

Wyznaczanie okresu półrozpadu krótkożyciowych izotopów wytworzonych w procesie aktywacji neutronami

I. Zagadnienia

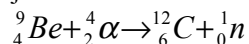
1. Ogólne prawa rozpadu promieniotwórczego (aktywność, stała rozpadu, okres półrozpadu, średni czas życia).
2. Własności promieniowania β , γ i neutronów.
3. Reakcje jądrowe. Charakterystyka ogólna (prawa zachowania w reakcjach jądrowych), typy reakcji ze szczególnym uwzględnieniem wychwytu radiacyjnego neutronów.
4. Neutronowa analiza aktywacyjna.
5. Detekcja promieniowania β i γ . Licznik Geigera-Müllera.
6. Znajomość przebiegu ćwiczenia i sposobu opracowania wyników pomiaru.

II. Wstęp teoretyczny

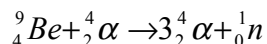
W 1932 r. Chadwick odkrył neutron i wyznaczył jego masę. Neutron jest cząstką o zerowym ładunku, połówkowym spinie i ujemnym momencie magnetycznym. Masa neutronu wynosi $m_n = 1,00867 \text{ j.m.a} = 939,6 [\text{MeV}] = 1838,6 m_e$.

Najważniejszą reakcją, będącą źródłem neutronów jest reakcja (α, n) . Ta właśnie reakcja ma miejsce w najbardziej typowych źródłach neutronów, jakimi są źródła Ra – Be lub Po – Be.

Źródło Ra – Be jest mieszkanką sproszkowanego berylu i soli radu. Podczas rozpadu radu emitowane są cząstki α , które bombardując jądra berylu prowadzą do emisji neutronów:



lub



Rad emituje również promienie γ , dlatego oprócz reakcji ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$ ma miejsce również reakcja ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$. Podobnym źródłem jest źródło Po – Be, którego zaletą jest to, że występuje tu dużo mniejsze natężenie promieni γ , natomiast wadą to, że polon ma dużo krótszy czas połowicznego zaniku niż rad i jest mniej wydajne.

Neutron jest cząstką elektrycznie obojętną, dlatego łatwo przenika w głąb jądra, gdyż nie doznaje odpychania kulombowskiego. W wyniku działania neutronów mogą zachodzić reakcje typu:

- a) (n, n) – rozpraszanie sprężyste neutronów,
- b) (n, n') – rozpraszanie niesprężyste neutronów,
- c) (n, γ) – radiacyjny wychwyt neutronów,
- d) (n, p) – reakcje z produkcją protonów,
- e) (n, α) – reakcje z produkcją cząstek α ,
- f) (n, np) lub $(n, 2n)$ – reakcje z produkcją większej liczby nukleonów.

Wynikiem oddziaływania neutronów z materią jest też często powstawanie nowych izotopów promieniotwórczych – tzw. sztuczna promieniotwórczość. Jeżeli próbka pochłania neutrony z szybkością $R_0 [s^{-1}]$ i powstaje jądro promieniotwórcze o średnim czasie życia τ , szybkość zmiany liczebności populacji wynosi

$$\frac{dN}{dt} = R_0 - \lambda N. \quad (2.1)$$

Jeżeli w momencie rozpoczęcia aktywacji próbka nie zawierała jąder promieniotwórczych, to liczba tych jąder po czasie aktywacji t_n wynosi:

$$N(t_n) = R_0(1 - e^{-\lambda t_n})/\lambda = N_0(1 - e^{-\lambda t_n}), \quad (2.2)$$

gdzie N_0 – maksymalna liczba jąder promieniotwórczych, jaka może zostać wytworzona w procesie aktywacji.

Liczba jąder promieniotwórczych w funkcji czasu upływającego od momentu przzerwania aktywacji wynosi:

$$N(t) = N_0(1 - e^{-\lambda t})e^{-\lambda t}. \quad (2.3)$$

Aktywność próbki wynosi zatem:

$$I_R(t) = \lambda N(t) = N_0(1 - e^{-\lambda t})\lambda e^{-\lambda t}. \quad (2.4)$$

Przy dostatecznie długim czasie aktywacji $t_n > 4\tau \approx 6T_{1/2}$ aktywność ta wynosi:

$$I_R(t) = R_0 e^{-\lambda t} = N_0 \lambda e^{-\lambda t}. \quad (2.5)$$

Szybkość aktywacji można wyrazić wzorem: $R_0 = v n_j V \sigma_a$, gdzie v - natężenie strumienia neutronów, n_j - liczba jąder w jednostce objętości próbki, V - objętość próbki, σ_a - przekrój czynny na aktywację. Jeśli próbka ma postać płytki o grubości x i polu powierzchni S , to szybkość aktywacji: $R_0 = v n_j S x \sigma_a$.

