

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

Aby odtworzyć warunki podobne do tych panujących zaraz po narodzeniu Wszechświata, naukowcy budują potężne akceleratory o obwodach wynoszących dziesiątki kilometrów, w których zderzają ze sobą jądra ciężkich pierwiastków, takich jak złoto w Relatywistycznym Zderzaczu Ciężkich Jonów (z ang. Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC działający od 2000 r.) w Stanach Zjednoczonych oraz ołów 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.

Po zderzeniu kropla QGP błyskawicznie się ochładza, 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 szczątki zderzenia przybierają postać cząstek takich jak piony i kaony, które zbudowane są z par kwarków i anty-kwarków oraz protonów i neutronów składających się z trzech kwarków oraz innych cząstek, takich jak anty-protony i anty-neutrony. Te ostatnie mogą się związać, żeby w końcowym efekcie utworzyć jądro anty-atomu nawet tak ciężkiego pierwiastka jakim jest hel.

Od ponad dekady badacze nauczyli się wytwarzać materię QGP w zderzeniach ciężkich jonów najpierw na akceleratorze RHIC, a dziesięć lat później na LHC. Jedno z pierwszych odkryć dokonanych na akceleratorze RHIC wykazało, że materia QGP zachowuje się jak idealna ciecz o małej lepkości, a nie gaz, jak oczekiwano. Ta i inne niespodziewane własności QGP zostały potwierdzone w zderzeniach na LHC przy energii 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 zakres przestrzeni fazowej, który niedostępny był na RHIC, pozwalając na nowe i bardziej szczegółowe badania materii QGP. Teoretyczny opis tych pomiarów również stanowić będzie wyzwanie, co 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 w Krakowie dokonają szeregu pomiarów stanów końcowych z wysokim p_T produkowanych w zderzeniach ciężkich jonów w eksperymencie ATLAS na LHC przy najwyższych energiach dostępnych w laboratorium. Analizie poddane zostaną dane ze zderzeń ołów-ołów zebrane w roku 2015 oraz zderzenia proton-ołów zebrane przez eksperyment ATLAS pod koniec roku 2016. Nasza grupa posiada ogromne doświadczenie w analizach danych ze zderzeń ciężkich jonów zebranych przez eksperyment ATLAS przy niższych energiach w latach 2010-2013. Proponowane w tym projekcie badania poszerzą wiedzę na temat własności materii QGP, a także pozwolą na lepsze zrozumienie własności protonów i neutronów związanych w jądrach atomowych, jak również położą podwaliny pod przyszłe pomiary z dziedziny fizyki ciężkich jonów przy jeszcze wyższych świetlnościach, które LHC planuje dostarczyć w następnych dziesięcioleciach.