

W milionowych częściach sekundy po Wielkim Wybuchu, Wszechświat wypełniony był nadzwyczaj gorącą i gęstą materią pierwotną składającą się z różnych rodzajów cząstek elementarnych poruszających się z prędkościami bliskimi prędkości światła. Mieszanina ta składała się głównie z kwarków - podstawowych budulców materii - oraz gluonów, które w normalnych warunkach wiążą kwarki w protonach i neutronach. Na tym początkowym etapie ewolucji Wszechświata, kwarki i gluony zachowywały się jak cząstki poruszające się swobodnie tworząc stan materii zwany plazmą kwarkowo-gluonową (z ang. Quark-Gluon Plasma, QGP).

Warunki podobne do tych panujących zaraz po narodzeniu Wszechświata, naukowcy odtwarzają w potężnych akceleratorach o obwodach wynoszących dziesiątki kilometrów, w których zderzają ze sobą jądra ciężkich pierwiastków. Dla przykładu jądra złota w Relatywistycznym Zderzacz Ciężkich Jonów (z ang. Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC działający od 2000 r.) w Stanach Zjednoczonych oraz jądra ołowiu na Wielkim Zderzaczu Hadronów (z ang. Large Hadron Collider, LHC działający od 2010 r.) w Szwajcarii. W zderzeniach relatywistycznych ciężkich jonów setki protonów i neutronów z pojedynczych jąder zderzają się parami przy energiach rzędu tysięcy miliardów elektronowoltów. W takich warunkach tworzy się kropla rozgrzanej materii QGP, o rekordowo wysokiej temperaturze rzędu 4 bilionów stopni Celsjusza (dla porównia temperatura wnętrza słońca to zaledwie 30 milionów stopni Celsjusza).

Po zderzeniu kropla QGP błyskawicznie się ochładza i rozpręża, w wyniku czego pojedyncze kwarki i gluony zwane partonami przybierają postać cząstek zwykłej materii, które poruszają się we wszystkich kierunkach, aby w efekcie końcowym dotrzeć do detektorów stojących na ich drodze. Zarejestrowane cząstki to między innymi piony i kaony, które zbudowane są z par kwarków i anty-kwarków. Wytwarzane są także (anty-)protony i (anty-)neutrony składających się z trzech kwarków oraz szereg innych cząstek.

Badania QGP prowadzone są od dwóch dekad. Jedno z pierwszych odkryć dokonanych na akceleratorze RHIC wykazało, że materia QGP zachowuje się jak idealna ciecz o małej lepkości, a nie jak gaz, jak oczekiwano. Ta i inne niespodziewane własności QGP zostały potwierdzone w zderzeniach na LHC przy energii zderzenia wyższej o rząd wielkości. Ciągłe jednak wiele wyników doświadczalnych dotyczących oddziaływań QGP pozostaje niewyjaśnionych.

Dużo większe energie zderzeń jąder ołowiu dostępne na LHC w latach 2015-2018 przesuwają pomiary w obszar niedostępny na RHIC, pozwalając na nowe i bardziej szczegółowe badania materii QGP. Teoretyczny opis tych pomiarów również stanowi wielkie wyzwanie i jest jednym z ważniejszych problemów chromodynamiki kwantowej - teorii opisującej oddziaływanie silne kwarków i gluonów. Ponadto tego typu badania pozwalają na lepsze zrozumienie struktury zwyczajnej materii, jaką stanowią protony czy neutrony związane w jądrach atomowych.

W ramach niniejszego projektu naukowcy z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH) dokonają szeregu nowatorskich pomiarów w zderzeniach ciężkich jonów w eksperymencie ATLAS na LHC przy najwyższych energiach dostępnych w laboratorium. Analizie poddana zostanie pełna próbka danych ze zderzeń ołów-ołów zebranych w latach 2015 i 2018 przy energii 5.02 TeV oraz ze zderzeń proton-ołów zebranych w roku 2016 przy energii 8.16 TeV. Grupa z AGH posiada ogromne doświadczenie w analizie danych ze zderzeń ciężkich jonów zebranych przez eksperyment ATLAS przy niższych energiach w latach 2010-2013 oraz przy mniejszych intensywnościach wiązek dostępnych w roku 2015. Proponowane w tym projekcie precyzyjne badania poszerzą wiedzę na temat własności materii QGP, a także pozwolą na lepsze zrozumienie własności protonów i neutronów związanych w jądrach atomowych. Położą również podwaliny pod przyszłe pomiary w dziedzinie fizyki relatywistycznych zderzeń ciężkich jonów przy jeszcze wyższych intensywnościach zderzanych wiązek, które LHC planuje dostarczyć w następnych dziesięcioleciach. Ponadto podejmowane w tym projekcie badania specjalnej klasy zderzeń foton-foton pozwolą na zastosowanie pionierskich narzędzi do poszukiwań sygnałów nieodkrytych dotąd cząstek. Dla pomiarów ograniczonych precyzją planowane są połączone pomiary z innymi eksperymentami na LHC (w szczególności z CMS).