

Obserwacja promieniowania kosmicznego za pomocą liczników proporcjonalnych kalorymetru BAC

Grzegorz Grzelak

(Instrukcja do ćwiczenia P1)

1 Wprowadzenie

Przedmiotem ćwiczenia jest badanie promieniowania kosmicznego za pomocą komór proporcjonalnych należących do jednego z rodzajów gazowych detektorów promieniowania jonizującego. Pierwotnie zaprojektowane zostały one do budowy kalorymetru uzupełniającego BAC (*Backing Calorimeter*) działającego w latach 1992-2007 w eksperymencie ZEUS [1] przy akceleratorze HERA w Hamburgu.

2 Promieniowanie kosmiczne

Wtórne promieniowanie kosmiczne docierające do powierzchni ziemi tworzą głównie miony ($\sim 70\%$ całkowitego strumienia) i elektrony oraz niewielka ($\sim 3\%$) domieszka protonów. Układ doświadczalny umieszczony pod dachem budynku oddzielającego go od atmosfery ziemskiej ponad metrową warstwą betonowych stropów rejestruje przede wszystkim miony (μ^+ , μ^-) stanowiące najbardziej przenikliwą składową promieniowania kosmicznego [2, 3, 4].

Celem ćwiczenia jest pomiar całkowitego natężenia strumienia mionów oraz zbadanie rozkładu kąтового tego promieniowania. Ćwiczenie to daje także możliwość zapoznania się z metodami zbierania danych stosowanymi we współczesnej fizyce cząstek elementarnych.

3 Układ doświadczalny

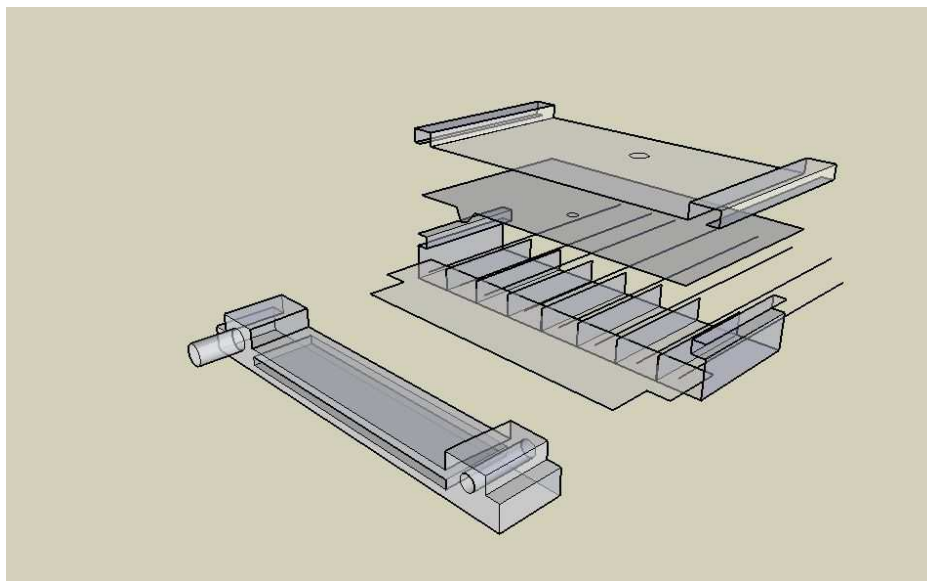
3.1 Budowa komory proporcjonalnej

Komory kalorymetru BAC (rys. 1) wykorzystywane w tym ćwiczeniu wykonane są z podzielonego na osiem cel profilu aluminiowego o długości 2.5 m.

Przez środek każdej celi przeciągnięty jest połączony wolframowy drut anodowy o średnicy $50\ \mu\text{m}$. Całość przykryta jest pięcioma płaszczyznami katodowymi (*pad*) o długości $50\ \text{cm}$ i szerokości $13.5\ \text{cm}$.

