

Ćwiczenie 29

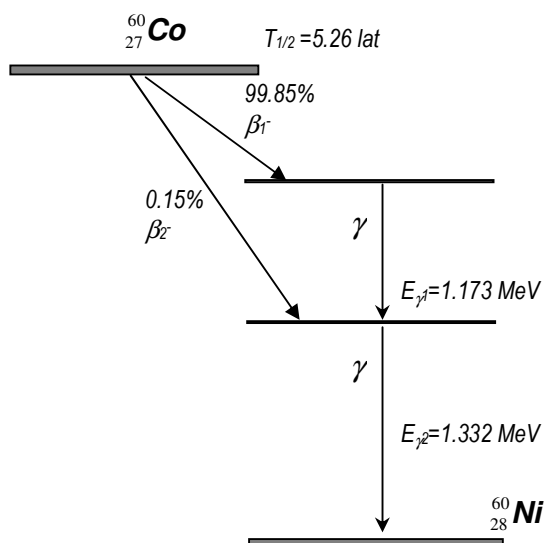
Badanie absorpcji promieniowania γ

29.1. Zasada ćwiczenia

W ćwiczeniu badana jest zależność natężenia wiązki osłabienie wiązki promieniowania γ po przejściu przez warstwę materiału absorbującego w funkcji grubości warstw wybranych absorbentów (ołów, żelazo, aluminium, plexiglass, beton). Na podstawie otrzymanych zależności możliwe jest wyznaczenie liniowego i masowego współczynnika osłabiania dla badanych materiałów oraz grubości połówkowej.

29.2. Wiadomości teoretyczne

Czas połowicznego rozpadu izotopu kobaltu Co-60 wynosi 5,26 lat. Izotop ten podlega samorzutnej przemianie β^- przekształcając się w izotop stabilny Ni-60. Proces ten zachodzi za pośrednictwem stanów wzbudzonych jądra Ni-60, które zanikają do stanu podstawowego na drodze emisji kwantu γ (zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 29.1).



Rys. 28.1. Schemat rozpadu promieniotwórczego izotopu kobaltu ^{60}Co .

Promieniowanie γ emitowane przez izotop Co-60 stanowią więc kwanty o energiach 1.173MeV i 1.332MeV. Wiązka promieniowania γ przechodząc przez ośrodek doznaje osłabienia na skutek oddziaływania z atomami ośrodka. Osłabienie natężenia wiązki dI jakiej doznaje jest proporcjonalne do natężenia wiązki I oraz grubości warstwy dx materiału, zatem:

$$dI = -\mu I dx \quad (29.1)$$

co prowadzi do zależności:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (29.2)$$

gdzie I_0 jest natężeniem wiązki padającej na powierzchnię materiału, a μ - liniowym współczynnikiem pochłaniania (osłabienia) wiązki.

Masowy współczynnik pochłaniania μ_m jest niezależny od liczby atomowej i masowej ośrodka, umożliwia natomiast wyznaczenie energii maksymalnej E_0 elektronów emitowanych przez źródło promieniotwórcze:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (29.3)$$

gdzie ρ oznacza gęstość absorbentu, a E_0 jest maksymalną energią elektronów wyrażoną w MeV.

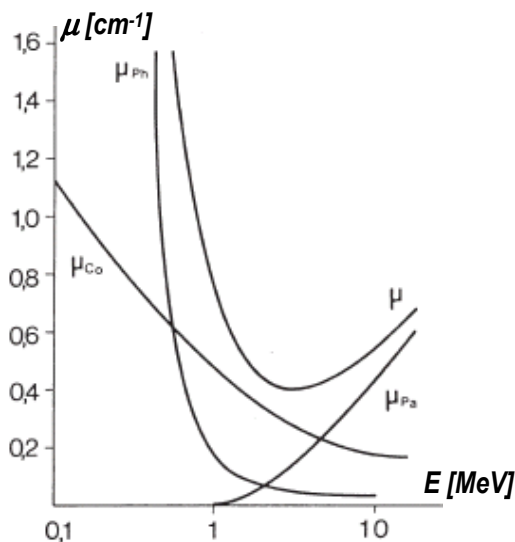
W przypadku promieniowania γ , które charakteryzuje się największą przenikliwością ośrodka, użyteczną wielkością jest tzw. grubość połówkowa. Jest to taka grubość materiału, dla której osłabienie wiązki wynosi 50%. Zatem:

