

Kraków, 25.05.2023 r.

Prof. dr hab. Jerzy Smyrski
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Jagielloński

**Ocena dorobku naukowego dr. Łukasza Graczykowskiego
i jego osiągnięć badawczych przedstawionych w postaci cyklu
powiązanych tematycznie artykułów naukowych
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego
doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne**

Podstawowe dane

Dr Łukasz Graczykowski ukończył w 2011 roku studia fizyki na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Także na tym wydziale uzyskał w marcu 2015 roku stopień doktora nauk fizycznych na podstawie rozprawy doktorskiej „Femtoscopic analysis of hadron-hadron correlations in ultrarelativistic collisions of protons and heavy-ions registered by ALICE at the LHC”. Promotorem w jego przewodzie doktorskim był prof. Adam Kisiel z Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej.

Przez cały okres studiów i pracy naukowej był związany z Wydziałem Fizyki Politechniki Warszawskiej. Po otrzymaniu stopnia naukowego doktora w 2015 roku został zatrudniony na tym wydziale na stanowisku adiunkta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych i pracuje tam do chwili obecnej.

Od 2009 roku wyjeżdżał corocznie do CERN na 2-4 miesięczne pobyty, przed uzyskaniem stopnia doktora jako student wizytujący, a następnie jako naukowiec wizytujący. Łączny czas pobytu w CERN to około 3 lata.

Dorobek naukowy

Działalność naukowa dr. Łukasza Graczykowskiego jest związana z eksperymentem ALICE na akceleratorze LHC w CERN. Do eksperymentu tego dołączył już na trzecim roku studiów. Podstawowym celem ALICE jest badanie zderzeń ciężkich jonów przy energiach rzędu kilku TeV/nukleon i rejestracja sygnatur plazmy kwarkowo-gluonowej.

Jedną z eksperymentalnych metod badań zderzeń ciężkich jonów jest femtoskopia. Umożliwia ona wyznaczenie czasowo-przestrzennych charakterystyk obszaru emisji cząstek w badanych zderzeniach. Głównym przedmiotem zainteresowań badawczych habilitanta jest femtoskopia układów powstających w zderzeniach ciężkich jonów oraz w zderzeniach proton-proton i

proton-jądro. Jego praca magisterska jak i praca doktorska dotyczyła tej tematyki. Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuował prowadzenie analiz danych z ALICE pod kątem femtoskopii oraz korelacji kątowych między parami hadronów. Wniósł także wkład w rozwój stosownego oprogramowania. Jest jednym z głównych twórców pakietu AliFemto i FemtoWorld, będącego częścią oprogramowania do analizy danych ALICE pod kątem badań femtoskopowych. Należy zaznaczyć, że analiza danych w eksperymentach z zakresu fizyki wysokich energii, takich jak ALICE, jest bardzo złożona oraz wymaga wieloletniej pracy dla zdobycia odpowiednich umiejętności i osiągnięcia ostatecznych wyników. Pomiar femtoskopowy i korelacji kątowych na ALICE dostarczyły wielu ciekawych wyników dotyczących m.in. procesu hadronizacji i oddziaływania między cząstkami w stanie końcowym. Część publikacji, które weszły w skład zszywki habilitacyjnej, prezentuje te wyniki.

O wysokich kompetencjach habilitanta w dziedzinie analizy danych świadczy fakt, że został powołany przez zespół ALICE do pełnienia funkcji koordynatora dwóch grup analiz fizycznych w zakresie femtoskopii i korelacji.

Od kilku lat dr Łukasz Graczykowski zajmuje się również zastosowaniem uczenia maszynowego do identyfikacji cząstek w eksperymencie ALICE. Dołączył także do eksperymentu AEGIS w CERN, którego celem jest pomiar przyspieszenia atomów antywodoru w ziemskim polu grawitacyjnym. Dla zespołu tego przygotował oprogramowanie do monitorowania pracy liczników scyntylicyjnych.

