powyższym równaniu τ charakteryzuje absorpcję kwantów gamma związaną ze zjawiskiem fotoelektrycznym, a współczynniki σ oraz κ dotyczą odpowiednio zjawiska rozpraszania Comptona oraz tworzenia się par negaton - pozyton.

Odsetkowy udział trzech wymienionych procesów w całkowitym osłabieniu natężenia promieniowania gamma zależy w pierwszym rzędzie od energii kwantów gamma, a również od charakteru absorbenta. W niniejszym ćwiczeniu ograniczamy się jedynie do określenia całkowitego współczynnika pochłaniania μ .

W zastosowaniu do absorpcji promieniowania gamma jest istotne pojęcie **grubości połówkowej** $d_{0,5}$. Grubość połówkową określa się jako grubość danego materiału, która powoduje osłabienie natężenia promieniowania gamma do połowy, czyli gdy

$$I = I_0/2.$$

Równanie (1) przedstawić można w następującej postaci:

$$\ln \frac{I_0}{I} = \mu d \quad (2)$$

co prowadzi do następującej zależności pomiędzy współczynnikiem pochłaniania μ oraz grubością połówkową warstwy pochłaniającej:

$$d_{0,5} = \ln 2 / \mu \quad (3)$$

Poniżej zamieszczona tabela 1 podaje wartości współczynnika μ przy absorpcji przez ołów monoenergetycznego promieniowania gamma w zakresie energii kwantów od 0.5 do 2 MeV. W tabeli 2 są podane wartości μ dla procesu pochłaniania miękkich promieni gamma w aluminium.

Tabela 1. Zależność współczynnika pochłaniania promieniowania gamma przez ołów od energii padających kwantów

Energia kwantów gamma [MeV]	Współczynnik μ dla ołowiu [cm^{-1}]
0,50	1,7
0,75	1,0
1,00	0,75
1,25	0,65
1,50	0,55
2,00	0,49

Tabela 2. Zależność współczynnika pochłaniania promieniowania gamma przez glin od energii padających kwantów.

Energia kwantów gamma [MeV]	Współczynnik μ dla glinu [cm^{-1}]
0,025	10,00
0,05	1,00
0,10	0,45
0,25	0,3

CEL ĆWICZENIA

1. Wyznaczenie parametrów pracy licznika scyntylicyjnego i aparatury współpracującej,
2. Oznaczenie współczynnika pochłaniania (przez ołów i glin) promieni gamma emitowanych przez izotop ^{60}Co .

APARATURA

- Licznik scyntylicyjny
- Źródło promieniowania gamma: ^{60}Co .
- Absorbenty:
- 5 płytek ołowianych o wymiarach 6x6 cm i o grubości 0,22 cm, czyli o masie powierzchniowej = $2,48 \frac{g}{cm^2}$,
- 5 płytek aluminiowych o grubości 0,055 cm (masa powierzchniowa = $0,15 \frac{g}{cm^2}$).

WYKONANIE**I. Wykonanie charakterystyki napięciowej licznika scyntylacyjnego**

Charakterystyki licznika scyntylacyjnego można podzielić na charakterystykę anodową oraz charakterystyki dyskryminacji (całkową i różniczkową). Własności licznika w dużym stopniu zależą od wyboru właściwego punktu pracy. Punkt pracy wybiera się na „plateau” lub przy optymalnym stosunku kwadratu częstości zliczeń mierzonej próbki do częstości zliczeń tła licznika $\frac{N_p^2}{N_t}$. Pomiar w warunkach odpowiadających

„plateau” w temperaturze pokojowej jest zazwyczaj niemożliwy, zatem w ćwiczeniu należy zastosować drugą ze wspomnianych metod.

Ustawić pokrętelem *HT control* napięcie 900 V. Włączyć przelicznik, po 10s zapisać wynik. Powtórzyć pomiar jeszcze 4 raz i zapisać wyniki. Postępując podobnie zwiększać napięcie co 20 V i mierzyć ilość impulsów przy napięciach zasilających detektor, aż do 1200 V. Jako wynik dla każdego napięcia przyjąć wartość średnią z pięciu pomiarów. Są to pomiary częstości zliczeń tła licznika - N_t . Następnie należy umieścić preparat ^{60}Co na dnie domku pomiarowego. Ustawić pokrętelem *HT control* napięcie 900 V. Postępować podobnie jak przy pomiarach częstości zliczeń tła licznika (zmiana napięcia co 20V, aż do 1200V, pomiary wykonać pięciokrotnie) - wyniki zapisać jako częstość zliczeń mierzonej próbki - N_p .

Wszystkie wyniki umieścić w tabeli:

Napięcie [V]	Tło [imp/10s]	Średnia tła N_t [imp/10s]	Próbka [imp/10s]	Średnia próbki N_p [imp/10s]	N_p^2	$\frac{N_p^2}{N_t}$
900	1.		1.			
	2.		2.			
	3.		3.			
	4.		4.			
	5.		5.			
920						
...						
1200						

Sporządzić wykres szybkości liczenia N_t , N_p , oraz $\frac{N_p^2}{N_t}$ [imp/10s] w zależności od przyłożonego napięcia.