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu} \quad (29.4)$$

Osłabienie wiązki promieniowania γ spowodowane jest głównie występowaniem trzech niezależnych procesów: efektu fotoelektrycznego, efektu Comptona i zjawiska tworzenia par elektron-pozyton. Wzajemny wkład tych procesów do całkowitej absorpcji promieniowania zależy od energii kwantów promieniowania, jak pokazuje rys. 29.2. W efekcie fotoelektrycznym kwant promieniowania zostaje pochłonięty przez atom, co prowadzi do wybicia elektronu z powłoki elektronowej. Warunkiem niezbędnym do zaistnienia tego zjawiska jest, aby energia padającego kwantu była przynajmniej równa energii wiązania elektronu w atomie W zwanej także pracą wyjścia, co w przypadku kwantów γ o energii rzędu MeV jest całkowicie spełnione. Dodatkowo przekrój czynny na zjawisko fotoelektryczne przyjmuje największe wartości dla elektronów z najniższych powłok K i L atomu. Wkład tego efektu do całkowitego pochłaniania wiązki jest tym większy im większa jest liczba atomowa Z pierwiastka, z kolei maleje dość szybko ze wzrostem energii kwantów γ , tak że powyżej 10MeV jest zaniedbywalny. W efekcie Comptona kwant promieniowania γ ulega rozproszeniu niesprężystemu na elektronach swobodnych lub najsłabiej związanych w atomie. Efekt ten jest proporcjonalny do liczby atomowej Z pierwiastka i odgrywa największą rolę w przedziale energii pośrednich (0.5-5MeV). Zjawisko tworzenia par elektron-pozyton występuje dla energii kwantów γ przewyższających wartość podwójnej energii spoczynkowej elektronu: $2m_0c^2 = 1.022MeV$ i odgrywa dominującą rolę w przedziale dużych energii.

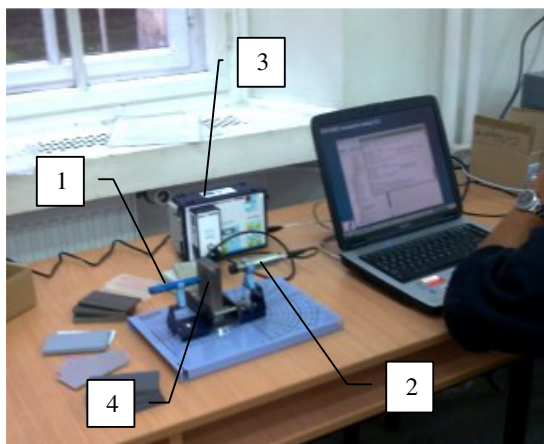
Dla energii kwantów γ bliskich 1MeV emitowanych przez Co-60 widać, że pochłanianie wiązki odpowiedzialne jest głównie oddziaływanie z chmurą elektronową atomów

ośrodka. Można się więc spodziewać, że współczynnik absorpcji μ będzie proporcjonalny do liczby elektronów na jednostkę objętości lub w przybliżeniu do gęstości materiału. Zależność tę łatwo sprawdzić porównując wartości masowych współczynników absorpcji dla badanych materiałów, co jest m. in. Celem tego ćwiczenia.



Rys. 28.2. Współczynnik absorpcji promieniowania γ ołowiu (μ) w funkcji energii kwantów promieniowania i z uwzględnieniem wkładu efektów: Comptona (μ_{Co}), fotoelektrycznego (μ_{ph}) i tworzenia par (μ_{pa}).

29.3. Aparatura pomiarowa



1. Źródło promieniowania: Co-60 (74kBq);

2. Licznik Geigera-Muellera;

3. Jednostka Cobra3;

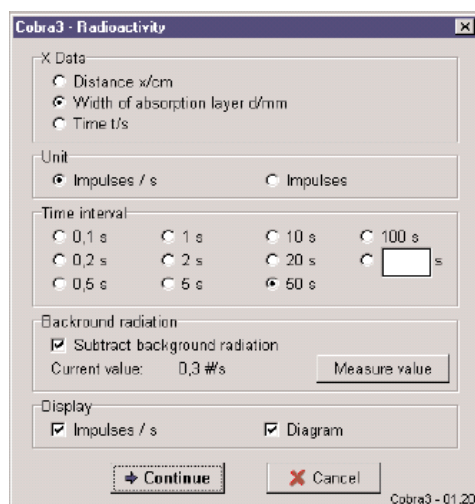
4. Płytki absorbujące:
aluminium ($\rho=2.69g/cm^3$),
ołów ($\rho=11.34g/cm^3$),
plexiglass ($\rho=1.12g/cm^3$),
żelazo ($\rho=7.86g/cm^3$),
beton ($\rho=2.35g/cm^3$).