Dr Graczykowski ma duże osiągnięcia w pozyskiwaniu środków na prowadzenie badań i realizacji projektów badawczych. Obecnie jest kierownikiem dwóch dużych projektów: jeden to NCN SONATA dedykowany badaniom produkcji hadronów przy użyciu korelacji kątowych w eksperymencie ALICE, a drugi, finansowany ze środków CERN, MEiN oraz PW, poświęcony jest rozwojowi algorytmów uczenia maszynowego dla eksperymentu ALICE. Jest również koordynatorem na Politechnice Warszawskiej projektu finansowanego przez MEiN, realizowanego przez konsorcjum ALICE-PL. W przeszłości uczestniczył w ośmiu zrealizowanych projektach finansowanych ze środków krajowych. W dwóch pełnił funkcję kierownika, a w pozostałych sześciu był wykonawcą.

Dr Łukasz Graczykowski posiada duży dorobek publikacyjny. Łączna liczba jego publikacji podanych we wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego wynosi 372, w tym 284 po uzyskaniu stopnia doktora. Liczba cytowań wg Web of Science w dn. 19 grudnia 2022 wyniosła 15 337, w tym 13 917 bez autocytaowań, indeks Hirscha $h = 70$, Impact Factor $IF = 1694$, zaś sumaryczna punktacja ministerialna wyniosła 26 466. Oprócz prac wieloautorskich opublikowanych przez zespół ALICE, habilitant posiada w swoim dorobku także trzy prace opublikowane przez zespół AEGIS (ok. 45 członków) oraz piętnaście prac 1-4 autorskich.

Ważną rolę dr. Łukasza Graczykowskiego w badaniach prowadzonych przez zespół ALICE potwierdza powierzenie mu prezentacji uzyskanych wyników na 31 międzynarodowych konferencjach i warsztatach. W dziewięciu przypadkach były to referaty na zaproszenie. Wygłosił m.in. wykład dotyczący badań femtoskopowych na ALICE przedstawiony w ramach seminariów CERN-LHC.

Ocena osiągnięcia naukowego zgłoszonego jako osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnym

Przedstawionym przez dr. Łukasza Graczykowskiego osiągnięciem w postępowaniu habilitacyjnym jest cykl jedenastu jego publikacji, powiązanych tematycznie i opatrzonych tytułem „ALICE jako laboratorium do badania silnie oddziałujących systemów za pomocą korelacji cząstek”. W autoreferacie habilitant przedstawił 25-stronicowe omówienie osiągnięcia. Prace tworzące cykl zostały napisane w języku angielskim i opublikowane w znaczących czasopismach o zasięgu międzynarodowym, m.in. Phys. Lett. B (trzy prace), Phys. Rev. Lett, Eur. Phys. J. C, Phys. Rev. C i Comput. Phys. Commun. Siedem prac zostało opublikowanych w czasopismach o wysokim (>3) Impact Factor i punktacji ministerialnej 140 (sześć prac) i 200 (jedna praca). Pod koniec roku 2022 łączna liczba cytowań prac cyklu wyniosła 53, a pół roku później, 25 maja 2023, wzrosła do 57. Pięć publikacji z cyklu to prace wieloautorskie zespołu ALICE, a pozostałych sześć to prace 2-4 autorskie. Dołączone do Wniosku oświadczenia współautorów publikacji wskazują na kluczową rolę habilitanta w ich przygotowaniu, w tym w analizie danych eksperymentalnych, interpretacji uzyskanych wyników, a także przygotowaniu manuskryptu. W przypadku 5 prac opublikowanych przez zespół ALICE, habilitant był członkiem Komitetu Redakcyjnego (4 prace) lub wewnętrznego Komitetu Recenzenckiego (1 praca), co dodatkowo potwierdza jego kluczową rolę w ich przygotowaniu.

