



Dr hab. Adam Kozela
tel. 12 6628290
NZ24 IFJ PAN

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Pawła Strzempka
pt. „Development and evaluation of a signal analysis and a
readout system of straw tube detectors for the PANDA
spectrometer”**

Rozprawa doktorska magistra Pawła Strzempka została złożona na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w lutym 2017 roku. Jest napisana w języku angielskim, składa się z siedmiu rozdziałów, czterech appendiksów, liczy 112 stron. Praca dotyczy systemu akwizycji danych dla dryfowych detektorów słomkowych, w oparciu o które planuje się zrealizować rekonstrukcję śladów produktów reakcji w spektrometrze PANDA.

Rozdział pierwszy w sposób skrótowy przedstawia strukturę pracy oraz jej główną tezę, którą Autor sprowadza do stwierdzenia, że zaproponowany w niej schemat elektroniki odczytu sygnałów z detektorów słomkowych, oraz system akwizycji danych spełnia wymagania stawiane detektorowi do rekonstrukcji trajektorii oraz identyfikacji cząstek w eksperymencie PANDA.

Następujący po nim rozdział wprowadza czytelnika w tematykę związaną z tym eksperymentem. Obok dalekosiężnych celów czytelnik znajdzie tu opis infrastruktury całego laboratorium FAIR, jak też dość szczegółowy opis poszczególnych podsystemów samego eksperymentu. Pewien niedosyt pozostawia część dotycząca motywacji fizycznej badań, choć zainteresowani znajdą też referencje do bardziej szczegółowych opracowań. W sposób dużo bardziej wyczerpujący Autor przedstawia przedmiot dalszej części swojej pracy, układy detektorów śladowych, budowane na bazie tak zwanych słomek, czyli wielodrutowych komór dryfowych o cylindrycznych, rozseparowanych elektrycznie i gazowo celach dryfu. Dobre poznanie zasady działania tego detektora, oraz identyfikacja problemów związanych z jego zastosowaniem w tym konkretnym eksperymencie ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia dalszej części pracy.

W rozdziale trzecim mgr Strzempek przechodzi do omówienia zagadnień związanych z odczytem informacji z detektora. Po bardzo dydaktycznym i ogólnym przedstawieniu wszystkich typowych elementów składających się na kompletny łańcuch umożliwiający pozyskiwanie informacji o badanych procesach, poczynając od samego detektora, na analizującym komputerze kończąc, Autor przechodzi do przypadku eksperymentu PANDA. Część pierwsza tego rozdziału, ilustrowana przykładami konkretnych realizacji, pozwala czytelnikowi zrozumieć skomplikowaną architekturę dużych systemów akwizycji oraz zaznajamia go z bogatym zestawem akronimów, będących w ciągłym użyciu w dalszej części pracy. Duże wrażenie robią proponowane do zaimplementowania *on-line* metody radzenia sobie ze spodziewaną w tym eksperymencie olbrzymią ilością zdarzeń. Część z tych metod z pewnością może być wprost zastosowana w celu poprawy wydajności algorytmów także w innych aplikacjach do analizy danych *off-line*.

Ponieważ ostateczna decyzja co do kształtu systemu zbierania danych w eksperymencie PANDA jeszcze nie zapadła, Autor pokrótce przedstawia także podejście konkurencyjne oparte o cyfrową analizę kształtów impulsów zebranych przez tak zwane próbujące ADC skojarzone z każdym odczytywanym kanałem detektora. Warto w tym momencie wspomnieć, że zaprezentowane w tej pracy wyniki testów z pewnością nie pozostaną bez wpływu na ostateczny wynik tej, niezwykle ważnej dla powodzenia eksperymentu PANDA, decyzji.

