



Szkoła z przyszłością

szkolenie współfinansowane przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Narodowe Centrum Badań Jądrowych, ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock-Świerk

ĆWICZENIE	LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ
3	Pomiar właściwości detektora Geigera-Müllera
Data pomiaru:	
Imię i nazwisko:	
Imię i nazwisko:	

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania gazowego detektora promieniowania jądrowego (detektor Geigera-Müllera) i wyznaczenie jego optymalnego punktu pracy oraz tzw. „czasu martwego”.

2. UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Zestaw ćwiczeniowy (rys. 1) stanowią:

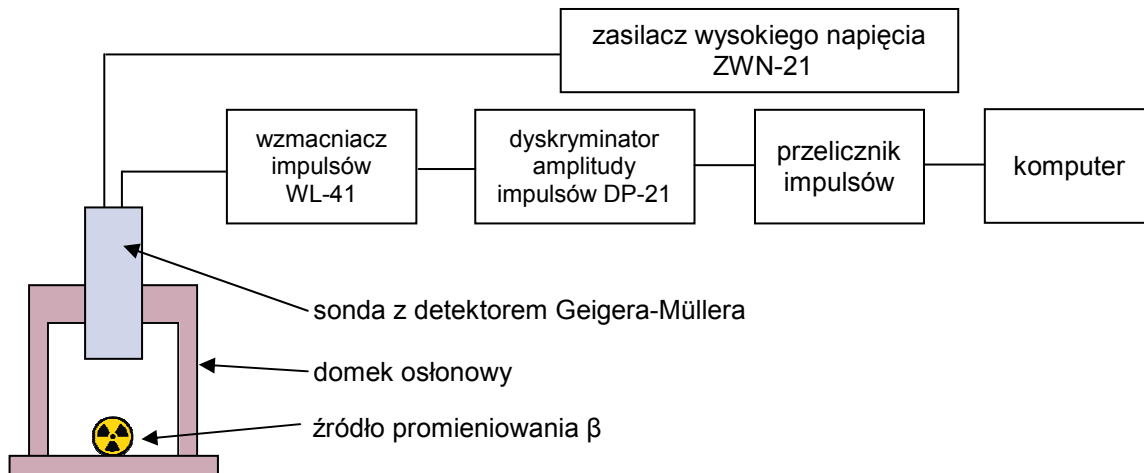
- sonda z detektorem Geigera-Müllera,
- źródło promieniowania β ,
- domek osłonowy,
- zasilacz wysokiego napięcia ZWN-21,
- wzmacniacz impulsów (zintegrowany z sondą pomiarową),
- dyskryminator amplitudy impulsów DP-21,
- komputerowy przelicznik impulsów.



Rys. 1 (1 - zasilacz ZWN-21, 2 - dyskryminator DP-21, 3 - domek osłonowy, 4 - detektor G-M ze zintegrowanym wzmacniaczem)

3. WSTĘP TEORETYCZNY

Podstawą działania gazowego detektora promieniowania jądrowego jest zjawisko powstawania par jonów podczas przechodzenia naładowanej cząstki promieniowania jonizującego przez gaz wypełniający detektor. W wypadku cząstek nie obdarzonych ładunkiem, jak np. fotony czy neutrony, cząstka taka musi wpierrw stracić swą energię na wyprodukowanie cząstki naładowanej, która zacznie jonizować gaz w detektorze. W wypadku fotonów będą to elektrony, neutrony zaś będą tworzyły np. cząstki alfa albo protony w wyniku reakcji jądrowej z borem-10 lub helem-3. Powstałe w wyniku jonizacji cząstki naładowane o przeciwnych znakach są rozseparowywane przestrzennie przez pole elektryczne pomiędzy katodą (obudową detektora) a anodą detektora. Docierające do elektrody ładunki powodują przepływ prądu w obwodzie detektora, przy czym wielkość ładunku zbieranego na



Rys. 2 (schemat ideowy aparatury pomiarowej)

anodzie będzie zależała od przyłożonego wysokiego napięcia pomiędzy katodą a anodą. Typowa zależność wielkości tego ładunku od przyłożonego napięcia pokazana jest na rysunku 3.

Początkowo, w obszarze napięć poniżej V_1 ładunki nie są rozseparowane w wystarczający sposób i następuje ich rekombinacja (ponowne połączenie), dopiero po przekroczeniu napięcia V_1 zbierane są wszystkie jony powstałe w wyniku jonizacji, a detektor pracuje w obszarze nasycenia. Ten obszar napięć, $V_1 \div V_2$, jest typowy dla pracy tzw. *komory jonizacyjnej*.

