

Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym dr Łukasza Graczykowskiego

Praca dr Graczykowskiego opiera się na eksperymencie ALICE przy akceleratorze LHC w CERNIE. Ten wielodetektorowy eksperyment dostarcza bogactwa danych doświadczalnych i wymaga znakomitego opanowania wielorakich aspektów programistycznych.

Rozpocznę od stwierdzenia że praca zdecydowanie spełnia wysokie wymagania stawiane w postępowaniu o przyznanie tytułu naukowego doktora habilitowanego.

Wraz z zespołem informatyków z Politechniki Warszawskiej autor przyczynił się do rozwoju technicznych aspektów eksperymentu ALICE pracując nad ulepszeniami algorytmów identyfikacji cząstek w oparciu o techniki uczenia maszynowego. Autor jest też jedną z osób odpowiedzialnych w ALICE za działania popularyzatorskie w zakresie rozwoju oprogramowania ALICE Master Class.

W pracy przeprowadzone zostały pomiary rozmiaru powstałego w zderzeniach cząstek wysokiej energii (protonów i ciężkich jonów) układu oraz pomiary jego czasu życia. Zastosowano metodę femtoskopii. Badano także proces za pomocą korelacji kątowych.

Stosowana w pracy metoda femtoskopii polega na pomiarze korelacji pędu cząstek emitowanych ze wspólnego źródła. Funkcja korelacji dwóch cząstek jest na ogół dopasowywana formułą teoretyczną, która zawsze zawiera składnik statystyki kwantowej dla identycznych cząstek, oraz, w przypadkach, w których są one istotne, parametryzację uwzględniającą oddziaływania silne między cząstkami w stanie końcowym.

Femtoskopia dwucząstkowa może zostać sformułowana również w trzech wymiarach. Eksperymentalna funkcja korelacji jest następnie uzyskiwana na podstawie składowych wektora różnicy pędów poprzecznych cząstek (wzdłuż kierunku sumy pędów poprzecznych cząstek, oraz równoległe do kierunku wiązki. Funkcję korelacji można również przedstawić za pomocą harmonik sferycznych.

Femtoskopia mierzy objętość emitującego źródła, która na ogół nie jest równoważna całkowitej objętości zajmowanej przez system w momencie wymrożenia. W przypadku rozszerzającego się źródła z silnymi gradientami przepływu, cząstki o podobnych pędach są emitowane z obszaru określanego jako obszar jednorodności, który jest mniejszy niż całkowita objętość systemu.

Pomiary femtoskopowe pozwalają również na ekstrakcję czasu życia systemu. Zwykle przybliżany on jest czasem emisji pionów, ponieważ są one najczęściej produkowane. Zgodnie z hydrodynamicznym modelem ewolucji systemu, wartość promienia wzdłużnego jest proporcjonalna do całkowitego czasu trwania ekspansji podłużnej. Czas życia można wyznaczyć z zależności między promieniem wzdłużnym a masą poprzeczną. Wielkość czasu życia rośnie liniowo wraz z pierwiastkiem sześciennym gęstości pseudospieszczości cząstek naładowanych.

Z danych analizowanych przez autora (wraz ze współautorami) wynika, że czas życia mierzony w akceleratorach od AGS poprzez RHIC do LHC rośnie od 4-5 fm/c do 10-11 fm/c w centralnych zderzeniach Pb-Pb przy energii \sqrt{s} 2.76 TeV. Poprawki ze względu na ekspansję poprzeczną i skończony potencjał chemiczny dla pionów mogą wydłużyć mierzony czas życia nawet o 25%. Podsumowując, widzimy że 25-krotny wzrost energii wiązki w LHC w porównaniu do szczytowej energii RHIC tworzy region jednorodności w przybliżeniu dwa razy większy w najbardziej centralnych zderzeniach. Autor wniósł istotny wkład w badanie i wyjaśnienie obserwowanej różnicy czasu emisji pionów i kaonów ze względu na efekty kolektywnej ekspansji oraz obecności krótkotrwałych rezonansów rozpadających się na rozważane cząstki oraz przepływu radialnego tych rezonansów.

W rozprawie zwrócono uwagę na i --wykorzystano –metodę femtoskopii jako nową technikę pomiaru oddziaływań silnych hadron – hadron w których jest ono słabo poznane lub w ogóle nieznane, zarówno dla cząstek materii jak i antymaterii.

Badania korelacji dwucząstkowych par barion-antybarion w celu badania oddziaływania silnego w tym sektorze są możliwe w zderzeniach pp i PbPb na LHC, gdzie wytwarzana jest taka sama liczba barionów i antybarionów. Funkcje korelacji dla wielu tego typu par zostały zmierzone w zderzeniach pPb o energiach \sqrt{s} 2.76 TeV i \sqrt{s} 5.02 TeV, oraz w zderzeniach pp o energii \sqrt{s} 13 TeV. Autor wniósł istotny wkład w takiej analizie w kilku przedziałach centralności. Wykonano jednoczesne dopasowanie formuły matematycznej do wszystkich funkcji korelacji w celu wyodrębnienia parametrów rozpraszania oddziaływania silnego.

Porównanie danych z pp i PbPb mogą wskazywać albo na to, że oddziaływanie między barionami i antybarionami jest odpychające, albo też że mogą powstawać silnie związane stany barion –antybarion. Jednakże obecność komponentu nieelastycznego rozpraszania bardzo utrudnia oddzielenie od siebie tych dwóch efektów.

