

Ćwiczenie 10

Wyznaczanie współczynnika rozpraszania zwrotnego promieniowania beta.



Ustawienie licznika Geigera-Müllera w ołowianym domku



Student winien wykazać się znajomością następujących zagadnień:

1. Co rozumiemy przez rozpraszanie zwrotne?
2. Prawdopodobieństwo rozpraszania jedno-i wielokrotnego.
3. Współczynnik rozpraszania zwrotnego; zależność tego współczynnika od pewnych cech materiału rozpraszającego – jakie to cechy?
4. Ogólne wiadomości o promieniowaniu.

Pomoc merytoryczna do opracowania wyników:

Równoległa wiązka elektronów przechodząc przez warstwę jakiegoś ciała doznaje rozproszenia. Rozproszenie to polega na odchyleniu elektronów w polu sił jąder atomowych, w wyniku czego wiązka staje się rozbieżna, a poszczególne cząstki z wiązki poruszają się po nieregularnie zakrzywionych, zygzakowatych torach i w zależności od rodzaju zderzenia z atomem, zmieniają lub nie wielkość swej energii. Elektron zderzając się sprężysto z atomami ośrodka doznaje wielokrotnego odchylenia i (o ile nie zostanie pochłonięty) opuszcza go z pewnym wypadkowym kątem odchylenia od pierwotnego kierunku. Stopień rozproszenia można określić przez podanie tzw. kąta połówkowego $\alpha_{1/2}$. Kąt ten określa kierunek rozproszenia za przenikniętą przez wiązkę warstwę, dla którego natężenie wiązki jest dwukrotnie mniejsze niż jej natężenie I_0 w kierunku wiązki pierwotnej. Dla niezbyt dużego kąta połówkowego (ok. 20°) można przyjąć, że w zakresie kątów α od 0 do $\alpha_{1/2}$ rozkład natężenia wiązki rozproszonej jest rozkładem Gaussa tzn., że spełniona jest zależność:

$$1. \quad I = I_0 \exp \left[-0,693 \left(\frac{\alpha}{\alpha_{1/2}} \right)^2 \right].$$

Wraz ze wzrostem grubości warstwy absorbenta wzrasta rozproszenie aż do osiągnięcia nasycenia, przy którym rozkład natężenia wiązki rozproszonej wyraża się wzorem:

$$2. \quad I = I_0 \cos^2 \alpha .$$

Jeżeli przenikana warstwa jest tak cienka, że każdy elektron zostaje odchyłony co najwyżej jeden raz, to rozproszenie nazywamy jednokrotnym. Prawdopodobieństwo rozproszenia jednokrotnego (w zderzeniu sprężystym) o kąt leżący w przedziale α , $\alpha + d\alpha$ wynosi:

$$3. \quad P(\alpha) d\alpha = \frac{8 \Pi N Z^2 e^4 X}{m^2 v^2 \gamma^2} \frac{d\alpha}{\alpha^2} ,$$

gdzie:

N - liczba jąder rozpraszających w 1 cm^3 absorbenta;

X - grubość substancji;

Z - liczba atomowa substancji;

v - prędkość padających elektronów;

m - masa elektronów;

γ - poprawka relatywistyczna $\left(\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \right)$.

Przy odchyleniu każdego elektronu od 2 do 20 razy mówimy o rozproszeniu kilkakrotnym. Jeżeli natomiast, w grubszych warstwach absorbenta, elektron jest odchylany więcej niż 20-krotnie, to mówimy o rozproszeniu wielokrotnym. Prawdopodobieństwo, że w wyniku wielokrotnego rozproszenia kierunek elektronu leży w elemencie $d\Omega$ kąta bryłowego, tworzącego z pierwotnym kierunkiem elektronu kąt jest równe:

$$4. \quad P(\alpha) d\Omega = \frac{1}{(2\Pi\vartheta)^{1/2}} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\vartheta^2}\right) d\Omega$$

gdzie:

ϑ jest najbardziej prawdopodobną wartością kąta α w danych warunkach i zależy od energii kinetycznej E elektronu, liczby atomowej Z i grubości warstwy rozpraszającej X .

