

PROMIENIOWANIE KOSMICZNE

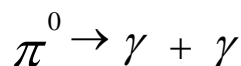
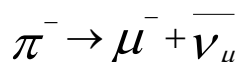
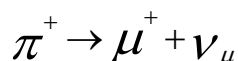
I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar rozkładu kąтового promieniowania kosmicznego oraz wyznaczenie prędkości cząstek tego promieniowania.

II. Informacje o promieniowaniu kosmicznym

Promieniowanie kosmiczne dzielimy na pierwotne i wtórne. Promieniowanie pierwotne jest to strumień cząstek: protonów, cząstek alfa, jąder ciężkich pierwiastków pochodzących ze źródeł astrofizycznych (wybuchy supernowych, dyski akrecyjne czarnych dziur). Cząstki wchodzące w skład tego promieniowania są wysokoenergetyczne, o energiach często przekraczających te dostępne w akceleratorach.

Promieniowanie wtórne jest efektem oddziaływania promieniowania pierwotnego z atmosferą ziemską. Składa się ono z nukleonów oraz tzw. składowej miękkiej i twardej. Miękką składową stanowią elektrony produkowane w procesach zderzeń, rozpadów oraz kreacji par $e+e-$ przy oddziaływaniu kwantów gamma z atomami w powietrzu. Twardą składową stanowią miony μ , które produkowane są w rozpadach pionów π stanowiących jeden z głównych krótko życiowych produktów oddziaływania promieniowania pierwotnego z atmosferą. Piony naładowane π^+ , π^- rozpadają się na pary mion - neutrino mionowe, natomiast piony neutralne π^0 ulegają rozpadowi na pary kwantów gamma:



Ze względu na zbyt małą wartość czasu życia τ wynoszącą $2.5 \cdot 10^{-8}$ [s] piony naładowane nie dolatują do powierzchni ziemi. Miony produkowane w rozpadach pionów żyją dłużej niż piony ($\tau = 2 \cdot 10^{-6}$ sek.) i dzięki relatywistycznej dylatacji czasu związanej z ich dużymi prędkościami część z nich dociera do powierzchni ziemi.

Zadanie: Wyprowadzić wzór na czas życia mionów w układzie laboratoryjnym i przebytą w nim drogę w funkcji prędkości mionów.

Część mionów zatrzymywana jest w detektorze scyntylicyjnym. Miony są niestabilne, rozpadają się następująco:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

Promieniowanie wtórne na poziomie morza składa się w 80% z mionów, 19% z elektronów i 1% z nukleonów. Natężenie promieniowania wynosi ok. 2 na sekundę na 1 dm² poziomej powierzchni.

Zależność natężenia promieniowania od kąta α pomiędzy kierunkiem obserwacji a kierunkiem wertykalnym opisana jest w przybliżeniu wzorem:

$$\frac{dN}{dAd\Omega dt} = I_0 \cos^2(\alpha)$$

gdzie $I_0 \sim 100$ [m⁻² sr⁻¹ s⁻¹], dN – liczba cząstek padających w kąt bryłowy $d\Omega$ na powierzchnię dA w czasie dt .

III. Minimum wiedzy z zakresu cząstek elementarnych

Cząstki elementarne definiuje się jako cząstki nie rozpadające się na bardziej podstawowe składniki. W obowiązującym Modelu Standardowym cząstki są podzielone na dwie podstawowe grupy – kwarki i leptony:

Ładunek	Kwarki		
+2/3	u	C	t
-1/3	d	S	b

Ładunek	Leptony		
-1	e ⁻	μ ⁻	τ ⁻
0	ν _e	ν _μ	ν _τ

Zarówno kwarki jak i leptony są fermionami. Jak do tej pory nie obserwuje się swobodnych kwarków; występują tylko w uwięzionej postaci jako hadrony. Kwarki biorą udział w oddziaływaniach elektromagnetycznym, silnym i słabym. Leptony oddziałują słabo i elektromagnetycznie, a neutrina tylko słabo. Te ostatnie są bardzo trudne do zaobserwowania i przez długi czas sądzono, że mają masę spoczynkową równą zero. Oprócz tego, każdej z cząstek w tabeli odpowiada jej anty-partner dla którego liczby kwantowe mają przeciwny znak.