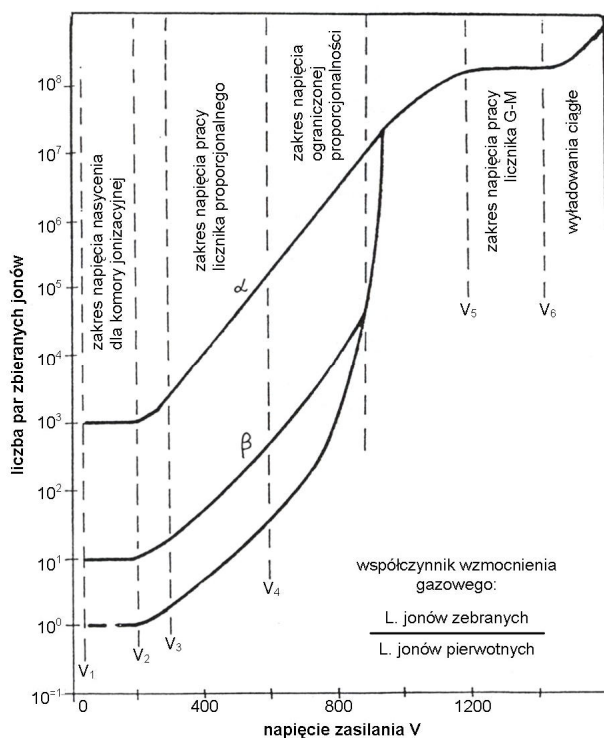
Po przekroczeniu napięcia V_2 jony są rozpędzane na tyle, że mogą same rozpocząć jonizowanie gazu. Mamy wtedy do czynienia ze wzmożeniem gazowym, którego wielkość zależy od wartości przyłożonego napięcia.

Detektor pracujący w obszarze napięć $V_3 \div V_4$ zbiera ładunek proporcjonalny do wielkości pierwotnej jonizacji, stąd też nazywamy go *licznikiem proporcjonalnym*. Natomiast w obszarze $V_5 \div V_6$ napięcie pomiędzy katodą a anodą jest na tyle duże, że jonizację w gazie wywołują już nie tylko jony wytworzone w pierwotnym akcie jonizacji, ale także jony wtórne. W wyniku lawinowości zjawiska, zbierany na anodzie ładunek nie zależy od wielkości pierwotnej jonizacji. Detektor pracujący właśnie w tym obszarze napięć nazywamy *licznikiem Geigera-Müllera (G-M)*. Więcej informacji o pracy licznika G-M znajduje się w ramce na następnej stronie.

W chwili powstania impulsu elektrycznego w detektorze, detektor zostaje zablokowany na pewien czas, zwany *czasem martwym*. Dopiero po upływie tego czasu można zarejestrować kolejny impuls. Jeśli więc na detektor pada wiele cząstek, część z nich nie ma szansy na zarejestrowanie się, a uzyskany wynik pomiaru natężenia trzeba poprawić na czas martwy. Można pokazać, że jeśli czas martwy wynosi τ , a mierzona częstość N , to rzeczywista liczba cząstek wynosi n :

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

Wyznaczenie czasu martwego wymaga użycia dwóch źródeł (najlepiej o zbliżonych aktywnościach). Dokonuje się pomiaru liczby zliczeń dla każdego z tych źródeł oraz z obu źródeł naraz. Typowa wielkość czasu martwego detektora Geigera-Müllera to około $200 \mu s = 2 \cdot 10^{-4} s$. Więcej informacji o *czasie martwym* w ramce na następnej stronie.



