

Prof. dr hab. Wojciech DOMINIK  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa

### **Recenzja rozprawy habilitacyjnej oraz dorobku dr. Inż. Bartosza Mindura**

Zgłoszone przez dr. inż. Bartosza Mindura w postępowaniu habilitacyjnym osiągnięcie naukowe zatytułowane „Pozycjoczułe detektory gazowe w zastosowaniach eksperymentalnej fizyki cząstek elementarnych oraz wybranych metodach obrazowania” składa się z osiemnastu publikacji naukowych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Publikacje stanowią monotematyczny cykl zgodny merytorycznie z tytułem osiągnięcia naukowego zgłoszonym we wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego.

Badanie i opracowanie technik detekcji promieniowania jonizującego za pomocą detektorów gazowych, wyznaczanie charakterystyk funkcjonalnych oraz ich długoczasowych charakterystyk, a także zastosowanie czujników w złożonej aparaturze pomiarowej do badań podstawowych oraz użytkowych wiąże tematycznie dokonania Habilitanta w przedstawionych pracach. Rozwój wielokanałowych elektronicznych układów odczytu sygnałów z detektorów oraz systemów monitorowania i kontroli stabilności działania czujników gazowych jest wynikiem naukowym Autora uzyskanym w wykonanych doświadczeniach.

Dokumentacja towarzysząca zgłoszonemu osiągnięciu naukowemu jest bardzo obszerna, szczegółowa i kompletna.

Dr inż. Barosz Mindur specjalizuje się w detekcji promieniowania z wykorzystaniem nowoczesnych technik gazowych detektorów proporcjonalnych. Przedstawione prace dotyczą rozwoju i zastosowań czujników gazowych umożliwiających precyzyjny pomiar pozycji aktu jonizacji w obszarze detekcyjnym przy silnych strumieniach promieniowania.

Cykl powiązanych tematycznie publikacji dotyczy bardzo szerokiego zakresu zagadnień detektorów gazowych i stowarzyszonych układów elektronicznych przetwarzania sygnałów. Pod względem tematycznym przedstawiony zbiór prac podzielić można na pięć grup:

1. Prace H1, H2, H3 i H4 dotyczą etapu opracowania drutowych detektorów słomkowych do hodoskopu pomiarów śladów cząstek naładowanych i identyfikacji elektronów w aparaturze eksperymentu ATLAS przy akceleratorze LHC. Są to prace wieloautorskie przedstawiające wyniki badań podstawowych

charakterystyk detektorów słomkowych hodoskopu Transition Radiation Tracker (TRT) wykonane przez liczny międzynarodowy zespół zadaniowy.

2. Wyniki prac zespołu AGH nad własnościami detektorów gazowych z domieszkami gazów elektrycznych ważne dla ustalenia składu mieszanki gazowej wypełniającej detektory słomkowe układu TRT zawierają prace H5 i H6.
3. Pełny opis całości detektora TRT zamontowanego w aparaturze ATLAS oraz dokumentacja jakości działania hodoskopu w ciągu pierwszych lat eksperymentowania przy LHC. W pracach H7, H8, H9 i H10 grupa ATLAS TRT przedstawia zagregowane charakterystyki finalnych detektorów słomkowych, pełny opis konstrukcji i parametrów funkcjonalnych hodoskopu TRT zainstalowanego w aparaturze ATLAS na kilka lat przed uruchomieniem akceleratora LHC oraz zdolność identyfikacji elektronów za pomocą testowego modułu TRT badanego wraz z pełnym zestawem detektorów ATLAS na wiązce wtórnej akceleratora SPS. W pracy H15 dr Mindur przedstawia układ GGSS (*Gas Gain Stabilisation System*) - swój autorski system monitorowania i kontroli stabilności działania słomkowych detektorów TRT ATLAS. Praca H16 podsumowująca kwestie operacyjne TRT i doświadczenia z okresu pierwszych pięciu lat działania LHC oraz pokazująca jego przydatność w identyfikacji elektronów o energiach do 100 GeV jest związana z prezentacją w formie *poster*, którą dr. Mindur przedstawił w imieniu współpracy ATLAS na 14th Vienna Conference on Instrumentation.
4. Badania nad detektorami gazowymi o mikrostrukturalnych elektrodach MPGD (ang. MicroPattern Gas Detectors), stowarzyszoną elektroniką odczytu sygnałów oraz ich zastosowaniami w praktyce. Prace H11, H12, H13 i H18 zawierają wyniki badań nad płaskimi komorami ze strukturami wzmacniania ładunku typu GEM w zastosowaniu do fluorescencyjnej radiografii rentgenowskiej oraz radiografii protonowej wspomagającej proces terapii hadronowej. Praca H14 opisuje projekt detektora gazowego typu MicroStrip Gas Chambers do pomiarów rozkładu przestrzennego strumienia neutronów termicznych oraz wyniki testów detektora w warunkach bardzo wysokiej intensywności wiązek neutronów termicznych.
5. Autorski artykuł H17 dr. Bartosza Mindura jest przeglądową pracą o najnowszych technikach pomiarowych za pomocą gazowych detektorów MPGD oraz ich zastosowaniach w eksperymentach wysokich energii i w obrazowaniu radiograficznym. Autor koncentruje się głównie na zagadnieniach pomiarowych i technikach eksperymentalnych, które wiążą się z jego działalnością naukową.

