



Prof. dr hab. Teodor Siemiarczuk

Warszawa, 28.04.2026

Departament Badań Podstawowych NCBJ

Ul. Pasteura 7, 02-093 Warszawa

Recenzja wniosku w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego Panu dr Petrowi Balkowi

(i) Spełnienie warunków formalnych do otrzymania stopnia doktora habilitowanego

1. Habilitant ma stopień doktora nadany 15.01.2016 r. przez Uniwersytet Karola w Pradze.
2. Przedstawił cykl powiązanych tematycznie prac badawczych opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych i materiałach z konferencji międzynarodowych.
3. Wykazał się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej. Były to:
Uniwersytet Karola w Pradze, Instytut Fizyki Cząstek Elementarnych i Jądrowej, Wydział Matematyki i Fizyki, Praga, Czechy
Instytut Weizmanna, Katedra Fizyki Cząstek Elementarnych i Astrofizyki, Rehovot, Izrael
CERN, Genewa, Szwajcaria
Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków, Polska

Stwierdzam, że Habilitant spełnia warunki formalne do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego, określone w art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r.

(ii) Ocena osiągnięcia naukowego

Pan dr Balek przedstawił rozprawę habilitacyjną zatytułowaną „Badanie strat energii partonów w plazmie kwarkowo-gluonowej” opartą na cyklu powiązanych tematycznie 12 prac opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych i recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych. Habilitant przypisał tym pracom lejbunki od A1 do A6. Prace są poświęcone przedstawieniu i analizie wyników uzyskanych w eksperymencie ATLAS na Dużym Zderzaczu Hadronów (LHC) w CERN

Omówię teraz bardzo krótko wyniki prac tworzące osiągnięcie naukowe.

Produkcja naładowanych hadronów w zderzeniach pp, pPb, PbPb i XeXe przy energiach 2.76 TeV, 5.02 TeV i 5.44 TeV (A1 i A2)

Pomiar widm cząstek naładowanych w zderzeniach jądro-jądro i pp, przedstawiony w ośmiu pracach z lejbelkami A1 i A2, dostarcza informacje do badania właściwości gorącej i gęstej materii powstającej w tych oddziaływaniach. Zmierzono widma hadronów naładowanych powstałych w zderzeniach pp , $p+Pb$ i $Pb+Pb$ przy \sqrt{s} lub $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ TeV oraz w zderzeniach Xe+Xe przy $\sqrt{s_{NN}} = 5,44$ TeV. Uzyskano współczynniki modyfikacji jądrowej R_{pPb} i R_{AA} poprzez porównanie widm w zderzeniach ciężkich jonów i pp w szerokim zakresie pędów poprzecznych i pseudo-pośpieszności cząstek naładowanych. Zaobserwowano, że zmierzony współczynnik modyfikacji jądrowej R_{pPb} wykazuje umiarkowane wzmocnienie powyżej jedności z maksimum przy $p_t \approx 3$ GeV/c; wzmocnienie jest silniejsze w kierunku zgodnym z kierunkiem lotu Pb. Współczynniki modyfikacji jądrowej zarówno w zderzeniach Pb+Pb, jak i Xe+Xe charakteryzują się znaczącym tłumieniem zależnym od centralności. Wykazują one podobną, wyraźną zależność od p_t z lokalnym maksimum przy $p_t \approx 2$ GeV/c i lokalnym minimum przy $p_t \approx 7$ GeV/c. Zależność ta jest wyraźniejsza w zderzeniach bardziej centralnych. Nie zaobserwowano znaczącej zależności od pseudo-pośpieszności. Przedstawiono szczegółowe porównanie uzyskanych wyników z przewidywaniami teoretycznymi oraz z wynikami pomiarów w eksperymentach ALICE i CMS.

Badanie fragmentacji dżetów w zderzeniach PbPb i pp przy energii 5.02 TeV (A3)