Natężenie strumienia neutronów wynosi: $v = n_n \langle v_n \rangle$, gdzie n_n - liczba neutronów w jednostce objętości, $\langle v_n \rangle$ - średnia prędkość neutronów. Zatem

$$R_0 = n_n \langle v_n \rangle n_j V \sigma_a = B \langle \sigma_a \rangle. \quad (2.6)$$

gdzie B jest stałą.

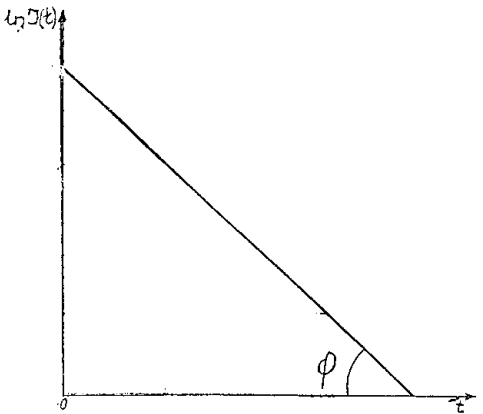
Aktywność próbki można wyrazić wzorem:

$$I_p(t) = I_{p0} \exp(-\lambda t) = I_{p0} \exp\left(-t \ln 2 / T_{1/2}\right), \quad (2.7)$$

gdzie I_{p0} - aktywność próbki w chwili zakończenia aktywacji.

Jeśli $t_n > 6T_{1/2}$, to $I_{p0} = R_0$, a szybkość zliczeń $I(t) = I_0 \exp(-\lambda t) = I_0 \exp(-t \ln 2 / T_{1/2})$, ($I_0 \sim I_{p0}$). Mierząc szybkość zliczeń można wyznaczyć stałą rozpadu λ ιζοτοπιυ ποωστωαζεγω ω ωψνικυ ακτωωαχφι.

Stałą rozpadu λ można odczytać z wykresu, gdyż $\lambda = \text{tg } \phi$. Tak więc można wyznaczyć również okres połowicznego zaniku, który wynosi $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$.



Rys. 1. Krzywa zaniku szybkości zliczeń w czasie.

Przedstawioną na wykresie (rys. 1) zależność otrzymujemy jedynie wtedy gdy w procesie aktywacji powstają jądra tylko jednego rodzaju. Może się jednak zdarzyć, że po aktywacji próbka będzie zawierać różne jądra, jądra w różnych stanach wzbudzenia lub jądra dające początek rodzinom promieniotwórczym.

Jeżeli podczas procesu aktywacji powstaje n_1 jąder pierwszego i n_2 jąder drugiego rodzaju, to $n_1 = a_1 n_j$, a $n_2 = a_2 n_j$, gdzie n_j - liczba jąder biorących udział w aktywacji, a_1 i a_2 - współczynniki.

Dla długiego czasu aktywacji szybkości aktywacji obu rodzajów jąder wynoszą:

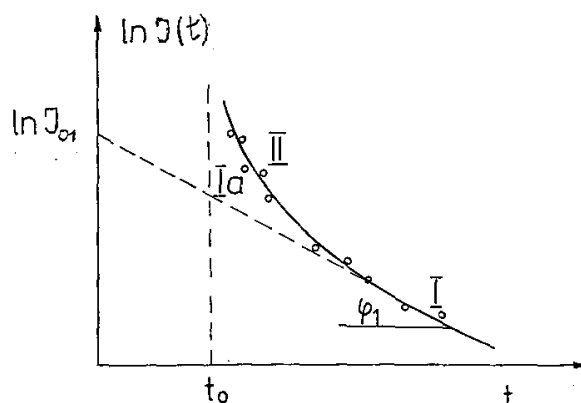
$$R_{01} = a_1 B \langle \sigma_{a1} \rangle = N_{01} \lambda_1,$$

$$R_{02} = a_2 B \langle \sigma_{a2} \rangle = N_{02} \lambda_2,$$

gdzie $\langle \sigma_{a1} \rangle$ i $\langle \sigma_{a2} \rangle$ - średnie przekroje czynne na wychwyty neutronu dla obu typów jąder.