Badanie mechanizmu hadronizacji można bardziej szczegółowo zbadać poprzez korelacje zidentyfikowanych hadronów. Hadronizacja, jako jeden z mechanizmów QCD jest procesem nieperturbacyjnym a więc nie można go obliczyć na podstawie pierwszych zasad fizyki. Jak dotąd istnieją tylko modele fenomenologiczne z parametrami ograniczonymi na podstawie danych eksperymentalnych. Badania prowadzone ze znaczącym udziałem autora w eksperymencie ALICE dostarczyły nowych informacji na ten temat. Zaobserwowano efekt antykorelacji w zderzeniach pp. Pochodzenie efektu antykorelacji utrzymującego się przy najwyższych energiach pozostaje nieznane i stanowi wyzwanie dla modeli hadronizacji. Oprócz badań eksperymentalnych autorzy wykonali badania z wykorzystaniem prostych symulacji. Pierwszy prosty opis, pokazany w publikacjach, odtwarza jakościowo struktury obserwowane dla korelacji barion-barion w danych eksperymentu ALICE. Femtoskopia i korelacje kątowe są czułe na te same efekty (dżety, statystykę kwantową i oddziaływania w stanie końcowym, ale w różnym stopniu, i wykorzystują różne obserwabla. Prowadząc

badania tych samych par cząstek obiema metodami, można potencjalnie skorzystać z wyników jednej analizy w obliczeniach prowadzonych drugą metodą.

Odrębnym tematem jest poprawa identyfikacji cząstek w eksperymencie ALICE. Autor zaproponował włączenie do procedury identyfikacji cząstek podejścia opartego na tzw. Machine Learning czyli uczenia maszynowego. Autor korzystał tu ze współpracy z informatykami z wydziałów Politechniki Warszawskiej. Wykorzystano modele sieci neuronowych. Wyniki doprowadziły do przygotowania wstępnego projektu implementacji zaproponowanej metody identyfikacji cząstek który będzie dalej testowany i aktualizowany.

Jednym z istotnych elementów działania eksperymentu ALICE jest wizualizacja zdarzeń. Jest ona szeroko stosowana w komunikacji publicznej. Jest też wykorzystywana również w sterowni eksperymentu ALICE i jest wyświetlane na centralnym ekranie, umożliwiając zespołowi dyżurującemu w sterowni wykrywanie problemów w danych, których inne podsystemy nie dostrzegają od razu. Pełna rekonstrukcja torów cząstek wymaga dokładnej znajomości między innymi parametrów pola magnetycznego generowanego przez dwa elektromagnesy ALICE. Zebrane przez autora dane posłużyły następnie do stworzenia modelu pola magnetycznego.

Program ALICE Master Class

To rozległy projekt związany z działalnością edukacyjną i popularyzacją nauki. Autor włożył tu sporo pracy, z przekonaniem że jest to potrzebne obywatelsko. Pracę związaną z oprogramowaniem ALICE MasterClass przedstawił na konferencji CHEP 2019 w Adelajdzie w Australii, i omówił w pracy cytowanej w przedstawionych materiałach. Opracowano trzy ćwiczenia. Oprogramowanie wykorzystywano w ramach letnich projektów studenckich w CERNie. W czasie pandemii Covid19 przeniesiono całą funkcjonalność środowiska desktopowego do sieci, dzięki czemu ostatecznie instalacja na lokalnych maszynach nie jest konieczna.

Lista innej aktywności naukowej autora obejmuje udział w licznych grantach, oraz dwukrotny paromiesięczny pobyt studyjny w CERNie. Autor był recenzentem w czasopiśmie naukowych: 1 w Physical Review Letters, 2 w Physical Review C, 3 w Reviews in Physics, 4 w Acta Physica Polonica B. Wygłaszał też wystąpienia zaproszone w wielu krajach i instytucjach międzynarodowych i polskich. Zgłaszał również plakaty. Uczestniczył aktywnie w Komitetach Redakcyjnych prac z eksperymentu ALICE (21 pozycji) oraz w wewnętrznych Komitetach Recenzenckich. Opiekował się studentami (2 razy jako promotor pomocniczy), a także studentami do stopnia inżyniera i magistra inżyniera (13 pozycji). Autor wygłosił wykład na Uniwersytecie Stanford (USA) dla studentów tamtejszej Szkoły Letniej. Prowadził wykłady i laboratoria na Politechnice Warszawskiej.

Autor jest wybranym członkiem Rady Wydziału Fizyki PW oraz Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Fizyczne PW. Uczestniczył w Komitetach Organizacyjnych Konferencji w Polsce i za

granicą. Regularnie organizuje na PW sesje ALICE MasterClass wraz ze współpracowniczką (6 osobicie)

Aby podsumować bogaty dorobek dr Łukasza Graczykowskiego warto zwrócić uwagę na harmonijne połączenie intensywnej, poświadczonej licznymi publikacjami działalności w dziedzinie fizyki, znajomości i wykorzystania zagadnień programowania, działalność upowszechniającą wyniki fizyczne (program Master Class) oraz intensywne prace edukacyjne z doktorantami i studentami wyższych lat studiów.

Całość dorobku dobrze uzasadnia wystąpienie o nadanie tytułu naukowego doktora habilitowanego.

17.05.2023

Helena Gialcowska