Publikacje wynikające z badań aparaturowych współpracy TRT ATLAS są artykułami sygnowanymi przez liczne grono autorów. Fakt ten jest jak najbardziej zrozumiały zważywszy, iż przedsięwzięcie tworzenia aparatury badawczej o tak dużej skali i złożoności wymaga współpracy dużych zespołów naukowców i inżynierów o uzupełniających się kompetencjach. Każdy z autorów artykułu wnosi, jak to określa Habilitant w Autoreferacie, niepomijalny wkład we wspólne przedsięwzięcie. Trudne i zbędne jest precyzyjne oszacowanie udziału poszczególnych autorów. Najlepszą oceną istotności wkładu każdego ze współtwórców jest uznanie pozostałych dla jego pracy.

Udział Habilitanta w ogromnym projekcie TRT ATLAS określić można najlepiej na podstawie opinii osób wiodących i kierujących współpracą. W załączonym do dokumentacji habilitacyjnej liście z 20 lipca 2016 adresowanym ogólnie do zespołu d/s postępowania habilitacyjnego dr Christoph Rembser – lider grupy detektora ATLAS, oraz dr Anatoli Romaniouk – lider projektu TRT ATLAS piszą o pracy dr. inż. Bartosza Mindura m.in.: *He has actively taken part in the test-beam periods which brought very important information and deep insight concerning the operation of the TRT detector prototypes, later on he has been heavily involved in the TRT detector commissioning during the cosmic runs before the start of the LHC operation [1]. Also thanks to the work of Dr. Bartosz Mindur, it is possible that detectors deliver high quality physics data for a long operation time of more than a decade. [2] Dr Mindur has developed the TRT gas gain stabilisation system and is responsible for its performance, maintenance and upgrade over the entire period of the ATLAS experimental runs until 2023.*

PozaATLASowe publikacje dr. Mindura raportują wyniki ciekawych i ważnych badań prowadzonych w mniejszych zespołach badawczych – głównie w laboratoriach Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Zgodnie z oświadczeniami współautorów artykułów oraz oświadczeniem Habilitanta, jego rola w przeprowadzeniu tych badań była wiodąca.

### **Ocena osiągnięcia naukowego**

Dr inż. Bartosz Mindur dołączył do zespołu TRT ATLAS w okresie, gdy koncepcja tej części aparatury była już ukształtowana i przyjęto rozwiązanie techniczne polegające na zastosowaniu tzw. słomkowych detektorów gazowych jako hodoskopu cząstek naładowanych o zdolności odróżniania elektronów od naładowanych mezonów  $\pi$ . Tworzenie tak dużego zestawu zaawansowanej aparatury pomiarowej do eksperymentu, który miał zbierać dane przez ponad dziesięć lat w warunkach silnego napromienienia przy LHC stanowi duże wyzwanie naukowe i techniczne. Powodzenie przedsięwzięcia wymaga współpracy bardzo licznego zespołu naukowego osób o różnorodnych kompetencjach. Prace przygotowawcze i precyzyjne, wszechstronne badania modeli i prototypów detekcyjnych są żmudne, długotrwałe i wymagają dobrego opanowania warsztatu badawczego. Dr Mindur aktywnie uczestniczył w całym okresie tworzenia, instalacji i uruchomienia aparatury doświadczalnej.

