

Ćwiczenie 78

Pomiar współczynnika pochłaniania cząstek β w aluminium

1 Przebieg doświadczenia

1.1 Przyrządy pomiarowe

- Licznik Geigera-Müllera.

1.2 Wyniki pomiarów

W tabeli przedstawiono wyniki 3 serii pomiarowych dla każdej sytuacji pomiarowej (d – grubość pochłaniacza), ich średnie \bar{N} , średnie pomniejszone o średnie promieniowanie tła $\bar{N} - \bar{N}_t$, logarytmy tych ostatnich. Zaparafowana oryginalna tabela pomiarów – załączona.

| $d[\text{mm}]$ | N | | | \bar{N} | $\bar{N} - \bar{N}_t$ | $\ln(\bar{N} - \bar{N}_t)$ |
|----------------|--------|--------|--------|-----------|-----------------------|----------------------------|
| tło | 16 | 17 | 14 | 15,7 | – | – |
| 0,0 | 229579 | 229792 | 229779 | 229716,7 | 229701,0 | 12,345 |
| 0,1 | 219111 | 219381 | 218890 | 219127,3 | 219111,7 | 12,297 |
| 0,14 | 215899 | 216221 | 215917 | 216012,3 | 215996,7 | 12,283 |
| 0,3 | 201800 | 201251 | 201724 | 201591,7 | 201576,0 | 12,214 |
| 0,38 | 194156 | 194046 | 194861 | 194354,3 | 194338,7 | 12,177 |
| 0,52 | 180848 | 181007 | 180778 | 180877,7 | 180862,0 | 12,105 |
| 0,62 | 169249 | 169065 | 168852 | 169055,3 | 169039,7 | 12,038 |
| 0,72 | 158361 | 158086 | 158349 | 158265,3 | 158249,7 | 11,972 |
| 0,8 | 150606 | 151061 | 151112 | 150926,3 | 150910,7 | 11,924 |
| 0,9 | 139926 | 139667 | 139966 | 139853,0 | 139837,3 | 11,848 |
| 1,0 | 125742 | 125795 | 125299 | 125612,0 | 125596,3 | 11,741 |

Tabela 1: Pomiary doświadczalne i wyliczenia

1.3 Wyniki doświadczenia

Współczynnik liniowy pochłaniania dla aluminium $\mu = 577(26)[\text{m}^{-1}]$.

2 Opis doświadczenia

2.1 Opis teoretyczny

Mianem *promieniotwórczości* określa się szereg zjawisk, które wynikają z szeroko pojętej *aktywności jąder* – czyli stanu, gdy (pewne) jądra atomowe nie są stabilne, lecz samorzutnie przechodzą przemiany, niezależnie od przyczyn takiego stanu. Aktywność nie dotyczy wszystkich jąder, lecz tylko szczególnych izotopów – zwanych właśnie promieniotwórczymi. Najbardziej typowe (choć nie jedyne) przemiany promieniotwórcze, to *emisja alfa*, *beta*, oraz *gamma*. Pierwsza z nich, to wyrzucenie z jądra cząstki α , czyli jądra helu – dwa protony i dwa neutrony. Liczba masowa jądra zmniejsza się o cztery, atomowa – o dwa. Ostatnia z wymienionych przemian nie zmienia tych liczb – polega ona jedynie na emisji kwantu promieniowania elektromagnetycznego o wysokiej energii (cząstki γ), co wiąże się z przejściem jądra do stanu o niższej energii.

Wyróżniamy dwa typy emisji beta:



W pierwszym, bardziej typowym (emisja β^-), jeden z neutronów ulega rozpadowi na proton i elektron (cząstkę β^-), emitując przy tym energię i antyneutrino $\bar{\nu}$. W drugim (emisja β^+) proton (pochłaniając energię) rozpada się na neutron, pozyton (antyelektron) i antyneutrino.

Niezależnie od typu przemian, ilościowy opis promieniotwórczości jest taki sam. Jeśli oznaczymy przez N_0 początkową ilość atomów poddawanych pewnej przemianie, to po czasie t pozostanie tych atomów

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

gdzie *stała rozpadu* λ zależy od konkretnego izotopu. Wielkość $\lambda^{-1} = \tau$ nazywamy *średnim czasem życia atomu*. Często też posługujemy się terminem *czasu połowicznego rozpadu* T , po którym dokładnie połowa atomów znajduje się w początkowym stanie. Jak łatwo spostrzec, T spełnia następujące zależności:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}, \quad (4)$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2. \quad (5)$$

Każdy rodzaj promieniowania (w tym β) jest w pewnym stopniu pochłaniany przez materię. Do ilościowego opisu pochłaniania służy stała materiałowa – *współczynnik liniowy pochłaniania* μ . Jeśli J_0 to natężenie promieniowania padającego na pochłaniacz grubości d , to natężenie promieniowania przechodzącego przez pochłaniacz ma wartość

$$J = J_0 e^{-\mu d}. \quad (6)$$

Po zlogarytmowaniu stron otrzymujemy zależność liniową, której współczynniki znajdziemy używając regresji liniowej.

