

Warszawa, sierpień 2017

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

Recenzja rozprawy habilitacyjnej pt. „High Level Trigger role in extending physics reach of the ATLAS experiment at the LHC - System design and performance” oraz ocena dorobku naukowego

dr. Tomasza Bołda

w postępowaniu kwalifikacyjnym o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka

Podstawą wniosku o nadanie dr. Tomaszowi Bołdowi stopnia naukowego doktora habilitowanego jest osiągnięcie naukowe zatytułowane „High Level Trigger role in extending physics reach of the ATLAS experiment at the LHC - System design and performance” przedstawione w postaci monografii w języku angielskim wydrukowanej nakładem Wydawnictwa EXPOL, Kraków 2016, ISBN 978-83-65256-07-2.

Wynik naukowy związany jest z przygotowaniem i prowadzeniem eksperymentu ATLAS przy akceleratorze LHC w CERN w okresie od początku uruchomienia aparatury w roku 2008 do roku 2015. W międzynarodowej współpracy badawczej ATLAS uczestniczy zespół naukowy Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Eksperymentowanie w warunkach LHC stanowi ogromne wyzwanie zarówno naukowe jak i techniczne. Stworzenie warunków doświadczalnych umożliwiających badanie bardzo rzadkich procesów o przekrojach czynnych na poziomie kilkudziesięciu pikobarnów w warunkach tła o dziesięć rzędów wielkości silniejszego w zderzeniach przeciwbieżnych wiązek protonów przewyższa wcześniejsze przedsięwzięcia doświadczalne pod względem nakładu pracy koncepcyjnej i projektowej, liczby uczestniczących fizyków i instytucji naukowych, skali aparatury, liczby kanałów informacyjnych oraz kosztów budowy i czasu przygotowań. Pierwsze koncepcje eksperymentów przy świetności zderzacza LHC na poziomie $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ powstawały z końcem lat 80. ubiegłego wieku z założeniem dostatecznego rozwoju w ciągu następnych kilkunastu lat aparatury detekcyjnej oraz elektroniki szybkiego potokowego przetwarzania sygnałów umożliwiającego skuteczny pomiar procesów fizycznych zachodzących z częstością 40 MHz. Każdy z wątków przygotowania eksperymentu przy LHC – między innymi opracowanie modułów detekcyjnych, opracowanie elektroniki odczytu i przetwarzania informacji, algorytmy i oprogramowanie, mechanika i automatyka zestawu aparatury, wymagał nowatorstwa oraz stanowił sam w sobie złożony projekt badawczy i rozwojowy wykorzystujący na poziomie zaledwie podstawowym istniejące wcześniej techniki pomiarowe dużych eksperymentów fizyki cząstek.

Jednym z ważniejszych zagadnień w eksperymentach elektronicznych jest zawsze układ szybkiego wyboru (filtracji) informacji pierwotnej w aparaturze pomiarowej – tryger. Nieskuteczny lub deformujący rejestrowany materiał doświadczalny tryger prowadzi do porażki doświadczenia. Problem trygera każdego z eksperymentów przy LHC był podstawową kwestią od pierwszych koncepcji przyszłych doświadczeń, której rozstrzygnięcie determinowało zakres możliwych badań. Ówczesny stan techniki przetwarzania i rejestrowania informacji nie pozwalał marzyć o odkryciu bozonu Higgsa. Eksperymentatorzy odważnie założyli, że postęp w dziedzinie mikroelektroniki, procesorów programowalnych oraz systemów elektronicznych, oceniany metodą ekstrapolacji wcześniejszego tempa rozwoju, pozwoli osiągnąć stan dostateczny do stworzenia skutecznych, wydajnych i selektywnych układów elektroniki potokowej filtracji informacji w warunkach eksperymentów LHC. Rozprawa habilitacyjna dr. Tomasza Bołda potwierdza na przykładzie układu wyzwalania doświadczenia ATLAS słuszność przyjętego wstępnie założenia oraz pokazuje doskonałe przygotowanie licznego zespołu twórców systemu do włączania najnowszych i najbardziej wydajnych rozwiązań technicznych pojawiających się na rynku telekomunikacyjnym.

Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe wiąże się z opracowaniem pełnego układu wyzwalania eksperymentu ATLAS, szczególnie wyższego stopnia trygera zwanego High Level Trigger (HLT). Zawartość rozprawy zdecydowanie odpowiada jej tytułowi.

W pierwszych trzech rozdziałach Autor określa ogólne zasady działania układu trygera, definiuje pojęcia związane z oceną charakterystyk działania systemu, omawia krótko (co jest cenne) strukturę aparatury ATLAS oraz strukturę układu decyzyjno-filtracyjnego eksperymentu. Bardzo cennym materiałem są zawarte w rozdziale 3 rozważania o kluczowych zasadach i kryteriach opracowania i tworzenia układu filtracji HLT w kontekście specyfiki aparatury ATLAS – te fragmenty mogą zdecydowanie posłużyć za materiał źródłowy dla następnych generacji eksperymentatorów.

Zasadniczą część rozprawy zawierają rozdziały 4 i 5, w których dr Bołd przedstawia bardzo szczegółowo proces implementacji HLT w trakcie przygotowań do zasadniczego zbierania danych przy nominalnej świetności LHC oraz strategię rozpoznawania zdarzeń należących do poszczególnych zdefiniowanych wstępnie klas. System wyzwalania ATLAS to konfigurowalny układ logiczny potokowego przetwarzania informacji cyfrowej z maksymalnym wykorzystaniem zasobów sprzętowych (hardware i firmware) złożony z dwóch współpracujących stopni: część sprzętowa - zwana L1 Trigger, zdolna do przetwarzania synchronicznego z częstością 40 MHz oraz część wysokiego poziomu trygera – HLT, wykonująca precyzyjną selekcję sygnałów zdarzeń. Autor pokazuje, iż odpowiednia optymalizacja doboru algorytmów i obciążenia jednostek przetwarzania dla różnych klas zdarzeń pozwala osiągnąć zakładaną przepustowość z naddatkiem przy bardzo dobrej wydajności i specyficzności selekcji. Dodatkowo system HLT umożliwia dokonywanie bieżącej kalibracji aparatury ATLAS, monitorowanie stabilności odpowiedzi podsystemów oraz pomiar rozmiarów wiązki, co jest dodatkowym narzędziem kontrolowania działania samego zderzacza LHC.

Monografia w ujęciu w dużej części chronologicznym pokazuje proces rozwoju HLT ATLAS. Pokazanie ewolucji procesu wdrażania układu trygera oraz ustalania charakterystyk w trakcie zbierania danych przy wzrastającej świetlności i energii LHC jest dobrym zabiegiem. Autor wyróżnia trzy okresy wdrażania i modernizacji systemu:

- faza wstępna w latach 2008-2009, gdy gotową do działania aparaturą ATLAS kalibrowano rejestrując promieniowanie kosmiczne
- Run 1 w latach 2010-2013 przy wzrastającej sukcesywnie świetlności zderzeń protonów w LHC od początkowo $10^{28} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ do $8 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ pod koniec okresu eksperymentowania
- Run 2 rozpoczęty w 2015 roku przy energii 13 TeV i świetlności $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ – wartościom bliskim pierwotnie planowanym. Run 2 potrwa do końca 2018 roku. Autor kończy dokumentowanie działania HLT w rozprawie na pierwszych danych z 2015 roku, co jest w pełni zrozumiałe.

