

Ćwiczenie 29a.

Badanie zależności natężenia wiązki promieniowania od odległości

29a.1. Zasada ćwiczenia

W ćwiczeniu badana jest zależność liczby impulsów promieniowania α , β i γ w funkcji odległości od źródła promieniotwórczego oraz rozkład kątowy wiązki promieniowania. Przy użyciu izotopów β - i γ -promieniotwórczych (odpowiednio: Sr-90 i Na-22) możliwe będzie sprawdzenie prawa odwrotności kwadratu odległości, natomiast dla α -promieniotwórczego izotopu Am-241 badana jest zależność natężenia wiązki dla różnych grubości warstwy materiału absorbującego (powietrza). Na podstawie otrzymanej zależności wyznaczony zostanie maksymalny zasięg cząstek α w powietrzu.

29a.2. Wiadomości teoretyczne

Promieniowanie α , β lub γ to promieniowanie emitowane przez jądro atomowe w sposób samorzutny, bez ingerencji czynników zewnętrznych. Wszystkie 3 rodzaje promieniowania różnią się jednak między sobą zarówno pod względem ich powstawania jak i oddziaływania z ośrodkiem, przez który przechodzą. Zestawienie najważniejszych wiadomości przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Zestawienie typów promieniowania jonizującego i ich oddziaływania z materią.

Rodzaj promieniowania	α	β	γ
Charakterystyka cząstki	Jądro helu = 2protony + 2neutrony	Elektron e- lub pozyton e ⁺	Kwant promieniowania o energii rzędu MeV
Schemat rozpadu	${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He$	Rozpad β^- : ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e + \bar{\nu}_e$ ${}^1_0 n \rightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1} e + \bar{\nu}_e$ Rozpad β^+ : ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_1 e^+ + \nu_e$	${}^A_Z X^* \rightarrow {}^A_Z X + \gamma$

		${}^1_1\text{p} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_1\text{e} + \nu_e$	
Charakter widma energetycznego	Widmo dyskretne, ostre pojedyncze piki	Widmo ciągłe z przedziału 0-kilka MeV	Widmo dyskretne, ostre pojedyncze piki
Procesy odpowiedzialne za oddziaływanie z materią	Wzbudzenie i jonizacja cząsteczek i atomów ośrodka	1. Jonizacja cząsteczek i atomów ośrodka (dominuje dla $E < 5\text{MeV}$), 2. Emisja promieniowania hamowania (dominuje dla $E > 5\text{MeV}$)	1. Efekt Comptona (dominuje dla $E < 1\text{MeV}$), 2. Efekt fotoelektryczny (dominuje dla $E = 1-5\text{MeV}$), 3. Zjawisko tworzenia par elektron-pozyton (dominuje dla $E > 5\text{MeV}$)
Własności promieniowania	- bardzo silnie jonizujące w bezpośrednim kontakcie (niebezpieczne przy wchłonięciu do organizmu); - słabo przenikliwe, max. zasięg w powietrzu do 10cm;	- jonizujące bezpośrednio; - przenikliwe, max. zasięg w powietrzu do kilkunastu metrów; - skutecznie pochłaniane przez materiały lekkie: aluminium, mat. syntetyczne	- jonizujące pośrednio; - bardzo przenikliwe; - skutecznie pochłaniane przez materiały ciężkie: ołów, uran

Wiązka promieniowania α , β lub γ przechodząc przez ośrodek doznaje osłabienia na skutek oddziaływania z atomami ośrodka. Osłabienie natężenia wiązki dI jakiego doznaje jest proporcjonalne do natężenia wiązki I oraz grubości warstwy dx materiału, zatem:

$$dI = -\mu I dx \quad (29a.1)$$

co prowadzi do zależności:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (29a.2)$$

gdzie I_0 jest natężeniem wiązki padającej na powierzchnię materiału, a μ - liniowym współczynnikiem pochłaniania (osłabienia) wiązki. Jest to wielkość zależna od rodzaju materiału oraz rodzaju i energii promieniowania.

