



## Wyznaczanie czasu martwego licznika Geigera-Müllera metodą dwóch źródeł oraz przy pomocy oscyloskopu

### I. Cel ćwiczenia

Praktyczne wyznaczenie dwoma metodami wielkości charakteryzującej licznik Geigera-Müllera jaką jest czas martwy. Porównanie wyników otrzymanych każdą metodą oraz wyznaczenie rzeczywistej liczby impulsów rejestrowanych przez licznik.

### II. Obowiązujący zakres materiału

1. Zasada działania licznika G-M.
2. Wielkości charakteryzujące pracę licznika G-M.
3. Mechanizm powstawania i sens fizyczny czasu martwego licznika G-M.
4. Metody pomiaru czasu martwego.

### III. Literatura

1. E. Fünfer, H. Neuert, „Liczniki promieniowania” PWN, Warszawa 1960.
2. K. Małuszyńska, M. Przytuła, „Laboratorium fizyki jądrowej” PWN, Łódź 1969.
3. T. Hilczer, „Ćwiczenia z fizyki jądrowej” UAM Poznań 1975.
4. J. M. Massalski, „Detekcja promieniowania jądrowego”, PWN, Warszawa 1959.
5. W.I. Goldanski, „Statystyka pomiarów przy rejestracji promieniowania jądrowego” PWN, Warszawa 1963.
6. Podręczniki kursowe z fizyki.
7. A. Strzałkowski, „Wstęp do fizyki jądra atomowego”, PWN, Warszawa 1979.

### IV. Podstawy teoretyczne

#### 1. Wstęp

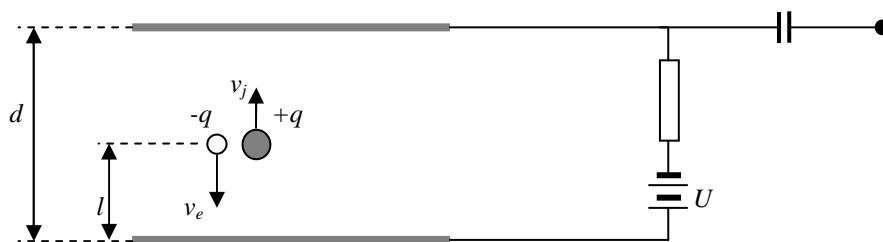
Bardzo ważnym parametrem (oprócz parametrów, które należy wyznaczyć w ćwiczeniu nr. 1), charakteryzującym licznik G-M, jest czas martwy który informuje o tym, że licznik ma ograniczone zdolności rejestrowania dużej liczby przechodzących przez niego cząstek promieniowania. Innymi słowy czas martwy jest to taki czas podczas, którego licznik po zarejestrowaniu przejścia cząstki promieniowania jest zablokowany i nie jest zdolny do zarejestrowania kolejnej cząstki. Jeśli więc do licznika wpada wiele cząstek, część z ich nie jest zarejestrowana i otrzymany wynik pomiaru np. natężenia promieniowania należy poprawić uwzględniając czas martwy.

Zasada działania licznika Geigera-Müllera jako urządzenia detekcyjnego promieniowania jądrowego polega na rejestracji prądów jonów wytworzonych przez jonizujące cząstki promieniowania w gazie roboczym licznika, który może być potraktowany jako kondensator o pojemności  $C$ , którego anodą jako elektrodą zbiorczą jest drut metalowy otoczony metalowym cylindrem stanowiącym katodę. Rozpatrzmy model takiego licznika w postaci płaskiego kondensatora o pojemności  $C$ , do którego elektrod przyłożono napięcie  $U$  poprzez opornik  $R$  (rys. 1).



## Pracownia Radioizotopowa

## Ćwiczenie 3



Rys.1. Zasada działania licznika jonizacyjnego.

Niech cząstka promieniowania jonizująca przechodząca w odległości  $l$  od anody wytworzy jony dodatnie o ładunku  $+q$  i elektrony  $-q$ . Ładunki te pod wpływem pola o natężeniu  $E=U/d$ , gdzie  $d$  jest odległością między elektrodami, rozpoczną ruch w ich kierunku [7]. Przejście cząstki jonizującej spowoduje tym samym powstanie krótko trwającego impulsu prądu. Płynący prąd wywoła także na połączonym szeregowo z kondensatorem oporze  $R$  impuls napięcia. Impuls ten przechodzi poprzez kondensator  $C_1$  do wzmacniacza a następnie zostaje przesłany do urządzenia rejestrującego (przelicznika impulsów). W polu elektrycznym  $U/d$ , jon na odcinku  $dl$  uzyskuje energię równą:

$$dE = \frac{U}{d} q dl = \frac{U}{d} qv dt, \quad (1)$$

gdzie  $v$  jest średnią prędkością poruszania się jonów na tym odcinku.