Aktywność próbki wynosi:

$$I_p(t) = N_{01} \lambda_1 \exp(-\lambda_1 t) + N_{02} \lambda_2 \exp(-\lambda_2 t). \quad (2.8)$$



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie krzywej zaniku będącej sumą dwu eksponent.

Z rys. 2 można odczytać wartość $\ln I_{01}$ oraz $\lambda_1 = \text{tg } \varphi_1$, a więc i półokres rozpadu $(T_{1/2})_1 = \ln 2 / \lambda_1$. Znając powyższe wartości można obliczyć $I_2(t) = I(t) - I_{01} \exp(-\lambda_1 t)$. Wykreślając powyższą krzywą oblicza się I_{02} i λ_2 .

III. Część doświadczalna

A. Wyposażenie ćwiczenia:

1. Pojemnik ze źródłem neutronowym Am o wydajności $10^6 \text{ neutr/s} \cdot \text{steradian}$, zawierający dwa kanały, w których naświetla się badane próbki strumieniem neutronów,
2. Zestaw detekcyjny, w skład którego wchodzi:
 - a) licznik G–M umieszczony w ołowianym domku pomiarowym
 - b) wzmacniacz impulsów (Wz)
 - c) zestaw komputerowy z kartą do sterowania pomiarami i zliczania impulsów.
3. Prostokątne płytki z miedzi i srebra.

B. Wykonanie ćwiczenia

1. Aktywacja próbek
 - a) do odpowiedniego kanału pojemnika zawierającego źródło neutronów wsunąć próbkę miedzi (srebra) umieszczając je w odpowiednim uchwycie,
 - b) naświetlać próbkę przez czas t_n równy co najmniej sześciu okresom półrozpadu ($t_n \geq 6T_{1/2}$) izotopu powstałego w wyniku aktywacji. Informacje o okresach półrozpadu aktywowanych izotopów znaleźć można w literaturze załączonej do instrukcji ćwiczenia lub u prowadzącego zajęcia. Dobry czas naświetlania należy skonsultować z prowadzącym zajęcia.
2. Pomiar zaniku aktywności.
 - a) po aktywacji próbkę bezpośrednio umieścić w domku ołowianym z licznikiem G–M. (Schładzanie próbki jest konieczne gdy chcemy wyznaczyć okres półrozpadu izotopu o dłuższym okresie półrozpadu. Czas schładzania dobrać kierując się zależnością $t_s \geq 6T_{1/2k}$, gdzie $T_{1/2k}$ jest okresem półrozpadu izotopu krótkożyciowego).
 - b) Przed rozpoczęciem zliczania impulsów (akwizycji) używając stosownego programu „WOPKIWI” określić czas pomiarów pojedynczego punktu, kierując się tym, aby w czasie pomiarów dla danej

- próbki równym $15T_{1/2}$ uzyskać co najmniej 20 punktów pomiarowych. Pomiar przeprowadzić dla każdej próbki. Po zakończeniu pomiarów próbkę umieścić w domku ołowianym na próbki,
- c) Uruchomić aktywację bezpośrednio (lub po czasie schładzania – t_s). Schładzanie [.....]

C. Opracowanie wyników.

Wyniki pomiarów opracować przy użyciu programu „WOPKIW2”, zgodnie z instrukcją załączoną do ćwiczenia. Wyniki po opracowaniu zapisać na dyskietkę, a po wydrukowaniu załączyć do sprawozdania.

IV. Literatura

1. K. Małuszyńska, M. Przytuła, „Laboratorium fizyki jądrowej” [PWN, Łódź 1969];
2. T. Hilczer, „Ćwiczenia z fizyki jądrowej” [UAM, Poznań 1975];
3. William J. Price, „Detekcja promieniowania jądrowego” [PWT, Warszawa 1960];
4. Sz. Szczeniowski, cz. VI, „Fizyka doświadczalna. Fizyka jądra i cząstek elementarnych” [PWN, Warszawa 1974];
5. A. Strzałkowski, „Wstęp do fizyki jądra atomowego” [PWN, Warszawa 1969];
6. J. M. Massalski, „Detekcja promieniowania jądrowego”, [PWN, Warszawa 1959];