Czwarty rozdział koncentruje się na elektronice obsługującej detektory słomkowe. W sposób szczegółowy opisany jest układ scalony PASTREC, przeznaczony do bezpośredniej analizy impulsów z drutów czułych detektora, płyta integrująca dwa takie układy w 16-kanałowy moduł wzmacniająco-dyskryminujący oraz zbudowany na bazie pięciu układów FPGA moduł TRBv3 przeznaczony do odczytu informacji dostarczonej przez dyskryminatory. O niezwyklej skali integracji i uniwersalności tego ostatniego może świadczyć, że przy rozmiarach rzędu decymetra kwadratowego oferuje on funkcjonalność 192-kanałowego TDC o precyzji do 14 ps, jest zdolny do transferu danych poprzez dwa złącza Gigabit-Ethernet bezpośrednio do komputera analizującego oraz wypełnia funkcje slow-control dla wszystkich podłączonych modułów wzmacniająco-dyskryminujących. W rozdziale tym, poza bardzo pomocnym dla przyszłych użytkowników opisem funkcjonalności wspomnianych modułów, pojawiają się pierwsze wyniki pracy Autora. Obejmują one sprawdzenie dokładności działania TDC zaimplementowanego w oparciu o TRBv3, określenie przepustowości tego modułu dla różnych konfiguracji impulsów na wejściu oraz sprawdzenie kompletności zapisu przekazywanej informacji. Tu także poznajemy szczegóły architektury programów przygotowanych do analizy informacji otrzymanych w ramach przeprowadzonych przez Autora testów detektorów słomkowych.

W rozdziale piątym pracy został opisany zbudowany przez Autora układ testowy oraz same testy przeprowadzone z wykorzystaniem generatora impulsów, promieniowania kosmicznego oraz źródła promieniotwórczego żelazo-55. Do najważniejszych wyników tych testów zaliczyć należy znalezienie optymalnych ustawień części wzmacniająco-integrującej układu PASTREC, określenie pozycyjnej zdolności rozdzielczej detektora oraz jego wydajności. Zaobserwowano także oczekiwaną korelację pomiędzy czasem dryfu pierwszych elektronów jonizacji pierwotnej a czasem trwania impulsu ponad progiem. O możliwości wykorzystania informacji o czasie ponad progiem do identyfikacji cząstek

Autor próbował wnioskować symulując różne wielkości jonizacji pierwotnej odpowiednio dobranym wysokim napięciem i wzmocnieniem gazowym na drutach anodowych. Autor sam jednak poprawnie identyfikuje wady takiego podejścia i eliminuje je w kroku następnym wykonując serię testów z wykorzystaniem wiązki protonowej synchrotronu COSY w Juelich.

Opis zastosowanego tam układu oraz wyniki testów znajdują się w rozdziale szóstym. Autor wskazuje na silną zależność pozycyjnej zdolności rozdzielczej od energii protonów, których torę rekonstruowano, od wysokości progu dyskryminacji impulsów z drutów anodowych oraz od jednego z parametrów kształtujących impuls, określanego jako „peaking time”. Zaobserwowana już podczas testów z promieniowaniem kosmicznym zależność czasu ponad progiem od czasu dryfu tutaj została dodatkowo skorygowana o efekt geometryczny, co pozwoliło uniezależnić informację o stratach energii cząstki od minimalnej odległości toru lotu tej cząstki od drutu anodowego. Poprzez odpowiedni dobór energii wiązki protonów, Autor zasymulował detekcje i identyfikacje różnych cząstek. Obserwowane zależności są dobrze zrozumiane i wyjaśnione, a płynące z nich wnioski pozwalają stwierdzić, że badany układ detektorów słomkowych z odczytem bazującym na wyznaczaniu czasu dryfu oraz czasu ponad progiem, zbudowany w oparciu o moduły TRBV3 oraz analogowe układy scalone typu PASTREC, spełnia wymagania stawiane w eksperymencie PANDA, przynajmniej w pierwszej fazie tego eksperymentu.