Wybrać optymalne napięcie pracy licznika scyntylacyjnego w punkcie maksimum ilorazu $\frac{N_p^2}{N_t}$.

II. Oznaczanie współczynnika pochłaniania promieniowania gamma.

Ustawić czasy pomiarów na 10 sekund. Umieścić zamknięte źródło promieniowania gamma w postaci preparatu ^{60}Co na dnie domku pomiarowego i zmierzyć natężenie promieniowania gamma (I_0). Następnie pomiędzy preparatem a głowicą licznika scyntylacyjnego umieszczać kolejne filtry z blachy ołowianej o grubości 0,22 cm (od jednego do pięciu filtrów Pb) i każdorazowo mierzyć natężenie promieniowania. W celu zwiększenia dokładności należy pomiary wykonywać pięciokrotnie. Tak samo postępuje się z filtrami aluminiowymi.

Otrzymane wyniki zestawić w tabeli:

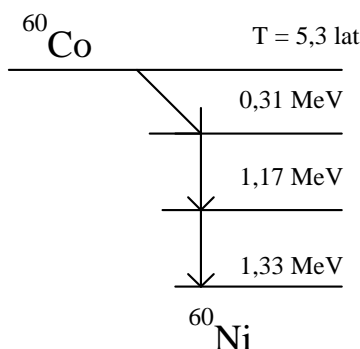
Rodzaj filtru	Grubość filtru [cm]	imp/10 sek.	średnio imp/10sek	średnio bez tła imp/10sek	$\frac{I_0}{I}$	$\ln \frac{I_0}{I}$
		1.				
		2.				
		3.				
		4.				
		5.				

OPRACOWANIE WYNIKÓW

- Należy sporządzić wykres zależności logarytmu naturalnego zmierzonych stosunków natężeń promieniowania od grubości ołowianych filtrów w cm. Prostoliniowa forma tego wykresu wskazuje na jednorodność (mono-energetyczność) promieni gamma. Silniejszy spadek natężenia promieniowania obserwowany w pierwszej warstwie ołowiu jest spowodowany pochłanianiem „miękkiego” promieniowania gamma, względnie również pochłanianiem ewentualnego promieniowania beta.
- Wartość całkowitego liniowego współczynnika pochłaniania promieni gamma μ (cm^{-1}) dla danego materiału absorbenta oblicza się z uzyskanego wykresu metodą regresji liniowej zgodnie z równaniem (2)
- Znając wartości współczynnika μ należy z kolei obliczyć grubości połowkowe $d_{0,5}$ dla badanych promieni gamma i badanych absorbentów posługując się podanym wzorem (4). Liczbowe wartości $d_{0,5}$ wyrażone w cm Pb należy również przeliczyć na wartość tzw. masy powierzchniowej wyrażonej w $\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$ przyjmując gęstość $\text{Pb} = 11,34 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.
- Na podstawie wartości współczynnika μ należy określić energię kwantów gamma dla zastosowanego źródła promieniowania.

Dodatek 1 - Charakterystyka zastosowanego źródła ^{60}Co

Jako zamknięte źródło promieniowania gamma stosujemy w tym ćwiczeniu preparat izotopu ^{60}Co . Schemat rozpadu promieniotwórczego tego nuklidu przedstawia się następująco:



Źródło ^{60}Co stanowi preparat metalicznego kobaltu służący do przybliżonego skalowania przyrządów dozymetrycznych. Aktywność promieniotwórcza tego preparatu jest niższa od jednego mikro-curie.

Dodatek 2 - Opis licznika USB-2

Licznik scyntylacyjny jest układem złożonym ze scyntylatora i fotopowielacza. Jego działanie polega na przetwarzaniu energii cząstek lub kwantów promieniowania jądrowego rozpraszanej w kryształ scyntylatora na energię świetlną. Innymi słowy - kwanty promieniowania jonizującego wywołują w detektorze tzw. scyntylacje czyli błyski światła, stąd też czasem używana nazwa: licznik błyskowy.

Fotopowielacz połączony ze scyntylatorem przetwarza z kolei błyski świetlne na impulsy prądowe oraz wzmacnia je około milion krotnie. Amplituda impulsów powstających w liczniku jest proporcjonalna do energii cząstek (kwantów) promieniowania jądrowego. Impulsy są następnie wzmacniane we wzmacniaczu wstępnym urządzenia scyntylacyjnego i przesyłane przewodem koncentrycznym do przelicznika elektronowego.

