

Recenzja
pracy doktorskiej Pana mgr. Pawła Strzempka
zatytułowanej
Development and evaluation of a signal
analysis and a readout system of straw tube
detectors for the $\bar{P}$ ANDA spectrometer

Praca Pana mgr. Pawła Strzempka odnosi się do eksperymentu $\bar{P}$ ANDA, dużego międzynarodowego projektu, który od 2002 roku ma status międzynarodowej współpracy.

W ramach eksperymentu będą prowadzone różnorodne badania w dziedzinie fizyki cząstek zainicjalizowane przez oddziaływania precyzyjnej wiązki antyprotonów na tarczy wodorowej i jądrowej przy pędzie padającej wiązki w zakresie (1.5 – 15) GeV/c. Eksperyment jest umiejscowiony na urządzeniu FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) w Darmstadt w Niemczech. Ponad 400 uczestników współpracy, związanych z 53 instytucjami naukowymi w 16 krajach będzie mogło realizować w nim bogaty program naukowy. Przykładowymi tematami badań będą: spektroskopia hadronowa związana z kwarkami c (widmo czarmonium – stany X,Y,Z), hybrydowe mezony (para kwark-antykwar +gluon), glubole (tylko 3 gluony) czy stany wielokwarkowe. Osobna tematyka dotyczy badań z dziedziny fizyki hiperonów, produkcji hiperjader, implantacji dziwnych barionów do jąder czy złamania CP w rozpadach hiperonów. Otrzymane rezultaty będą testem dla przewidywań QCD.

Powodzenie dla tego rodzaju badań mają zapewnić zarówno duża precyzja urządzenia dostarczającego antyprotony oraz specjalnie zaprojektowany dla tych procesów główny detektor eksperymentu, spektrometr, spełniający wymagania stawiane przez program fizyczny. Zawiera on szereg dedykowanych detektorów dla rejestracji i identyfikacji cząstek w tym słomkowe detektory śladów, które są przedmiotem prezentowanej pracy.

W powodzenie projektu będącego w fazie przygotowywania dużą rolę, obok dostępności do dużych środków finansowych, odgrywają ludzie chcący pracować przez szereg lat nad elementami projektu (akceleratora i detektorów) aby doprowadzić je do poziomu, który pozwoliłby na jego uruchomienie. Pan Paweł Strzempka okazuje się być jedną z tych osób i przedstawiona przez niego rozprawa doktorska wpisuje się znakomicie w ten niezwykle ważny etap eksperymentu, a ściśle w jego część związaną z wypracowaniem optymalnego rozwiązania dla systemu odczytu słomkowych detektorów śladów, wchodzących w skład spektrometru eksperymentu i jego systemu akwizycji danych (DAQ).

Tytuł rozprawy pozostaje zgodny z faktycznym jest przedmiotem, którym w ogólnym rozumieniu było przeprowadzenie kompleksowych pomiarów testowych dla zbudowanego prototypu systemu odczytu i przetwarzania danych od słomkowych detektorów, po kątem wyznaczenia istotnych charakterystyk elementów elektroniki składających się na system jak i zbadania własności i zakresu możliwości tego systemu przetwarzania danych. Głównymi elementami elektroniki były tu: konfigurowalny układ scalony ASIC, identyfikowany w pracy jako PASTTRECv1 (Panda REadout Chip version 1) oraz płyta trygera TRBv3 (Trigger Readout Board version 3). Oprócz tego przy procesowaniu danych ważnym było zastosowanie odpowiedniego oprogramowania wbudowanego oraz stworzenia szeregu metod analizy danych. Otrzymane wyniki miały też pokazać w jakim stopniu tak skonstruowany system spełnia warunki stawiane przez eksperyment $\bar{P}$ ANDA aby stać się jego częścią.

Napisana po angielsku praca posiada staranny graficzny układ, przejrzysty i jasno napisany tekst wraz z umieszczonymi w nim tabelami i rysunkami. Reprezentując wysoki poziom, przy rzetelnym i szczegółowym opisie badań przeprowadzonych nad prototypem systemu odczytu danych dla słomkowych detektorów, stanowi ona znaczący przyczynek do prac badawczo rozwojowych prowadzonych w ramach eksperymentu. Stanowić też będzie cenne źródło informacji dla nowych

osób, rozpoczynających swą przygodę z eksperymentem. Otrzymane w pracy wyniki mogą pomóc w podjęciu decyzji o włączeniu prezentowanego systemu w strukturę docelowego DAQ eksperymentu.

Licząc 112 stron pracę rozpoczyna oświadczenie autora o oryginalności prezentowanej pracy, następne strony zawierają streszczenie (Abstract), spis treści (Contents), listę rysunków (List of Figures), listę tablic (List of Tables) oraz wykaz skrótów pojęć często występujących w tekście (List of Abbreviations). Na końcu pracy umieszczono spis literatury (Bibliography). Praca została podzielona na 7 rozdziałów z jasno określonymi tytułami, po których czytelnik może łatwo się zorientować, o czym będzie w nich mowa oraz cztery aneksy A,B,C i D.