W pracy A3 przedstawiono pomiary funkcji fragmentacji dżetu w zderzeniach PbPb i pp przy $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ TeV wykonane na LHC za pomocą detektora ATLAS. Pomiary te dostarczają wgląd w proces wygaszania dżetu w plazmie kwarkowo-gluonowej powstałej w wyniku zderzeń dwóch ultra-relatywistycznych jąder. Modyfikacje funkcji fragmentacji dżetu kwantyfikowano poprzez podzielenie pomiarów w zderzeniach Pb+Pb przez pomiary referencyjne zderzeń pp. Ten stosunek badano w funkcji pędu poprzecznego dżetu, jego pośpieszności i centralności zderzenia. W obu układach zderzających się jąder funkcję fragmentacji dżetu mierzono dla dżetów o pędzie poprzecznym pomiędzy 126 GeV a 398 GeV i o wartości bezwzględnej pośpieszności dżetu mniejszej niż 2.1. Zaobserwowano następujące efekty dla zderzeń PbPb: (i) wzrost liczby cząstek niosących niewielką część pędu dżetu, która rośnie wraz z centralnością i wzrostem pędu poprzecznego dżetu; (ii) wzrost liczby cząstek niosących bardzo dużą część pędu dżetu; (iii) zmniejszenie liczby cząstek przenoszących pośrednią część pędu dżetu w zderzeniach; (iv) zaobserwowano słabą zależność modyfikacji funkcji fragmentacji od pośpieszności dżetu.

Pomiar wygaszania dżetów o dużym promieniu w zderzeniach PbPb przy energii 5.02 TeV (A4 i A5)

Pomiary podstruktury dżetu w zderzeniach Pb+Pb dostarczają informacje na temat mechanizmu wygaszania dżetu w gorącym i gęstym ośrodku QCD powstałym w tych zderzeniach. Prace (A4 i A5) przedstawiają badanie tłumienia dżetów o dużym promieniu ($R = 1,0$) i jego zależności od ich podstruktury. Analizowano pomiary PbPb i pp , oba przy $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ TeV, wykonane za pomocą detektora ATLAS na Wielkim Zderzaczu Hadronów. Dżety o dużym promieniu rekonstruowano poprzez ponowne grupowanie dżetów kalorymetrycznych ($R=0.2$) dla pędu poprzecznego powyżej 200 GeV/c. Podstruktura dżetu oceniano za pomocą śladów cząstek naładowanych, a ogólny poziom tłumienia dżetu kwantyfikowano za pomocą współczynnika modyfikacji jądrowej dżetu (R_{AA}). Współczynnik R_{AA} dżetu zmierzono w funkcji jego pędu poprzecznego p_T , skali rozszczepienia naładowanego dżetu ($\sqrt{d_{12}}$) i kątowej separacji (ΔR_{12}) dwóch wiodących sub-dżetów. Zaobserwowano następujące prawidłowości: (i) współczynnik R_{AA} dżetu stopniowo maleje wraz ze wzrostem $\sqrt{d_{12}}$, co oznacza znacznie silniejsze tłumienie dżetów o dużym promieniu i większej skali rozszczepienia; (ii) współczynnik R_{AA} dżetu stopniowo maleje dla ΔR_{12} w zakresie 0,01–0,2 i przestaje się zmieniać dla $\Delta R_{12} \geq 0,2$; (iii) widać istotną różnicę w wygaszeniu dżetów o dużym promieniu, posiadających pojedynczy sub-dżet oraz dżetów o bardziej złożonej podstrukturze. Zaobserwowana istotna zależność tłumienia dżetów od ich podstruktury dostarcza nowe spostrzeżenie na jej rolę w procesie tłumienia. Wykonano również systematyczne porównanie tłumienia dżetów dla różnych definicji dżetu i jego struktury.

Wyniki przedstawione w pracach (A1-A5) są nowe i oryginalne. Dostarczają unikalną informację o oddziaływaniu partonów z plazmą kwarkowo-gluonową – nowym stanem materii jądrowej odkrytym w zderzeniach relatywistycznych jonów. Bogaty materiał doświadczalny, dzięki dużej akceptacji detektora ATLAS, pozwolił na przetestowanie istniejących opisów teoretycznych oraz rysuje interesującą perspektywę użycia uzyskanych danych doświadczalnych do dalszych badań efektów kolektywnych oraz własności plazmy kwarkowo-gluonowej.

Szybkie wyznaczenie punktu oddziaływania w zderzeniach ciężkich jonów (A6)

A6 jest pracą metodyczną przedstawiającą sposób szybkiego wyznaczenia położenia wierzchołka oddziaływania bez uprzedniej rekonstrukcji torów w detektorach krzemowych. Rekonstrukcja torów w przypadku dużej liczby cząstek naładowanych wymaga dużych zasobów obliczeniowych. Jej pierwszą fazą polega na identyfikacji kilku sygnałów, zwanych zarodkami (seeds), związanych z cząstką. Duża liczba cząstek w zdarzeniu powoduje kombinatoryczną eksplozję liczby zarodków. Znajomość a priori położenia wierzchołka zderzenia pozwala na usunięcie niewłaściwych zarodków toru na wczesnym etapie procedury

rekonstrukcji, zmniejszając czas obliczeniowy. Metoda opisana w pracy wykorzystuje transformatę Hougha do oszacowania położenia wierzchołka oddziaływania, bez konieczności wcześniejszej rekonstrukcji toru cząstki. Oferuje ona dobrą rozdzielczość z liniowym skalowaniem złożoności numerycznej ze wzrostem liczby cząstek naładowanych.