Główne osiągnięcia naukowe dr. Mindura w wiąże się z badaniem własności detektorów słomkowych z różnymi mieszankami gazów roboczych oraz autorskim opracowaniem układu monitorującego i kontrolującego stabilność pracy detektorów.

Stabilność charakterystyk detekcyjnych czujników gazowych i ich trwałość w warunkach silnego napromienienia istotnie zależy od doboru mieszaniny gazów roboczych. Wstępnie ustalona mieszanina gazów zawierająca  $CF_4$  okazała się niszcząca szklane elementy konstrukcyjne detektorów rurkowych. Wybór zastępczego składnika zapewniającego oczekiwane charakterystyki funkcjonalne stał się kwestią fundamentalną dla powodzenia przedsięwzięcia TRT ATLAS. Zespół TRT zaproponował zastąpienie  $CF_4$  domieszką tlenu, co jest zdecydowanie

nieoczywiste w odniesieniu do gazowych detektorów proporcjonalnych z racji własności skutecznego wychwytu swobodnych elektronów przez cząsteczki tlenu nawet w słabym polu elektrycznym. Pomiarzy charakterystyczne udowodniły, iż nowa mieszanina gazów, której głównym składnikiem pozostaje ksenon, zapewnia dostateczną efektywność i szybkość kolekcji ładunku jonizacyjnego dla skutecznej rejestracji promieniowania o dużej intensywności oraz wystarczającą trwałość detektorów w czasie planowanych dziesięciu lat eksperymentowania. Dr Mindur zbadał też możliwości okresowego usuwania „in vivo” depozytów starzeniowych depozytów krzemowych z powierzchni anod drutowych za pomocą mieszanki gazowej zawierającej  $CF_4$  i opracował procedurę remediacji niepożądanych efektów pogarszających charakterystyki pracy detektora bez konieczności demontażu. Dokonanie cenne i ważne z racji braku dostępu do wewnętrznych warstw aparatury ATLAS.

Detektor TRT spełnił istotną rolę w identyfikacji przypadków rozpadu bozonu Higgsa rejestrowanych w aparaturze ATLAS w kanałach leptonowych ze względu na kluczową własność identyfikacji elektronów powstających w zderzeniu wiązek protonów. Zapewnienie przydatności hodoskopu TRT do identyfikacji elektronów wymaga utrzymania stałego wzmocnienia gazowego we wszystkich segmentach aparatury. Mierzone sygnały można traktować wówczas jako miarę zdeponowanej lokalnie energii przez cząstkę przechodzącą przez obszar aktywny hodoskopu. Detektor TRT tworzy około 300 tysięcy słomkowych detektorków gazowych pogrupowanych w segmenty zasilane mieszaniną gazową przez wspólny system recyrkulacji i filtracji. Wzmocnienie gazowe dla danego napięcia zasilania detektora rurkowego jest funkcją składu mieszaniny gazów, ciśnienia oraz temperatury. Chwilowe ciśnienie mieszaniny roboczej w detektorach TRT związane jest z ewolucją ciśnienia atmosferycznego. Temperatura w danym segmencie TRT zależy od jego ułożenia względem innych części aparatury ATLAS, co prowadzi do znaczących różnic temperatury poszczególnych segmentów TRT. Utrzymanie stałego wzmocnienia gazowego w całej przestrzeni TRT wymaga zastosowania aktywnego systemu monitorowania wzmocnienia gazowego i kompensacji zmian poprzez dostosowanie wartości napięcia elektrycznego anod. Dr Bartosz Mindur opracował i stworzył autorski system GGSS – kontroli stabilności pracy TRT. Przy wykonywaniu zadania wykorzystał własne doświadczenia z pracy nad monitorowaniem stabilności dużego hodoskopu gazowych detektorów drutowych kalorymetru BAC eksperymentu ZEUS w DESY. System GGSS doskonale sprawdził się w praktyce doświadczenia ATLAS, co potwierdzają wyniki z trzech pierwszych lat eksperymentowania przedstawione w artykule H15. Skuteczność i niezawodność kompensacji wpływu zmian ciśnienia i temperatury oraz szybkie rozpoznawanie fluktuacji składu mieszaniny gazów umożliwiła efektywne wykorzystanie TRT do pomiaru trajektorii cząstek naładowanych i ich identyfikacji zgodnie z założeniami projektu.

