

prof. dr hab. Janusz Chwastowski,  
Oddział Fizyki i Astrofizyki Cząstek,  
IFJ PAN,  
Radzikowskiego 152,  
31-342 Kraków

Kraków, 31/5/2023

Recenzja całokształtu dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego  
dr. Łukasza Graczykowskiego  
w związku z postępowaniem habilitacyjnym

Podstawowe dane o habilitancie:

1. kandydat uzyskał stopień doktora nauk fizycznych na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej w 2015 roku,
2. według załączonej dokumentacji kandydat nie ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia doktora habilitowanego,
3. habilitant jest adiunktem w Zakładzie Fizyki Jądrowej Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej od 15 marca 2013.

Podstawą oceny habilitanta w oparciu o ustawę z dnia 20 lipca 2018 roku *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2022, pozycja 574 z późniejszymi zmianami) jest dorobek naukowy i osiągnięcie naukowe.

Jako osiągnięcie naukowe dr Łukasz Graczykowski przedstawił cykl jedenastu publikacji (H1-H11), dołączonych do wniosku i wymienionych w autoreferacie pod wspólnym tytułem „**ALICE jako laboratorium do badania silnie oddziałujących systemów za pomocą korelacji cząstek**”. Zostały one opublikowane w recenzowanych czasopismach albo w materiałach konferencyjnych: Physics Letters B – 3, Physics Review Letters – 1, European Physics Journal C – 1, Nuclear Physics – 1, Physical Review C – 1, Information Technology, Systems Research, and Computational Physics – 1, Journal of Instrumentation – 1, Computer Physics Communication -1, EPJ Web Conf. -1. Publikacje H1-H5 są publikacjami Współpracy ALICE, natomiast pozostałe to artykuły o małej liczbie autorów (1-3). Zarówno w autoreferacie, jak i wykazie osiągnięć naukowych habilitant podkreślił swoją rolę w powstaniu tych publikacji. W przypadku prac H1-H5 jego udział został określony na 20-60%. W mojej opinii jest to znaczący udział, biorąc pod uwagę liczbę autorów ALICE. Kierownik Współpracy ALICE w osobnym dokumencie z 22 listopada 2022 potwierdza rolę dra Graczykowskiego w pracach prowadzących do opublikowania wielu wyników badań fizycznych. W tej sytuacji dołączenie oświadczeń niektórych współautorów, którzy nie byli bezpośrednio zaangażowani w powstanie publikacji, określiłbym jako niecelowe. W przypadku prac o małej liczbie autorów wkład habilitanta waha się pomiędzy 15% a 60%. Ten wkład jest potwierdzony w załączonych dokumentach.

Wspólnym mianownikiem przedstawionego cyklu jest wykorzystanie detektora ALICE jako źródła danych doświadczalnych bądź obiektu, którego dotyczą opracowane i proponowane usprawnienia oprogramowania eksperymentu.

Przedstawione prace cząstkowe można podzielić na dwie grupy. Jedna dotyczy zastosowania metod pomiarów femtoskopowych do oddziaływań proton-proton i ciężkich jonów przy

energiach wiązek dostarczanych przez LHC, natomiast druga związana jest z „techniczną” stroną eksperymentu.

Prowadzone przez habilitanta (i jego współpracowników) badania związane z pierwszą częścią zostały przedstawione w publikacjach H1-H7.

H1 – skupia się na pomiarze rozmiaru obszaru jednorodności powstającego w oddziaływaniach Pb-Pb systemu i jego czasu życia. Badania femtoskopowe par pion-kaon demonstrują różnice czasów emisji. Obserwowana asymetria jest efektem kilku czynników i jest tylko jakościowo reprodukowana w ramach modelu hydrodynamicznego 3+1. Wyniki sugerują, że do modelu należy wprowadzić opóźnienie dla kaonów rzędu 1-2 fm/c, które można interpretować jako opóźnienie związane z rozpadem  $K^*(892)$  produkowanych w procesie regeneracji w późnej fazie hadronowej.