W wyniku tego energia naładowanego kondensatora zmieni się o wartość:

$$dE = UC dU, \quad (2)$$

Porównując wzory (1) i (2):

$$\frac{U}{d} qv dt = UC dU \quad (3)$$

otrzymamy wyrażenie na zmianę napięcia w czasie na okładkach kondensatora w wyniku ruchu poszczególnego rodzaju jonów. I tak w wyniku ruchu elektronów:

$$dU_e = q \frac{v_e}{Cd} dt \quad (4)$$

czyli napięcie to będzie się zmieniać liniowo z czasem a kiedy elektrony dotrą do anody powstanie zmiana napięcia o wartości:

$$\Delta U_e = q \frac{l}{Cd} . \quad (5)$$

Natomiast w przypadku ruchu jonów dodatnich:

$$\Delta U_j = q \frac{d-l}{Cd}, \quad (6)$$

bo tym razem przemierzają one odległość  $d-l$ .

Zgromadzony na elektrodach w wyniku ruchu jonów ładunek spowoduje całkowitą zmianę napięcia na kondensatorze a tym samym wywoła na oporze  $R$  impuls napięcia o wartości:

$$\Delta U = \Delta U_e + \Delta U_j = q \frac{l}{Cd} + q \frac{d-l}{Cd} = \frac{q}{C}, \quad (7)$$

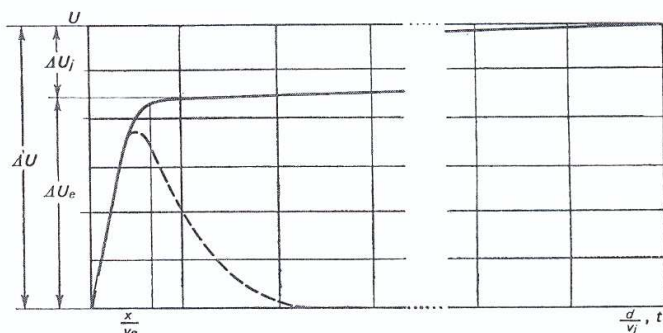
którego wartość jest proporcjonalna do wytworzonego - w wyniku przejścia cząstki jonizującej - ładunku oraz odwrotnie proporcjonalna do pojemności kondensatora (licznika), natomiast nie zależy od miejsca gdzie nastąpił proces powstania tych jonów, tj. jonizacja. Ponieważ elektrony odznaczają się znacznie większą ruchliwością niż ciężkie jony dodatnie, więc czas w ciągu, którego dotrą one do anody jest znacznie krótszy niż czas w ciągu, którego jony dodatnie osiągną katodę. Dlatego kształt całkowitego impulsu, który pokazuje rysunek 2 składa się z dwu części, które różnie zależą od czasu, tj. części szybko narastającej, która odpowiada ruchowi elektronów i części powoli narastającej odpowiadającej ruchowi jonów dodatnich. Średni czas ładowania kondensatora  $C$  ładunkiem  $q$  jest równy  $RC$ . Wartość ta powinna być jak największa jeśli chcemy doładować go napięciem  $\Delta U$ , który jest proporcjonalny do



## Pracownia Radioizotopowa

## Ćwiczenie 3

całkowitego ładunku  $q$ . W praktyce jednak można tak dobrać wartość oporu  $R$ , aby wartość stałej czasowej była odpowiednio mała. Wówczas ładunek elektronów zebranych na anodzie spłynie z niej wcześniej niż jony dodatnie dotrą do katody. Układ pomiarowy zarejestruje wówczas tylko elektronową część impulsu (równanie 5) pokazana na rysunku linia przerywana. Amplituda takiego impulsu zależy jednak od miejsca w liczniku, w którym nastąpiła jonizacja i nie może być miarą energii cząstki jonizującej (cząstka o tej samej energii wytworzy w różnych miejscach licznika impulsy napięcia o różnych amplitudach).