Dr Tomasz Bołd przekonująco pokazuje, iż już podczas Run 1 system wyzwalania ATLAS spełnił z nadlatkiem założenia projektowe. Zespół trygera ATLAS dobrze wykorzystał nieplanowany dwuletni okres związany z awarią LHC po pierwszym uruchomieniu na wykonanie precyzyjnych testów algorytmów potokowej filtracji i kalibrację układu. Pod koniec pierwszej kampanii LHC w 2012 układ filtracji wysokiego poziomu umożliwił zapis zakwalifikowanych zdarzeń z częstością około 1000 Hz, co pięciokrotnie przewyższyło częstość zakładaną w pierwotnym projekcie

Podczas Run 1 HLT tworzyły dwie kolejne sekwencje filtrowania: L2 trigger (7500 procesorów) oraz Event Filter (EF – też 7500 rdzeni procesorów); każdy z etapów pozwalał na redukcję objętości danych o czynnik ~ 10 , poprzez eliminację z potoku danych przypadków nie spełniających zadanych kryteriów dla żadnej zdefiniowanej klasy zdarzeń. Podczas przerwy technicznej w latach 2013-2015, związanej z modernizacją LHC do parametrów zbliżonych do docelowych, dwustopniowe przetwarzanie HLT zastąpiono jednym rozbudowanym procesem filtrowania uwzględniającym zarówno informacje częściowe, spełniające kryteria L1 jak i pełną strukturę przypadku. Dzięki optymalizacji architektury systemu HLT umożliwiającej wczesne usuwanie odrzuconych przypadków z buforów systemu odczytu oraz minimalizacji czasu przesyłania informacji między układem trygera i układem odczytu informacji, system HLT umożliwił już na początku kampanii Run 2 uzyskanie redukcji ilości zapisanych przypadków do 1000 na sekundę przy znacznie rozbudowanych algorytmach bieżącego filtrowania.

Dr Tomasz Bołd bardzo przekonująco pokazuje, iż zespół ATLAS odpowiedzialny za układ trygera, w tym części HLT, doskonale panuje nad systemem, a wiarygodność przygotowanych koncepcji niezbędnych przyszłych modernizacji HLT ATLAS do warunków najwyższej świetlności LHC $5 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ – tzw. High Lumi LHC, zbudowana jest na wysokich kompetencjach twórców i użytkowników systemu. Duża w tym zasługa dr. Tomasza Bołda, który pełnił od 2006 roku wiodącą rolę w zespole budującym system funkcjonalny HLT.

Ocena znaczenia dokonania naukowego jakim jest stworzenie skutecznego systemu HLT ATLAS nie jest w niniejszej recenzji konieczna. Znakomite dotychczas uzyskane wyniki fizyczne w doświadczeniu ATLAS, w tym najbardziej spektakularne

odkrycie bozonu Higgsa, nie byłyby możliwe bez znakomitego układu trygera. Habilitant w przedstawionej monografii bardzo obszernie, szczegółowo i precyzyjnie udowadnia wyżej sformułowaną tezę.

High Level Trigger eksperymentu ATLAS jest dziełem zbiorowym licznego międzynarodowego zespołu naukowego. Wyniki zawarte w monografii publikowane były wcześniej w wiodących czasopismach recenzowanych o zasięgu międzynarodowym lub w publicznych zasobach internetowych *twiki* ATLAS. Istotny udział Habilitanta w stworzenie systemu HLT ATLAS potwierdza opinia prof. Davida M. Stroma z University of Oregon – jednego z liderów *Trigger and Data Acquisition Project* eksperymentu ATLAS. Píše on: „*Tomasz Bold has played a singularly important role in the ATLAS experiment by developing software for High Level Trigger (HLT).*” Dr Tomasz Bold koordynował i nadal koordynuje przygotowania systemu filtrów do zbierania danych oraz ich analizę funkcjonalną.

Kilka uwag krytycznych dotyczących strony redakcyjnej monografii

Monografia w formacie broszury jest fotograficznym zmniejszeniem oryginału - napisanego drobną czcionką z wykresami o małych rozmiarach, bez wykonania dodatkowego składu. Wynikający z tego zabiegu zbyt mały rozmiar czcionki nie ułatwia czytania, szczególnie czytelnikowi dojrzałemu, a wykresy - gęste od informacji, zbliża do formatu filatelistycznego – odczytanie z nich pełnej informacji, legendy i opisu osi bez użycia lupy jest niezwykle trudne. Na szczęście recenzent dysponował elektroniczną wersją dokumentu, co umożliwiło odczytanie informacji graficznych.