I tak w rozdziale 1 (Introduction) autor przedstawia cel pracy, najważniejsze uzyskane rezultaty jakie udało się uzyskać i ich wartość przy konfrontacji z wymaganiami płynącymi od eksperymentu oraz zapowiada co możemy spotkać w kolejnych rozdziałach.

Rozdział 2 ($\bar{P}$ ANDA experiment) dostarcza informacji o samym eksperymencie, jego programie fizycznym, kompleksie badawczym FAIR (Darmstadt, Niemcy) gdzie jest on umiejscowiony. Znajdziemy tam również opis spektrometru $\bar{P}$ ANDA wraz z detektorami tworzącymi jego strukturę wewnętrzną. Szczegółowy opis poświęcono tu słomkowym detektorom śladów tworzącym detektory STT i FT oraz ich własnościom: konstrukcji, systemowi gazowemu, sposobie ich działania oraz ich roli w globalnym systemie detektorów śladów eksperymentu.

Rozdział 3 (Architecture of the Readout System for the straw tube trackers) jest swoistym kompendium wiedzy poświęconym systemowi akwizycji danych. W pierwszej części autor w umiejętny sposób, odwołując się tu do przykładów systemów z innych eksperymentów, przybliża nam pojęcie systemu DAQ i tym samym przygotowując czytelnika na podane w dalszej części szczegóły takiego systemu zaprojektowanego dla eksperymentu $\bar{P}$ ANDA. Słomkowe detektory śladów są częścią tego systemu i ich omówienie znajduje się na w końcowej części tego rozdziału. Rozdział ten oceniam bardzo pozytywnie. Zamyka on część pracy, którą nazywam edukacyjną. Następne trzy rozdziały są już bezpośrednio związane z pracą.

Rozdział 4 (STT and FT signal processing) dostarcza opisu o wszystkich elementach badanego przez autora systemu odczytu, pozwalającego na procesowanie sygnałów od słomkowych detektorów do transmisji tych danych do zewnętrznego magazynu danych, np. PC. Znajdziemy tam sposób kształtowania i dyskryminacji sygnałów przez PASTTREC i jego następnej wersji PASTTRECv1, działania układu trygera TRBv3 przy pomiarze czasu stosowanego w metodzie identyfikacji cząstek TOT (Time Over Threshold) i przy wysyłaniu danych do PC oraz zastosowane metody analizy danych.

Następne 2 rozdziały (Measurements and tests oraz In beam operation) są już ściśle związane z tematem pracy i dostarczają wielu wyników pomiarów kompletnego prototypu systemu odczytu z użyciem zestawów różnych słomkowych detektorów śladów.

Badania prowadzono w laboratorium (UJ) przy wykorzystaniu radioaktywnego źródła ^{55}Fe , promieniowania kosmicznego (rozdział 5) i testowej wiązki protonowej o różnych wartościach pędów protonów (rozdział 6) w ośrodku naukowym Juelich w Niemczech.

W rozdziale 7 (Summary and conclusions) autor podsumowuje otrzymane wyniki pomiarów i przeprowadza dyskusję na temat możliwości zastosowania takiego systemu odczytu danych w eksperymencie przy ewentualnej pewnej jego modyfikacji.

Całość tekstu rozprawy zamykają cztery aneksy A, B, C i D. Zawierają one odpowiednio: bardziej szczegółowe informacje o użyciu technologii FPGA w konstrukcji i testach płyty trygera TRBv3 (Appendix A), systemu kontroli (slow control) dla prototypu FEB (Front End Board) związanego z PASTTRECv0 (Appendix B), systemu kontroli dla wersji konfigurowalnego układu elektronicznego ASIC PASTTRECv1 (Appendix C) oraz opis strat energii cząstek przechodzących przez materię w odniesieniu do oczekiwanych takich strat w przypadku słomkowych detektorów śladów (Appendix D).

Podsumowując:

Rozprawa doktorska Pana mgr. Pawła Strzempka wpisuje się w okres działalności eksperymentu $\bar{P}$ ANDA, w którym szczególnie ważnym jest możliwość kontynuowania prac badawczo rozwojowych dla uzyskania docelowych, optymalnych rozwiązań dla detektorów eksperymentu, jego systemu akwizycji danych, organizacji zbierania danych czy wypracowania narzędzi pomocnych w

ich późniejszej analizie. Oczekiwana w eksperymencie częstość oddziaływań będzie tu na poziomie $2 \times 10^7/s$ i była ona brana pod uwagę przy projektowaniu detektorów dla eksperymentu. Dla precyzyjnej rekonstrukcji śladów i identyfikacji cząstek będą wykorzystywane słomkowe detektory śladów (Straw Tube Detectors), różniące się wielkością i parametrami pozwalającymi uzyskać ich optymalną wydajność. Połączone ze sobą w większe jednostki są one identyfikowane w eksperymencie jako detektory STT i FT. Stanowią one podstawę globalnego systemu detektorów śladów. Pierwszy z detektorów, STT, umiejscowiony jest w centralnej części, spektrometru $\bar{P}$ ANDA zbudowanej wokół punktu oddziaływania IP. Drugi, FT, znajduje się w przedniej części spektrometru, który umożliwi pomiar cząstek lecących do przodu, w zakresie pewnej geometrycznej akceptancji ($\pm 10^0$ w kierunku horyzontalnym i $\pm 5^0$ w kierunku wertykalnym). W centralnym spektrometrze pole magnetyczne dostarcza nadprzewodzący solenoid a w spektrometrze do przodu używany będzie duży dipolowy magnes.