W licznikach scyntylacyjnych nie występuje w zasadzie „plateau” (przedział stałej szybkości liczenia w szerszych granicach napięcia) tak charakterystyczne dla liczników Geigera - Müllera. Można je uzyskać jedynie dla monoenergetycznych cząstek alfa lub kwantów gamma - dla konkretnych ustaleń innych parametrów liczenia (stopień wzmocnienia wstępnego, poziom dyskryminacji itp.). Znalezienie „plateau” i wybór napięcia pracy w jego obrębie jest korzystny dla dokładności liczenia, ponieważ drobne wahania napięcia nie wpływają na wynik.

Urządzenie scyntylacyjne USB-2 składa się z licznika scyntylacyjnego (kryształ jodku sodowego aktywowany talem NaI/Tl na fotopowielaczu firmy EMI), ołowianej osłony licznika oraz wzmacniacza wstępnego - wszystko we wspólnej obudowie. Na zewnątrz umieszczono: przełączniki stopnia wzmocnienia, gniazdo wysokiego napięcia dla fotopowielacza, gniazdo zasilania wzmacniacza wstępnego oraz gniazdo wyjścia impulsów.

Zasilanie wzmacniacza wstępnego wymaga niskich napięć stabilizowanych (żarzenie lamp, napięcie anodowe), których dostarcza zasilacz niskiego napięcia typu USB-2. Przyrząd ten może zasilac równocześnie dwa urządzenia scyntylacyjne.

Fotopowielacz licznika scyntylicyjnego wymaga zasilania napięciami rzędu 500 - 2000 V. Dlatego w zestawie pomiarowym znajduje się zasilacz wysokiego napięcia typu ZWN-21 dostarczający stałych napięć stabilizowanych. Na przedniej płycie przyrządu znajdują się: przyciski zakresów napięć, pokrętko dokładnej regulacji napięcia (HT-control), gniazdo wyjściowe, lampka kontrolna (HT) oraz zaciski mocujące.

Impulsy elektryczne przychodzące z detektora scyntylicyjnego są przekazywane na wejście przelicznika elektronowego PT-72 z wbudowanym elektronicznym zegarem sterującym czasostere (dlatego SCALER-TIMER). Impulsy są tutaj wstępnie „segregowane” przez dyskryminator, przepuszczający tylko te, których amplituda przewyższa nastawiony próg dyskryminacji (THRES-HOLD). Impulsy ‘nadprogowe’ są następnie zliczane, a wynik wyświetlany na wyświetlaczu.

Na przedniej ścianie przyrządu umieszczono:

1. przycisk włącznika sieciowego (POWER), czerwony,
2. przyciski sterujące: START, STOP, RESET (zerowanie),
PRINT (zapisanie, gdy przyrząd pracuje z drukarką),
3. przyciski rodzaju operacji (MODE), czarne:
 - a. PRESET COUNT - liczenie na zadaną ilość impulsów, wyświetlany jest czas w sekundach,
 - b. PRESET TIME - liczenie na zadany czas, wyświetlana jest ilość impulsów w zadanym czasie (sek.),
 - c. FREQUENCY - automatyczny pomiar częstotliwości impulsów,
 - d. MARKERS - przelicznik może służyć jako generator impulsów czasu (dla innych urządzeń automatycznych),
4. przyciski nastawcze czasu (SEC), lub żądanej ilości zliczeń (PULSES),
5. przyciski krotności nastawień czasu lub impulsów,
6. 4 gniazda wejściowe dla sond o różnym zasilaniu,
7. przyciski polaryzacji impulsu wejściowego (+ albo -),
8. pokrętko regulacji progu dyskryminatora (THRESHOLD),
9. lampka kontrolna pracy przelicznika.

PRZYGOTOWANIE APARATURY DO PRACY

UWAGA !!!

Włączenie aparatury powinno odbyć się w obecności prowadzącego.

1. Pokrętko regulacji wysokiego napięcia w ZWN-21 sprowadzić do położenia zerowego.
2. Włączyć przyrządy do sieci 220 V (wtyczki sieciowe, przełącznik w USB-2Z oraz przycisk POWER).
3. Wzmocnienie wstępne w urządzeniu scyntylicyjnym USB-2 ustawić wg instrukcji prowadzącego,
4. Przelicznik PT-72 wyregulować następująco:
 - a. polaryzacja impulsów: „+”,
 - b. rodzaj pracy (MODE) - „na czas” - (PRESET TIME),
 - c. czas zliczeń: 10 sekund ($1 \cdot 10^1$ SEC),
 - d. dyskryminator napięcia progu (THRESHOLD): wg instrukcji prowadzącego.

Wzór tabeli i schematu opracowania

..... Wydział Imię i Nazwisko studenta Data wykonywania ćwiczenia:
..... Kierunek Studia niestacjonarne		
Nr grupy: Nr ćwiczenia: Nazwisko Prowadzącego:
Nr zespołu:		

1. Temat ćwiczenia:
2. Cel ćwiczenia:
3. Pomiary:
4. Obliczenia:
5. Wykresy:
6. Wnioski:

template