

Ćwiczenie nr 4

Wyznaczanie energii cząstek alfa metodą emulsji jądrowych.



Student winien wykazać się znajomością następujących zagadnień:

1. Promieniotwórczość α .
2. Energia, prędkość i zasięg cząstek α .
3. Oddziaływanie promieniowania α z materią.
4. Emulsja jądrowa jako detektor cząstek naładowanych; różnice między emulsją jądrową a fotograficzną.

Pomoc merytoryczna do opracowania wyników:

Energia cząstek alfa zawiera się w przedziale **3 - 11** [MeV].

Promieniowanie alfa może oddziaływać elektrycznie z atomami materii przez którą przechodzi. To oddziaływanie prowadzi do strat energii cząstki alfa. Straty te zachodzą w procesie jonizacji, wzbudzenia, rozproszenia na atomach i w reakcjach jądrowych. Dla cząstek alfa emitowanych przez źródła naturalnie promieniotwórcze, w procesie strat energii dominuje jonizacja; inne procesy zachodzą rzadko.

Jedną z najważniejszych metod badania promieniowania jądrowego jest **metoda emulsji jądrowych (rodzaj emulsji fotograficznej)**. Jeżeli jonizująca cząstka o dużej energii przejdzie przez odpowiednią emulsję fotograficzną, to na skutek jonizacji w ziarnach emulsji powstaje utajony obraz śladu cząstki. Po odpowiedniej obróbce fotochemicznej ujawniają się one w postaci zaczernionych ziaren emulsji. Jest to szczególnie korzystna metoda dla cząstek, które posiadają wielką radiacyjną aktywność chemiczną, co ogromnie ułatwia ich wykrywanie mimo niewielkiego zasięgu tych cząstek w emulsji fotograficznej. Należy podkreślić, że liczba ziaren emulsji fotograficznej zaczernianych wzdłuż linii zasięgu cząstki alfa jest o kilka rzędów mniejsza od liczby par jonów wytworzonych zwykle przez tę cząstkę.

W przypadku cząstek alfa większość z nich zachowuje prostoliniowy charakter ruchu wzdłuż całego zasięgu, ponieważ straty energii, towarzyszące współdziałaniu cząstek z elektronami środowiska pochłaniającego, zachodzą niewielkimi porcjami i nie powodują odchyłeń. W rzadkich przypadkach, kiedy cząstka alfa (w przybliżeniu jedna na 10000), w czasie ruchu przechodzi blisko jądra atomowego, zostaje ona znacznie odchylona lub nawet odrzucona w kierunku przeciwnym przez pole elektryczne jądra. Odkrycie tego zjawiska przez Geigera i Marsdena stało się podstawą opracowania przez Rutherforda planetarnego modelu atomu.

W przypadku naszego doświadczenia emulsja czuła na cząstki alfa była zanurzona w 0,1% roztworze azotanu toru na tyle długo, że została odpowiednio nasycona, po wyjęciu suszona i po pewnym czasie uwarunkowanym okresami półtrwania odpowiednich jąder toru, które przy swoich przemianach emitują cząstki alfa, wywołana przez odpowiednią procedurę fotochemiczną. Spowodowało to powstanie w niej śladów cząstek alfa w postaci niesymetrycznych gwiazd (miotalek). Takie usytuowanie cząstek alfa związane jest z tym, że cząstki alfa pochodzące z kolejnych rozpadów jąder pochodnych toru praktycznie wyrzucane są w tym samym punkcie. Wprawdzie w chwili wyrzucenia cząstki alfa jądro końcowe ulega odrzutowi, ale ze względu na dużą różnicę mas jądra końcowego i cząstki alfa, odrzut nie jest obserwowalny. To właśnie sprawia, że ślady cząstek, emitowanych w sukcesywnych rozpadach pochodnych tego samego jądra, rozpoczynają się w tym samym punkcie. Oczywiście długość pojedynczego śladu jest zależna od energii.

Przydatne wzory:

Zależność między energią a zasięgiem cząstek alfa w powietrzu:

$$R_0 = k E^{3/2},$$

gdzie:

R_0 – wielkość zasięgu [cm],

E – energia cząstki [MeV],

k – współczynnik proporcjonalności (0,318 [MeV^{-3/2} cm]).

Miedzy zasięgiem i prędkością początkową cząstki istnieje określona empirycznie przez Geigera (dla warunków normalnych, w powietrzu, przy 0° C), zależność:

$$R_0 = k v_0^3,$$

gdzie:

v_0 – prędkość cząstki [cm/sek.],

R_0 – zasięg [cm],

k – stała (9,67 · 10⁻²⁸ [s³cm⁻²]).