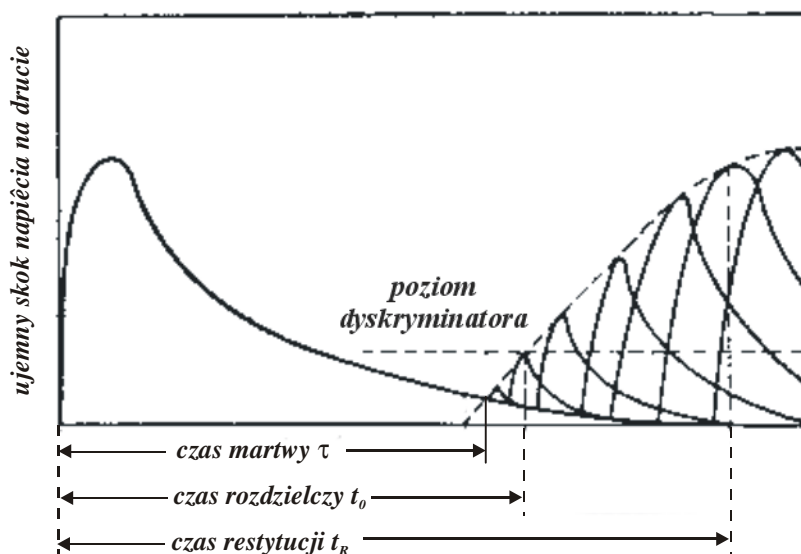


Rys. 2. Kształt impulsu w liczniku jonizacyjnym przy bardzo dużej stałej czasowej układu (krzywa ciągła) i przy małej stałej czasowej (krzywa przerywana) [7].

Z tego powodu, że wartość oporu  $R$  dołączonego do licznika, rys.1 nie może być nieskończenie duża to licznik może być doładowywany niewielkim napięciem, o które pomniejszony jest impuls napięcia wywołany przejściem cząstki jonizującej. Dlatego – jak można zauważyć z rys. 2 wysokość impulsu jest nieco niższa od wartości danej wzorem (5) i z czasem maleje do zera.

Występowanie czasu martwego w przypadku licznika Geigera-Müllera związane jest z tym, że kiedy trwa wyładowanie (oraz impuls) wywołane przejściem przez licznik pierwszej cząstki promieniowania to powstaje wówczas ok.  $10^{10}$  par jonów wtórnych. Pojawienie się w tym czasie drugiej cząstki promieniowania może wytworzyć w zależności od konstrukcji licznika tylko ok.  $10^4$  par, daje to niewielki wkład do powstania nowego impulsu (podczas trwającego już wyładowania wywołanego pierwszą cząstką). Dopiero kiedy pod koniec trwania impulsu wywołanego pierwszą cząstką zmniejsza się ekranowanie katody przestrzennym ładunkiem dodatnim pole elektryczne wewnątrz licznika staje się na tyle silne, że może dojść do zainicjowania wyładowania, a tym samym kolejnego impulsu w wyniku przejścia następczej cząstki (nawet jeśli nie doszło do całkowitego wygaśnięcia pierwszego impulsu). Czas trwania pierwszego impulsu do momentu, kiedy możliwe jest pojawienie się kolejnego impulsu – nawet, kiedy nie osiągnie on swojej amplitudy - traktujemy jako czas martwy licznika. Konstruując licznik dokłada się starań, aby odległość katody do anody była jak najkrótsza.

Czas w którym licznik jest zdolny zarejestrować w pełni rozwinięty impuls wywołany przejściem kolejnej cząstki nazywamy czasem restytucji (czasem odtworzenia kolejnego impulsu).

