

dr hab. Paweł Staszal, prof. UJ
Instytut Fizyki Uniwersytet Jagielloński
ul. prof. Stanisława Łojasiewicza 11
30-348 Kraków
tel. (12) 664 4846
e-mail: ufstasze@if.uj.edu.pl

Kraków 7.11.2023

Recenzja pracy doktorskiej Pani mgr Aleksandry Molendy
pod tytułem
**“CMOS Technologies in Detector Readout
Systems of Modern Particle Physics Experiments”**

Rozprawa pani mgr Aleksandry Molendy związana jest z rozwojem układów elektroniki na bazie technologii CMOS do odczytu danych z detektorów używanych w eksperymentach wysokich energii. Autorka brała udział w różnych etapach rozwoju elektroniki odczytu, od fazy projektowej do fazy testów wytworzonych układów w pomiarach laboratoryjnych oraz w pomiarach w ramach eksperymentu HADES.

Dysertacja napisana jest w języku angielskim, i liczy 132 strony. Część merytoryczna składa się ze wstępu, czterech rozdziałów (włączając w to podsumowanie), aneksu oraz spisu literatury, który obejmuje 43 pozycje oddając aktualny stan wiedzy związanej z tematem pracy. Praca zawiera również oddzielne rozdziały zawierające spis rysunków, spis tabeli oraz używanych skrótów.

W pierwszym rozdziale Autorka przedstawia teoretyczne wprowadzenie do tematyki związanej z eksperymentalną fizyką wysokich energii ze szczególnym uwzględnieniem eksperymentów ważnych w kontekście tej pracy czyli CMS, HADES oraz PANDA. W przypadku eksperymentów HADES i PANDA Pani Molenda opisuje własności detektorów słomkowych, których rolą jest dostarczanie informacji pozwalających na rekonstrukcję śladów cząstek.

W drugim rozdziale Autorka przedstawia wykonane przez siebie pomiary, których celem była optymalizacja parametrów płytek FEB do zastosowania w wyżej wymienionych eksperymentach. Przeprowadzone optymalizacje miały na celu minimalizację liczby komponentów ulokowanych na FEB, aby umożliwić redukcję rozmiarów płytki. W ramach testów badano działanie płytek FEB dla napięć zasilania niższych od

wartości nominalnych tak, aby zminimalizować pobór mocy całego systemu. Autorka brała udział w przygotowaniu układu do testów ilościowych, w których wykonywano pomiary przy równoczesnym wykorzystaniu ośmiu płytek FEB.

W głównych testach przeprowadzonych w roku 2021 testowano aż 140 płytek (które zawierały 140 układów PASTTREC). Pozwoliło to na zebranie dużej statystyki dla badanych układów ASIC, co pozwoliło na systematyczną analizę ich parametrów i funkcjonalności. W wyniku przeprowadzonej analizy Autorka uzyskała wydajność dla badanych układów PASTTREC na poziomie 97%. Ponadto wyznaczono takie parametry jak linia bazowa, wzmocnienie, przesunięcie poziomu szumu oraz znaleziono odpowiednie współczynniki wyrównujące poziomy linii bazowych. Nie zaobserwowano znaczących różnic parametrów pomiędzy różnymi kanałami należącymi do tego samego układu ASIC. Poza poziomami szumów badane parametry zależały wyłącznie od punktu pracy elektroniki front-end, jednak na wielkość szumów na poszczególnych kanałach mogły wpływać takie czynniki jak lokalizacja kanału w układzie scalonym. W szczególności, dla kanałów zewnętrznych zaobserwowano większe poziomy szumów w stosunku do szumów w kanałach ulokowanych wewnątrz.

W ramach badań przedstawionych w niniejszej pracy Autorka brała udział w pomiarach modułów detektorów słomkowych naświetlanych promieniowaniem emitowanym przez izotop radioaktywny ^{55}Fe w laboratorium detektorów w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. Celem tych testowych pomiarów było sprawdzenie działania elektroniki odczytu po jej integracji z detektorami słomkowymi. Pani mgr Molenda przeprowadziła analizę zebranych danych, które pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- zastosowane korekcje poziomów linii bazowych działały prawidłowo również gdy elektronika współpracowała z detektorami,
- zastosowanie informacji o amplitudzie sygnałów generowanych przez izotop ^{55}Fe z pomiaru typu *Time-Over-Threshold* (TOF) pozwoliło na separację linii widmowych 5.9 keV i 6.5 keV na poziomie $S \approx 5.7 - 6.1$. Osiągnięta wartość jest o 20% większa od separacji uzyskanej metodą liniowego skanu poziomem progu,
- uzyskana rozdzielczość poprawiała się wraz z obniżaniem wysokiego napięcia w detektorach.

Niemniej, jak Autorka zwraca uwagę, obniżenie napięcia skutkuje jednocześnie pogorszeniem się pozycyjnej zdolności rozdzielczej detektorów, dlatego przy ustawieniu wysokiego napięcia powinno się brać pod uwagę obie przeciwstawne tendencje.