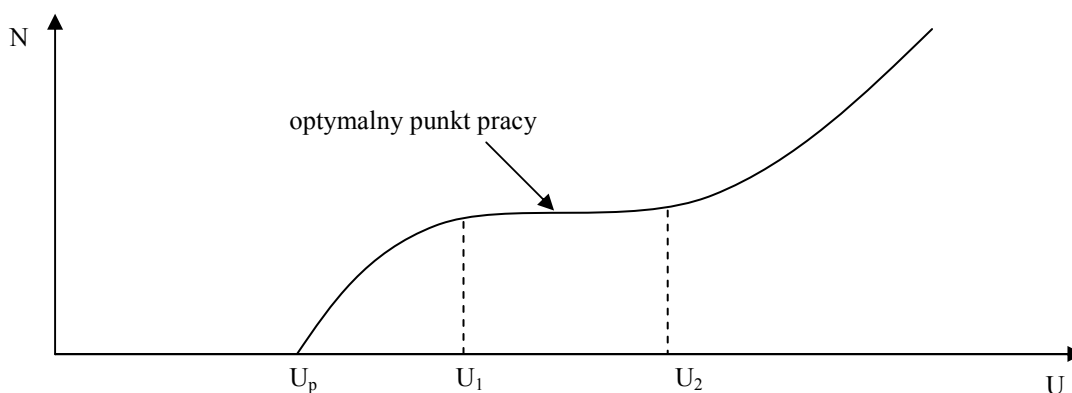
Rys. 3



OPTIMALNY PUNKT PRACY LICZNIKA G-M

Działanie detektorów promieniowania jonizującego zależy nie tylko od napięcia, ale też od geometrii budowy i użytych materiałów, w tym np. wypełniającego je gazu. W praktyce działanie licznika G-M ilustruje rys. 4. Istnieje wartość progowa napięcia U_p , poniżej której licznik nie rejestruje impulsów. W zakresie napięć od U_1 do U_2 (zwanym „plateau”, mającym zwykle szerokość od 100 V do 200 V) charakterystyka impulsowo-napięciowa ma przebieg liniowy nachylony pod niewielkim kątem (nachylenie wyraża się w % / 100 V). Na „plateau” znajduje się optymalny punkt pracy licznika Geigera-Müllera, czyli napięcie, dla którego licznik pracuje stabilnie i daje wiarygodne wyniki. Zwiększając napięcie po przekroczeniu górnej granicy „plateau” praca licznika staje się zakłócona przez akty spontanicznej jonizacji gazu pochodzące od wysokiego natężenia pola elektrycznego wewnątrz licznika, a nie spowodowane faktycznym przejściem cząstki. Falszuje to pomiar, gdyż liczba impulsów wtedy rośnie niezależnie od aktywności mierzonego źródła promieniotwórczego. Działanie wysokiego napięcia powoduje też często zużycie detektora, m.in. na skutek nieodwracalnych zmian w gazie. Dobór optymalnego punktu pracy licznika jest zatem ważnym zagadnieniem podczas pracy z promieniowaniem jonizującym.

Optymalny punkt pracy zwykle wyznacza się poprzez eksperymentalne wyznaczenie wartości U_p , U_1 i U_2 . Za optymalne należy wybrać te napięcie, dla którego zmiany liczby impulsów w zależności od zmian napięcia są najmniejsze. Osiąga się to np. obliczając wartość różniczki $N(U)$. Jej minimum to właśnie optymalny punkt pracy. Czasami za punkt pracy można przyjąć wartość U_p powiększoną o 100 V, bowiem odległość U_p od U_1 wynosi zwykle kilkadziesiąt V.



Rys. 4



ZAGADNIENIE "CZASU MARTWEGO"

Wszelkie układy formujące, liczące czy przesyłające impulsy charakteryzowane są przez parametr, nazywany „czasem martwym”, opisujący ograniczenie zdolności rejestrowania dużej liczby przychodzących impulsów.

Powodem ograniczenia zdolności rejestrowania (przepuszczania) impulsów jest to, że czas zadziałania układu liczącego lub czas trwania impulsu (oznaczany często symbolem τ) nie jest nieskończenie krótki.

Jeżeli w czasie jednostkowym - np. 1 sekundy - stosowany układ zarejestrował (lub przesłał) N impulsów, to w czasie $N\tau$ układ nie mógł zarejestrować ani przesłać żadnego innego podobnego impulsu.

Rzeczywisty czas zliczania wynosi więc:

$$I - N\tau$$

a realna szybkość zliczeń, n , wynosi:

$$n = \frac{N}{1 - N\tau}$$

w licznikach G-M czas τ jest rzędu 10^{-3} sekundy, dla układów półprzewodnikowych jest mniejszy od 10^{-6} sekundy.

Co to oznacza w praktyce laboratoryjnej? Załóżmy, że nasz układ, o czasie martwym $\tau = 5 \cdot 10^{-4}$ s, zarejestrował w czasie jednostkowym (np. 1 sekundy) $N_A = 100$, $N_B = 1000$, $N_C = 1500$ impulsów. Jaka była rzeczywista liczba cząstek, która dotarła do licznika?

