

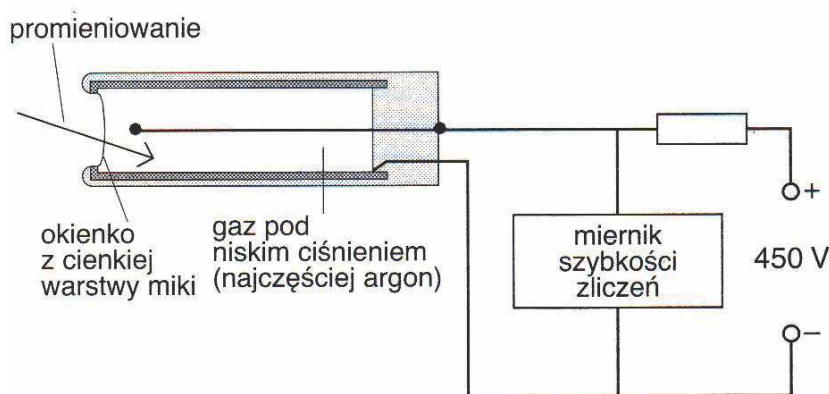
## Ćwiczenie nr 1

### CHARAKTERYSTYKA LICZNIKA GEIGERA-MÜLLERA I BADANIE STATYSTYCZNEGO CHARAKTERU ROZPADU PROMIENIOTWÓRCZEGO

#### 1. Zasada działania licznika Geigera-Müllera.

Licznik Geigera-Müllera (GM) jest detektorem promieniowania jonizującego. Jego działanie oparte jest na wzmacnianiu procesów jonizacyjnych wywołanych przez promieniowanie alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) lub elektromagnetyczne promieniowanie gamma ( $\gamma$ ) czy też rentgenowskie (X). Wzmocnienie procesów jonizacji prowadzi do wytworzenia w liczniku wyładowania lawinowego, które nie zależy od energii padającego promieniowania. Licznik GM nie służy zatem do wyznaczania energii promieniowania, a umożliwia jedynie jego rejestrację.

Licznik GM zbudowany jest z zamkniętego metalowego cylindra oraz cienkiego drutu umieszczonego na jego osi. Cylinder i cienki drut stanowią elektrody, odpowiednio katodę i anodę do których doprowadzone jest napięcie. Układ napełniony jest gazem pod zmniejszonym ciśnieniem, zwykle jest to argon. W przypadku licznika mogącego rejestrować promieniowanie alfa oraz beta jedną z podstaw cylindra stanowi cienkie okienko. W przypadku promieniowania beta stosuje się okienka mikowe natomiast w przypadku promieniowania alfa, o znacząco większej zdolności jonizacyjnej stosuje się okienka ultra cienkie. **Rys.1** przedstawia licznik GM.



**Rys.1.** Licznik Geigera-Müllera

Wpadające do licznika cząsteczki beta czy też wtórne elektrony związane z promieniowaniem elektromagnetycznym (dla tego ostatniego zastosowanie cienkiego okienka nie jest konieczne bo elektrony wtórne mogą być wybijane bezpośrednio z obudowy licznika przez fotony  $\gamma$  lub  $X$ )<sup>1)</sup> jonizują atomy gazu. W liczniku powstanie więc pewna ilość par jonów i mówimy o jonizacji pierwotnej obojętnego wcześniej gazu.

Jony są przyśpieszane w polu elektrycznym między elektrodami. Pole to jest szczególnie silne<sup>2)</sup> w pobliżu anody i gdy powstałe w pierwotnej jonizacji elektrony docierają w ten obszar zyskują tak dużą energię kinetyczną, że jonizują kolejne atomy. Z kolei elektrony oderwane od tych atomów jonizują następne atomy. W ten sposób powstaje w liczniku wyładowanie lawinowe.

Wyładowanie to jest podtrzymywane przez wybijane z katody fotoelektrony (w związku z powstającym we wzbudzonych atomach gazu promieniowaniem ultrafioletowym) oraz przez elektrony, które powstają na wskutek bombardowania katody przez docierające do niej jony dodatnie gazu.

Licznik w stanie wyładowania lawinowego nie może rejestrować następnych cząstek beta czy też elektronów wtórnych. Wygaszenie lawiny jest zatem konieczne aby można zarejestrować następne cząstki jonizujące.

