

# LABORATORIUM PROMIENIOWANIE W MEDYCYNIE

Ćw. nr 6

---

Detekcja promieniowania gamma przy użyciu licznika  
Geigera-Müllera

---

Nazwisko i Imię:	...				
data:	...			ocena (teoria)	...
Grupa	...	Zespół	...	ocena końcowa	...

# 1 Cel ćwiczenia

Licznik Geigera-Müllera jest gazowym detektorem promieniowania  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ . Licznik G-M nie mierzy energii cząstek promieniowania a tylko zlicza te cząstki. Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i zasadą działania licznika G-M, wyznaczenie charakterystyki impulsowo-napięciowej licznika, określenie plateau licznika, optymalnego punktu pracy licznika, określenie wpływu czasu martwego licznika na wynik pomiaru oraz na szacowanie dawki promieniowania.

## 2 Zagadnienia teoretyczne (opracować, umieścić w sprawozdaniu)

Detektory gazowe, zjawisko jonizacji, komora jonizacyjna, licznik proporcjonalny, licznik G-M, budowa i działanie, napięcie progowe, charakterystyka napięciowo-prądowa licznika, plateau licznika, optymalny punkt pracy, obszar ciągłego wyładowania lawinowego, czas martwy licznika, dawka promieniowania.

## 3 Eksperyment

### 3.1 Opis eksperymentu

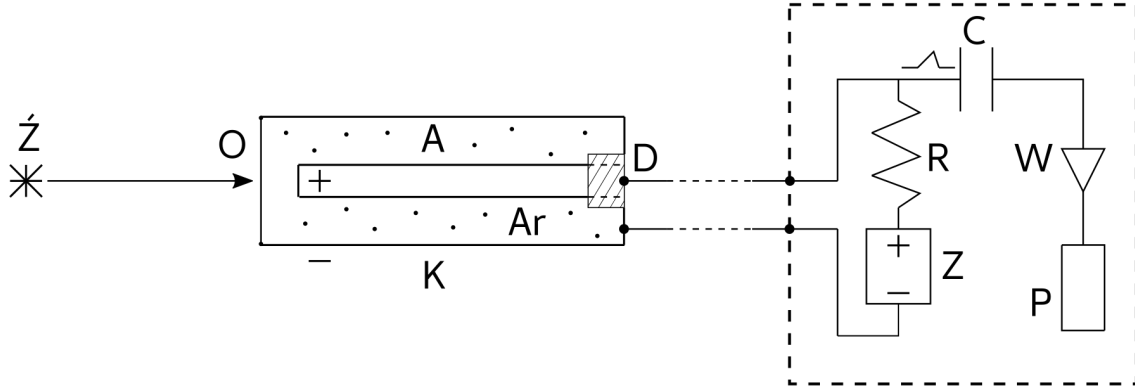
Idea pomiaru natężenia promieniowania przy pomocy licznika Geigera-Müllera, który jest detektorem gazowym, przedstawiona jest na Rys. 1. Licznik G-M jest kondensatorem cylindrycznym, w którym anodę **A** stanowi cienki drut o promieniu **a** umieszczony wzdłuż osi walca, natomiast katodę **K** stanowi metaliczna ścianka walca o wewnętrznym promieniu **b** (**a** i **b** nie zaznaczono na rysunku). Elektrycznie anodę i katodę oddziela izolator **D**. Od czoła blaszany walec jest zamknięty bardzo cienkim okienkiem z miki (grubość ok. 1-2 mg/cm<sup>2</sup>), która jest kruchym materiałem. Okienko jest chronione przez plastikowy kołpak nakładany na końcówkę licznika. Kołpak przepuszcza promieniowanie gamma, natomiast w przypadku pomiarów promieniowania alfa lub beta powinien być ostrożnie zdjęty. Licznik G-M jest napełniony pod zredukowanym ciśnieniem, gazem szlachetnym, najczęściej argonem wraz z domieszką substancji gaszącej złożonej z gazów wieloatomowych (alkohol, związki chloru). Okienko z miki jest lekko wklęsłe ze względu na podciśnienie panujące wewnątrz licznika G-M. Po przyłożeniu napięcia **U** pomiędzy elektrodami licznika (kondensatora cylindrycznego), które jest zadawane w sposób regulowany przez zasilacz wysokiego napięcia **Z**, natężenie **E** pola elektrycznego w odległości **r** od osi symetrii wyniesie

$$E = \frac{U}{r} \ln \left( \frac{b}{a} \right) \quad (1)$$

Na jon o ładunku  $q$  działa siła przyśpieszająca  $F$

$$F = qE \quad (2)$$

Siła ta zwiększa prędkość i tym samym energię kinetyczną jonu. Gdy kwant gamma lub cząstka innego promieniowania wpadnie do przestrzeni roboczej licznika, jonizuje na swej drodze atomy gazu - jony dodatnie poruszają się w kierunku katody a elektrony w kierunku anody.