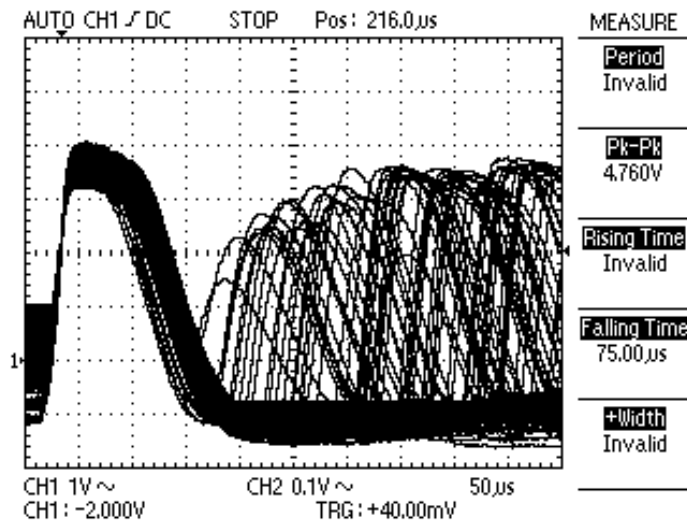


Rys.3. Definicja czasu martwego, rozdzielczości aparatury oraz restytucji.



Podczas pomiarów należy brać pod uwagę czasową rozdzielczość innych przyrządów układu pomiarowego. I tak: przelicznik musi nadążać zliczać pojawiające się impulsy wychodzące z licznika, wzmacniacz nie powinien powodować dodatkowych zniekształceń sygnału i jego opóźnień na wyjściu względem wejścia. Zakłócenia te powodują wzrost wypadkowego czasu martwego całego toru pomiarowego.

Czas martwy licznika Geigera-Müllera można wyznaczyć kilkoma metodami. Jedną z metod jest wyznaczenie tego czasu bezpośrednio za pomocą oscyloskopu. Po przesłaniu sygnału z wyjścia przedwzmacniacza do oscyloskopu na jego ekranie będziemy obserwować wyraźny kształt pierwszego impulsu oraz słabszy obraz nałożonych na siebie kolejnych impulsów rejestrowanych przez licznik przed zakończeniem czasu trwania pierwszego impulsu



Rys.4. Kształt impulsu otrzymany na ekranie oscyloskopu z zaznaczonym czasem martwym  $t_m$

Innym sposobem wyznaczenia czasu martwego licznika jest metoda dwóch źródeł promieniotwórczych. Idea tej metody polega na oświetleniu licznika dwoma źródłami promieniotwórczymi. Oświetlamy zatem licznik pierwszym źródłem promieniotwórczym, które emituje  $I_0$  cząstek w ciągu sekundy. Załóżmy, że każda cząstka promieniowania wpadająca do licznika jest zarejestrowana. Niech pomiar będzie dokonany w czasie  $t$  i będzie dużo większy od czasu martwego licznika  $\tau$ :  $t \gg \tau$ . W tym czasie licznik zarejestruje:  $N = It$  cząstek, rzeczywista liczba cząstek wpadających do licznika wynosi zaś:  $N_0 = I_0 t$  gdyby czas martwy był równy zero ( $I_0$ ,  $I$  – odpowiednio rzeczywiste i zmierzone szybkości zliczeń). Liczba niezarejestrowanych cząstek  $N_{nz}$  jest równa:

$$N_0 - N = I_0 t - It \quad (9)$$

z kolei  $N_{nz} = I_0 t_{nz}$

gdzie  $t_{nz} = N\tau$ , jest sumą odcinków czasu w którym licznik nie był zdolny do zarejestrowania kolejnych impulsów. Tak więc zgodnie z (9):

$$I_0 N\tau = I_0 t - It \quad (10)$$

lub podstawiając za  $N=It$  otrzymamy:

$$I_0 It\tau = I_0 t - It \quad (11)$$

$$I_0 t - I_0 It\tau = It \quad (12)$$

oraz

$$I_0(1 - I\tau) = I \quad (13)$$

Stąd rzeczywista liczba impulsów w jednostce czasu a tym samym i aktywność źródła wynosi:

$$I_0 = \frac{I}{1 - I\tau} \quad (14)$$



## Pracownia Radioizotopowa

## Ćwiczenie 3

a szybkość faktycznie mierzonych impulsów jest równa:

$$I = \frac{I_0}{1 + I_0 \tau} \quad (15)$$

W metodzie dwóch źródeł rejestruje się: szybkości zliczeń impulsów  $I_{1,2}$  powstających w wyniku jednoczesnego naświetlania licznika dwoma w przybliżeniu podobnymi źródłami oraz szybkości zliczeń impulsów  $I_1$  i  $I_2$  powstających w wyniku naświetlania licznika każdym ze źródeł osobno.