2.2 Opis układu doświadczalnego

Układ pomiarowy stanowi *licznik Geigera-Müllera*, typowy przyrząd do detekcji promieniowania. Typowy, prosty licznik Geigera składa się ze szklanego cylindra wypełnionego rozrzedzoną mieszaniną gazu szlachetnego i par alkoholu, w którym umieszcza się katodę o kształcie rury, i anodę o kształcie pręta w osi katody. Elektrody polaryzowane są stałym napięciem rzędu setek woltów. Jeśli przez cylinder przelatują cząstki (np. β), jonizują one gaz wzdłuż toru swego ruchu. To z kolei wywołuje jonizację lawinową, które wzbudza impuls prądu w obwodzie, w którym znajduje się jedna z okładek kondensatora. Druga połączona jest z przyrządem pomiarowym (np. emitera dźwięków lub elektronicznego układu liczącego). Od proporcji chemicznych gazów, ich ciśnienia, napięcia i oporu obwodu pierwotnego zależy *czas martwy licznika*, który potrzebny jest układowi do wygaszenia, przed odebraniem kolejnej cząstki.

Układ liczący połączony jest z zegarem, który automatycznie przerywa zliczanie po upływie żądanego czasu (tu 100s). Licznik umieszczony jest w ołowiowej obudowie, do której wstawia się źródło promieniowania i warstwy pochłaniacza. Wykonano po trzy pomiary ilości impulsów (którą dalej będziemy utożsamiać z natężeniem promieniowania) dla każdej z sytuacji: bez źródła (celem zmierzenia poziomu promieniowania tła, tj. kosmicznego i wnętrza ziemi), oraz ze źródłem przy następujących grubościach aluminiowego pochłaniacza – 0 (bez pochłaniacza), 0,1, 0,14, 0,3, 0,38, 0,52 (0,38 + 0,14), 0,62, 0,72 (0,62 + 0,1), 0,8, 0,9 (0,8 + 0,1), 1,0[mm].

3 Obliczenia

3.1 Opracowanie wyników

Współczynnik kierunkowy prostej regresji (wymiaru [mm⁻¹]) wyliczony programem Gnuplot wynosi

$$-\mu = -0,577. \quad (7)$$

3.2 Rachunek błędów

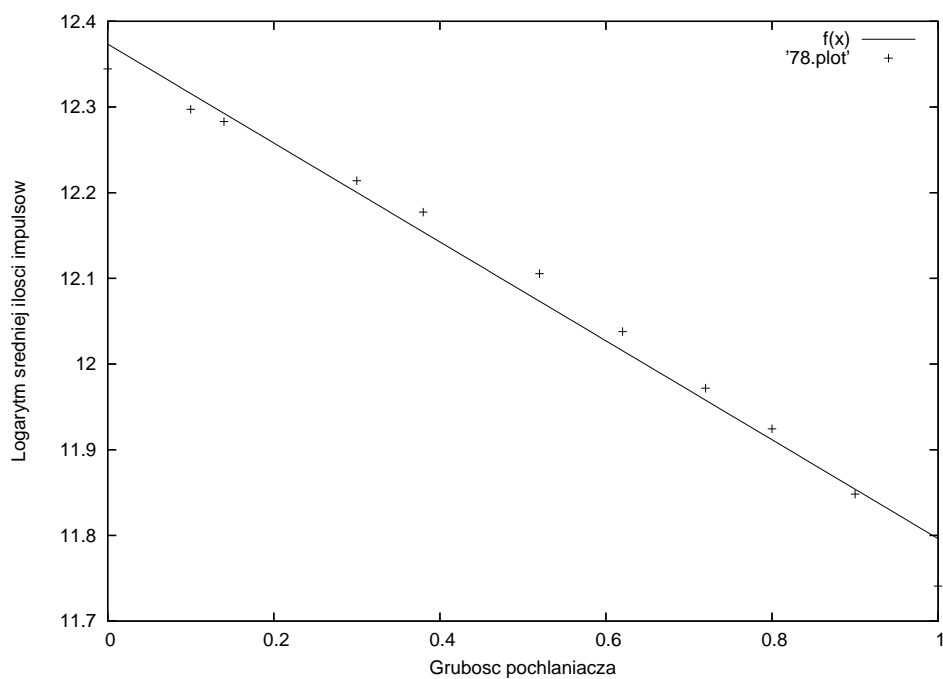
Niepewność współczynnika kierunkowego prostej wynosi

$$u(\mu) = 0,026[\text{mm}^{-1}]. \quad (8)$$

4 Wnioski

Na załączonym rysunku przedstawiono zależność $\ln(\bar{N} - \bar{N}_t)$ od grubości warstwy pochłaniającej. Zauważyć można, że pierwsze i ostatnie pomiary znajdują się poniżej prostej regresji, choć trudno wytłumaczyć ten fakt.

Na obniżenie jakości pomiarów miało wpływ mimowolne przesuwanie próbki radioaktywnej po półce przy wstawianiu pochłaniacza, a także niska jakość najcieńszego z pochłaniaczy – folia o grubości 0,1mm była częściowo pęknięta, co powinno zawyżyć pomiary dla tej wartości d , a także dla 0,72, 0,9mm.



Rysunek 1: Wykres zależności $(\ln(\bar{N} - \bar{N}_t))(d)$