Związek kąta ϑ z tymi wielkościami przedstawia przybliżona formuła:

$$5. \quad \vartheta = \frac{\text{const.} (mc^2 + E) mc^2}{E (E + 2mc^2)} Z \sqrt{\frac{\rho X}{A}}$$

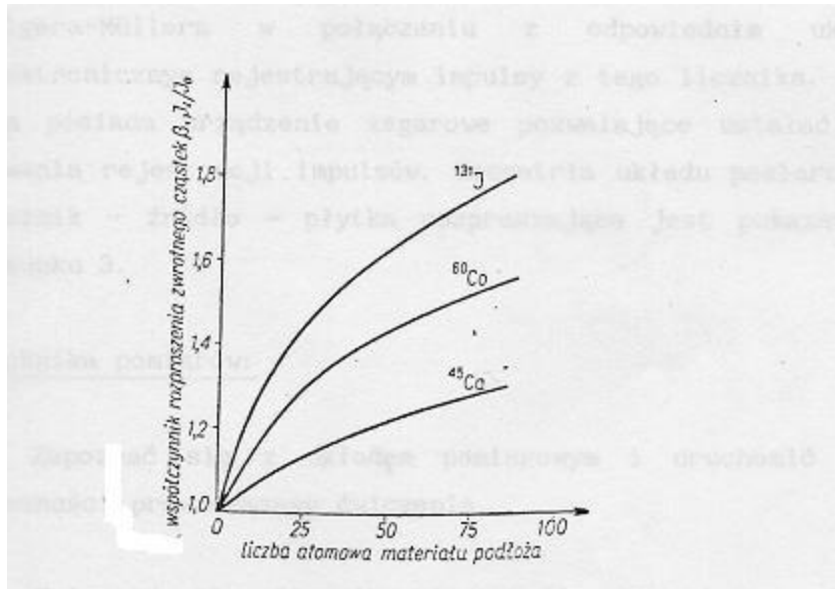
gdzie:

ρ - gęstość substancji rozpraszającej;

A - masa atomowa substancji rozpraszającej.

Z podanych wyżej wzorów wynika, że istnieje skończone prawdopodobieństwo rozproszenia o kąt zawarty w obszarze kątów od $\frac{\Pi}{2}$ do $\frac{3}{2}\Pi$, co odpowiada możliwości wyjścia elektronów z absorbenta przez tę powierzchnię, przez którą do niego wniknęły. Zjawisko to nosi nazwę rozproszenia zwrotnego (odbicia do tyłu) i jest scharakteryzowane za pomocą współczynnika rozproszenia zwrotnego $q_{zwr.}$. Określa on stosunek liczby elektronów rozproszonych wstecz do liczby elektronów padających na podłoże. Współczynnik ten zależy od energii promieniowania E , liczby atomowej Z absorbenta i grubości X podłoża; zostało to potwierdzone doświadczalnie.

Praktycznie przy grubości podłoża $X > 1/5 R_{max}$ (R_{max} – zasięg maksymalny) uzyskujemy nasycenie współczynnika rozproszenia zwrotnego. Na rysunku 1 przedstawiono zależność współczynnika rozproszenia q od liczby atomowej Z substancji rozpraszającej dla elektronów, których energia przekracza 5keV.



Rys. 1

Względny wzrost natężenia promieniowania beta wywołany odbiciem od podłoża.