Szybkości zliczeń impulsów, jakie powinien – w tych dwóch przypadkach - zarejestrować licznik o zerowym czasie martwym niech będą oznaczone odpowiednio jako:  $I_{01,2}$  oraz  $I_{01}$  i  $I_{0,2}$ . Jeżeli przed okienkiem ustawimy oba źródła to szybkość zliczeń powinna być równa:

$$I_{01,2} = I_{01} + I_{02} \quad (16)$$

Zgodnie z (14):

$$I_{01} = \frac{I_1}{1 - I_1 \tau}, \quad I_{02} = \frac{I_2}{1 - I_2 \tau} \quad (17)$$

oraz

$$I_{01,2} = \frac{I_{1,2}}{1 - I_{1,2} \tau} \quad (18)$$

Po podstawieniu (17) i (18) do (16) otrzymamy:

$$\frac{I_{1,2}}{1 - I_{1,2} \tau} = \frac{I_1}{1 - I_1 \tau} + \frac{I_2}{1 - I_2 \tau} \quad (19)$$

Z powyższego równania (po odrzuceniu bardzo małej wielkości w postaci  $\tau^2$ ) otrzymujemy wyrażenie na czas martwy licznika:

$$\tau = \frac{I_2 - I_{1,2}}{2I_1 I_2} \quad (20)$$

Jeżeli znamy wartość czasu martwego  $\tau$  to ze wzorów (14) i (15) można znaleźć zależność  $\rho = \frac{I_0}{I}$  wskazująca ile razy rzeczywista liczba impulsów w jednostce czasu  $I_0$  jest większa od  $I$  – tj. rejestrowanej przez licznik:

$$\rho = \frac{I_0}{I} = \frac{I}{I(1 - I\tau)} = \frac{1}{1 - I\tau} \quad (21)$$

Odwrotność  $\frac{1}{\rho}$  nazywana jest wydajnością rejestracji impulsów związaną z czasem martwym. Dla

używanego w doświadczeniach konkretnego licznika Geigera-Müllera warto po zarejestrowaniu odpowiedniej liczby impulsów  $I$  sporządzić wykres zależności  $\rho = f(I)$ . Dla wybranej wartości  $I$  można z wykresu odczytać wartość  $\rho$  a następnie z zależności  $I_0 = \rho I$  określić rzeczywistą liczbę szybkości zliczeń.

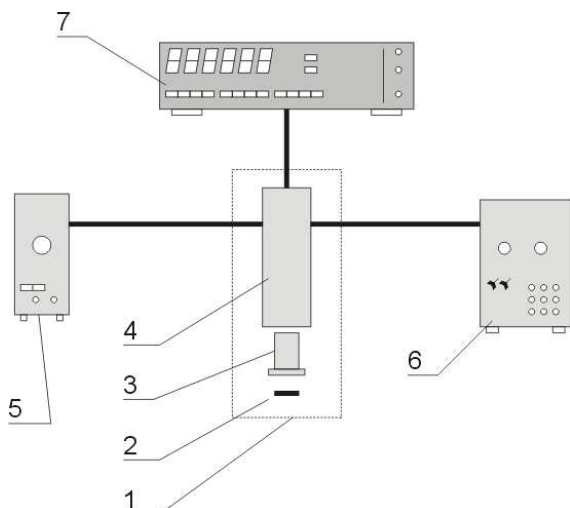
W praktyce znajomość wartości  $\rho$  (lub  $\frac{1}{\rho}$ ) daje informacje jak należy dobrać warunki pomiaru i

geometrię układu pomiarowego aby licznik prawidłowo zliczał dochodzące do niego cząstki promieniowania – liczba zarejestrowanych cząstek powinna niewiele różnić się cząstek wpadających do licznika. Jeżeli liczba zarejestrowanych impulsów w jednostce czasu  $I$  jest tak duża, że iloczyn  $I\tau$  w zależności (21) dąży do 1 to wówczas  $\rho \rightarrow \infty$  czyli  $I_0 \gg I$  i w rzeczywistości przez pewien czas licznik jest zablokowany i w ogóle nie rejestruje przychodzących cząstek.