Rysunek 1: Schemat układu pomiarowego z licznikiem Geigera-Müllera wraz z układem elektronicznym: Ż- źródło promieniotwórcze, O – okienko licznika, A – anoda licznika, K – katoda licznika, D – izolator oddzielający elektrycznie anodę i katodę, Z- zasilacz wysokiego napięcia, R-rezystor, C-kondensator, W – wzmacniacz impulsów, P – przelicznik.

Po drodze nabierają prędkości a ich wzrastająca energia kinetyczna wystarcza do kolejnych jonizacji. Tym sposobem lawinowo tworzy się impuls elektryczny na okładkach kondensatora (licznika G-M). Impuls stanowiący informację o pojawieniu się kwantu gamma (lub cząstki naładowanej elektrycznie) w liczniku jest wzmacniany przez wzmacniacz **W** oraz rejestrowany przez przelicznik **P**. Gazy domieszkowe wygaszają narastający proces jonizacyjny, „wyciszając” licznik, by przygotować go do rejestracji kolejnego kwantu gamma (kolejnej cząstki).

### 3.2 Charakterystyka napięciowo-prądowa licznika Geigera-Müllera

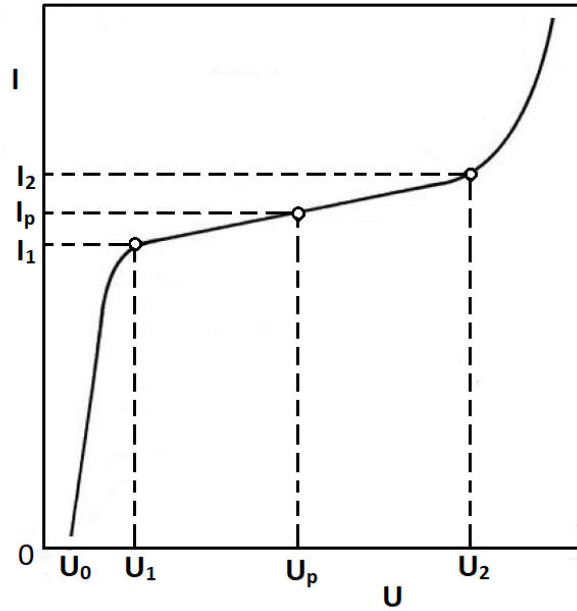
Przykładową charakterystykę przedstawiającą zależność  $I(U)$  natężenia impulsów zliczanych przez licznik od przyłożonego napięcia dla licznika Geigera-Müllera przedstawia Rys 2. Na wykresie  $U_0$  oznacza napięcie progowe, poniżej którego licznik nie może rejestrować promieniowania jonizującego, gdyż nie powstaje wyładowanie lawinowe. W przedziale od  $U_0$  do  $U_1$  rejestrowane przez licznik natężenie  $I$  gwałtownie narasta. Przy napięciu  $U_1$  zwanym napięciem początkowym plateau, zaczyna się nieznacznie nachylony prostoliniowy odcinek charakterystyki  $I(U)$ , który kończy się przy napięciu końca plateau  $U_2$ . Powyżej tego napięcia występuje gwałtowny wzrost natężenia  $I$ , gdyż pojawia się w liczniku wyładowanie niegasnące, ciągle. Wyładowanie to związane jest ze spontaniczną jonizacją gazu występującą przy obecności silnego natężenia pola elektrycznego. Jonizacja ta nie jest związana z przejściem cząstki promieniowania przez ośrodek roboczy licznika. Licznik już nie zlicza pojedynczych impulsów. Powinno się unikać podawania tego przedziału napięć na licznik, gdyż wyładowanie ciągle definitywnie skraca czas życia licznika, molekuly substancji gaszących ulegają dysocjacji.