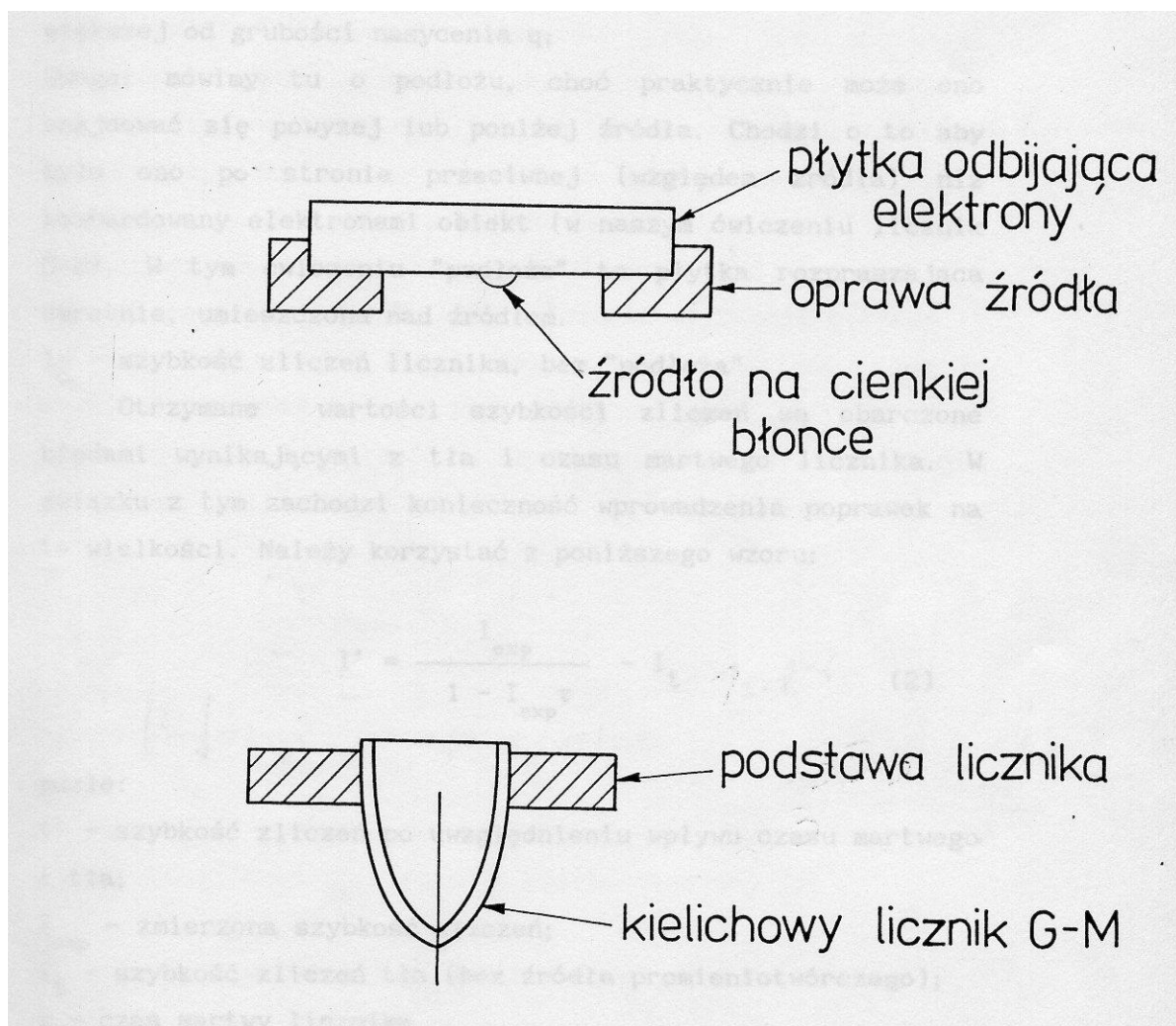
Elektrony, które doznały rozproszenia zwrotnego mają różne energie, ale na ogół są to energie tego samego rzędu co energia elektronów pierwotnych.

Pomiar rozproszenia zwrotnego może służyć do pomiaru grubości różnych warstw. Zależność rozproszenia zwrotnego od średniej liczby porządkowej substancji rozpraszającej może być wykorzystana do analizy mieszanin zawierających dwa składniki. Pomiar ten może też służyć do oznaczania stężenia substancji o dużej liczbie porządkowej w roztworach.

Cel doświadczenia

Celem ćwiczenia jest eksperymentalne wyznaczenie współczynnika rozproszenia zwrotnego q_{zwr} , przy grubości podłoża odpowiadającej nasyceniu, w funkcji liczby atomowej Z dla ustalonych beta - promieniotwórczych pierwiastków i zadanej geometrii pomiaru. Należy zwrócić uwagę na to, że ze względu na skończone rozmiary detektora nie zostaną zarejestrowane wszystkie odbite (rozproszone zwrotnie) elektrony.

