

Nr umowy: UMO-2018/30/E/ST2/00432

Tytuł: Opis relatywistycznych zderzeń ciężkich jonów w reżimie dużych gęstości liczby barionowej

Cel projektu

Jednym z podstawowych problemów współczesnej fizyki jest zrozumienie struktury oraz własności materii jądrowej. Nasza aktualna wiedza na ten temat oparta jest o przewidywania fundamentalnej teorii oddziaływań silnych, jaką jest chromodynamika kwantowa (QCD). Zgodnie z nią protony i neutrony tworzące jądra atomowe są zbudowane z bardziej podstawowych cząstek zwanych kwarkami, które związane są poprzez wymianę innych cząstek zwanych gluonami. Wskutek zjawiska asymptotycznej swobody w QCD uważa się, że w granicy bardzo dużych temperatur lub gęstości kwarki i gluony ulegają uwolnieniu tworząc nowy gęsty i gorący stan materii nazywany plazmą kwarkowo-gluonową. Własności tego nowego stanu materii są obiektem uwagi fizyków, jako że powszechnie uważa się, że istniał on we wczesnym Wszechświecie, tuż po tzw. Wielkim Wybuchu, jak również tworzy rdzenie gwiazd neutronowych. Okazuje się, że podobne warunki fizyczne można odtworzyć w laboratorium zderzając ze sobą pozbawione elektronów jądra atomowe ciężkich pierwiastków z prędkościami bliskimi prędkości światła w akceleratorach takich jak RHIC (Relativistic Heavy-Ion Collider) w BNL oraz LHC (Large Hadron Collider) w CERN-ie. Zgromadzona w ten sposób energia kinetyczna zostaje uwolniona w obszarze zderzenia i zużytkowana na podgrzanie materii, powodując uwolnienie kwarków i gluonów. Późniejsze chłodzenie oraz ekspansja w otaczającą próżnię skutkuje ponownym związaniem tych ostatnich w hadronach (rodzina cząstek, do której należą protony i neutrony), które z kolei są obserwowane w detektorach. Dane wskazują, że w eksperymentach przy najwyższych energiach RHIC i LHC zderzane jądra raczej przechodzą wzajemnie przez siebie opuszczając obszar zderzenia niż ulegają kompresji. Wraz z nimi obszar zderzenia opuszcza też tzw. ładunek lub liczba barionowa niesiona przez protony i neutrony. Cząstki produkowane tych procesach, powstają wyłącznie kosztem energii kinetycznej uwolnionej w obszarze zderzenia. Badania teoretyczne wskazują, iż taka materia o zerowej liczbie barionowej zachowuje się jak prawie doskonały płyn o najniższej lepkości obserwowanej w Naturze. Co więcej, rezultat ten pozostaje w zgodzie ze skomplikowanymi rozwiązaniami numerycznymi QCD.

Głównym obszarem naszych zainteresowań jest badanie relatywistycznych zderzeń jądrowych w obszarze nieco niższych prędkości, niemniej nadal przekraczających 95% prędkości światła. Procesy takie są obecnie obiektem intensywnych badań na akceleratorach SPS (Super Proton Synchrotron) oraz RHIC, jak również są planowane w bliskiej przyszłości na akceleratorach NICA (Nuclotron-based Ion Collider Facility) oraz FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research). Dane mierzone w takich procesach wykazują duże wartości liczby barionowej, sugerując, że w przeciwieństwie do RHIC i LHC, w zakresie niskich energii,

zderzane jądra ulegają znacznej kompresji tworząc warunki podobne do tych w rdzeniach gwiazd neutronowych. Jako że obecnie nie jest możliwe rozwiązanie QCD w tym zakresie, zderzenia jądrowe stanowią unikatowe narzędzie w celu badania własności materii oddziałującej silnie w reżimie dużych gęstości barionowych.

Naszym celem jest zrozumienie dynamiki takich procesów przy użyciu modeli statystycznych i hydrodynamicznych. STAR całkiem niedawno dokonał intrygującego odkrycia w reżimie niskoenergetycznych zderzeń jądrowych dotyczącego globalnej polaryzacji spinu cząstek. Wskazuje ono, że w zderzeniach, w których jądra zderzają się niecentralnie cząstki te wykazują preferencję, by ulegać emisji z określoną wartością pewnej wewnętrznej liczby kwantowej zwanej spinem tj. ulegać polaryzacji. Jako że oczywiste jest, że w niskoenergetycznych zderzeniach niecentralnych produkowana materia musi ulegać rotacji oraz biorąc pod uwagę, że klasycznie spin obiektu interpretowany jest jako wewnętrzny momentu pędu związany z jego obracaniem się, rezultat otrzymany przez STAR sugeruje istnienie związku pomiędzy makroskopową rotacją materii oraz stanem spinowym tworzących ją składników. Zjawisko to, pomimo że nadal niezrozumiane w pełni, może być pierwszym takim przykładem bezpośredniej manifestacji efektu kwantowego w zderzeniach ciężkich jonów. Motywowani tymi spostrzeżeniami planujemy zbadać mechanizmy polaryzacji spinu oraz opracować formalizm hydrodynamiki do jej opisu. Badanie polaryzacji stanowi istotny nowatorski element proponowanego projektu.