Średni zasięg R_d w innych ośrodkach można wyznaczyć w sposób przybliżony (± 15%) korzystając z empirycznej formuły Bragga-Kleemana:

$$R_d = 0,0003 \frac{R_0}{\rho} A^{1/2},$$

gdzie:

A – ciężar atomowy substancji,

R_d – zasięg cząstki alfa w danym ośrodku,

R_0 – zasięg cząstki alfa w powietrzu,

ρ – gęstość ośrodka.

Dla typowej emulsji jądrowej:

$$E = k R^{2/3},$$

gdzie:

E – energia [MeV],

k – stała (0,28 [μm^{-2/3} MeV]),

R – zasięg [μm].

2. Cel doświadczenia:

Celem doświadczenia jest wyznaczenie energii cząstek alfa poprzez pomiar ich zasięgu w emulsji jądrowej, przygotowanej wcześniej, zgodnie z podanym opisem. Obserwacje prowadzi się albo poprzez mikroskop, albo poprzez mikroskop sprzężony z kamerą telewizyjną i monitorem.

3. Technika pomiarów.

- a) Uruchomić zestaw doświadczalny w obecności prowadzącego.
- b) Ustawić preparat w polu widzenia mikroskopu lub kamery (w zależności od układu doświadczalnego) tak, żeby uzyskać ostry obraz śladów cząstek alfa.
- c) Przy pomocy podziałki znajdującej się na okularze mikroskopu lub miarki (w przypadku monitora) odczytać nie mniej niż 200 długości śladów cząstek alfa z uwidocznionych gwiazdek. Wartości długości śladów wyrażamy w działkach. Pomiary przeprowadzamy z dokładnością do jednej działki skali naniesionej na okular mikroskopu lub miarki.
- d) UWAGA: regulacja ostrości obrazu śladów wymaga bardzo dużej ostrożności w kręceniu pokrętkami, należy uważać, żeby nie zmiażdżyć próbki. W celu uzyskania najlepszego obrazu korzystamy z olejku imerysznego, dołączonego do zestawu. Olejek nakładamy, w bardzo małej ilości, na powierzchnię próbki. Okular winien dotykać powierzchni olejku, a nie próbki, wręcz podnosić lekko do góry tę powierzchnię.

Tabela pomiarów:

Numer pomiaru	Długość śladu w działkach

4. Opracowanie wyników.

I. Na podstawie pomiarów sporządzić następujące wykresy:

- a) Krzywą absorpcji cząstek alfa w emulsji $N' = N(R)$; na osi odciętych odłożyć zasięg R , na osi rzędnych N' – względną liczbę cząstek alfa posiadających zasięg równy lub większy od wybranego kolejno R .

UWAGA:

W ćwiczeniu mierzone są nie bezpośrednio długości śladów, lecz długości ich obrazów. Z uwagi na to, że przy opracowaniu w grę wchodzi relacje między tymi długościami można formalnie traktować odczytane długości jako zasięgi.

$$N' = \frac{N_R}{N},$$

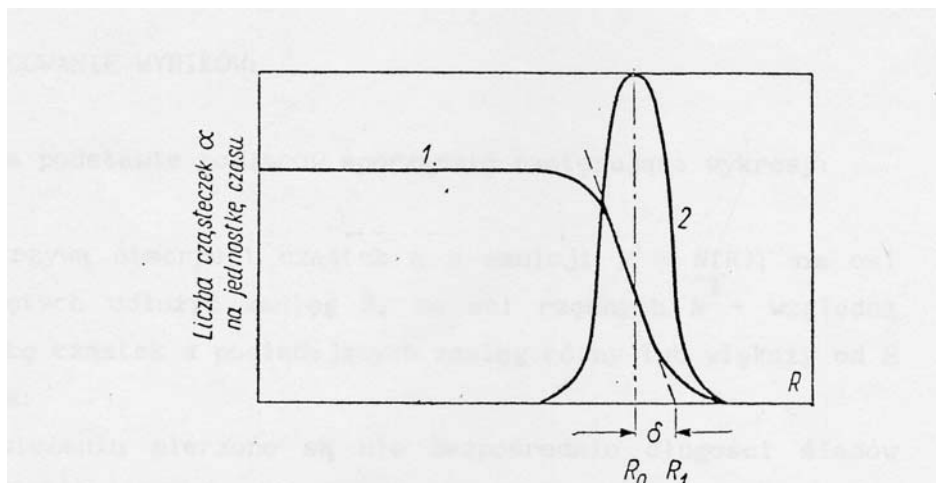
gdzie:

N_R – liczba cząstek o zasięgu równym lub większym od wybranego kolejno R ,

N – całkowita liczba przebadanych cząstek.

