

CZAS ŻYCIA MIONÓW

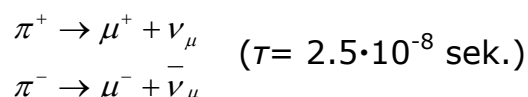
I. Cel ćwiczenia i metoda pomiarów

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie czasu życia mionów. Rozpad mionu, tak, jak innych cząstek nietrwałych, jest procesem przypadkowym. W mechanice kwantowej funkcja falowa nietrwałej cząstki swobodnej zawiera człon zależny od czasu t opisywany wyrażeniem $e^{-iEt}e^{-t/2\tau}$, gdzie E to energia cząstki, a τ to tzw. średni czas życia nazywany także w skrócie czasem życia. Liczba cząstek, które nie uległy rozpadowi po czasie t dana jest przez kwadrat modułu tego wyrażenia i jest opisywana wzorem $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$, gdzie N_0 to początkowa liczba cząstek. Większość metod wyznaczanie wartości τ polega na pomiarze zależności N od czasu t .

W pomiarach czasu życia mionów wykorzystuje się dodatkowo naładowane miony z promieniowania kosmicznego, które są zatrzymywane w detektorze scyntylacyjnym, a następnie rozpadają się z emisją pozytonów: $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$. Czas życia mionów wyznacza się w oparciu o różnicę czasu pojawienia się impulsów z detektora scyntylacyjnego wywołanych zatrzymaniem mionu i emisją pozytonu.

II. Ogólne informacje o promieniowaniu kosmicznym

Do Ziemi dociera z kosmosu strumień cząstek, głównie protonów, cząstek α i jąder cięższych pierwiastków. Cząstki te oddziałują z atomami w górnej części atmosfery. W wyniku tego powstaje promieniowanie wtórne składające się z nukleonów oraz tzw. składowej twardej i miękkiej. Do powierzchni Ziemi nukleony prawie nie docierają. Przy ich zderzeniach z jądrami atomów powstają mezony π . Naładowane mezony π rozpadają się następująco:



Miony produkowane w rozpadach pionów żyją dłużej niż piony ($\tau = 2 \cdot 10^{-6}$ sek.) i część z nich dociera do powierzchni Ziemi dzięki relatywistycznej dylatacji czasu związanej z ich dużymi prędkościami.

Miony stanowią twardą składową promieniowania. Mięka składowa promieniowania docierająca do Ziemi to elektrony, które produkowane są w procesach zderzeń, rozpadów, a także kreacji par e^+e^- przy oddziaływaniu kwantów γ z atomami w powietrzu.

Elektrony oddają energię wskutek wypromieniowywania promieniowania hamowania znacznie łatwiej niż miony $\left(\frac{dE}{dx} \approx \frac{1}{m^2}\right)$, gdyż są znacznie od mionów lżejsze. Wskutek tego energie elektronów przy powierzchni Ziemi są znacznie mniejsze niż mionów.

Promieniowanie wtórne na poziomie morza składa się w 80% z mionów, 19% z elektronów i 1% z nukleonów.

Natężenie promieniowania jest ok. 2 cząstki na sekundę na 1 dm² poziomej powierzchni.

Ponieważ warstwa atmosfery jest znacznie cieńsza w kierunku wertykalnym niż horyzontalnym, więc – jak się można spodziewać – z kierunku wertykalnego dociera znacznie więcej cząstek niż z kierunku horyzontalnego. Ogólnie, zmiana strumienia cząstek z kątem odbywa się w przybliżeniu jak $\cos^2\theta$, gdzie θ jest kątem pomiędzy kierunkiem wertykalnym, a kierunkiem obserwacji.