Poniżej omówione zostały najważniejsze wyniki uzyskane w pracach tworzących cykl habilitacyjny.

W publikacji „*Pion-kaon femtoscopy and the lifetime of the hadronic phase in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$* ”, oznaczonej jako [H1], przedstawiono pierwszą na LHC analizę femtoskopową korelacji pion-kaon. Przeprowadzono ją dla zderzeń Pb-Pb rejestrowanych detektorem ALICE. Wyznaczono rozmiar źródła emitującego cząstki i parametr asymetrii emisji pion-kaon w funkcji centralności zderzenia. Niezerowa asymetria emisji osiągająca wartość -4.5 fm dla najbardziej centralnych zderzeń, jest odtwarzana przez model hydrodynamiczny w połączeniu z modelem hadronizacji, po dodaniu opóźnienia w emisji kaonów ok. $1-2 \text{ fm}/c$, które może być spowodowane wtórnym rozpraszaniem kaonów.

Funkcja korelacji wykorzystywana w analizie femtoskopowej jest czuła nie tylko na rozmiar źródła, ale również na oddziaływanie między cząstkami w stanie końcowym. Daje to możliwość badań oddziaływania między cząstkami przy ich małych względnych pędach. Zagadnieniu temu poświęcone są prace [H2], [H3] i [H4]. Zespół ALICE wykorzystał analizę femtoskopową m.in. do zbadania oddziaływania kaon-proton. Pomiar przeprowadzono w zderzeniach Pb-Pb jak i p-p. Oczekuje się, że w zderzeniach ciężkich jonów ze względu na duże rozmiary źródła i odpowiednio duże odległości między emitowanymi cząstkami, efekty kanałów sprzężonych są słabe. Dlatego pomiary par K^-p w zderzeniach Pb-Pb pozwalają na wyodrębnienie procesu $K^-p \rightarrow K^-p$ od przyczynków pochodzących od kanałów sprzężonych. W publikacji [H2] „*Kaon–proton strong interaction at low relative momentum via femtoscopy in Pb–Pb collisions at the LHC*” prezentującej badania oddziaływania K^-p w zderzeniach Pb-Pb wyznaczono wartość części rzeczywistej i urojonej długości rozpraszania K^-p . Otrzymano zgodność z wynikami pomiarów w eksperymentach rozproszeniowych.

Przyczynki od kanałów sprzężonych w funkcji korelacji są większe dla zderzeń p-p, w których rozmiar źródła jest nieduży, ok. 1 fm. Rzeczywiście, w funkcji korelacji dla par K^-p produkowanych w zderzeniach p-p, przedstawionej w publikacji [H3] „*Scattering Studies with Low-Energy Kaon-Proton Femtoscopy in Proton-Proton Collisions at the LHC*”, zaobserwowano po raz pierwszy sygnał związany z otwarciem się kanału \bar{K}^0n . Jest to pierwsza taka obserwacja pokazująca przydatność techniki femtoskopowej do badań efektów kanałów sprzężonych w układzie K^-p .

W pracy [H4] „*Measurement of strange baryon–antibaryon interactions with femtosopic correlations*” technika femtoskopowa została zastosowana do zbadania oddziaływania silnego przy małych względnych pędach dla różnych kombinacji barion-antybarion, gdzie (anty)barionem jest (anty)proton lub (anty)hiperon lambda. Wykorzystano dane zebrane przez ALICE dla zderzeń Pb-Pb. Wyznaczone uśrednione spinowo wartości długości rozpraszania i zasięgu efektywnego wskazują na podobną siłę oddziaływania dla różnych badanych kombinacji barion-antybarion. Ich znajomość jest istotna m.in. dla modelowania zderzeń ciężkich jonów. Otrzymane ujemne wartości części rzeczywistej długości rozpraszania wskazują na możliwość istnienia silnie związanego stanu barion-antybarion.

Prace [H5], [H6] i [H7] poświęcone są badaniom procesu hadronizacji wykorzystującym analizę korelacji kątowych produkowanych cząstek.