## V. Część doświadczalna

### – Schemat blokowy układu pomiarowego



1. Domek ołowiany
2. Preparat promieniotwórczy
3. Licznik G-M.
4. Przedwzmacniacz
5. Zasilacz wysokiego napięcia
6. Zasilacz przedwzmacniacza
7. Przelicznik

Rys. 1. Schemat blokowy układu pomiarowego

### – Wykonanie ćwiczenia

1. W obecności prowadzącego zajęcia lub opiekuna pracowni włączyć przyrządy układu pomiarowego i ustalić: napięcie progowe, napięcie pracy licznika oraz odpowiednie czasy pomiaru liczby impulsów (np. 200s). Dokonać pomiaru liczby zliczeń tła (gdy nie ma preparatu promieniotwórczego pod licznikiem).
2. Używane w ćwiczeniu dwa preparaty  $\gamma$ - promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  znajdują się w kasetce. Wyjąć ostrożnie pierwszy preparat umieścić go w domku ołowianym pod licznikiem G-M i w ustalonym czasie zmierzyć liczbę impulsów -  $N_1$ .
3. Pozostawiając pierwszy preparat umieścić w domku preparat drugi i dokonać pomiaru liczby impulsów -  $N_{1,2}$  (należy uzyskać w przybliżeniu podwojoną liczbę zliczeń w stosunku do  $N_1$ ).
4. Następnie usunąć z domku pierwszy preparat, i zmierzyć liczbę impulsów -  $N_2$  w obecności tylko preparatu drugiego.
5. Wyjąć z domku drugi preparat i ponownie dokonać pomiaru liczby impulsów pochodzących od tła.
6. Czynności zawarte w punktach 2, 3 i 4 powtórzyć dla innej odległości preparatów od licznika Geigera-Müllera.
7. Dla każdej odległości preparatów od licznika pomiary liczby impulsów powtórzyć trzy razy i wyciągnąć wartość średnią.
8. **Uwaga! Należy pamiętać o bezwzględny zachowaniu tej samej geometrii układu źródeł podczas ich manipulacji w trakcie wykonywania pomiarów.**
9. Umieścić ponownie dowolny preparat w domku ołowianym. Wyjście sygnału z przedwzmacniacza licznika połączyć z oscyloskopem. Otrzymać na ekranie w miarę możliwości wyraźny obraz powstałego impulsu.

### – Opracowanie wyników

1. Wyznaczyć szybkość zliczeń:  $I_1=(N_1-t_0)/t$ ,  $I_2=(N_2-t_0)/t$ ,  $I_{1,2}=(N_{1,2}-t_0)/t$  następnie ze wzoru (12) wyliczyć czasy martwe dla każdej serii pomiarowej oraz średni czas martwy używanego w ćwiczeniu licznika.
2. Dla wybranych (ok. 25) wartości szybkości zliczeń  $I$  z zakresu:  $0 \div 350 [\text{s}^{-1}]$  sporządzić wykres funkcji  $p=f(I)$ :





## Pracownia Radioizotopowa

## Ćwiczenie 3

$$\rho = (1 - I\tau)^{-1} \quad (22)$$

gdzie  $\rho = I_0/I$  jest odwrotnością współczynnika wydajności,  $I_0$  – rzeczywista szybkość zliczeń impulsów,  $\tau$  – wyznaczonym w ćwiczeniu czasem martwym licznika.

3. Korzystając z wykresu, dla dowolnej wartości  $I$  wyznaczyć  $\rho$  a następnie  $I_0$ .
4. Wyliczyć i nanieść na wykres niepewności pomiarowe.
5. Na podstawie otrzymanego na ekranie oscyloskopu obrazu i odczytu wartości podstawy czasu określić czas restytucji oraz czas martwy licznika. Pomiary wykonać dla jednej odległości preparatu od licznika.
6. Porównać i przedyskutować otrzymane wartości czasu martwego wyznaczonego metodą dwóch źródeł i za pomocą oscyloskopu.

– **Proponowane tabele wyników pomiarów**

Tabela I

	Czynne źródła	Czas pomiaru [s]	Liczba zliczeń impulsów [N]		
<b>I odległość</b>	1				
	2				
	1+2				
<b>II odległość</b>	1				
	2				
	1+2				
<b>Tło</b>					

Tabela II

	Czynne źródła	$I[s^{-1}]$			$I_{sr}[s^{-1}]$	$\tau[\mu s]$	$\tau_{sr}[\mu s]$
<b>I odległość</b>	1						
	2						
	1+2						
<b>II odległość</b>	1						
	2						
	1+2						