3.2 Powstawanie impulsu ładunkowego

Wnętrze komory wypełnia mieszanka gazowa złożona z argonu (*Ar*) z domieszką 13% dwutlenku węgla (*CO₂*). Pomiedzy anodą a katodą przyłożone jest wysokie napięcie rzędu $1800 - 2000\ \text{V}$. Po przejściu cząstki naładowanej ujemny ładunek pierwotnej jonizacji dryfuje do drutu anodowego ze średnią prędkością około $1\ \text{cm}/100\ \text{ns}$. W obszarze w pobliżu drutu, w silnym polu elektrycznym, dochodzi do dalszej lawinowej jonizacji zderzeniowej i wzmocnienia ładunku (tzw. wzmocnienie gazowe) o czynnik rzędu $10^4 - 10^5$. Uzyskane w ten sposób makroskopowe sygnały ładunkowe poddawane są dalszej obróbce elektronicznej. Więcej o konstrukcji i zasadach działania detektorów gazowych dowiedzieć się można z literatury wymienionej na końcu tej instrukcji [5].

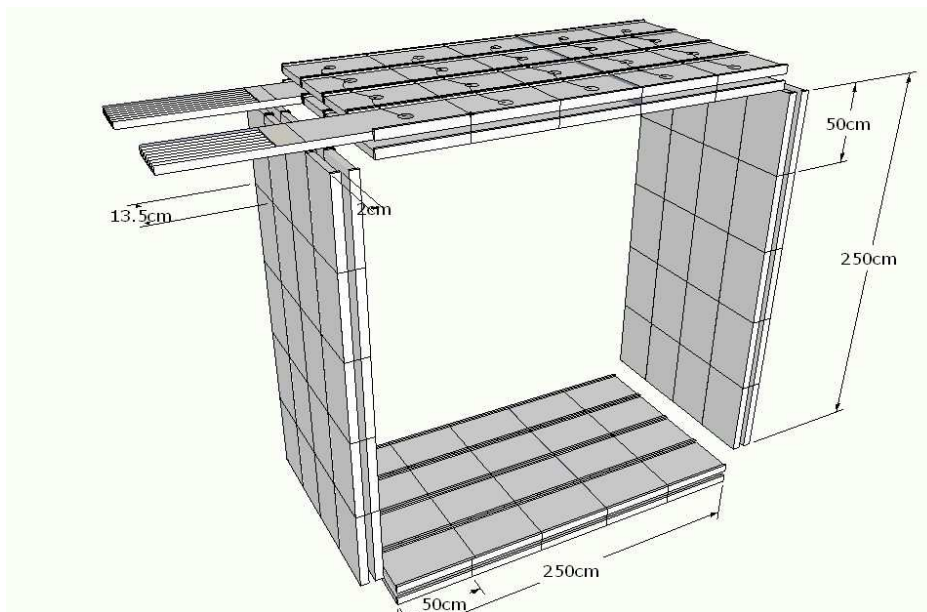


Rysunek 1: Schemat budowy aluminiowej komory proporcjonalnej kalorymetru BAC. We wnętrzu cel widoczne są druty anodowe. Nad nimi umieszczona jest płaszczyzna katodowa. W korku zamykającym komorę znajdują się otwory dostarczające mieszankę gazową.

3.3 Geometria układu pomiarowego

Układ pomiarowy do obserwacji promieniowania kosmicznego zbudowany jest z czterech podwójnych płaszczyzn komór rozmieszczonych wzdłuż krawędzi ustawionego pionowo czworoboku (rys. 2). Płaszczyzny katodowe (*pads*) sąsiednich komór połączone są galwanicznie i tworzą elementarną jednostkę odczytu o rozmiarach $50\text{ cm} \times 40.5\text{ cm}$.

Każda z podwójnych płaszczyzn podłączona jest z poprzez niezależny przepływomierz z butlą i reduktorem dostarczającym mieszkankę gazową.

