

Kacper Kulczycki

Zadanie J

**Pomiary promieniowania jądrowego przy użyciu
licznika Geigera-Müllera**

Warszawa 2002

Wstęp

Celem tego doświadczenia było wyznaczenie maksymalnej energii promieniowania β emitowanego przez $^{137}_{55}\text{Cs}$, dokonanie pomiaru charakterystyki licznika Geigera-Mullera, oraz aktywności używanego źródła promieniowania.

Teoria

Badanym rozpadem promieniotwórczym był rozpad cezu opisywany równaniem:



$$I = \frac{N}{t} \quad \text{wz.2}$$

$$d_{\max} = 0,407 \cdot (E_{\max})^{1,38} \text{ g/cm}^2 \quad \text{dla} \quad 0,15 < E_{\max} < 0,8 \text{ MeV}, \quad \text{wz.3}$$

$$d_{\max} = 0,542 \cdot E_{\max} - 0,133 \text{ g/cm}^2 \quad \text{dla} \quad E_{\max} > 0,8 \text{ MeV}. \quad \text{wz.4}$$

$$I_0 = \frac{2I\sqrt{h^2 + r^2}}{\sqrt{h^2 + r^2} - h} = 2I \left(1 + \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2} - h} \right) \quad \text{wz.5}$$

$$I = \frac{N_{\text{całk}}}{T} - \frac{N_{\text{tło}}}{T'} \quad \text{wz.6}$$

$$\delta N = \sqrt{N} \quad \text{wz.7}$$

$$\delta I = \frac{\sqrt{N}}{T} \quad \text{wz.8}$$

Ostatni wzór obowiązuje przy założeniu, że błąd T jest mały w porównaniu do błędu N. W przypadku mojego doświadczenia tak właśnie jest.

gdzie:

I – intensywność

N – ilość rejestrowanych w czasie t cząsteczek promieniowania (β i γ),

t – czas rejestracji,

d_{\max} – grubości absorbentu

E_{\max} – energia maksymalna cząstek β

I_0 – szukana aktywność źródła

h – odległość okienka od źródła

r – promień okienka licznika

$N_{\text{całk}}$ – ilość cząsteczek rejestrowanych w czasie T

$N_{\text{tło}}$ – ilość cząsteczek rejestrowanych przez czas T'

T – czas rejestracji gdy źródło znajduje się w domku

T' – czas rejestracji po wyjęciu źródła

Przebieg doświadczenia

Promieniowanie β rejestrowane było za pomocą licznika Geigera-Müllera. Jego budowa uniemożliwia bezpośrednie zmierzenie energii wysyłanych przez źródło elektronów (nadaje się on tylko do zliczania cząstek). Ponadto źródło emituje także promieniowanie γ , które również jest rejestrowane przez licznik. Sposobem na odróżnienie promieniowania γ od promieni β i pomiar energii maksymalnej tych ostatnich jest pomiar absorpcji promieniowania w materii. Za rozpraszanie elektronów składających się na promienie β odpowiadają elektrony w atomach absorbentu. Można przyjąć, że liczba elektronów jest proporcjonalna do liczby masowej, ta zaś do masy absorbentu. Czyli liczba ośrodków rozpraszania w jednostce objętości jest proporcjonalna do gęstości materiału rozpraszającego. Jeżeli zatem pomiędzy źródłem a detektorem ustawiona zostanie przeszkoda to liczba elektronów, które zostaną zarejestrowane będzie proporcjonalna do gęstości materiału z jakiego wykonana jest przeszkoda oraz jej grubości.

Odległość jaką jest wstanie przebyć w absorbencie cząstka β zależy od jej energii. Maksymalnej energii odpowiada maksymalna odległość, zatem aby znaleźć wartość jednej z tych wielkości należy wyznaczyć drugą. Idea pomiaru maksymalnej odległości jest następująca. Dla różnych grubości d absorbentu mierzona jest intensywność. I powinno wykładniczo spadać wraz z grubością absorbentu, zatem przy wykreślaniu zależności $I(d)$ najwygodniejsza jest skala logarytmiczna. Dla pewnego d , które można uważać za d_{\max} , cząsteczki β nie będą już właściwie obserwowane, a licznik Geigera-Müllera rejestrować będzie jedynie promieniowanie γ (pochodzące ze źródła jak i z promieniowania kosmicznego). Na wykresie uwidoczni się to w ten sposób, że dla $d > d_{\max}$ punkty pomiarowe układają się będą na prostej o innym nachyleniu. Po znalezieniu d_{\max} można obliczyć E_{\max} korzystając ze wzorów empirycznych (wz.3 i 4).