Wyniki badań femtoskopowych oddziaływań hadron-hadron w stanach końcowych zostały opisane w pracach: H2 (p-Pb, Pb-Pb) i H3 (pp) poświęconych układowi kaon-proton, oraz H4 (Pb-Pb) skupiającej się na parach barion-antybarion. Prace H2 i H3 analizują wpływ kanałów sprzężonych na funkcję korelacji pokazując, że jest on największy dla małego źródła i maleje ze wzrostem rozmiaru źródła – przejście od oddziaływań pp do p-Pb (klasa centralności 40-60%) czy Pb-Pb (60-70%). Habilitant konkluduje, że małe układy umożliwiają precyzyjne pomiary sprzężeń kanałów początkowych dla końcowego układu  $K^*p$ , a duże pozwalają na dostęp do elastycznego składnika rozpraszania. Wyniki przedstawione w H4 zostały otrzymane w analizach stanów końcowych w zderzeniach Pb-Pb przy różnych energiach w układzie środka masy nukleon-nukleon, 2.76 TeV i 5.02 TeV. Badano układy  $p\bar{p}$ ,  $p\Lambda$ ,  $\bar{p}\Lambda$  i  $\Lambda\bar{\Lambda}$ . Zauważono, że wartości uśrednionych spinowo części rzeczywistej i urojonej długości rozpraszania ( $f_0$ ) oraz efektywnego zasięgu oddziaływania są podobne dla wszystkich rozważanych par barion-antybarion, gdy względny pęd pary jest niewielki. Znaczące ujemne wartości  $\text{Im } f_0$  wskazują na obecność kanałów nieelastycznych, w tym anihilację. Natomiast ujemne wartości  $\text{Re } f_0$  pozwalają na dwoistą interpretację: odpychające oddziaływanie barion-antybarion albo powstawanie układów związanych.

Habilitant ze współpracownikami badał również proces hadronizacji poprzez wykorzystanie korelacji kątowych. W pracy H5 (ALICE, pp,  $\sqrt{s} = 7$  TeV) przedstawiono korelacje dwucząstkowe w funkcji względnego kąta azymutalnego i względnej pseudorapidity,  $C(\Delta\varphi, \Delta\eta)$ . Badane były pary cząstek oraz antycząstek. Habilitant podkreśla wyniki otrzymane dla par  $pp \oplus p\bar{p}$ ,  $p\Lambda \oplus p\bar{\Lambda}$ ,  $\Lambda\Lambda \oplus \Lambda\bar{\Lambda}$ , a także  $p\bar{p}$ ,  $p\bar{\Lambda}$  i  $\Lambda\bar{\Lambda}$ . Zwraca szczególną uwagę na antykorelację przy  $\Delta\varphi = 0$  (near side) dla pierwszej z klas konstatując jej nieznaną pochodzenie. Podobny efekt został zaobserwowany przez STAR w zderzeniach Au-Au na RHIC przy energiach w układzie NN od 7.7 do 200 GeV, jakkolwiek przy innej definicji funkcji korelacji. Wskazuje również na istnienie dodatkowego lokalnego maksimum  $C(0,0)$  dla par  $pp \oplus p\bar{p}$  w danych ALICE i na występowanie antykorelacji w układzie  $p\bar{p}$  (STAR na RHIC), wiążąc istnienie obu efektów z oddziaływaniem silnym cząstek par w stanie końcowym. Publikacja H6 omawia symulacje Monte Carlo dotyczące wpływu praw zachowania na funkcje korelacji. Skonstruowany model dostarcza przypadki z zachowanym czteropędem i lokalnym zachowaniem liczb kwantowych. Model odtwarza przebieg funkcji korelacji dla dżetów z maksimum dla  $(\Delta\varphi, \Delta\eta) = (0, 0)$  i grzbietem (ridge) przy  $\Delta\varphi = \pi$ . Model ten opisuje jakościowo strukturę w układzie barion-barion zaobserwowaną przez ALICE. Praca H7 jest poświęcona badaniu wpływu oddziaływań w stanie końcowym (FSI) i efektów statystyk kwantowych (QS) na kątowe funkcje korelacji. W analizie wykorzystano generator PYTHIA 8 MONASH, a efekty FSI i QS zostały wprowadzone dodatkowo zgodnie z formalizmem Lednický’ego i Lyuboshitz’a. Habilitant ze współpracownikami skupił się w szczególności na układach pionów i protonów.