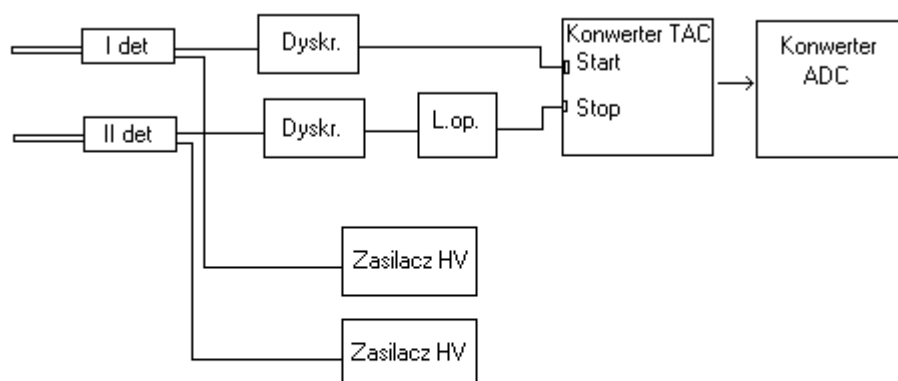
IV. Przebieg eksperymentu

1. Podać napięcie na fotopowielacze. Wartości napięcia są podane na obudowach fotopowielaczy. Proszę zwrócić uwagę na polaryzację.
2. Ustawić wstępnie progi dyskryminatorów (Fast Discriminator 1502): 0.2 [V].
3. Sprawdzić przy pomocy przelicznika (Scaler 1403) czy liczba zliczeń dla każdego z detektorów mieści się w przedziale 5-20 na sekundę. W przypadku, gdy istnieje odchylenie od tej wartości należy zmienić ustawienia odpowiedniego dyskryminatora.

Uwaga 1: Oczekiwana liczba zliczeń od promieniowania kosmicznego dla detektorów wykorzystywanych w zestawie wynosi ok. 4 na sekundę, ale ze względu na obecność szumów, których amplituda może być porównywalna z sygnałami od realnych cząstek, poziom dyskryminacji ustawiamy nieco niżej. Szумы mogą dawać pewne stałe tło w mierzonych widmach czasu przelotu.

Uwaga 2: Dla zliczania impulsów w przeliczniku wykorzystujemy „wolne” wyjścia dyskryminatorów.

4. Dokonać kalibracji czasowej układu. W tym celu wykorzystujemy impulsy jednego z dyskryminatorów dostępne na jego dwóch „szybkich” wyjściach. Jedno z wyjść łączymy z wejściem START konwertera czas-amplituda (Time to Amplitude Converter 1701), a drugie z linią opóźniającą (Nanosecond Delay 1506), a następnie z wejściem STOP konwertera. Wybrać najmniejszy zakres czasowy konwertera równy 50 ns. Sygnał z konwertera czas-amplituda przekazać na analizator wielokanałowy (TUKAN-8K-USB). Pomiar wykonujemy dla kilku opóźnień ustawionych na linii opóźniającej. W oparciu o zmierzone punkty ustalamy obszar liniowy kalibracji. Do dalszych pomiarów wybieramy opóźnienie mniej więcej w środku obszaru liniowego.
5. Wyjście „szybkie” jednego z dyskryminatorów podłączyć na wejście START konwertera czas-amplituda, a wyjście drugiego po opóźnieniu w linii opóźniającej podać na STOP konwertera.
6. Dokonać pomiarów widm czasu przelotu dla kilku kątów w zakresie od 0° do 90° oraz dla 180° wybierając czas pojedynczego pomiaru na co najmniej 1000 sekund, a dla pomiarów służących do wyznaczenia prędkości światła możliwie dłużej, aby można było precyzyjnie wyznaczyć środki ciężkości rozkładów.



V. Opracowanie pomiarów

1. Wykonać wykres zależności liczby zliczeń cząstek promieniowania kosmicznego od kąta obserwacji. Zmierzone wartości porównać z krzywą teoretyczną wyliczoną w oparciu o wzór podany na pierwszej stronie tej instrukcji. W obliczeniach przyjąć, że powierzchnia dA wynosi $0.1\text{m} \times 0.24\text{m} = 0.024\text{m}^2$ co odpowiada powierzchni każdego z dwóch detektorów, a kąt bryłowy $d\Omega$ wyznaczany przez detektory jest równy powierzchni dA podzielonej przez kwadrat odległości pomiędzy nimi. Podać możliwe powody ewentualnych różnic pomiędzy zmierzonymi punktami, a krzywą teoretyczną.
2. Przedstawić na wykresie kalibrację czasową układu tzn. zależność pomiędzy opóźnieniem a numerem kanału. Dopasować prostą do części liniowej tej zależności.
3. W oparciu o położenie środków ciężkości pików w widmach czasu przelotu dla kątów pary detektorów 0° i 180° oraz znaną kalibrację czasową i odległość pomiędzy detektorami wyznaczyć prędkość cząstek promieniowania kosmicznego. Porównać ją z prędkością światła.

VI. Pytania do kolokwium

1. Wiadomości na temat promieniowania kosmicznego, jego składu, natężenia, spektrum energetycznego.
2. Transformacja Lorentza czasu własnego.
3. Podstawowe własności cząstek elementarnych.
4. Stosowana metoda pomiaru.

VII. Literatura

1. C. AMSLER et al., Phys. Lett. B667, 1 (2008), sekcja pt. „Cosmic Rays” w rozdziale „Astrophysics and Cosmology”, fragmenty kluczowe dla tego ćwiczenia zostały wyróżnione;
2. D. H. PERKINS, „Wstęp do fizyki wysokich energii”, PWN, Warszawa 2004, (rozdział 1.2.1 pt. „Podstawowe fermiony”).