Pan mgr. Paweł Strzempka poświęcił swoją pracę badaniom związanych ze słomkowymi detektorami śladów. Podejmując się trudnego, ambitnego i wymagającego dużego zaangażowania i czasu zadania (tak się dzieje, że szybki rozwój technologii sprawia, że praca z detektorami to niekończąca się historia zmian i ulepszeń), którego celem było wykazanie, że zbudowany kompleksowy system odczytu, przetwarzania, transmisji i analizy danych stworzony dla obsługi tych detektorów, w powstaniu którego autor ma swój znaczący udział, daje nie tylko rozsądne wyniki ale może służyć jako baza w przyszłym eksperymencie $\bar{P}$ ANDA a przynajmniej w pierwszej jego fazie. Może to nastąpić kiedy urządzenie HESR (High Energy Storage Ring) dostarczające antyprotonów będzie pracowało w modzie niskiej świetności (rzędu $2 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Dla zrealizowania postawionego przed pracą zadania, zbudowane prototypy detektorów STT i FT poddano wielu szczegółowym pomiarom, przeprowadzonych zarówno w laboratorium (UJ) używając radioaktywnego źródła ^{55}Fe i promieniowania kosmicznego oraz na wiązki protonowej w ośrodku naukowym w Juelich w Niemczech. Kompletny system jaki podlegał testom zawierał obok zestawów słomkowych detektorów śladów, elementy elektroniki odczytu (FEB) z konfigurowalnym układem scalonym ASIC (PASTTRECv1) oraz płytę trygera do zbierania danych i pomiaru czasu (TRBv3). Prawidłowa praca systemu wymagała użycia szeregu elementów oprogramowania wbudowanego (firmware) czy metod analizy danych wraz tymi stworzonymi specjalnie na potrzeby przeprowadzanych testów. Pośród szeregu uzyskanych wyników autor podkreśla ważność dwóch z nich: otrzymanie niepewności w przestrzennej zdolności rozdzielczej detektora Δx na poziomie nie przekraczającym wymagania eksperymentu, $\Delta x \leq 150 \text{ }\mu\text{m}$, oraz to, że można dokonywać identyfikacji cząstek w oparciu o metodę pomiaru TOT (Time Over Threshold) do maksymalnej wartości pędu cząstek $800 \text{ MeV}/c$. Obie wartości wraz innymi wynikami dotyczącymi układu PASTTRECv1 i TRBv3 niosą ważną informację dla eksperymentu, pokazując, że testowany system odczytu danych spełnia jego oczekiwania i przy pewnych modyfikacjach może stanowić podstawę dla docelowego rozwiązania w pierwszej fazie jego działania o czym między innymi dyskutuje autor w rozdziale 7, stanowiącym podsumowanie pracy oraz proponuje możliwymi rozwiązaniami dla systemu odczytu danych dla eksperymentu $\bar{P}$ ANDA w przyszłości.

Chciałbym tu jeszcze dodać, że pomimo zawartej w obu rozdziałach opisujących przeprowadzone testowe pomiary (rozdziały 5 i 6) bardzo szczegółowej informacji o prowadzonych testach, to uważny czytelnik nie czuje się tu zagubiony, gdyż otrzymane wyniki znajdują wyjaśnienie w tekście i są ilustrowane szeregiem rysunków i tabel. Dowodzi to zarówno o dużej wiedzy autora na temat zagadnień stanowiących przedmiot jego badań ale również chęci aby praca mogła stać się pomocna dla młodych ludzi chcących przystąpić do eksperymentu.

Z obowiązku recenzenta wymienię pomyłkę w tekście (strona 15) przy odwoływaniu się do nieistniejącego rysunku 2.4.4.

Jest mi trochę brak w pracy zamieszczenia pewnych informacji o aktualnym statusie eksperymentu

$\bar{P}$ ANDA takich jak:

- czy jest określony realny czas jego rozpoczęcia ?
- i czy autor jest aktualnie jego członkiem ?

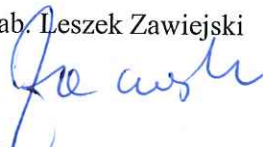
Dla kompletności pracy dobrze byłoby też w jakiś sposób podkreślić osobisty wkład autora w tematykę badań reprezentowanych w pracy.

Czy słomkowe detektory śladów użyte w testach w laboratorium i na wiązce protonowej są identyczne jak te, które mają być użyte w eksperymencie PANDA?

Przedstawioną rozprawę oceniam zdecydowanie pozytywnie. Stwierdzam, że spełnia ona ustawowe wymogi i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. Pawła Strzempka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Kraków, 31.03.2017

dr hab. Leszek Zawiejski



Instytut Fizyki Jądrowej
im. Henryka Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
w Krakowie