Przygotowany i opisany algorytm pozwala na konstrukcję korelacji femtoskopowych, w pędzie względnym cząstek pary oraz korelacji kątowych. Pozwala to na systematyczne studia poszczególnych wpływów. Model odtwarza z dokładnością rzędu 5-8% zmierzone przez ALICE funkcje korelacji dla par pionów, natomiast dla par  $pp$  i  $p\bar{p}$  jakościowo struktury dla  $(\Delta\varphi, \Delta\eta) \approx (0, 0)$ .

Publikacje H8 i H9 skupiają się na zastosowaniu technik uczenia maszynowego do usprawnienia identyfikacji cząstek ALICE. Praca H8 jest w pewnym sensie pierwotna. Wykorzystuje ona algorytm *losowego lasu*. Autorzy uzyskali poprawienie o około 20% efektywności oznaczania cząstek dla kaonów, pionów i protonów. Poprawa czystości próbek waha się pomiędzy 10% (kaony) i 2% (piony, protony). Pozycja H9 rozwija metody opisane w H8 wprowadzając techniki adaptacji domeny. Uważam, że jest to techniczna publikacja dotycząca zaawansowanego wspomaganie eksperymentu i może ona znaleźć zastosowanie w oprogramowaniu ALICE.

Również praca H10, dotycząca modelu pola magnetycznego ALICE i wpływu jego dokładności na wizualizację, jest pracą techniczną. Podobnie jak H8 i H9 została przygotowana we współpracy z zespołem informatyków Politechniki Warszawskiej. Jest poświęcona porównaniu różnych metod wyznaczania pola magnetycznego z naciskiem na zastosowanie procesorów graficznych.

Publikacja H11 jest związana z upowszechnianiem działań naukowych. W tym wypadku z programem CERN Master Classes. Pomijam ją jednak, ponieważ EPJ Web of Conferences nie jest zamieszczone na ministerialnej liście czasopism/wydawnictw.

W autoreferacie autor załączył 25-stronnicowy opis merytoryczny swojej tematyki wraz z bibliografią wyliczającą dziewięćdziesiąt pozycji. Całość wprowadza formalizm, zawiera opis merytoryczny zagadnień oraz prezentację przeprowadzonych pomiarów istotnych dla habilitanta. **Podsumowując uważam, że osiągnięcie naukowe przedstawione przez doktora Łukasza Graczykowskiego spełnia wymogi ustawy.**

Mam jednak kilka uwag. Autoreferat, a zwłaszcza jego polska wersja, nie został przygotowany starannie. Pozostawiono tam wiele błędów edytorskich i językowych. Na przykład, słowo *interplay*, z angielskiej wersji autoreferatu, sensowniej byłoby tłumaczyć na *zależność* bowiem użycie sformułowania „wzajemne oddziaływanie między prędkościami ...” nie jest trafione. Niestety, ma też cechy oryginalnego tekstu publikacji H5. W erracie do niej, uzgodniono opis rysunku 1 z treścią dokumentu. Szkoda, że takich errat nie opublikowano dla prac H6 (Rys. 3 – przniesiony do obu wersji autoreferatu jako Rys. 14) i H7 (Rys. 4). Biorąc pod uwagę, że habilitant był odpowiedzialny za „pisanie manuskryptu”, w tych trzech przypadkach pozostaje mi tylko mieć nadzieję, że to tylko błędy nieuwagi a nie immanentna cecha publikacji doktora Graczykowskiego.

