

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

DZIEKAN I RADA WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

zawiadamiają o

PUBLICZNEJ OBRONIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Marcina Ziembickiego

która odbędzie się w trybie zdalnym dniu 12 maja 2020 r. o godzinie 10:00

Tytuł rozprawy doktorskiej:

"Scintillating Fiber Detectors for High Energy Physics Experiments"

promotor: dr hab. inż. Janusz Marzec, prof. uczelni, Politechnika Warszawska

Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

recenzenci: dr hab. inż. Sławomir Wronka, prof. Narodowego Centrum Badań Jądrowych

prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk, Politechnika Warszawska,

Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

Na stronie internetowej wydziału www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje znajdują się streszczenie rozprawy oraz recenzje, jak również dostęp do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Sposób uczestniczenia w publicznej obronie:

Pracownicy, doktoranci i studenci PW mogą wziąć udział w obronie na platformie Microsoft Teams podając kod dostępu: **1nneyk2**

Osoby spoza Politechniki mogą uczestniczyć w obronie obserwując jej przebieg na kanale YouTube: <https://www.youtube.com/channel/UCh2X9HYXj9ozjDrM0Pn3qcA/live> zadając pytania na czacie tego kanału.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FACULTY OF ELECTRONICS AND INFORMATION TECHNOLOGY

Ph.D. Thesis

Marcin Ziembicki, M.Sc.

Scintillating Fiber Detectors
for High Energy Physics Experiments

Supervisor
Janusz Marzec, Ph.D., D.Sc.

WARSAW, 2019

Abstract

Tracking detectors made of plastic scintillating fibers is a well-established technology in high energy physics experiments. They are continuously improved, and new applications are either developed or under consideration. The advantages which led to their widespread adoption in various experiments include excellent timing properties, decent spatial resolution, good radiation hardness, ability to withstand high hit rates, and finally, the possibility to manufacture almost any shape of the detector.

Building a detector is a complicated task requiring a thorough understanding of mechanisms of particle interactions, the scintillation process, detector optics, photosensors, readout electronics, and the methods used to extract time and position of the interactions. Moreover, it is an iterative process, with multiple interactions between physicists and engineering teams. A vital task of the engineering team, apart from assuring that the design meets physics requirements, is being able to predict the performance of the detector resulting from particular technology choices. Therefore, one usually develops accurate numerical models of the full detector and validates them with computer simulations and measurements. There are, however, situations when the project schedule takes precedence, limiting possibilities for R&D work due to tight timing constraints. This thesis is an example of such a case, in which unforeseen circumstances created a need for a new detector, that had to be designed and built in just over three months. Given the complexity of the construction process, those were very demanding conditions.

The described work covers the full design and manufacturing process of a scintillating fiber detector, followed by a review of its performance. The first part presents an in-depth study of the theory behind the operation of a scintillating fiber detector, as well as selected methods of analyzing data. The goal is to provide derivations of several engineering approximations that can be helpful in the design process. The next part puts theory into practice by formulating and validating the requirements of the detector. A vital element of this step is a rough estimation of its parameters, which does not need a dedicated numerical model. Afterward, a description of an actual construction process is presented, which ends in a working system. The final part presents an overview of the real performance of the detector, and compares it with the previous estimations, based on a study with an electron beam provided by the ELSA accelerator.

Even though the overall goal of this document is to be a one-stop reference for anyone involved in the construction or maintenance of scintillating fiber detectors, several of the discussed topics are general and can be useful in other areas. In particular, a review of photosensors, readout systems, and signal processing algorithms may prove valuable.

Keywords: Scintillating fiber detector, Signal digitization, Front-end electronics, Photosensors, Time estimation from sampled waveform, Time resolution

Streszczenie

Jedną z powszechnie stosowanych i wciąż rozwijanych technik wykorzystywanych do śledzenia torów cząstek w eksperymentach fizyki wysokich energii są detektory śladowe wykonane z plastikowych światłowodów scyntylacyjnych. Swoją popularność zawdzięczają szeregowi zalet, spośród których najważniejsze obejmują: doskonałą rozdzielczość czasową, bardzo dobrą rozdzielczość przestrzenną, wysoką odporność na promieniowanie jonizujące, zdolność do pracy przy wysokich częstościach zliczeń oraz możliwość wyprodukowania niemal dowolnego kształtu detektora.

Proces konstrukcji detektora śladowego opartego o światłowody scyntylujące jest dość złożony i wymaga dogłębnej wiedzy na temat szeregu zagadnień, obejmujących m.in.: mechanizmy oddziaływania cząstek z materią, proces scyntylacji, optykę detektora, detekcję słabych impulsów świetlnych przy wykorzystaniu ultraczułych fotodetektorów, układy elektroniczne wykorzystywane do akwizycji sygnałów, a także metody przetwarzania sygnałów pozwalające na estymację czasu trafienia oraz położenia toru cząstki. Zazwyczaj budowa detektora jest związana z wielokrotnymi konsultacjami pomiędzy fizykami i inżynierami. W związku z tym, jednym z kluczowych aspektów tego procesu jest możliwość szybkiego przewidywania parametrów detektora na podstawie określonych decyzji konstrukcyjnych, umożliwiając tym samym ocenę, czy budowane urządzenie spełni wymogi stawiane przez konieczność pomiaru badanych procesów fizycznych. W związku z tym, zazwyczaj w pierwszej kolejności opracowywane są szczegółowe modele numeryczne projektowanego detektora, które są następnie weryfikowane przy użyciu symulacji Monte-Carlo oraz dedykowanych pomiarów. Wnioski płynące z tych działań są następnie uwzględniane w projekcie, często prowadząc do zmiany pierwotnych założeń konstrukcyjnych. Istnieją jednak sytuacje, w których ograniczenia czasowe związane z realizacją projektu uniemożliwiają tego typu prace badawczo-rozwojowe. Niniejsza rozprawa stanowi przykład takiego projektu, w którym w związku z zaistnieniem nieprzewidzianych okoliczności konieczne było zaprojektowanie i zbudowanie nowego detektora, w czasie krótszym niż cztery miesiące, co stanowiło to nie lada wyzwanie.