Tabela do sporządzenia krzywej absorpcji:

Lp.	R [działki]	N_R	$N' = N_R/N$



Przykładowe krzywe zasięgów cząstek alfa:

1 – krzywa całkowita; 2 – krzywa różniczkowa; R – odległość od źródła; R_0 – zasięg średni, R_1 – zasięg ekstrapolowany.

b) Rozkład $f(R)$ cząstek alfa ze względu na ich zasięg R (histogram) tzn. na osi odciętych odłożyć zasięg R , na osi rzędnych względną liczbę cząstek alfa przypadających na jednostkowy przedział zasięgu t.j. teoretycznie wielkość:

$$f(R) = \frac{dN'}{dR},$$

gdzie:

dN' – względna liczba śladów z przedziału $R, R + dR$.

W praktyce sporządzamy tzw. **histogram**, dzieląc oś R na przedziały

$$R_i - (1/2)\Delta R, R_i + (1/2)\Delta R.$$

(R_i oznacza długość zasięgu przypadającego na i -tą działkę skali)
i kładąc dla całego przedziału :

$$f(R_i) = \frac{\Delta N_{R_i}}{N\Delta R},$$

gdzie:

ΔN_{R_i} – oznacza liczbę śladów, których długości mieściły się w przedziale

$$R_i - (1/2)\Delta R, R_i + (1/2)\Delta R, \text{ a } \Delta R = 2 \text{ działki.}$$

Oczywiście, stosownie do sposobu odczytu długości śladów, w naszym przypadku, wszystkie ślady z długościami z przedziału $R_i \pm (1/2)\Delta R$ są zapisane jako mające długość R_i .

Rozkład uzyskany z pomiarów zasięgów cząstek alfa o kilku skwantowanych wartościach energii powinien posiadać maxima odpowiadające tym energiom.

UWAGA:

Oba wykonane powyżej wykresy powinny być ze sobą skorelowane, nawet dobrze byłoby wykonać je na jednej i tej samej kartce, w celu porównania uzyskanych wyników (należy w tym celu pamiętać o odpowiednim doborze skali osi odciętych).

Tabela do sporządzenia histogramu zasięgów cząstek alfa $f(R)$:

R [działki]	$f(R) = N(R - (1/2)\Delta R) - N(R + (1/2)\Delta R)$

II. Zakładając liniową zależność między R a energią E (co można uczynić z dobrym przybliżeniem w naszym przedziale energii) i przypisując położeniu R_m najbardziej na prawo położonego maksimum energię $E = 8,776$ MeV (cząstki alfa emitowane przez ThC') wyznaczyć energię dla pozostałych maksimumów.

III. Porównać otrzymane wyniki z podanymi poniżej katalogowymi wartościami energii:

Nuklid	Okres półtrwania	Energia cząstek α [MeV]
Th / $_{90}\text{Th}^{232}$ /	$1,39 \cdot 10^{10}$ lat	4,00
MsTh ₂ / $_{89}\text{Ac}^{228}$ /	6,13 godzin	4,54
RdTh / $_{90}\text{Th}^{228}$ /	1,90 lat	5,42
ThX / $_{88}\text{Ra}^{224}$ /	3,64 dni	5,68
Tn / $_{86}\text{Rn}^{220}$ /	51,5 sekund	6,28
ThA / $_{84}\text{Po}^{216}$ /	0,158 sekund	6,77
ThC / $_{83}\text{Bi}^{212}$ /	60,5 minut	6,09
ThC' / $_{84}\text{Po}^{212}$ /	$3 \cdot 10^{-7}$ sekund	8,78

Gwiazdy pochodzą z sukcesywnych rozpadów α - aktywnych krótkożyjących członów szeregu:

gwiazdy 5 - ramienne pochodzą z rozpadów:

RdTh, ThX, Th, ThA, ThC, ThC';

gwiazdy 4 - ramienne:

RdTh, ThX, Th, ThA lub ThX, Tn, ThC, ThC';

gwiazdy 3 - ramienne:

ThX, Tn, ThA lub Th, ThA, ThX, ThC'.

Numer maksimum	E [MeV] zmierzone	E [MeV] katalogowe