Badania dr. Bartosza Mindura nad własnościami gazowych detektorów cylindrycznych oraz opracowanie na tej podstawie systemu GGSS zdecydowanie przyczyniły się do wielkiego sukcesu całego eksperymentu ATLAS, jakim było odkrycie bozonu Higgsa. Dr Mindur pełni funkcję eksperta systemu GGSS oraz systemu gazowego całego detektora TRT ATLAS. Powierzenie mu przez współpracę ATLAS funkcji eksperta podsystemu aparatury potwierdza uznanie jego wysokich

kompetencji oraz umiejętności sprawnego i skutecznego zarządzania rozwiązywaniem problemów funkcjonowania aparatury w trakcie zbierania danych.

Odrębnym, bardzo ciekawym i wartościowym polem działalności naukowej Habilitanta są badania i rozwój gazowych detektorów typu MPGD, które prowadzi od 2006 roku. Prace nad rozwojem nowoczesnych technik detekcji promieniowania mają znaczenie fundamentalne dla realizacji zaawansowanych eksperymentów fizyki cząstek oraz w praktyce diagnostyki medycznej i bezinwazyjnym badaniu struktury obiektów nieprzezroczystych optycznie. Pierwsze prace Habilitanta dotyczyły rejestracji rozkładu powierzchniowego strumienia neutronów termicznych o dużej intensywności za pomocą gazowego detektora MicroStrip Gas Chamber z płaskim konwerterem Gd/CsI. Pokazany w artykule H14 wynik kalibracyjnego pomiaru rozdzielczości przestrzennej detektora demonstruje bardzo dobrą zdolność dwuwymiarowej rekonstrukcji obrazu gęstości strumienia neutronów na powierzchni detektora MSGC.

Zdobyte doświadczenia warsztatowe zainicjowały podjęcie przez Habilitanta prac nad detektorami gazowymi typu GEM w ramach współpracy RD51 w CERN. Opracowany przez dr. Mindurę system odczytu i przetwarzania sygnałów do detektora neutronów został zastosowany w radiografii protonowej i obrazowaniu z wykorzystaniem miękkiego promieniowania X. Skuteczność zastosowania techniki detektorów GEM, sprzężonych z dedykowanym układem elektroniki front-end GEMROC, potwierdzają wyniki badań zdolności mapowania rozkładu pigmentów w niewidocznych warstwach malowideł. Obrazy wewnętrznych warstw specjalnie przygotowanych fantomów malarskich, wykonane metodą fluorescencji rentgenowskiej za pomocą prototypowego układu detektora GEM, pokazują duży potencjał tej metody w badaniach dzieł sztuki malarskiej metodami nieinwazyjnymi i otwierają nowy kierunek badawczo-rozwojowy, w czym niewątpliwie duża zasługa Habilitanta. Uzyskane już rezultaty oceniam jako bardzo znaczące osiągnięcie naukowe.

Dr inż. Bartosz Mindur dysponuje bardzo wszechstronnym warszatem badawczym. Prowadzi bardzo aktywną działalność naukową w dziedzinie metodyki i technik detekcji promieniowania jonizującego za pomocą nowatorskich detektorów gazowych. Podejmowanie przez niego wyzwań naukowych związanych z tworzeniem aparatury pomiarowej z pewnością zwiększa możliwość podejmowania przez jego zespół najambitniejszych projektów naukowych w przyszłości. Duża aktywność dr. Mindury w podejmowaniu wyzwań naukowych i nawiązywaniu współpracy naukowej pozwala oczekiwać, iż będzie tworzyć własne zespoły naukowe.

### **Ocena istotnej aktywności naukowej Habilitanta**

Dorobek naukowy Habilitanta, na dzień składania wniosku, liczył według bazy Web of Science 586 publikacji w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, które cytowane były ponad 15 tysięcy razy bez cytowań prac własnych, a współczynnik Hirscha wynosił  $h=52$ . Obiektywnie są to wartości na niezwykle wysokim poziomie. Do osiągnięcia tak wysokiej statystyki publikacji i cytowań przyczynił się niewątpliwie udział Habilitanta w projekcie naukowym ATLAS. Wyłączenie publikacji współpracy

ATLAS ze statystycznej oceny pokazywałoby liczbę publikacji około 50 z indeksem Hirscha na poziomie kilkanaście, co już potwierdza bardzo dużą aktywność naukową Habilitanta zważywszy tym bardziej, iż powyższym zabiegiem wyłączałyśmy znaczny i znaczący okres jego działalności naukowej.