Osobiście żałuję, że habilitant wybrał drogę cyklu publikacji. Myślę, że monografia, zwłaszcza w przypadku członków tak dużych zespołów, jest znacznie lepszym rozwiązaniem, które może mieć również istotne walory dydaktyczne.

Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i popularyzatorskie Łukasza Graczykowskiego są znaczące. **Ograniczam się przy tym do okresu po uzyskaniu przez niego doktoratu.**

W tym czasie jest (był) promotorem pomocniczym w dwóch przewodach doktorskich. Był promotorem czterech prac magisterskich i pięciu inżynierskich. Prowadził również wykłady i laboratoria związane z informatyką dla II i III roku studiów. Wśród osiągnięć organizacyjnych można wymienić kierowanie grupą ALICE na PW, członkostwo w Radzie Dyscypliny Nauko-

wej, kierowanie grupami analiz w ramach Współpracy ALICE czy udział w komitetach organizacyjnych konferencji i warsztatów. Z wielu osiągnięć popularyzatorskich podkreślę tylko działalność doktora Graczykowskiego w programie Master Classes udokumentowaną choćby przez pracę H11.

Habilitant jest laureatem Nagrody Rektora PW (zespołowa I stopnia, kierownik zespołu, 2022) oraz nagród Best Paper PW (2021) w ramach IDUB i Best Paper (2020) Wydział Fizyki PW. Należy również dodać, że pełni funkcję kierownika grantów NCN Sonata (2022-2025), CERN & MEiN (2022-2025), MEiN (2022-2026, kierownik grupy PW, w konsorcjum z IFJ PAN – główne źródło funduszy dla polskich grup ALICE) oraz już zakończonego PW IDUB (2020-2022). Był też wykonawcą w grantach przyznanych przez NCN: Harmonia (2017-2022), Opus (2018-2022, 2015-2018), Sonata (2016-2019), MNiSW (2016-2021).

W ramach swojej działalności naukowej przebywał kilkakrotnie w na stażach naukowych w CERN (Associate Member, Corresponding Member).

Kilkukrotnie został zaproszony przez Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. C, Rev. in Phys. I Acta Phys. Pol. B jako recenzent artykułów.

Istotnym elementem działalności naukowej habilitanta była prezentacja dwunastu, w tym dziewięciu zaproszonych, referatów i plakatów na międzynarodowych i krajowych warsztatach i konferencjach. W części prezentacji dr Graczykowski reprezentował Współpracę ALICE. Po uzyskaniu doktoratu dorobek naukowy habilitanta wzrósł o 320 artykułów do 407 pozycji (Web of Science, 25 maja 2023) cytowanych ponad 14800 razy (bez autocytowań), indeks Hirscha osiągnął wartość 73. Odpowiednie dane z dnia 19 grudnia 2022 to liczba cytowań 13 917, IH – 70, sumaryczny impact factor 1692, punkty wg MEiN 26466. Ogromna większość, ponad 300, z tych artykułów została opublikowana w najlepszych periodykach: Phys. Lett. B, Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. C, JHEP, EPJC. Zwróć uwagę, że według RDN „... podane we wnioskach o wszczęcie postępowania awansowego dane naukometryczne nie mogą stanowić kryterium oceny dorobku naukowego Kandydata dla podmiotów doktoryzujących, habilitujących oraz samej Rady Doskonałości Naukowej, organów prowadzących postępowania w sprawie nadania stopnia lub tytułu.”

Podsumowując, w oparciu o ocenę merytoryczną przedstawionego osiągnięcia naukowego oraz działalności naukowej, dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzatorskiej po uzyskaniu stopnia doktora, uważam, że doktor Łukasz Graczykowski znacząco powiększył swój dorobek. Stwierdzam, że przedstawione przez niego do recenzji dzieło „*ALICE jako laboratorium do badania silnie oddziałujących systemów za pomocą korelacji cząstek*” będące cyklem artykułów (za wyjątkiem H11) spełnia ustawowe wymagania i wnoszę o dopuszczenie habilitanta do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