Prezentowane prace objęły pełny proces projektowania i konstrukcji światłowodowego detektora śladowego zbudowanego z plastikowych włókien scyntylacyjnych, a także analizę jego osiągnięć. W pierwszej kolejności dokonano analizy teorii leżącej u podstaw działania tego typu detektora, dzięki czemu możliwe było wyprowadzenie formuł pozwalających na zgrubną estymację parametrów detektora, które następnie zostały wykorzystane w procesie projektowania. Kolejna część pracy wprowadza teorię w życie, stosując ją do sformułowania wymagań i walidacji koncepcji detektora. W kolejnych rozdziałach przedstawiono opis procesu konstrukcyjnego zrealizowanego detektora, a także analizę jego rzeczywistych osiągnięć w odniesieniu do wcześniejszych szacunków. Uzyskano dobrą zbieżność osiągnięć detektora z estymatami

wynikającymi z teorii, co należy uznać za sukces, zważywszy na brak możliwości opracowania szczegółowego modelu numerycznego całego systemu. Badania zostały wykonane za pomocą wiązki elektronowej wyprodukowanej przez akcelerator ELSA.

Zamysłem autora niniejszej rozprawy było stworzenie dokumentu, który z jednej strony zaprezentuje metodę budowy poprawnie działającego światłowodowego detektora śladowego, bez konieczności czasochłonnego opracowania szczegółowych modeli numerycznych jego wszystkich elementów. Z drugiej strony, zgrupowanie większości aspektów związanych z funkcjonowaniem detektora powinno być użyteczne dla osób zaangażowanych w utrzymanie infrastruktury, gdyż może pomóc zidentyfikować przyczyny ewentualnych awarii bądź nieoptymalnych osiągnięć. Ponadto, pewne zagadnienia dyskutowane w pracy, związane z fotodetektorami, systemami odczytu oraz algorytmami przetwarzania sygnałów mogą być użyteczne także w innych obszarach techniki.

Słowa kluczowe: światłowodowy detektor śladowy, akwizycja sygnałów, elektronika front-end, detektory światła, estymacja czasu na podstawie zarejestrowanego przebiegu, rozdzielczość czasowa

Warszawa, dnia 02.12.2019 r.

prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

Politechnika Warszawska

Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

Instytut Systemów Elektronicznych

***KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMATYCZNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ***

Tytuł rozprawy: Scintillating fiber detectors for high energy physics experiments

Autor rozprawy: mgr inż. Marcin Ziembicki

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej z dnia 24 września 2019 r., oraz pismo dziekana WEiTIPW prof. Krzysztofa Zaremby w tej sprawie z dnia 21 listopada 2019 r.

Pan mgr inż. Marcin Ziembicki jest bardzo doświadczonym konstruktorem zaawansowanej aparatury elektronicznej. W żadnym wypadku nie jest typowym doktorantem. Jego dorobek znacznie przekracza wszelkie wymogi zwyczajowe i formalne związane z procesami przyznawania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektroniki i dziedzinie nauk technicznych. Taką sytuację nazywamy w środowisku naukowym doktoratem bardzo zapóźnionym. Trudno nawet nazywać taką osobę doktorantem, bo ani wiek nie taki, ani dorobek i doświadczenie. Oczywiście rezygnując ze zrobienia z doktoratu w odpowiednim czasie, Autor także rezygnuje ze zdobywania innego rodzaju doświadczenia jak np. oficjalnego prowadzenia doktorantów. Ale to też nie jest takie proste, bowiem w takich aktywnych zespołach naukowych bardziej doświadczeni członkowie, niezależnie od posiadanych stopni i tytułów naukowych, opiekują się młodszymi kolegami i aktywnie uczestniczą i ich promocji do stopni doktora. Używam więc słowa „doktorant” tylko na formalne potrzeby niniejszej recenzji.

Dla takich osób jak mgr inż. M.Ziembicki, mówiąc nieco ironicznie, szkoda jest czasu na pisanie doktoratu. Jest to wielki błąd, zarówno Doktoranta, jak opiekunów, macierzystej instytucji, a może przede wszystkim systemu szkolnictwa wyższego w kraju. Doktorant ma tak duży dorobek, że nie mógł się opanować i napisać pracę na prawie 200 stron. Tego zapewne wymaga system, aby praca była pokaźna o odpowiednim ciężarze gatunkowym. Napisanie pracy na 60 stron, a nawet krótszej, byłoby niestosowne i mogłoby być ocenione przez „tradycyjnych” recenzentów jako niepoważne. Dla takiego Doktoranta można byłoby powołać Komisję poważnie oceniającą dorobek, wysłuchanie Kandydata, i poinformowanie go, że właśnie od tego momentu jest doktorem nauk technicznych. Z wielu względów w kraju nie da się tego zrobić. Gwarantem prawidłowego przebiegu oceny dorobku doktorskiego jest formalizm i biurokracja naukowa. Czy to jest prawda?