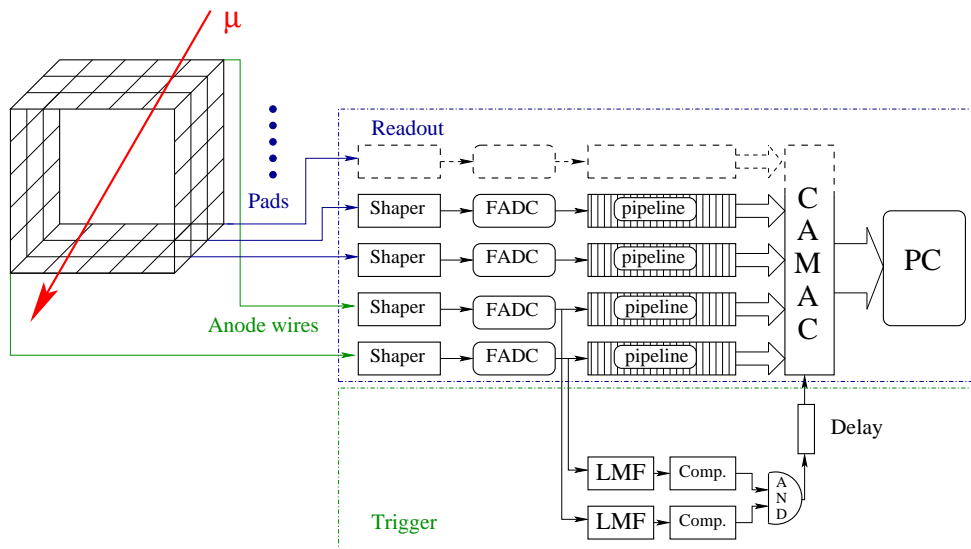


Rysunek 2: Konfiguracja geometryczna układu pomiarowego. Każda płaszczyzna detektora złożona jest z podwójnej warstwy komór.

4 Układ wyzwalania i odczyt sygnałów

4.1 Część analogowa

Sygnał ładunkowy powstały po przejściu cząstki naładowanej podawany jest na wzmacniacz oddzielnie dla każdego drutu anodowego oraz dla każdej grupy sąsiednich płaszczyzn katodowych (rys. 3). Depozyty gromadzone na drutach anodowych są dodatkowo sumowane w obrębie komór spotykających się w dwóch przeciwległych narożnikach czworoboku. Tworzą one następnie dwa sygnały wykorzystywane w układzie wyzwalania (*trigger*).



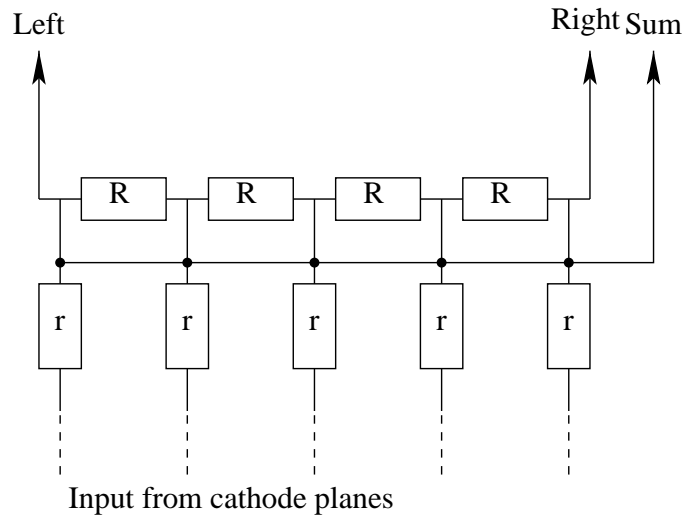
Rysunek 3: Schemat układu wyzwalania i odczytu. Szczegółowy opis w tekście instrukcji.

W celu zredukowania liczby kanałów odczytu cyfrowego, sygnały ze wszystkich grup płaszczyzn katodowych leżących w danej warstwie komór (pięć sygnałów) podawane są na wejścia “drabinki oporników” tworzącej szereg dzielników napięcia (rys. 4). Ostateczny odczyt dokonywany jest z obu końców dzielnika napięcia (dwa kanały). Pozwala to na podstawie porównania względnej wielkości tych sygnałów na rekonstrukcję pozycji (numeru płaszczyzny katodowej) przez którą przeszła cząstka.

Tak uzyskane sygnały ładunkowe są następnie przetwarzane na impulsy napięciowe za pomocą układów kształtująco-całkujących (*shaper*). Po tym etapie ich amplituda jest proporcjonalna do ładunku pierwotnie zebranego z komory. Dodatkowo, po przejściu przez układ kształtujący, przebieg czasowy sygnału uzyskuje standardową postać $A * f(t)$. Poprawne depozyty różnią się pomiędzy sobą tylko wielkością amplitudy A , podczas gdy zależność czasowa $f(t)$ jest powtarzalna dla danego *shapera*. Pozwala to na dalszym etapie analizy na efektywne odrzucenie szumów. Typowy czas trwania impulsu na tym etapie wynosi $1.0 - 1.5 \mu s$.