Nie wszystkie stosowane w tekście i podpisach ilustracji skróty są jednoznacznie zdefiniowane w tekście. Na przykład: CTP (rys. 2.23), „UE subtraction” (rys. 5.16), EW bosons (str.24). Pogłębiona redakcja tekstu ułatwiłaby śledzenie myśli głównej.

W streszczenie angielskie wkradł się fundamentalny błąd oceny przepustowości HLT – podana tu średnia częstość przetwarzania HLT na poziomie 1 MHz jest oczywistym błędem „literówkowym”, ale niewprowadzonemu w tematykę czytelnikowi może sugerować o trzy rzędy wielkości zawyżoną skuteczność HLT.

Wymienione błędy, a także literówki i drobne błędy gramatyczne powinny zostać wyeliminowane na etapie recenzji wydawniczej.

Podstawowe dane o funkcjonowaniu układu wyzwalania podczas okresu wstępnego, Run 1 i Run 2 przytoczone są za „ATLAS Trigger Operation Public Results” <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/> - w spisie literatury źródła oznaczone 39, 62, 69, 85, 91, 114 i 125. Większość pochodzących z cytowanych źródeł wykresów jest oznakowana *PRELIMINARY*, chociaż dotyczą wyników charakteryzujących działanie układu bieżącej filtracji HLT też w roku 2010. Zwykle oznakowanie takie stosuje się w materiałach konferencyjnych służących szybkiemu upowszechnieniu informacji o dokonaniu naukowym i promocji osiągnięć. W aktualnych zasobach informacyjnych *twiki* ATLASa oznakowanie przytoczonych wyników jest utrzymane. Nie jest jasne czemu współpraca ATLAS po siedmiu latach nie uznaje wyników z 2010 roku za ostateczne. Niedbalstwo? Porzucenie analizy na etapie wstępnym? Niedostateczna jakość danych wejściowych? Pozostawienie w

monografii oznakowania graficznej prezentacji wyników sugerującego niepełne bądź niepewne wyniki bez odpowiedniego komentarza - komentarza w tekście nie znalazłem, nie jest właściwe.

Ocena dorobku naukowego oraz istotnej aktywności naukowej Habilitanta

Ocena dorobku naukowego dr. Tomasza Bołda opracowana została w oparciu o otrzymane materiały:

- Autoreferat
- Wykaz opublikowanych prac
- Opinia prof. Davida M. Stroma z University of Oregon

Dorobek publikacyjny Habilitanta, według bazy Web of Science z dnia 06.03.2017 liczył 686 publikacji w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, które cytowane były ponad 20 tysięcy razy, a współczynnik Hirscha wynosił według bazy Web of Science $h=56$. Przytoczony w załączniku 5 dokumentacji habilitacyjnej spis publikacji rejestrowanych w specjalistycznej bazie SPIRES jest jeszcze liczniejszy i zawiera 724 pozycje, choć jak wynika z informacji w autoreferacie i ten zbiór nie jest pełny. Obiektywnie wartości parametrów scientometrycznych są na bardzo dobrym poziomie.

Prawie wszystkie publikacje są wieloautorskie i dotyczą dwóch dużych przedsięwzięć badawczych: eksperymentu ATLAS (przytłaczająca większość) i eksperymentu ZEUS. Dokonywanie oceny dorobku poprzez analizę parametrów scientometrycznych nie jest w tym przypadku celowe. Złożoność dużych projektów doświadczalnych w jakich uczestniczy dr Bołd powoduje, że wielu uczestników wnosi istotny wkład w uzyskanie wyników naukowych w różnych obszarach i na różnych etapach prac, ale wkład ten w ocenie statystycznej zupełnie znika w dokonanych uśrednieniach. Dorobek dr. Tomasza Bołda można ocenić jako dobry bez odwoływania się do stosowanych powszechnie, czasem nadmiernie, wskaźników statystycznych.