Doktorant ma samodzielne publikacje, także jedno autorskie, więc pokazał, że umie pisać trudne teksty w warunkach międzynarodowych. W niektórych kluczowych publikacjach Kolaboracji T2K (subdetektor SMRD) występuje jako pierwszy autor:

https://rebus.us.edu.pl/bitstream/20.500.12128/7180/1/Ziembicki_The_SMRD_subdetector.pdf

Doktorant wygłaszał programowe referaty, nawet zaproszone, na kluczowych posiedzeniach Kolaboracji międzynarodowych, więc wykazał, że umie mówić i obronić swoje argumenty naukowo-techniczne w prawdziwych warunkach oceny zawodowej. W sieci można łatwo znaleźć na to twarde dowody w postaci programów badawczych i prezentacji konferencji i zebrań Kolaboracji T2K i COMPASS.

<https://indico.cern.ch/event/783347/contributions/3302428/attachments/1794381/2924379/Ziembicki-20190212.pdf>

Doktorant kształcił młodszych kolegów w zespole i prowadził zajęcia ze studentami, więc pokazał trudne, BO projektowe zdolności dydaktyczne. To jednak jest za mało dla „Systemu” nauki. Musi napisać formalną pracę doktorską. Więc pisze, w pocie czoła, i tutaj przedstawia. Może jedyną korzyścią z napisania tej pracy, oprócz oczywiście uzyskania doktoratu, byłoby jej opublikowanie jako monografii i wydanie oraz nagłośnienie przez CERN lub J-PARK jako wspólnego dorobku tych grup badawczych. Wkład Polskich grup badawczych w wielkie eksperymenty jest duży, ale nieporównywalnie mniejszy niż czołówki technologicznej świata. Dbajmy o promocję naszego JESZCZE RELATWNIIE skromnego dorobku naukowo-technicznego.

Mgr inż. M. Ziembicki od wielu lat pracuje w Zespole Elektroniki Jądrowej w Instytucie Radioelektroniki i Technik Multimedialnych na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. Unikalne doświadczenie w konstrukcji aparatury jądrowej zgromadził poprzez uczestnictwo w kilku globalnych eksperymentach fizyki wielkich energii. Dla tych eksperymentów, w zespołach kierowanych przez prof. Janusza Marca, promotora Jego pracy doktorskiej, a następnie samodzielnie, opracowywał unikalną, pomiarową (ogólniej funkcjonalną) aparaturę elektroniczną o bardzo wysokim stopniu złożoności technologicznej. Opracowanie aparatury było związane z definicją wymagań wynikających z funkcji, projektami, wykonaniem sprzętu i oprogramowania, optymalizacją kosztów i nakładu pracy, testami proponowanych rozwiązań, oraz iteracjami kilku wersji rozwiązań i kolejnymi testami i weryfikacjami. Cykle produkcyjne opracowania sprzętu elektronicznego dla dużego eksperymentu trwały przeciętnie kilka lat i obejmowały kilka iteracji procesu prowadzącego finalnie do decyzji zamrożenia któregoś z testowanych rozwiązań, akceptacji przez Kolaborację a następnie jego wdrożenia w eksperymencie.

Mgr inż. M. Ziembicki uczestnicząc przez wiele lat w kilku wielkich eksperymentach badawczych fizyki wielkich energii wyspecjalizował się w opracowywaniu elementów, modułów i podsystemów elektroniki detektorowej. To bardzo szerokie doświadczenie znajduje jedynie częściowe odzwierciedlenie w pracy doktorskiej. To doświadczenie mógłby podsumować w przynajmniej dwóch pracach doktorskich. Wśród tych eksperymentów, w których Doktorant miał duży udział w konstrukcji aparatury z obszaru elektroniki jądrowej, należy przykładowo, i tylko skrótowo, wymienić:

COMPASS – Common Muon and Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy w CERN (służący między innymi do badania struktury wewnętrznej protonu), gdzie Doktorant z zespołem opracował kluczowy fragment systemu

odczytowego kalorymetru ECAL0 z zastosowaniem detektorów SiPM – fotopowielaczy na ciele stałym, fotopowielaczy krzemowych dyskretnych lub tworzących matryce, w odróżnieniu od próżniowych; A teraz uczestniczy w jego modyfikacji;

T2K – Tokai to Kamioka w ośrodku J-PARC (badanie natury i oscylacji neutrin, poszukiwanie hierarchii masy i kąta mieszania), gdzie Doktorat w zespole uczestniczył w opracowaniu subdetektora SMRD – side muon range detector, w stacji bliskiej. Detektor zawiera wielowarstwowe plastikowe liczniki scytylacyjne umieszczone pomiędzy warstwami żelaza, wewnątrz magnesu UA1. SMRD jest częścią detektora pozaosiowego. SMRD mierzy energię mionów generowanych w oddziaływaniach neutrinowych, identyfikuje tło w tych oddziaływaniach oraz generuje sygnały trygera od promieniowania kosmicznego w celu kalibracji detektorów wewnętrznych. Detektor pozwala na rekonstrukcję toru propagacji mionu kosmicznego.