Ważnymi charakterystycznymi wielkościami dotyczącymi licznika G-M jest długość plateau

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad (3)$$

oraz nachylenie plateau  $\eta$ , które można przedstawić wg wzoru

$$\eta = \frac{I_2 - I_1}{U_2 - U_1} \quad (4)$$



Rysunek 2: Przykładowa charakterystyka napięciowo-prądowa licznika Geigera-Müllera

oraz umowne nachylenie plateau  $\eta$  (%/100V) definiowane w procentach na 100V, które można przedstawić wg wzoru

$$\eta(\%/100V) = \frac{I_2 - I_1}{\frac{0,5(I_2 + I_1)}{\Delta U/100}} 100\% = \frac{I_2 - I_1}{0,5(I_2 + I_1)} \times \frac{100}{\Delta U} \times 100\% \quad (5)$$

gdzie:  $I_p = 0,5(I_1 + I_2)$ .

Dobre liczniki charakteryzują się niskimi wartościami nachylenia  $\eta$  (<3%). Punkt pracy nadający się do pomiarów, czyli napięcie licznika  $U_p$  wybiera się zwykle pośrodku plateau. Powinien to być optymalny punkt pracy, czyli takie napięcie, przy którym licznik Geigera-Müllera pracuje stabilnie i daje wiarygodne wyniki.

### 3.3 Czas martwy licznika Geigera-Müllera

Wpadające do licznika G-M cząstki promieniowania wywołują w liczniku impulsy elektryczne. Układy zliczające impulsy, w tym liczniki promieniowania jądowego (wraz z elektroniką) charakteryzują się parametrem zwanym czasem martwym, który charakteryzuje ograniczenie zdolności rejestrowania dużej liczby dochodzących impulsów. Powodem ograniczania zdolności rejestrowania jest czas  $\tau$  potrzebny do zliczenia pojedynczego impulsu charakterystyczny dla układu pomiarowego z licznikiem. Dopiero po czasie  $\tau$  licznik może rejestrować kolejny impuls, czyli kolejną cząstkę promieniowania. Jeżeli w jednostce czasu, przykładowo w 1 sekundzie, licznik zarejestrował  $N$  cząstek (impulsów) to w czasie  $N\tau$  licznik nie był w stanie zarejestrować ani jednego dodatkowego impulsu. Zatem w rzeczywistości czas zliczania wynosi  $(1 - N\tau)$ . Czyli według proporcji realna liczba zliczeń  $n$  na jednostkę czasu (sekundę) wyniesie:

$$\frac{n}{1} = \frac{N}{1 - N\tau} \quad (6)$$

Warto wzór (6) przekształcić do postaci

$$N = \frac{n}{1 + n\tau} \quad (7)$$

Z powyższego wzoru widać, że liczba zliczeń przypadająca na jednostkę czasu jest mniejsza od liczby wpadających do licznika cząstek w tym czasie. Warto policzyć stratę procentową  $S$  liczby zliczeń powodowaną przez czas martwy stosując powyższe wzory:

$$S = \left[ \frac{n - N}{n} \right] 100\% = N\tau 100\% = \left[ \frac{n\tau}{1 + n\tau} \right] 100\% \quad (8)$$

Dla licznika G-M stosowanego do pomiarów czas martwy wynosi  $\tau = 90$  ms. Wpływ czasu martwego na wynik pomiaru przedstawia przykładowo Tabela 1 zawierająca liczbę  $N$  zarejestrowanych cząstek i liczbę  $n$  cząstek, które dotarły do licznika oraz podająca w przybliżeniu stratę procentową.

Tablica 1: Przykładowe liczby  $N$  i  $n$  cząstek oraz strata procentowa dla licznika o czasie  $\tau = 90$  ms.

Nr pomiaru	Liczba: $N/s$	Liczba: $n/s$	Strata procentowa $S$ : %
1	1	1,09	8
2	2	2,44	18
3	3	4,11	27
4	4	6,25	36
5	5	9,09	45
6	6	13,04	54
...	...	...	...

Zatem jeśli przykładowo do licznika dotarło średnio 9.09 cząstek (jak w pomiarze nr 5) to licznik zliczył tylko 5 cząstek. Licznik zlicza mniej cząstek niż do niego dochodzi, jest stopniowo blokowany. Czas blokowania to  $N\tau$ . Przy zwiększającej się liczbie rejestrowanych cząstek czas blokady zbliży się do 1 sekundy, czyli nadejdzie całkowita blokada licznika. Widać więc, że dobry licznik to ten o jak najkrótszym czasie  $\tau$ . Zastosowanie licznika niskiej jakości do pomiaru natężenia promieniowania gamma prowadzi do błędnego pomiaru liczby zliczeń i błędnej oceny dawki promieniowania.