III. Przeprowadzenie pomiarów

Pomiary wykonywane są przy pomocy detektora scyntylicyjnego składającego się z czterech prostokątnych płyt scyntyлятора plastikowego ułożonych na przemian z czterema płytami ołowianymi. Scyntyulatory mają długość 50 cm, szerokość 9 cm i grubość 0.5 cm. Taką samą grubość mają płyty ołowiane. Podłużny pakiet scyntylatorów odczytywany jest z obu końców przez parę fotopowielaczy. Koincydencja sygnałów z fotopowielaczy pozwala na czyste oddzielenie sygnałów pochodzących od przejścia mionów od szumów, które pojawiają się w fotopowielaczach w sposób nieskorelowany czasowo. Przeważająca część mionów docierająca do detektora, przelatuje przez niego bez zatrzymania generując pojedynczy impuls. Jednak niewielka część mionów – na poziomie 0.1% - zatrzymuje się w detektorze tracąc w nim całą swoją energię. Istotną rolę odgrywają w tym przypadku płyty ołowiane, w których straty energii mionów są stosunkowo duże co zwiększa prawdopodobieństwo zatrzymania mionów w detektorze. Po czasie rzędu 2 μ s miony rozpadają się emitując pozyton. W detektorze wytwarzany jest drugi impuls związany z przejściem przez niego pozytonu. Pomiar widma różnicy czasu pomiędzy impulsem związanym z nadejściem mionu, a impulsem wytworzonym przez emitowany pozyton pozwala na wyznaczenie czasu życia mionów.

Proponowany plan pomiarów jest następujący:

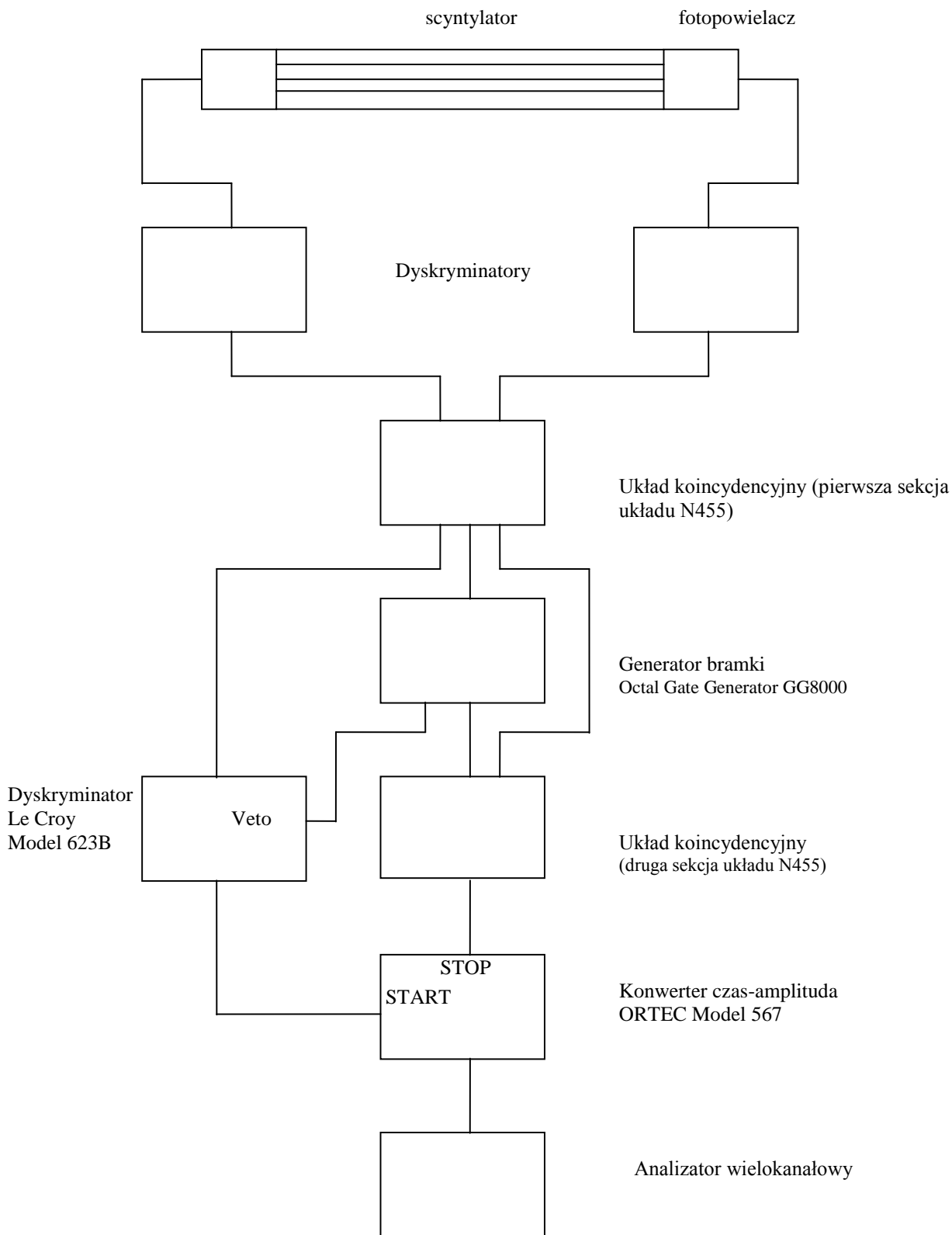
1. Podać wysokie napięcie na fotopowielacze (ok. -1600V). Zmiany napięcia dokonuje się przez pokręcanie śrubokrętem potencjometrów znajdujących się na przedniej ścianie zasilacza wysokiego napięcia. Odczyt ustawionego napięcia umożliwi błądzek „HV-monitoring”.
2. Zaobserwować impulsy bezpośrednio z fotopowielaczy przy pomocy oscyloskopu (długość impulsów (ich czas trwania) jest niewielka - rzędu 10 ns).
3. Podać sygnały z fotopowielaczy na dyskryminator (*Le Croy*, model 821). Sprawdzić, jaka jest częstość impulsów wyjściowych z dyskryminatora. Można to zrobić podając szybkie ujemne impulsy z dyskryminatora na błądzek „Logic Shaper and Delay – 1401”, a następnie wolne, dodatnie impulsy z tego błądzka zliczać przy pomocy przelicznika „Scaler – 1403”.