Masowy współczynnik pochłaniania μ_m jest niezależny od liczby atomowej i masowej ośrodka i wynosi:

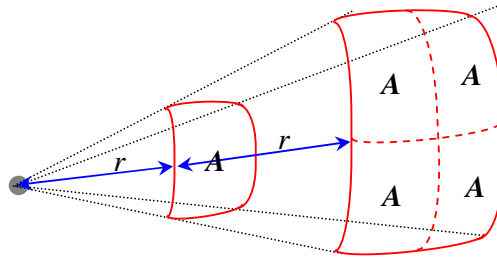
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (29a.3)$$

gdzie ρ oznacza gęstość absorbentu. Dla danego rodzaju promieniowania i stałej wartości energii jest on wielkością stałą.

Badanie rozkładu katowego oraz zależności natężenia wiązki promieniowania od odległości

W przypadku ośrodka o małej gęstości jakim jest powietrze ($\rho_{pow}=1.185 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$), w przedziale odległości poniżej 1m efekt pochłaniania wiązki promieniowania α jest najlepiej zauważalny podczas gdy cząstki β i γ wymagają obecności znacznie grubszych warstw powietrza lub ośrodków o większej gęstości. Zatem w przypadku cząstek α osłabienie wiązki przy wzroście odległości detektora od źródła wynika przede wszystkim z obecności procesów jonizacji cząsteczek ośrodka. Średnia energia tracona przez cząstkę wytworzenie w powietrzu 1 pary jon-elektron wynosi ok. 35eV. Po przebyciu odpowiednio grubej warstwy powietrza cząstka wytraca swoją energię i jej zdolność jonizacyjna w ośrodku spada do 0. Grubość tej warstwy absorbentu nazywamy zasięgiem maksymalnym R .

Dla cząstek β i γ efekt absorpcji w ośrodkach rzadkich (gazy) zauważalny jest dopiero na przestrzeni kilku metrów, natomiast obserwowany efekt zmiany natężenia wiązki wraz z odległością w obszarze już poniżej 1 metra związany jest z *prawem odwrotności kwadratu odległości* (rys. 29a.1).



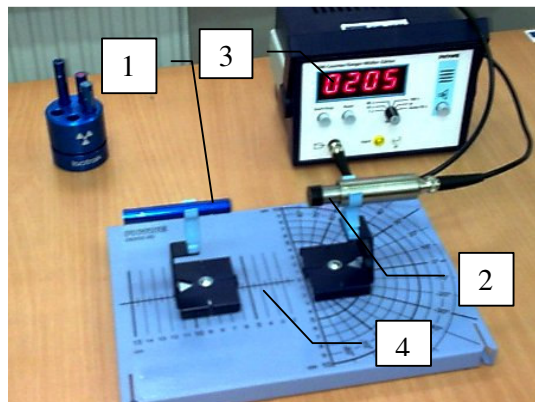
Rys. 29a.1. Ilustracja prawa odwrotności kwadratu odległości.

Zakładając, że promieniowanie w danym ośrodku nie ulega rozproszeniu i rozchodzi się prostoliniowo, liczba impulsów w jednostce czasu dN/dt na element powierzchni A znajdującej się w pewnej odległości od punkowego źródła promieniotwórczego jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od źródła

$$\frac{dN}{dt}(r) = a \cdot r^b \quad (29a.4)$$

gdzie wykładnik $b=2$.

29a.3. Aparatura pomiarowa



1. Izotop promieniotwórczy: Na-22 (74kBq), Sr-90 (74kBq) lub Am-241 (74kBq);
2. Detektor promieniowania (licznik Geigera-Muellera);
3. Licznik impulsów;
4. Statyw z podziałką liniową i kątową.