Dr Tomasz Bołd aktywnie uczestniczy w pracach grupy badań zderzeń ciężkich jonów w eksperymencie ATLAS. Kieruje dedykowanymi zespołami przygotowującymi wyniki analizy fizycznej ATLAS do publikacji. Powierzenie przez współpracę ATLAS dr. Bołdowi prezentacji wyników na kilku międzynarodowych konferencjach naukowych potwierdza jego istotny wkład w analizę fizyczną danych doświadczalnych oraz w przygotowanie trygera dedykowanego oddziaływaniom jonów. Prof. David M. Strom stwierdza "*Due to Tomasz's excellent knowledge of the physics measurement to be made in heavy-ion running, he was able to help design menus that maximized the physics output for these running periods.*".

Warto podkreślić samodzielność dr. Tomasza Bołda w rozwijaniu warsztatu naukowego w międzynarodowym środowisku. W latach 2006-2011 - wczesnym okresie podoktorskim, dr Bołd pracował w eksperymencie ATLAS z afiliacją University of California, Irvine – oddelegowany do CERN do prac nad układem wyzwalania HLT eksperymentu ATLAS, w które to zadanie zespół UCI był zaangażowany. Działalność dr. Bołda w HLT nie była związana z zaangażowaniem zespołu naukowego AGH we współpracę ATLAS. Zdobyte wówczas doświadczenia i kontakty w środowisku międzynarodowym dają bardzo dobre podstawy rozwijania

przez dr. Tomasza Bołda autorskiej tematyki badawczej w AGH oraz budowania zespołu naukowego. Odbyte przez dr. Tomasza Bołda na kolejnych etapach rozwoju naukowego wieloletnie staże naukowe w DESY i CERN – w sumie prawie siedem lat w okresie 2000-2011, dają solidne podstawy podejmowania przez niego w przyszłości projektów badawczych w ramach współpracy międzynarodowej.

Aktywność naukową dr. Tomasza Bołda i perspektywy dalszego rozwoju naukowego oceniam jako bardzo dobre.

Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Po powrocie ze stażu podoktorskiego w 2011 roku dr Tomasz Bołd intensywnie i regularnie udziela się w działalności dydaktycznej na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Był/jest opiekunem siedmiu prac magisterskich wykonywanych w ciągu ostatnich trzech lat oraz 20. prac inżynierskich wykonanych od roku 2011. Opiekuje się doktorantką WFiIS AGH jako promotor pomocniczy.

Dr Bołd prowadził kursowe ćwiczenia audytoryjne i laboratoryjne z fizyki oraz informatyki.

W latach 2007-2011 Habilitant zarządzał pracą międzynarodowej grupy ATLAS Trigger Core Software, a od 2014 roku kieruje pracami międzynarodowego zespołu ATLAS Trigger Software Upgrade. Od 2012 roku reprezentuje międzyuczelnianą grupę naukową UJ/AGH w zespole sterującym ATLAS TDAQ Institutes Board.

Habilitant uczestniczył od 2002 roku jako wykonawca w realizacji ośmiu grantów przyznanych na finansowanie projektów naukowych ZEUS (dwa granty) oraz ATLAS (sześć grantów) przez MNiSW, KBN oraz NCN. Istnieją wszelkie przesłanki skutecznego ubiegania się w najbliższej przyszłości przez dr. Tomasza Bołda o finansowanie własnej tematyki badawczej.

Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam na podstawie ocen przedstawionego osiągnięcia naukowego, dorobku oraz aktywności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej, iż dr Tomasz Bołd spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi związane z nadaniem stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych. Przedstawione osiągnięcie naukowe jest wartościowe. Dr Tomasz Bołd posiada również bardzo bogate doświadczenia w międzynarodowej współpracy naukowej, co daje solidne przesłanki kontynuacji autorskiej działalności naukowej i podejmowania nowych wyzwań badawczych w wymiarze międzynarodowym.

Wniosuję o dopuszczenie dr. Tomasza Bołda do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



Wojciech Dominik