Uczestnictwo w wielkich eksperymentach badawczych klasy odkrywczej, jeśli uczestnik jest doceniony przez Kolaborację, daje nieporównywalną rozpoznawalność naukową w świecie. Doktorant jest szeroko rozpoznawalny w świecie eksperymentów fizyki wielkich energii, w szczególności budowy aparaturowej infrastruktury badawczej. Jednak na taką rozpoznawalność dobrze sobie zasłużył. Selekcja w takich zespołach budujących aparaturę jest bardzo twarda. Trzeba się szybko uczyć, być bardzo pracowitym i nadać za ciągłymi zmianami. Wskaźniki bibliometryczne Doktoranta są bardzo wysokie, co jest zasługą uczestnictwa w zespołach badawczych wielkich eksperymentów, ale także dzięki własnej pracy docenianej przez Kolaborację T2K, COMPASS i inne. Doktorant skorzystał efektywnie z tej wielkiej szansy i wbudował się trwale w międzynarodowe środowisko badawcze. Polskich inżynierów, którzy odnieśli sukces w takich wymagających warunkach jest bardzo niewielu. Mało tego, takie sukcesy nie są niestety wysoko cenione u nas w kraju. Mówi się o zasłudze fizyków, a to jest zupełnie nieprawda, kompletny fałsz. Bez dobrze zaprojektowanej, wykonanej i przetestowanej aparatury nie da się dzisiaj wykonać żadnego poważnego eksperymentu większej skali. Taką trudną aparaturę opracowuje mgr inż. M.Ziębicki.

Baza naukowych danych bibliograficznych Google Scholar zawiera 160 pozycji, blisko 11000 cytowań i H=47:

<https://scholar.google.pl/citations?user=eWGHbVAAAAAJ&hl>

Baza bibliometryczna Scopus zawiera 115 dokumentów, blisko 6000 cytowań i H=37: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=16680503100>

Baza „obowiązkowa” ORCID zawiera 103 pozycje bibliograficzne:

<https://orcid.org/0000-0002-0165-8926>

Repozytorium naukowe Research Gate zawiera aktualny i pełny zapis działalności mgr inż. W.Ziębickiego, a w tym 1544 pozycje bibliograficzne, ponad 4200 cytowań, ponad 20000 odczytów, oraz H=31 i 29 z wyłączeniem autocytowań:

https://www.researchgate.net/profile/Marcin_Ziembicki/scores

Baza „obowiązkowa” Nauki Polskiej – Polska Bibliografia Naukowa zawiera od 2013 roku 89 pozycji, w tym 5 dodanych przez jednostkę macierzystą WEiTI PW – IRiTM w roku 2019: <https://pbn.nauka.gov.pl/pbn-report-web/pages/analytics/author/3960450>

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Jako rozprawę doktorską mgr inż. M. Ziębicki wybiera jeden ze zrealizowanych przez siebie zaawansowanych projektów elektroniki i optoelektroniki detektorowej. Do realizacji pracy wykorzystuje poprzednie bogate doświadczenia konstrukcyjne i naukowo-techniczne. Na przykład, opisane w doktoracie rozwiązanie wydaje się być propozycją znacznego postępu technologicznego w zakresie organicznych detektorów scyntylacyjnych w porównaniu z poprzednim rozwiązaniem analogicznego układu dla detektora SMRC/T2K (rok 2010). Obszarem badawczym pracy jest elektronika detektorowa. Składa się ona najczęściej z różnego rodzaju detektorów i elektroniki współpracującej, stopnia wejściowego. Często stosowane detektory są takie jak: fotopowielacze próżniowe i ostatnio półprzewodnikowe, detektory RPC – resistive plate chambers, detektory gazowe, komory projekcyjne, detektory projekcyjne TPC, TOF, drutowe, detektory GEM – gas electron multipliers, scyntylacyjne, itp. Z wieloma z tego typu detektorów Doktorant miał praktycznie do czynienia w swojej praktyce zawodowej. Do prezentacji swojego dorobku naukowo-technicznego w pracy doktorskiej wybiera światłowodowe, wielkopowierzchniowe detektory scyntylacyjne. Ten obszar badawczy światłowodowych detektorów scyntylacyjnych z konwersją częstotliwości jest dobrze znany Doktorantowi i współpracującemu zespołowi. Zespół ten (i Doktorant osobiście) posiada znaczny dorobek międzynarodowy w tym zakresie.

Zagadnieniem naukowym rozpatrywanym w pracy jest pełne opracowanie (od projektu do wdrożenia) bardzo skomplikowanego wielkopowierzchniowego detektora śledzącego tory cząstek w eksperymentach fizyki wielkich energii. Detektor ten wykorzystuje synergię kilku korzystnie połączonych technologii, elektroniki, optoelektroniki, fotoniki, techniki światłowodowej, techniki przetwarzania sygnałów, inżynierii materiałowej, chemii organicznej itp. Plastikowe detektory scyntylacyjne, a do tej rodziny należy opracowany projekt, posiadają zalety aplikacyjne takie jak: duża rozdzielczość czasowa i przestrzenna, odporność na trudne warunki pracy a w tym promieniowanie jonizujące, nieco słabsza odporność na wysokie temperatury, wysoka częstotliwość zliczeń, oraz możliwość formowania kształtu dobrze dopasowanego do miejsca umieszczenia w eksperymencie. Doktorant zaprojektował oraz skonstruował światłowodowy detektor śladowy z wykorzystaniem włókien polimerowych, włączając w projekt własne oryginalne rozwiązania autorskie.

Tezą pracy jest przedstawienie w zwartej formie metod budowy światłowodowego scyntylacyjnego detektora śladowego. Teza dotyczy praktycznego zagadnienia naukowo-technicznego możliwości zastosowania detektorów w warunkach eksperymentów fizyki wielkich energii, czyli uwzględniając kompaktową konstrukcję, znaczne powierzchnie śledzone, dopasowanie dowolnego kształtu, operowanie na niskim poziomie sygnałowym, optymalizację kosztów i skomplikowania konstrukcji, i inne.