Pozostaje jeszcze pomiar aktywności źródła. W tej części doświadczenia zakłada się, że źródło promieniuje izotropowo. Przy takim założeniu liczba cząstek, które są emitowane przez powierzchnię jest proporcjonalna do tej powierzchni.

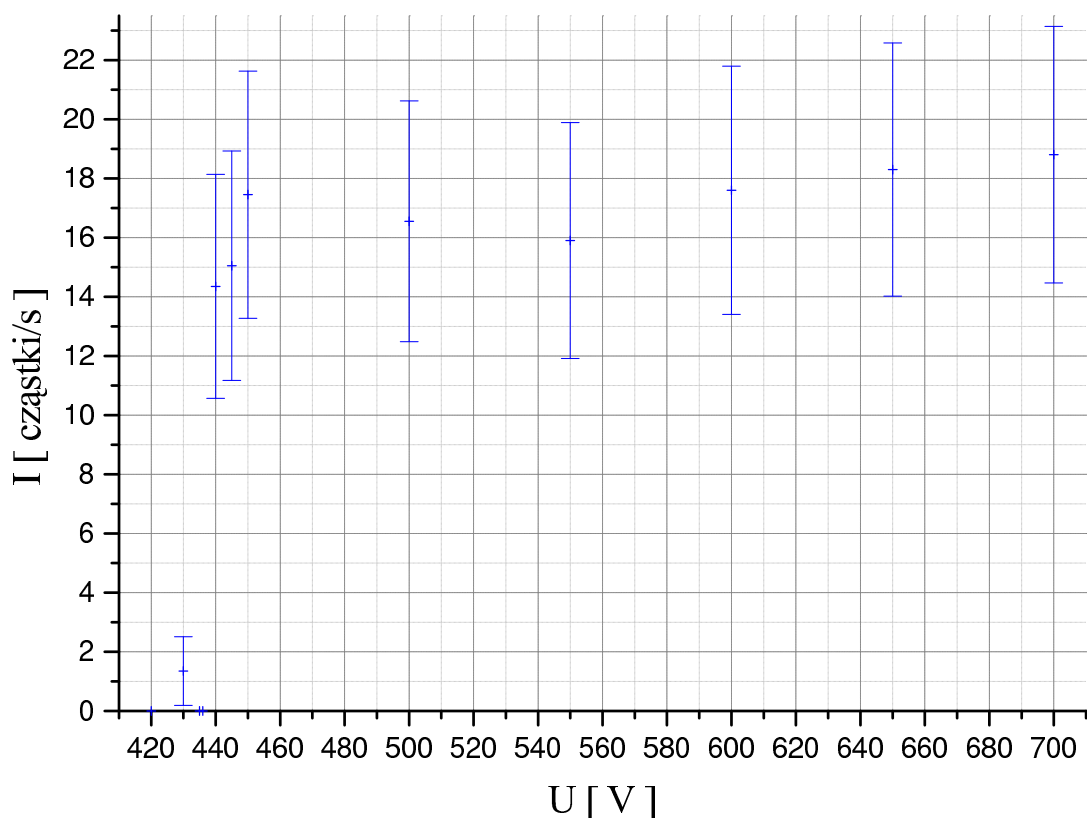
Czyli zostaje jedynie wyznaczyć I . W tym celu należy oddzielić promieniowanie pochodzące ze źródła od promieniowania tła. Wykonać należy, zatem dwa pomiary: ilość cząsteczek $N_{\text{całk}}$ rejestrowanych w czasie T , gdy źródło znajduje się w domku oraz ilość cząsteczek $N_{\text{tła}}$ rejestrowanych przez czas T' , po wyjęciu źródła.

Pomiar powyższych wielkości pozwala na wyznaczenie I_0 . Należy jeszcze zwrócić uwagę a sposób liczenia błędów takich wielkości jak N , czy I . N opisywane jest rozkładem Poissona, przy założeniu, że błąd T jest mały w porównaniu do błędu N . W przypadku tego doświadczenia tak właśnie jest.

Wyniki i wnioski

Charakterystykę licznika Geigera-Müllera (zależności mierzonego I od napięcia między anodą i katodą) przedstawia wykres 1.