$$n_A = N_A / (1 - N_A \tau) = 100 / (1 - 100 \cdot 5 \cdot 10^{-4}) = 100 / (1 - 0,05) = 100 / 0,95 = 105,2$$

$$n_B = N_B / (1 - N_B \tau) = 1000 / (1 - 1000 \cdot 5 \cdot 10^{-4}) = 1000 / (1 - 0,5) = 1000 / 0,5 = 2000$$

$$n_C = N_C / (1 - N_C \tau) = 1500 / (1 - 1500 \cdot 5 \cdot 10^{-4}) = 1500 / (1 - 0,75) = 1500 / 0,25 = 6000$$

W przypadku B licznik jest zablokowany i nie pracuje przez połowę każdej sekundy, w przypadku C widać, jak blisko jesteśmy sytuacji, gdzie możliwe jest całkowite blokowanie pracy licznika, ponieważ wielkość czasu blokady, $N\tau$, czyli $5 \cdot 10^{-4} \cdot N$ niebezpiecznie zbliża się do wartości 1 sekundy!

Wniosek – układ o czasie martwym $\tau = 5 \cdot 10^{-4}$ s prawidłowo przelicza przychodzące impulsy, wtedy i tylko wtedy, gdy jest ich nie więcej niż kilkadziesiąt na 1 sekundę (a więc częstotliwość $\nu \ll 1$ kHz). Przy większej częstotliwości przychodzących impulsów mamy blokadę licznika, a wykazywana przez licznik liczba impulsów obciążona jest dodatkowym błędem!

Nowoczesne układy półprzewodnikowe (np. komputery), gdzie $\tau < 10^{-6}$ s, przepuszczają impulsy przychodzące z częstotliwością $\nu > 1$ MHz.

4. PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA

UWAGA: wszelkie operacje ze źródłami promieniowania przeprowadza obsługa laboratorium!

A) Przed włączeniem zasilacza należy sprawdzić wstępne ustawienia aparatury elektronicznej:

- w zasilaczu ZWN-21 - wciśnięty przycisk zakresu 0-1000 V oraz na skali „HT control” wartość „00” (gałka płynnej regulacji napięcia w lewym skrajnym położeniu);
- w dyskryminatorze DP-21 - polaryzacja „+”, $U_d = \square \text{ V}^*$.

B) Włączyć zasilanie aparatury wciskając czerwony przycisk po prawej stronie panelu (w bloku zasilacza ZNW-21 zaświeci się czerwona dioda).

Włączyć komputer i zalogować się, a następnie uruchomić program przelicznika „hs_counter”.

 C) Otworzyć domek osłonowy, umieścić źródło promieniowania β (źródło Z0) na tacce możliwie najbliżej detektora i zamknąć domek.

D) W zasilaczu ZWN-21 ustawić potencjometrem „HT control” wartość napięcia U_L równą $\square \text{ V}$ („ $\square$ ” w okienku i „ $\square$ ” na skali precyzera).

E) W programie obsługi przelicznika wyzerować wskazanie przelicznika przyciskiem „Zeruj” oraz upewnić się, że pole „Czas zliczania” nie jest zaznaczone, po czym uruchomić pomiar przyciskiem „Start”.

F) Kręcąc powoli potencjometrem płynnej regulacji napięcia w zasilaczu ZWN-21 zwiększać napięcie aż do momentu, gdy przelicznik zacznie rejestrować pierwsze impulsy. Odczytać wartość napięcia i zapisać ją w protokole z ćwiczenia jako napięcie progowe U_p . Zatrzymać zliczanie przyciskiem „Stop” w programie przelicznika.

G) Ustawić na zasilaczu napięcie U_L odpowiadające napięciu U_p zaokrąglonemu w górę do pełnych dziesiątek woltów. W programie przelicznika zaznaczyć opcje „Zerowanie przed startem” i „Czas zliczania” oraz nastawić wartość czasu zliczania na $\square \text{ s}$.

H) Uruchomić pomiar przyciskiem „Start” i po odczekaniu ustawionego czasu zapisać wynik pomiaru w odpowiednie miejsce tabeli 1. Należy wykonać w sumie trzy pomiary liczby impulsów dla ustawionego napięcia U_L .

I) Powtarzać pomiary z poprzedniego punktu dla coraz większych napięć U_L , zwiększając wartość za każdym razem o krok równy $\square \text{ V}$ aż do osiągnięcia wartości maksymalnej równej $\square \text{ V}$.

J) Obliczyć średnią liczbę impulsów $\bar{N}$ dla każdego z napięć U_L wpisując wartości w odpowiedniej kolumnie tabeli 1 oraz oszacować niepewność wyznaczenia tej średniej. Na podstawie wyników pomiaru sporządzić wykres zależności $\bar{N} = f(U_L)$ i dopasować do fragmentu wykresu prostą określającą nachylenie „plateau”, którego wartość wyrażoną w %/100V należy odczytać.