Teza pracy jest sformułowana dostatecznie jasno, ale w sposób rozproszony w tekście doktoratu. W kilku miejscach znajdujemy krótkie uwagi dotyczące potrzeby proponowanych rozwiązań, elementów nowości i celu działań. Najprościej Autor przedstawia ją w rozdziale 3 i podrozdziale 3.1. dotyczącym motywacji ich konstrukcji. Autor podaje dokładnie wszystkie warunki realizacji pracy. Tak sformułowana całość dokładnie definiuje cel badawczy pracy. Praca ma charakter teoretyczny i doświadczalny. Część teoretyczna jest związana z projektem systemu detekcyjnego a w tym projektem

relatywnie nowego układu kompaktowego detektora, a część doświadczalna z konstrukcją laboratoryjną, uruchomieniem, debugowaniem i zaawansowanymi pomiarami.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle /świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Detektory scyntylacyjne i elektronika detektorowa są obszernym, dynamicznie rozwijającym się, działem elektroniki jądrowej. Autor traktuje nieco swoją pracę doktorską jak monografię na temat detektorów scyntylacyjnych. Posiada w tym zakresie znaczną wiedzę i chce się nią podzielić w zwartej formie. Stąd praca doktorska cytuje aż 170 pozycji bibliograficznych w tym obszarze. Cytowania obejmują, między innymi, następującą tematykę prac: hodoskopy światłowodowe, komory luminescencyjne, ekrany wzmacniające, zagadnienia rozdzielczości czasowej i przestrzennej w światłowodowych detektorach scyntylacyjnych – w sensie ograniczeń fizycznych i technicznych, opis ogólny i szczegółowy eksperymentów COMPASS i T2K, oraz LHCB, optyczne organiczne włókna scyntylacyjne i ich zastosowania, dane techniczne i właściwości eksperymentalne akceleratora ELSA (Electron Stretcher Accelerator), elektronika detektorowa stopni wejściowych, monitorowanie i kalibracja kanałów spektrometrycznych, itp. Kilka cytowanych prac jest w autorstwie i współautorstwie Doktoranta.

Podsumowując, w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy, może nawet nieco nadmiarowy, ale w pozytywnym sensie, analizę źródeł, w tym zastosowań badawczych i praktycznych dotyczących takich zagadnień jak układy detektorowe ze światłowodami scyntylacyjnymi, oraz elektronikę detektorową współpracującą z takimi detektorami. Przystępując do własnego opracowania Doktorant dokonuje przeglądu literatury pokrywającej wszystkie aspekty realizowanego projektu. Wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Praca doktorska zawiera pięć rozdziałów, które obejmują wstęp do detektorów śladowych (rozdział 1), teoria działania i struktura scyntylacyjnych detektorów śladowych i ich układów pracy (rozdział 2), praktyczny projekt kompaktowego światłowodowego scyntylacyjnego detektora śladowego (rozdział 3), testy i charakteryzacja opracowanego układu (rozdział 4), podsumowanie pracy uwypuklające wymagania na projekt przeznaczony dla realnego eksperymentu z narzuconymi zewnętrznymi warunkami technicznymi i pozatechnicznymi (rozdział 5), oraz literatura i spis skrótów.

Rozdział 1 przedstawia zalety światłowodowych detektorów scyntylacyjnych jako dobrze ustabilizowanej i powszechnie używanej, w różnych wersjach konstrukcyjnych, technologii w eksperymentach fizyki wielkich energii. Autor umieszcza we wstępie znaczną część przeglądu głównych źródeł literatury. Jedną z głównych zalet rozwiązania światłowodowego jest możliwość wyprowadzenia fotodetektorów poza obszar silnego oddziaływania szkodliwych dla elektroniki destrukcyjnych pól jonizacyjnych. We wstępie określa dokładnie jakie zadanie dostał zespół badawczy Autora w ramach całościowego opracowania systemu dla Kolaboracji kolorymetru ECAL0. Warunki brzegowe realizacji projektu zawsze są i muszą być ściśle określone przez Kolaborację. Realizacja projektu w takich warunkach brzegowych i planowanych testach w akceleratorze ELSA/Bonn, była możliwa jedynie przy silnym wykorzystaniu poprzednich doświadczeń z wcześniej

realizowanymi eksperymentami. Nie ma w tym nic dziwnego, takie są warunki pracy w wielkich eksperymentach badawczych. Są one realizowane długo, np. przez dekadę, a mimo to czas w eksperymencie jest bardzo gęsto wypełniony wydarzeniami i bardzo pilną realizacją kolejnych wersji sprzętu i oprogramowania.

Rozdział 2 należy nadal do części wstępnej pracy i omawia zasadę działania scyntylacyjnych detektorów światłowodowych, oddziaływanie naładowanych cząsteczek z materią, mechanizmy scyntylacji, sprzężenie między światłowodem i fotodiodą, rodzaje stosowanych fotodetektorów, budowę układów elektroniki odczytowej, oraz ogólne parametry takiego układu. Rozdział ten mimo znacznej objętości, wynoszącej ponad 60 stron, wydaje się konieczny, bowiem elektronika detektorowa jest dziedziną specyficzną, w pewnym sensie hermetyczną i przedstawienie tego obszaru ułatwia zrozumienie w pełni dalszych cech realizowanego w pracy doktorskiej projektu. Mimo ogólnie przeglądowego charakteru, w rozdziale 2 Autor, przy okazji tego przeglądu przedstawiającego typowe rozwiązania poszczególnych części, dokonuje wyboru wersji do realizacji własnego projektu. Ten wybór i jego uzasadnienie jest częścią oryginalną i autorską rozdziału 2.

