

Nr umowy: UMO-2016/23/B/ST2/00702

Tytuł: Badanie korelacji i fluktuacji w zderzeniach ciężkich jonów przy energiach akceleratora LHC

Cel projektu

Poznanie początku Wszechświata i jego dalszej ewolucji jest jednym z najbardziej interesujących zagadnień naukowych. Według modelu Wielkiego Wybuchu, około 10 μsec . po wybuchu Wszechświat był wypełniony gorącą i gęstą „zupą” złożoną z różnego typu cząstek, w tym kwarków i glonów, podstawowych składników protonów, neutronów, a także innych elementarnych hadronów. Zgodnie z tą hipotezą kwarki i gluony, które nie są obserwowane w postaci pojedynczych cząstek, w pierwszych chwilach Wszechświata, mogły swobodnie poruszać się tworząc plazmę kwarkowo-gluonową (QGP-Quark-Gluon Plasma). Przy obecnym postępie w eksperymentalnej fizyce wysokich energii, naukowcy mogą "odtworzyć" w laboratorium warunki występujące we wczesnym Wszechświecie produkując QGP w obszarze o małych rozmiarach. W tym celu, doprowadza się do czołowych zderzeń ciężkich jąder atomowych przy najwyższych dostępnych energiach. W ultrarelatywistycznych zderzeniach ciężkich jonów występują korzystne warunki (wysoka temperatura i gęstość) na wytworzenie QGP. W szczególności silnie oddziałująca materia jądrowa (QGP) jest wytwarzana w zderzeniach ciężkich jonów w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) w CERN. Jednym z podstawowych pomiarów dostarczającym informacji o własnościach QGP w tych zderzeniach jest pomiar wielocząstkowych korelacji w produkcji cząstek w oddziaływaniach jądrowych. Dzięki tym pomiarom stwierdzono, że QGP zachowuje się jak prawie idealna ciecz, o bardzo małej lepkości. Co ciekawe, w świetle ostatnich badań, QGP może być wytwarzana nie tylko w oddziaływaniach ciężkich jonów, ale także w małych systemach. W tym projekcie będą badane długo-falowe właściwości QGP przez badanie korelacji i fluktuacji w procesie produkcji cząstek w oddziaływaniach proton-proton (p+p), proton-ołów (p+Pb) i ołów-ołów (Pb+Pb) zarejestrowanych w eksperymencie ATLAS przy energiach zderzeń akceleratora LHC. Projekt ten pozwoli grupie fizyków z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN na przeprowadzenie nowych, ciekawych badań dla zderzeń jądrowych. W LHC zderzano Pb+Pb przy energii w układzie środka masy nukleon-nukleon $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$ oraz 5.02 TeV , a także zderzano p+Pb przy energii $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$ i 8.16 TeV . Dla oddziaływań jądrowych uzyskano również referencyjne próbki oddziaływań p+p przy energiach zderzeń odpowiadających oddziaływaniom Pb+Pb i p+Pb. W oparciu o naładowane cząstki zrekonstruowane w detektorze wewnętrznym planowane jest zbadanie długo-zasięgowych właściwości QGP poprzez pomiar korelacji i fluktuacji w rozkładach azymutalnych kątów wyprodukowanych cząstek. W dziedzinie fizyki produkcji cząstek miękkich (o małym p_T) pomiar silnych korelacji (dużej azymutalnej anizotropii) pozwala uzyskać kluczowe informacje o czasoprzestrzennej ewolucji QGP. Oczekuje się, że obserwowana azymutalna anizotropia wynika z występowania dużych gradientów ciśnień w gorącym i gęstym ośrodku, będących rezultatem

początkowej, przestrzennej asymetrii obszaru oddziaływania ciężkich jonów. Z kolei, duże gradienty ciśnień prowadzą do asymetrii w rozkładach poprzecznych pędów (p_T) cząstek, która eksperymentalnie jest opisana przez rozwinięcie w szereg Fouriera azymutalnych rozkładów kątowych. Wartości współczynników Fouriera (wypływu), v_n , odzwierciedlają zarówno przestrzenny kształt obszaru oddziaływania zderzających się ciężkich jonów, jak również wielkość zmiany tego kształtu w pojedynczych zderzeniach, tzw. fluktuacje wypływu. W niniejszym projekcie badania będą się koncentrować nad pomiarem współczynnika v_2 , zwanego również "wypływem eliptycznym", który związany jest z początkowym eliptycznym kształtem obszaru oddziaływania, a także wyższego rzędu współczynników v_n ($n > 2$), które są związane z fluktuacjami tego kształtu, pozwalając m.in. oszacować lepkość QGP. Proponowane badania obejmują pomiar v_n w oparciu o metody korelacji dwu-cząstkowych, kumulantów wielo-cząstkowych, a także w oparciu o rozkłady v_n dla pojedynczych przypadków w oddziaływaniach p+Pb i Pb+Pb. Proponowane badania obejmują również pomiar efektu dekorelacji płaszczyzny reakcji, a także pomiar korelacji $v_n - p_T$. W celu pomyślnej realizacji powyższych analiz fizycznych, planujemy również prace nad rozwojem oprogramowania służącego do rekonstrukcji przypadków jądrowych, a także prace nad rozwojem metod symulacji Monte Carlo oddziaływań jądrowych w detektorze ATLAS w oparciu infrastrukturę sieci grid. Projekt badawczy dostarczy innowacyjnych i ważnych wyników dotyczących fizyki gęstej i gorącej materii wytworzonej w zderzeniach ciężkich jonów, pozwalających na badania właściwości QGP i testowanie modeli teoretycznych. Pomiar długo-falowych charakterystyk QGP jest niezbędny dla zrozumienia dynamiki gęstej materii, jak również do określenia początkowych warunków zderzeń jądrowych. Uzyskane w projekcie wyniki będą prezentowane na międzynarodowych konferencjach i opublikowane w czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu.