

Nr umowy: UMO-2021/43/D/ST2/02195

Tytuł: Badanie korelacji i fluktuacji cząstek przy użyciu zmiennych silnie intensywnych i korelacji cząstkowych w zderzeniach jąder atomowych przy energiach LHC

Opis projektu

Określenie ultra-relatywistyczne zderzenia ciężkich jonów odnosi się do interakcji między dwoma ciężkimi jądrami atomowymi (takimi jak jądra ołowiu) o energii co najmniej kilku GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) na nukleon. Największy obecnie działającym akceleratorem ciężkich jonów jest Wielki Zderzacz Hadronów (ang. Large Hadron Collider, LHC) w CERN, w którym jądra ołowiu przyspieszane są do energii wielu tysięcy GeV. W eksperymentach ciężko-jonowych energia zderzenia jest wystarczająca, aby stworzyć nową formę materii, Plazmę Kwarkowo Gluonową (ang. Quark-Gluon Plasma, QGP), w warunkach laboratoryjnych. Jednak ten nowy stan materii, który formuje się na wczesnym etapie ultrarelatywistycznego zderzenia jonów, nie może być bezpośrednio wykryty. Gorący i gęsty, ale gwałtownie rozszerzający się system kwarków i gluonów szybko wymraża się do stanów końcowych hadronów, które mierzymy w detektorach.

Jak zatem możemy uzyskać informacje o systemie tworzącym się w pierwszych, kluczowych etapach reakcji? Wgląd we wczesne etapy zderzenia jądro-jądro może zapewnić analiza korelacji i fluktuacji w produkcji cząstek, metodą przypadek po przypadku (ang. event-by-event). Ogólnie korelacje i fluktuacje charakteryzują właściwości układu fizycznego i mogą być wrażliwe na przemianę fazową materii jądrowej. Dlatego z biegiem lat stały się one standardowym narzędziem do badania właściwości silnie oddziałującej materii przy wysokich energiach.

Niestety, ostatnie badania teoretyczne i eksperymentalne wykazały znaczne ograniczenia w sposobie analizy korelacji i fluktuacji. Większość powszechnie używanych wielkości mierzalnych (np. współczynnik korelacji), okazała się wrażliwa na wahania objętości systemu utworzonego podczas kolizji. Stąd, mimo że dostarczają one informacji o pierwszych etapach zderzenia, należy je interpretować ostrożnie, ponieważ informacje te są przemieszane z trywialnymi efektami wynikającymi z fluktuacji objętości i niezwiązanymi z wczesną dynamiką reakcji.

Jako rozwiązanie tego problemu, do fizyki ciężkich jonów zostały wprowadzone (niezależnie) analiza wielkości silnie intensywnych (ang. strongly intensive quantities) Σ i Δ oraz technika korelacji cząstkowych (ang. partial correlations). Wielkości silnie intensywne skonstruowane są w taki sposób, że są wolne od wpływu fluktuacji objętości układu powstającego w zderzeniach ciężkich jonów. W związku z tym dostarczają one bardziej bezpośrednią informację o źródłach odpowiedzialnych za wytwarzanie nowych cząstek. Z kolei korelacje cząstkowe z definicji mierzą zależność między zmiennymi fizycznymi przy usuniętym wpływie zmiennych zakłócających. A zatem, ich analiza daje możliwość

"wyłączenia" trywialnych efektów fluktuacji objętości systemu z badanego współczynnika korelacji.

Bezpośrednimi inspiracjami dla niniejszego Projektu są (1) pierwsze w historii wyniki na wielkość silnie intensywną Σ dla energii LHC uzyskane przez Kierownika Projektu oraz (2) najnowsze prace teoretyczne dotyczące korelacji cząstkowych w zderzeniach ciężkich jonów. Zachęcające pierwsze wyniki sprawiły, że obecna analiza ma na celu pełne zbadanie potencjału naukowego wielkości silnie intensywnych poprzez dostarczenie pierwszej szczegółowej analizy porównawczej tych wielkości w LHC. Projekt ten przeprowadzi również pierwsze w historii studium korelacji cząstkowych w eksperymencie ALICE.

Głównym zadaniem Projektu jest dostarczenie bezpośredniej informacji o źródłach pierwotnych produkujących cząstki oraz o korelacjach występujących między tymi źródłami, w zderzeniach jądrowych przy najwyższych dostępnych energiach. W tym celu planowana jest szczegółowa analiza eksperymentalna. Będzie ona skoncentrowana na pomiarze wielkości Σ i Δ oraz korelacji cząstkowych krotności cząstek naładowanych dla różnych rodzajów układów zderzających się jąder, jak i dla wszystkich energii zderzenia dostępnych w eksperymencie ALICE (A Large Ion Collider Experiment) w LHC. Dla eksperymentalnej weryfikacji hipotezy, o tym że wielkości Σ i Δ są rzeczywiście wielkościami silnie intensywnymi analiza zostanie przeprowadzona przy użyciu dwóch różnych metod selekcji centralności (wybór liczby nukleonów uczestniczących), dostępnych w eksperymencie ALICE. Wyniki będą badane również w funkcji fluktuacji rozmiaru systemu. Doskonałe możliwości eksperymentalne detektora ALICE w identyfikacji cząstek umożliwiają pomiar wszystkich omawianych tutaj wielkości fizycznych, nie tylko dla sumy wszystkich cząstek naładowanych, ale także osobno dla kolejnych typów identyfikowanych hadronów (mezonów π , mezonów K, protonów lub anty-protonów). Analiza zidentyfikowanych hadronów zapewni nowy, niezależny od zakładanego modelu wgląd w rolę którą pełnią źródła początkowe (wczesne) oraz źródła rezonansowe w produkcji poszczególnych typów cząstek. Ponadto planowane porównanie danych eksperymentalnych z różnymi modelami teoretycznymi przyniesie nową informację na temat zjawiska produkcji cząstek w ultrarelatywistycznych zderzeniach ciężkich jonów oraz ich ewolucji z energią zderzenia i typem układu.

Zaproponowana nowa analiza jest oryginalnym pomysłem Kierownika Projektu. Ma ona na celu dostarczenie nowych cennych informacji o dynamice zderzenia, nieobciążonych trywialnymi efektami fluktuacji objętości systemu. Stanowi to decydującą przewagę nad uzyskanymi dotąd wynikami eksperymentalnymi. Zaproponowane tutaj szeroko zakrojone, porównawcze badania wielkości silnie intensywnych i korelacji cząstkowych w LHC są konieczne jeśli lepsze zrozumienie wczesnych etapów zderzenia ciężkich jonów ma być kiedykolwiek osiągnięte.