Jak widać dla napięć mniejszych od około 440V nie obserwuje się w ogóle zliczeń, natomiast dla napięć większych I jest mniej więcej stałe. Gdyby zostały przebadane jeszcze większe napięcia zaobserwowano by zapewne, że dla odpowiednio wysokich napięć znowu następuje wzrost I . Oczywiście rzeczywista intensywność źródła nie zmienia się, lecz jest to efekt związany jedynie z budową licznika. Obszar napięć, dla których I jest stałe, nazywa się obszarem pracy licznika. Aby uzyskać wiarygodny pomiar należy wybrać napięcie właśnie z tego przedziału. Do dalszych pomiarów przyjęta została wartość napięcia **$U = 620 \text{ V}$** .



Wyk.1 Zależność intensywności zliczeń od przyłożonego napięcia.

Przy pomiarach d_{\max} jako absorbentu używano płytek aluminiowych. Gęstość aluminium wynosi $2,71\text{g/cm}^3$. Uwzględnić należy także absorpcje promieniowania przez powietrze, okienko licznika i szybkę przykrywającą. Wpływ szybki oszacowano na 6mg/cm^2 , a wpływ centymetrowej warstwy powietrza na $1,29\text{mg/cm}^2$. Odległość okienka od źródła licznika wynosi:

$h = 32,20 \pm 0,07 \text{ mm}$,

a jego promień:

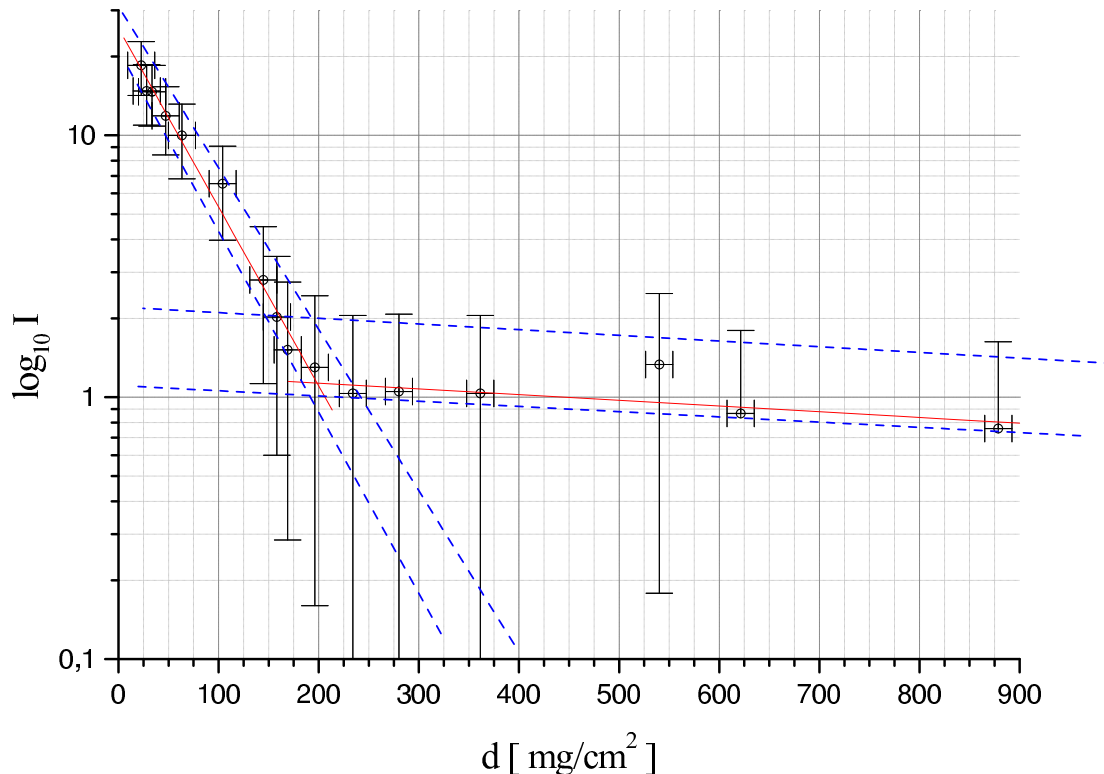
$r = 12,45 \pm 0,05 \text{ mm}$.