W prawie 40 stronicowym rozdziale 3 Autor przedstawia, pod względem koncepcji, projektu, opracowania i wykonania, realizowany projekt. W połączeniu z rozdziałem 4 (20 stronicowym), dotyczącym pomiarów i charakteryzacji, jest to zasadnicza część pracy doktorskiej. Druga faza eksperymentu COMPASS, korzystającego z akceleratora SPS, wymagała opracowania nowych rozwiązań wielkopowierzchniowych detektorów śladowych. Autor opisuje, gdzie ma pracować jego urządzenie oraz gdzie ma być testowane. Przedstawia charakter i parametry kalorymetru ECAL0, wymieniając kąty obserwacji i energie cząsteczek. Te zewnętrzne parametry narzucają twarde warunki na rozwiązanie projektu detektora światłowodowego. Koncepcja nowego rozwiązania detektora scyntylacyjnego podlega ścisłym procedurom walidacji i akceptacji przez odpowiednie ciała Kolaboracji. Pole manewru dla projektanta i opracowującego jest dokładnie określone. Autor przedstawia dokładne wyliczenia dotyczące zależności geometrycznych projektu, dokładności, detekcyjności, czułości, kątów widzenia, itp. Przedstawia harmonogramy czasowe realizacji i wiele innych danych technicznych, bez których nie możliwa byłaby akceptacja projektu. Buduje detektor, obudowy, maty światłowodowe, usytuowanie i obudowy fotodetektorów, projektuje i buduje elektronikę wejściową, oraz dokonuje finalnego zestawienia układu.

W rozdziale 4 opisuje kolejne etapy oceny, pomiarów i charakteryzacji wykonanego urządzenia. Początkowych ocen dokonuje w warunkach laboratoryjnych. Opisuje zastosowaną aparaturę pomiarową, zastosowane formaty sygnałów testowych, itp. Do testów stosuje źródło promieniowania beta ^{90}Sr . Po testach laboratoryjnych wykonuje testy akceleratorowe. Składa system pomiarowy w postać kompatybilną z finalną wersją przeznaczoną dla kalorymetru ECAL0. Przedstawia i analizuje wyniki pomiarów. Analizuje poziomy sygnałów dla cząsteczek minimalnie jonizujących. Oblicza histogramy i charakterystyki spektralne dla pojedynczych kanałów odczytowych. Oblicza i przedstawia kluczowe charakterystyki sygnałowe zbudowanego układu, w tym rozdzielczość czasową.

W rozdziale 5 podsumowuje wykonane prace. Dokonuje krótkiego przeglądu treści pracy doktorskiej z uwypukleniem własnych działań.

Podsumowując, recenzent stwierdza, że autor rozwiązał bardzo dobrze postawione zagadnienie, oraz użył do ich rozwiązania właściwej metody. Przyjął ambitne, lecz uzasadnione założenia budowy nowego przyrządu oraz zestawu pomiarowego łączącego nowy układ detekcyjny z trudnym środowiskiem pracy w kalorymetrze ECAL0.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

W pracy jest zawartych wiele elementów oryginalnych opracowanych autorsko przez Doktoranta. Elementy te można wymienić, jak następuje w krótkiej liście najważniejszych osiągnięć:

- zaproponowanie odważnej, własnej koncepcji wykorzystania scyntylacyjnych detektorów światłowodowych w rekonstrukcji eksperymentu COMPASS II i przebudowie kalorymetru ECAL0;
- opracowanie pełnego układu scyntylacyjnego detektora światłowodowego składającego się z bezpośredniej optycznej części detekcyjnej, konwersji częstotliwości, współpracy z fotodetektorem, części elektroniki detektorowej oraz obudowy całości i finalnie dostosowania do pracy w kalorymetrze ECAL0;
- weryfikacja projektu w warunkach laboratoryjnych, budowa laboratoryjnego układu pomiarowego, laboratoryjna weryfikacja parametrów projektowych;
- wykonanie pomiarów charakterystycznych w warunkach akceleratorowych przypominających rzeczywiste warunki pracy pełnego układu światłowodowego detektora scyntylacyjnego;

Podsumowując, oryginalność rozprawy polega na udowodnieniu przez autora pełnej stosowalności światłowodowych kompaktowych detektorów scyntylacyjnych do pomiarów akceleratorowych dla eksperymentów fizyki wielkich energii. Być może przy okazji, jeśli układ sprawdzi się w dalszych testach, Autor wprowadził do instrumentarium wielkich eksperymentów nowy standard konstrukcji detektorów. Jeśli tak, to rozwiązanie będzie powielane i używane w tej i innej infrastrukturze akceleratorowej przynajmniej przez kolejną dekadę.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Układ logiczny pracy jest następujący. Autor przedstawia tło realizacji pracy, zasadę działania światłowodowych detektorów scyntylacyjnych, sprzężenia pomiędzy światłowodem i fotodetektorem, konwersję opto-elektroniczną, oraz przetwarzanie sygnałów pomiarowych. Pokazuje kolejne etapy realizacji projektu. Przekonuje Kolaborację do swojego projektu. Buduje układ na podstawie projektu, uwzględniając wymagające warunki brzegowe narzucone przez zewnętrzne środowisko aplikacyjne. Wykonany układ bada w warunkach laboratoryjnych i następnie w wymagających warunkach akceleratorowych. Dla warunków akceleratorowych opracowuje wersję kompatybilną do zastosowania docelowego w kalorymetrze ECAL0. Oblicza i mierzy parametry funkcjonalne zbudowanego układu. Recenzent uznaje taki układ pracy i sposób przedstawienia problemu a następnie uzyskanych wyników za prawidłowy.