Jednym ze sposobów gaszenia wyładowania lawinowego jest dodanie do argonu domieszki w postaci gazów lub par o cząsteczkach wieloatomowych (metan, pary alkoholu). Przy odpowiedniej ilości domieszki wyładowanie wygaśnie samo gdyż jony cząsteczek wieloatomowych pochłaniają promieniowanie ultrafioletowe i nie wybijają z katody elektronów. Kolejne impulsy ładunkowe mogą zatem wychodzić z anody, zamienione na napięciowe i po wzmocnieniu, podane na przelicznik są rejestrowane. Liczniki GM z domieszką gazów wieloatomowych noszą nazwę liczników samogasnących.

Drugą grupę stanowią liczniki niesamogasnące w których wygaszenie wyładowania lawinowego jest zewnętrzne. Rozwijająca się lawina jest wygaszana poprzez zastosowanie dużego oporu w obwodzie zasilania elektrod.

---

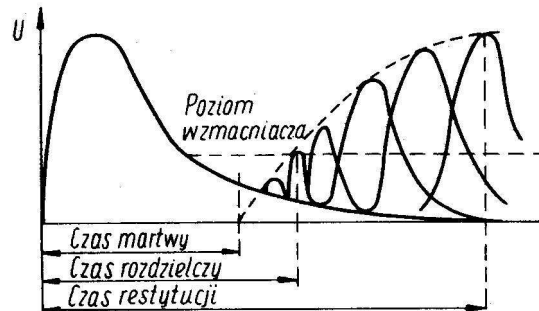
<sup>1)</sup> Promieniowanie  $\gamma$  lub  $X$  oddają energię na rzecz elektronów wtórnych w trzech zjawiskach: efekcie fotoelektrycznym, efekcie Comptona i efekcie tworzenia par.

<sup>2)</sup> Jeśli promień katody i anody licznika GM są odpowiednio równe  $a$  i  $b$ , napięcie wynosi  $V$  to natężenie pola elektrycznego  $E$  pomiędzy elektrodami określa wzór:

$$E = V / r \ln(b/a).$$

## Czas martwy

Czas, w którym licznik GM nie może rejestrować następnej cząstki jonizującej nosi nazwę czasu martwego  $\tau$ . Amplituda impulsu wyjściowego osiąga pierwotną wartość po upływie tzw. czasu restytucji  $\tau_R$ , a różnica ( $\tau_R - \tau$ ) to czas regeneracji potrzebny licznikowi aby standardowej wielkości impuls pojawił się na wyjściu. **Rys.2** przedstawia kształt impulsów na wyjściu licznika od chwili gdy pierwsza cząstka jonizująca znajdzie się w liczniku.



**Rys.2.** Zależność amplitudy impulsu od czasu.

Poprawkę na stratę liczby zliczeń spowodowaną istnieniem czasu martwego należy wprowadzać przy liczbie zliczeń powyżej około 100 impulsów na sek. Jeśli  $n_0$  i  $n$  są odpowiednio rzeczywistą liczbą cząstek wpadających do licznika i liczbą cząstek rejestrowanych w jednostce czasu to liczba niezarejestrowanych cząstek równa jest:

$$n_0 - n = n_0 (n\tau) \quad [1]$$

a rzeczywista liczba cząstek:

$$n_0 = n / (1 - n\tau) \quad [2]$$

Jedną z metod wyznaczania czasu martwego jest metoda dwóch źródeł. Polega ona na porównywaniu aktywności pojedynczych źródeł i sumy ich aktywności.

## Charakterystyka licznika

Charakterystyką licznika nazywamy krzywą zależności liczby impulsów rejestrowanych w jednostce czasu od wartości przyłożonego napięcia, przy stałym natężeniu promieniowania jonizującego.

Poniżej napięcia  $V_p$  (**Rys.3**) wyładowanie lawinowe nie powstaje i promieniowanie nie może być rejestrowane.  $V_p$  jest tzw. napięciem progowym. Poczynając od napięcia  $V_1$  do napięcia  $V_2$  ilość zliczanych impulsów prawie nie zależy od napięcia. Jest to obszar plateau licznika. W licznikach GM długość plateau powinna być

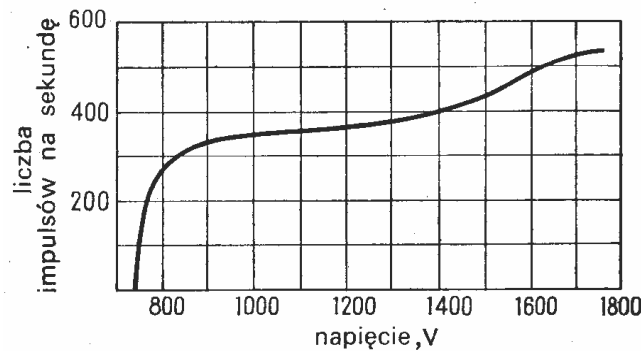
możliwie duża, a nachylenie plateau zdefiniowane jako procentowy wzrost liczby impulsów przy wzroście napięcia o 100V:

$$\alpha = \frac{(I_2 - I_1)100\%}{\frac{I_1 + I_2}{2} \frac{V_2 - V_1}{100}} \quad [3]$$