W ćwiczeniu zastosowano kielichowy licznik Geigera-Miüllera w połączeniu z odpowiednim układem elektronicznym rejestrującym impulsy z tego licznika. Geometria układu pomiarowego: licznik - źródło - płytka rozpraszająca jest pokazana na poniższym rysunku.



Technika pomiarów:

1. Zapoznać się z układem pomiarowym i uruchomić go w obecności prowadzącego ćwiczenia.
2. Zmierzyć tło licznika (szybkość zliczeń bez źródła promieniotwórczego). Pomiar powinien trwać co najmniej 5-6 .minut, można przeprowadzić kilka pomiarów po 2 minuty.
3. Umieścić źródło w nieobecności płytek rozpraszających, w takiej odległości od licznika, aby szybkość zliczeń I^0 wynosiła 5000/min. Zmierzyć I_0 z dokładnością ok. 1%
4. Umieszczając bezpośrednio nad źródłem płytki rozpraszające (uwaga - nie zmienić geometrii układu przy zmianach płytek rozpraszających) zmierzyć szybkość zliczeń dla podłoży o różnych liczbach atomowych Z. Dokładność pomiaru ok. 1%.
5. Powyższe czynności powtórzyć, w analogicznych warunkach, dla innych źródeł. Rodzaj źródeł określa Opiekun Pracowni.
6. Dla jednej, wybranej płytki rozpraszającej przeprowadzić pomiary mające na celu ustalenie wpływu odległości między preparatem a licznikiem na współczynnik rozpraszania zwrotnego, a

mianowicie zmierzyć szybkość zliczeń dla 3-ch różnych odległości.

Opracowanie wyników:

1. W pierwszym przybliżeniu eksperymentalny współczynnik rozproszenia zwrotnego można wyrazić następującą formułą:

$$1. \quad q_{zwr} = \frac{I_z}{I_0} - 1,$$

gdzie:

I_z - szybkość zliczeń w przypadku źródła umieszczonego na "odbijającym" podłożu o liczbie atomowej Z i grubości większej od grubości nasycenia q ; Uwaga: mówimy tu o podłożu, choć praktycznie może ono znajdować się powyżej lub poniżej źródła. Chodzi o to aby było ono po stronie przeciwnej (względem źródła) niż bombardowany elektronami obiekt (w naszym ćwiczeniu licznik G-M) . W tym ćwiczeniu "podłoże" to płytka rozpraszająca zwrotnie, umieszczona nad źródłem.

I_0 - szybkość zliczeń licznika, bez "podłoża".

Otrzymane wartości szybkości zliczeń są obarczone niepewnościami pomiarowymi wynikającymi z tła i czasu martwego licznika. W związku z tym zachodzi konieczność wprowadzenia poprawek na te wielkości. Należy korzystać z poniższego wzoru: gdzie:

$$2. \quad I' = \frac{I_{exp}}{1 - I_{exp}\tau} - I_t,$$

gdzie:

I' - szybkość zliczeń po uwzględnieniu wpływu czasu martwego i tła;

I_{exp} - zmierzona szybkość zliczeń;

I_t - szybkość zliczeń tła (bez źródła promieniotwórczego);

τ - czas martwy licznika.

W związku z powyższym wzór (2) na eksperymentalny współczynnik rozpraszania zwrotnego przedstawia się następująco:

$$3. \quad q'_{zwr} = \frac{I'_z}{I'_0} - 1$$

gdzie:

I'_z – szybkość zliczeń przy danym Z (po uwzględnieniu wpływu czasu martwego i tła)

W wyznaczonym jak wyżej, t. j. z zastosowaniem wzoru (3) eksperymentalnym współczynniku rozpraszania zwrotnego nie uwzględniono możliwości wnikania do licznika tych elektronów, które w nieobecności płytki rozpraszającej mogły być "odbite" od górnej części obudowy ołowianej. Zjawisko to ma miejsce, gdy odległość między źródłem a tą częścią obudowy jest mniejsza niż 30-40 mm a możliwość zaistnienia tak małej odległości może być z kolei spowodowana koniecznością uzyskania żądanej szybkości zliczeń (I_0 - ok. 5000/min – chodzi o odsuwanie źródła od licznika).