Podsumowując, autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników pracy badawczej. Do formy redakcyjnej pracy recenzent nie ma zastrzeżeń. Praca jest napisana zwięźle i jasno. Fragmenty opisowe, przegląd literatury i przedstawienie tła i szerszego obszaru badawczego są zarysowane skrótowo, ale wystarczająco. Natomiast opis prac własnych projektowych, konstrukcyjnych i pomiarowych są odpowiednio obszerne. Rysunki są czytelne, wykonane w jednakowym stylu.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Recenzent nie zauważa jakichś większych uchybień w warstwie merytorycznej pracy. Praca jest napisana wręcz wzorowo. Oczywiście nie sposób uchronić się od drobnych błędów które mają jednak charakter techniczny. Zawsze w pracy doktorskiej w naukach technicznych, aby uchronić się przed jej nadmierną objętością charakterystyczną dla prac humanistycznych, konieczna jest ścisła dyscyplina. Dyscyplina ta polega niestety na skrótowym ujęciu tematów pomocniczych i pobocznych, nawet wtedy, gdy w pracy są mimo tego ważne. Tak było i w tym przypadku. Można dyskutować czy autor nie powinien wężiej lub szerzej opisać niektórych problemów. Recenzent nie jest w żadnym wypadku za rozwlekłością prac doktorskich. Tutaj Autor nie uchronił się przed pewną nadmiarowością, wynikłą zapewne z nadmiarowości posiadanej wiedzy. Być może niektóre fragmenty pracy można było wyciągnąć do załączników.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Praca dotyczy potencjalnie rozwoju autonomicznego, kompaktowego układu detektorowego przeznaczonego do wykorzystania w eksperymentach fizyki wielkich energii. Wyniki tej pracy mogą potencjalnie zachęcić jednostki przemysłowe do podjęcia odpowiednich wysiłków budowy takiego pożytecznego układu detektorowego dla nieco innych zastosowań. Przydatność pracy dla nauk technicznych jest znaczna.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c/ spełniająca wymagania
- d/ spełniająca wymagania z nadmiarem
- e/ **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie**

Wnioskuje o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów procesu doktoryzowania. W przypadku pozytywnego przebiegu obrony, a w tym prezentacji i otwartej dyskusji jestem, bez wątpliwości, skłonny wnioskować o przyznanie Doktorantowi wyróżnienia.



Warszawa, dnia 20.01.2020 r.

Dr hab. inż. Sławomir Wronka
Profesor nadzwyczajny

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Ul. A.Sołtana 7
05-400 Otwock

***KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ***

Tytuł rozprawy: Scintillating Fiber Detectors for High Energy Physics Experiments

Autor rozprawy: mgr inż. Marcin Ziembicki

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej z dnia 24 września 2019r, oraz pismo Pana Dziekana w tej sprawie z dnia 21.11.2019 r.

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Przedstawiona rozprawa dotyczy zaprojektowania, budowy i uruchomienia światłowodowego detektora śladowego, zbudowanego z plastikowych włókien scyntylacyjnych. Główną motywacją budowy urządzenia była potrzeba dostarczenia pozycyjnego sygnału trygerującego niezbędnego do testów nowego kalorymetru ECAL0. Kalorymetr ten zbudowany został dla eksperymentu COMPASS II, którego wyposażenie usytuowane będzie na wiązce z akceleratora SPS w CERN. Testy ECAL0 obejmować miały weryfikację liniowości, rozdzielczości energetycznej i zdolność do rekonstrukcji kaskady elektromagnetycznej. Przewidziano, iż testy zostaną przeprowadzone na akceleratorze ELSA w Bonn (Niemcy), na wiązkach o energiach 0.8 – 3.2GeV. Jednak ulokowanie tam

kalorymetru ECAL0 spowodowało konieczność usunięcia pewnych elementów standardowego wyposażenia akceleratora, co z kolei doprowadziło do utraty możliwości pomiaru dokładnego położenia wiązki. Potrzebny był nowy detektor, który dostarczyłby sygnał trygera oraz informację o dokładnej pozycji wiązki. Dwuosobowy zespół z wiodącą rolą Autora podjął się niezwykle ambitnego zadania budowy w bardzo krótkim czasie zaawansowanego hodoskopu, który pracowałby razem z kalorymetrem ECAL0, dostarczając potrzebnych do testów sygnałów. Zagadnienie to zostało przez mgr Ziembickiego opisane w sposób wyczerpujący, urządzenie zostało zbudowane, a jego działanie zweryfikowano eksperymentalnie na wiązce z akceleratora ELSA w Bonn (Niemcy).

Praca ma charakter doświadczalny.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle /świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

W przedstawionej rozprawie Autor uwzględnił 170 źródeł, zawierających pozycje książkowe, publikacje w czasopiśmie naukowych (w tym konferencyjne), raporty, odnośniki do stron internetowych. Wśród przytoczonych źródeł Autor umieścił również własne publikacje, których był współautorem (pozycje 23-26, 38, 99, 154, 170).

Każdy obszar poruszony w pracy tematyki znalazł swoje umocowanie w przytoczonej literaturze, uwzględniając najnowszą światową wiedzę w wymaganym zakresie. Może stanowić to cenny zbiór dla osób poszukujących kompleksowej bazy literatury do zbudowania hodoskopu lub innego detektora zawierającego fotopowielacze, światłowodów, scyntylatory plastikowe itd.