Publikacja [H5] „*Insight into particle production mechanisms via angular correlations of identified particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV*” prezentuje wyniki analizy korelacji kątowych pionów, kaonów, protonów i hiperonów lambda dla wszystkich kombinacji cząstka-antycząstka w parze, dla rejestrowanych przez ALICE zderzeń p-p przy energii 7 TeV. Dla par barion-barion zaobserwowano ciekawy efekt antykorelacji przy małych wartościach różnic kątów azymutalnych i pseudo-pospieszności. Efekt ten nie jest odtwarzany przez modele zastosowane do symulacji eksperymentu (PYTHIA, PHOJET), co zinterpretowano jako istnienie nieuwzględnionego w tych modelach mechanizmu produkcji barionów prowadzącego do powstania obserwowanej antykorelacji.

W publikacji [H6] „*Influence of quantum conservation laws on particle production in hadron collisions*” wskazano, że prawa zachowania mają silny wpływ na kształt funkcji korelacji dla różnych cząstek produkowanych w zderzeniach protonów z protonami przy energiach LHC. Pokazano, że prosty model uwzględniający zachowanie energii i pędu odtwarza jakościowo struktury widoczne dla korelacji barion-barion w danych ALICE.

Publikacja [H7] „*Unfolding the effects of final-state interactions and quantum statistics in two-particle angular correlations*” poświęcona jest badaniom wpływu statystyki kwantowej i oddziaływania w stanie końcowym na korelacje kątowe z wykorzystaniem formalizmu femtoskopowego i symulacji Monte Carlo. Badanie te m.in. potwierdziły, że pik widoczny w danych ALICE dla korelacji kątowych proton-proton w pobliżu różnicy kątów azymutalnych i pseudopospieszności równych zero pochodzi od oddziaływania w stanie końcowym

W pracy [H8] i [H9] przedstawiono i przeanalizowano nowe podejście do identyfikacji cząstek naładowanych w eksperymencie ALICE, wykorzystujące algorytmy uczenia maszynowego.

Publikacja [H8] „*Using random forest classifier for particle identification in the ALICE experiment*” prezentuje zastosowanie metody uczenia maszynowego określanej jako las losowy do identyfikacji cząstek opartej na pomiarze czasu przelotu detektorami MRPC oraz strat energii w komorze projekcji czasowej ALICE. Trenowanie i walidacja algorytmu lasu losowego odbyła się z wykorzystaniem danych symulacyjnych. Pokazano, że identyfikacja protonów oraz naładowanych kaonów i pionów z pomocą tego algorytmu charakteryzuje się wyższą wydajnością i czystością niż przy tradycyjnym zastosowaniu prostych cięć na analizowane wielkości.

Słabą stroną algorytmu lasu losowego jest to, że jego efektywność spada, jeśli występuje niedopasowanie między danymi eksperymentalnymi, a danymi symulacyjnymi, na których algorytm był trenowany. Dla wyeliminowania tego ograniczenia, do identyfikacji cząstek w ALICE dr Graczykowski zaproponował rozwiązanie oparte na domenowych przeciwstawnych sieciach neuronowych. W pracy [H9] „*Using machine learning for particle identification in ALICE*” przedstawił wstępne, obiecujące wyniki zastosowania tych sieci do identyfikacji cząstek na przykładzie protonów rozpoznawanych w danych z komory projekcji czasowej.

Praca [H10] „*Distributed simulation and visualization of the ALICE detector magnetic field*” ma charakter informatyczny. Przedstawia implementację modelu pola magnetycznego detektora ALICE na jednostki GPU, umożliwiającą trójwymiarową wizualizację zdarzeń w czasie rzeczywistym oraz wyświetlanie rozkładu pola magnetycznego w różnych częściach detektora.