Metoda przedstawiona w tej pracy pozwala na poważne zmniejszenie czasu obliczeniowego rekonstrukcji torów cząstek, bez znaczącego zmniejszenia jej wydajności, w badaniu zderzeń z dużą liczbą cząstek w stanie końcowym przy pomocy detektorów krzemowych. Jej wartość dla fizyki doświadczalnej wysokich energii trudno przecenić.

(iii) **Wkład własny Habilitanta**

Badania przedstawione w pracach A1-A5, powstały w dużym zespole międzynarodowym wykonującym eksperyment ATLAS. **Rola Habilitanta w powstaniu tych prac była wiodąca.** Potwierdza to Guillaume Unal, zastępca spokesmana Kolaboracji ATLAS, w piśmie załączonym do wniosku habilitacyjnego. Praca A6 ma trzech autorów. Oświadczenie wszystkich trzech autorów tej publikacji potwierdza **wiodącą rolę Habilitanta również i w tym przypadku.**

(iv) **Znaczenie międzynarodowe**

Wyniki badań będące przedmiotem rozprawy habilitacyjnej zostały opublikowane w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym o wysokich współczynnikach wpływu (impact factor) od 3.4 do 9 oraz przedstawione w recenzowanych materiałach konferencji międzynarodowych. W sumie, prace wchodzące w skład rozprawy są cytowane wg Web of Science ok. 400 razy. Obraz Habilitanta dopełnia aktywne uczestnictwo w konferencjach. Ma na swoim koncie ponad dwadzieścia prezentacji dotyczących eksperymentu ATLAS na renomowanych konferencjach międzynarodowych. Prezentacji powierzonych mu przez Kolaborację. **Świadczy to o silnej pozycji Habilitanta w Kolaboracji ATLAS.** Kolaboracji składającej się z uczestników z 40 krajów na 6 kontynentach.

(v) **Spójność tematyczna**

Potwierdzam, że prace stanowiące podstawę rozprawy habilitacyjnej, **tworzą logicznie spójną całość**, ukierunkowaną na zbadanie konkretnego, ważnego problemu fizycznego, którym są straty energii partonów przy przejściu przez plazmę kwarkowo-gluonową.

(vi) Działalność dydaktyczna, popularyzatorska i organizacyjna

Habilitant ma bogaty dorobek dydaktyczny poczynając od czasów doktoranckich do chwili obecnej. Były to ćwiczenia z fizyki jądrowej na studiach licencjackich na Uniwersytecie Karola w Pradze, wykłady na Polsko-Niemieckich Szkołach Ciężkich Jonów w CERN i Morsku, ćwiczenia z języków programowania, elektromagnetyzmu, optyki, fizyki 1 i 2 na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH. Habilitant pamiętał o najmłodszych. Ma na swoim koncie epizod wyjątkowy: przetłumaczył na język czeski książkę „Cząstki Wszechświata: kolorowanka eksperymentu ATLAS” przeznaczoną dla **małych dzieci**. Uczestniczył w tworzeniu „kursów mistrzowskich” w AGH w Krakowie skierowanych do uczniów szkół średnich mających na celu zapoznanie ich z fizyką wysokich energii.

Działalność organizacyjna Habilitanta była i jest bardzo rozległa.

Działał w kilkunastu komitetach redakcyjnych w kolaboracji ATLAS. W 7 z nich był przewodniczącym. Był także koordynatorem ds. danych w zespole ciężkich jonów, przewodniczącym zespołu ds. korelacji i analizy globalnej oraz koordynatorem ds. trygera do przodu i rozwoju trygera w Run 3 w eksperymencie ATLAS. Są to **bardzo odpowiedzialne funkcje powierzane wyłącznie osobom o najwyższych kwalifikacjach.**

(vii) Podsumowanie i wniosek

Osiągnięcia naukowe stanowiące podstawę wniosku prezentują spójny program badawczy poświęcony stratom energii partonów w plazmie kwarkowo-gluonowej. Moja ocena rozprawy oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego Habilitanta jest zdecydowanie pozytywna. Spełnia zawiązanie wymogi art. 219 ust. 1 ustawy o stopniach naukowych. **Z pełnym przekonaniem wnoszę o nadanie Panu dr Petrowi Balkowi stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.**