Gdzie  $I_1, I_2$  ilość impulsów w jednostce czasu na końcach plateau przy napięciach  $V_1, V_2$

Napięcie pracy licznika należy wybierać w środku plateau:

$$V_{\text{pracy}} = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad [4]$$



**Rys.3.** Charakterystyka licznika Geigera-Müllera.

Napięcie wyższe od  $V_2$  powoduje w liczniku wyładowanie samorzutne, a przy bardzo dużych napięciach powstaje wyładowanie samorzutne, niegasnące.

## 2. Prawa statystyczne, a rozpad promieniotwórczy

Zjawiska zachodzące w fizyce jądrowej mają charakter statystyczny. Na błędy związane z niedokładnością przyrządów nakładają się fluktuacje, które nie mogą być wyeliminowane gdyż są związane z naturą zachodzących procesów.

Gdy źródło promieniotwórcze o długim czasie połowicznego rozpadu umieścimy w pobliżu licznika GM i wielokrotnie, w ustalonym czasie rejestrować będziemy liczbę zliczeń to uzyskane wyniki fluktuować będą wokół wartości średniej  $\bar{k}$ .

Jeśli postawimy pytanie jakie jest prawdopodobieństwo  $P(k)$  otrzymania określonej liczby zliczeń to odpowiedzią jest zależność nosząca nazwę rozkładu statystycznego Poissona. W sytuacji gdy średnia liczba zliczanych przez licznik GM impulsów ma dużą wartość rozkład Poissona może być przybliżony rozkładem Gaussa.

## Rozkład Poissona

Rozkład Poissona opisuje prawdopodobieństwo dla przyjmujących wartość całkowitą (dyskretną) zmiennych losowych. Może on być stosowany w przypadku rozpadu promieniotwórczego jąder ponieważ:

- a) prawdopodobieństwo rozpadu pojedynczego jądra jest bardzo małe
- b) w źródle promieniotwórczym znajduje się duża ilość jąder.

Prawdopodobieństwo zaobserwowania  $k$  zdarzeń w czasie jednego pomiaru, gdy pomiar powtarzany jest wielokrotnie opisane jest wyrażeniem:

$$P_p(k) = \frac{\bar{k}^k}{k!} e^{-\bar{k}} \quad [5]$$

gdzie  $\bar{k}$  jest średnią (wartością oczekiwaną) zdarzenia rejestrowanego w stałym czasie  $t$ .

Rozkład Poissona jest rozkładem niesymetrycznym jednoparametrowym ( $\bar{k}$ ).

## Rozkład Gaussa

Rozkład Gaussa opisuje prawdopodobieństwo dla ciągłych zmiennych losowych ale dobrze przybliża rozkład Poissona dla dużych wartości średniej. Jest symetrycznym rozkładem dwuparametrowym ( $\bar{k}, \sigma$ ). Prawdopodobieństwo znalezienia zmiennej losowej  $x$  wyraża równanie:

$$P_G(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \bar{k})^2}{2\sigma^2}\right] \quad [6]$$

## WYKONANIE POMIARÓW

### Rejestracja liczby zliczeń w zależności od grubości okienka sondy G-M.

- Wykonać pomiary, przy tej samej geometrii źródło-sonda dla dwóch różnych grubości okienek sondy.

### Wyznaczenie charakterystyki kielichowego licznika Geigera-Müllera.

- Włączyć zasilacz licznika i ustawić napięcie na 600 V.
- Uruchomić program **CW1**. Ustalić czas pomiaru 50 sek.
- Po umieszczeniu źródła w domku pomiarowym rozpocząć pomiar. Zmniejszając napięcie określić napięcie progowe licznika.
- Ustawić czas pomiaru na 10 sek.

- Wyznaczyć charakterystykę licznika rozpoczynając od napięcia progowego. Pomiarów wykonywać co 2-3 V, a po osiągnięciu plateau co 5-10V, maksymalne napięcie 750V. Wyniki umieścić w tabeli protokołu.
- Narysować charakterystykę licznika.
- Określić długość i napięcie pracy licznika.

### **Rejestrowanie histogramów źródeł promieniotwórczych.**

- Ustawić na zasilaczu wyznaczone wcześniej napięcie pracy.
- Uruchomić program **CW1A**.
- Ustalić z prowadzącym liczebność serii pomiarowej i ustawić czas pojedynczego pomiaru na 0.1 sek. Zarejestrować histogramy. Każdy z wykonujących ćwiczenie zdejmuje histogram dla wyznaczonego źródła promieniotwórczego.