Publikacja [H11] „*New developments for ALICE MasterClasses and the new Particle Therapy MasterClass*” prezentuje program International MasterClasses popularyzujący badania z zakresu fizyki cząstek, a w szczególności eksperyment ALICE. Przedstawiono wprowadzone udoskonalenia oprogramowania demonstrującego analizę danych w eksperymencie ALICE. Zaprezentowano także nowe oprogramowanie służące do zapoznania odbiorcy z radioterapią, którą wybrano jako przykład zastosowań technik fizyki cząstek w medycynie.

Podsumowując ocenę publikacji wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego stwierdzam, że wnoszą one znaczący wkład w dziedzinie badań zderzeń relatywistycznych ciężkich jonów. Ważne i ciekawe wyniki uzyskano w zakresie badań metodą femtoskopową rozmiaru i czasu życia układu (publikacja [H1]), badań oddziaływania silnego między hadronami ([H2], [H3], [H4]), a także poznania mechanizmu hadronizacji ([H5], [H6], [H7]). Za ciekawe i obiecujące uznaję propozycje wykorzystania uczenia maszynowego do identyfikacji cząstek, celem uzyskania wysokiej wydajności i czystości identyfikacji, ważnej m.in. dla badań femtoskopowych ([H8], [H9]). Prace [H10] i [H11] nie mają bezpośredniego związku z badaniami korelacji cząstek będącymi tematem cyklu habilitacyjnego, stanowią jednak istotny wkład w technikę wizualizacji zdarzeń i w działalność popularyzatorską ważną dla eksperymentu ALICE

Dorobek dydaktyczny i organizacyjny

Dr Graczykowski posiada bogate doświadczenie dydaktyczne. Jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora prowadził zajęcia z podstaw języka C oraz Java, a także ćwiczenia w Laboratorium Fizyki 2. Po uzyskaniu stopnia doktora prowadził wykłady i laboratoria z sieci komputerowych i z komputerowej analizy danych doświadczalnych, a także laboratorium z podstaw języka C++.

Był promotorem pomocniczym jednej obronionej pracy doktorskiej i drugiej w przygotowaniu. Obie prace dotyczą analizy danych doświadczalnych z eksperymentu ALICE. Był także opiekunem naukowym czterech prac magisterskich oraz ośmiu inżynierskich i licencjackich.


Dr Graczykowski posiada także znaczące osiągnięcia w popularyzacji nauki. Jest współautorem oprogramowania ALICE MasterClass, które wykorzystywane jest do zapoznawania uczniów z pracą naukową i analizą danych w eksperymencie ALICE. Od kilku lat organizuje regularnie na Wydziale Fizyki PW warsztaty Master Class dla uczniów liceów. Wygłosił także referaty popularyzatorskie na temat badań w CERN m.in. w kilku liceach w Warszawie.

Dr Graczykowski zaangażowany był w liczne prace organizacyjne na rzecz macierzystej uczelni i środowiska naukowego. Brał udział w organizacji kilku konferencji naukowych. Pełnił różne funkcje w ramach eksperymentu ALICE, m.in. był koordynatorem dwóch zespołów prowadzących analizy fizyczne, a od 2019 roku jest szefem grupy Politechniki Warszawskiej w tym eksperymencie.

Podsumowanie

Stwierdzam, że dorobek naukowy i prace wchodzące w skład cyklu habilitacyjnego dr. Łukasza Graczykowskiego spełniają wszystkie wymagania stawiane zwyczajowo i ustawowo kandydatom do stopnia doktora habilitowanego. Wysoki poziom naukowy prowadzonych przez niego badań, kierowanie projektami badawczymi, działalność dydaktyczna i organizacyjna wskazują, że będzie on dobrym samodzielnym pracownikiem naukowo-dydaktycznym.

Z całym przekonaniem popieram wnioski o nadanie dr. Łukaszowi Graczykowskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego i w związku z tym wnoszę o dopuszczenie go do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



/Jerzy Smyrski/