4.2 Część cyfrowa

Sygnały analogowe uzyskane z układów kształtujących podawane są następnie na wejście próbkujących ośmiobitowych przetworników analogowo-cyfrowych FADC (*Flash Analog to Digital Converter*). Przetworniki te pra-



Rysunek 4: Dzielnik napięcia używany przy odczycie z płaszczyzn katodowych.

cują synchronicznie dla wszystkich kanałów wejściowych z częstością 10 MHz (wspólny zegar taktujący). Uzyskane przez nie bajtowe dane buforowane są w rejestrach przesuwanych (*pipeline*). Jest to pamięć typu FIFO (*First In First Out*) o długości 32 komórek przechowująca informacje o stanie sygnałów wejściowych w czasie ostatnich $3.2\ \mu\text{s}$ ($= 32 * 100\ \text{ns}$).

W tym czasie układ wyzwalania analizuje dane decyzyjne, które trafiają do niego z kanałów FADC podłączonych do wysumowanych drutów anodowych. Na pierwszym etapie znajdowane są lokalne maksima sygnałów (układ LMF *Local Maximum Finder*):

$$A_i^{out} = \begin{cases} A_i^{in} & \text{jeśli } A_{i-1}^{in} < A_i^{in} \geq A_{i+1}^{in} \\ 0 & \text{w przeciwnym razie,} \end{cases}$$

gdzie A_i^{in} oznacza wartość uzyskaną z przetwornika FADC w i -tej chwili czasowej. Dodatkowo, w razie wykrycia lokalnego maksimum, wartość wyjściowa A_i^{out} utrzymywana jest także w kolejnej chwili czasowej ($A_{i+1}^{out} = A_i^{out}$). Pozwala to w kolejnym kroku, którym jest układ koincydencyjny na zniwelowanie ewentualnych różnic w czasie pojawienia się sygnałów wynikających z odmiennych czasów dryfu ładunku elektrycznego w mieszanke gazowej czy też nieco innych długości kabli w obu kanałach. Za układem LMF umieszczony jest komparator, który porównuje sygnały z zadanyim progiem, niezależnie dla każdego kanału układu wyzwalania. Jeśli sygnał przewyższa próg na wyjściu pojawia się jedylnka logiczna, w przeciwnym razie ustawiane jest zero logiczne.

Końcowa decyzja układu wyzwala wypracowywana jest przez układ koincydencyjny. Decyzja ta jest pozytywna jeśli równocześnie w kanałach podłączonych do górnej i dolnej płaszczyzny detektora pojawi się sygnał o wartości większej niż zadany próg komparatora. Decyzja układu wyzwala jest opóźniana za pomocą linii opóźniającej (*delay*) o około $1 \mu s$ w celu zebrania w rejestrach pamięci przesuwnej (*pipeline*) opadającego zbocza pulsu.

W razie pojawienia się pozytywnej decyzji układu wyzwala zatrzymywany jest nabór nowych danych z przetworników FADC, a pamięć rejestrów przesuwnych odczytywana jest poprzez szynę kasy CAMAC do podłączonego z eksperymentem komputera PC. Proces ten wprowadza czas martwy rzędu ułamka milisekundy na każdy zaakceptowany przypadek.

Przy braku pozytywnej decyzji układu wyzwala nowe dane napływające z przetworników FADC nadpisują pamięć rejestrów przesuwnych.

