

Nr rejestracyjny: 2015/18/M/ST2/00087; Kierownik projektu: dr hab. Adam Bolesław Trzupek

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 jądrowe pierwiastki, takich jak złoto w Relatywistycznym Zderzaczem Ciężkich Jonów (z ang. Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC działający od 2000 r.) w Stanach Zjednoczonych oraz ołów na Wielkim Zderzaczem Hadronów (z ang. Large Hadron Collider, LHC działający od 2010 r.) w Szwajcarii. W zderzeniach relatywistycznych ciężkich jonów setki protonów i neutronów z pojedynczych jądrowych zderzają się parami przy energiach rzędu tysięcy miliardów elektronowoltów. W takich warunkach tworzy się *kropła rozgrzanej materii* QGP, o rekordowo wysokiej temperaturze rzędu 4 bilionów K.

Po zderzeniu *kropła* 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 kolizyjnym 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, aby w kolizyjnym efekcie utworzyć jądro anty-atomu nawet tak ciężkiego pierwiastka jakim jest hel. Wiele można na sobie nauczyć dzięki pomiarom energii produktów zderzenia rejestrowanych w detektorach.

Od ponad dekady naukowcy nauczyli się wytwarzać materię QGP w zderzeniach ciężkich jonów najpierw na akceleratorze RHIC, a dziesięć lat później na największym zderzaczem na świecie, jakim jest 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 wielu naukowców oczekiwało. Takie i inne niespodziewane własności QGP zostały potwierdzone w zderzeniach na LHC przy energii wyszereżdu wielkości. Ciągłe jednak wiele wyników do wiadczalnych dotyczących oddziaływań QGP pozostaje niewyjaśnionych.

Do oświadczenia energii zderzeń jądrowych dostępną na LHC w latach 2015-2018 przesuwają pomiary w zakresie przestrzeni fazowej, który niedostępny był na RHIC, pozwalając na coraz nowe i bardziej szczegółowe badania materii QGP. Teoretyczny opis tych pomiarów również stanowi bieżące wyzwanie, co jest jednym z ważniejszych problemów chromodynamiki kwantowej - teorii opisującej oddziaływanie silne kwarków i gluonów.

W ramach niniejszego projektu naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN oraz Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie dokonają szeregu pomiarów stanów kolizyjnych produkowanych w zderzeniach jądrowych w eksperymencie ATLAS. Nowe dane zostaną zarejestrowane przy rekordowo wysokiej energii dostarczonej po raz pierwszy przez LHC jesienią 2015 roku. Nasza grupa posiada ogromne doświadczenie zdobyte podczas analizy danych ze zderzeń jądrowych zebranych przez eksperyment ATLAS przy niskich energiach w latach 2010-2013. Proponowane nowe badania poszerzą wiedzę na temat własności materii QGP, jak również będą podwaliną pod przyszłe pomiary z dziedziny fizyki ciężkich jonów przy jeszcze wyższych wiatłnościach dostarczanych przez LHC w następnym dziesięcioleciu.