Częstość zliczania impulsów powinna być ok. 10 - 20 Hz. Jeśli ta częstość jest zbyt duża (liczymy dodatkowo szumy z fotopowielaczy) lub zbyt mała (nie rejestrujemy wszystkich impulsów od promieniowania kosmicznego), wtedy należy dostroić wysokość progów dyskryminacji w dyskryminatorach. Robimy to przy pomocy małego śrubokręta przez pokręcanie wewnętrznych potencjometrów w dyskryminatorze dostępnych na jego przedniej ścianie i oznaczonych „THR”. Wysokość ustawienia progów można wyznaczyć poprzez pomiar napięcia kontrolnego na kontakcie „THR” dostępnym na przedniej ścianie dyskryminatora (kontakt ten otoczony jest białym izolatorem). Napięcie mierzymy względem masy kraty zasilającej blozki.

Do pomiaru napięcia kontrolnego należy wykorzystać miernik uniwersalny, który można wypożyczyć od panów z zaplecza technicznego Pracowni (Uwaga: napięcie kontrolne jest dokładnie o czynnik 10 większe od wysokości progów).

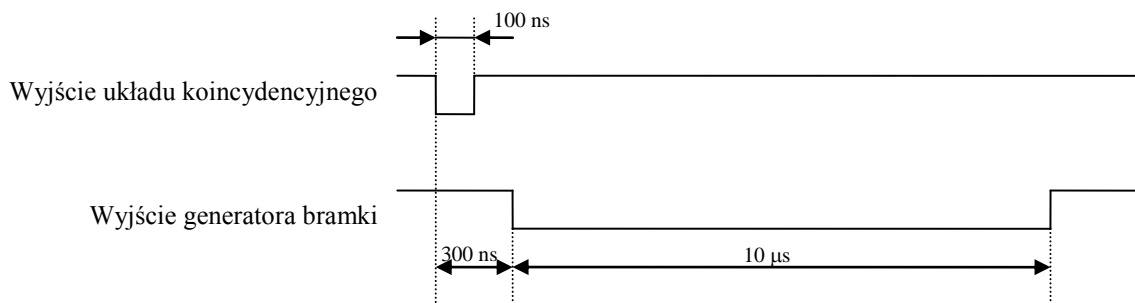
4. Sprawdzić przy pomocy oscyloskopu czas trwania impulsów wyjściowych z dyskryminatora. Ustawić ich długość na ok. 100 ns poprzez pokręcanie potencjometrem „WIDTH”.
5. Podać impulsy z dwóch kanałów dyskryminatora, odpowiadających wykorzystywanym fotopowielaczom, na układ koincydencyjny „Quad Coincidence Logic Unit CAEN Model 455). Ustawić szerokość impulsów z układu koincydencyjnego na ok. 100 ns.