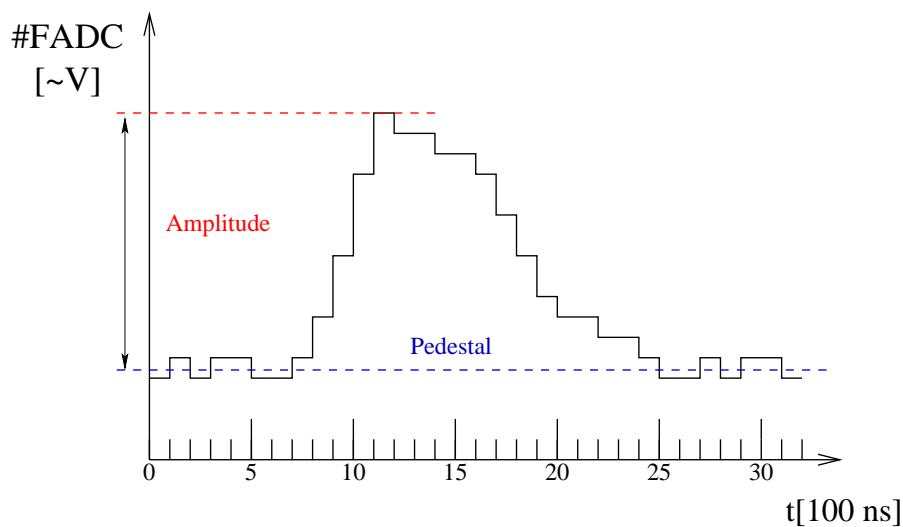
4.3 Analiza danych

Rysunek 5 zawiera przykładowy przebieg impulsu zarejestrowanego przez przetwornik FADC. Impuls składa się z 32 bajtowych danych odpowiadających pomiarom napięcia dokonywanym co 100ns (zegar taktujący 10 MHz). Wartości odczytane bezpośrednio przed pojawieniem się pulsu odpowiadają poziomowi odniesienia przetwornika FADC (tzw. "pedestał", *pedestal*). Określa on wartość mierzoną przez przetwornik w przypadku braku sygnału wejściowego. Użyteczną informacją o zarejestrowanej wielkości impulsu jest różnica pomiędzy wartością bezpośrednio zmierzoną przez przetwornik FADC a poprzedzającym go piedestałem. Piedestał ten może być różny dla każdego kanału przetwornika, może też zmieniać się w czasie pod wpływem pojawiających się zakłóceń.

4.4 Schemat opracowania wyników

Rozdział ten sygnalizuje jedynie główne punkty analizy, szczegóły techniczne omówione będą z osobą prowadzącą zależnie od wybranego wariantu ćwiczenia i stopnia jego trudności.

- Na wstępnym etapie analizy należy wyselekcjonować jedynie przypadki zawierające poprawne depozyty a odrzucić te w których pojawiły się szumy.
- Dla zarejestrowanych par sygnałów pochodzących z tej samej warstwy komór (odczytanych z obu końców dzielnika napięcia) zbadać rozkład względnej wysokości tych impulsów i zaproponować metodę rekonstrukcji pozycji wzdłuż komory (numeru aktywnej płaszczyzny katodowej).



Rysunek 5: Przykładowy puls uzyskany z przetwornika FADC.

- Zbadać korelacje częstości pojawiania się sygnału w leżących blisko siebie płaszczyznach katodowych i na tej podstawie oszacować efektywność każdej z nich.
- Wykonać rozkład częstości rejestracji sygnałów przez odpowiednie pary płaszczyzn katodowych z górnej i dolnej części detektora wraz z odpowiadającymi im błędami.
- Rezultaty uzyskane w poprzednim punkcie porównać z wynikami symulacji Monte Carlo (MC) wykonanej przy założeniu rozkładu kąтового $\sim \cos^2(\theta)d\Omega$ dla strumienia promieniowania kosmicznego. Uwzględnić poprawki na nieefektywność odpowiednich obszarów płaszczyzn katodowych.
- Wykorzystując dane z symulacji MC oszacować część całkowitego strumienia rejestrowanego przez układ pomiarowy i na tej podstawie wyznaczyć strumień całkowity. Uwzględnić poprawki na nieefektywność układu pomiarowego.

Literatura

- [1] Strona domowa eksperymentu ZEUS: <http://www-zeus.desy.de>

- [2] (A) *Wstęp do fizyki wysokich energii*; D.H. Perkins, PWN 1989.
(B) *Wstęp do fizyki jądra atomowego i cząstek elementarnych*; E. Skrzypczak, Z. Szeffiński, PWN 1995.
(C) Strona domowa *Particle data group*: <http://pdg.lbl.gov>
- słowniczek pojęć
 - tabela cząstek
 - bieżące informacje z dziedziny cząstek elementarnych
- [3] *Cosmic Ray Fluxes*, rozdział z tablicy cząstek elementarnych, np. *Physics Letters B*, vol. 239, 12 April 1990.
- [4] *Promieniowanie kosmiczne*; Zbigniew Strugalski, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 1993.
- [5] *Principles of operations of multiwire proportional and drift chambers*; F. Sauli, CERN 77-09.