Rys. 29a.2. Widok aparatury pomiarowej

29a.4. Zadania

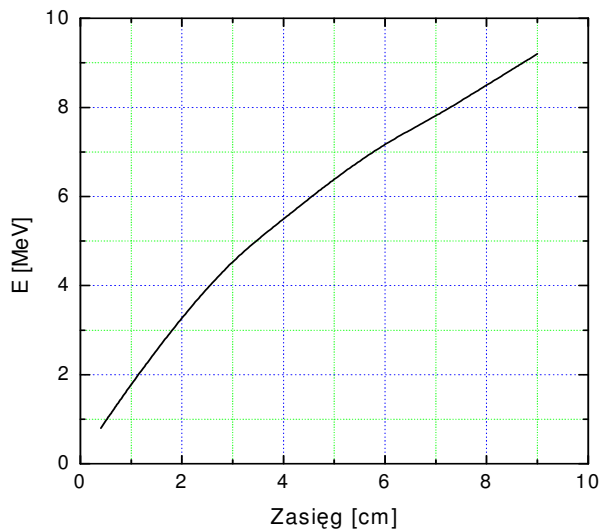
1. Zmierzyć poziom tła promieniotwórczego w czasie min. 600 sekund w nieobecności izotopu promieniotwórczego.
2. Umieścić źródło promieniotwórcze Am-241 w statywie naprzeciwko okienka wlotowego licznika i wykonać serię pomiarów aktywności promieniotwórczej w funkcji odległości od źródła i wyznaczyć wartość współczynnika pochłaniania, zasięgu maksymalnego oraz energii cząstek α .
3. Zbadać rozkład kątowy wiązki promieniowania.
4. Zbadać słuszność prawa kwadratu odwrotności odległości dla źródła β - i γ -promieniotwórczego.
5. Zbadać rozkłady kątowe wiązek promieniowania β i γ .

29a.5. Przebieg pomiarów i opracowanie wyników

Ad 2.

Pomiar aktywności źródła promieniotwórczego przeprowadza się w czasie min. 60 sekund (prowadzący podaje wartość z przedziału 60 - 900 sekund). Przeprowadzić serię pomiarów w tym samym przedziale czasu zwiększając odległość w przedziale 0.5-5cm., tak aby w zadanym przedziale odległości uzyskać min. 10 punktów pomiarowych.

Na podstawie otrzymanych wyników wykonać wykresy zależności logarytmu aktywności (skorygowanej o wartość tła) w funkcji odległości od źródła $\ln(dN/dt) = f(d)$. Na wykresie zaznaczyć błędy standardowe dla otrzymanych punktów pomiarowych. Korzystając z metody regresji liniowej wyznaczyć wartość współczynnika absorpcji oraz zasięgu maksymalnego cząstek α w powietrzu. Korzystając z wykresu przedstawionego na rys. 29a.3. odczytać wartość energii cząstek α i jej błąd.



Rys. 29a.3. Zależność zasięgu cząstek α w powietrzu od ich energii początkowej

Ad 3.



Pomiar rozkładu katowego przeprowadzany jest przy stałej odległości od źródła i różnych wartościach kąta między osią wiązki i osią detektora, jak to pokazuje rys. 29a.2. Dla źródła α -promieniotwórczego pomiary wykonać dla odległości 2cm i przedziału kąta -90° - 90° .

Rys. 29a.4. Geometria pomiarów do badania rozkładu katowego wiązki promieniowania.

Ad 4.

Umieścić źródło promieniotwórcze Sr-90 w statywie naprzeciwko okienka wlotowego licznika i wykonać serię pomiarów aktywności promieniotwórczej w funkcji odległości od źródła w przedziale odległości 2-20cm. Wykonać wykresy zależności $\ln(dN/dt) = f(r)$. Na wykresie zaznaczyć błędy standardowe dla otrzymanych punktów pomiarowych. Korzystając z metody regresji liniowej wyznaczyć wartość wykładnika b i ocenić słuszność prawa odwrotności odległości.

Ad 5.

Przeprowadzić pomiary jak w punkcie 3. Otrzymane zależności aktywności (skorygowanej o wartość tła) od kąta między osią źródła a osią detektora przedstawić na

wspólnym wykresie dla wszystkich źródeł promieniotwórczych. Na wykresie zaznaczyć błędy standardowe dla otrzymanych punktów pomiarowych.

29a.6. Wymagane wiadomości

- rozpad promieniotwórcze α , β i γ , charakterystyka promieniowania,
- osłabianie wiązki promieniowania w ośrodku materialnym,
- zasada działania licznika Geigera-Muellera,
- błędy pomiarów w zjawiskach statystycznych.

29a.7. Literatura

- Zubek M., Kuczkowski A.: II Pracownia Fizyczna. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- Bobrowski Cz., Fizyka – krótki kurs. WNT 2003.
- Halliday D, Resnick R., Walker J.: Podstawy fizyki, t.5. PWN 2003.