6. Zestawić układ elektroniczny do pomiaru czasu życia mionów.



UWAGA : wykonując ćwiczenie należy zachować szczególną ostrożność. Nie dotykać elementów układów elektronicznych i detekcyjnych będących "pod napięciem", unikać bezpośredniego kontaktu ze źródłami promieniotwórczymi i nie spożywać jakichkolwiek artykułów spożywczych na terenie pracowni.

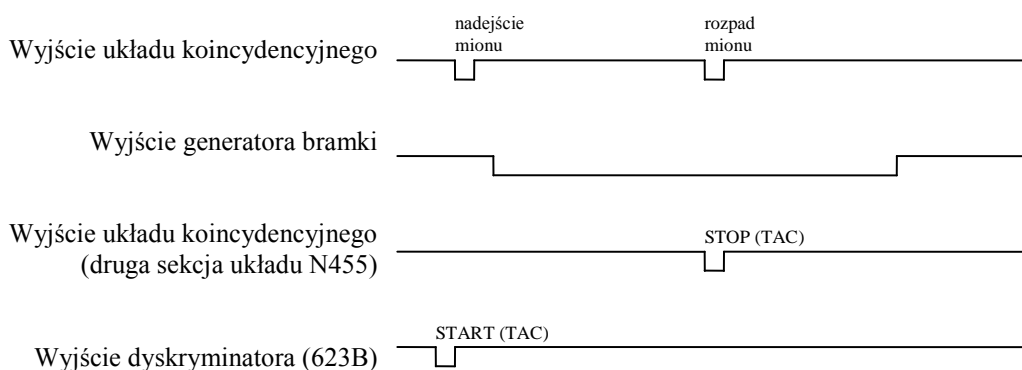
7. Ustawić długość i opóźnienie impulsów z generatora bramki. Długość impulsów z generatora bramki „Octal Gate Generator GG 8000” powinna wynosić ok. $10\ \mu\text{s}$. Będzie to „oknem czasowym” do pomiarów czasu życia mionów. Impulsy z generatora bramki powinny być opóźnione o ok. $300\ \text{ns}$ w stosunku do impulsów wejściowych pochodzących z układu koincydencyjnego (patrz rysunek poniżej).



8. Ustawić zakres konwertera czas-amplituda (ORTEC 567) na $10\ \mu\text{s}$ (pokrętko RANGE na 100 ns, i pokrętko MUTLIPLIER na 100).

IV. Prowadzenie pomiarów

W przypadku gdy mion z promieniowania kosmicznego zatrzyma się w detektorze, a następnie rozpadnie się z emisją pozytonu, na wyjściu fotopowielaczy jak również na wyjściu układu koincydencyjnego (pierwsza sekcja układu N455) pojawią się dwa impulsy (patrz schemat poniżej).



Koincydencja pomiędzy impulsami z pierwszej sekcji układu koincydencyjnego N455, a impulsem generatora bramki wybiera impuls od rozpadu mionu. Impuls ten jest wykorzystywany jako STOP dla konwertera czas-amplituda (TAC-ORTEC 567). Sygnał startu dla konwertera czas-amplituda pochodzi od sygnału związanego z nadejściem mionu i wybierany jest przy pomocy bloczka dyskryminatora 623B z wykorzystaniem funkcji VETO.

Ponieważ w detektorze zatrzymuje się ok. 0.001 wszystkich docierających do niego mionów, więc sam pomiar życia mionów wymaga stosunkowo dużo czasu. Dla zebrania kilku

tysięcy przypadków rozpadu mionów wymagany jest kilkudniowy pomiar. Najlepiej jest prowadzić pomiar przez cały tydzień, aż do następnej pracowni. W międzyczasie (np. poniedziałek, środa) można sprawdzić jakość zbieranych widm i zapisać je na dysku komputera.

