

Zespołowy projekt studencki: Miniaturowe obserwatorium mionów kosmicznych oparte o liczniki Cosmic Watch

Boroński Olaf, Drągowski Franciszek, Lach Szymon
Opiekun: prof. dr hab. Krzysztof Doroba

28 lutego 2026

1 Wstęp

Celem projektu było uzupełnienie układu mierzącego rozkład kątowy rejestrowanych mionów przy użyciu detektorów typu Cosmic Watch w oprogramowanie wizualizujące zebrane dane oraz wykończenie układu poprzez dodanie paneli bocznych do obudowy. Zmontowano również kilka dodatkowych liczników Cosmic Watch w celu zapoznania się z ich działaniem.

2 Zasada działania aparatury

Miony docierające do powierzchni ziemi są leptonami powstałymi głównie w wyniku rozpadu mezonów z górnej warstwy atmosfery[2]. Strumień pierwotnego promieniowania kosmicznego (głównie protony i lekkie jądra pierwiastków) uderzając w gazy atmosfery tworzą wtórne hadrony, których rozpad produkuje docierające do powierzchni ziemi miony. Z racji braku oddziaływań silnych oraz relatywnie dużej masy — przewyższającej masę elektronu — należą do najbardziej przenikliwych cząstek naładowanych. W konsekwencji powierzchnia Ziemi jest nieustannie nimi omiataana, a ich strumień można ilościowo monitorować przy użyciu układu scyntylacyjnego sprzężonego z fotopowielaczem.

Przejście cząstki naładowanej przez scyntylator skutkuje absorpcją części jej energii oraz wtórną emisją fotonów. Emitowane kwanty światła trafiają do fotopowielacza, gdzie powstały sygnał jest wzmacniany i rejestrowany przez mikrokontroler zintegrowany z detektorem. Pojedynczy detektor umożliwia rejestrację zarówno liczby impulsów świetlnych, jak i ich charakterystyki czasowej.

3 Montaż detektorów

W ramach realizacji projektu samodzielnie zmontowałem trzy dodatkowe detektory typu Cosmic Watch. Proces montażu został przeprowadzony bez korzystania z oficjalnej instrukcji krok po kroku, ani szczegółowego planu montażowego. Punktem odniesienia były wcześniej działające egzemplarze detektorów, które zostały rozebrane w celu analizy ich konstrukcji, rozmieszczenia elementów oraz sposobu prowadzenia połączeń elektrycznych.

Na podstawie inspekcji istniejących modułów odtworzyłem logikę układu: rozmieszczenie elementów, orientację układów scalonych, sposób lutowania złączy. Szczególną uwagę zwróciłem na poprawność polaryzacji elementów, jakość połączeń oraz minimalizację potencjalnych zwarcí, które w tego typu układach mogą prowadzić do niestabilnej pracy detektora.

Proces lutowania obejmował:

- montaż elementów SMD na płytce drukowanej,
- wlutowanie przetwornicy wysokiego napięcia,
- instalację mikrokontrolera Arduino Nano,
- montaż złączy, diod sygnalizacyjnych oraz modułu wyświetlacza OLED,
- mechaniczne zespolenie płytki z obudową oraz scyntylatorem.

Całość prac została wykonana w warunkach laboratoryjnych, w ciągu dwóch wieczorów po zajęciach, bezpośrednio przed przerwą świąteczną Bożego Narodzenia. Był to proces wymagający precyzji, cierpliwości oraz konsekwentnej kontroli jakości lutów. Każdy etap był weryfikowany wizualnie oraz porównawczo z wcześniej funkcjonującymi detektorami.

Po zakończeniu montażu przeprowadzono testy uruchomieniowe polegające na sprawdzeniu poprawności zasilania, komunikacji mikrokontrolera z komputerem oraz rejestracji impulsów z fotopowielacza.