## 4 Pomiar

(Pomiary wykonać pod kierunkiem osoby prowadzącej zajęcia)

**UWAGA: Wszelkie działania ze źródłami promieniowania jonizującego przeprowadza obsługa laboratorium! Zachować warunki BHP!**

### 4.1 Aparatura pomiarowa

Osoba prowadząca zajęcia omawia i uruchamia ze studentami układ pomiarowy.

Schemat układu pomiarowego, szkic układu pomiarowego, zdjęcie aparatury (do wyboru) umieścić w sprawozdaniu. Zakres i liczbę  $i$  wybieranych napięć  $U$  podawanych na licznik Geigera-Müllera oraz czas  $t$  pojedynczego pomiaru i liczbę pomiarów  $k$  zliczeń  $N_k$  określa osoba prowadząca.

**Uwaga:** Nie przekraczać napięcia  $U = 600 \text{ V}$  podawanego na licznik, gdyż grozi to zniszczeniem licznika G-M!

## 4.2 Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zapisać w Tabeli 2.

Tablica 2: Charakterystyka napięciowo-impulsowa licznika Geigera-Müllera

Lp.	Napięcie $U \text{ [V]}$	Czas pomiaru $t \text{ [s]}$	Liczba impulsów $N_k$ : $N_1 \ N_2 \ N_3$	Średnia wartość $N_{sr}$	Natężenie promieniowania $I = N_{sr}/t \text{ [1/s]}$	Uwagi
1						
2						
3						
...						

## 4.3 Opracowanie wyników pomiarów

1. Oszacować niepewności pomiarowe dla  $U$ ,  $t$ ,  $N_k$ ,  $N_{sr}$ ,  $I$ .
2. Na podstawie wyników Tabeli 2 sporządzić wykres zależności  $I(U)$  (w analogii do Rys. 2) dla licznika Geigera-Müllera, czyli sporządzić charakterystykę napięciowo-prądową (napięciowo-impulsową) licznika G-M.
3. Na wykresie nanieść graficznie niepewności pomiarowe  $\pm \Delta U$ ,  $\pm \Delta I$ . Przeprowadzić krzywą gładką przebiegającą przez punkty pomiarowe (otoczenia  $\Delta U \times \Delta I$  punktów pomiarowych).
4. Stosując wzór (6) i wyniki Tabeli 2 wyliczyć charakterystykę  $I_n(U)$  i sporządzić wykres.

## 5 Dyskusja wyników pomiarów

1. Odczytać z wykresu  $I(U)$  istotne punkty charakterystyki napięciowo – prądowej (napięciowo – impulsowej):  $(U_0, I_0)$ ,  $(U_1, I_1)$ ,  $(U_2, I_2)$ ,  $(U_p, I_p)$ .
2. Oszacować niepewność pomiarową dotyczącą punktu pracy licznika.

3. Podać wartość nachylenia plateau wyznaczoną na podstawie wykresu  $I(U)$ :  $\eta = (I_2 - I_1) / (U_2 - U_1)$  (wzór 4).
4. Określić  $\eta(\%/V)$  czyli wartość procentową na 100V nachylenia plateau (wzór 5).
5. Podać stratę procentową zliczeń w punkcie pracy licznika G-M powodowaną czasem martwym (wzór 8).
6. Określić jaki wpływ na szacowanie dawki promieniowania posiada czas martwy licznika.

## 6 Podsumowanie i wnioski

Podsumować wyniki pomiarów, podać wnioski.

## Bibliografia i netografia

1. E. Fünfer, H. Neuert, „Liczniki promieniowania” PWN, Warszawa 1960.
2. Experiment 2 „Geiger counting”, <http://www.ortec-online.com/>; 22.06.2020r.
3. J. M. Massalski, „Detekcja promieniowania jądrowego”, PWN, Warszawa 1959.
4. B. Dziunikowski, S. J. Kalita, „Ćwiczenia laboratoryjne z jądrowych metod pomiarowych”, Wyd. AGH, Kraków, 1995.
5. K. Małuszyńska, M. Przytuła, „Laboratorium fizyki jądrowej” PWN, Łódź 1969.
6. A. Strzałkowski, „Wstęp do fizyki jądra atomowego”, PWN, Warszawa 1979.
7. A. Hryniewicz, „Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego”, Wyd.: Państwowa Agencja Atomistyki, Instytut Fizyki Jądrowej, Warszawa-Kraków, 1993.
8. B. Dziunikowski, „O fizyce i energii jądrowej”, AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków, 2001.