V. Kalibracja czasowa układu pomiarowego

Przed lub po dokonaniu pomiarów zdarzeń rozpadu mionu należy dokonać kalibracji czasowej układu pomiarowego. W tym celu impulsy z jakiegoś źródła impulsów (np. z układu koincydencyjnego) należy rozdzielić w ten sposób, że jeden jest podawany bezpośrednio na START konwertera czas-amplituda a drugi opóźniany przy pomocy układu "Octal Gate Generator" podawany jest na STOP konwertera. Różnice czasu pomiędzy STARTem i STOPem mierzymy przy pomocy oscyloskopu, a następnie rejestrujemy wielkość amplitudy z konwertera (na analizatorze wielokanałowym). Pomiarów te wykonujemy dla kilku opóźnień z zakresu od 0 do 10 μ s. Posłużą one do kalibracji czasowej układu tzn. do znalezienia zależności pomiędzy różnicą czasu mierzoną przez konwerter TAC, a numerem kanału analizatora.

Alternatywnym sposobem przeprowadzenia kalibracji czasowej układu jest wykorzystanie dwóch z czterech równoległych wyjść jednego z dyskryminatorów, do których podłączone są fotopowielacze. Jedno z wyjść podłączamy do układu koincydencyjnego (tak jak na przedstawionym schemacie elektroniki), a drugie podajemy na „szybkie” wejście bloczka typu „Logic Shaper and Delay”. Impuls opóźniony w tym bloczku podajemy na drugie wejście układu koincydencyjnego (zamiast impulsów z drugiego fotopowielacza). Układ koincydencyjny przełączamy do modu „OR”, co powoduje, że podane na niego impulsy (przychodzący bezpośrednio z dyskryminatora i ten opóźniony w bloczku „Logic Shaper and Delay”) są dodawane. W pozostałej części układ elektroniczny jest taki sam, jak do pomiaru czasu życia mionów. Na wyjściu układu koincydencyjnego powinniśmy obserwować dwa impulsy przychodzące jeden po drugim i naśladujące w ten sposób przypadki związane z przyjściem i rozpadem mionu. Odległość czasową tych impulsów mierzymy przy pomocy oscyloskopu, a następnie rejestrujemy różnicę czasu stosując pełny układ elektroniczny odczytywany przez komputer. Podobnie jak w pierwszej metodzie kalibracji dokonujemy kilku pomiarów dla opóźnień z zakresu od 0 do 10 μ s.

VI. Opracowanie pomiarów

- Wykonać wykres kalibracyjny tzn. zależność pomiędzy różnicą czasu t , a numerem kanału. Dopasować do tej zależności prostą przybliżającą zależność kalibracyjną.
- Dla pomiaru czasu życia mionów wykonać wykres zależności liczby zliczeń od czasu t .
- Dopasować do punktów funkcję eksponencjalną postaci $N=a \cdot \exp(-t/\tau)+b$. Współczynniki a , τ , b otrzymujemy z dopasowania. Wartość b określa poziom koincydencji przypadkowych. Współczynnik τ jest szukanym czasem życia mionów.
- Przy określaniu błędu pomiaru czasu życia mionów τ uwzględnić niepewność statystyczną τ oraz niepewność systematyczną związaną z kalibracją czasową układu pomiarowego.
- Porównać otrzymany wynik z wartością tablicową.

VII. Pytania do kolokwium

- 1) Podstawowe wiadomości dotyczące pochodzenia, składu, natężenia i rozkładu energetycznego promieniowania kosmicznego (pozycja literatury: 1, 2 (str.26-30) oraz 3 (rozdz. 24.3.1)),
- 2) Własności mionów z uwzględnieniem liczb kwantowych i schematu rozpadu (pozycja literatury: 2 (str. 21-24)),
- 3) Objaśnić stosowaną metodę pomiaru (instrukcja do ćwiczenia).

VIII. Zalecana literatura

- 1) http://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_kosmiczne
(kopia załączona do instrukcji)
- 2) D. H. Perkins, Wstęp do fizyki wysokich energii”, PWN, Warszawa 2004, str. 21-30
(kopia załączona do instrukcji)
- 3) The Review of Particle Physics, C. Amsler et al., Phys. Lett. **B667**(2008)1
<http://pdg.lbl.gov/>
(kopia załączona do instrukcji)