Bez odwoływania się do powszechnie stosowanych, czasem nadmiernie, wskaźników statystycznych dorobek dr. inż. Bartosza Mindura można ocenić jako bardzo dobry.

Pozycję ekspercką Habilitanta w dziedzinie metodyki i technik detekcji promieniowania jonizującego potwierdza jego rola aktywnego recenzenta czasopism naukowych Journal of Instrumentation i IEEE Transactions on Nuclear Science. Dr inż. Bartosz Mindur uczestniczył w kilkunastu konferencjach międzynarodowych i na większości wygłaszał referaty. Referat na zaproszenie organizatorów Jagiellonian Symposium on Fundamental and Applied Subatomic Physics stanowi publikację oznaczoną jako H17 cyklu publikacji zgłoszonym w postępowaniu habilitacyjnym.

#### **Ocena działalności dydaktycznej oraz w zakresie współpracy międzynarodowej**

Dorobek Habilitanta w działalności dydaktycznej jest bardzo solidny. Dr inż. Mindur stara się łączyć elementy warsztatu naukowego i własnych prac naukowych z tematyką kursów akademickich, które przygotował i prowadził oraz tematami prac dyplomowych, którymi się opiekował na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Prowadził autorskie zajęcia kursowe z programowania, języków programowania obiektowego oraz podstaw systemów operacyjnych - zarówno wykłady jak i seminaria oraz ćwiczenia laboratoryjne i projektowe. Oprócz tego prowadził ćwiczenia rachunkowe i laboratoryjne do wykładów z fizyki. Był opiekunem aż 14. ukończonych prac magisterskich i 17. prac inżynierskich. Warto podkreślić, że tematyka wielu prac dyplomowych bezpośrednio wiązała się z zadaniami badawczymi Habilitanta.

Habilitant pełnił też rolę promotora pomocniczego rozprawy doktorskiej Alicji Zielińskiej na temat radiograficznego i fluorescencyjnego obrazowania rentgenowskiego struktury obiektów nieprzezroczystych za pomocą gazowych detektorów typu GEM. Rozprawę miałem przyjemność recenzować i docenić.

Aktywność i osiągnięcia dr. inż. Bartosza Mindura na polu dydaktyki akademickiej oceniam bardzo wysoko.

Habilitant od 1999 roku utrzymuje intensywną i bezpośrednią współpracę z naukowymi ośrodkami zagranicznymi wyjeżdżając corocznie na kilkutygodniowe pobyty naukowe do takich ośrodków jak DESY w Hamburgu, CERN w Genewie, Helmholtz Zentrum w Berlinie. W latach 2006-2008 odbył dłuższy staż naukowo-badawczy w Hahn-Meitner Institut w Berlinie. Współpraca z instytutami zagranicznymi wpływa na rozwój warsztatu badawczego dr. Mindura i umożliwia podejmowanie nowej tematyki badawczej.

Bogate jest również doświadczenie dr. Mindura w projektach badawczych wykonywanych we współpracy międzynarodowej. Po uzyskaniu stopnia naukowego

doktora uczestniczył w dziesięciu projektach finansowanych z funduszy krajowych oraz europejskich. Prowadzone w ramach przyznanych grantów badania dotyczą programów ZEUS, ATLAS, DETNI oraz współpracy RD51 w CERN. Dr Mindur kieruje krakowską grupą uczestniczącą we współpracy RD51 oraz grupą krakowską współodpowiedzialną za aparaturę Transition Radiation Tracker w eksperymencie ATLAS. Kierowanie zespołami naukowymi potwierdza wysoką aktywność naukową Habilitanta oraz dobrą umiejętność współpracy międzynarodowej, a także umiejętność prowadzenia zespołów badawczych.

### **Wniosek końcowy**

Podsumowując stwierdzam, że w mojej opinii dr inż. Bartosz Mindur spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi związane z nadaniem stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych. Przedstawione osiągnięcie naukowe jest wartościowe.

Wniosuję o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'B. Mindur', with a long, sweeping underline that extends to the left.