K) Na podstawie wykresu określić optymalną wartość U_{Lopt} napięcia, przy którym zmiana napięcia w sposób minimalny wpływa na liczbę impulsów. Ustawić wartość na U_{Lopt} zasilaczu.

 L) Otworzyć domek osłonowy i usunąć źródło Z0 wraz z tacką. Zamknąć domek i trzykrotnie wykonać pomiar liczby impulsów na sekundę od promieniowania tła. Wyniki umieścić w tabeli 2.

 M) Otworzyć domek osłonowy, pod detektorem G-M umieścić źródło promieniowania Z1, zamknąć domek i wykonać trzy pomiary jak w poprzednim punkcie, zapisując każdorazowo wynik w tabeli 2.

* szczegółowe ustawienia aparatury podane zostaną w trakcie wykonywania ćwiczenia

-  **N)** Otworzyć domek osłonowy, obok źródła Z2 umieścić źródło Z1, zamknąć domek osłonowy i wykonać trzy pomiary zapisując wyniki w tabeli 2.
-  **O)** Otworzyć domek osłonowy, usunąć spod detektora źródło Z1. Zamknąć domek i wykonać trzy pomiary zapisując wyniki w tabeli 2.
-  **P)** Otworzyć domek osłonowy, usunąć spod detektora pozostałe źródło Z2 i zamknąć domek.

Q) Po wstępnym sprawdzeniu poprawności wykonanych pomiarów należy wyłączyć zasilanie układu pomiarowego. W tym celu:

- w zasilaczu ZWN-21 skrócić potencjometr płynnej regulacji napięcia U_L do skrajnego lewego położenia;
- wyłączyć zasilanie aparatury wyciskając czerwony przycisk po prawej stronie panelu;
- zamknąć program „hs_counter” oraz wyłączyć komputer.

R) Uzupełnić tabelę 2 o wyliczone wartości $\overline{N}$ dla kolejnych kombinacji źródeł. Jak łatwo się przekonać $\overline{N}_{Z1} + \overline{N}_{Z2} \neq \overline{N}_{Z1+Z2}$. Można zatem obliczyć czas martwy detektora G-M na podstawie wzoru:

$$\tau = \frac{1}{\overline{N}_{Z1+Z2}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\overline{N}_{Z1+Z2} \cdot (\overline{N}_{Z1} + \overline{N}_{Z2} - \overline{N}_{Z1+Z2})}{\overline{N}_{Z1} \cdot \overline{N}_{Z2}}} \right) \quad (2)$$

UWAGA! Proszę pamiętać, że wartości $\overline{N}$ w tym wzorze są wyrażone w liczbie impulsów na jedną sekundę pomiaru, a nie w całkowitej liczbie impulsów podczas całego pomiaru! Aby uzyskać poprawne wartości należy całkowitą liczbę impulsów w pomiarze podzielić przez jego czas.

S) Po zakończeniu pomiarów i obliczeń rozważyć wpływ czasu martwego na wyniki pomiarów przy różnych natężeniach w torze pomiarowym. Można to zrobić obliczając faktyczne liczby impulsów na sekundę n_{Z1} , n_{Z2} i n_{Z1+Z2} odpowiadające pomiarom $\overline{N}_{Z1}$, $\overline{N}_{Z2}$ i $\overline{N}_{Z1+Z2}$ oraz sprawdzając, że spełniona jest (z dokładnością do niepewności pomiarowych) zależność:

$$n_{Z1} + n_{Z2} = n_{Z1+Z2}$$

Do obliczenia wartości n należy wykorzystać wzór (1).

TABELA 1 c.d.

U_L [V]	N_1	N_2	N_3	$\overline{N}$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$
$\pm$				$\pm$

TABELA 2

Pomiar wg. punktu instrukcji	N_1 [imp/s]	N_2 [imp/s]	N_3 [imp/s]	$\overline{N}$ [imp/s]	n [imp/s]
L (pomiar tła)				$\overline{N}_{tlo} =$	
M (pomiar Z1)				$\overline{N}_{Z1} =$	
O (pomiar Z2)				$\overline{N}_{Z2} =$	
N (pomiar Z1+Z2)				$\overline{N}_{Z1+Z2} =$	

Wyniki:

Wartość progowa napięcia zasilającego	U_p [V]	
Optymalna wartość napięcia zasilającego detektor („punkt pracy”)	U_{Lopt} [V]	
Nachylenie „plateau”	[%/100V]	
Czas martwy detektora	τ [μ s]	