Rys. 28.3. Widok aparatury pomiarowej.

29.4. Zadania

1. Zmierzyć poziom tła promieniotwórczego po odsunięciu źródła promieniotwórczego na dużą odległość od okienka wlotowego głowicy.
 2. Wykonać serię pomiarów aktywności promieniotwórczej w funkcji grubości absorbentu dla badanych materiałów.
 3. Wykonać wykresy zależności aktywności (skorygowanej o wartość tła) w funkcji grubości materiału w skali półlogarytmicznej.
 4. Korzystając z metody regresji liniowej wyznaczyć współczynniki liniowe osłabiania wiązki oraz grubości połówkowe w poszczególnych materiałach oraz ich błędy.
- (Uwaga: w układzie pomiarowym zawierającym jednostkę Cobra3 polecenia 3 i 4 wykonywane są automatycznie)

29.5. Przebieg pomiarów i opracowanie wyników



Rys. 28.4. Przykładowe parametry pomiaru.

- uruchomić program „Radioactivity” i ustawić parametry pomiaru (rys. 29.3)
- zmierzyć poziom aktywności promieniotwórczej tła w czasie min. 600 sekund w nieobecności izotopu promieniotwórczego. Zmierzona wartość tła pozostaje w pamięci jednostki do chwili wykonania następnego pomiaru poziomemu tła.

- ustawić zakresy osi x: 0-30mm, y: 0-15; zatwierdzenie parametrów - przycisk <Continue>.
- umieścić izotop promieniotwórczy (pobrany uprzednio z szafy pancernej przez nauczyciela) w statywie w odległości ok. 4cm od okienka wlotowego detektora. Pomiar aktywności źródła promieniotwórczego przeprowadza się w czasie min. 50 sekund (prowadzący podaje wartość z przedziału 50 - 900 sekund).
- przy każdorazowym pomiarze należy podać grubość warstwy absorbentu (przy braku płytek grubość wynosi 0). Podczas pomiaru nie wolno zmieniać grubości materiału.
- uruchomienie pomiaru – przycisk <Measure>.
- po skończeniu pomiaru dla danej grubości należy dołączyć kolejną płytkę, wprowadzić nową wartość grubości warstwy i ponownie uruchomić pomiar (przycisk <Measure>), aż

to momentu wykorzystania wszystkich płytek absorbujących danego materiału. Zakończenie serii pomiarów dla danego materiału – przycisk <Close>.

- wyznaczenie współczynnika liniowego absorpcji i grubości połówkowej następuje po uruchomieniu funkcji <Analysis> w menu głównym i wybraniu opcji <Half value time/ - layer thickness>.
- powyższą procedurę pomiarową powtórzyć dla pozostałych materiałów i wyznaczyć dla nich liniowe współczynniki absorpcji promieniowania γ
- korzystając z wartości gęstości materiałów podanych w punkcie 29.3 *Aparatura pomiarowa* wykonać wykres zależności liniowego współczynnika osłabienia w funkcji gęstości materiału.
- korzystając z metody regresji liniowej wyznaczyć masowy współczynnik osłabiania oraz jego błąd.

29.6. Wymagane wiadomości

- rozpad promieniotwórczy γ , schematy poziomów energetycznych Co-60, widmo energetyczne emitowanych cząstek,
- osłabianie wiązki promieniowania w ośrodku i wielkości fizyczne z tym związane, efekt Comptona, efekt fotoelektryczny, zjawisko tworzenia par
- zasada działania licznika Geigera-Muellera,
- błędy pomiarów w zjawiskach statystycznych.

29.7. Literatura

- Zubek M., Kuczkowski A.: II Pracownia Fizyczna. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- Massalski J.: Fizyka dla inżynierów, t.II. Warszawa: WNT 1975.
- Halliday D, Resnick R., Walker J.: Podstawy fizyki, t.5. PWN 2003.