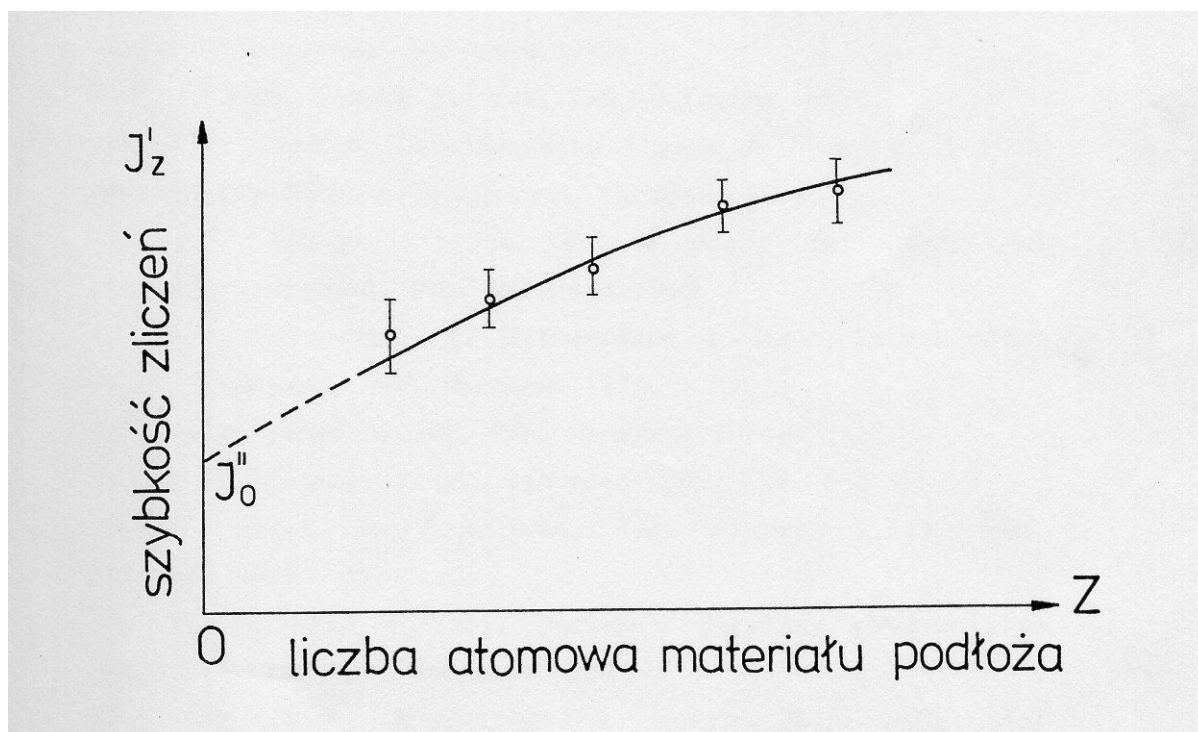
W tym przypadku musimy wprowadzić jeszcze jedną poprawkę polegającą na zastąpieniu we wzorze (3) I'_0 przez I''_0 , które uzyskujemy na drodze ekstrapolacji do $Z = 0$

wartości I'_z . Należy przedstawić graficznie zależność szybkości zliczeń I'_z od liczby atomowej Z dla każdego źródła i ekstrapolując ją do $Z = 0$ odczytać szukaną wartość I_0'' .

Kończącą wartość współczynnika rozpraszania zwrotnego, obliczamy w tym przypadku wg następującego wzoru:

$$4. \quad q_{zwr} = \frac{I'_z}{I_0''} - 1.$$

Sposób określenia I_0'' ilustruje poniższy rysunek:



2. Kierując się powyższymi wskazówkami wykreślić:

- krzywe szybkości zliczeń I'_z w funkcji liczby atomowej Z ,
- zależność q'_{zwr} od liczby atomowej Z (wzór 3),
- zależność q_{zwr} od liczby atomowej Z (wzór 4),
- zależność q'_{zwr} od odległości h źródła od licznika (wzór 3).

3. Wyniki pomiarów, kolejne przeliczenia i wnioski przedstawić w odpowiednich tabelach. Obliczyć niepewności pomiarowe i nanieść je na wykresy.