Praca ta pozwoliła na praktyczne zrozumienie architektury detektora Cosmic Watch, w szczególności zależności pomiędzy częścią scyntylacyjną, układem wysokiego napięcia oraz torem odczytu sygnału. Samodzielny montaż od podstaw, oparty na analizie istniejących rozwiązań, stanowił istotny element poznawczy projektu oraz umożliwił pełniejsze zrozumienie działania całego obserwatorium mionów.

3.1 Dokumentacja fotograficzna montażu

Na rysunku 1 przedstawiono wykonane przeze mnie detektory Cosmic Watch na etapie końcowego montażu. Widoczne są zarówno kompletne moduły z obudową i scyntylatorem, jak również płytki drukowane przed ostatecznym skręceniem układu. W dolnej części fotografii znajdują się trzy mikrokontrolery Arduino Nano przygotowane do instalacji w kolejnych egzemplarzach.

Zdjęcie dokumentuje stan po zakończeniu prac lutowniczych oraz wstępnej kontroli poprawności połączeń. Na jego podstawie można prześledzić strukturę detektora.

Fotografia stanowi potwierdzenie samodzielnego montażu trzech modułów, wykonanych metodą odtworzeniową na podstawie analizy wcześniej działających detektorów.



Rysunek 1: Zmontowane detektory Cosmic Watch oraz elementy przygotowane do instalacji (fot. własna).

4 Opis układu pomiarowego

Układ pomiarowy składa się z 8 liczników mionów Cosmic Watch[1], przymocowanych do aluminiowego profilu. Profil jest przymocowany do statycznej ramy w sposób umożliwiający obrót zestawu liczników w jednej osi o 360°. Liczniki są zgrupowane w dwa zestawy po cztery, jeden zestaw obrócony względem drugiego o 90°. W każdym zestawie są dwie pary liczników umieszczonych jeden nad drugim tak, że możliwe jest wykrycie koincydencji przelatujących przed oba scyntylatory mionów.



Rysunek 2: Ilustracja przedstawiająca ramę układu z zamontowanymi panelami bocznymi

Zastosowanie konfiguracji wielodetektorowej stanowi mechanizm filtrujący szum tła, czyli mionów nadlatujących z różnych kierunków, natomiast analiza koincydencji zdarzeń między modułami, pozwala na określenie kierunku przelatującej cząstki.

5 Obudowa

Detektory ułożone w konfiguracji pozwalającej na badanie kąтового rozkładu docierających do powierzchni ziemi mionów umieszczone są na ramie złożonej z aluminiowych profili. Aby zapewnić bezpieczeństwo obserwatorom działającego układu, jak i samemu układowi, zaprojektowano w programie fusion panele z plexi, które uniemożliwią dostęp rąk do obszaru działania. Ilustracja przedstawiająca samą ramę układu z panelami znajduje się na 2.

Projekt paneli uwzględni mocowania poziomych elementów ramy poprzez elementy widoczne na rys. 3. W tych miejscach zostały również dodane szczeliny na przeprowadzenie przewodów zasilających i komunikacyjnych. Dolne rogi paneli są ścięte pod kątem 45° na długości 2 mm. Jest to przestrzeń pozostawiona na łączenia trzech profili w rogach ramy. Wycięcia zlokalizowane przy górnych krawędziach paneli są miejscami gdzie obrotowa część układu jest mocowana. Odsunięte od środka panelu wycięcie jest miejscem umieszczenia silnika krokowego obracającego zestaw detektorów. Cztery otwory na froncie są miejscem mocowania mini komputera Raspberry pi odpowiadającego za sterowanie układem pomiarowym.

Panele boczne zostały wycięte przy użyciu wycinarki laserowej i tradycyjnej piły, gdyż ich wymiary są większe niż obszar roboczy wycinarki. Wycięte panele z plexi odebrano z warsztatu, natomiast nie zamontowano ich w obudowie.