Autor zadał sobie trud napisania pracy w języku angielskim, co oczywiście otwiera ją nie tylko dla szerokiego grona współpracowników z dużej, międzynarodowej współpracy. Napisana jest językiem zrozumiałym, choć niepozbawionym błędów. Jako osoba w żadnej mierze nie pretendująca do miana eksperta w tej dziedzinie, mogę tylko wyrazić pogląd, że autor miał, jak chyba każdy z naszego kręgu językowego, ogólny problem z użyciem przedimków. Część błędów ma zapewne charakter zwykłych literówek (znaleźć je można także w polskiej wersji streszczenia), jednak nie wpływają one na zrozumiałość tekstu. Pod względem graficznym praca zrealizowana jest bardzo dobrze. Rysunki zostały dobrane w sposób przemyślany, są czytelne i ułatwiają zrozumienie prezentowanych w pracy treści oraz stanowią dobrą ilustrację zawartych w tekście twierdzeń. Za drobną niezręczność można by uznać zastosowanie w druku kolorowej czcionki, dla tekstu będącego hiperłączem w dokumencie elektronicznym. Niewątpliwie znacznie podniosło to koszt druku, a wpływ tego zabiegu na podniesienie czytelności tekstu jest chyba niewielki.

Mam niewiele uwag krytycznych. Wydaje mi się, że jest konflikt pomiędzy opisem wzoru 4.1, a samym wzorem. Nie bardzo rozumiem dlaczego Autor zastosował poziome ustawienie układu do testów z promieniowaniem kosmicznym i dlaczego nie użył większych scyntylatorów jeśli, jak sam pisze, zebranie statystyki dla każdego ustawienia trwało około tygodnia. Niedostateczna statystyka jest wyraźnie widoczna w pozycyjnym rozkładzie wydajności detektorów słomkowych. Poziome ustawienie słomek pozwoliłoby być może na zaobserwowanie efektu opadania drutów anodowych w stosunkowo długich celach, jakie planuje się użyć w tym eksperymencie. Choć z drugiej strony brak precyzji mechanicznej, na który Autor także zwraca uwagę, mógłby uniemożliwić te obserwacje. Do kalibracji detektora Autor używa założenia o jednorodnym oświetleniu celi dryfu. Dla testów z wiązką protonową to założenie chyba nie było spełnione, a fakt ten nie został w pracy skomentowany.

Praca na pewno może stanowić wartościowe źródło informacji dla fizyków, zainteresowanych systemami akwizycji danych oraz problemem analizy sygnałów dostarczanych z detektorów dryfowych. Dzięki przeprowadzonym na prototypie detektora testom Autorowi udało się wykazać (choć na razie tylko w małej skali), że proponowany w pracy model systemu akwizycji danych spełnia wymagania stawiane takiemu systemowi w pierwszej fazie eksperymentu PANDA. Wskazał on także na możliwe modyfikacje elektroniki pozwalające dostosować system również do fazy drugiej, charakteryzującej się o rząd wielkości większą intensywnością. Interesującą obserwacją jest stosunkowo odległy od symulowanego kształt piku średniej wielkości czasu ponad progiem dla większej ilości płaszczyzn oraz brak wyraźnej zależności pomiędzy zdolnością do identyfikacji cząstek metodą czasu ponad progiem, a wysokością tego progu. W toku wykonywanych testów Autor wykazał się dużą biegłością w przygotowywaniu i użyciu rozlicznych narzędzi do nich niezbędnych. Na szczególną uwagę zasługuje tu zdobycie doświadczenia w tworzeniu oprogramowania do niezwykle wszechstronnych i znajdujących coraz szersze zastosowanie nie tylko w nauce układów FPGA. To wszystko skłania mnie do bardzo pozytywnej oceny pracy oraz do podjęcia decyzji o wnioskowaniu o dopuszczenie magistra Pawła Strzempka do dalszej części przewodu doktorskiego. Jednocześnie, uznając ponadprzeciętny charakter pracy, oraz jej znaczenie dla dużego przedsięwzięcia jakim jest eksperyment PANDA, wnioskuję o wyróżnienie pracy przez Radę Wydziału Instytutu Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Kraków, 03.04.2017


Adam Kozela