Stwierdzam zatem, iż wybór źródeł, które stanowią tło realizowanej pracy doktorskiej jest właściwy, świadczący o bardzo dobrej wiedzy i rozeznaniu Autora w tematyce doktoratu. Na podstawie literatury Autor trafnie przewidział parametry projektowanego urządzenia, które w większości okazały się zgodne z przewidywaniami. Wnioski z przeprowadzonej analizy źródeł pozwoliły Autorowi na wybór właściwej ścieżki realizacji prac.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Przedstawiona przez Autora praca opisuje projekt i budowę hodoskopu niezbędnego do przeprowadzenia testów kalorymetru ECAL0. Zadanie było ambitne, gdyż cały projekt był mocno ograniczony czasowo. Dlatego zespół realizujący to zadanie nie mógł przeprowadzić dokładnych symulacji wszystkich podzespołów detektora wraz z wariantową analizą możliwych scenariuszy realizacji. Ryzyko polegało na przygotowaniu projektu i wykonaniu urządzenia w oparciu o dane literaturowe, przewidywania teoretyczne oraz własne wyczucie inżynierskie i doświadczenie zdobyte przy wcześniejszych, podobnych projektach.

Autor opisuje w jaki sposób starał się zminimalizować to ryzyko, przewidując maksymalnie dużo możliwych błędów w założeniach, czasem analizując ten sam parametr min. dwoma różnymi drogami. Następnie mgr. Ziembicki opisuje sposób realizacji samej budowy detektora, wyczerpująco uzasadniając sposób postępowania.

Uważam, że Autor przyjął prawidłowe założenia do realizacji pracy i rozwiązał postawione zagadnienia stosując właściwe dla przedmiotu badań metody.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy polega na zaprojektowaniu, zbudowaniu i uruchomieniu w przyspieszonym czasie kompletnego, oryginalnego światłowodowego detektora śladowego, zbudowanego z plastikowych włókien scyntylacyjnych. Zadanie to łączyło w sobie wytypowanie materiałów, podzespołów i elementów, dobór bądź opracowanie technologii wykonania, samą budowę części sprzętowej (mechanicznej i elektronicznej) oraz uruchomienie i testy na wiązce akceleratora ELSA. Autor opierał się na doświadczeniu i rozwiązaniach stosowanych w innych projektach, niemniej jednak zbudowane urządzenie nie jest prostym powieleniem czy adaptacją fragmentów innych detektorów, a oryginalnie i od podstaw opracowanym i zbudowanym urządzeniem na poziomie światowym.

Praca realizowana była w dwuosobowym zespole, jednak Autor jednoznacznie wskazał swój osobisty wkład, który jest znaczny i dominujący.

Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową jest aktualna.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Rozprawa jest uporządkowana logicznie i napisana w sposób zrozumiały. Na podkreślenie zasługuje bardzo szerokie wprowadzenie w zagadnienie, będące dobrym przewodnikiem dla następców Autora, jednocześnie potwierdzając jego znajomość tematyki.

Mgr Ziembicki jasno przekazał cel pracy, sposób wyboru konkretnych rozwiązań i szczegóły techniczne oraz technologiczne detektora.

Co jest trudne do uniknięcia przy tak obszernej pracy - Doktorant nie uniknął błędów redakcyjnych, przykładowo na Rysunku 3.7. Zwiększenie czytelności Rysunków 3.17 i 3.21 niewątpliwie dla wielu czytelników byłyby ciekawe i pomocne z powodów czysto praktycznych.

Miejscami Autor odchodzi od sztywnego języka naukowego, co wynika zapewne z chęci możliwie bliskiego przybliżenia czytelnikowi występujących do rozwiązania problemów, niespodzianek i znaków zapytania, jakie napotkał w trakcie realizacji.

Uchybienia te nie zacierają jednak przekazu i nie umniejszają wartości pracy. Rozprawę jako całość oceniam bardzo pozytywnie.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Przedstawiona rozprawa nie posiada istotnych merytorycznie słabych stron. Urządzenie zostało zbudowane i przetestowane. Podstawowe parametry detektora są zgodne z początkowymi założeniami, choć brak detektora wzorcowego uniemożliwił zbadanie

efektywności hodoskopu. Jedyna istotna rozbieżność dotyczy rozdzielczości czasowej, która w istotny sposób jest gorsza od przewidywań. Autor przytacza możliwe przyczyny nie ukrywając, iż pozostają one hipotezami i źródło problemu nie zostało do końca zidentyfikowane. Urządzenie jednak należy oceniać przede wszystkim pod kątem sprawdzenia w konkretnym zastosowaniu, do którego zostało zaprojektowane.

W pracy właściwie brak jest porównania wprost z innymi urządzeniami tego typu/zbliżonymi, choć należy przyznać, iż założenia (z którymi końcowy produkt jest zgodny) opierały się w szerokim zakresie na zgromadzonej światowej wiedzy z tego zakresu.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przydatność rozprawy dla nauk technicznych jest znaczna. Autor zaprojektował i wykonał kompletny detektor, przetestowany na rzeczywistej wiązce z akceleratora wraz z urządzeniem, do którego testów był potrzebny. Fakt ten stanowi rzeczywistą weryfikację przydatności rozprawy, a osiągnięte wyniki były prezentowane na międzynarodowych konferencjach.

Uważam, że wykonane prace wnoszą istotny wkład w dziedzinę praktycznej budowy detektorów pozycyjnych i mogą być efektywnie wykorzystane w innych eksperymentach, przed wszystkim w obszarze fizyki wysokich energii.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy

b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania

c/ spełniająca wymagania

d/ spełniająca wymagania z nadmiarem

e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Wnioskuje o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.