(brak kolimatora spowodował konieczność, pomiaru średnicy okienka bezpośrednio, co z kolei spowodowało przebicie okienka. Umożliwiło to jednak bardzo dokładne zmierzenie średnicy, a co za tym idzie promienia okienka)

Rezultaty pomiarów przedstawia wykres 2. Widać, że punkty układają się na dwóch prostych. Mniej więcej połowa punktów leży na prostej o dużym (ujemnym) współczynniku nachylenia, natomiast pozostałe układają się na prostej o mniejszym współczynniku nachylenia. Do obu grup punktów dopasowane zostały proste. Odcięta punktu przecięcia to właśnie d_{\max} . Aby odczytać błąd d_{\max} dorysowano do każdej prostej dwie proste pomocnicze (na rysunku zaznaczone linią przerywaną), które ograniczają z góry i z dołu wszystkie proste mieszczące się w granicach błędu pomiarowego. Cztery proste pomocnicze ograniczają na wykresie pewien obszar. Rzut tego obszaru na oś odciętych daje granicę błędu d_{\max} (jako

δd_{\max} przyjmuje się połowę długości tego rzutu). Odczytana z wykresu wartość maksymalnego zasięgu cząstek β wynosi:

$$\underline{d_{\max} = 199 \pm 46 \text{ mg/cm}^2.}$$



Wyk.2 wykres absorpcji β

Ze wzorów empirycznych obliczone E_{\max} (znaleziona wartość d_{\max} każe użyć trzeciego wzoru):

$$\underline{E_{\max} = 0,595 \pm 0,097 \text{ MeV.}}$$

Można porównać to z wartością przewidywaną teoretycznie. Rozpad ^{137}Cs zachodzi do stanu wzbudzonego ^{137}Ba o energii 0,661MeV. Masa atomu ^{137}Cs jest równa 136,907075u, a atomu ^{137}Ba 136,905816u. Biorąc, że $1u=931,494\text{MeV}/c^2$, gdzie c to prędkość światła, otrzymujemy, że różnica mas nuklidów odpowiada energii 1,17MeV. Po uwzględnieniu, że po rozpadzie atom ^{137}Ba znajduje się w stanie wzbudzonem otrzymujemy, że teoretyczna wartość E_{\max} jest równa 0,51MeV. Jak widać wartość ta leży w odległości mniejszej niż $0,75 \cdot \delta E_{\max}$ od wartości zmierzonej, zatem należy uznać, że w granicach błędu pomiarowego udało mi się potwierdzić przewidywania teoretyczne. Warto zauważyć, że wartość d_{\max} została wyznaczona z nienajlepszą dokładnością, co jest związane zarówno z metodą pomiaru (odczytywanie danych z wykresu), jak i błędami I (punkty pomiarowe są zbyt rozrzucone). Błąd d_{\max} przenosi się na błąd E_{\max} , który jest już całkiem spory, bo wynosi 16% wartości zmierzonej.

Aby zmierzyć aktywność źródła zmierzylem aktywność źródła wraz aktywnością tła oraz aktywność samego tła. Otrzymałem następujące wyniki:

$$\underline{N_{\text{tła}} = 40 \pm 6 \text{ zliczeń,}}$$

$$\underline{T' = 120,0 \pm 0,2 \text{ s.}}$$

$$\underline{N_{\text{całk}} = 11032 \pm 105 \text{ zliczeń,}}$$

$$\underline{T = 30 \pm 0,2 \text{ s,}}$$

czyli:

po wzięciu średniej z wyników dla kolejnych wysokości (po uwzględnieniu aktywności tła)

$$\underline{I_0 = 12700 \pm 134 \text{ rozpadów/s.}}$$

Ta wielkość wyznaczona jest z kolei z dosyć dużą dokładnością (rzędu 1%). Warto zwrócić uwagę, że jest to właściwie błąd pochodzący jedynie od błędu I

Na zakończenie można powiedzieć że, doświadczenie powiodło się , gdyż udało się wyznaczyć energię maksymalną promieniowania β wysyłanego w procesie rozpadu cezu 137. Otrzymana wartość zgadza się w granicach błędu pomiarowego z wartością przewidywaną teoretycznie. Udało się także określić z dość dużą dokładnością aktywność używanego źródła. Martwić może jedynie duży błąd wartości E_{max} . Jeżeli chciano by zmniejszyć jej niepewność to należałoby przeprowadzić większą liczbę pomiarów oraz wydłużyć czas pomiaru dla danej grubości absorbentu. Można by też zastanowić się nad ewentualną zmianą metody odczytu d_{max} z graficznej na bardziej dokładną.