6 Oprogramowanie

6.1 Punkt wyjścia

Najnowszymi programami przed rozpoczęciem pracy były `oraetlabora_fixed.py`, który zlicza pulsy i koincydencje w trybie wielowątkowym oraz przekazuje pobrane dane do grafany, oraz `step11_py3.py`, który zbiera pomiary w trybie jednowątkowym oraz obraca hodoskop między pomiarami po upływie danego przez użytkownika czasu.



Rysunek 3: Zdjęcie prezentujące elementy mocujące poprzeczne elementy ramy, znajdujące się wewnątrz aluminiowych profili.

6.2 Dodana funkcjonalność

Dwa istniejące programy wspomniane powyżej zintegrowano program "merged_lock.py" w następujący sposób: Logika wielowątkowego zbierania danych jest bardzo podobna do tej z oraetlabora, tabela wyświetlająca się na bieżąco także. W pętli kontrolnej zmieniono logikę odświeżania - zamiast zatrzymywać wątek kontrolny na sekundę, sprawdzany jest czas systemowy aby odświeżać tylko iedy minie 1 sekunda (zapobiega to efektywnemu unicestwieniu pętli kontrolnej). Globalną kontrolę liczby pulsów sprawuje teraz obiekt nowej klasy Stats, który w sposób bezpieczny pod względem wielowątkowości na trzyma i inkrementuje liczniki koincydencji i pulsów (Docelowo będzie zintegrowane z systemem trzymania danych z oraetlabora). Wprowadzono do pętli kontrolnej warunek wywołania obrotów po wykryciu danej liczby koincydencji. Dodano zmienną globalną Rotate określającą, czy wywoływać obrót (można ją ustawić na False aby testować logikę pomiarów bez ryzyka uszkodzenia hodoskopu). Przeniesiono implementację klasy do kontroli silnika krokowego ze step11 oraz logikę obrotu hodoskopem, którą zapakowano do funkcji rotate_hodoscope() i zaadaptowano na potrzeby programu i uporządkowano. Dodano rotate_pause, które funkcjonuje jako flaga zatrzymująca wątki zliczające pulsy na czas obrotu. Najnowsza wersja kodu jest dostępna na githubie: [<https://github.com/oboronski/CW>], dodatkowe informacje w README.md.

6.3 Aktualny stan

Program zbiera dane wielowątkowo, wywołuje obrót po zadanej liczbie koincydencji, zapisuje je w obiekcie stats oraz na serwerze prometheus. Parametry takie jak liczba koincydencji do wywołania obrotu lub czy wywoływać obrót można modyfikować zmieniając zmienne globalne w pliku.

6.4 Do zrobienia

Należy nadal zintegrować klasę stats ze słownikami z implementacji oraetlabora, dodatkowo sortując koincydencje do przedziałów kątowych jak w step11, następnie dostosować liczniki i wskaźniki Prometheus aby uwzględnić nowy format danych. Dobrze byłoby też uporządkować mało czytelny kod do obrotu systemu. Dobrze byłoby też aby po zakończeniu działania programu hodoskop wracał do pozycji neutralnej.

7 Podsumowanie

W trakcie trwania projektu zmontowano dodatkowe liczniki Cosmic Watch, co pogłębiło zrozumienie zasady działania liczników. Zaprojektowano i wycięto panele boczne obudowy układu zapewniające ochronę układu oraz obserwatorów przed przypadkowymi uszczerbkami na zdrowiu. Połączone dwa odrębne programy w jeden ułatwiają obsługę układu oraz dalsze rozwijanie projektu.

Literatura

- [1] S. Axani, K. Frankiewicz, and J. Conrad. The cosmicwatch desktop muon detector: a self-contained, pocket sized particle detector. *Journal of Instrumentation*, 13(03):P03019–P03019, Mar. 2018.
- [2] Z. Leś. *Podstawy fizyki atomu*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2 edition, 2021. Wydanie II przeokładkowane, dodruk 2023.