## **OPRACOWANIE WYNIKÓW**

### **Badanie liczby zliczeń w zależności od grubości okienka sondy G-M.**

Na podstawie pomiarów liczby impulsów zliczonych w ustalonym czasie dla nieznanego źródła w przypadku cienkiego i grubego okienka sondy, wyciągnąć wniosek co do rodzaju emitowanego promieniowania. Zapisać odpowiadającą mu reakcję rozpadu.

### **Wyznaczanie charakterystyki kielichowego licznika G-M.**

1. Wykreślić charakterystykę licznika G-M – zależność liczby impulsów  $n$  od przyłożonego napięcia  $U$ . Wyliczyć i nanieść na wykres niepewności pomiarowe dla  $n$  i  $U$ . Za niepewność standardową liczby zliczeń przyjąć  $\sqrt{n}$ . Jest to niepewność typu A wynikająca z przypadkowego charakteru rozpadu promieniotwórczego.
2. Określić długość i nachylenie *plateau* licznika oraz jego napięcie pracy. Określić niepewności pomiarowe wyznaczonych wielkości.

## **Badanie statystycznego charakteru rozpadu promieniotwórczego**

1. Korzystając z zarejestrowanych histogramów wykonać histogramy obrazujące prawdopodobieństwo uzyskania danej liczby zliczeń w serii.

**Uwaga:** uzyskane w trakcie pomiarów krotności wystąpień przeliczyć na ich prawdopodobieństwa.

2. Obrazujące prawdopodobieństwo histogramy dopasować (Origin) do hipotetycznych rozkładów statystycznych Poissona i Gaussa. Wyliczone parametry rozkładów (średnią wartość zliczeń  $\bar{k}_P$  - Poisson, wartość średnią  $\bar{k}_G$  oraz odchylenie standardowe  $\sigma$  - Gauss) wpisać do protokołu.

3. Dla dwóch wybranych zmiennych losowych wyliczyć:

- a) prawdopodobieństwo doświadczalne,
- b) prawdopodobieństwo teoretyczne wynikające z rozkładu Poissona,
- c) prawdopodobieństwo teoretyczne wynikające z rozkładu Gaussa.

Dokonać graficznego porównania histogramów doświadczalnych z hipotetycznymi. W tym celu należy na jednym wykresie nałożyć na siebie histogram doświadczalny i teoretyczny policzony zgodnie z rozkładem Poissona. Na drugim wykresie należy porównać w ten sposób histogram doświadczalny i teoretyczny dla rozkładu Gaussa.

4. Stosując test zgodności rozkładów  $\chi^2$  określić który z rozkładów (Poissona czy Gaussa) lepiej opisuje zebrane dane pomiarowe. Sformułować wnioski na temat stosowności obu rozkładów do opisu statystycznego charakteru rozpadu promieniotwórczego.

### **Pytania kontrolne.**

1. Co to jest wyładowanie lawinowe i jaką rolę odgrywa w procesie rejestracji przez licznik Geigera-Müllera promieniowania jonizującego?
2. Jaką wartość ma pole elektryczne w pobliżu anody o promieniu 0.1mm, jeżeli promień licznika równy jest 1cm, a napięcie między elektrodami ma wartość 600V ?
3. Dlaczego w przypadku rejestrowania promieniowania alfa okienko licznika musi być znacznie cieńsze niż w przypadku rejestrowania promieniowania beta?

4. Jaka jest różnica pomiędzy samogasnącym, a niesamogasnącym licznikiem GM?
5. Czy licznik GM daje możliwość określenia energii promieniowania jonizującego?
6. Omów parametry charakteryzujące licznik GM.
7. Dlaczego liczba impulsów rejestrowanych przez licznik GM jest znacząco mniejsza niż liczba emitowanych przez preparat promieniotwórczy elektronów (lub fotonów)?
8. Przedstaw różnice pomiędzy rozkładami Gaussa i Poissona. Narysuj stosowne wykresy zaznacz na nich parametry rozkładów.
9. Jakie warunki doświadczalne muszą być spełnione aby do opisu rozpadów promieniotwórczych można było stosować rozkład Poissona lub Gaussa?

### **Literatura**

1. A. Strzałkowski, Wstęp do fizyki jądra atomowego, PWN W-wa, 1969
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki, tom 5, PWN W-wa, 2003.
3. J. R. Taylor, Wstęp do analizy błędów pomiarowych, PWN W-wa, 1995.



Schematy rozpadów wybranych źródeł promieniotwórczych.