Rozdział trzeci poświęcony został rozwojowi dedykowanych układów ASIC dla przyszłych eksperymentów, chociaż Autorka nie specyfikuje czy chodzi o jakieś konkretne eksperymenty. Główna część tego rozdziału dotyczy projektu konwertera czasowo-

cyfrowego (TDC). Projekt został oparty na architekturze interpolatorów analogowych, które składają się z dwóch części TAC i ADC. Autorka ma wkład w projekt układu TAC oraz integrację układu TAC z układem ADC. W recenzji pomijam szczegóły rozwoju omawianego układu ASIC opisane w rozdziale trzecim ze względu na moje ograniczone kompetencje w przedstawionej tematyce.

W ostatniej części rozdziału trzeciego autorka przedstawia pomiary ADC zastosowane w układzie HGCROC do odczytu danych z detektora HGCALE w ramach eksperymentu CMS. Przetwornik ADC używany w ramach układu HGCROC to 10-bitowy przetwornik ADC SAR (układ opracowany przez grupę AGH), który został już wcześniej wspomniany w kontekście projektu TDC. Pani Molenda wykonała analizę działania stosowanego w pomiarach układu ADC i na tej podstawie uzyskiwała wyniki dotyczące INL i DNL, co pozwoliło na znalezienie najbardziej optymalnych ustawień opóźnień na ADC. Autorce udało się również ulepszyć działanie układu ADC, kierując się wynikami symulacji Monte Carlo konwertera TDC.

Praca Pani mgr Molendy jest ściśle powiązana z rozwojem i testami elektroniki odczytu dla detektorów służących do pomiaru cząstek produkowanych w eksperymentach wysokich energii. Jest to dziedzina, która ma podstawowy wpływ na charakter prowadzonych pomiarów i możliwości wykorzystania nowych technik pomiarowych. Przedstawione w pracy testy i analizy danych zostały przeprowadzone w sposób systematyczny i pozwoliły na potwierdzenie tego, że elektronika w której rozwoju Pani Molenda ma znaczący udział spełnia wymagania związane z odczytem danych z detektorów słomkowych. Pani Molenda wykazała się dużymi umiejętnościami w szerokim obszarze swojego działania od projektowania układów elektroniki typu ASIC (zakładam, że pozostali recenzenci poświęcą tym aspektom więcej miejsca w swoich recenzjach), przez projektowanie i realizację pomiarów testowych aż do analizy i interpretacji uzyskanych wyników.

Wyniki uzyskane w pracy uważam za znaczące i bardzo interesujące i z pewnością pozwolą one na optymalny wybór pracy elektroniki i samych detektorów w eksperymencie HADES i w przyszłości eksperymencie PANDA.

Do obowiązków recenzenta należy ocena i wskazanie zauważonych usterek pracy. Jak już zauważono, praca napisana jest w języku angielskim. Pod względem językowym praca jest przejrzysta jednak czasem pojawiają się tzw. skróty myślowe - na szczęście z kontekstu zawsze można odczytać pełne znaczenie przekazywanej treści. Nie zauważyłem błędów typowo edytorskich. Moje bardziej merytoryczne uwagi i pytania podaję poniżej:

1. W opisie testów przy użyciu izotopu ^{55}Fe nie podano pełnej informacji o promieniowaniu emitowanym przez izotop ^{55}Fe i wyjaśnienie w jaki sposób to promieniowanie może oddziaływać z mieszkanką gazową używaną w detektorach słomkowych.
2. Nie zrozumiałem znaczenia sentencji z rozdziału 2.5.2: ... *the counts were read every 1 minute.*” Czy chodzi może o to, że sygnały były zliczane przez czas jednej minuty? Proszę o wyjaśnienie.

3. W rozdziale opisującym skanowanie poprzez zmianę wartości progu oczekiwałym, że zostanie podana postać funkcji, która dopasowywana jest do danych. Rysunek 2.28 sugeruje, że w procedurze fitowania uwzględniany był punkt dla najniższej wartości progu leżącej już w obszarze szumu - co wydaje się być błędnym podejściem.

4. Dlaczego do wyrównania poziomu linii bazowych nie zastosowano procedury skanowania wartością progu tylko skanowanie typu TOT? Jak sama Autorka pisze w rozdziale 2.5.2, pierwsza metoda nie jest obciążona brakiem liniowości w zależności od energii sygnałów.

Powyższe uwagi nie wpływają jednak na całościowy obraz pracy, którą oceniam pozytywnie.

Pomimo zauważonych błędów i niedociągnięć, uważam rozprawę Pani mgr Aleksandry Molendy za pracę wartościową i oryginalną, która stanowi istotny wkład w rozwój technik eksperymentalnych w dziedzinie fizyki wysokich energii. Autorka wykazała się wysokimi umiejętnościami w różnych aspektach badawczych, co stawia ją w pozycji bardzo wartościowego członka eksperymentalnych grup badawczych.

Stwierdzam, że rozprawa przedstawiona przez mgr Aleksandrę Molendę spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania, dlatego stawiam wniosek o dopuszczenia Pani magister Aleksandry Molendy do dalszych etapów postępowania doktorskiego.



Paweł Staszek